

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**FERRAS Douaa & BELAYACHI Sennia**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN AGRONOMIE**

**Spécialité : Protection Des Végétaux**

THEME

**Développement d'un bioformulant à base d'huiles essentielles du zeste de *Citrus aurantium* et de *Rosmarinus officinalis* pour la lutte post-récolte contre les deux champignons de la tomate (*Alternaria* sp et *Fusarium* sp) : étude *in vitro* et *in vivo*.**

Soutenue publiquement le 02/07/2025.

**Devant les Jury**

Présidente : **Dr. BERGHEUL Saida**

**MCA U. Mostaganem**

Examinatrice : **Dr. BADAoui Mahdjouba I.**

**MCB U. Mostaganem**

Directrice de mémoire : **Dr. BENOURED Fouzia**

**MCA U. Mostaganem**

**Année universitaire : 2024-2025**

## Remerciement

Nous remercions tout d'abord **Allah**, qui nous donner la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce mémoire.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **Dr. Fouzia BENOURED**, notre encadrant, pour son accompagnement précieux, sa disponibilité et la qualité de ses conseils tout au long de cette recherche.

Nous remercions également les membres du jury :

- **Dr. Saida BERGHEUL**, Maître de conférences A au département d'agronomie de l'Université Abdelhamid Ibn Badis.
- **Dr. Mahdjouba Ikram BADAoui**, Maître de conférences A au même département.

Pour le temps qu'elles ont consacré à l'évaluation de notre travail, ainsi que pour la richesse de leurs remarques et suggestions.

Un grand merci à notre ami **Hadj Said Islem** pour son aide précieuse et son soutien tout au long de la réalisation de ce travail.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude à **toutes les personnes** qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce projet.

## **Dédicace**

Tout d'abord, je remercie **Allah**, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

### **Je dédie ce travail**

**Ma mère**, mon amante, ma compagne, pour tous ses sacrifices ses précieux conseils et encourageants dans ma vie.

**Mon père**, que je le remercie pour ses conseils, sa confiance et ses efforts.

**Mon cher frère** : Mansour.

**Ma cousine** : Ikram.

**Mes meilleurs amis** : Kaouter, Karima, Manar, Amel, Rania, pour leur aide précieuse et le partage de leurs connaissances, qui ont enrichi notre recherche.

**ET** Tous nos enseignants sans exception.

**Chère binôme, FERRAS Douaa** m'a supporté tout au long de ce travail.

**Enfin**, j'offre mes bénédictions à tous ceux qui m'ont soutenu dans l'accomplissement de ce travail.

**-SENNIA-**

# Dédicace

Tout d'abord, je remercie **Allah**, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

## **Je dédie ce travail**

**Mes parents**, dont le soutien inconditionnel, l'amour et les sacrifices ont été une source de motivation tout au long de mon parcours académique.

**Mon frère** : Ali.

**Ma sœur** : Lina.

**Mes amis** : Khadija, Karima, Amel, Manar, islam qui ont été à mes côtés tout au long de cette aventure universitaire. Leur soutien, leurs encouragements

**Chère binôme, BELAYACHI Sennia**, avec qui j'ai partagé ce travail. Merci pour son soutien, sa collaboration et son engagement tout au long de cette expérience.

**-DOUAA-**

## Résumé

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est l'un des légumes les plus cultivés et consommés au monde. Elle est particulièrement sensible aux infections fongiques, notamment par *Alternaria* sp. et *Fusarium oxysporum*, responsables de pertes importantes en production et en qualité, aussi bien au champ qu'en post-récolte. Dans ce contexte, cette étude a évalué le potentiel antifongique d'huiles essentielles extraites du romarin (*Rosmarinus officinalis*) et du zeste de bigarade (*Citrus aurantium*), provenant de deux régions d'Algérie : Mostaganem et Relizane. Des tests *in vitro* ont été menés sur la croissance mycélienne d'*Alternaria* sp. et *Fusarium oxysporum*, tandis que des essais *in vivo* ont été réalisés en post-récolte sur des tomates, à l'aide d'une formulation combinée appliquée selon trois méthodes : diffusion passive, vaporisation électrique et pulvérisation manuelle. Les résultats *in vitro* ont montré une efficacité antifongique plus marquée de l'huile essentielle de romarin. En condition *in vivo*, la formulation a permis un blocage important de l'infection induite par *Alternaria* sp., avec un effet protecteur persistant au-delà de deux semaines, notamment avec la technique de vaporisation électrique. Ces résultats soulignent le potentiel des huiles essentielles comme alternative naturelle aux fongicides chimiques, pour la protection des cultures et la conservation des fruits après récolte.

**Mots-clés** : tomate, huiles essentielles, romarin, bigarade, *Alternaria* sp, *Fusarium oxysporum*, post-récolte, biofongicide.

## **Abstract**

Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is one of the most widely cultivated and consumed vegetables in the world. It is particularly vulnerable to fungal infections, especially those caused by *Alternaria sp.* and *Fusarium oxysporum*, which lead to significant losses in both yield and quality, in the field and during post-harvest storage. In this context, the present study evaluated the antifungal potential of essential oils extracted from rosemary (*Rosmarinus officinalis*) and bitter orange peel (*Citrus aurantium*), collected from two regions of Algeria: Mostaganem and Relizane. *In vitro* tests were conducted on the mycelial growth of *Alternaria sp.* and *Fusarium oxysporum*, while *in vivo* trials were carried out on post-harvest tomatoes using a combined formulation applied via three methods: passive diffusion, electric vaporization, and manual spraying. The *in vitro* results showed stronger antifungal activity from rosemary essential oil. Under *in vivo* conditions, the formulation effectively blocked the infection induced by *Alternaria sp.*, with a protective effect persisting beyond two weeks, particularly when applied using electric vaporization. These findings highlight the potential of essential oils as a natural alternative to chemical fungicides, for both crop protection and post-harvest fruit preservation.

**Keywords:** tomato, essential oils, rosemary, bitter orange, *Alternaria sp.*, *Fusarium oxysporum*, post-harvest, biofungicide.

## المخلص

تُعد الطماطم (*Lycopersicon esculentum* Mill.) من أكثر الخضروات استهلاكًا وزراعةً في العالم، لكنها عرضة للإصابة بالفطريات، خاصةً *Fusarium oxysporum* و *Alternaria* sp.، مما يؤدي إلى خسائر كبيرة في الإنتاج والجودة، سواء في الحقل أو أثناء التخزين بعد الحصاد. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الفعالية المضادة للفطريات للزيوت الأساسية المستخلصة من إكليل الجبل (*Rosmarinus officinalis*) وقشور النارنج (*Citrus aurantium*) من منطقتين جزائريتين (مستغانم و غليزان). تم اختبار الزيوت مخبريًا (*in vitro*) على نمو الفطريات، كما تم تقييم تأثير تركيبة تجمع بين الزيتين على ثمار الطماطم بعد الحصاد (*in vivo*) باستخدام ثلاث طرق تطبيق: الانتشار السلبي، التبخير الكهربائي، والرش اليدوي. أظهرت النتائج أن زيت إكليل الجبل يمتلك فعالية فطرية أقوى مقارنة بزيت النارنج. وفي الاختبارات الحقلية، منعت التركيبة تطور العدوى الناتجة عن *Alternaria* sp. واستمرت تأثيرها الوقائي لأكثر من أسبوعين، خاصة عند تطبيقها بالتبخير الكهربائي. تؤكد هذه النتائج إمكانيات الزيوت الأساسية كبديل طبيعي فعال للمبيدات الكيميائية في حماية المحاصيل الزراعية وحفظها بعد الحصاد.

**الكلمات المفتاحية:** الطماطم، الزيوت الأساسية، إكليل الجبل، النارنج، *Fusarium*، *Alternaria*، بعد الحصاد، مضاد فطري حيوي.

# **Table des matières**

**Remerciements**

**Dédicaces**

**Résumé**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des Planches**

**Liste des abréviations**

**Donnée bibliographique**

## **Chapitre 1 : Généralité sur la tomate**

Introduction générale.....	1
1.1. Origine et Historique.....	3
1.2. Présentation sur la tomate.....	3
1.3. Description botanique du plant de la tomate .....	4
1.3.1. Les racines .....	4
1.3.2. Les feuille.....	4
1.3.3. Les fleurs.....	4
1.3.4. Le fruit .....	5
1.4. Classification .....	6
1.5. Cycle de développement.....	6
1.6. Les maladies de la tomate .....	8

1.6.1. Les maladies fongiques .....	8
1.6.2. Les maladies bactériennes.....	17
1.6.3. Les maladies virales .....	18
1.7. Exigences de la culture .....	19
1.7.1. Exigences climatiques.....	19
1.7.2. Exigences pédologiques .....	20
1.7.3. Exigences hydriques .....	21
1.8. Importance économique.....	21
1.8.1. La production de la tomate dans le monde.....	21
1.8.2. En Algérie.....	22
1.8.3. À Mostaganem.....	22
1.9 Importance alimentaire.....	22

## **Chapitre2 : généralité sur les bio-pesticides**

1. Introduction .....	24
2. classification des bio-pesticides .....	24
2.1. Bio pesticides d'origine microbienne .....	24
2.1.1. Bactéries .....	24
2.1.2. Virus .....	25
2.1.3. Champignons.....	26
2.2. Bio pesticide d'origine animale.....	27
2.3. Bio pesticides d'origine végétale .....	27
2.3.1. Définition .....	27
2.3.2. Techniques d'extractions.....	28

