

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

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



Département d'Agronomie

Laboratoire des Agrosystèmes Fonctionnels et Technologies

Des Filières Agronomiques



Mémoire en vue d'obtention du diplôme de Master

Spécialité : production végétale

Thème :

**Utilisation des huiles essentielles des agrumes dans la lutte
biologique contre l'oïdium et la fumagine**

Soutenu le : 26/06/2023

Présenté par : M^{elle} : MOHAMMEDI Yasmine et M^{elle} : SERIR Noura

Composition du jury :

Président	Dr. KAZI-TANI Lotfi	MCA	Université de Tlemcen
Encadreur	Dr. TEFIANI Choukri	MCA	Université de Tlemcen
Examineur	Dr. ZENASNI Mohamed Amine	MCA	Université de Tlemcen
Invité	M. BALLOUT Toufik	Directeur de l'INPV station Tlemcen	

Année universitaire 2022-2023

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Ensuite, Je dédie ce travail à :

Mes chers parents Mohammed et Fouzia, je ne saurais jamais assez-vous remercier. Cette réussite est aussi la vôtre, car c'est grâce à votre amour et à votre éducation que je suis devenu la personne que je suis aujourd'hui. Merci pour tout ce que vous avez fait et continuez de faire pour moi. Je vous aime du plus profond de mon cœur.

À ma chère grand-mère Ammaria.

À mes chers frères et à ma chère sœur Meissa.

À ma chère binôme Noura.

À toutes mes amies pour leurs aides et leur présence dans les moments difficiles particulièrement Yasmina et Ferdaous.

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime

Yasmine

Dédicace

J'adresse ce travail avec un profond respect, reconnaissance et gratitude :

À mes parents : Pour tous les efforts consentis pour que je puisse poursuivre mes études, je vous exprime ma gratitude. Vous m'avez inculqué les valeurs du devoir, de la responsabilité, de la dignité, de l'honneur et de l'humilité. Je ne pourrai jamais vous rendre en totalité ce que vous avez fait pour moi, mais j'espère sincèrement que ce travail modeste saura vous apporter une réelle satisfaction.

(أبي رحمك الله و أدخلك فسيح جنانه)

À mon frère et à mon deuxième père, Islem et mon jeune frère Ayoub,

À mon fiancé qui m'a soutenu tout au long de mon parcours,

À ma merveilleuse binôme, Yasmine Mohammedi,

À l'ensemble de ma famille du côté maternel et paternel,

À tous les enseignants dans le domaine de l'agronomie qui ont joué un rôle essentiel dans ma formation scientifique,

À chacun de mes amis, sans exception.

Noura

Remerciement

Avant tout nous tenons à remercier le bon Dieu, le tout puissant pour la volonté, la santé, le courage et la patience qu'il nous a donné pour la réalisation de ce modeste travail.

Ensuite, La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toute notre gratitude.

Nous voudrions tout d'abord adresser toute nos reconnaissances à l'encadreur de ce mémoire, Monsieur TEFIANI Choukri, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous désirons aussi remercier les professeurs de l'université de Tlemcen, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

Nous tenons à remercier spécialement Messieurs AZZI Noureddine, et KAZI TANI Lotfi qui furent la première à nous faire découvrir le sujet qui a guidé notre mémoire.

Nous tenons à témoigner toute notre reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

Monsieur MOHAMMEDI Mohammed, il a partagé ses connaissances et expériences dans ce milieu, ainsi que leur intervention et expérience personnelle. Ils ont été d'un grand soutien dans l'élaboration de ce mémoire.

Madame BEKHECHI Chahrazed, pour son aide précieuse et son encadrement lors de l'extraction des huiles essentielles.

Monsieur BALLOUT Toufik, pour son soutien indéfectible et sa généreusement inestimable. Son engagement à fournir les souches nécessaires à notre étude ont été des éléments clés de notre réussite.

Madame HAMIDI Fatiha, pour son apport professionnel exceptionnel au sein de notre laboratoire. Sa précieuse expertise et son dévouement sans faille ont été d'une importance capitale pour nos recherches.

Enfin, nous voudrions exprimer notre reconnaissance envers les amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Résumé

Ce mémoire étudie le potentiel des huiles essentielles d'agrumes en tant que fongicides naturels pour lutter contre l'oïdium et la fumagine, deux maladies fongiques courantes affectant diverses cultures et plantes ornementales. La méthodologie de recherche implique des expériences en laboratoire pour évaluer les propriétés antifongiques de différentes huiles essentielles d'agrumes extraites d'orange, de citron et de feuilles d'oranges. L'étude évalue les effets inhibiteurs de ces huiles sur la croissance fongique par des essais sur plaque de gélose pour évaluer l'efficacité des formulations d'huiles essentielles d'agrumes sous forme de concentrations minimales inhibitrices contre l'oïdium et la fumagine.

Les résultats démontrent que les huiles essentielles d'agrumes présentent une activité antifongique significative contre les agents pathogènes testés, avec des degrés d'efficacité variables selon le type d'huile et la concentration.

Les résultats de cette étude contribuent au développement d'alternatives durables et écologiques aux fongicides de synthèse pour la lutte contre l'oïdium et la fumagine. Les huiles essentielles d'agrumes ont le potentiel d'être utilisées comme fongicides naturels efficaces, offrant un impact environnemental réduit et une meilleure santé des plantes. Les résultats fournissent des informations précieuses aux producteurs, horticulteurs et acteurs agricoles à la recherche de solutions innovantes pour la gestion des maladies tout en promouvant des pratiques durables de protection des cultures.

Mots clés : huiles essentielles d'agrumes, activité antifongique, oïdium, fumagine, fongicides naturels, agriculture durable, lutte biologique.

Abstract

This thesis investigates the potential of citrus essential oils as natural fungicides to control powdery mildew and sooty mold, two common fungal diseases affecting various crops and ornamental plants. The research methodology involves laboratory experiments to evaluate the antifungal properties of different citrus essential oils extracted from orange, lemon, and orange leaves. The study evaluates the inhibitory effects of these oils on fungal growth through agar plate assays to assess the efficacy of citrus essential oil formulations as minimum inhibitory concentrations against powdery mildew and sooty mold.

The results demonstrate that citrus essential oils exhibit significant antifungal activity against the pathogens tested, with varying degrees of efficacy depending on oil type and concentration.

The results of this study contribute to the development of sustainable and ecological alternatives to synthetic fungicides for the control of powdery mildew and sooty mold. Citrus essential oils have the potential to be used as effective natural fungicides, providing reduced environmental impact and improved plant health. The results provide valuable information to growers, horticulturists and agricultural stakeholders looking for innovative solutions for disease management while promoting sustainable crop protection practices.

Keywords : citrus essential oils, antifungal activity, powdery mildew, sooty mold, natural fungicides, sustainable agriculture, biological control.

ملخص

تبحث هذه الدراسة في إمكانات الزيوت الأساسية للحمضيات كمبيدات فطرية طبيعية للسيطرة على البياض الدقيقي والعفن السخامي ، وهما مرضان فطريان شائعان يصيبان مختلف المحاصيل ونباتات الزينة. تتضمن منهجية البحث تجارب معملية لتقييم الخصائص المضادة للفطريات للزيوت العطرية المختلفة للحمضيات المستخرجة من أوراق البرتقال والليمون والبرتقال. تقوم الدراسة بتقييم التأثيرات المثبطة لهذه الزيوت على نمو الفطريات من خلال فحوصات لوحة أجار لتقييم فعالية تركيبات الزيوت الأساسية من الحمضيات كحد أدنى من التركيزات المثبطة ضد البياض الدقيقي والعفن السخامي.

أظهرت النتائج أن الزيوت العطرية من الحمضيات تُظهر نشاطاً مضاداً للفطريات ضد مسببات الأمراض التي تم اختبارها ، بدرجات متفاوتة من الفعالية اعتماداً على نوع الزيت وتركيزه.

تساهم نتائج هذه الدراسة في تطوير بدائل مستدامة وبيئية لمبيدات الفطريات الاصطناعية لمكافحة البياض الدقيقي والعفن السخامي. تتمتع الزيوت الأساسية من الحمضيات بإمكانية استخدامها كمبيدات فطريات طبيعية فعالة ، مما يقلل من التأثير البيئي ويحسن صحة النبات. توفر النتائج معلومات قيمة للمزارعين والبستانيون وأصحاب المصلحة الزراعيين الذين يبحثون عن حلول مبتكرة لإدارة الأمراض مع تعزيز ممارسات حماية المحاصيل المستدامة.

الكلمات المفتاحية: الزيوت الأساسية للحمضيات ، النشاط المضاد للفطريات ، البياض الدقيقي ، العفن السخامي ، مبيدات الفطريات الطبيعية ، الزراعة المستدامة ، مكافحة البيولوجية.

Liste des abréviations

N : Azote

EAC : Exploitation agricole collectif

CMI : Concentration minimale inhibitrice

HE : Huile essentielle

INPV : Institut national de protection des végétaux

SFE : Fluide super critique

PDA : Potato dextrose agar

AFNOR : Association française de normalisation

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

DDT : Dichlorodiphényltrichloroéthane

BHC : Benzène hexachloride

UE : Union européenne

Liste des figures

	Page
Figure 01 : Répartition des superficies agrumicoles par groupe de variétés	5
Figure 02 : la diversité génétique des agrumes	7
Figure 03 : extraction d'huile essentielle par distillation	36
Figure 04 : extraction d'huiles essentielles par solvant	37
Figure 05 : Collecte des oranges (Photo originale)	42
Figure 06 : fruits d'agrumes : oranges (photo originale)	43
Figure 07 : Collecte des citrons (Photo originale)	43
Figure 08 : fruits d'agrumes : citron (photo originale)	44
Figure 09 : Collecte des feuilles d'oranges (Photo originale)	44
Figure 10 : les feuilles d'oranges (photo originale)	45
Figure 11 : écorces d'oranges hachées (Photo originale)	47
Figure 12 : préparation d'épluchures de citron (Photo originale)	48
Figure 13 : feuilles d'oranges coupées en petits morceaux (Photo originale)	48
Figure 14 : l'hydrodistillation A : Clevenger et l'hydrodistillation B : classique (Photo originale)	49
Figure 15 : l'huile essentielle extraite par la méthode de Clevenger (photo originale)	50
Figure 16 : l'huile essentielle extraite par la méthode classique (photo originale)	51
Figure 17 : l'hydrodistillation de A : épluchures de citron, B : feuilles d'oranges, C : écorce d'oranges (Photo originale)	51
Figure 18 : les champignons A : la Fumagine, B : l'Odium (Photo originale)	53
Figure 19 : les étapes de préparation de milieu de culture (Photo originale)	55
Figure 20 : ensemencement des champignons (Photo originale)	56

Figure 21 : préparation des doses d'huiles essentielles (Photo originale)	58
Figure 22 : repiquage de la fumagine (Photo originale)	59
Figure 23 : repiquage de l'Oïdium (Photo originale)	59
Figure 24 : les échantillons après le repiquage (Photo originale)	60
Figure 25 : la présence des deux champignons en une seul boîte de Pétri (Photo originale) 60	
Figure 26 : : l'effet de l'huile essentielle d'orange lavée sur la croissance de l'Oïdium et la fumagine (photo original)	65
Figure 27 : : l'effet de l'huile essentielle d'orange non lavée sur la croissance de l'Oïdium et la fumagine (photo original)	66
Figure 28 : : l'effet de l'huile essentielle de citrons non lavés non traités sur la croissance de l'Oïdium et la fumagine (photo original)	68
Figure 29 : : l'effet de l'huile essentielle de citrons non lavés traités sur la croissance de l'Oïdium et la fumagine (photo original)	68
Figure 30 : : l'effet de l'huile essentielle de feuilles d'oranges sur la croissance de l'Oïdium et la fumagine (photo original)	70

Liste des tableaux

	Page
Tableau 01 : Principaux pays et zones producteurs d'agrumes en 2012	4
Tableau 02 : les familles chimiques des pesticides et leurs caractéristiques	18
Tableau 03 : Paramètres géographiques et bioclimatiques des sites de collecte des échantillons	41
Tableau 04 : caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles d'agrumes	61
Tableau 05 : rendements d'extraction	62
Tableau 06 : l'effet de l'huile essentielle d'orange lavée et non lavée sur la croissance de l'Oïdium	66
Tableau 07 : l'effet de l'huile essentielle d'orange lavée et non lavée sur la croissance de la fumagine	66
Tableau 08 : l'effet de l'huile essentielle de citron lavé non traité et non lavé sur la croissance de la fumagine	67
Tableau 09 : l'effet de l'huile essentielle de citron lavé non traité et non lavé sur la croissance de l'oïdium	69
Tableau 10 : l'effet de l'huile essentielle de feuilles d'oranges sur la croissance de l'Oïdium	70
Tableau 11 : l'effet de l'huile essentielle de feuilles d'oranges sur la croissance de la fumagine	70

Table des matières

« Utilisation des huiles essentielles des agrumes dans la lutte biologique contre l'oïdium et la fumagine »

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

Liste des tableaux et des figures

Table des matières

Partie bibliographique

	Page
Introduction	1
<u>Chapitre I : les agrumes</u>	
I.1. Origine et évolution des agrumes	3
I.2. Production des agrumes dans le monde et en Algérie	3
I.3. Importance des agrumes	5
I.4. Taxonomie des agrumes	6
I.5. Morphologie des agrumes	7
I.5.1. La partie souterraine	8
I.5.2. La partie aérienne	8
I.6. Cycle biologique des agrumes	8
I.6.1. Période d'élevage en pépinière	9

I.6.2. Période improductive	9
I.6.3. Période d'entrée en production	9
I.6.4. Période de pleine production	9
I.6.5. Période de vieillissement et de décrépitude	9
I.7. Cycle végétatif annuel de l'arbre des agrumes	9
I.7.1. Croissance végétative	9
I.7.1.1. Première poussée de sève (poussée de printemps)	10
I.7.1.2. Deuxième poussée de sève (poussée d'été)	10
I.7.1.3. Troisième poussée de sève (poussée d'automne)	10
I.7.2. Développement floral	10
I.7.2.1. La floraison	10
I.7.2.2. Pollinisation	10
I.7.2.3. Fécondation	10
I.7.3. Développement des fruits	11
I.7.3.1. La nouaison	11
I.7.3.2. Le stade de grossissement	11
I.7.3.3. La maturation	11
I.8. Exigences de la culture	11
I.8.1. Exigences édaphiques	11
I.8.2. Exigences climatiques	11
a) La température	11
b) la pluviométrie	11
c) l'humidité	12

d) le vent	12
e) le sol	12
I.9. Les techniques culturales	12
I.9.1. Entretien du sol	12
I.9.2. L'irrigation	13
I.9.3. Taille d'entretien	13
I.9.4. Récolte et conservation	13
I.9.5. La protection phytosanitaire	13

Chapitre II : les pesticides et les maladies fongiques

II.1. Les pesticides	15
II.1.1. Définition	15
II.1.2. Aperçu historique	15
II.1.3. Origine chimique	15
II.1.4. Composition d'un pesticide	16
II.1.5. Regroupement des pesticides	16
II.1.5.1. Ses Formes	16
II.1.5.2. Catégories d'usage	17
II.1.5.3. Degrés de toxicité	17
II.1.5.4. Groupe chimique	18
II.1.6. Les familles chimiques des pesticides	18
II.1.7. Propriétés des pesticides	20
II.1.7.1. Propriétés physico-chimiques	20
II.1.7.2. Propriétés chimiques	20

II.1.7.3. Propriétés spectroscopiques	21
II.1.7.4. Propriétés biologiques	21
II.1.8. L'utilisation des pesticides et leur effet	21
II.1.9. Les pesticides en Algérie	23
II.1.10. Minimisation des risques	23
II.1.11. Effet de lavage	24
II.1.12. Degré de pénétration des pesticides	24
II.1.13. Le comportement des produits chimiques dans la plante	25
II.1.13.1. Le comportement des pesticides sur les parties aériennes de la plante	25
II.1.13.1.1. L'absorption	25
II.1.13.1.2. L'adsorption en surface	25
II.1.13.1.3. La volatilisation	25
II.1.13.1.4. Le lessivage	25
II.1.13.1.5. La dégradation	26
II.1.13.2. Le comportement des pesticides à l'intérieur de la plante	26
II.1.13.2.1. Translocation	26
II.1.13.2.2 Stockage	26
II.1.13.2.3. Métabolisme	26
II.1.13.2.4. L'exsudation	26
II.1.13.3. Le comportement des pesticides sur les racines	26
II.1.14. Techniques d'analyse des résidus des pesticides	27
II.2. Les maladies fongiques	28
II.2.1. Classification du monde fongique	29

II.2.3. Quelques exemples sur les maladies fongiques	29
II.2.3.1. L'Oïdium	29
II.2.3.1.1. Ses dégâts	30
II.2.3.1.2. Facteurs favorables de développement de l'oïdium	30
a) Effet de la chaleur	30
b) Effet d'humidité	31
II.2.3.2. La fumagine	31
II.2.3.2.1 Ses dégâts	32
II.2.3.2.2. Facteurs favorables de développement de fumagine	32

Chapitre II : les huiles essentielles

III.1. Définition et Localisation histologique	33
III.2. Composition chimique des huiles essentielles	33
III.3. Méthodes d'extraction	34
III.3.1. Certaines méthodes traditionnelles	5
III.3.1.1. La pression à froid	35
III.3.1.2. Distillation	35
III.3.1.3. L'extraction par solvant	36
III.4. Les paramètres influençant l'extraction	37
III.5. Conservation des huiles essentiels	37
III.6. Propriétés des huiles essentielles	38
III.6.1. Antiviraux	38
III.6.2. Insecticides	38
III.6.3. Activité antioxydant	38

III.6.4. Activité anticancéreuse	39
III.6.5. Antifongique et antibactérienne	39

Partie expérimentale

Chapitre IV : matériel et méthodes

IV.1. L'objectif de l'étude	41
IV.2. Structure de stage	41
IV.3. Présentation de la région d'étude	41
IV.4. Matériel végétal	42
IV.4.1. Les oranges	42
IV.4.2. Les citrons	43
IV.4.3. Les feuilles	44
IV.5. Utilisation des pesticides	45
IV.6. Appareillage et outils de laboratoire	46
IV.7. Méthodes	47
IV.7.1. Préparations des échantillons	47
IV.7.2. Extractions d'huiles essentielles	49
IV.7.2.1. Mode opératoire de la méthode de Clevenger	50
IV.7.2.2. Mode opératoire de la méthode classique	50
IV.7.3. Conservation des huiles essentielles	52
IV.7.4. Rendement d'extraction	52
IV.8. Matériel fongique	53
IV.9. Appareillage et outils de laboratoire	53

IV.10. Méthodes	55
IV.10.1. Préparation de milieu de culture	55
IV.10.2. L'ensemencement des champignons	56
IV.10.3. La concentration minimale inhibitrice	56
IV.10.4. Préparation des doses	57
IV.10.5. Repiquage des champignons	58

Chapitre IV : résultats et discussions

V.1. Propriétés organoleptiques des huiles essentielles	61
V.2. Rendement d'extraction des huiles essentielles des plantes étudiées	61
V.2.1. Rendements des huiles essentielles des écorces d'oranges	62
V.2.2. Rendements des huiles essentielles des écorces des citrons	63
V.2.3. Rendements des huiles essentielles des feuilles d'oranges	64
V.3. Propriétés antifongiques des huiles essentielles	64
V.3.1. Huile essentielle d'oranges	65
V.3.2. Étude comparative	67
V.3.4. Huile essentielle de citron	67
V.3.5. Étude comparative	69
V.3.6. Huile essentielle de feuilles d'oranges	69
Conclusion	72
Références bibliographiques	74

INTRODUCTION GENERALE

Les agrumes sont des fruits appartenant à la famille des Rutacées, et sont caractérisés par leur pulpe juteuse et leur peau épaisse. Les variétés d'agrumes les plus courantes incluent les oranges, les citrons, les pamplemousses et les mandarines. Riches en vitamine C, en fibres et en antioxydants, les agrumes sont appréciés pour leur goût acidulé et rafraîchissant, ainsi que pour leurs nombreux bienfaits pour la santé. Elles sont largement cultivées et consommées dans le monde entier, ce qui en fait l'une des cultures fruitières les plus importantes sur le plan économique. Ces fruits sont principalement cultivés dans les régions tropicales et subtropicales en raison de leur sensibilité au gel et de la nécessité de températures chaudes pour mûrir correctement [41].

Cependant, la culture des agrumes peut nécessiter l'utilisation de pesticides pour protéger les arbres des maladies, des insectes et des mauvaises herbes. Les pesticides sont des substances chimiques utilisées pour prévenir, détruire ou repousser les organismes considérés comme nuisibles aux cultures. Bien que les pesticides puissent être efficaces pour protéger les cultures, ils soulèvent également des préoccupations en matière de santé humaine et d'environnement [40].

Certains pesticides utilisés dans la culture des agrumes peuvent persister sur les fruits, même après le lavage, ce qui soulève des inquiétudes quant à leur impact sur la santé. Par conséquent, de nombreux consommateurs préfèrent acheter des agrumes biologiques, qui sont cultivés sans l'utilisation de pesticides synthétiques. Les agrumes biologiques sont certifiés par des organismes de réglementation et sont cultivés en utilisant des méthodes plus respectueuses de l'environnement [53].

Une alternative naturelle et populaire aux pesticides synthétiques est l'utilisation d'huiles essentielles d'agrumes. Les huiles essentielles d'agrumes sont extraites des écorces des fruits et sont appréciées pour leur arôme frais et leurs propriétés antiseptiques, antifongiques et antibactériennes. Elles sont utilisées dans divers produits, tels que les produits de nettoyage, les parfums, les cosmétiques et les diffuseurs d'arômes [9].

Ce mémoire vise à approfondir les aspects multiples des agrumes, en se concentrant sur leur importance mondiale, le potentiel thérapeutique et surtout phytosanitaire des huiles essentielles d'agrumes et les défis liés à l'utilisation des pesticides. En examinant ces sujets interconnectés, cette étude entend contribuer aux connaissances existantes sur les agrumes, les

huiles essentielles et les pratiques agricoles durables, favorisant ainsi la conservation de la biodiversité des agrumes et le bien-être de l'environnement et des populations humaines.