2.4.1. Les huiles essentielles.....	28
2.4.2. Méthode d'extraction.....	29
2.4.2.1. Hydro distillation .....	30

### **Chapitre3 : Les plantes aromatique**

3. Les plantes aromatique .....	33
3.1. Généralité sur les agrumes .....	33
3.1.1. Importance économique des agrumes .....	33
3.1.2. La production des agrumes.....	33
3.1.3. Classification d'agrumes .....	35
3.1.4. Le cycle de développement des agrumes .....	35
3.1.5. Les principaux agrumes .....	36
3.2. Généralité sur le romarin.....	38
3.2.1. Caractéristiques botaniques.....	38
3.2.2. Taxonomie.....	39
3.2.3. Répartition géographique .....	39
3.2.4. Composition biochimique de l'huile essentielle de romarin .....	39
3.2.5. Caractéristique d'extrait de <i>romarinus officinalis</i> .....	40
3.2.5.1 Les propriétés et bienfaits du romarin.....	40
3.2.5.2 Les variétés de <i>romarinus officinalis</i> .....	40

### **Matériel et Méthodes**

#### **L'Objectif**

I. Matériel biologique.....	43
-----------------------------	----

I.1. Plantes aromatiques.....	43
I.2. Isolement de l'agent pathogène.....	44
I.3. Extraction des huiles essentielles.....	45
I.4. Evaluation du pouvoir bio fongicide <i>in vitro</i> .....	46
I.5. Evaluation du pouvoir bio fongicide <i>in vivo</i> .....	47
I.5.1. Traitement préventif sur les fruits.....	47

## **Résultats**

1. Le rendement de l'extraction.....	53
2. Identification des deux isolats <i>Alternaria</i> et <i>Fusarium</i> .....	53
2.1. Aspect macroscopique.....	53
2.1.1 Isolat d' <i>Alternaria sp</i> .....	54
2.1.2 Isolat de <i>Fusarium oxysporum</i> .....	54
2.2. Aspect microscopique d'isolat d' <i>Alternaria sp</i> .....	54
2.2.2 Aspect microscopique d'Isolat de <i>Fusarium oxysporum</i> .....	55
3. Activité <i>in vitro</i> vis-à-vis <i>Alternaria</i> .et <i>Fusarium</i> .....	56
4. Evaluation de l'efficacité antifongique <i>in vivo</i> .....	59
Discussion.....	61
Conclusion.....	64

## **Références bibliographiques**

### **Annexe**

## Liste de figure

<b>Figure1.</b> Premières images de tomate publiées.....	3
<b>Figure 2.</b> Différentes formes de tomates utilisées pour décrire une variété.....	5
<b>Figure 3.</b> Cycle de vie de la tomate.....	7
<b>Figure4.</b> Les symptômes de la flétrissure fusarienne .....	9
<b>Figure 5.</b> Taches sur la foliole de tomate provoquée par alternaria .....	12
<b>Figure 6.</b> Symptomes d'alternariose sur tige et collet de plant de tomate .....	12
<b>Figure 7.</b> Lésions d' <i>Alternaria</i> sur les fruits de tomate .....	13
<b>Figure8.</b> Le cycle d'infection, le développement et les symptômes de l' <i>Alternaria</i> .....	14
<b>Figure9.</b> Symptomatologie de <i>botrytis cinerea</i> .....	15
<b>Figure10.</b> Mildiou sur la feuille .....	16
<b>Figure11.</b> l' oïdium sur les feuilles.....	17
<b>Figure12.</b> Mode d'action des baculovirus contre les insectes lépidoptère.....	26
<b>Figure13.</b> montage de l'extraction par hydrodistillation.....	31
<b>Figure14.</b> les principaux pays producteurs d'agrumes dans le monde .....	34
<b>Figure15.</b> Bigaradier (orange amer) .....	36
<b>Figure16.</b> le pamplemousse.....	37
<b>Figure17.</b> Aspect morphologique de <i>R. officinalis</i> .....	38
<b>Figure18.</b> Le fruit de bigarade.....	44
<b>Figure19.</b> Touffe de romarin.....	44
<b>Figure20.</b> Etapes d'isolement de l'agent phytopathogène.....	44
<b>Figure21.</b> L'appeile hydrodistillation.....	46

<b>Figure22.</b> Technique de vaporisation à l'aide d'un appareil électrique.....	48
<b>Figure23.</b> Tomates traitées préventivement par la technique de diffusion passive.....	49
<b>Figure24.</b> Tomates traitées préventivement par la technique de spray aromatique.....	49
<b>Figure25.</b> Témoin inoculé par l' <i>Alternaria sp</i> Témoin non inoculé .....	50
<b>Figure26.</b> Inoculation des tomates par l'agent phytopathogène <i>Alternaria sp</i> .....	50
<b>Figure27.</b> Aspect macroscopique d' <i>alternaria sp</i> .....	53
<b>Figure28.</b> Aspect macroscopique de <i>Fusarium oxysporum</i> .....	54
<b>Figure29.</b> Aspect microscopique d' <i>Alternaria</i> .....	55
<b>Figure30.</b> Aspect microscopique de <i>Fusarium oxysporum</i> .....	55
<b>Figure31.</b> Taux d'inhibition de la croissance mycélienne d' <i>Alternaria sp</i> sous l'effet des huiles essentielles de romarin et du zeste de bigarade aux doses appliquées.....	57
<b>Figure32.</b> Taux d'inhibition de la croissance mycélienne <i>Fusarium oxysporum</i> . sous l'effet des huiles essentielles de romarin et du zeste de bigarade aux doses appliquées.....	58

## Liste des Tableaux

<b>Tableau1.</b> Les principales maladies bactériennes de la tomate .....	17
<b>Tableau2.</b> Maladies virales de la tomate.....	18

## Liste de Planches

- Planche01.** Etapes du test d'évaluation in vitro de l'activité biofongicide des huiles essentielles de romarin et du zeste de bigarade.....47
- Planche02.** Résultat d'évaluation in vitro du pouvoir biofongicide des huiles essentielles de bigarade et du romarin in vitro vis-à-vis *Alternaria sp* et *Fusarium oxysporum*.....56
- Planche03.** Résultat des traitements appliqués préventivement sur les tomates inoculées par *Alternaria sp* et conservées dans des conditions défavorables.....59

## Liste des abréviations

**PDA** : Milieu de culture (Potato dextrose agar).

**T** : Témoin.

**HE** : Huile essentielle.

**Ti** : Témoin inoculé.

**Tn** : Témoin non inoculé.

**F** : Formulation.

**Bg**: Bigarade.

**RO** : Romarin.

**M** : Mostaganem.

**R** : Relizane.

**FAO** : Organisation des Nations Unies de l'Agriculture et de l'Alimentation.

**D.S.A**: Direction des Services Agricoles.

# **Partie bibliographique**

# Introduction

### Introduction

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est une plante annuelle appartient à la famille botanique des solanacées et originaire de l'Amérique du Sud. Compte parmi les cultures légumières les plus cultivées du monde, elle occupe la deuxième place dans la production maraîchère après la pomme de terre (Shankara Naika, 2005).

En Algérie, la culture de la tomate occupe une place prépondérante dans le secteur agricole en raison de son importance économique et sociale. Reconnue comme une filière stratégique, la production de tomate contribue significativement au développement économique national, tout en générant de nombreuses opportunités d'emploi, aussi bien directes qu'indirectes. Ce produit à forte consommation est devenu un pilier essentiel de la sécurité alimentaire et de l'approvisionnement des marchés locaux (Faostat, 2023).

Chaque année, près d'un tiers de la production agricole mondiale est perdu en raison de diverses maladies d'origine bactérienne, de ravageurs ou encore de champignons, entraînant des dégâts considérables. Ces pertes surviennent à toutes les étapes, depuis la culture des semis jusqu'à la commercialisation, compromettant ainsi la sécurité alimentaire et impactant lourdement le secteur agricole (Guenauoui, 2008).

Parmi les maladies les plus fréquentes l'Alternariose ; elle est causée par *Alternaria sp.*, signalé depuis plusieurs décennies comme pathogène des Solanacées et a longtemps été décrit comme affectant la tomate, l'aubergine, la pomme de terre, ainsi que plusieurs espèces de cette famille botanique (Blancard et al., 2012). La fusariose est aussi une maladie redoutable, elle est causée par *Fusarium oxysporum* , un champignon tropical largement répandu, caractérisé par son agressivité, entraînant des dommages sévères (Hibar et al., 2007). Les deux maladies conduisant une diminution qualitative et quantitative du rendement de la culture. De nos jours la lutte chimique s'est révélée être une méthode de lutte performante et indispensable pour combattre les agents pathogènes (Leroux, 2003 ; Pezet et al, 2004). Cependant, l'utilisation systémique des produits phytosanitaires provoque des effets nocifs pour les organismes vivants et l'environnement. Le recours à des méthodes alternatives, notamment la lutte biologique, s'impose comme une nécessité.

Dans ce contexte que cette étude s'inscrit, dont l'objectif est d'évaluer le potentiel bio-pesticides d'un produit formulé d'huiles essentielles extraites du zestebigarade et du romarin. Contre les maladies de conservation des produits agricoles.

# **Chapitre 1 :**

## **Généralités sur la tomate**

## 1. Généralité sur la tomate

### 1.1 Origine et Historique

La tomate est une plante herbacée (Figure1) originaire des Andes et d'Amérique du Sud. Elle a été introduite en Europe par les Espagnols au XVIe siècle et dans le reste du monde au XIXe siècle (Kolev, 1976). Ensuite elle s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et en Moyen Orient (Shankara et al., 2005).



**Figure1.** Premières images de tomate publiées.

(A) Image publiée par Dodoens en 1553. Tiré de Daunay et al. (2007) / (B) Planche de tomate dessinée par Mattioli en 1590, édition Dioscorides, Almagne.

### 1.2 Présentation sur la tomate

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fait partie de la grande famille des Solanacées aux côtés de la pomme de terre, de l'aubergine, du poivron et du piment. Elle est considérée comme premier légume après la pomme de terre et deuxième ressource alimentaire mondiale après les céréales. La tomate est adaptée à des conditions de culture très variées et destinée à la consommation fraîche ou à la transformation industrielle (Causenet et al., 2000).