Ce travail vise à effectuer une évaluation In vitro du pouvoir antifongique des huiles essentielles d'agrumes, dans des conditions rigoureusement contrôlées. L'objectif est de déterminer leur efficacité contre différents champignons de cultures, en particulier l'Oïdium de la vigne et la Fumagine, nous avons employé la méthode de la concentration minimale inhibitrice (CMI) pour mesurer les effets des huiles essentielles extraites, Les résultats obtenus ont démontré une activité antifongique significative des huiles essentielles d'agrumes testées, soulignant leur potentiel dans la lutte contre l'oïdium et la fumagine.

CHAPITRE I

LES AGRUMES

I.1. Origine et évolution des agrumes

Les agrumes les plus connus parmi les six genres botaniques de la famille des Rutacées sont originaires du sud-Est asiatique et incluent *Citrus*, *Fortunella* et *Poncirus*. Les agrumes appartenant aux genres *Poncirus* et *Fortunella* ont émergé dans les zones septentrionales de l'est de la chine, tandis que ceux du genre *Citrus* sont issus de régions méridionales entre l'Inde et l'Indonésie. La diversité des agrumes de genre *Citrus* est attribuable à quatre entités taxonomiques, soit *Citrus maxima*, *C. reticulata*, *C. medica* et les *Papedas*. Les trois premières espèces ont évolué séparément dans des zones géographiques distinctes, acquérant des caractéristiques spécifiques telles que la taille et la couleur du fruit, la résistance aux contraintes environnementales, la reproduction asexuée, ainsi que la taille du génome (avec un nombre identique de 18 chromosomes). Par la suite, des croisements sexués se sont produits dans des zones de peuplement mixtes, engendrant de nouvelles espèces hybrides telles que l'oranger, le bigaradier, le citronnier et le limettier, qui présentent également des caractéristiques spécifiques [49].

I.2. Production des agrumes dans le monde et en Algérie

Dans le monde, La culture des agrumes est l'une des cultures fruitières les plus importantes [5], avec une production dépassant les 131 millions de tonnes [40].

Bien que les agrumes soient cultivés dans plus de 140 pays, la Chine, le Brésil, les États-Unis et la région méditerranéenne sont responsables de plus de 64% de la production mondiale (**tableau 01**), [41].

Tableau 01 : Principaux pays et zones producteurs d'agrumes en 2012 [41].

Régions de production	Production (tonnes)	Part de la production mondiale (%)
Chine	31 700 000	24.1
Bassin méditerranéen	22 600 263	17.2
Brésil	20 258 500	15.4
Etats unies	10 619 500	8.1

Dans la région méditerranéenne, la production est principalement destinée au marché des fruits frais. En revanche, la majeure partie de la production dans les régions tropicales est utilisée pour la transformation, représentant environ un tiers de la production totale, et le jus d'orange en est le principal produit. Il convient de noter que la plus haute qualité est atteinte dans la région méditerranéenne, qui est l'une des principales zones de production de variétés diversifiées d'agrumes frais [32].

En Algérie, les agrumes occupent la deuxième place en termes de nombre d'arbres, juste après les oliviers. Cependant, en ce qui concerne leur importance économique, ils se positionnent clairement en tête de nos cultures fruitières. L'Algérie possède une collection variétale exceptionnelle de 256 variétés d'agrumes, ce qui représente un précieux patrimoine génétique [68].

L'agrumiculture est répartie dans différentes régions et variétés (**figure 01**). Les agrumes revêtent une importance économique considérable pour de nombreux pays, et l'Algérie ne fait pas exception. Ils constituent une source d'emploi et d'activité économique non seulement dans le secteur agricole, mais également dans des domaines connexes tels que l'emballage, la transformation, le transport, etc. [44].

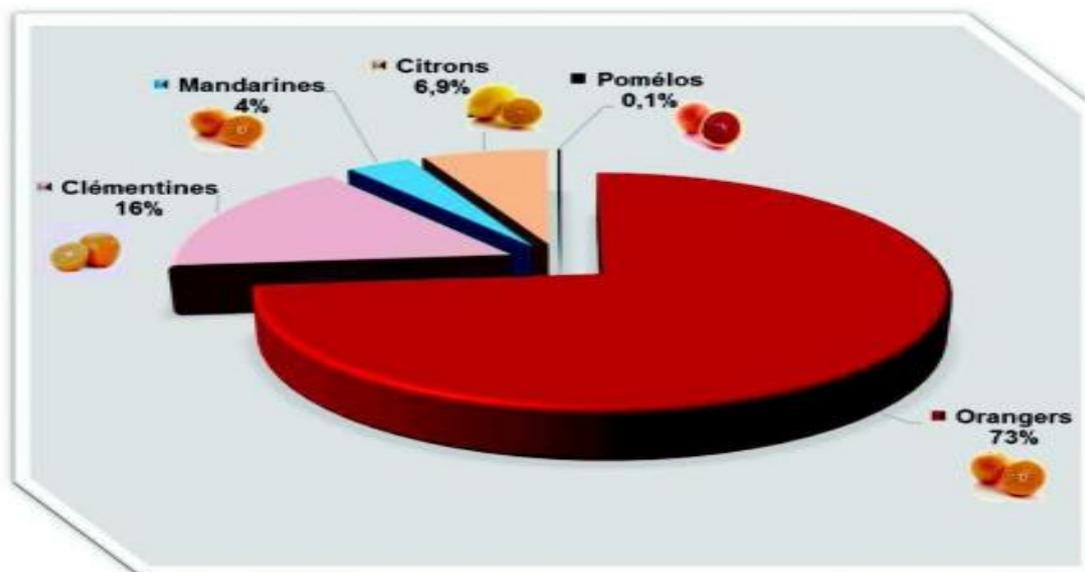


Figure 01 : Répartition des superficies agrumicoles par groupe de variétés [52].

Cette culture revêt une importance stratégique pour l'approvisionnement en fruits de l'Algérie, ainsi que pour les débouchés sur le marché international des produits agrumicoles.

Les vergers d'agrumes en Algérie sont principalement concentrés dans les plaines littorales et sublittorales, où les conditions de sol et de climat sont favorables [107].

Voici les principales zones agrumicoles en Algérie [44], [52], [106], [107] :

- La plaine de la Mitidja.
- Le périmètre de la Mina et du Cas Chéelif.
- Le périmètre de l'Habra.
- La plaine d'Annaba.
- La plaine de Skikda.

I.3. Importance des agrumes

Les agrumes possèdent des propriétés bénéfiques pour la santé et contribuent à prévenir diverses maladies, notamment les maladies cardiovasculaires, les cancers et les troubles intestinaux. Leur composition, qui est riche en minéraux, polyphénols, vitamines, fibres,

flavonoïdes et limonoïdes, en fait des sources essentielles de nutriments et de composés bioactifs [65].

Les agrumes sont également exploités pour l'extraction d'huiles essentielles, qui sont ensuite utilisées dans la fabrication de produits cosmétiques. Elles sont utilisées comme arômes dans les parfums, les cosmétiques, l'industrie alimentaire et les produits de nettoyage ménagers. Par ailleurs, la pulpe, un sous-produit de l'extraction des jus d'agrumes, est utilisée comme alimentation animale [82]. D'un point de vue économique, les agrumes jouent un rôle essentiel en générant d'importantes recettes pour tous les acteurs de la filière, tels que les agriculteurs, les industriels et les exportateurs. Les oranges représentent la part prédominante des fruits frais exportés [101].

En effet, l'Afrique du Sud, l'Égypte, l'Espagne, les États-Unis, la Turquie et l'Union européenne sont responsables de l'exportation de 85% des oranges [52], [81].

I.4. Taxonomie des agrumes

La classification des agrumes est réputée pour être compliquée et source de divergences. La taxonomie des *Citrus* est toujours assez floue et controversée, vraisemblablement en raison de la grande diversité agromorphologique de ces plantes, de la fréquence élevée de mutations et de leur large compatibilité sexuelle. Selon la classification de **Swingle** [99], les agrumes font partie des plantes de :

Règne : Végétale

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Eudicotylédones

Ordre : Rutales

Famille : Rutacées

Genres principaux : *Citrus*, *Fortunella* et *Poncirus*.

Le genre *Fortunella* comprend six espèces, parmi lesquelles seules deux sont cultivées. *Fortunella Japonica* et *Fortunella Margarita*, qui produisent des fruits connus sous le nom de Kumquats. Le genre *Poncirus* ne comprend qu'une seule espèce, le *Poncirus trifoliata*, utilisée

exclusivement comme porte-greffe. Les fruits ne sont pas comestibles, les feuilles sont composées de trois folioles et le feuillage est caduc. Le genre *Citrus* regroupe les principales espèces cultivées d'agrumes. La diversité génétique des agrumes se manifeste par une variabilité agromorphologique qui inclut les caractères morphologiques tels que la forme, la couleur et la taille, comme illustré dans la **figure 02**. Les caractères organoleptiques et les résistances aux facteurs biotiques et abiotiques sont également des manifestations de cette diversité génétique. Outre la variabilité agromorphologique, les agrumes présentent également une variabilité biochimique et moléculaire qui est souvent utilisée pour étudier les relations phylogéniques entre les différentes espèces [52], [56].



Figure 02 : la diversité génétique des agrumes [site 5].

I.5. Morphologie des agrumes

Les agrumes, fréquemment des petits arbres ou arbustes, ont une hauteur comprise généralement entre 5 et 10 mètres. Ils présentent souvent des épines et leur feuillage dense persiste tout au long de l'année. Ces agrumes produisent des fruits de formes et de tailles variées [52], [56], [57], [75]. Les principales caractéristiques distinctives du genre *Citrus* peuvent être résumées par :

I.5.1. La partie souterraine

Les racines primaires des agrumes sont robustes et jouent un rôle essentiel dans l'ancrage de l'arbre, en particulier compte tenu de la densité et de la persistance de leur feuillage, ce qui les expose à des vents forts. Les racines principales se caractérisent par un pivot qui peut s'étendre jusqu'à 2 mètres sous la surface du sol.

Les racines secondaires sont responsables de l'absorption des éléments minéraux essentiels à la nutrition de l'arbre en tant que source de nutriments [52], [56], [57], [75].

I.5.2. La partie aérienne

Le tronc des agrumes ne mesure généralement pas plus d'un mètre de hauteur, car il est régulièrement taillé pour encourager la croissance des branches charpentières. La greffe est effectuée au niveau du tronc, qui sert de point de référence pour cette opération. Les ramifications sont contrôlées par la taille de formation, limitées à 3, 4 ou 5 branches principales appelées charpentières. Ces branches se divisent ensuite en sous-charpentières qui portent à la fois les rameaux végétatifs et les rameaux fructifères. Les feuilles sont généralement persistantes, simple, alternes, et peuvent avoir une forme allongée. Leur apparence peut varier en fonction de l'espèce et de la variété, avec des feuilles entières ou dentées. Les fleurs sont hermaphrodites, et leur structure ne présente pas une organisation très spécifique. Elles sont composées de 3 à 5 sépales, le plus souvent 5, de 4 à 8 pétales, généralement 5, et d'environ 20 à 40 étamines, qui peuvent être plus ou moins fusionnées entre elles. Le fruit présente une grande variabilité en termes de couleur, de forme, de taille, de jus et de période de maturité, selon l'espèce et les différentes variétés. Il est composé de quartiers remplis de petites vésicules très juteuses. Le nombre de pépins, l'acidité, le taux de sucre et la proportion de jus sont des critères essentiels pour évaluer la qualité du fruit. L'épiderme, également connu sous le nom d'écorce, peut présenter des couleurs jaunes, vertes ou oranges et renferme des glandes riches en huile essentielle [52], [56], [57], [75].

I.6. Cycle biologique des agrumes

La vie d'un verger d'agrumes commence par la plantation des jeunes plants provenant de la pépinière. De manière schématique, elle se divise en cinq phases, qui s'étendent sur des périodes variables et présentent un intérêt très différent pour l'arboriculture [58].

I.6.1. Période d'élevage en pépinière

La séquence débute par la plantation des graines pour produire les porte-greffes, se poursuit par la greffe de la variété sur le porte-greffe, et se conclut par l'élevage des jeunes plants [27].

I.6.2. Période improductive

Le jeune plant, provenant de la pépinière, est transplanté sur le terrain de plantation. Une fois installé, il développe son système racinaire et sa structure foliaire. Cette phase dure généralement de 2 à 3 ans [27]. Pendant cette période, la jeune plante ne produit pratiquement pas de fruit, ce qui la rend non productive [58].

I.6.3. Période d'entrée en production

Les premières floraisons marquent le début des premières fructifications. L'arbre fleurit de plus en plus au fil du temps, sur une période de 5 à 7 ans [27]. La mise à fruit devient progressivement plus significative, variant selon les espèces et les variétés [58].

I.6.4. Période de pleine production

C'est la période la plus favorable pour l'agrumiculteur. Le développement végétatif de l'arbre se stabilise, ce qui permet à l'arbre de consacrer son énergie à la floraison, à la fructification et au renouvellement de ses branches, feuilles et racines. Grâce à des soins appropriés, l'agrumiculteur cherche à prolonger au maximum cette période ne dépasse généralement pas une vingtaine d'années [27].

I.6.5. Période de vieillissement et de décrépitude

La production des arbres, qui sont en place depuis 30 à 40 ans, commence progressivement à diminuer. Le renouvellement des pousses fructifères devient plus lent et la densité de la frondaison diminue [27], [57], [58].

I.7. Cycle végétatif annuel de l'arbre des agrumes

I.7.1. Croissance végétative : Les agrumes sont généralement des arbres à feuillage persistant, à l'exception du *Poncirus trifoliata* qui perd ses feuilles en hiver [16], ils se

distinguent par une croissance constante de leur feuillage tout au long de l'année, marquée par l'apparition de nouvelles branches, appelées pousses de sève, à trois périodes distinctes.

I.7.1.1. Première poussée de sève (poussé de printemps) : Entre fin février et début mai, les branches s'étirent et produisent de jeune feuille d'un vert clair. C'est à cette période, cette poussée de croissance est la plus significative en termes de masse végétative développée.

I.7.1.2. Deuxième poussée de sève (poussée d'été) : Entre juillet et août, de nouvelles pousses se forment, mais elles sont généralement moins importantes que celles du printemps et de l'automne.

I.7.1.3. Troisième poussée de sève (poussée d'automne) : De septembre à novembre, la période assure le renouvellement du feuillage, avec trois poussées distinctes qui sont le résultat de trois flux des sèves régulant le développement végétatif de l'arbre. Les arbres ne passent pas par une phase de dormance, mais plutôt par un ralentissement de leur activité végétative [16], [71].

I.7.2. Développement floral : Le processus de développement floral comprend essentiellement trois étapes clés : la floraison, la pollinisation et la fécondation.

I.7.2.1. La floraison : La période de floraison s'étend généralement de fin mars au début mai, bien que chez certaines espèces elle puisse être échelonnée tout au long de l'année. C'est le cas des *Limettiers* et des *Cédratiers*. Selon Praloran, [87], la proportion de fleurs qui aboutissent à des fruits murs est relativement faible. En effet, seulement 1% des 60000 fleurs sont nécessaires pour assurer une récolte de 100 kg par arbre [16].

I.7.2.2. Pollinisation : Lorsqu'ils atteignent leur pleine floraison, les anthères des étamines s'ouvrent, libérant les grains de pollen. Ces grains de pollen sont transportés par le vent ou par des insectes, en particulier les abeilles. Le développement parthénocarpique du fruit est initié par la germination du grain de pollen sur le stigmate, sans qu'une fécondation complète ne se produise [50].

I.7.2.3. Fécondation : Les espèces et variétés qui sont riches en pépins garantissent une fécondation complète. Une fois que la germination du pollen a eu lieu sur le stigmate, le tube pollinique se développe à travers le style et aboutit à la fusion des deux gamètes (anthérozoïde et oosphère). Cela marque la phase finale de la fécondation [73].

I.7.3. Développement des fruits : Le développement des fruits passe par différentes étapes : la nouaison, le grossissement et la maturation.

I.7.3.1. La nouaison : Marque la première phase du développement du fruit, immédiatement après la fécondation [50].

I.7.3.2. Le stade de grossissement : qui se déroule rapidement entre mai et juin, nécessite une quantité suffisante d'eau et de nutriments, notamment d'azote (N), pour permettre au fruit de se développer avec une taille adéquate et une qualité optimale [73].

I.7.3.3. La maturation : quant à elle, se déroule sur une période échelonnée entre juillet et septembre. Pendant cette période, les fruits continuent de se développer en taille jusqu'à atteindre leur calibre définitif en octobre [16], [50], [71], [73], [75], [87].

I.8. Exigences de la culture

I.8.1. Exigences édaphiques : Selon Loussert [71], les caractéristiques essentielles d'un sol agrumicole de qualité sont les suivantes :

- ✓ La perméabilité doit être comprise entre 10 et 30 cm/h.
- ✓ Le pH du sol doit se situer entre 6 et 7.
- ✓ L'écartement entre les plantations doit être de 4 à 5 mètres.
- ✓ Le taux de calcaire doit se situer entre 5% et 10%.
- ✓ Une teneur satisfaisante en éléments assimilables tels que le P₂O₅ et le K₂O.

I.8.2. Exigences climatiques

a) **La température :** Les agrumes sont vulnérables à des températures inférieures à 0°C, mais ils peuvent tolérer des températures élevées dépassant 30°C, à condition de recevoir une irrigation adéquate [70]. Les températures moyennes annuelles optimales se situent autour de 14°C. En hiver, la température moyenne est d'environ 10°C, tandis qu'en été, elle atteint environ 22°C [17], [71], [70], [77], [106].

b) **La pluviométrie :** Les agrumes figurent parmi les arbres fruitiers les plus exigeants en termes de besoins en eau. Leur consommation annuelle varie de 1000 à 1200 mm, dont 600 mm pendant la période estivale. Ces besoins en eau, en particulier dans les zones méditerranéennes, ne peuvent être satisfaits que par l'irrigation [77].

c) **L'humidité** : Son impact sur le comportement des agrumes semble relativement faible. Cependant, elle peut avoir des conséquences sur le développement de certains parasites, ainsi que sur l'apparition de la fumagine et des moisissures [71]. Certains ravageurs tels que les cochenilles peuvent se multiplier en colonies importantes. Lorsque l'humidité est basse, les agrumes respirent intensément, ce qui entraîne une augmentation de leurs besoins en eau.

d) **Le vent** : Selon Blondel [17], le vent est considéré comme l'ennemi le plus redoutable des agrumes. Les dégâts qu'il provoque dans les jeunes plantations sont considérables en raison de la chute précoce des fruits. Afin de protéger les oranges des vents, il est recommandé de mettre en place des brise-vents composés de *Casuarina*, de *Cyprès*, d'*Acacia* et de *Pinus* [70].

e) **Le sol** : Les agrumes prospèrent dans des sols légers, perméables, profonds et sains. Il est préférable d'éviter les sols riches en calcaire actif, dont le taux ne doit pas dépasser 12 %. Le pH du sol idéal se situe près de la neutralité. Lorsque le pH devient alcalin, l'absorption des oligo-éléments devient inefficace et les agrumes peuvent présenter des carences en ces éléments [17], [71], [70], [77], [106].

I.9. Les techniques culturales

I.9.1. Entretien du sol

L'entretien du sol joue un rôle essentiel dans l'amélioration de sa perméabilité, la réduction des pertes d'eau par évaporation, la garantie d'une bonne aération et l'élimination des mauvaises herbes. Pour préserver la fragilité du système racinaire, il est recommandé de privilégier des méthodes de travail superficiel plutôt que des labours profonds. Il est également important d'éviter le compactage du sol causé par l'utilisation de tracteurs, notamment après les périodes d'irrigation ou de pluie. Il est conseillé d'alterner les opérations mécaniques en utilisant des outils tels que des disques et des dents afin de prévenir la formation d'une couche de labour imperméable. Dans le cas d'un sol compact, un sous-solage devrait être effectué tous les quatre ans pour briser cette couche. Il est recommandé d'intervenir avant la floraison des mauvaises herbes (site 1), (site 2).

I.9.2. L'irrigation

Dans notre climat, il est essentiel d'irriguer dès le début du printemps jusqu'à l'automne, car c'est à cette période que la demande climatique (évapotranspiration de la culture) dépasse la réserve en eau du sol. Un déficit hydrique peut avoir des répercussions sur la floraison, la nouaison et la taille finale des fruits, ce qui souligne l'importance de respecter soigneusement les quantités d'eau et les périodes d'irrigation. Il est recommandé d'éviter tout contact direct de l'eau avec le tronc de l'arbre (pour prévenir les risques de développement de la gommose à *phytophthora*). L'utilisation d'un système d'irrigation localisée, tel que le goutte-à-goutte, est préconisée (site 1), (site 2).

I.9.3. Taille d'entretien

Il est recommandé de réaliser une taille par éclaircie. L'objectif est de dégager l'intérieur des arbres sans enlever tous les rameaux qui se dirigent vers le centre et garnissent les branches. À partir des 3 à 5 branches charpentières formées initialement, on doit obtenir, par le biais de ramifications successives à différentes hauteurs, un ensemble de sous-charpentières espacées d'environ 30 cm dans toutes les directions. La taille doit être effectuée entre la période de cueillette et celle de la floraison (site 1), (site 2).

I.9.4. Récolte et conservation

Il est essentiel de récolter les fruits avec une grande attention, car les opérations de cueillette peuvent causer des lésions et des blessures qui diminuent la qualité des fruits et les rendent vulnérables aux altérations fongiques. La cueillette doit débiter lorsque les fruits sont secs. Avant d'être exportées, les oranges doivent subir plusieurs traitements tels que le déverdisage, le lavage, la désinfection, le séchage, l'enrobage de cire, le calibrage et la mise en caisse. Une fois placées dans une chambre froide à une température de 3 à 8°C et une humidité relative de 85 à 90%, les oranges peuvent être conservées pendant plusieurs mois (site 1), (site 2).