### **1.3 Description botanique du plant de tomate**

La tomate est une plante annuelle buissonnante, caractérisée par ses tiges poilues et généralement grimpantes. Lorsqu'elle est froissée, elle dégage une odeur aromatique. Cette plante potagère herbacée présente une taille variable, allant de 40 cm à plus de 5 mètres, en fonction des variétés et des techniques de culture (Dumortier et *al.*, 2010).

#### **1.3.1 Les racines :**

Le système racinaire est pivotant, avec une racine principale qui peut atteindre une profondeur de 50 cm ou davantage. Celle-ci est accompagnée d'une grande densité de racines latérales et adventices. La tige, quant à elle, peut adopter une croissance érigée ou prostrée, atteignant une longueur de 2 à 4 mètres. Elle est pleine, glandulaire et fortement poilue. (Dumortier et *al.*, 2010).

#### **1.3.2 Les feuille :**

Les feuilles sont disposées en spirale et mesurent entre 15 et 50 cm de long, avec une largeur allant de 10 à 30 cm. Les folioles, ovées à oblongues, sont également couvertes de poils glandulaires. L'inflorescence se présente sous forme de cyme, composée de 6 à 12 fleurs. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm. (Dumortier et *al.*, 2010).

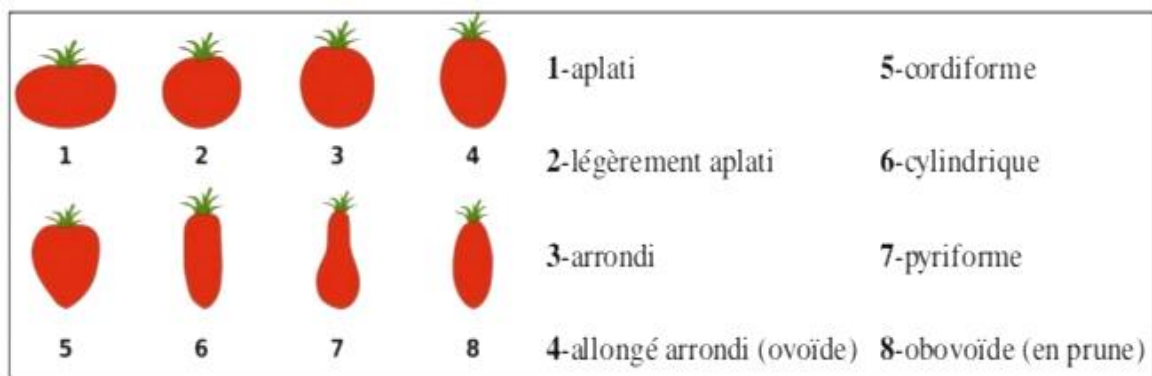
#### **1.3.3 Les fleurs :**

Les fleurs sont bisexuées, régulières, et ont un diamètre compris entre 1,5 et 2 cm. Elles sont opposées aux feuilles ou positionnées entre elles. Le calice est court et velu, avec des sépales persistants qui deviennent jaunes et incurvés lorsqu'ils mûrissent. Les fleurs possèdent 6 étamines aux anthères jaune vif, qui entourent le style, lequel se termine par une partie stérile allongée. L'ovaire est supère, composé de 2 à 9 carpelles. (Dumortier et *al.*, 2010).

La tomate est principalement autogame, bien que la fécondation croisée puisse également se produire.

## 1.3.4 Le fruit :

Le fruit est une baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés (Figure2). Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g (Naika et *al.*, 2005).



**Figure2.** Différentes formes de tomates utilisées pour décrire une variété (descripteur IPGRI)  
(In Nicolas, 2010).

## **1.4 Classification**

Selon Gaussen et *al.* (1982) la tomate est classée comme suit :

**Règne :** Plantae.

**Sous règne :** Tracheobionta.

**Division :** Magnoliophyta.

**Classe :** Magnoliopsida.

**Sous classe :** Asteridae.

**Ordre :** Solanales.

**Famille :** Solanaceae.

**Genre :** *Lycopersicum*.

**Espèce :** *Lycopersicum esculentum* Mill.

## **1.5 Cycle de développement**

### **A-Phase de germination :**

Les graines commencent à germer entre 6 et 8 jours après le semis lorsque la température du sol se situe entre 20 et 25°C (Van der vossen et *al.*, 2004). La tigelle émerge alors du sol, accompagnée de deux feuilles cotylédonaires simples et opposées. Sous terre, la racine se développe avec un manchon de poils absorbants clairement visible. (Mémento de l'agronome, 2003).

### **B- Phase de croissance :**

Pendant la phase de croissance, la plante développe davantage ses racines et sa partie aérienne en produisant des paires de feuilles. La racine s'allonge et prend l'apparence d'un filament blanchâtre, sur lequel apparaissent des racines secondaires. Les deux premières vraies feuilles émergent vers le 11ème jour et ne sont pleinement développées qu'à partir du 20ème jour. Environ un mois après le semis, la plante compte généralement entre 3 et 4 paires de feuilles (Mémento de l'agronome, 2003)

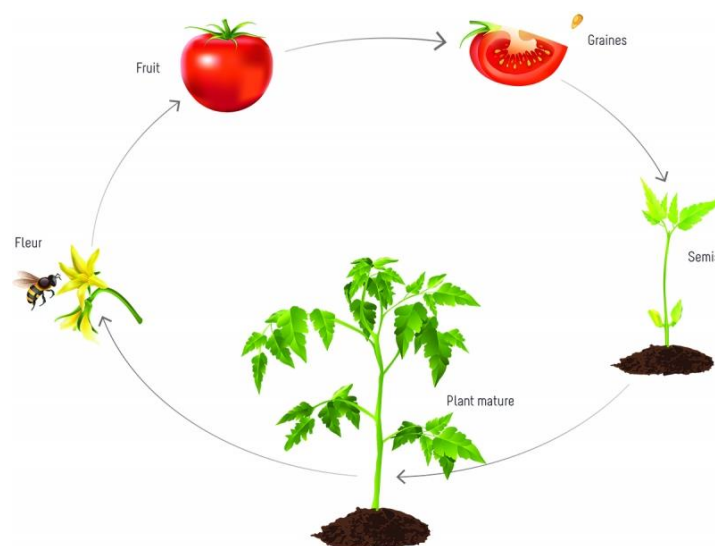
**C- Phase de floraison :**

La première inflorescence, apparaît deux mois et demi environ après le semis. Les autres inflorescences vont apparaître au-dessus de la première, entre deux inflorescences, un nombre variable de feuilles. La floraison s'échelonne donc de bas en haut (Mémento de l'agronome, 2003).

**D- Phase de fructification et de maturation :**

Le processus débute durant la phase de floraison, avec la nouaison des fruits à partir de l'inflorescence de base et se poursuit vers les inflorescences supérieures au fur et à mesure de leur apparition et de la fécondation des fleurs. Les fleurs se développent et grossissent, et une fois leur taille définitive atteinte, elles commencent à perdre leur coloration verte pour devenir jaune, puis rouge de plus en plus intense. Cette phase s'étend sur environ deux mois, soit entre quatre et six mois après le semis.

La durée du cycle végétatif complet de la tomate (Figure 3) est de 4 à 5 mois environ pour les semis directs en pleine terre et de 5 à 6 mois pour les plants repiqués. En contre saison, le cycle végétatif s'allonge et il peut atteindre 7 mois (mémento de l'agronome, 2003).



**Figure3.**Cycle de vie de la tomate (Parlons sciences, 2020).

## 1.6 Les maladies de la tomate

Les principales maladies de la tomate sont classées ci-dessous :

### 1.6.1 Les maladies fongiques

#### 6.1.1 Fusariose

Les champignons telluriques du genre *Fusarium*, notamment l'espèce *Fusarium oxysporum*, figurent parmi les principaux agents pathogènes affectant les cultures commerciales (Armstrong et Armstrong, 1981). Reconnus pour leur forte phytopathogénicité, ils sont à l'origine de plusieurs maladies regroupées sous le terme de fusarioses, telles que la trachéomycose, la nécrose et la fonte des semis (Fravel et *al.*, 2003).

*Fusarium oxysporum* est un champignon tropical largement répandu, caractérisé par son agressivité, entraînant des dommages sévères, notamment la pourriture racinaire et des tissus végétaux, sur un large éventail d'espèces économiquement essentielles (Hibar et *al.*, 2007). Certaines souches pathogènes de cet organisme provoquent des fusarioses spécifiques à leurs plantes hôtes (Hibaret *al.*, 2007). Par ailleurs, *F.oxysporum* est considéré comme un agent pathogène émergent préoccupant pour l'homme, en raison du nombre croissant de cas graves rapportés et de sa résistance élevée aux traitements antifongiques disponibles (Ito et *al.*, 2007).

##### 6.1.1.1 Classification de *Fusarium*

**Règne :** Fungi

**Division :** Ascomycota

**Classe :** Sordariomycetes

**Sous-classe :** Hypocreomycetidae

**Ordre :** Hypocreales

**Famille :** Nectriaceae

**Genre :** *Fusarium*

**Espèce :** *Fusarium oxysporum*.

### 6 .1.1.2 Les symptômes

#### a. Les Symptômes Externes :

Le champignon tellurique *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* pénètre la plante par les racines et colonise les tissus lignifiés, entraînant un jaunissement progressif, un flétrissement et, à terme, la mort de l'hôte infecté (Blancard, 1997).

La maladie évolue rapidement, provoquant un flétrissement accéléré des parties foliaires affectées, semblable à un dessèchement (Si Mohammed, 2016). Le jaunissement débute à la base de la plante et progresse vers les parties supérieures, précédant la nécrose partielle ou complète du limbe, accompagnée d'un éclaircissement des nervures (Messiaen, 1981 ; Gindrat, 1975).

Enfin, une dépression brune longitudinale apparaît à la base des feuilles, débutant au collet et s'étendant unilatéralement vers le haut de la plante (Bouhot, 1972).

#### b. Les symptômes internes :

Les tissus conducteurs apparaissent d'une couleur brune après une coupe longitudinale au niveau du rameau d'une plante atteinte (Figure4), alors qu'après une coupe transversale, des foncés bruns contenant souvent des mycéliens apparaissent (Si Mohammed, 2017).



**Figure4.** Les symptômes de la flétrissure Fusarienne. (Blancard, 2013 ; Blancard (1997).

**A)** Jaunissement et flétrissement unilatéral des folioles et des feuilles de la tomate. **B)** Brunissement longitudinal de la tige. **C)** Une coupe longitudinale de la tige montrant le brunissement des vaisseaux.

### 6.1.1.3 Physiopathologie du *Fusarium oxysporum*

Certaines espèces saprophytes sont capables d'évoluer en pathogènes secondaires lorsqu'elles colonisent des tissus végétaux sénescents. Parmi elles, les champignons du genre *Fusarium* sont particulièrement virulents, affectant diverses cultures, notamment les céréales (maïs, blé, orge, avoine), les légumes, les plantes ornementales et de nombreux arbres fruitiers. De plus, la majorité des espèces de *Fusarium* possèdent un potentiel toxigène, produisant des mycotoxines susceptibles d'engendrer des intoxications chez les animaux d'élevage (Tabuc, 2007).

Les espèces les plus fréquemment retrouvées dans les substrats agricoles et caractérisées par leur pathogénicité et leur capacité à produire des toxines sont *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium oxysporum* et *Fusarium verticilloides* (syn. *Fusarium moniliforme*) (Tabuc, 2007). En particulier, *F.culmorum* et *F.graminearum* sont responsables des pourritures racinaires affectant le blé dur et tendre ainsi que l'orge, une maladie qui sévit davantage dans les zones semi-arides ou lors des années à faible pluviométrie (Ezzahiri, 2001).

Chez le pois, *Fusarium oxysporum f.sp. solani* peut également être à l'origine de ces altérations pathologiques (Haglund et Kraft, 2001). Par ailleurs, le flétrissement vasculaire, considéré comme l'une des maladies les plus destructrices de nombreuses cultures, notamment les légumes et certaines espèces tropicales, est également provoqué par *Fusarium oxysporum* (Agrios, 2005).

### 6.1.2 L'Alternariose

Les *Alternaria* sont des champignons fréquents dans notre environnement. Ils appartiennent aux moisissures atmosphériques, comprend près de 275 espèces (Simmons, 2007). Avec des modes de vie saprophytes et phytopathogènes qui peuvent affecter les cultures sur champ ou les produits végétaux pendant la récolte et post- récolte (Logrieco et al., 2009). Ils peuvent se retrouver sur des substances très variées : plante, sols, graines.

L'alternariose (aussi appelée brûlure alternarienne) est une maladie causée par des champignons du genre *Alternaria* très répandue chez la famille des solanacées.

### **6.1.2.1 Classification**

**Règne :** Fungi

**Division :** Ascomycota

**Sous-division :** Pezizomycotina

**Classe :** Dothideomycetidae

**Sous-classe :** Pleosporomycetidae

**Ordre :** Pleosporales

**Famille :** Pleosporaceae

**Genre :** *Alternaria*

**Espèce :** *Alternaria sp.*

### **6.1.2.2 Symptômes**

- **Sur les Feuilles :**

Les premiers symptômes de la maladie se traduisent par l'apparition de petites lésions ovales et circulaires noires de 1 mm de diamètre sur les tiges et les feuilles (Figure5). Par la suite, elles s'étendent progressivement et s'auréolent d'un halo jaune souvent bien marqué. Atteignant plusieurs millimètres, elles révèlent souvent de discret anneaux concentriques d'un brun plus foncé (Blancard et *al.*, 2012).



**Figure5.** Taches sur foliole de tomate provoquée par *Alternaria* (Anonyme, 2020).

- **Sur les tiges et collets :**

Le pathogène peut également engendrer des lésions sévères sur les tiges, atteignant jusqu'à 5 cm de longueur (Figure6). Lorsque les conditions météorologiques sont favorables, ces lésions se développent progressivement sur les tiges et les pétioles. Par ailleurs, le dépérissement des extrémités du collet constitue un symptôme supplémentaire de la maladie (Patterson, 1991).



**Figure6.** Symptômes d'Alternariose sur une tige de plant de tomate (Anonyme, 2020).

- **Sur fruits et tubercules :**

Le pathogène induit l'apparition de chancres sur fruit, en creux à l'aisselle du calice à partir de lésions sur sépales (Messiaen et *al.*, 1991). Une fois les fruits verts ou murs sont envahis, les tissus colonisés prennent progressivement une couleur noirâtre occasionnant de larges lésions circulaires concaves, parfois plissés en surface à la texture plutôt dure (Figure7). Un dense feutrage les recouvre à terme correspondant à la sporulation d'*Alternaria* (Blancard et *al.*, 2012).



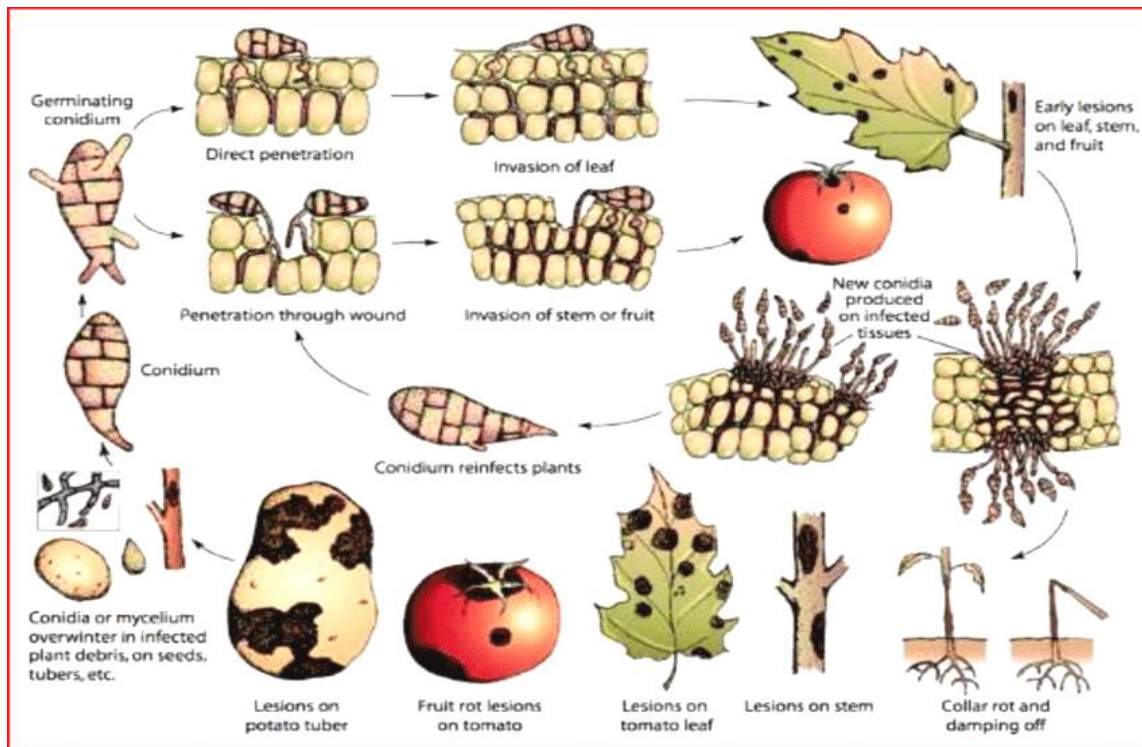
**Figure7.** Lésions d'*Alternaria* sur les fruits de tomate (Anonyme, 2020).

### 6.1.2.3 Cycle de développement du champignon *Alternaria*

*Alternaria*, un champignon pathogène, survit durant l'hiver dans les résidus végétaux contaminés présents dans le sol et peut être transmis par des semences infectées (Figure8). Au cours de la période de croissance, la dispersion des spores et du mycélium s'effectue par divers vecteurs, notamment le vent, l'eau, la pluie et les équipements agricoles.

Ce pathogène cible principalement les feuilles matures, entraînant une apparition plus tardive des symptômes par rapport à la brûlure cercosporéenne. La propagation de l'infection demeure relativement lente jusqu'à ce que les conditions environnementales deviennent favorables. En présence d'une forte chaleur et d'une humidité élevée, les lésions foliaires peuvent s'étendre rapidement, accélérant ainsi la progression de la maladie.

Les plantes affaiblies ou souffrant d'une carence en azote présentent une sensibilité accrue à l'infection, favorisant ainsi le développement de la maladie (Bélangier M. et *al.*, 2003).



**Figure8.**Cycle d'infection, développement et symptômes de l'*Alternaria* (Agrios ,2005 ; Chaerni et voorrips,2006).

### 6.1.2.3 Pourriture grise de la tomate

La pourriture grise considérée parmi les maladies les plus redoutables en culture sous serre, elle est causée par *Botrytis Cinerea*, ce champignon peut attaquer toutes les parties de la plante principalement les feuille, la tige et le fruit.

#### 6.1.3.1 Symptômes

Cette maladie se caractérise par des taches beiges en anneaux centriques par fois en forme de flamme en plus des chancres de couleurs gris beige légèrement déprimés avec un duvet grisâtre constitué des fructifications conidiennes du champignon (Figure9).

Sur fruit, On observe une pourriture molle avec affaiblissement des tissus qui débute généralement au niveau des sépales ou pétales desséchés. On peut aussi observer des anneaux blanchâtres appelés taches fantômes (El akel et *al.*, 2001).

Une humidité relative de 90% et une température 17 à 23°C sont les facteurs qui favorisent cette maladie. *Botrytis* est un champignon de faiblesse, alors lors de l'effeuillage, ébourgeonnement ou du tuteurage. Il y'a une propagation importante de l'infection (El akel et *al.*,2001).