I.9.5. La protection phytosanitaire

Depuis les débuts de la culture des agrumes, les insectes et les acariens ont posé des problèmes aux producteurs. Étant donné de nombreux d'entre eux sont nuisibles pour les arbres et les fruits, l'industrie des agrumes et les entomologistes ont rapidement compris l'importance d'étudier leur biologie et de trouver des moyens de les contrôler. Il y a près d'un siècle, des

recherches ont été entreprises dans ce domaine, ce qui a grandement contribué au développement des méthodes de lutte contre les parasites. Le citronnier, avec son feuillage persistant et son adaptation à des climats doux, est particulièrement vulnérable aux attaques de ravageurs. Cependant les conditions favorables rendent le contrôle difficile, car les populations de ravageurs sont en constante augmentation. De plus, étant donné que les arbres n'entrent pas en période de dormance hivernale, de nombreux insecticides efficaces dans d'autres cas ne peuvent pas être utilisés. Certains ravageurs ont un impact continu sur les arbres, tandis que d'autres affectent chaque année la quantité et la qualité de la récolte de fruits. Bien que différents pays aient leurs propres normes de qualité des fruits, il est indéniable que les pratiques de lutte antiparasitaires les plus efficaces sont associées à une meilleure qualité. Les mesures visant à réduire les dommages causés par les ravageurs des agrumes ont également eu un impact significatif sur le domaine plus vaste de l'entomologie sur le plan économique. Les progrès réalisés incluent la lutte biologique et chimique, le développement de pulvérisation à base d'huile de pétrole, la fumigation des arbres, la quarantaine des plantes, l'éradication des insectes, l'étude de résistance des insectes aux insecticides intégrés, ainsi que l'amélioration des techniques et des machines d'application des insecticides [91]

CHAPITRE II

LES PESTICIDES ET LES
MALADIES FONGIQUES

II.1. Les pesticides

II.1.1. Définition

Bien que le terme soit couramment utilisé, il n'existe pas toujours de consensus sur sa définition précise. Le code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) fournit une définition qui inclut toute substance ou association de substances destinées à repousser, dissuader ou combattre les ravageurs, y compris les vecteurs de maladies, ainsi que les espèces indésirables de plantes ou d'animaux causant des dommages ou se montrant préjudiciables pendant la production, la transformation, le stockage, le transport ou la commercialisation de denrées alimentaires, de produits agricoles, de bois, et de produits ligneux, ou d'aliment pour animaux. Cette définition comprend également les substances utilisées comme régulateurs de croissance des plantes, défoliants, agents de dessiccation et agents d'éclaircissage des fruits, ainsi que les substances appliquées aux cultures avant ou après la récolte pour protéger les produits contre la dégradation pendant l'entreposage et le transport [21].

II.1.2. Aperçu historique

Les pesticides ne sont en aucun cas une nouvelle invention. En fait, l'utilisation intentionnelle de pesticides remonte à des milliers d'années lorsque les sumériens, les grecs et les romains tuaient les ravageurs en utilisant divers composés tels que le soufre, le mercure, l'arsenic, le cuivre ou des extraits de plantes. Cependant, les résultats étaient souvent médiocres en raison de la chimie primitive et les méthodes d'application insuffisantes. Une émergence rapide de l'utilisation des pesticides a commencé principalement après la Seconde Guerre mondiale avec l'introduction du DDT, de l'aldrine BHC, de la dieldrine, de l'endrine et du 2,4-D. ces nouveaux produits chimiques étaient efficaces, faciles à utiliser, peu coûteux et donc extrêmement populaires. Cependant, sous une pression chimique constante, certains ravageurs sont devenus génétiquement résistants aux pesticides, des organismes non ciblés ont été endommagés et des résidus de pesticides sont souvent apparus à des endroits inattendus [85].

II.1.3. Origine chimique

Les pesticides agricoles peuvent être classés en deux catégories : les pesticides organiques et les pesticides inorganiques. Les pesticides organiques sont ceux qui contiennent du carbone, et sont eux même divisés en 3 groupes : les pesticides de synthèse, qui sont développés en

laboratoire et produits en usine, les pesticides naturels qui proviennent d'origine animale, microbienne ou végétale, ainsi que les micro-organismes. Tandis que les inorganiques tels que le sulfure, l'arséniate de plomb et les composés de mercure, ont été les premiers produits chimiques utilisés pour lutter contre les fléaux, mais leur utilisation a des effets toxiques sur l'environnement et la santé, car ils ne se dégradent pas [18].

II.1.4. Composition d'un pesticide

Lorsqu'il s'agit de pesticides, on peut distinguer deux types de composants : l'ingrédient actif, qui est le composant principal du pesticide exerçant une action générale ou spécifique sur les organismes nuisibles, et son nom se trouve sur l'étiquette du produit. Et les produits de formulation (adjuvants) qui permettent de diluer les matières actives pour pouvoir les épandre plus facilement, ils permettent aussi d'améliorer les propriétés physiques des pesticides, contrairement aux ingrédients actifs, les adjuvants ne sont pas mentionnés sur l'étiquette du pesticide [26].

Il n'est pas possible d'utiliser la matière active à elle seule, car elle doit être associée à des ingrédients diluants ou à des adjuvants pour la rendre pratique et efficace à utiliser [18].

II.1.5. Regroupement des pesticides

Un pesticide peut être regroupé selon :

II.1.5.1. Ses Formes

Les pesticides sont élaborés sous diverses formes, que ce soit sous forme liquide, solide, ou gazeuse. Les formulations liquides par exemple incluent les suspensions concentrées, les solutions, les concentrés émulsifiables, les suspensions en microcapsules et les aérosols. Quant aux préparations solides, elles se présentent sous forme de poussières, de particules, de granulés, de pastilles, de granules solubles, de poudre solubles, d'appâts, de tablettes, de comprimés, de pâtes granulées et de poudres mouillables. Les pesticides gazeux, quant à eux, sont généralement des fumigants (pouvant être vendus sous forme de liquide ou gaz). Certains produits sont prêts à être utilisés lorsqu'ils sont mis sur le marché, ce qui signifie qu'ils ne nécessitent aucune préparation avant leur application. En revanche, d'autres nécessitent une préparation, telle que le mélange dans un solvant pour ramener la concentration aux niveaux recommandés. Sur l'étiquette du pesticide, les abréviations codées sont souvent accompagnées du nom commercial pour indiquer le type de formulation du pesticide utilisé [13].

II.1.5.2. Catégories d'usage

• **Fongicides** : ils sont utilisés pour prévenir ou contrôler les maladies des plantes causées par des champignons phytopathogènes et sont principalement utilisés comme désinfectants fongicides pour les semences ou les sols.

• **Herbicides** : ce sont des désherbants, utilisés pour éliminer les plantes indésirables ou empêcher leur croissance. Ils peuvent être de différents types, qui se distinguent par leur mode d'action [76].

• **Insecticides** : les insecticides, qu'ils soient d'origine chimique ou biologique, sont employés pour combattre les vecteurs en agriculture ainsi que dans de nombreux autres domaines [51].

• **Acaricides** : ce sont des produits chimiques utilisés pour lutter contre les infestations d'acariens.

• **Nématicides** : ils sont utilisés pour contrôler les vers filiformes phytopathogènes, c'est-à-dire les nématodes vivants librement dans le sol et présents dans les plantes.

• **Rodenticides** : ce sont des substances utilisées pour prévenir l'infestation des cultures cultivées par les rongeurs. Leur utilisation est actuellement très limitée en raison de diverses considérations liées à la biodiversité.

• **Bactéricides** : ce sont des substances principalement utilisées pour contrôler l'infestation bactérienne [76].

II.1.5.3. Degrés de toxicité

En février 2008, Greenpeace a publié un rapport basé sur des données toxicologiques qui a permis de classer toutes les substances actives en trois listes :

✓ **La liste noire** : elle comprend des pesticides particulièrement dangereux. Elle contient 327 substances actives, il est important de noter que 168 étaient autorisées par l'UE en 2008.

✓ **La liste grise** : elle comprend les pesticides qui ne présentent pas de caractéristiques dangereuses particulières. Cette liste comprend 243 substances actives.

✓ **La liste jaune** : elle comprend les pesticides pour lesquels peu de données sont disponibles. En effet, 50% des substances examinées n'ont pas pu être évaluées en raison d'un manque de données, rendant ainsi impossible l'appréciation de leur danger [46].

II.1.5.4. Groupe chimique

Les pesticides sont souvent groupés par « famille » en fonction de leur structure chimique : organochlorés, organophosphorés, carbamates, thiocarbamates, pyréthriinoïdes, urées substituées, phénoxyherbicides, triazines, phtalimides, pyridin..., etc. Chaque famille englobe des pesticides qui agissent sur les organismes nuisibles d'une manière similaire [10].

II.1.6. Les familles chimiques des pesticides

Tableau 02 : les familles chimiques des pesticides et leurs caractéristiques [28].

Famille chimique	Substance active	Caractéristiques
Organochlorés	DDT, Chlordane, Lindane, Dieldrine, Heptachlore	Ils contrôlent les organismes nuisibles en perturbant la transmission des impulsions nerveuses. Bien qu'ils soient couramment utilisés pour lutter contre les insectes et les mites, de nombreux composés organochlorés ne sont plus employés en raison de leur persistance dans l'environnement sans se dégrader.
Organophosphorés	Malathion, Parathion, Chlorpyrifos, Diazinon	Les insecticides font partie des organophosphates les plus couramment utilisés pour lutter contre les organismes nuisibles. Ils agissent en perturbant le système

		<p>nerveux de ces organismes, ce qui en limite la propagation et permet de contrôler leur population.</p> <p>Les organophosphates sont souvent privilégiés pour leur caractère moins persistant dans le sol, c'est-à-dire qu'ils ont une durée de vie plus courte et se décomposent plus rapidement que d'autres classes de pesticides, ce qui peut réduire leur impact sur l'environnement.</p>
Pyréthroïdes	Perméthrine, Deltaméthrine	<p>Ils augmentent le flux d'ions de sodium dans l'axone, en perturbant la transmission des impulsions nerveuses et causant finalement la paralysie. Ils sont stables sous le rayonnement solaire et ne se décomposent pas rapidement.</p>
Carbamates et thiocarbamates	Aldicarbe, Carbaryl, Carbofuran, Méthomyl	<p>Ces produits agissent sur le système nerveux des organismes nuisibles en altérant la régulation de l'acétylcholine, un neurotransmetteur, par</p>

		<p>l'enzyme cholinestérase, perturbant ainsi la transmissions des impulsions nerveuses.</p> <p>Comparativement à la famille des composés organochlorés, ils ont une durée de vie plus courte dans l'environnement. Les insecticides, les herbicides et les fongicides sont des exemples de produits de cette catégorie [28].</p>
--	--	--

II.1.7. Propriétés des pesticides

II.1.7.1. Propriétés physico-chimiques

Les pesticides sont soumis à des propriétés physico-chimiques complexes qui impliquent deux étapes principales : la mobilisation et le transport par convection [48].

La mobilisation fait référence à tous les processus impliqués dans le transfert d'une substance entre une phase liquide ou gazeuse, déterminant ainsi la composition de l'atmosphère et de la solution du sol. Le transport par convection, implique la diffusion moléculaire des substances dissoutes ou gazeuses vers une membrane d'un organisme vivant [62]. Le Manuel des Pesticides contient une grande quantité de données physico-chimiques, telles que les solubilités dans l'eau et dans les produits organiques des composés étudiés. Ces informations ont été particulièrement utiles pour déterminer les solvants d'extraction les plus adaptés aux composés étudiés [39].

II.1.7.2. Propriétés chimiques

Les pesticides peuvent subir des transformations chimiques dans certaines conditions physiques (température, pression) et physico-chimiques (pH, force ionique des milieux), ce qui

modifie leur composition et leur structure. Certaines de ces réactions peuvent conduire à la transformation des pesticides en composés inorganiques lors de leur minéralisation [26]. Les principales transformations chimiques des pesticides sont l'ionisation, l'hydrolyse, l'oxydoréduction et la photolyse [31]. Les autres transformations biotiques peuvent conduire à des modifications de la composition et souvent à une simplification de la structure moléculaire, ce qui entraîne la dégradation des pesticides qui est un processus qui détermine leur devenir dans les milieux naturels [62].

II.1.7.3. Propriétés spectroscopiques

Les propriétés spectroscopiques des molécules organiques sont liées à leur capacité à émettre ou à absorber de l'énergie en réponse à un champ électromagnétique, qui dépend à la fois des caractéristiques de ce champ et de la composition et des groupes fonctionnels de la molécule. Cela en fait des outils puissants pour l'analyse [26].

II.1.7.4. Propriétés biologiques

Les propriétés biologiques des pesticides concernent les effets de ces substances sur les organismes vivants, qui sont dus à des modes d'action variés. Les propriétés toxicologiques et écotoxicologiques sont distinguées dans ce contexte, avec ces dernières relevant de la toxicologie ou de l'écotoxicologie [26].

II.1.8. L'utilisation des pesticides et leur effet

Les pesticides sont utilisés pour éliminer les ravageurs et les insectes qui attaquent les cultures et leur font du mal. Différents types de pesticides sont utilisés pour la protection des cultures depuis des siècles. Ils sont principalement appliqués dans l'industrie agricole pour lutter contre les vecteurs qui réduisent la quantité et la qualité des produits agricoles. Les pesticides sont pulvérisés directement sur les cultures et la surface du sol [72], [63].

L'utilisation d'une large gamme de produits chimiques pour détruire les ravageurs et les mauvaises herbes est un aspect important des pratiques agricoles dans les pays développés et en développement. Cela a sans aucun doute augmenté le rendement des cultures et réduit les pertes après récolte [3].

Les pesticides sont nécessaires pour le bon développement des cultures ; cependant, leur utilisation excessive s'accompagne généralement d'effets délétères sur l'environnement et la

santé publique car ils imposent un impact négatif grave sur l'environnement à cause de leurs effets écologiques néfastes allant des effets à long terme à des changements de courte durée dans le fonctionnement normal d'un écosystème en raison de leur forte toxicité biologique. Un pesticide est généralement capable de nuire à toutes les formes de vie autre que les espèces de ravageurs ciblées. En raison de ce comportement, ils peuvent donc être comme des biocides (capable de tuer toute forme de vie) [108].

L'utilisation excessive de pesticides peut conduire à la destruction de la biodiversité. De nombreux oiseaux, organismes aquatiques et animaux sont menacés par des pesticides nocifs pour leur survie. Les pesticides sont une préoccupation pour la durabilité de l'environnement et la stabilité mondiale [72].

Les pesticides causent également la diminution de la biodiversité générale du sol. S'il n'y a pas de produits chimiques dans le sol, la qualité du sol est meilleure, ce qui permet une plus grande rétention d'eau, nécessaire à la croissance des plantes. De plus, l'utilisation élargie de ces pesticides devrait entraîner la présence de résidus dans les aliments, ce qui a suscité des inquiétudes généralisées quant aux effets néfastes potentiels de ces produits chimiques sur la santé humaine [3].

Certains résidus de pesticides sont persistants et peuvent rester à la surface des cultures ou être absorbés par le sol dans le système végétal. La consommation de produits agricoles devient ainsi la première source d'exposition de la population générale aux pesticides. Les métabolites des pesticides dans le corps humain ont été associés à une grande variété d'effets sur la santé, allant de la toxicité aiguë à la toxicité chronique [108].

En outre, il est extrêmement plausible que des échantillons moins contrôlés et réglementés des pesticides puissent offrir la plus grande possibilité d'exposition à des quantités toxicologiquement significatives. Des données épidémiologiques très limitées sont disponibles pour l'évaluation des effets des pesticides sur la santé humaine. Seule une faible proportion de la population est susceptible de recevoir une dose de pesticides suffisamment élevée pour provoquer des effets graves aigus ; cependant, beaucoup d'autres risquent de développer des effets chroniques (tels que le cancer et des effets immunologiques) selon le type de pesticide auquel ils sont exposés. Les pesticides actuellement utilisés comprennent une grande variété de produits chimiques avec de grandes différences dans leur mode d'action, leur absorption par l'organisme, leur métabolisme, leur élimination par l'organisme et leur toxicité pour l'homme. Les expositions à court terme à des pesticides qui ont une toxicité aiguë élevée est plus ou moins

dangereuses car ils peuvent être facilement métabolisés et éliminés. Par contre le principal danger est l'exposition à long terme, même à des doses relativement faibles. D'autres pesticides rapidement éliminés mais induisant des effets biologiques persistants présentent également un danger lié à des expositions à long terme et à faible dose. Les effets indésirables peuvent être causé non seulement par les ingrédients actifs et les impuretés associées, mais également par les solvants, les supports, les émulsifiants et d'autres constituants du produit formulé [3].

II.1.9. Les pesticides en Algérie

Avant, des entités comme Asmidal et Moubydal fabriquaient des pesticides en Algérie, mais avec l'essor de l'économie de marché, de nombreuses entreprises ont commencé à importer des insecticides et d'autre produits similaires. La loi nationale sur la protection phytosanitaire encadre l'enregistrement, la fabrication, la commercialisation, l'emballage et l'utilisation des pesticides, cependant, l'utilisation des pesticides continue d'augmenter, notamment dans l'agriculture. Les pesticides sont utilisés en grande quantité pour protéger les cultures, contrôler les rongeurs et stimuler la production agricole. Il n'y a pas d'analyses systématiques des résidus de pesticides pour évaluer de degré de contamination des milieux naturels tels que les cultures et les eaux de surface. La surutilisation des pesticides fait courir un risque important de pollution massive du sol, des eaux de surface, des eaux souterraines, et tous les milieux physiques dans toutes les régions d'Algérie [24].

II.1.10. Minimisation des risques

Afin d'éviter les risques d'intoxication et de pollution inhérents à la manipulation des pesticides, il est essentiel de prendre des mesures de protection. Ces mesures comprennent la procédure d'homologation d'un produit phytopharmaceutique, ainsi que la protection de l'utilisateur et de l'environnement, mais aussi le traitement des déchets, et enfin l'étiquetage et le stockage du produit qui doit répondre à trois objectifs complémentaires : assurer la sécurité des personnes et des animaux, garantir la sécurité des milieux naturels et conserver l'efficacité des produits stockés. Toutes ces mesures font partie des bonnes pratiques phytopharmaceutiques, dont le respect est crucial pour assurer la sécurité et la santé des agriculteurs [13].

II.1.11. Effet de lavage

Le taux de résidus de pesticides dans les fruits et légumes peut varier en fonction du processus de lavage, qui est généralement la première étape des traitements appliqués. Plusieurs études ont montré que le lavage des produits élimine les résidus présents à la surface. Des recherches ont été menées sur certaines espèces de fruits et légumes afin d'étudier la façon dont certains pesticides se transforment en association avec d'autres pesticides. Ces études ont révélé que la plupart des pesticides sont sensibles à l'étape de lavage et peuvent être réduits jusqu'à 95%. Cependant, certains pesticides sur certaines denrées alimentaires ne sont pas affectés par l'étape de lavage [11], [22], [30], [45], [55], [90].

Pour expliquer mieux, il faut comprendre qu'il y a deux modes de pénétration des pesticides dans les végétaux : les pesticides de contact et les pesticides systémiques [4].

Les pesticides de contact restent principalement sur la surface des feuilles, ou à la surface de la cuticule, tandis que les pesticides systémiques sont absorbés par les aliments après le traitement et se déplacent à l'intérieur de ceux-ci. Le lavage à l'eau ne permet d'éliminer efficacement que la première catégorie de pesticides. De nombreuses études ont montré que lors du lavage des denrées, les résidus à la surface ainsi que les composés non polaires et peu solubles dans l'eau [61].

Il est également démontré que le type de matrice joue un rôle important dans l'élimination des résidus de pesticides après le lavage. En effet, les résidus présents sur les matrices dont la partie comestible est fortement exposée lors des pulvérisations sont moins bien éliminés que ceux présents sur les légumes racines [19].

II.1.12. Degré de pénétration des pesticides

Même si la peau des fruits et légumes peut agir comme une barrière qui limite l'absorption des pesticides, certains pesticides peuvent pénétrer profondément à l'intérieur du produit. Malheureusement, certains pesticides peuvent même traverser la peau des fruits à pelure épaisse tels que les agrumes et les bananes. Les facteurs de transfert sont utilisés pour mesurer la capacité des pesticides à traverser la peau. Ces facteurs sont calculés en comparant la concentration des pesticides à traverser la peau. Ces facteurs sont calculés en comparant la concentration de résidus dans le produit transformé (par exemple, le produit pelé) à celle dans

le produit brut non transformé (le fruit ou le légume avec la peau). Plusieurs études ont calculé ces facteurs [53].

En outre, les pesticides peuvent également être absorbés par les racines des plantes, et les résidus de pesticides présents dans le sol peuvent être transférés dans la culture. Cela signifie que les légumes-racines sont particulièrement exposés à la saturation en pesticides. Les carottes, par exemple, sont bien connues pour leur capacité à absorber les résidus de pesticides présents dans le sol [69].

II.1.13. Le comportement des produits chimiques dans la plante

Le point initial de contact pesticide-plante dépend de la méthode d'application. De nombreux herbicides et insecticides sont appliqués par pulvérisation aérienne, et le feuillage et les tiges sont les principaux organes d'interception. Certains produits chimiques sont injectés ou dirigés sur les tiges de plantes plus grandes. Les racines sont les principaux organes d'absorption des pesticides appliqués au sol [80].

II.1.13.1. Le comportement des pesticides sur les parties aériennes de la plante

Selon Norris L. A. [80] les pesticides interceptés par les parties aériennes de la plante peuvent subir plusieurs processus :

II.1.13.1.1. L'absorption : qui est importante pour l'action systémique des pesticides. Le degré d'absorption dictera l'efficacité des traitements avec des produits chimiques systémiques.

II.1.13.1.2. L'adsorption en surface : peut inactiver les pesticides puisqu'elle empêche l'absorption des produits chimiques systémiques et réduit l'action de contact des insecticides qui peut réduire leur efficacité.

II.1.13.1.3. La volatilisation : elle déplace le produit chimique du site d'action, réduisant ainsi l'efficacité du traitement, bien que la volatilisation réduise les résidus chimiques sur la plante, elle s'ajoute à la charge totale de polluants atmosphériques.

II.1.13.1.4. Le lessivage : c'est l'élimination des résidus de surface par précipitation. La quantité de produit chimique non absorbée, adsorbée, dégradée ou perdue par volatilisation peut être soumise au lessivage, ce qui peut réduire leur efficacité et affecter l'environnement.