**Figure9.** Symptomatologie de *Botrytis cinerea*. (Blancard, 2013).

(A) : Chancre sec sur tige et collet. (B) : Attaque sur une inflorescence de tomate. (C) : Nécrose sur feuille de tomate. (D) : Attaque sur une plaie d'ébourgeonnement. (E) : Infection sur fruit de tomate. (F) : Taches fantômes sur tomate (Blancard et *al.*, 2009). (G) : Attaque sur fruit de fraise (Iñaki, 2015). (H) : Sclérotés de *B. cinerea* sur les sarments de vigne en hiver. (I) : attaque sur courgette (Blancard, 2013). (J) : nécrose sur feuille de vigne. (K) : pourriture sur fruit de courgette (Blancard, 2013). (L) : Mycélium sporulant sur grappe de raisin. (M) : taches chocolat sur fève. (N) : pourriture de la pomme (Giraud, 2020). (O) : Mycélium sporulant sur fleurs de rosier. (P) : pourriture grise sur courge.

### 6.1.4 Mildiou

L'agent causal de cette maladie est *phytophthora infestans* ; un oomycète pathogène connu pour être l'agent responsable du mildiou de la pomme de terre et de la tomate, l'une des maladies les plus dévastatrices en agriculture. Il produit des spores qui se disséminent par le vent, la pluie ou l'irrigation. Ces spores peuvent germer directement ou produire des zoospores mobiles, qui infectent les tissus humides des plantes. Il peut former des oospores (structures de survie) en cas de reproduction sexuée, ce qui permet à l'agent pathogène de survivre dans le sol pendant l'hiver.

#### 6.1.4.1 Les symptômes

Sur les feuilles, on observe des taches foliaires nécrotiques irrégulières, sur les tiges, de grandes taches brunes également irrégulières apparaissent, tandis que les fruits présentent des plages marbrées de couleur brune, souvent bosselées. (Blancard ,1988 ; Csizinsky et al.,2005).



**Figure10.**Mildiousur la feuille (Snoussi,2010).

### 6.1.5 L'Oïdium

#### 6.1.5.1 Symptômes

Des taches jaunes sur la face supérieure des feuilles (Figure11) , où des spores blanches et poudreuses se développent, aussi bien sur la face supérieure que sur la face inférieure des feuilles. En cas d'infection sévère, on observe une sénescence des feuilles ainsi qu'une baisse de rendement. Ce pathogène n'infecte ni les fruits, ni les tiges. Le développement de la

maladie est favorisé par une humidité relative de 50 à 70% et une température comprise entre 20 et 25°C. La présence d'eau libre n'est pas nécessaire (El akel et *al.*,2001).



**Figure 11.** L'oïdium sur les feuilles (Taylor, 2016.)

### 1.6.2 Les maladies bactériennes

Les principales maladies bactériennes de la tomate sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau1.** Les principales maladies bactériennes de la tomate (Blancard, 2009).

Nom de Maladie	Symptômes
<i>Pseudomonas syringae</i> Agent causal La moucheture bactérienne	Sur feuilles, la maladie se manifeste sous forme de minuscules taches noires, entourées d'un halo jaune constituant le symptôme le plus caractéristique. Sur fruits, Apparaissent des petites lésions superficielles brunes circulaires pouvant entraîner sa déformation
<i>Xanthomonas campestris</i> Agent causal La gale bactérienne	Des taches sur toutes les parties aériennes de la plante. Ces taches sont souvent plus grosses que celles de la moucheture Sur fruits, de petites pustules

<p style="text-align: center;"><i>Clavibacter michiganensis</i> Agent causal Le chancre bactérien</p>	<p>La maladie se manifeste souvent par un flétrissement, souvent unilatéral, qui débute par les feuilles de la base. Les folioles s'incurvent sur les bords avant de flétrir. Des stries noires apparaissent souvent sur les pétioles et sur les tiges. Sur tiges, une coupe longitudinale permet de montrer un fil blanchâtre, jaunâtre ou brunâtre au niveau des tissus vasculaires. La décoloration de la moelle et son détachement des tissus vasculaires. Sur fruits, se forment souvent de petites taches blanchâtres dont le centre brunit et s'entoure d'un halo jaune clair qu'on appelle « œil d'oiseau »</p>
---	---

### 1.6.3 Maladies virales

La tomate est toujours exposée à l'attaque d'une grande variété de virus : Les symptômes se manifestent le plus souvent par des altérations de la pigmentation (panachures) mais aussi par des nécroses et des déformations (Tableau 2).

**Tableau 2.** Les maladies virales de la tomate (Idrenmouche, 2011).

<b>Maladies</b>	<b>Symptômes et dégâts</b>
<b>CMV</b> Cucumber Mosaic Virus	Lorsque l'infection est précoce, on peut observer une stérilité des plantes ou une mal formation des fruits
<b>TICV:</b> Tomato Infectious Chlorosis Virus	Une jaunisse généralisée et un retard du développement de la plante. Apparition de nécroses ce qui entraîne de grandes pertes de rendement
<b>TMV</b> : Tobacco Mosaic Virus	Virus de la mosaïque du tabac Ce dernier est caractérisé par une mosaïque verte ou blanche, des folioles gaufrés devenant filiformes et ont tendance à s'enrouler, les fruits encore verts présentent une surface légèrement bosselée avec des plages nécrotiques brunes. Les fruits murs sont par semés de plages vertes.
<b>ToCV</b> Tomato Chorosis Virus	Virus de la jaunisse de la tomate. Un jaunissement généralisé à l'ensemble des folioles d'une feuille et un retard du développement de la plante
<b>TSWV</b> Tomato Spotted Wilt Virus ou virus de la maladie bronzée de la tomate.	Il est à observer des mouchetures en mosaïque avec une décoloration des feuilles. Sur les tiges et pétioles, il y a apparition des tâches nécrotiques. Par contre sur les fleurs, on observe un nanisme, une déformation et une décoloration. La maladie peut entraîner un rabougrissement du plant.
<b>TYLCV</b> Tomato Yellow Leaf Curl Virus ou maladie des feuilles jaunes en cuillères de la tomate.	La croissance des plantes atteintes est fortement perturbée. Les feuilles sont de tailles réduites et présentent un jaunissement et ou un enroulement en forme de cuillères. En cas d'infection précoce, les plantes sont naines et ne produisent plus de fruits.

## 1.7 Exigences de la culture

La tomate est une plante sensible aux changements détectés dans son environnement. Ces changements peuvent affecter le cycle biologique et menacer la survie de la plante.

### 1.7.1 Exigences climatiques

- **La température :**

La tomate est une plante des saisons chauds, elle est exigeante en chaleur pour assurer son cycle végétatif complet, la température optimale pour sa croissance est de 18°C à 25°C pendant la journée et de 15°C à 16°C pendant la nuit. Selon Lambert (2006) la formation des organes florales et la floraison s'arrêtent à une température au-dessous de 10°C, et au-dessus de 38°C les tissus des plantes seront endommagés (Naika et *al.*, 2005).

- **Lumière et vent :**

La tomate n'est pas sensible au photopériodisme mais exigeante en énergie lumineuse. La longueur de l'obscurité est essentielle pour contrôle de la croissance et le développement de la plante. Un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation (Cirad, 2002). Les vents chauds peuvent occasionner des brûlures sur les feuilles et des nécroses sur les fruits, en plus des dégâts causés par le vent fort telle la cassure des tiges (Grissa, 2010).

- **L'humidité :**

La tomate est une plante très sensible à l'hygrométrie. Elle ne tolère pas les sols engorgés ni l'humidité élevé (plus de 80%). Une hygrométrie relativement ambiante de 60% à 65% soit la meilleure. En effet, lorsque l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. Par ailleurs, le développement des maladies cryptogamiques est fortement lié à des fortes humidités accompagnées de la chaleur (Laumonier, 1979). Il est essentiel de prévoir un apport d'eau suffisant pendant la fructification, le stress causé par une carence d'eau et durant des longues périodes fait tomber les bourgeons et les fleurs et provoque le fendillement des fruits (Munro et *al.*, 1998).

### 1.7.2 Exigences pédologiques

- **Type de sol :**

La tomate demande de sols profonds, frais mais humides, riches en humus et en matières fertilisantes, légers et légèrement acides. Dans les sols lourds, il faut prévoir un drainage suffisant. La qualité du sol n'est pas prédominante pour la tomate. Il lui suffit d'avoir un sol profond et bien drainé. Les sols argileux ne donnent que de très faibles rendements (Andry, 2010).

- **PH du sol :**

La culture de tomate préfère un sol légèrement acide ( $5,8 < \text{pH} < 6,8$ ). Alors qu'un sol à pH basique ( $\text{pH} > 7$ ) peut bloquer l'absorption de certains micro-éléments par la plante (Fe, Mn, Zn, Cu). La carence la plus fréquente étant celle du fer, elle apparaît en général à un stade avancé de la culture. Dans ce cas, une correction ferrique par un apport d'engrais foliaire ou en fertilisation est nécessaire (Grissa, 2010).

- **La salinité :**

La plante est moyennement sensible à la salinité ; les engrais chlorurés semblent cependant ne pas lui convenir (Letard, 1995). La culture de tomate tolère une conductivité électrique (CE) de l'ordre de 3 à 4,5 mmohs/cm. L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement suite à la réduction du calibre du fruit. Donc elle doit être maintenue entre 1 et 2 mmohs/cm à 25°C en fonction du stade de la culture et de la saison (Skiredj, 2006 et Ammari, 2012).

### 1.7.3 Exigences hydriques

Les besoins en eau de la tomate se situent entre 4000 et 5000 m<sup>3</sup>/ha. Cependant 3 phases physiologiques correspondant à des besoins en eau différents sont à distinguer :

✓ De la plantation à la 1<sup>ère</sup> floraison : phase de croissance lente, les besoins en eau sont peu élevés.

✓ De la floraison à la maturation : phase de croissance rapide, les besoins en eau sont élevés.

✓ De fin de récolte : phase de vieillissement, les besoins en eau sont réduits (Anonyme, 1995).

## 1.8 Importance économique

### 1.8.1 La production de la tomate dans le monde

La production de tomates s'est répandue dans tous les pays du monde et est en constante augmentation depuis plusieurs années. En 2020, avec une production d'environ 189 millions de tonnes, la tomate est le deuxième légume le plus produit au niveau mondial. Les principaux Pays producteurs sont la Chine, l'Inde, la Turquie et les États-Unis d'Amérique (Faostat, 2023).

### 1.8.2 En Algérie

La production nationale de tomates fraîches a atteint 1,6 million de tonnes en 2020 (Faostat, 2023). Les principales wilayas productrices de tomates fraîches sont :

- **Zone Est** : elle représente 84% des superficies et regroupe les wilayas de Skikda, El-Taraf, Annaba, Guelma et Jijel, Cette zone est caractérisée par une bonne pluviométrie et possède des sols à forte capacité de rétention d'eau. La culture de tomate se pratique en sec et semi-irrigue, avec une production d'environ 90% de la production nationale.
- **Zone Centre** : représente 12% des superficies et regroupe les wilayas de Blida, d'Alger, Boumerdes, Bejaia, Chleff, Tipaza et Ain Defla.
- **Zone Ouest** : Cette zone regroupe les wilayas de Mostaganem, Relizane, Mascara, Sidi-Bel-Abbès et Tlemcen. Elle représente 2,7% des superficies de la culture de tomate.
- **Zone Sud** : est représentées par les wilayas d'Adrar et Biskra.

### 1.8.3 A Mostaganem

Selon les statistiques de la Direction des services agricoles « DSA », la wilaya de Mostaganem est classée parmi les premiers producteurs de tomate en Algérie. Cette wilaya enregistrant une production de 1,33 millions de qx sur une superficie de 2438,5 ha, on distingue que la culture de tomate occupe une place très importante dans la production maraichère sur le plan de la superficie et par conséquent sur la production. (Anonyme, 2022).

## 1.9 Importance alimentaire

La tomate tient une place importante dans l'alimentation humaine. C'est un aliment diététique, très riche en eau et très pauvre en calories, riche en éléments minéraux et en vitamines (A.C.E), ces antioxydants en font un formidable rempart contre les affections (Anonyme, 2009).

**Chapitre 2 :**  
**Généralité sur**  
**Les bio-pesticides**

## Introduction

Les bio-pesticides, constitués d'organismes vivants ou de substances dérivées, jouent un rôle essentiel dans la gestion des ennemis des cultures. Leur utilisation par les agriculteurs remonte à plusieurs siècles, mais ils sont désormais catégorisés selon leur origine en trois groupes principaux : microbienne, végétale et animale. Ces solutions, adaptées aussi bien à l'agriculture conventionnelle qu'à l'agriculture biologique, présentent de nombreux avantages, notamment une toxicité réduite par rapport aux pesticides chimiques. Certains bio-pesticides contribuent également à la résistance des plantes face aux stress abiotiques (Deravel, F. Krier & P. Jacques. 2014).

Bien que leur efficacité soit parfois jugée inférieure à celle des produits chimiques, les bio-pesticides connaissent un intérêt croissant, notamment dans le cadre des approches de lutte intégrée. La procédure de mise sur le marché varie selon les régions ; elle est souvent simplifiée dans des pays comme les États-Unis, tandis qu'en Europe de l'Ouest, elle demeure complexe et onéreuse. L'avenir des bio-pesticides repose sur des facteurs déterminants tels que le soutien gouvernemental à la recherche et à la réglementation, les stratégies des entreprises phytosanitaires et les évolutions dans les attentes des consommateurs. (Dupont, M., & Martin, A. 2023).

## 2. Classification des bio-pesticides

### 2.1 Bio-pesticides d'origine microbienne

Cette catégorie inclut des bactéries, champignons, oomycètes, virus et protozoaires. L'efficacité d'un grand nombre d'entre eux repose sur des substances actives dérivées de ces Micro-organismes (Deravel et al. 2013).

#### 2.1.1 Bactéries

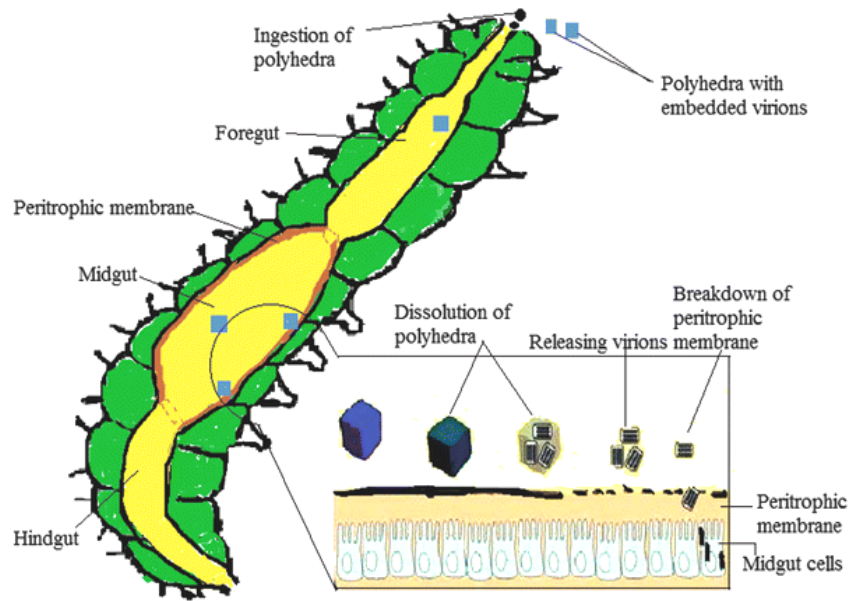
Les biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* sont parmi les plus couramment commercialisés pour leur action insecticide. *Bacillus thuringiensis* est une bactérie Gram-positive qui produit, au cours de sa phase stationnaire de croissance, des protéines cristallines appelées delta-endotoxines ou pro-toxines, Ces protéines sont libérées dans l'environnement après la lyse des parois bactériennes durant la sporulation et deviennent actives une fois ingérées par les ravageurs, ciblant les lépidoptères, les diptères et les larves de coléoptères.

D'autres espèces bactériennes du genre *Bacillus*, utilisant des mécanismes d'action différents de *B. thuringiensis*, peuvent également protéger les plantes. Parmi ces espèces, on trouve des souches de *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens* et *Bacillus subtilis*. *Bacillus amyloliquefaciens* et *B. subtilis* sont capables de coloniser les racines des plantes et de produire des molécules lipopeptidiques telles que les surfactines, les iturines et les fengycines. Ces molécules peuvent soit activer les défenses des plantes, soit avoir un effet antibactérien ou antifongique direct (Deravel et al., 2013).

### 2.1.2 Virus

Les Baculoviridae sont des virus à ADN double brin circulaire, possédant un génome compris entre 100 et 180 kb et protégés par une enveloppe protéique. Ils infectent les arthropodes, notamment les insectes et leurs larves. Ces virus présentent un faible risque pour la santé humaine, car aucun virus similaire n'a été répertorié comme infectant des vertébrés ou des plantes. Cette caractéristique les rend particulièrement intéressants en tant que bio-insecticides, d'autant plus qu'ils peuvent éliminer leur hôte en quelques jours. Les Baculoviridae sont classés selon la morphologie de leurs corps d'inclusion. Par exemple, les granulovirus, tels que *Cydia pomonella granulosis*, sont inclus dans des granules de forme ovale ou ovoïde, tandis que les nucleopolyhedro virus, comme *Helicoverpa zea* (HzSNPV) et *Spodoptera exigua nucleopolyhedrosis*, sont inclus dans des polyèdres de forme arrondie, cubique ou hexagonale (Figure12).

Les nucleopolyhedro virus infectent les larves de lépidoptères de manière atypique. Deux formes virales, génétiquement identiques mais structurellement différentes, sont nécessaires pour compléter le cycle d'infection. La forme dite "virion inclus" infecte les cellules de l'intestin moyen après ingestion par l'hôte, tandis que la forme "virion bourgeonnant" transmet l'infection de cellule en cellule. Les corps d'inclusion, composés de protéines cristallines, protègent les virions des dégradations environnementales, mais se dissolvent sous l'effet du pH alcalin de l'estomac des larves, libérant ainsi les virions. L'infection primaire commence dans l'intestin moyen, où les formes bourgeonnantes progressent de la membrane basale vers les tissus de l'hôte. Pendant cette progression, des virions bourgeonnants et inclus sont produits. La propagation dure environ quatre jours, entraînant la mort et la liquéfaction des tissus. Cette liquéfaction, typique des maladies causées par les nucleopolyhedro virus, libère des millions de formes incluses qui infectent de nouveaux hôtes (Deravel et al., 2013).



**Figure12.** Mode d'action des baculovirus contre les insectes lépidoptère.  
(SenthilNathan, 2015)

### 2.1.3 Champignons

En complément des bactéries et des virus, certains champignons se distinguent par leurs propriétés bio-pesticides, capables de combattre les bio-agresseurs. Parmi eux, *Coniothyrium minitans* est reconnu pour son action parasitaire ciblée sur les champignons du genre *Sclerotinia spp.* Ces champignons pathogènes, présents dans le sol, sont à l'origine de la pourriture blanche, une maladie affectant de nombreuses cultures telles que la carotte, le haricot, le colza ou encore le tournesol.

*Coniothyrium minitans* agit en pénétrant dans les sclérotés de *Sclerotinia sclerotiorum*, soit via des fissures externes, soit en empruntant une voie intercellulaire par l'écorce externe. Ce pathogène poursuit ensuite son développement en intracellulaire, atteignant le cortex et la médullaire. Cette progression intracellulaire est permise grâce à la production d'enzymes dégradant les parois cellulaires, telles que les chitinases et les  $\beta$ -1,3 glucanases.