II.1.13.1.5. La dégradation : elle est importante pour déterminer à la fois l'efficacité du traitement et l'impact sur la qualité de l'environnement, et c'est le seul mécanisme qui peut réduire la charge totale des polluants environnementaux.

II.1.13.2. Le comportement des pesticides à l'intérieur de la plante

Selon Norris L. A. [69] le comportement des pesticides à l'intérieur de la plante n'est pas important si l'absorption est limitée. Si grandes quantités sont absorbées, cependant, le comportement interne détermine à la fois l'efficacité du traitement et les résidus internes.

Les pesticides à l'intérieur des plantes peuvent également subir plusieurs processus :

II.1.13.2.1. Translocation : elle se produit dans le xylème et le phloème, mais seulement dans le phloème vers les racines. Les pesticides qui ne sont pas transportés peuvent être perdus lors de la chute des feuilles, tandis que les pesticides transportés vers les racines peuvent être exsudés dans le sol.

II.1.13.2.2 Stockage : les pesticides peuvent être stockés dans différentes parties de la plante et peuvent être libérés et transférés vers d'autres parties de la plante lorsque les conditions de la plante changent.

II.1.13.2.3. Métabolisme : peut modifier la structure du pesticide, entraînant une désintoxication ou une activation.

II.1.13.2.4. L'exsudation : c'est la sortie des pesticides de l'intérieur de la plante. Les pesticides volatils et les métabolites peuvent quitter la plante sous forme de vapeurs à travers les stomates. Les pesticides peuvent également être exsudés de la plante, mais cela n'est pas courant.

II.1.13.3. Le comportement des pesticides sur les racines

Les produits chimiques dans la zone racinaire sont soumis aux mêmes processus que les produits chimiques interceptés par les parties aériennes de la plante. Cependant, le degré auquel un processus particulier fonctionne peut-être assez différent. Les pesticides solubles dans l'eau sont facilement absorbés par les racines et peuvent être transportés vers d'autres parties de la plante. L'absorption de surface se produit également. La volatilisation des pesticides est relativement peu importante à partir des surfaces racinaires, mais peut se produire à partir de la surface du sol. Le lessivage ne se produit pas, mais la lixiviation des produits chimiques de la

zone racinaire est un processus analogue. Bien sûr, la dégradation photochimique ne se produit pas sur les racines, mais la dégradation chimique et biologique dans la zone racinaire est importante [80].

II.1.14. Techniques d'analyse des résidus des pesticides

Assurer la sécurité et la qualité alimentaire nécessite une analyse cruciale des pesticides. Le contrôle analytique des résidus de pesticides dans les produits alimentaires et les matrices environnementales est bien établi et repose principalement sur des méthodes analytiques telles que la chromatographie en phase gazeuse ou liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem. De plus, l'analyse des pesticides aide à identifier la source de contamination et fournir des informations précieuses pour l'évaluation et la gestion des risques. Il est possible que des résidus de pesticides se retrouvent dans les huiles essentielles en raison de leur origine et des processus de fabrication utilisés, ce qui peut constituer un risque pour la santé publique. Cela pose un véritable défi pour les laboratoires d'analyses et les professionnels impliqués dans l'utilisation et la vente de ces produits, qui ont besoin de méthodes sensibles et spécifiques pour quantifier les pesticides éventuellement présents dans ce type de matrice. La chromatographie en phase gazeuse est une méthode d'analyse particulièrement adaptée pour l'analyse des huiles essentielles en raison de leur composition chimique riche en molécules volatiles. Elle offre une alternative efficace aux méthodes d'analyses traditionnelles. Cette technique, sous toutes ses formes, couvre la grande majorité des analyses d'huiles essentielles. Cependant, la chromatographie en phase liquide présente également des applications limitées dans ce domaine, notamment pour l'analyse de certaines fractions ou classes de composés spécifiques, tels que la détermination des composés oxygénés [46].

II.2. Les maladies fongiques

En général, le terme "champignon" fait référence à des organismes végétaux spécifiques qui sont cultivés ou se trouvent spontanément dans les prairies et les forêts. Ils sont généralement constitués d'un pied surmonté d'un chapeau. Certains de ces champignons sont comestibles pour les humains, tandis que d'autres sont toxiques voire mortels. Cependant, cette catégorie de champignons représente seulement une partie du monde fongique qui est visible à l'œil nu, car il existe également de nombreux champignons microscopiques variés répandus dans la nature. Dans la vie quotidienne, nous sommes principalement familiers avec ceux qui causent la moisissure sur les aliments abandonnés ou la matière organique en décomposition [78].

Les champignons étaient déjà connus par l'homme avant l'Antiquité, mais leur observation, leur étude et leur classification ont réellement commencé au 17^{ème} siècle avec l'invention du microscope par Van Leeuwenhoek. Micheli, un botaniste italien, est considéré comme le pionnier de la mycologie. En 1729, il a publié *Nova Plantarum Genera*, qui comprenait une section dédiée aux champignons. Au fil du temps, les connaissances sur les champignons ont progressé grâce aux améliorations des techniques d'étude. Des botanistes et mycologues éminents tels que Linné, Persoon, Fries et Saccardo ont contribué à ces avancées. Le nombre d'espèces fongiques découvertes depuis lors est devenu si important que les mycologues d'aujourd'hui se spécialisent souvent dans l'étude d'une seule famille, voire d'un seul genre de champignons [78].

En effet, actuellement, on estime qu'il existe environ 1,5 million d'espèces fongiques dans le monde, mais moins de 10% d'entre elles ont été décrites et cataloguées. Parmi les espèces connues, environ 10 000 sont connues pour causer des maladies chez les plantes, tandis qu'une cinquantaine est pathogène pour les humains et une autre cinquantaine est pathogène pour les animaux. Le reste des espèces fongiques se comporte généralement en tant que saprophytes, se nourrissant de matière organique en décomposition, ou, moins fréquemment, vit en association avec d'autres organismes vivants dans des relations symbiotiques ou mutualistes. La diversité et la complexité des champignons offrent un champ d'étude riche pour les mycologues et continuent de susciter de nouvelles découvertes et compréhensions [78].

II.2.1. Classification du monde fongique

En effet, de l'époque du 17^{ème} siècle jusqu'aux années 1960, la mycologie était considérée comme une branche de la botanique, car le monde vivant était traditionnellement divisé en deux règnes: animal et végétal, en plus des procaryotes. Cependant, en 1969, Whittaker a proposé une nouvelle classification du vivant, qui comprenait cinq règnes distincts. Cette classification a établi les champignons comme un règne à part entière, appelé Fungi, séparé du règne végétal (Plantae). Les champignons ont été classés ainsi en raison de leur mode d'alimentation par absorption et de leur chimiotrophie, c'est-à-dire qu'ils obtiennent leur énergie à partir de la matière organique, et de leur hétérotrophie, utilisant cette matière organique comme source de carbone pour la synthèse de leurs propres composés organiques. En revanche, les plantes, bien qu'elles se nourrissent également par absorption, sont phototrophes, utilisant l'énergie lumineuse, et autotrophes, synthétisant leurs composés organiques à partir du dioxyde de carbone atmosphérique et des substances minérales dissoutes dans l'eau.

Vers la fin des années 1990, de nouvelles études et l'utilisation de techniques moléculaires ont conduit à une subdivision supplémentaire du règne des Fungi en deux groupes majeurs : le groupe des "vrais champignons" (Fungi), qui comprend la plupart des espèces fongiques, et le groupe des "pseudo-champignons" (anciennement appelés champignons inférieurs), qui ont été reclassés soit dans un règne appelé Protozoa (comme certains organismes unicellulaires), soit dans un nouveau règne appelé Chromista (comme certaines algues). Cette subdivision plus récente a permis de mieux comprendre la diversité et les relations évolutives des différents groupes de champignons [78].

II.2.3. Quelques exemples sur les maladies fongiques

II.2.3.1. L'Oïdium

L'Oïdium, anciennement connu sous le nom de maladie de la vigne, a eu des conséquences dévastatrices lors de son apparition. Il a été initialement observé par Tucker en 1845 en Angleterre, dans les serres à vigne de Margate, près de l'embouchure de la Tamise. L'année suivante, il s'est propagé aux serres des environs, entraînant une perte totale de récolte dans certaines régions. Selon Berkeley, l'oïdium est un type de moisissure extrêmement nuisible [66].

L'Oïdium se manifeste par une couche blanchâtre et terne, peu épaisse, qui recouvre les parties vertes de la vigne, notamment les rameaux, les feuilles, les fleurs et les fruits. Il dégage une odeur caractéristique de moisi. Lorsque la maturation se produit, on peut observer les empreintes continues et non creusées d'une couleur brunâtre-noir, matts et permanentes, laissées par le parasite sur ces différents organes [66].

II.2.3.1.1. Ses dégâts

Pendant la période de végétation, l'Oïdium attaque moins les rameaux que les autres parties de la vigne. Les feuilles peuvent être envahies de manière très intense, aussi bien sur leur face supérieure que sur leur face inférieure, à n'importe quel stade de leur développement. Lorsqu'elles ont atteint leur pleine croissance, l'Oïdium se présente sous forme de taches dispersées, peu visibles sur la face inférieure des feuilles, mais plus apparentes sur la face supérieure. La poussière blanche se transforme rapidement en gris et peut disparaître sans laisser de trace nette. Cependant, lors d'un examen minutieux, de petits points noirs sont souvent visibles sur la face supérieure. Les feuilles atteintes prennent une coloration brune plus ou moins prononcée. Dans tous les cas, lorsque l'on observe les taches à la lumière, la coloration verte y est moins intense que sur les parties non infectées. Les feuilles touchées par l'oïdium ne fonctionnent pas normalement, entraînant ainsi un affaiblissement de la vigne.

La mortification directe des cellules de l'écorce immédiatement sous la couche épidermique est rare. Cependant, son action indirecte sur les autres tissus est indubitable. Par exemple, la destruction de la chlorophylle due à la mortification des couches extérieures entrave le fonctionnement normal des surfaces de respiration et de transpiration, ce qui entraîne des problèmes secondaires. De plus, les vignes attaquées par l'Oïdium sont affaiblies au début de la saison de croissance suivante. Si les effets du parasite se poursuivent pendant plusieurs années consécutives, le dépérissement s'aggrave. Cependant, ce processus est très lent et il est rare que la mort de la vigne en soit la conséquence finale [103].

II.2.3.1.2. Facteurs favorables de développement de l'oïdium

a) **Effet de la chaleur** : Lorsque la température moyenne atteint les 20°C et que les maximales se situent entre 25°C et 30°C, généralement en juin, le champignon de l'Oïdium se développe de manière intense. C'est pendant cette période, de la floraison à la véraison, que la maladie cause le plus de ravages. Les conditions favorables au parasite sont réunies, et les organes verts et herbacés de la vigne offrent un

environnement propice à son développement. La température optimale se situerait donc entre 25°C et 30°C. À ces températures, on observe de nombreuses germinations de spores d'Oïdium sur des raisins maintenus sous cloche et dans des conditions d'humidité contrôlées.

De la véraison à la maturité, lorsque les rameaux se lignifient et que la chlorophylle disparaît, le développement de l'Oïdium est limité, même si les autres conditions sont réunies. Il persiste encore sur les feuilles, mais les dommages causés sont insignifiants. Cependant, la température reste très favorable à sa présence pendant toute cette période. Les températures maximales dépassent les 30°C et peuvent atteindre 35°C, parfois même 38°C ou plus [103].

b) Effet d'humidité : L'humidité, bien qu'elle joue un rôle, il est moins essentiel. L'Oïdium cause davantage de dégâts dans les régions de coteaux secs qui se réchauffent rapidement et atteignent des températures élevées, contrairement aux plaines fraîches et froides. Cela est particulièrement le cas dans les sols peu profonds, rouges, rocailleux et sablonneux, où la vigne entre rapidement en végétation en raison de la température élevée. Dans les zones près des fleuves, le littoral de la mer et dans les plaines fraîches, la maladie est aggravée seulement lorsque la température est suffisamment élevée, sous l'influence des brouillards et des pluies fines. Les fortes pluies, en lavant les organes de la vigne, entravent la propagation du parasite. Cependant, il est certain qu'en milieu absolument sec, les spores ne germent pas [103].

II.2.3.2. La fumagine

La fumagine est une affection causée par différents groupes de champignons qui appartiennent à l'ordre des Dothideales. Son appellation est associée à la fumée en raison de sa ressemblance avec une couche de suie noire qui se serait déposée sur les feuilles. En réalité, la fumagine n'est pas le résultat d'une infestation directe de parasites et pour l'éliminer, il est nécessaire de prendre des mesures contre d'autres nuisibles.

La fumagine est le résultat de la croissance d'un groupe de champignons saprophytes et non pathogènes qui se développent sur le miellat sécrété principalement par la cochenille noire de l'olivier. Les genres les plus courants de ces champignons sont *Capnodium* et *Limacinula*, mais il existe de nombreuses autres espèces qui font partie de ce groupe. Les spores de ces champignons se propagent par le biais d'insectes, du vent ou de la pluie, tandis que l'humidité favorise la croissance de leur mycélium.

Il est important de noter que la fumagine ne répond pas strictement aux critères d'une maladie, car les champignons qui la composent ne causent pas d'infection à l'olivier (site3), (site4).

II.2.3.2.1 Ses dégâts

La fumagine, en couvrant la surface des feuilles, entraîne une diminution de la photosynthèse et des échanges gazeux chez l'olivier. Cela a un impact sur la croissance de l'arbre et la production d'olives qui sont réduites. La présence de la fumagine aggrave les effets néfastes de la cochenille noire sur les arbres déjà affaiblis. Dans les cas les plus graves, la fumagine persistante peut provoquer une perte de feuillage. Les conséquences exactes de la fumagine sur la production d'olives sont difficiles à évaluer précisément, mais elles sont significatives et ne doivent pas être négligées (site4).

II.2.3.2.2. Facteurs favorables de développement de fumagine

Il est important de se pencher davantage sur les facteurs favorisant l'installation de la cochenille noire de l'olivier, car celle-ci est directement liée au développement de la fumagine. Voici une liste de ces facteurs :

- ✓ L'absence de taille ou des tailles trop espacées des arbres.
- ✓ Un espacement insuffisant entre les frondaisons.
- ✓ Une fertilisation excessive en azote.
- ✓ L'utilisation fréquente d'insecticides peu sélectifs, ce qui réduit la population d'insectes auxiliaires.
- ✓ Des températures douces en hiver.
- ✓ Une humidité plus élevée en été.
- ✓ La protection offerte par les fourmis.

En accordant une attention particulière à ces éléments, on peut mieux comprendre les conditions qui favorisent la présence des cochenilles et, par conséquent, la formation de la fumagine (site4).

CHAPITRE III
LES HUILES
ESSENTIELLES

III.1.1. Définition et Localisation histologique

Les huiles essentielles doivent leur nom à leur caractère inflammable. Selon les normes de l'AFNOR, les huiles essentielles sont définies comme des produits obtenus à partir de matières premières végétales, par distillation à la vapeur d'eau ou par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des agrumes, ou encore par distillation sèche. Ces huiles essentielles sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans les solvants organiques. Elles sont des liquides volatiles, dotés d'une odeur caractéristique et d'une densité inférieure à l'eau. Elles sont largement utilisées dans l'industrie de la parfumerie, de l'aromathérapie et des cosmétiques. Elles peuvent être présentes dans différentes parties des plantes aromatiques, telles que les fleurs, les feuilles, les rhizomes, les racines, les graines, les fruits (épicarpe des agrumes), le bois et l'écorce [54].

Elles se forment au sein de cellules spécialisées, généralement regroupées en canaux ou en poches de sécrétion. Elles sont ensuite acheminées vers les différentes parties de la plante au fur et à mesure de sa croissance [15].

Les huiles essentielles se stockent progressivement tout au long de la vie du fruit, de la feuille ou du pétale, dans des glandes à essence, également connues sous le nom de poches. Ces poches sont entourées de cellules sécrétrices qui protègent les tissus environnants du contenu de la poche. On peut se demander quel est le but de cette sécrétion, car les composés des huiles essentielles semblent ne pas jouer de rôle direct dans le métabolisme de la plante [86].

Jusqu'à présent, ces caractéristiques n'ont que peu d'évolutions, à l'exception de notre meilleure compréhension de certains de leurs mécanismes d'action, en particulier en ce qui concerne leurs propriétés antimicrobiennes. Dans la nature, les huiles essentielles jouent un rôle essentiel dans la protection des plantes, agissant comme des agents antibactériens, antiviraux, antifongiques et insecticides. De plus, elles contribuent à réduire l'appétit des herbivores, pour ces plantes. Elles peuvent également attirer certains insectes pour favoriser la dispersion des pollens et des graines, tout en repoussant d'autres insectes indésirables [9].

III.1.2. Composition chimique des huiles essentielles

La composition des huiles essentielles est influencée par de nombreux facteurs, notamment les facteurs environnementaux tels que les propriétés du sol, l'approvisionnement

en eau, l'exposition à la lumière du soleil et la température. Ces facteurs ont un impact significatif sur la qualité et la quantité de la composition d'huile [88].

L'essence de *Citrus limon*, par exemple, est principalement composée de 92% à 93% de terpènes, parmi lesquels le d-limonène est le plus abondant [23] On y trouve également des sesquiterpènes, des aldéhydes (dont le citral est le plus dominant) et des esters [105].

La composition des huiles d'agrumes comprend différents éléments :

✓ **Les terpènes** : ces molécules sont les plus répandues dans les huiles essentielles, comprenant les monoterpènes (C10), les sesquiterpènes (C15), les diterpènes (C20) et les triterpènes (C30).

✓ **Les phénols et terpinols** : ce sont des molécules qui possèdent une fonction alcool, notamment les monoterpénols (C10), les sesquiterpénols (C15) et les diterpénols.

✓ **Les aldéhydes** : on distingue les aldéhydes terpéniques et les aldéhydes aromatiques.

✓ **Les lactones** : il s'agit d'esters intermoléculaires non aromatiques, présents à l'état de traces dans les huiles essentielles. Ces lactones sont très actives et non toxiques.

✓ **Les coumarines** : ce sont des esters intermoléculaires aromatiques que l'on retrouve fréquemment dans les essences, notamment dans les essences d'agrumes. Elles sont généralement présentes en faible concentration dans les huiles essentielles.

✓ **Les phthalides** : ils font partie de la même famille chimique que les coumarines et ont une odeur puissante et caractéristique.

✓ **Les composés azotés** : ils sont peu courants dans les huiles essentielles.

En outre nous pouvons également trouver Les acides, Les esters, Les cétones, Les oxydes terpénique et les éthers [42], [52].

III.1.3. Méthodes d'extraction

Il existe plusieurs méthodes courantes utilisées pour l'extraction, notamment l'hydrodistillation, la distillation à la vapeur, le pressage à froid, l'extraction par solvant et la distillation-extraction simultanée [29], [92].

Les méthodes d'extraction avancées sont meilleures que les méthodes traditionnelles grâce aux temps d'extraction réduits, la consommation d'énergie minimale, l'utilisation réduite de solvants et les émissions de dioxyde de carbone qui sont réduites [7].

A l'heure actuelle, diverses méthodes nouvelles sont disponibles pour extraire les huiles essentielles des plantes. Parmi ces techniques figurent l'extraction par fluide supercritique (SFE), l'extraction par liquide sous pression, l'extraction par eau chaude sous pression, l'extraction par solvant assistée par membrane et la micro-extraction en phase solide [47].

III.1.3.1. Certaines méthodes traditionnelles

III.1.3.1.1. La pression à froid : c'est le procédé le plus ancien pour extraire les huiles essentielles, précédant même la distillation. Cette méthode offre l'avantage de ne générer que peu ou pas de chaleur pendant le processus, mais elle produit des rendements faibles. Elle est principalement utilisée pour isoler les huiles d'écorces d'agrumes en raison de la sensibilité thermique des aldéhydes qu'elles renferment [64], [102].

III.1.3.1.2. Distillation : lors de la distillation, les huiles essentielles sont extraites des plantes odorantes en les exposant à de l'eau bouillante ou de la vapeur, ce qui entraîne leur évaporation. La récupération de l'huile essentielle est rendue possible grâce à la distillation des deux liquides non miscibles : l'eau et l'huile essentielle. Ce processus se base sur le principe selon lequel, à la température d'ébullition, la pression de vapeur combinée des deux liquides est égale à la pression ambiante (**figure 03**). Ainsi, les composés des huiles essentielles, qui ont généralement des points d'ébullition compris entre 100 et 300 degrés Celsius, s'évaporent à une température proche de celle de l'eau. Dans le processus de refroidissement indirect à l'eau, le mélange de vapeur d'eau et d'huile est condensé. Le condensat est ensuite dirigé vers un séparateur, où l'huile se sépare de l'eau [29], [59].

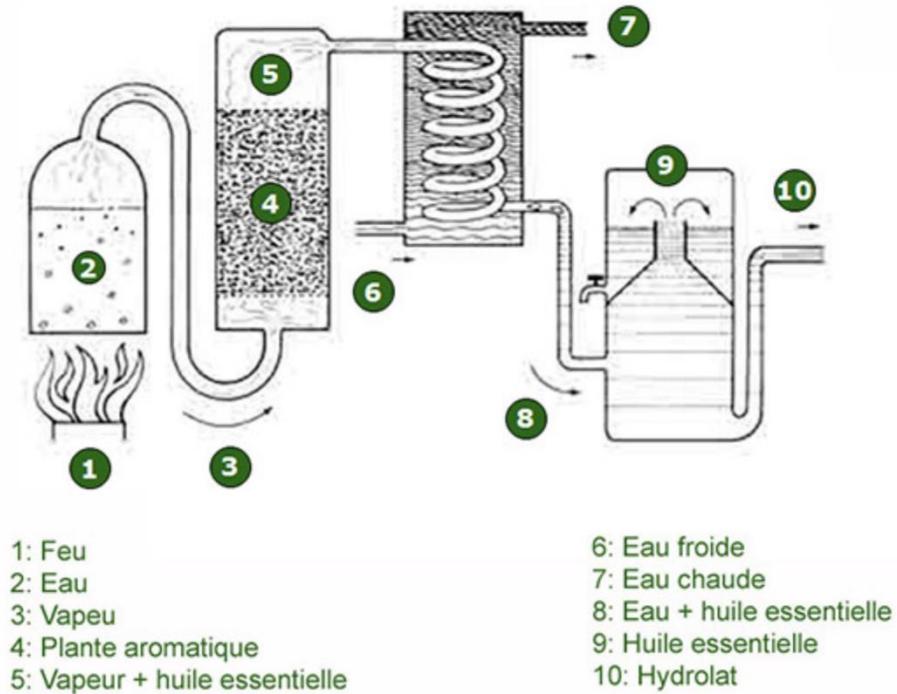


Figure 03 : extraction d’huile essentielle par distillation [site 6].

III.1.3.1.3. L’extraction par solvant : c’est un procédé utilisé pour extraire les huiles essentielles en raison de leur nature hydrophobe et non polaire. Les solvants organiques, notamment ceux dérivés du carburant, sont couramment utilisés dans ce processus. L’extraction par solvant implique la distribution d’un soluté entre deux phases liquides non miscibles en contact (**figure 04**). Pendant ce processus, une substance est transférée d’une matrice vers un liquide dans lequel cette substance est soluble [6], [36].

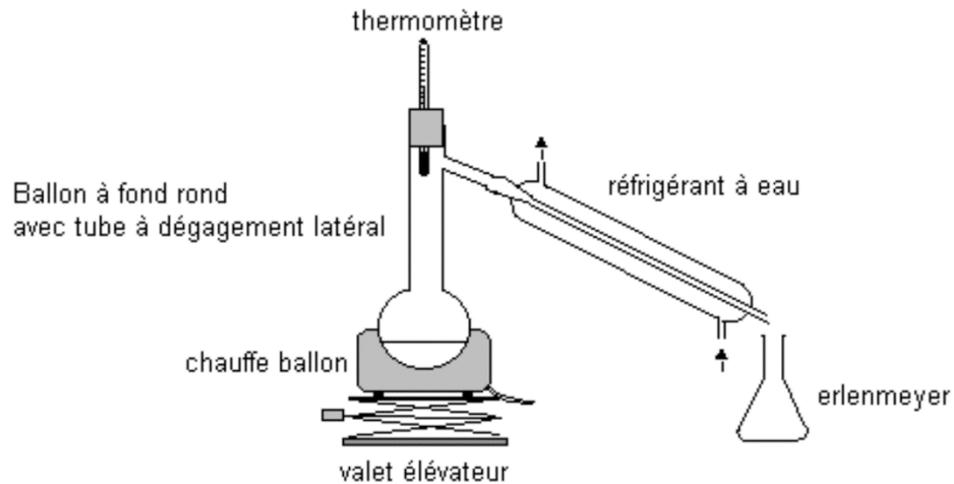


Figure 04 : extraction d'huiles essentielles par solvant [site 7].

III.1.4. Les paramètres influençant l'extraction

Il existe plusieurs paramètres qui influencent le processus d'extraction, notamment :

- La matière végétale utilisée.
- La nature et l'état du solide et du soluté.
- La nature, la concentration et le volume du solvant.
- La méthode d'extraction, la durée, la température et la pression appliquées [23], [86].

III.1.5. Conservation des huiles essentiels

Les huiles essentielles de haute qualité, lorsqu'elles sont stockées correctement, peuvent être conservées pendant au moins cinq ans, voire plus. Cependant, les huiles essentielles issues d'agrumes exprimés ont une durée de conservation d'au moins trois ans [33]. Contrairement aux huiles végétales, les huiles essentielles ne s'oxydent pas et ne deviennent pas rances. Cependant, elles peuvent subir une oxydation qui entraîne la formation de résidus résineux. Pour assurer une conservation optimale, il est recommandé de les conserver dans leur emballage d'origine, à l'abri de la lumière et de l'humidité. Il est également essentiel de bien fermer le flacon, car les huiles essentielles sont très volatiles et peuvent s'évaporer rapidement [34].

III.1.6. Propriétés des huiles essentielles

III.1.6.1. Antiviraux

En 2007, Saddi et al. ont entrepris une étude visant à évaluer les activités antivirales de l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens L* (une plante de la famille des asteraceae) contre les virus de l'herpès simplex 1 et 2. Cette recherche était motivée par la nécessité de développer de nouveaux outils prophylactiques et thérapeutiques contre ces virus. Les résultats de cette étude ont révélé que l'activité antivirale de l'huile essentielle était principalement attribuable à ses effets virucides directs. De plus, il a été démontré que cette huile essentielle avait la capacité d'inactiver le virus et d'inhiber la diffusion du virus d'une cellule à une autre [1], [93].

III.1.6.2. Insecticides

Certains faits indiquent que l'utilisation de produits chimiques synthétiques pour contrôler les insectes et les arthropodes soulève plusieurs préoccupations évidentes liées à l'environnement et à la santé humaine. Ainsi, il existe une demande croissante pour des répulsifs alternatifs ou des produits naturels. Ces produits sont efficaces et respectueux de l'environnement. Les huiles essentielles provenant des plantes appartenant à plusieurs espèces ont été largement testées pour évaluer leurs propriétés répulsives et insecticides en tant que ressource naturelle précieuse. La plupart des études ont montré que les huiles essentielles ont des effets insecticides très réussis [1], [79].

III.1.6.3. Activité antioxydant

Les propriétés antioxydantes des huiles essentielles de citrus font l'objet d'études approfondies. Leur efficacité en tant qu'antioxydants puissants ouvre des perspectives prometteuses pour le traitement de maladies associées au stress oxydatif telles que l'Alzheimer, l'artériosclérose, le cancer et les troubles dégénératifs liés au vieillissement. Une approche préventive suggère de substituer les antioxydants classiques tels que la vitamine C et l'alpha-tocophérol par l'incorporation des huiles essentielles de citrus dans l'alimentation, afin de combattre le stress oxydatif qui nuit et détruit les cellules [89].

III.1.6.4. Activité anticancéreuse

De nouvelles recherches indiquent que les huiles essentielles extraites des graines de citron et des feuilles d'orange amère pourraient posséder des propriétés anticancéreuses en raison de leur teneur en limonène. Des études ont démontré que le limonène possède des propriétés inhibitrices de la croissance des cellules cancéreuses du sein [100]. De plus, l'huile essentielle de mandarine issue des feuilles du petit grain a montré une activité anticancéreuse significative sur les lignées cellulaires de la leucémie [43].

III.1.6.5. Antifongique et antibactérienne

Les huiles essentielles obtenues à partir de plantes, qui ont été utilisées depuis des siècles, font l'objet de tests pour évaluer leur activité antimicrobienne et antifongique. Jusqu'à présent, toutes les huiles essentielles testées ont démontré une certaine activité contre les micro-organismes. Cependant, cette activité peut varier en fonction de l'huile essentielle utilisée, de la souche microbienne ciblée et de la dose appliquée. La composition chimique des huiles essentielles joue un rôle crucial dans leur activité antimicrobienne, avec des composants spécifiques et leurs concentrations relatives qui dépendent de divers facteurs tels que l'espèce végétale, l'origine de la plante, la partie de la plante utilisée, le stade de développement, les conditions climatiques, les méthodes de distillation et de stockage [84], [98].

Les huiles essentielles riches en phénols ont une activité antimicrobienne élevée et un large spectre d'action. Parmi les autres composés actifs contre les bactéries et les champignons, on trouve des hydrocarbures qui sont principalement présents dans les huiles essentielles d'agrumes et de conifères [60].

Par exemple, l'huile essentielle de Citrus a démontré son efficacité antibactérienne contre le *Bacillus subtilis* et le *Staphylococcus aureus* [96]. De même, l'huile essentielle de bergamote a montré une forte activité antibactérienne in vitro ainsi que sur les aliments, en ciblant le *Staphylocoque doré*, le *Cierge monocytogenes* et le *Staphylocoque jejuni*.

En ce qui concerne les propriétés antifongiques, les huiles essentielles de citron, mandarine, pamplemousse et orange ont été étudiées et ont toutes démontré une activité inhibitrice contre plusieurs espèces de champignons tels que *Aspergillus Niger*, *Aspergillus flavus* et *Penicillium verrucosum*. Parmi elles, l'huile essentielle d'orange s'est avérée être la plus efficace contre *Aspergillus Niger*, tandis que l'huile essentielle de mandarine a montré la

plus grande efficacité contre *Aspergillus flavus*. Enfin, l'huile essentielle de pamplemousse s'est révélée être le meilleur inhibiteur de la croissance de *Penicillium verrucosum* [104].

CHAPITRE IV
MATERIEL ET
METHODES

IV.1. L'objectif de l'étude

Ce travail consiste à évaluer *In vitro* dans des conditions contrôlées, le pouvoir antifongique des huiles essentielles des agrumes vis-à-vis de champignons de cultures notamment l'Oïdium de la vigne et la Fumagine.

IV.2. Structure de stage

L'extraction des huiles essentielles a été réalisée au niveau des Laboratoires de recherche de-Produits Naturel à Bouhenak Tlemcen.

Les tests de l'activité antifongique ont été effectués au niveau du laboratoire de l'institut national de protection des végétaux (INPV) à Mansourah Tlemcen.

IV.3. Présentation de la région d'étude

Notre étude est faite au niveau de la wilaya de Tlemcen, elle se situe sur la côte nord-ouest du pays et bénéficie d'une façade maritime de 120 km. Elle est une wilaya frontalière avec le Maroc. Le chef-lieu de la wilaya se trouve à 432 km à l'ouest de la capitale, Alger. La région étudiée s'étend entre les latitudes 34°25' et 35°25' Nord et les longitudes 0°55' et 2°30' Ouest, couvrant ainsi une superficie de 9017,69 km². Elle est géographiquement limitée par la mer Méditerranée au nord, la wilaya d'Ain Témouchent au nord-est, la wilaya de Sidi Bel-Abbès à l'est, la frontière algéro-marocaine à l'ouest et la wilaya de Naama au sud.[38]

Tableau 03 : Paramètres géographiques et bioclimatiques des sites de collecte des échantillons.

Commune	Etage bioclimatique	Latitude	Altitude (m)	Longitude
Maghnia	Tempéré méditerranéen	35°1' N	428	1°27' W
Remchi	Semi-aride sec et froid	35°03'43" N	209	1°26'01" O
Hennaya	Subhumide froid	33°54'35" N	539	1°24'31" O

IV.4. Matériel végétal

Dans le cadre de notre travail, nous avons recueilli trois (03) échantillons d'agrumes :

IV.4.1. Les oranges

Nous avons collecté une quantité d'oranges de la variété « Thomson Navel » estimée à dix (10) kilogrammes (**figure 05**), appartenant à Monsieur HANACHI Larbi agrumiculteur dans la région de Betaim commune de Maghnia. Cette collecte a été réalisée le 02 Février 2023.



Figure 05 : Collecte des oranges (**Photo originale**).

L'orange utilisée (**figure 06**) présentait les caractéristiques suivantes :

- Elle avait une taille moyenne.
- Sa forme était ronde, légèrement ovale
- Sa peau était fine, d'une couleur orangée et peu rugueuse.
- Sa pulpe était très juteuse avec une légère acidité.
- L'épaisseur de son écorce était d'environ 9 mm.

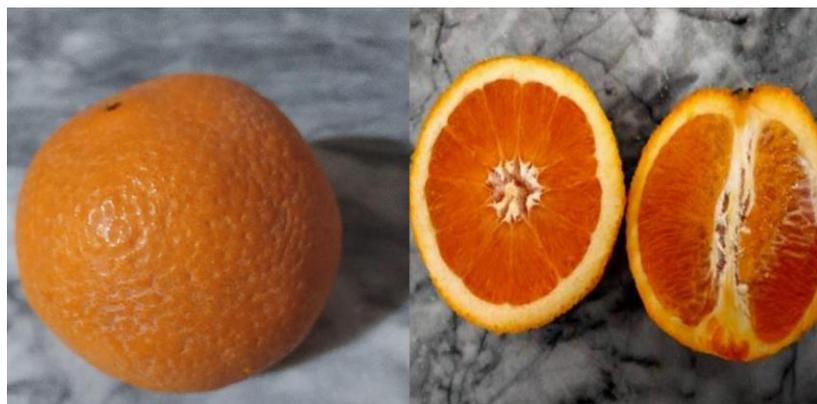


Figure 06 : fruits d'agrumes : oranges (**photo originale**).

IV.4.2. Les citrons

Nous avons collecté une quantité de citrons de la variété « Citron Eureka » estimée à dix (10) kilogrammes (**figure 07**), de la région de Remacha commune de Remchi, appartenant à Monsieur KHOUANE Benamar. Cette collecte a été réalisée le 15 Février 2023.



Figure 07 : Collecte des citrons (**Photo originale**).

Le citron utilisé (**figure 08**) présentait les caractéristiques suivantes :

- Il était de taille moyenne.
- Sa forme était ovale.

- Sa couleur était jaune et sa peau était molle.
- Sa pulpe était très juteuse et acidulée.
- L'épaisseur de son écorce était d'environ 6 mm.

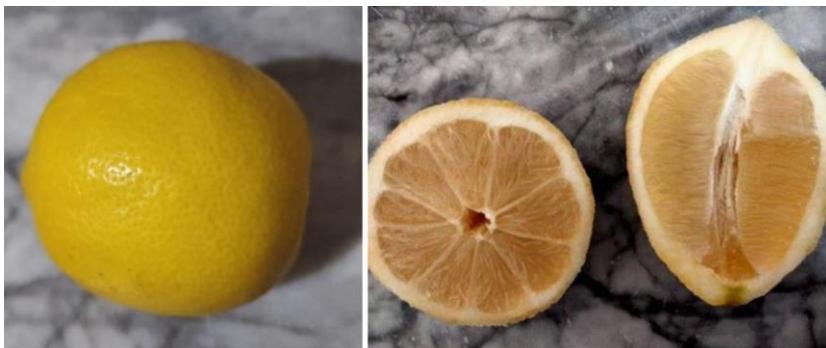


Figure 08 : fruits d'agrumes : citron (photo originale).

IV.4.3. Les feuilles

Nous avons collecté une quantité de feuilles d'oranges la variété « Thomson Navel » estimée à cinq-cents (500) grammes (**figure 09**), de la région de Merazga commune de Hennaya, appartenant à Monsieur ABDELWAHED Ahmed, agriculteur membre de l'EAC « Benhammou Belkacem ». Cette collecte a été réalisée le 08 Mars 2023.



Figure 09 : Collecte des feuilles d'oranges (Photo originale).

Les feuilles utilisées présentaient les caractéristiques suivantes :

- Elles avaient une couleur vert sombre.
- Leur forme était ovale, coriace et finement denticulée (**figure 10**).
- Leur longueur variait de 4 à 10 cm.



Figure 10 : les feuilles d'oranges (**photo originale**).

IV.5. Utilisation des pesticides

La culture des agrumes requiert des soins particuliers, tels que l'irrigation, la fertilisation et les traitements chimiques. Malheureusement, ce n'est pas seulement la mouche des fruits qui peut causer d'importants dégâts. Les cochenilles, en raison de leur comportement prédateur, peuvent affaiblir les arbres et diminuer la production. C'est pourquoi, depuis l'extension de la culture des agrumes à grande échelle, des moyens considérables ont été déployés, utilisant des produits chimiques de plus en plus toxiques mais également de plus en plus sélectifs, pour lutter contre ces deux ravageurs [8].

En Algérie, les traitements chimiques, utilisant des pesticides, sont principalement axés sur la lutte contre la cécidite et les cochenilles. Parfois, le niveau de contamination est si élevé

qu'il nécessite des interventions chimiques, sans lesquelles toute la récolte, voire une partie importante des agrumes serait compromise.

Les agrumiculteurs de Tlemcen utilisent deux types des pesticides sur leurs produits :

- Le premier type qui est de contact généralement utilisé contre la cécidite, c'est le plus utilisé.

- Le deuxième type, c'est les pesticides systémiques qui sont utilisés contre les cochenilles et les pucerons.

Et c'est ce qui a été déclaré par Monsieur BALLOUT Toufik le directeur régional de l'INPV.

Le pesticide utilisé sur les oranges était de différentes marques des deux types : contact et systémique :

- Imidacloprid.
- Thiacloprid.
- Clothianidin.
- Thiamethoxam.
- Acetamiprid.
- Nitenpyram.
- Dinotefuran.

Le pesticide utilisé sur les citrons était de contact connu sous le nom de « TransAct ».

IV.6. Appareillage et outils de laboratoire

Appareillage

Dans le cadre de notre travail nous avons utilisé deux types d'hydrodistillateurs :

Hydrodistillateur type classique.

Hydrodistillateur type cleverger.

En plus d'une Balance sensible VWR.

Les outils

Les outils employés dans le laboratoire étaient :

Tubes à hémolyse plastiques.

Bécher.

Entonnoir.

Nettoyants

Dans ce travail les outils ont été nettoyé en utilisant de l'eau et de l'acétone.

IV.7. Méthodes

IV.7.1. Préparations des échantillons

En tant qu'étape préparatoire des échantillons pour le processus d'extraction de l'huile, nous avons réparti les produits en 5 sections :

Section 1 : Un (01) kg d'écorce d'orange obtenue à partir de cinq (05) kg d'oranges non lavées.

Section 2 : Un (01) kg d'écorce d'orange obtenue à partir de cinq (05) kg d'oranges lavées.

Nous avons haché les produits des deux sections précédentes à l'aide d'un hachoir électrique (**figure 11**), puis nous avons conservé nos échantillons en congélateur jusqu'au moment de l'extraction des huiles essentielles.



Figure 11 : écorces d'oranges hachées (**Photo originale**).

Section 3 : Un (01) kg d'écorce de citron obtenue à partir de cinq (05) kg de citron non traités non lavés.

Section 4 : Un (01) kg d'écorce de citron obtenue à partir de cinq (05) kg de citron traités non lavés.

Nous avons coupé les épluchures en morceaux (**figure 12**), puis nous avons conservé nos échantillons en congélateur jusqu'au moment de l'extraction des huiles essentielles.



Figure 12 : préparation d'épluchures de citron (**Photo originale**).

Section 5 : Cinq-cents (500) gr de feuilles d'oranges que nous avons coupé en petits morceaux (**figure 13**), puis nous avons conservé nos échantillons en congélateur jusqu'au moment de l'extraction des huiles essentielles.



Figure 13 : feuilles d'oranges coupées en petits morceaux (**Photo originale**).

IV.7.2. Extractions d'huiles essentielles

Dans notre travail nous avons utilisé la méthode d'extraction des huiles essentielles recommandée par la pharmacopée européenne, qui est l'hydrodistillation [35].

Le procédé d'hydrodistillation consiste à chauffer l'échantillon Trempé dans de l'eau, qui par vaporisation et selon leur température d'ébullition on obtient après condensation deux constituants : le premier est de l'eau et le second est un liquide non miscible à l'eau (des huiles) [20].

Pour l'extraction des huiles essentielles nous avons utilisé deux (02) méthodes, la méthode classique et la méthode de Clevenger qui ont le même principe, sauf que la méthode de Clevenger est un peu plus évoluée (**figure 14**).

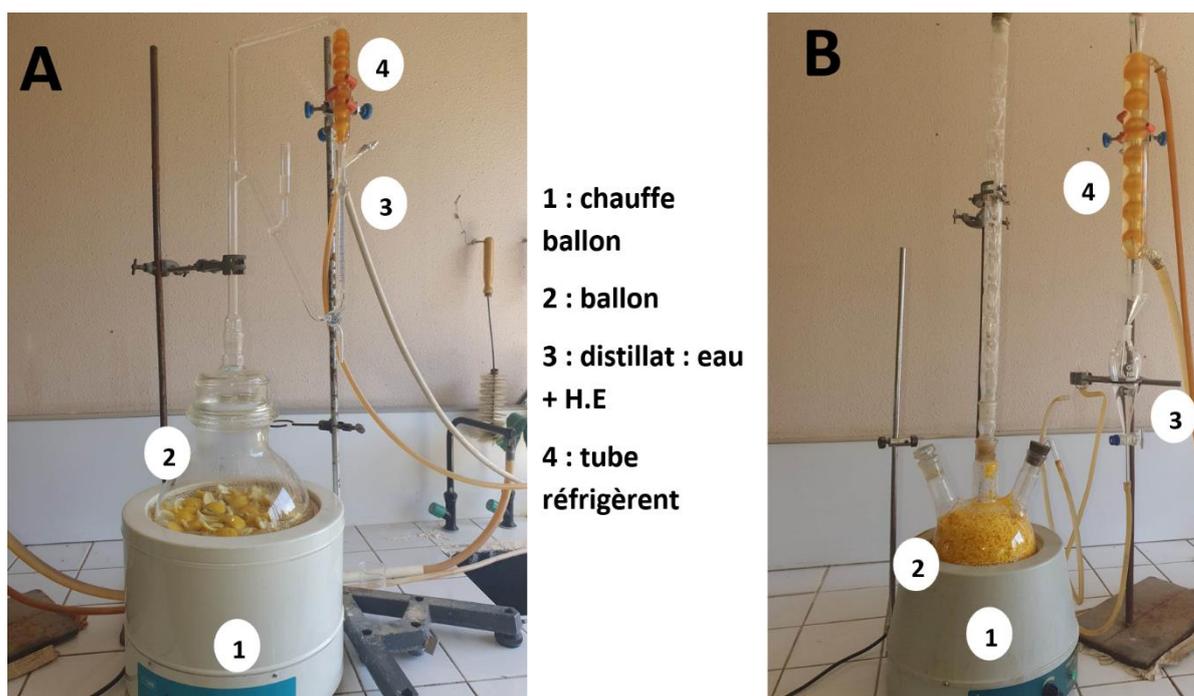


Figure 14 : l'hydrodistillation A : Clevenger et l'hydrodistillation B : classique (**Photo originale**), (1 : chauffe ballon, 2 : ballon, 3 : distillat : eau+ H.E, 4 : tube réfrigérant)

IV.7.2.1. Mode opératoire de la méthode de Clevenger

Dans un ballon en verre d'une capacité de 2 litres, nous plaçons la matière végétale (écorces ou feuilles), puis nous ajoutons un volume d'eau équivalent aux 2/3 de la capacité du ballon afin d'éviter tout débordement pendant l'ébullition. À l'aide d'un chauffe-ballon, nous chauffons le mélange pendant une heure et demie. Pendant cette période d'ébullition, les cellules végétales se rompent, libérant ainsi leurs contenus qui sont ensuite transportés par les vapeurs d'eau générées dans le ballon vers le réfrigérant, où ils se condensent. Les gouttelettes ainsi formées descendent dans une ampoule à décanter et se séparent en deux phases en raison de leur différence de densité. L'huile essentielle (HE) flotte à la surface de l'eau (**figure 15**).