En outre, diverses molécules impliquées dans les mécanismes d'action de *C. minitans* contre *Sclerotinia spp.* ont été identifiées au sein de ses cultures. Parmi elles figurent les 3(2H)-benzofuranones, les chromanes, ainsi que des métabolites antifongiques. La macro-sphélide A, quant à elle, est notable pour son action inhibitrice sur l'adhésion des cellules de mammifères et, à faibles concentrations, sur la croissance de *Sclerotinia sclerotiorum* et *Sclerotinia cepivorum*. (Deravel et al., 2013).

## 2.2. Bio-pesticides d'origine animale

Ces bio-pesticides incluent des animaux tels que les prédateurs ou les parasites, ainsi que des molécules dérivées d'animaux, souvent des invertébrés, comme les venins d'araignées et de scorpions, les hormones d'insectes, et les phéromones (Deravel et *al.*, 2013).

La coccinelle est l'insecte auxiliaire le plus connu. La coccinelle *Rodolia cardinalis*, originaire d'Australie, est couramment utilisée comme prédateur de la cochenille *Icerya purchasi*. Bien qu'introduite en Californie dès le 19<sup>e</sup> siècle pour protéger les agrumes, son introduction aux îles Galápagos n'a été autorisée qu'en 2002. Avant leur utilisation, les effets des bio-pesticides d'origine animale, en particulier des insectes auxiliaires, sur la faune locale sont minutieusement étudiés. Les bio-pesticides d'origine animale, aussi appelés « semi-chimiques », sont des signaux chimiques produits par un organisme qui modifient le comportement d'individus de la même espèce ou d'espèces différentes. Ces semi-chimiques ne sont pas véritablement des « pesticides » car ils ne tuent pas les bio-agresseurs, mais induisent plutôt une confusion chez eux, les empêchant de se propager dans la zone traitée. Les phéromones d'insectes sont un bon exemple de molécules semi-chimiques utilisées comme alternative aux insecticides. Ce sont de petites molécules naturellement produites par les insectes, détectées par les antennes de leurs congénères. Ces molécules peuvent être éphémères ou persistantes, mais elles véhiculent toujours un message, qu'il s'agisse de marquer un territoire, de signaler la disponibilité de nourriture, ou de servir d'appel à l'accouplement. Les phéromones d'insectes sont largement utilisées pour limiter les insectes ravageurs via des techniques de piégeage ou de confusion sexuelle, ainsi que pour surveiller leur nombre (Deravel et *al.*, 2013).

## 2.3. Bio-pesticides d'origine végétale

### 2.3.1 Définition

Les plantes produisent des métabolites secondaires aux propriétés insecticides, antiseptiques, ou régulatrices de la croissance des végétaux et des insectes. Ces composés jouent un rôle essentiel dans la protection des plantes contre les herbivores. Parmi les bio-pesticides d'origine végétale, l'huile de neem, extraite des graines d'*Azadirachta indica*, est l'une des plus utilisées. Cette huile contient plusieurs molécules biologiquement actives, telles que l'azadirachtine, la nimbidine, la nimbidinine, la solanine, le diacétylazadirchtinol et le méliantriol. L'azadirachtine, qui est un mélange de sept isomères de tétranortriterpinoïdes,

Constitue le principal composé actif. Elle est particulièrement efficace pour perturber les processus de morphogénèse et le développement embryonnaire chez les insectes. (Deravel et *al.*, 2013).

Certaines huiles végétales, dépourvues d'activité antiparasitaire directe, sont néanmoins utilisées comme bio-pesticides grâce à leurs caractéristiques physiques spécifiques. L'huile de colza, par exemple, constitue l'ingrédient principal de produits tels que le VegOil. Lorsqu'elle est appliquée sur les feuilles et les ravageurs, elle génère un film huileux qui entraîne l'asphyxie des nuisibles en bloquant leur respiration.

### **2.3.2 Techniques d'extraction**

L'extraction à partir d'un végétal est le procédé consistant à isoler ou séparer des substances chimiques spécifiques en utilisant des solvants sélectifs, selon différentes méthodes. Ces procédés d'extraction permettent d'isoler les métabolites solubles présents dans la plante, tout en éliminant les résidus cellulaires insolubles. L'extraction constitue une étape essentielle pour préserver l'activité biologique des composés phytochimiques. Les plantes produisent des mélanges complexes de nombreux métabolites, notamment des alcaloïdes, des glycosides, des terpénoïdes, des flavonoïdes et des lignanes. Diverses techniques de fractionnement sont disponibles pour isoler une fraction ou un composé individuel à partir des extraits bruts. La qualité d'un extrait végétal est déterminée par les parties de la plante utilisées, les solvants d'extraction, la technologie d'extraction et plusieurs d'autres paramètres. Un certain nombre de méthodes sont disponibles pour l'extraction phytochimique et le choix entre elle est déterminé par les propriétés physicochimiques et la stabilité des phytoconstituants d'intérêt. Pour extraire les composés volatils comme les huiles essentielles, les méthodes les plus courantes sont l'hydrodistillation et l'entraînement à la vapeur d'eau. En revanche, pour les composés non volatils, on utilise différentes techniques classiques telles que l'extraction à froid, l'expression, la macération ou encore l'extraction par solvant. Aujourd'hui, des procédés d'extraction plus modernes sont également disponibles, comme l'extraction au fluide supercritique (Hassan et Gokce, 2014).

### **2.4. Les huiles essentielles**

Les huiles essentielles, également appelées essences ou huiles volatiles, sont définies comme des produits généralement complexes qui contiennent les principes volatils extraits des végétaux, souvent modifiés au cours de leur préparation (Cavalli.,2002).

La norme AFNOR (2000) a défini une huile essentielle comme un produit obtenu à partir d'une matière première végétale par entraînement à la vapeur.

Les huiles essentielles sont des liquides huileux aromatiques très concentrés, renfermant des mélanges complexes de substances volatiles composées de plusieurs dizaines de composés. Elles se trouvent dans toutes les parties de la plante (écorces, racines, feuilles, fleurs et fruits) et dans toutes les régions climatiques du monde. Les facteurs environnementaux tels que la température, l'irradiance et la photopériode peuvent jouer un rôle crucial dans la qualité et la quantité des huiles essentielles (Raul, 2005).

Les composants des huiles essentielles peuvent être classés également en deux groupes principaux :

**1-**les hydrocarbures qui consistent les terpènes, tels que monoterpènes, sesquiterpènes, et diterpènes.

**2-**Les composés oxygénés, tels que les esters, aldéhydes, cétones, alcools. Parfois la présence aussi des composés azotés et soufrés (Raul., 2005).

Les bio-pesticides d'origine animale, aussi appelés « semi-chimiques », sont des signaux chimiques produits par un organisme qui modifient le comportement d'individus de la même espèce ou d'espèces différentes. Ces semi-chimiques ne sont pas véritablement des « pesticides » car ils ne tuent pas les bio-agresseurs, mais induisent plutôt une confusion chez eux, les empêchant de se propager dans la zone traitée. Les phéromones d'insectes sont un bon exemple de molécules semi-chimiques utilisées comme alternative aux insecticides. Ce sont de petites molécules naturellement produites par les insectes, détectées par les antennes de leurs congénères. Ces molécules peuvent être éphémères ou persistantes, mais elles véhiculent toujours un message, qu'il s'agisse de marquer un territoire, de signaler la disponibilité de nourriture, ou de servir d'appel à l'accouplement. Les phéromones d'insectes sont largement utilisées pour limiter les insectes ravageurs via des techniques de piégeage ou de confusion sexuelle, ainsi que pour surveiller leur nombre (Deravel et *al.*, 2013).

## **2.5 Méthode d'extraction des huiles essentielles**

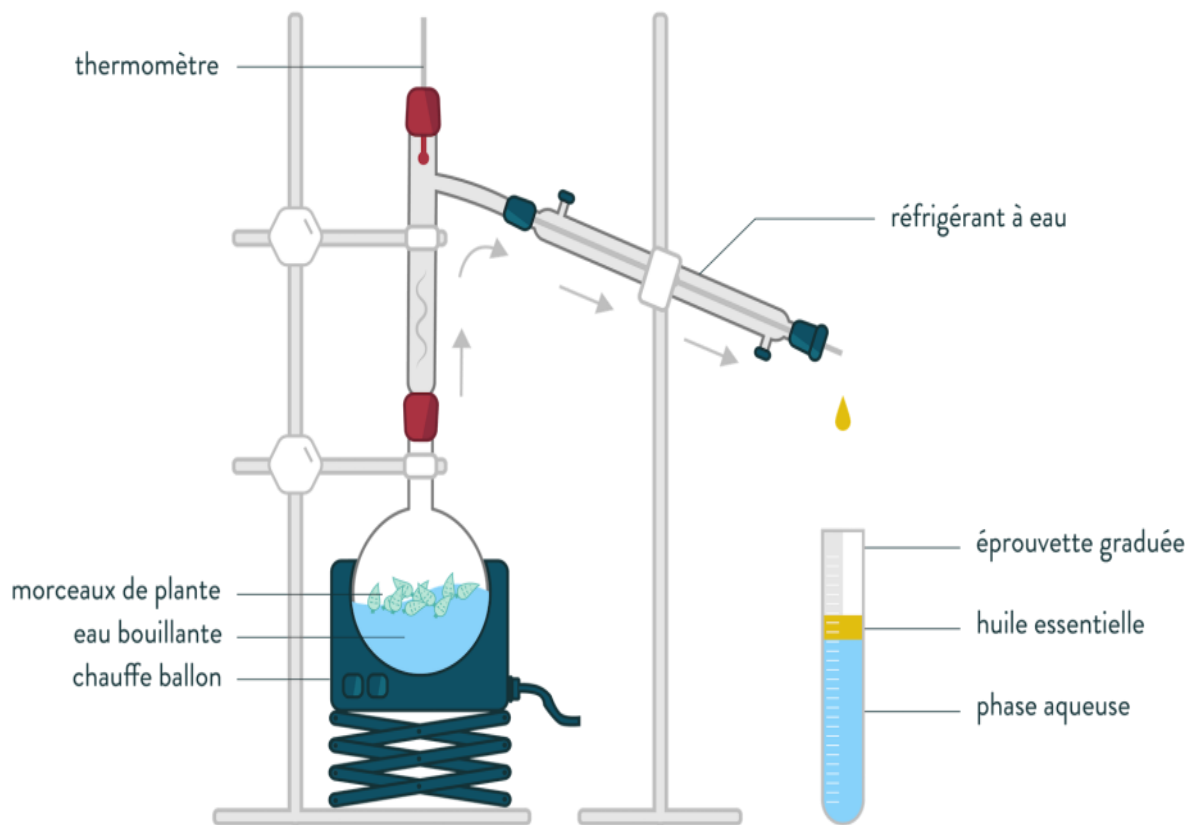
L'extraction des essences végétales repose sur une variété de méthodes, chacune adaptée à des contraintes spécifiques. La complexité et la diversité des huiles essentielles rendent le choix du processus particulièrement exigeant. De manière générale, la sélection de la méthode