Figure 15 : l'huile essentielle extraite par la méthode de Clevenger (**photo originale**).

IV.7.2.2. Mode opératoire de la méthode classique

Dans un ballon de 1000 ml, nous ajoutons la masse végétale broyée et une quantité suffisante d'eau distillée, sans remplir le ballon complètement afin d'éviter tout débordement lors de l'ébullition. Ensuite, nous portons le mélange à ébullition. La vapeur d'eau formée entraîne les molécules odorantes libérées et passe à travers un serpentin de refroidissement où le mélange se condense et tombe dans une ampoule à décanter. À ce stade, deux phases se

forment, une phase aqueuse et une phase organique. L'huile essentielle, qui est moins dense que l'eau, est récupérée à partir de cette phase (**figure 16**) [25].



Figure 16 : l'huile essentielle extraite par la méthode classique (**photo originale**).

Nos avons fait la même chose avec le reste des parties des échantillons (**figure 17**).

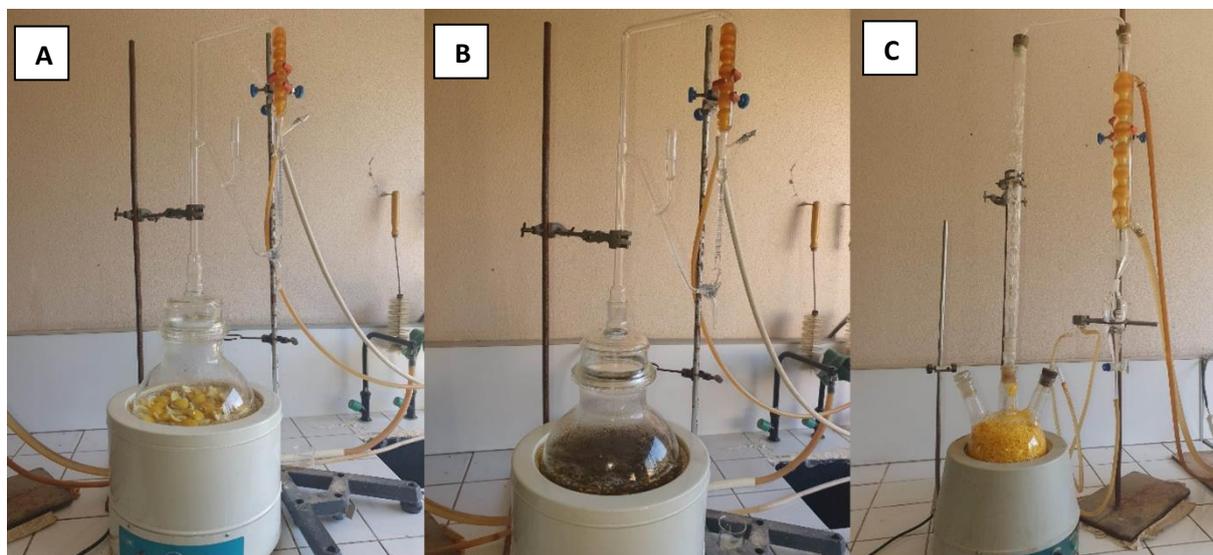


Figure 17 : l'hydrodistillation de A : épiluchures de citron, B : feuilles d'oranges, C : écorce d'oranges (**Photo originale**).

IV.7.3. Conservation des huiles essentielles

La préservation des huiles essentielles est essentielle en raison de leur sensibilité et de leur propension à se détériorer facilement. Pour assurer une conservation adéquate, nous avons suivi certaines précautions indispensables. Les huiles essentielles ont été soigneusement placées dans des flacons en verre propres et secs. Ensuite, nous les avons enveloppées de papier aluminium afin de les protéger de la lumière et de la chaleur. Enfin, nous les avons conservées à une température d'environ 4°C, (dans le réfrigérateur), pour préserver leur intégrité [2].

IV.7.4. Rendement d'extraction

Pour étudier la cinétique d'extraction de l'huile essentielle des agrumes, nous avons collecté des quantités d'huiles essentielles qui seront utilisées pour calculer le rendement à chaque extraction. Conformément à la norme AFNOR [2], le rendement en huiles essentielles (R%) est défini comme le rapport entre la masse des huiles essentielles obtenues après extraction (M_{ext}) et la masse de la matière végétale utilisée ($M_{\text{éch}}$). Il peut être calculé selon la formule suivante suivante :

$$R (\%) = 100 M_{\text{ext}}/M_{\text{éch}}.$$

R (%) : rendement en %.

M_{ext} : est la masse de l'extrait en gr.

$M_{\text{éch}}$: est la masse de l'échantillon végétale en gr.

IV.8. Matériel fongique

Nous avons testé nos huiles essentielles sur deux types de champignons : l'Oïdium et la Fumagine (**figure 18**), ces derniers ont été fournis par Monsieur BALLOUT Toufik, directeur régional de l'INPV.

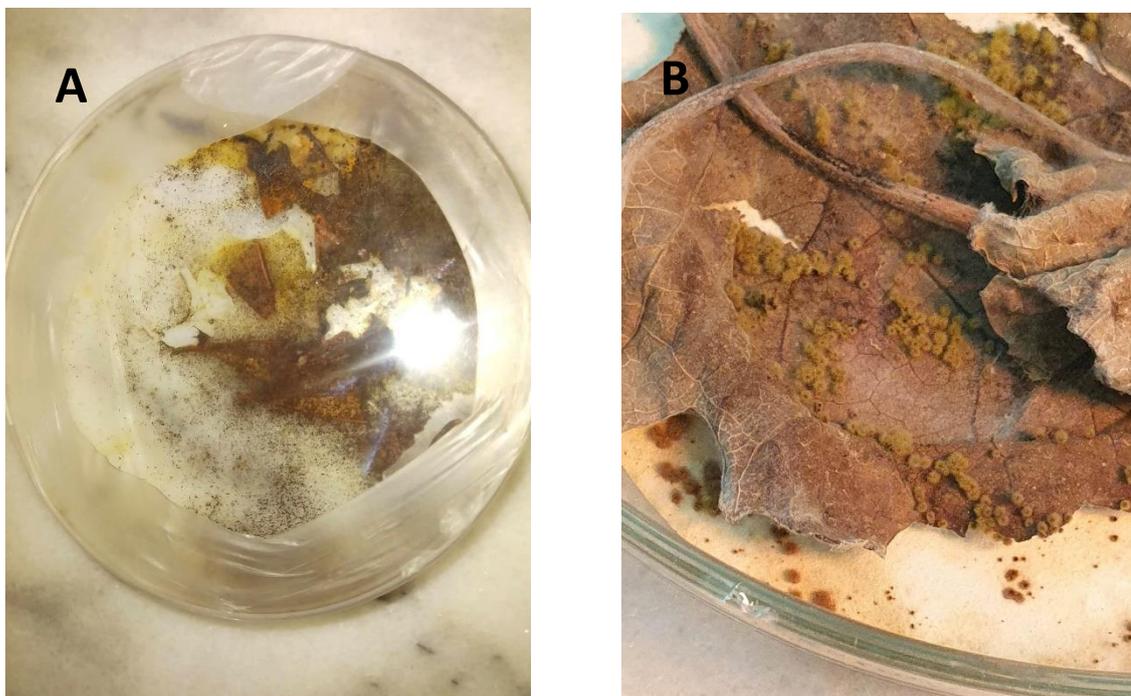


Figure 18 : les champignons A : la Fumagine, B : l'Oïdium (**Photo originale**).

IV.9. Appareillage et outils de laboratoire

Appareillage

Dans l'exercice de notre activité professionnelle, nous avons fait usage de :

Autoclave.

Etuve.

Balance.

Bec bunsen.

Distillateur d'eau.

Les outils

Nous avons utilisé les équipements suivants dans le laboratoire :

Tubes à essais en verre.

Boîtes de pétries.

Micropipette (50 μ l).

Micropipette (100 μ l).

Embout pipette.

Parafilm.

Flacons en verre.

Becher.

Pinces.

Support à bois.

Eprouvette.

Papier aluminium.

Papier filtre.

Pissette.

Pipettes en verre.

Les réactifs

L'eau distillé.

Le milieu de culture Potato Dextrose Agar (PDA).

Les nettoyants

Pour nettoyer nos équipements nous avons utilisé :

L'alcool et l'eau.

IV.10. Méthodes

IV.10.1. Préparation de milieu de culture

Le milieu de culture POTATO DEXTROSE AGAR est un milieu très favorable pour le développement de Champignons pour sa richesse en éléments nutritifs particulièrement le dextrose et l'amidon [67].

Pour préparer le milieu de culture, nous avons suivi les instructions sur la bouteille renfermant la poudre.

Nous avons pesé 42 grammes de poudre et l'avons déposé dans un agitateur magnétique contenant un (01) litre d'eau distillée. Ensuite nous l'avons fait chauffer afin de dissoudre complètement toute la poudre. Après ça nous avons divisé le liquide dans des flacons en verre stérilisés et les avons mis dans l'autoclave à 120°C pendant une vingt-minutes (**figure 19**).



Figure 19 : les étapes de préparation de milieu de culture (**Photo originale**).

IV.10.2. L'ensemencement des champignons

Nous avons allumé le bec bunsen pour assurer les conditions appropriées d'un milieu stérile, ensuite, nous avons commencé par remplir les boîtes de Pétri de milieu de culture liquide, puis nous les avons laissés peu de temps pour que le milieu de culture solidifie, après ça nous avons commencé à repiquer nos champignons en utilisant des pinces pour les porter. Nous avons attribué cinq boîtes de Pétri à chaque champignon et nous les avons mis dans l'étuve et les avons laissés pendant quatre (04) jours (**figure 20**).



Figure 20 : ensemencement des champignons (**Photo originale**).

IV.10.3. La concentration minimale inhibitrice (CMI)

La détermination de la CMI des huiles essentielles contre les maladies fongiques se fait généralement par des méthodes de dilution en milieu gélosé ou en milieu liquide. Dans ces tests, différentes concentrations d'huile essentielle sont ajoutées au milieu de culture fongique, et la

CMI est déterminée comme la plus faible concentration d'huile essentielle qui inhibe la croissance visible du champignon [35].

Il est important de noter que la sensibilité des champignons aux huiles essentielles peut varier considérablement d'une espèce à l'autre. Certains champignons peuvent être plus résistants ou moins sensibles aux huiles essentielles, ce qui signifie que la CMI peut différer pour chaque type de champignon [14].

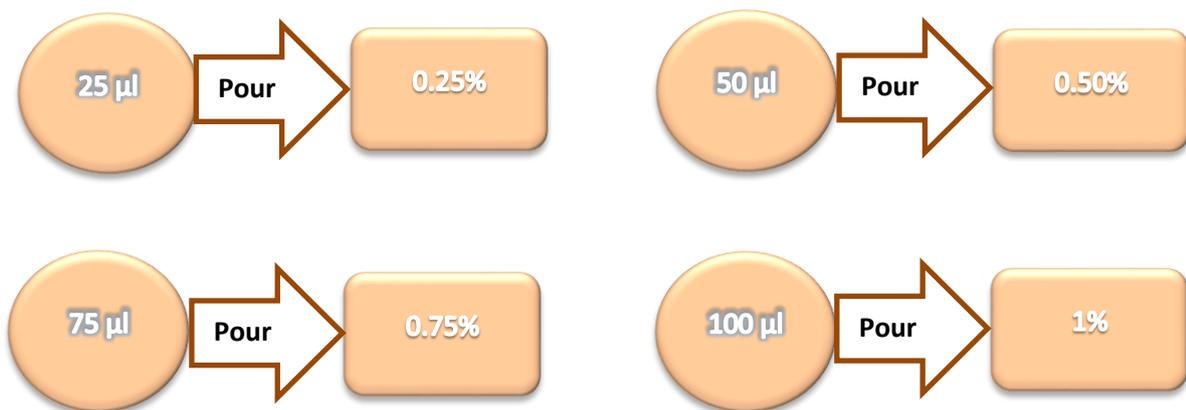
Le protocole suivi dans notre étude a été celui décrit par BERGHEUL S. [14].

IV.10.4. Préparation des doses

Nous avons choisi 4 valeurs comme concentrations d'huiles essentielles pour nos champignons :



L'expression de ces concentrations en doses est comme suit :



Nous avons commencé par mélanger 10ml de milieu de culture que nous avons mesuré avec une éprouvette graduée avec chacune de ces doses choisies des huiles essentielles mesurées par une micro pipette, dans des Tubes à essai en verre.

Nous avons versé les solutions dans des boîtes de Pétri stériles.

Nous avons répété trois (03) fois ce processus avec chaque dose afin d'obtenir des résultats conformes.

A la fin nous avons obtenu un total de 60 boîtes de Pétri prêtes à repiquer (**figure 21**).



Figure 21 : préparation des doses d'huiles essentielles (**Photo originale**).

IV.10.5. Repiquage des champignons

Le repiquage se fait toujours dans la zone stérile du bec bunsen.

Après un bon développement des colonies, nous avons effectué le repiquage de chaque colonie pour tester l'efficacité de nos huiles essentielles.

Le repiquage a été fait par un prélèvement d'un fragment de colonie à l'aide d'une pince stérilisé, ce fragment est ensuite déposé dans les 60 boîtes de pétri précédentes contenant le milieu de culture (**figure 22**), (**figure 23**).

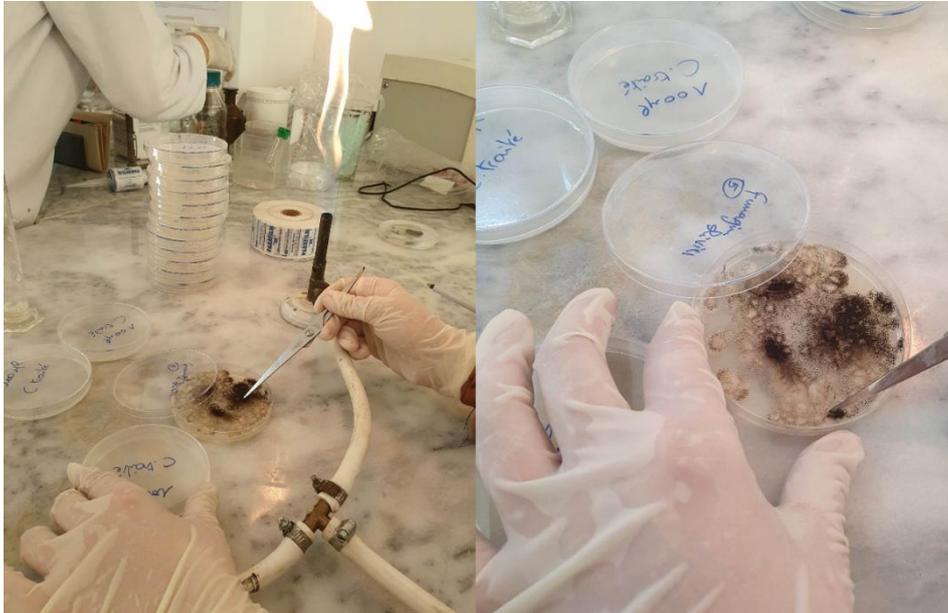


Figure 22 : repiquage de la fumagine (**Photo originale**).



Figure 23 : repiquage de l'Oïdium (**Photo originale**).

Nous avons indiqué la dose d'huile essentielle ainsi que le nom de l'échantillon sur les boîtes de Pétri (**figure 24**).



Figure 24 : les échantillons après le repiquage (**Photo originale**).

Dans une seule boîte de pétri, nous avons combiné les deux champignons ensemble tout en évitant son contact avec l'autre colonie avoisinante de la même boîte (**figure 25**).

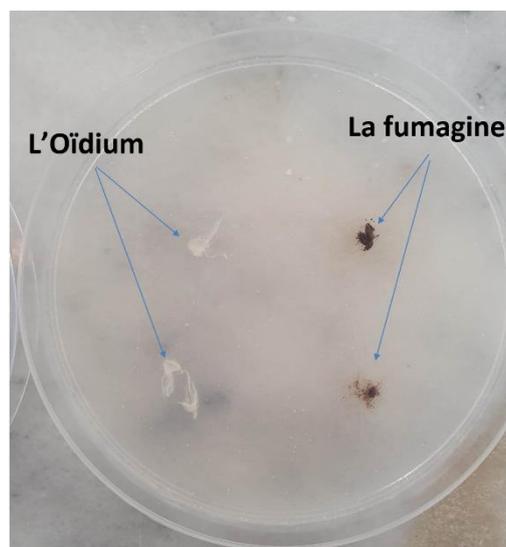


Figure 25 : la présence des deux champignons en une seul boîte de Pétri (**Photo originale**).

CHAPITRE V
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

V.1. Propriétés organoleptiques des huiles essentielles

D'un point de vue général, l'examen organoleptique des différentes huiles essentielles consiste à une description de l'aspect et de la couleur de ces huiles, ces propriétés peuvent varier en fonction de la plante de son origine, du processus d'extraction et de la qualité de l'huile essentielle.

D'habitude les huiles essentielles sont des liquides, volatils, réputées pour leurs arômes intenses et distincts. Chaque huile essentielle a son propre profil olfactif caractéristique, allant des notes florales aux agrumes, aux herbes, aux épices, etc. Rarement colorés mais on peut trouver une variation en couleur, allant du transparent au jaune pâle, en passant par l'ambre, le vert foncé ou le bleu. La couleur dépend de la plante d'origine et des composés chimiques présents dans l'huile [74].

L'arôme de chaque huile essentielle est le résultat de la combinaison de tous ses composants, y compris les composés présents en faibles quantités qui peuvent jouer un rôle crucial dans la détermination de l'arôme global [94].

Les propriétés organoleptiques des huiles essentielles de notre étude sont représentées au **tableau 04**.

Tableau 04 : caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles d'agrumes

L'huile essentielle	La couleur	La saveur	L'odeur
Ecorces d'oranges	Jaune orangé à transparent.	Intense et fraîche.	Odeur fraîche, intense et reconnaissable d'orange.
Ecorces de citrons	Transparent.	Vive, acidulée et très aromatique.	Odeur vive, fraîche et fortement citronnée.
Feuilles d'oranges	Jaune clair à transparent.	Douce et légèrement amère.	Odeur fraîche, verte et légèrement boisée.

V.2. Rendement d'extraction des huiles essentielles des plantes étudiées

Dans cette étude, nous avons extrait les huiles essentielles d'agrumes, notamment les huiles essentielles d'écorces d'oranges, d'épluchures de citron et des feuilles d'oranger. La

méthode d'extraction utilisée était l'hydrodistillation avec ces deux (02) méthodes : classique et Clevenger. Nos échantillons utilisés pour l'extraction des huiles essentielles ont été conservés au congélateur avant qu'elles été soumis à ce processus d'extraction, et les rendements des huiles essentielles obtenues ont été déterminés.

Les résultats des rendements sont exprimés en pourcentage et sont répertoriés dans le tableau suivant :

Tableau 05 : rendements d'extraction des huiles essentielles des agrumes étudiés.

Section	La masse de l'échantillon végétale en gr	La masse de l'extrait en gr	Rendement en %.
Épluchures d'oranges non lavées	01 kg	8.10 g	0.95 %
Épluchures d'oranges lavées	01 kg	10.34 g	2.02 %
Épluchures de citrons non lavés non traités	01 kg	2.26 g	0.23 %
Épluchures de citrons traités non lavés	01 kg	1.71 g	0.17 %
Les feuilles d'oranges	500 g	1.12 g	0.224 %

V.2.1. Rendements des huiles essentielles des écorces d'oranges

Les rendements d'extraction de l'huile essentielle obtenue par hydrodistillation à partir des écorces d'oranges non lavées hachées et conservées sont de 0,95%. Ce rendement est atteint après une durée d'une (01) heure et 30 minutes. En revanche, le rendement obtenu à partir des écorces d'oranges lavées, hachées et conservées est de 2,02%.

Ces valeurs de rendement sont considérablement plus faibles que celles obtenues par DIDI et al. [86] lors de l'extraction par hydrodistillation des huiles essentielles d'orange. Ces auteurs ont obtenu un rendement de 4% en utilisant 200 g de zeste frais comme matière première, avec une durée de distillation de deux (02) heures et 30 minutes. La différence entre nos résultats et les leurs peut s'expliquer par l'état de l'échantillon utilisé, car il est observé que les échantillons frais produisent des rendements plus élevés. De plus, la durée de distillation joue un rôle important, où l'on constate que plus la période de distillation est longue, plus le rendement est élevé.

Dans une autre étude menée par Bousbia [23], le rendement en huiles essentielles des oranges de variété *Valencia late* extrait par hydrodistillation pendant 180 minutes a révélé un taux de 1.1%.

V.2.2. Rendements des huiles essentielles des écorces des citrons

Les rendements d'extraction de l'huile essentielle obtenue par hydrodistillation à partir des épiluchures de citrons non lavés, non traités, coupés en morceaux et conservés sont de 0,23%. Ce rendement est atteint après une durée d'une (01) heure et 30 minutes. En revanche, le rendement obtenu à partir des épiluchures de citrons non lavés, traités, coupés en morceaux et conservés est de 0,17%. Cette variation peut être attribuée à l'effet potentiel de l'utilisation de pesticides, qui auraient pu altérer les structures des cellules sécrétrices des huiles essentielles.

Ces valeurs de rendement sont relativement faibles par rapport à celles obtenues par DIDI et al. [86], lors de l'extraction par hydrodistillation des huiles essentielles de citron. Ces auteurs ont obtenu un rendement de 2,5% en utilisant 200 g de zeste frais comme matière première, avec une durée de distillation de deux (02) heures et 30 minutes. La différence entre nos résultats et les leurs peut s'expliquer par la forme des échantillons utilisés pour l'extraction, où l'on observe que les échantillons râpés donnent des rendements plus élevés que les échantillons coupés en morceaux. De plus, l'état de l'échantillon utilisé joue un rôle important, car il est observé que les échantillons frais produisent des rendements plus élevés. La durée de distillation est également un facteur crucial, où l'on remarque que plus la période de distillation est longue, plus le rendement est élevé.

V.2.3. Rendements des huiles essentielles des feuilles d'oranges

L'évaluation du rendement des huiles essentielles extraites à partir des feuilles d'orangers de variété *Thomson Navel* était l'un des objectifs principaux de cette étude. Nous avons utilisé la méthode d'hydrodistillation en utilisant 500 g de feuilles d'orangers conservées, préalablement coupées en morceaux. Le processus de distillation a duré une (01) heure et 30 minutes, et le rendement était 0.224%.

Les rendements obtenus dans notre étude sont relativement faibles par rapport à ceux rapportés par OKLA et al. [83].

Lors de l'extraction par hydrodistillation de type Clevenger des huiles essentielles de feuilles d'orangers de variété *Bigaradier*. Ces auteurs ont obtenu un rendement de 3,45% en utilisant 100 g de feuilles fraîches coupées, avec une durée de distillation de trois (03) heures.

La différence de rendement entre nos résultats et les leurs est due aux variétés utilisées. De plus, l'état des échantillons utilisés joue également un rôle important, car des rendements plus élevés ont été observés avec des échantillons frais. D'un autre côté, il faut garder à l'esprit que le temps de distillation est également un facteur important, des temps de distillation plus longs donnant des rendements plus élevés.

V.3. Propriétés antifongiques des huiles essentielles

Dans le cadre de notre étude, nous avons évalué les propriétés antifongiques des huiles essentielles d'agrumes, y compris les huiles essentielles de feuilles d'oranger, sur la croissance de différents champignons.

Les résultats de ce travail préliminaire ont mis en évidence l'activité antifongique de cinq huiles essentielles extraites de différentes sources, notamment les écorces d'oranges non lavées et lavées (*Citrus sinensis*), les épluchures de citron non lavées non traitées, les épluchures de citron non lavées traitées (*Limon Eureka*), ainsi que les feuilles d'oranges.

Parmi les souches de champignons que nous avons sélectionnées, nous avons choisi de mener des tests antifongiques sur deux espèces redoutables pour la vigne et l'olivier, à savoir l'oïdium et la fumagine. Ce choix est justifié par les dégâts qu'ils causent pour la production en plus de leur incidence dans la production de mycotoxines dangereuses pour la santé humaine et animale.

Nous avons utilisé la méthode de détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) pour évaluer l'efficacité de ces huiles essentielles qui est une méthode de dilution pour les tests antifongiques. Il s'agit d'un test préliminaire qui consiste à évaluer l'activité antifongique de nos huiles essentielles en utilisant différentes concentrations. Cela nous permet de sélectionner, pour chaque espèce de champignon, l'huile essentielle présentant une bonne activité antifongique parmi les cinq testées.

V.3.1. Huile essentielle d'oranges

Dans notre étude, nous avons observé que l'huile essentielle d'oranges, qu'elle soit lavée ou non, n'a démontré aucun effet notable contre les deux (02) champignons étudiés. En effet, nous avons constaté une croissance des deux (02) champignons sur les milieux de cultures contenant toutes les doses d'huiles essentielles : 25 μ l, 50 μ l, 75 μ l, 100 μ l (**figure 26, 27**) (**tableau 06, 07**).

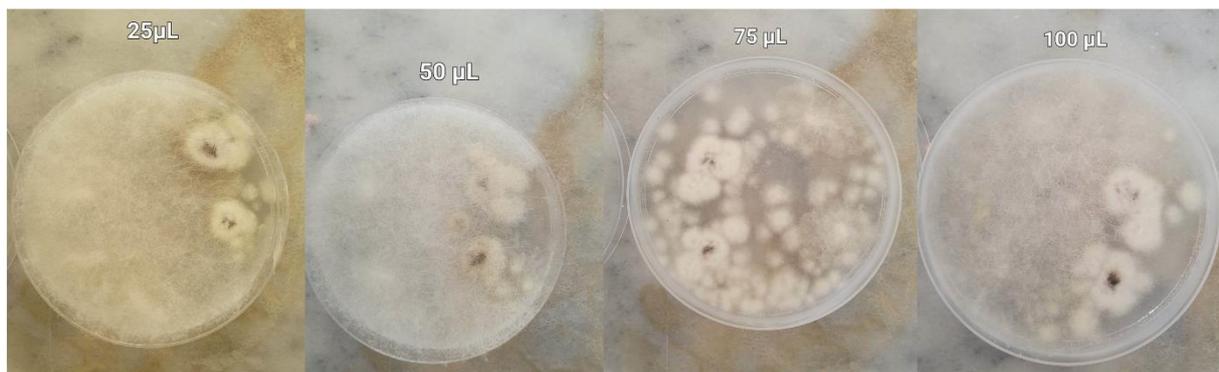


Figure 26 : : l'effet de l'huile essentielle d'orange lavée sur la croissance de l'Oïdium et la fumagine (**photo original**).

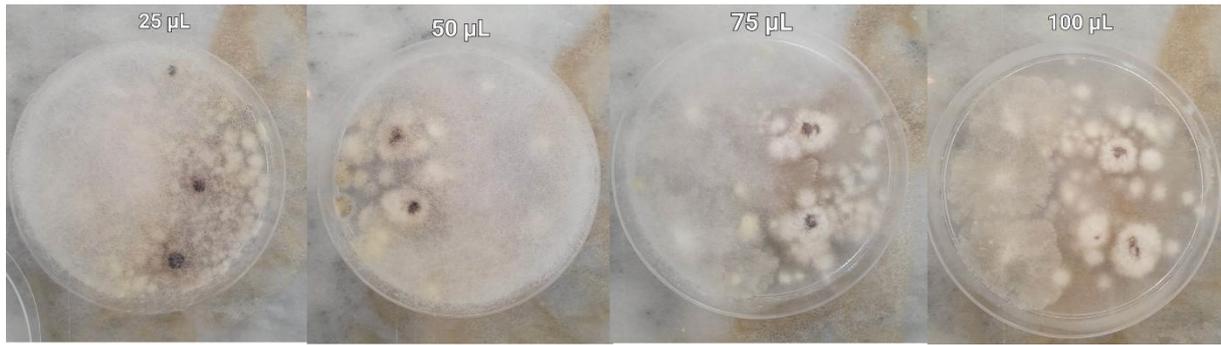


Figure 27 : : l'effet de l'huile essentielle d'orange non lavée sur la croissance de l'Oïdium et la fumagine (photo original).

Tableau 06 : l'effet de l'huile essentielle d'orange lavée et non lavée sur la croissance de l'Oïdium

	H.E d'oranges non lavées				H.E d'oranges lavées			
	0.25 %	0.5%	0.75%	1%	0.25%	0.5%	0.75%	1%
Les concentrations								
L'oïdium	+	+	+	+	+	+	+	+

Tableau 07 : l'effet de l'huile essentielle d'orange lavée et non lavée sur la croissance de la fumagine

	H.E d'oranges non lavées				H.E d'oranges lavées			
	0.25 %	0.5%	0.75%	1%	0.25%	0.5%	0.75%	1%
Les concentrations								
La Fumagine	+	+	+	+	+	+	+	+

Par conséquent, les propriétés antifongiques de l'huile essentielle d'oranges n'ont pas été observées dans le cadre de cette expérience.

V.3.2. Étude comparative

En comparant nos résultats avec ceux de l'étude menée par SHARMA et al. [95], qui ont utilisé neuf (09) doses d'huile essentielle d'écorces d'oranges de variété "Thomson Navel" pour évaluer son efficacité contre les agents pathogènes post-récolte, nos résultats étaient similaires jusqu'à la dose de 100 µl. Cependant, il est à noter que dans leur étude, les doses supérieures à 100 µl ont montré des effets positifs contre les champignons.

Cela suggère qu'il peut y avoir une différence dans la concentration optimale requise pour obtenir une activité antifongique remarquable entre notre étude et celle de SHARMA et al. [95].

Ces résultats soulignent la nécessité d'explorer d'autres doses d'huiles essentielles ou pour mieux contrôler la croissance des champignons étudiés.

V.3.4. Huile essentielle de citron

Dans notre étude, les résultats ont montré que l'huile essentielle de citron, qu'elle soit traitée ou non, n'a eu aucun effet contre la fumagine, ce qui signifie que la croissance des champignons n'a pas été inhibée dans toutes les doses testées, à savoir 25 µl, 50 µl, 75 µl et 100 µl (**tableau 08**).

Tableau 08 : l'effet de l'huile essentielle de citron lavé non traité et non lavé sur la croissance de la fumagine

	H.E de citrons non lavés non traités				H.E de citrons traités non lavés			
Les concentrations	0.25 %	0.5%	0.75%	1%	0.25%	0.5%	0.75%	1%
La Fumagine	+	+	+	+	+	+	+	+

En revanche, pour l'oïdium, nous avons observé que l'huile essentielle de citron non lavé et non traité, à une dose de 75 µl et 100 µl, a montré une inhibition de la croissance du

champignon. De plus, l'huile essentielle de citron traité et non lavé a démontré une inhibition totale de la croissance de l'oïdium dans toutes les doses utilisées (25 μ l, 50 μ l, 75 μ l, 100 μ l) (tableau 09), (figure 28, 29).

Tableau 09 : l'effet de l'huile essentielle de citron lavé non traité et non lavé sur la croissance de l'Oïdium

	H.E de citrons non lavés non traités				H.E de citrons traités non lavés			
	0.25 %	0.5%	0.75%	1%	0.25%	0.5%	0.75%	1%
Les concentrations	0.25 %	0.5%	0.75%	1%	0.25%	0.5%	0.75%	1%
L'oïdium	+	+	-	-	-	-	-	-

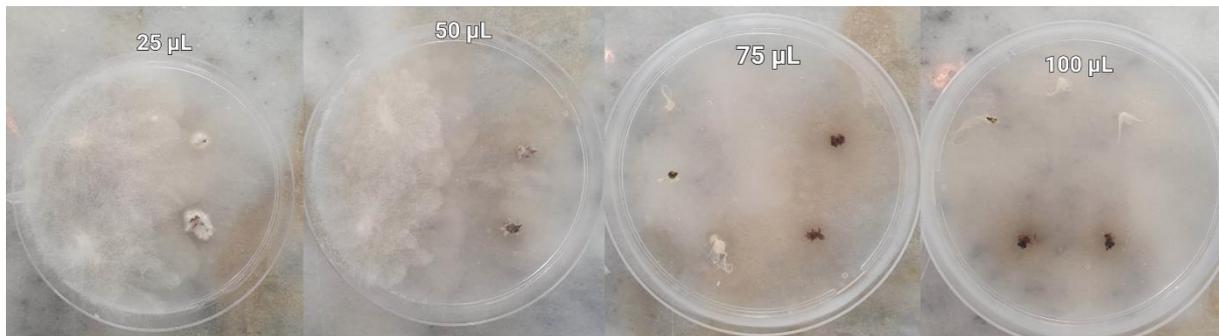


Figure 28 : : l'effet de l'huile essentielle de citrons non lavés non traités sur la croissance de l'Oïdium et la fumagine (photo original).

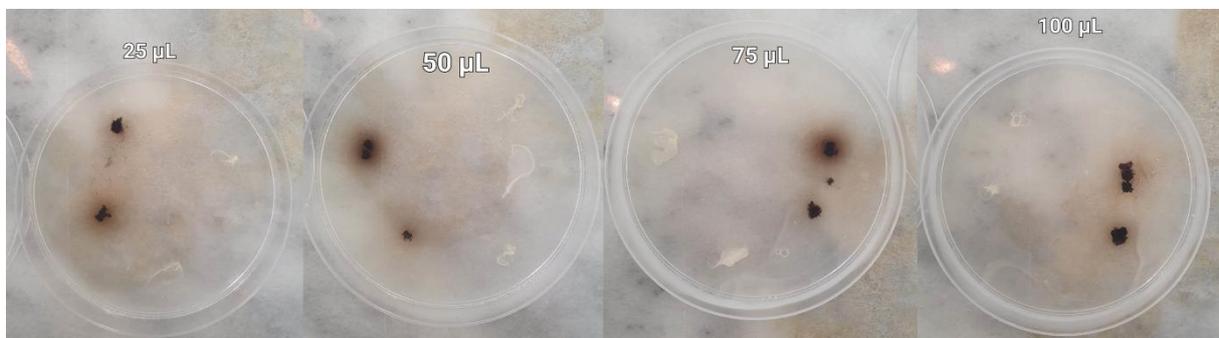


Figure 29 : : l'effet de l'huile essentielle de citrons non lavés traités sur la croissance de l'Oïdium et la fumagine (photo original).

Ces observations suggèrent que l'huile essentielle de citron, en particulier lorsqu'elle est traitée et non lavée, peut avoir un potentiel antifongique prometteur contre l'oïdium.

V.3.5. Étude comparative

En comparaison avec l'étude menée par SIMAS et al. [97], qui ont utilisé l'huile essentielle de quatre variétés de citron, dont l'une est la variété *citrus limon* que nous avons utilisée dans notre étude, contre la croissance fongique de trois champignons dans les fruits, nos résultats étaient meilleurs que les leurs en ce qui concerne l'oïdium. En effet, nous avons observé dans notre étude qu'il avait des résultats d'inhibition totale de la croissance de l'oïdium. Cela indique que notre huile essentielle de citron a démontré une activité antifongique plus prononcée contre l'oïdium que celle observée dans l'étude de SIMAS et al. [97], même à des doses plus élevées.

Ces résultats encourageants suggèrent que l'huile essentielle de citron, en particulier dans notre étude, peut être un agent prometteur dans le contrôle de l'oïdium.

Il convient de noter que les différences observées peuvent être influencées par divers facteurs, tels que la composition spécifique de notre huile essentielle de citron et sa sélectivité envers l'oïdium.

V.3.6. Huile essentielle de feuilles d'oranges

L'activité antifongique des huiles essentielles extraites des feuilles d'oranger a été évaluée contre l'oïdium et la fumagine par la méthode CMI. Les concentrations pour les deux champignons ont été déterminées à 75 µl et 100 µl, respectivement, suggèrent que ces huiles ont le potentiel d'inhiber efficacement la croissance de ces pathogènes fongiques (**tableau 10, 11**), (**figure 30**).

Tableau 10 : l'effet de l'huile essentielle de feuilles d'oranges sur la croissance de l'Oïdium

	H.E des feuilles d'oranges			
Les concentrations	0.25 %	0.5%	0.75%	1%

L'oïdium	+	+	-	-
-----------------	---	---	---	---

Tableau 11 : l'effet de l'huile essentielle de feuilles d'oranges sur la croissance de la fumagine

	H.E des feuilles d'oranges			
Les concentrations	0.25 %	0.5%	0.75%	1%
La Fumagine	+	+	-	-

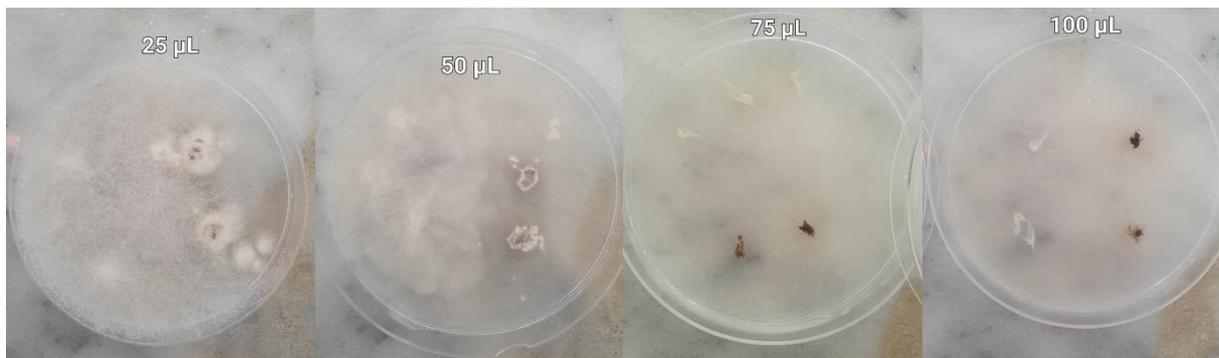


Figure 30 : l'effet de l'huile essentielle de feuilles d'oranges sur la croissance de l'Oïdium et la fumagine (**photo original**).

Les résultats indiquent que l'huile essentielle des feuilles d'oranges présente une forte activité antifongique contre l'ensemble des champignons testés. En revanche, les huiles essentielles obtenues à partir des épluchures des fruits d'oranges et de citrons ont montré une activité antifongique faible vis-à-vis des mêmes champignons étudiés.

Ces résultats mettent en évidence la potentialité de l'huile essentielle des feuilles d'oranges comme agent antifongique prometteur, tandis que les huiles essentielles d'oranges et de citrons pourraient nécessiter des conditions ou des doses spécifiques pour une activité antifongique plus prononcée.

En comparant nos résultats avec l'étude menée par ZOHRA et al. [109], il est important de noter qu'ils ont également utilisé les mêmes huiles essentielles que les nôtres et ont employé

la méthode CMI. Cependant, leur étude s'est concentrée sur l'évaluation de l'activité antifongique contre des champignons différents de ceux examinés dans notre recherche. Ces ont rapporté des valeurs de CMI variables pour les différents champignons testés. Les concentrations minimales inhibitrices se sont révélées être de 0,4 mg/ml pour le *Fusarium sp.*, 1 mg/ml pour le *Fusarium oxysporum*, 0,4 mg/ml pour l'*Alternaria sp.* et >1 mg/ml pour le *Penicillium sp.* Ces variations des valeurs de CMI entre différents champignons suggèrent que la sensibilité des champignons aux huiles essentielles peut être spécifique à l'espèce ou influencée par d'autres facteurs tels que les souches utilisées ou les variations des conditions expérimentales, Cet écart pourrait être aussi attribué aux variations potentielles de la composition chimique des huiles essentielles en raison de facteurs tels que l'emplacement géographique, ou la maturité des plantes.

Les valeurs de CMI plus faibles observées dans notre étude suggèrent un pouvoir antifongique plus fort des huiles essentielles de feuilles d'oranger contre l'oïdium et la fumagine. Des investigations supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les composants spécifiques des huiles essentielles responsables de leur activité antifongique et pour élucider leur mode d'action contre ces champignons. De plus, l'évaluation de l'efficacité des huiles essentielles dans des essais sur le terrain ou d'autres applications pratiques pourrait fournir des informations précieuses sur leur potentiel en tant qu'alternatives naturelles aux fongicides synthétiques.

CONCLUSION GENERALE

L'utilisation de fongicides comme principale méthode de lutte contre les maladies fongiques dans l'agriculture a contribué à protéger les rendements des cultures et à assurer la sécurité alimentaire. Cependant, l'utilisation généralisée et intensive des fongicides synthétiques a soulevé des inquiétudes quant à leur impact négatif, par conséquent, l'exploration et la mise en œuvre d'approches alternatives à l'utilisation des fongicides sont devenues impératives.

L'utilisation d'huiles essentielles d'agrumes comme agents phytosanitaires offre plusieurs avantages par rapport aux pesticides chimiques conventionnels, notamment la réduction des risques d'accumulation de résidus de pesticides, le développement d'une résistance aux ravageurs et la pollution de l'environnement.

L'utilisation des huiles essentielles d'agrumes comme fongicides potentiels contre l'oïdium et la fumagine montre des résultats prometteurs. La méthode de la concentration minimale inhibitrice (CMI) a été utilisée pour évaluer l'efficacité des huiles essentielles extraites d'agrumes, y compris les huiles essentielles d'orange, de citron et de feuilles.

Les résultats de notre étude sur le contrôle de la fumagine ont révélé que toutes les concentrations d'huiles essentielles des épluchures de fruits d'agrumes utilisées dans notre travail se sont révélées inefficaces, ce qui a conduit à une croissance du champignon. Cependant, l'huile essentielle de feuilles d'oranges a montré une inhibition de la croissance du champignon à deux (02) concentrations (0.75% et 1%).

Ces résultats suggèrent que les huiles essentielles des feuilles d'oranges ont le potentiel de supprimer efficacement la croissance et le développement de la fumagine, offrant une approche naturelle et durable pour sa gestion.

Dans le cas de l'oïdium, les résultats ont varié selon le type d'huile essentielle d'agrumes utilisée. L'huile essentielle des épluchures des fruits d'orange a démontré une croissance d'oïdium à toutes les concentrations testées. D'autre part, l'huile essentielle des épluchure des fruits de citron a montré une inhibition de croissance à seulement deux (02) concentrations (0.75% et 1%), tandis que l'huile essentielle de feuilles a montré une inhibition de croissance observée à deux (02) concentrations (0.75% et 1%). Ces résultats suggèrent que l'huile essentielle de citrons et des feuilles d'orange, en particulier, détient un potentiel important en tant qu'agent fongicide contre l'oïdium.

Les résultats de cette recherche contribuent au corpus croissant de connaissances sur l'utilisation d'alternatives naturelles pour les applications fongicides. En exploitant le potentiel des huiles essentielles d'agrumes, nous pouvons potentiellement réduire la dépendance aux fongicides synthétiques, qui présentent souvent des risques pour l'environnement et la santé. De plus, l'utilisation d'huiles essentielles d'agrumes s'aligne sur la demande croissante des consommateurs pour des pratiques agricoles durables et respectueuses de l'environnement.

Il est important de noter que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser la formulation et les méthodes d'application des huiles essentielles d'agrumes en tant que fongicides. De plus, l'étude des mécanismes d'action et de la phytotoxicité potentielle de ces huiles sera précieuse pour leur mise en œuvre sûre et efficace dans des contextes agricoles pratiques.

Nous espérons que Cette étude sera utile et ouvrira des perspectives pour d'autres recherches à d'autres étudiants pour développer l'utilisation des H.E comme traitement biologique pour différentes maladies des cultures.

En résumé, les résultats de cette étude mettent en évidence le potentiel des huiles essentielles d'agrumes, en particulier l'huile essentielle des feuilles d'orange et de citron, comme fongicides efficaces contre l'oïdium et la fumagine. Les résultats soutiennent le développement d'alternatives naturelles et durables pour la gestion des maladies en agriculture, offrant une voie prometteuse pour réduire la dépendance aux fongicides synthétiques et promouvoir des pratiques respectueuses de l'environnement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques :

- [1] **Adorjan B. & Buchbauer G. (2010).** Biological properties of essential oils: an updated review. *Flavour and fragrance journal*, 25(6), 407-426.
- [2] **AFNOR. (1986).** Recueil des normes française « huiles essentielles », AFNOR. Paris. P57.
- [3] **Al-Saleh I. A. (1994).** Pesticides: a review article. *Journal of environmental pathology, toxicology and oncology: official organ of the International Society for Environmental Toxicology and Cancer*, 13(3), 151-161.
- [4] **Al-Sayeda H. (2007).** Transfert d'un insecticide systémique, l'imidaclopride, chez la tomate : implication du transport phloémien. Thèse de l'école doctorale SEVAB (Toulouse), . Accès vérifié le 03/10/2012 : http://ethesis.inptoulouse.fr/archive/00000579/01/al_sayeda.pdf
- [5] **Al-taha H. A. Jasim A. M. & Abbas M.F. (2012).** Somatic embryogenesis and plant letter generation from nucleus tissues of local orange (*Citrus sinensis* (L) Osbeck). *Acta Agriculturae Slovenica*, 99(2), 185-189.
- [6] **Attokaran M. (2011).** Arômes et colorants naturels. Blackwell Publishing Ltd. et Institute of Food Technologists, Iowa.
- [7] **Aziz Z. A. Ahmad A. Setapar S. H. M. Karakucuk A. Azim M. M. Lokhat D. ... & Ashraf G. M. (2018).** Essential oils: extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential-a review. *Current drug metabolism*, 19(13), 1100-1110.
- [8] **Bagard S. (2008).** Physique-Chimie 1e S: Tout-en-un, Ed. Bréal, 432p.
- [9] **Bakkali F. Averbeck S. Averbeck D. & Idaomar M. (2008).** Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475.
- [10] **Baldi I. Cordier S. Coumoul X. Elbaz A. Gamet-Payraastre L. Lebailly P. ... & van Maele-Fabry G. (2013).** Pesticides : effets sur la santé (Doctoral dissertation, Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM)).
- [11] **Balinova AM. Mladenova RI. Shtereva DD. (2006).** Effects of processing on pesticide residues in peaches intended for baby food. *Food Additives and Contaminants*, 23(9), 895-901.
- [12] **Bardeau F. (2009).** Les huiles essentielles, découvrir le bienfait et les vertus d'une médecine ancestrale. Edition Lenore, 315.

-
- [13] **Batsch D. (2011).** L'impact des pesticides sur la santé humaine (Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré).
- [14] **Bergheul S. (2018).** Etude de l'activité antimicrobienne et bioinsecticide de *Ruta chalepensis* L., *R. angustifolia* Pers. et *Haplophyllum tuberculatum* (Forsk.) A. Juss. vis-à-vis de quelques bioagresseurs de la culture de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) (Doctoral dissertation, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis).
- [15] **Bernard T. Perineau F. Bravo P. Delmas M. Et Gaset A. (1988).** Informations chimie, Oct, n° 298, 179.
- [16] **Berrighi L. (2007).** Etude de la dynamique des populations de la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrilla* STAIN (Lepidoptera; Gracillariidae) dans la commune de Mazagran (Mostaganem).
- [17] **Blondel L. (1959).** La culture des agrumes en Algérie. Station expérimentale d'arboriculture de Boufarik. Bull, n°176, 25p.
- [18] **Boland J. Koomen I. Lidth de Jeude J. V. & Oudejans J. (2004).** Les pesticides : composition, utilisation et risques. Agrodok.
- [19] **Bonnechère A. (2012).** Détermination et utilisation des facteurs de transformation des résidus de pesticides suite au processing de fruits et légumes (Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain).
- [20] **Boualleg M. B. R. (2021).** Optimisation des paramètres d'extraction de l'huile essentielle de *Lavandula stoechas*.
- [21] **Boudet C. Wallet F. & Thybaud É. (2020).** Pesticides : diversité des sources d'information et effet sur la perception des risques. Environnement, Risques & Santé, 19, 82-89.
- [22] **Boulaid M. Aguilera A. Camacho F. Soussi M. Valverde A. (2005).** Effect of household processing and unit-to-unit variability of pyrifenoxy, pyridaben, and tralomethrin residues in tomatoes. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(10), 4054-8.
- [23] **Bousbia N. (2011).** Extraction des huiles essentielles riches en antioxydants à partir de produits naturels et de coproduits agroalimentaires. Thèse cotutelle présentée pour obtenir le grade de docteur en sciences. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse & Ecole Nationale Supérieure Agronomique. 128p.
- [24] **Bouziani M. (2007).** L'usage immodéré des pesticides. De graves conséquences sanitaires. Le Guide de la Médecine et de la Santé.

-
- [25] **Bruneton J. (1999).** Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales. 2ème édition Lavoisier, 385-623P.
- [26] **Calvet R. (2005).** Les pesticides dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales. France agricole éditions.
- [27] **Cassin. (1983).** Diversification agricole et travaux de la station de recherches agronomiques de son Guiliana en corse. Colloque agrumicole du. Italie.
- [28] **CCHST. (2023).** Pesticides - Généralités. Récupéré sur CCHST: <https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/pesticides/general.pdf>.
- [29] **Chemat F. (2011).** Techniques for oil extraction. In: Sawamura M (ed) Citrus essential oils: flavor and fragrance. Wiley, New Jersey, pp 9–20.
- [30] **Christensen HB. Granby K. Rabolle M. (2003).** Processing factors and variability of pyrimethanil, fenhexamid and tolyfluanid in strawberries. Food Additives and Contaminants, 20(8), 728-41.
- [31] **Circacete J-B. Malausa J-C. (2002).** Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement. Ministère de l'Écologie et du développement Durable. UIPP. 4ème trimestre. 861p.
- [32] **Continella G. & Tribulato E. (2000).** Citrus phylogeny and genetic origin of important species as investigated by molecular markers. Theoretical and Applied Genetics, 100, 1155-1166.
- [33] **Couic-Marinier F. (2013).** Huiles essentielles : l'essentiel. Strasbourg : Autoédition.
- [34] **Couic-Marinier F. (2018).** Les huiles essentielles en pratique, administration et précautions d'emploi. Actualités pharmaceutiques, 57(580), 26-29.
- [35] **Council of Europe. (1996).** Pharmacopée Européenne, Maisonneuve S.A, Ed. Sainte Ruffine, France.
- [36] **Cox M. Rydberg J. (2004).** Introduction à l'extraction par solvant. Dans : Rydberg J, Cox M, Musikas C, Choppin G (eds) Principes et pratique de l'extraction par solvant, 2e éd. Marcel Dekker, New York, pp 2–12.
- [37] **Davet P. & Rouxel F. (1997).** Détection et isolement des champignons du sol. Détection et isolement des champignons du sol, 1-208.
- [38] **De Tunisie E. P. D. L. (1970).** Etat Phytosanitaire Des Agrumes De Tunisie Et Perspectives De Lutte Contre I-, Eurs Principaux Ravageurs.
- [39] **Eneida R. P. (2009).** Chimie multiphasique des pesticides dans l'air : distribution et photoréactivité. Thèse de doctorat, université de strasbourg. 123p.

-
- [40] **FAO. (2014a)**. Faostat <http://faostat3.fao.org/home/E.20/05/2015>.
- [41] **FAO. (2014b)**. Citrus Fruit Fresh and Processed Annual Statistics.
- [42] **Faucon M. (2015)**. Traité d'aromathérapie scientifique et médicale: Fondements & aide à la prescription. Édition sang de la terre, Paris, pp 39-455.
- [43] **Fayed S. A. (2009)**. Antioxidant and Anticancer Activities of Citrus reticulata (Petitgrain Mandarin) and Pelargoniumgraveolens (Geranium) Essential Oils. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 5(5), 740-747.
- [44] **Ferhat M. A. Meklati B. Y. Chemat F. (2010)**. Citrus d'Algérie les huiles essentielles et leurs procédés d'extraction. Office des publications universitaires. Edition : 1.03.5130, Algérie.
- [45] **Fernandez-Cruz ML. Grimalt S. Villarroya M. Lopez FJ. Llanos S. GarciaBaudin JM. (2006)**. Residue levels of captan and trichlorfon in field-treated kaki fruits, individual versus composite samples, and after household processing. Food Additives and Contaminants (b), 23(6), 591-600.
- [46] **Fillatre Y. (2011)**. Produits phytosanitaires : Développement d'une méthode d'analyse multi-résidus dans les huiles essentielles par couplage de la chromatographie liquide avec la spectrométrie de masse en mode tandem (Doctoral dissertation, Université d'Angers).
- [47] **Flamini G. Tebano M. Cioni P. Ceccarini L. Ricci A. Longo I. (2007)**. Comparison between the conventional method of extraction of essential oil of Laurus nobilis L. and a novel method which uses microwaves applied in situ, without resorting to an oven. J Chromatogr A, 1143, 36–40.
- [48] **Fournier J. (2002)**. Dans « Pesticides et protection phytosanitaire », ACTA, 421-475.
- [49] **François L. (2015)**. L'origine des agrumes : leur évolution et la naissance des espèces cultivées. Jardins de France, (636), 35-37.
- [50] **Ghelamallah A. (2005)**. Etude bio écologique du complexe parasitaire inféodé a Phyllocnistis citrella Stainton dans la région de mostaganem. Mémoire d'ingénieur agronome, spécialité : protection des végétaux. Université de Mostaganem. 65p.
- [51] **Gupta R. C. Mukherjee I. R. M. Malik J. K. Doss R. B. Dettbarn W. D. & Milatovic D. (2019)**. Insecticides. In Biomarkers in toxicology, pp 455-475. Academic Press.
- [52] **Hadj Guenaoui S. Tchoketch Kebir L. & Madani L. (2020)**. Valorisation des feuilles d'agrumes : extraction des huiles essentielles (Doctoral dissertation).

-
- [53] **Hamilton D. & Crossley S. (Eds.). (2004).** Pesticide residues in food and drinking water: human exposure and risks. John Wiley & Sons.
- [54] **Hanif M. A. Nisar S. Khan G. S. Mushtaq Z. & Zubair M. (2019).** Essential oils. *Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial Applications and Biotechnological Production*, 3-17.
- [55] **Holland PT. Hamilton D. Ohlin B. Skidmore MW. (1994).** Effects of storage and processing on pesticide residues in plant products. *Pure & applied Chemistry*, 66(2), 335-56.
- [56] **Houchine A. (2017).** Etude sur l'entomofaune des serres d'agrumes au niveau de la pépinière de Tadmait (région de Tizi-Ouzou) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [57] **Imane O. U. G. G. A. D. (2020).** Diagnostic phytosanitaire des Agrumes dans la région de Fellaoucene-Wilaya de Tlemcen (Cas des Orangers) (Doctoral dissertation).
- [58] **ITAF (1995).** Conduite d'un verger d'agrumes. Algerie.
- [59] **Janardhanan M. Thoppil J. (2004).** Huiles essentielles d'herbes et d'épices Produits chimiques thérapeutiques, aromatiques et aromatiques des apiacées. Discovery Publishing House, Inde, pp 16–20.
- [60] **Kalemba D. A. A. K. & Kunicka A. (2003).** Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current medicinal chemistry*, 10(10), 813-829.
- [61] **Kaushik G. Satya S. Naik SN. (2009).** Food processing a tool to pesticide residue dissipation - A review. *Food Research International*, 42, 26-40.
- [62] **Kheddam-benadjal N. (2012).** Enquête sur la gestion des pesticides en Algérie et recherche d'une méthode de lutte alternative contre Meloidogyne incognita (Nematoda : Meloidogynidae) (Doctoral dissertation).
- [63] **Khetsha Z. P. Motshabi N. Ncube S. Nindi M. M. & Malebo N. J. (2021).** Evaluation of organochlorine pesticide residues in Beta vulgaris, Brassica oleracea, and Solanum tuberosum in Bloemfontein markets, South Africa. *Food Science & Nutrition*, 9(9), 4770-4779.
- [64] **Kubeczka K. (2010).** Histoire et sources de la recherche sur les huiles essentielles. Dans : Can Baş,er KH, Buchbauer G (eds) *Manuel des huiles essentielles : science, technologie et applications*. CRC Press, Floride, pp 3–10.
- [65] **Ladanyia. (2008).** Division of Fruits and Horticultural Technology, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, 110 012 India.

-
- [66] **VI D. (1992).** Miles Joseph Berkeley, Camille Montagne and *Oidium tuckeri* Berk. Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques, 139(3), 203-218.
- [67] **Laouer H. Zerroug M. M. Sahli F. Chaker A. N. Valentini G. Ferretti G. Grande M. & Anaya J. (2003).** Composition and Antimicrobial activity of *Ammoides pusilla* (Brot.) Breistr. Essential oil. Journal of Essential oil Research, 15, 135-138.
- [68] **Larbi D. Ghezli C. Djelouah K. (2009).** Historical review of citrus Tristeza virus (CTV) in Algeria. Citrus Tristeza Virus and *Toxoptera citricidus* : a Serious Threat to the Mediterranean, CIHEM publications S, 64, 107-110.
- [69] **Lichtenstein E. P. Myrdal G. R. & Schulz K. R. (1965).** Insecticide uptake from soils, absorption of insecticidal residues from contaminated soils into five carrot varieties. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 13(2), 126-131.
- [70] **Loussert R. (1985).** Les agrumes. Paris, France, J. B. Bailliere. 136pp.
- [71] **Loussert R. (1989).** Techniques agricoles méditerranéennes, les agrumes, l'agriculture Lavoisier, Paris. I et II.
- [72] **Mahmood I. Imadi S. R. Shazadi K. Gul A. & Hakeem K. R. (2016).** Effects of pesticides on environment. Plant, soil and microbes: volume 1: implications in crop science, 253-269.
- [73] **Matmati L. (2005).** Implication des composés phénoliques dans les phénomènes de défense naturelle des Citrus aux attaques de *Phyllocnistis citrella* STAIN (Lepidoptera ; Gracillariidae) en Algérie.
- [74] **Miguel M. G. (2010).** Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Essential Oils: A Short Review. Molecules, 15, 9252-9287.
- [75] **Mostaganem B. (2018).** Mémoire de fin d'études (Doctoral dissertation, Université Abdelhamid ibn Badis Mostaganem).
- [76] **Mukherjee P. K. (2019).** Qualitative analysis for evaluation of herbal drugs. Quality Control and Evaluation of Herbal Drugs, 79-149.
- [77] **MUTIN G. (1977).** La Mitidja, décolonisation et aspect géographique. Ed. Office Presse Universitaire, Alger, 606p.
- [78] **Nasraoui B. (2008).** Principales maladies fongiques des céréales et des légumineuses en Tunisie. Kef: Centre de Publication Universitaire.
- [79] **Nerio L. S. J. Olivero-Verbel E. Stashenko. Bioresour. (2010).** Repellent activity of essential oils: a review. Bioresource technology, 101(1), 372-378.
- [80] **Norris L. A. (1974).** Behavior of pesticides in plants (Vol. 19). Pacific Northwest Research Station, US Department of Agriculture, Forest Service.

-
- [81] **Ntombela S. & Moobi M. (2013).** South African fruit trade flow. Pretoria, South Africa. National Agricultural Marketing Council (NAMC).
- [82] **Ocampo J. A. (2008).** Atlas des produits de base. United Nations Publications, 56p.
- [83] **Okla M. K. Alamri S. A. Salem M. Z. Ali H. M. Behiry S. I. Nasser R. A. ... & Soufan W. (2019).** Yield, phytochemical constituents, and antibacterial activity of essential oils from the leaves/twigs, branches, branch wood, and branch bark of Sour Orange (*Citrus aurantium* L.). *Processes*, 7(6), 363.
- [84] **Oladimeji F. A. Orafidiya O. O. Okeke I. N. & Dagne E. (2001).** Effect of autoxidation on the composition and antimicrobial activity of essential oil of *Lippia multiflora*. *Pharmaceutical and Pharmacological Letters*, 11(2), 64-67.
- [85] **Ortiz-Hernández M. L. Sánchez-Salinas E. Dantán-González E. & Castrejón-Godínez M. L. (2013).** Pesticide biodegradation: mechanisms, genetics and strategies to enhance the process. *Biodegradation-life of Science*, 10, 251-287.
- [86] **Oumeima D. A. & Ines Y. S. (2021).** Extraction analyse et encapsulation d'huile essentielle de déchets de citron (*Citrus limon*) et déchets d'orange (*Citrus sinensis*), en vue de leur valorisation.
- [87] **Parloran J. C. (1971).** Les agrumes, Paris, maison neuve et la rousse, 565p.
- [88] **Peyron L. (1992).** Techniques classiques actuelles de fabrication des matières premières naturelles aromatiques. Chapitre 10, pp 217–238. Cité In : Les arômes alimentaires. Coordinateurs RICHARD H. et MULTON J.-L. Ed. Tec & Doc-Lavoisier et Apria, 438p.
- [89] **Pincemail J. Bonjean K. Cayeux K. Defraigne J. O. (2002).** Physiological action of antioxidant defenses. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 16, 233-239.
- [90] **Randhawa MA. Anjum FM. Asi MR. Butt MS. Ahmed A. Randhawa MS. (2007).** Removal of endosulfan residues from vegetables by household processing. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 66(10), 849-52.
- [91] **Reuther W. (1989).** The Citrus Industry : crop protection, postharvest technology, and early history of citrus research in California (Vol. 3326). UCANR Publications.
- [92] **Reyes-Jurado F. Franco-Vega A. Ramírez-Corona N. Palou E. & López-Malo A. (2015).** Essential oils: antimicrobial activities, extraction methods, and their modeling. *Food Engineering Reviews*, 7, 275-297.

-
- [93] **Saddi M. Sanna A. Cottiglia F. Chisu L. Casu L. Bonsignore L. & DeLogu A. (2007).** Antitherpevirus activity of *Artemisia arborescens* essential oil and inhibition of lateral diffusion in Vero cells. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 6(1), 1-7.
- [94] **Sangwan N. S. Farooqui A. H. A. Shabih F. & Sangwan R. S. (2001).** Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regul*, 34, 3-21.
- [95] **Sharma N. & Tripathi A. (2006).** Fungitoxicity of the essential oil of *Citrus sinensis* on post-harvest pathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22, 587-593.
- [96] **Siddique S. Shafique M. Parveen Z. Khan S. J. Khanum R. (2011).** Activity des Agrumes Auravarn consortium. Amer ORAGE PEEL OIL. *Pharmacology online*, 2, 499-507.
- [97] **Simas D. L. de Amorim S. H. Goulart F. R. Alviano C. S. Alviano D. S. & da Silva A. J. R. (2017).** Citrus species essential oils and their components can inhibit or stimulate fungal growth in fruit. *Industrial Crops and Products*, 98, 108-115.
- [98] **Stashenko E. E. Prada N. Q. Martinez J. R. J. (1966).** High Resol. *Chromatogr*, 19, 353.
- [99] **Swingle W. T. (1948).** The botany of citrus and its wild relatives of the orange sub-family. In: *Citrus industry*. Volume I. Univ. of California, Calif., USA.
- [100] **Tian Q. Miller EG. Ahmad H. Tang L. Patil BS. (2001).** Differential inhibition of human cancer cell proliferation by citrus limonoïdes. *Nutrition and Cancer*, 40, 180–184.
- [101] **Unis C. (2013).** United Nations Conference on Trade and Development.
- [102] **Van Doosselaere P. (2013).** Production d'huiles. Dans : Hamm W, Hamilton R, Calliauw G (eds) *Traitement des huiles comestibles*. Wiley, Royaume-Uni, pp 70–97.
- [103] **Viala P. (1893).** *Les maladies de la vigne*. C. Coulet.
- [104] **Viuda-Martos M. Ruiz-Navajas Y. Fernández-López J. Pérez-Álvarez J. (2008).** Antifungal activity of lemon (*Citrus lemon* L.), mandarin (*Citrus reticulata* L.), grape fruit (*Citrus paradisi* L.) and orange (*Citrus sinensis* L.) essential oils, *Food Control*. (Vol. 19), 1130–1138p.
- [105] **Wu G. A. Prochnik S. Jenkins J. Salse J. Hellsten U. Murat F. ... & Rokhsar D. (2014).** Complex history of admixture during citrus domestication revealed by genome analysis. *Nature Biotechnology*, 32(LBNL-7054E).

-
- [106] **Yamina C. (2018).** Etude de la variabilité morphologique au sein d'une collection d'agrumes cultivée à l'Est Algérien, W. Skikda.
- [107] **Younsi M. (1990).** Amélioration Varietables: Selection nucléaire de Valencia late (citrus sinensis L.) I.N.E.S. Blida, 63p.
- [108] **Zacharia J. T. (2011).** Ecological effects of pesticides. Pesticides in the modern world-Risks and Benefits, IntechPublisher, 129-142.
- [109] **Zohra H. F. Rachida A. Malika M. Benali S. Samir A. A. & Meriem B. (2015).** Chemical composition and antifungal activity of essential oils of Algerian citrus. African Journal of Biotechnology, 14(12), 1048-1055.

Références webographiques

Site 1 : <https://www.fellah-trade.com/fr/filiere-vegetale/fiches-techniques/agrumes#:~:text=Le%20travail%20du%20sol%20en,racinaire%20tr%C3%A8s%20superficiel%20des%20agrumes.>

Site 2 : <https://agriculturemono.net/bonnes-pratiques-production-agrume/>

Site 3 : <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-294-fumagine.html>

Site 4 : <https://afidol.org/oleiculteur/autres-maladies-ravageurs/fumagine-de-lolivier/>

Site 5 : <https://www.aujardin.info/fiches/agrumes-vaste-famille.php>

Site 6 : <http://www.horsessentials.com/fr/content/20-aromatherapie-distillation>

Site 7 : <https://nidoessentialoil.com/extraction-des-huiles-essentielles/>