D'extraction dépend de plusieurs facteurs : la nature du matériel végétal à traiter (graines, feuilles, branches, etc.), le rendement en huile attendu, ainsi que la sensibilité de certains composants des huiles essentielles aux températures élevées. (Hellal, 2011).

Parmi les différentes méthodes utilisées pour l'extraction des huiles essentielles, l'hydrodistillation se distingue par son efficacité. Elle permet non seulement d'obtenir des huiles essentielles à l'état pur, mais également d'assurer des rendements optimaux (Ferhat et *al.*, 2010).

### **2.5.1 Hydro distillation**

Pour l'extraction des huiles essentielles, l'hydrodistillation consiste à immerger la plante directement dans l'eau bouillante afin de libérer les composés volatils (Figure 13), tandis que la vapo-distillation place la matière végétale au-dessus de l'eau, permettant à la vapeur de traverser le végétal sans contact direct, ce qui protège mieux les composés thermosensibles. La vapo-hydrodistillation est une méthode intermédiaire où la plante est partiellement immergée et partiellement exposée à la vapeur. Dans les trois situations, la vapeur d'eau enrichie en huile essentielle est dirigée vers un condenseur, généralement composé d'un serpentín ou de tubes parallèles traversés par de l'eau froide. Une fois condensée, le mélange de distillat et d'huile essentielle est recueilli dans un essencier, également appelé vase florentin. Ce dispositif permet la séparation des deux liquides, non miscibles : l'eau aromatisée et l'huile essentielle. La séparation finale est obtenue par un simple processus de décantation (Besombes, 2008).



**Figure13.** Montage de l'extraction par hydrodistillation. (Anonyme2020).

# **Chapitre 3 :**

## **Les plantes aromatiques**

### 3. Les plantes aromatiques

#### 3.1. Généralité sur les agrumes

Le mot « agrume » trouve son origine dans les latins *agrus*, qui désignait initialement des plantes aux fruits au goût acide, comme l'ail ou les oignons. Avec le temps, sa signification a évolué pour désigner un ensemble de plantes appartenant à la famille des Rutacées, notamment celles du genre *Citrus* (Colombo, 2004).

Parmi les six genres botaniques de la famille des Rutacées représentant les agrumes, les plus connus proviennent du Sud-Est asiatique, à savoir *Citrus*, *Fortunella* et *Poncirus*. Les espèces des genres *Poncirus* et *Fortunella* sont originaires des régions septentrionales de l'Est de la Chine, tandis que celles du genre *Citrus* proviennent des zones méridionales situées entre l'Inde et l'Indonésie.

Reconnus pour leur richesse en acide ascorbique (vitamine C), les agrumes sont cultivés, consommés et appréciés à travers le monde, leur conférant un rôle quasi indispensable. Leur importance économique est significative, avec une production mondiale annuelle estimée à 80 millions de tonnes. En outre, leur contribution s'étend à d'autres secteurs tels que l'industrie des parfums. Enfin, leurs qualités ornementales ne sont pas à négliger : leur silhouette harmonieuse, leur feuillage persistant d'un vert éclatant et le parfum délicat de leurs fleurs en font des plantes particulièrement prisées. (Colombo, 2004)

##### 3.1.1 Importance économique des agrumes

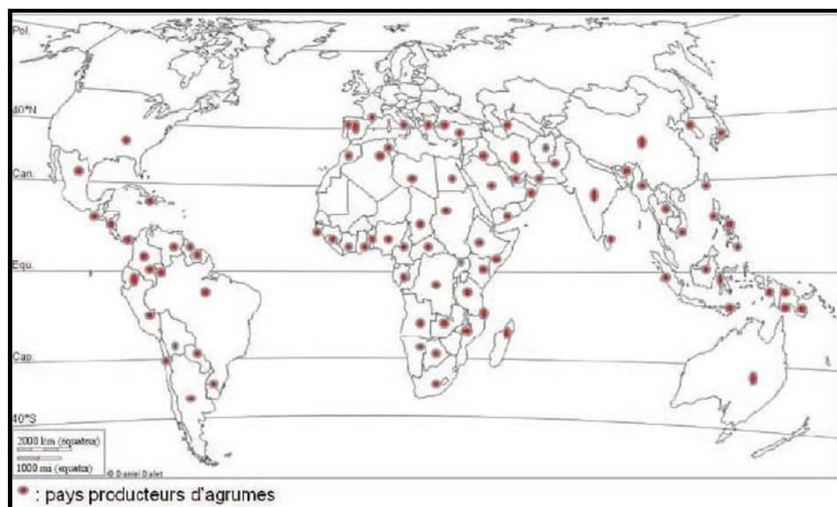
Depuis le milieu des années 1980, la production et la consommation d'agrumes à l'échelle mondiale ont connu une expansion significative. La production d'oranges, de clémentines ainsi que de citrons et limes a enregistré une croissance rapide, permettant une augmentation notable de la consommation totale et de la consommation par habitant. (Chemouri et Belmir, 2014)

##### 3.1.2 La production des agrumes

- **Au niveau du monde**

Le nombre de pays engagés dans la production d'agrumes connaît une croissance constante à l'échelle mondiale (Figure14). L'agrumiculture est désormais pratiquée dans la plupart

Des régions du globe, en particulier dans les zones méditerranéennes et tropicales, où les conditions climatiques favorisent ce type de culture (Benaissat, 2015).



**Figure14.** Les Principaux pays producteurs d'agrumes dans le monde (Benaissat, 2015).

- **Au niveau du pays (Algérie)**

La production globale d'agrumes (orange, clémentine et citron) pour la saison agricole de 2018 a été estimée à plus de 14 millions de quintaux, dont plus de 11 millions de quintaux d'oranges et 2,5 millions de quintaux de clémentines, et près de 800.000 quintaux de citrons. Sur un total de 32 wilayas productives d'agrumes, la wilaya de Blida vient en tête avec 4,1 millions de quintaux, puis Chlef avec 1,5 millions de quintaux, suivie de Mostaganem avec 1,2 millions de quintaux, puis Tipasa avec 1,1 million de quintaux et le reste de la production agrumicole était réparti sur les 28 autres wilayas. (DSA, 2018).

La répartition de la surface occupée par les agrumes dans les trois régions du nord d'Algérie est comme suit :

- Région du centre : 28 243 ha.
- Région de l'ouest : 11 658 ha.
- Région de l'est : 4 811 ha.

- **Au niveau de la wilaya de Mostaganem**

La wilaya de Mostaganem occupe une place très importante dans la production des agrumes en Algérie. D'après les données de la direction des services agricoles de la wilaya de

Mostaganem (DSA, 2018). La production totale d'agrumiculture dans la wilaya durant la campagne 2017/2018 a été de 1294860 qx avec une superficie totale de 5001 ha.

### **3.1.3 Classification d'agrumes**

La classification des agrumes selon Adjdir et Bensnoussi, (2009) comme suit :

**Règne :** Végétale.

**Embranchement :** Angiospermes.

**Classe :** Eudicotes.

**Sous classe :** Archichlomydeae.

**Ordre :** Geniales (Rutales).

**Famille :** Rutacées.

**Sous famille :** Aurantoideae.

**Tribu :** Citreae.

**Sous tribu :** Citrineae.

**Genre :** *Citrus*.

### **3.1.4 Le cycle de développement des agrumes**

Le cycle de développement se caractérise par la succession de deux phénomènes La croissance végétale et la fructification (Rebour, 1950).

- **La croissance végétale**

Elle se manifeste en trois périodes sur les jeunes ramifications :

**1. La première poussée de sève (PS1) au printemps :** C'est la prédominante (fin février-début mai) elle est la pousse la plus importante, non seulement par le nombre et la longueur de rameaux émis, mais par le fait qu'elle est la pousse florifère.

**2. La pousse d'été (PS2) :** (juillet-aout) généralement elle est moins importante que celle de printemps.

**3. La pousse d'automne (PS3) :** (Octobre-fin novembre) elle assure le renouvellement des feuilles.

### 3.1.5 Les principaux agrumes

- **Le bigaradier (*Citrus aurantium*L)**

Originnaire du nord de l'Inde, l'oranger amer se présente comme un arbuste épineux au charme particulier, apprécié pour ses caractéristiques distinctives. Ses feuilles, d'un vert éclatant, dégagent une légère odeur tout en ayant une saveur amère. Elles affichent une forme ovale avec un sommet subaigu et se distinguent par leur pétiole articulé, souvent ailé, mesurant en moyenne 8 cm de long sur 4 cm de large.

Ses fleurs blanches (Figure 15), intensément parfumées, atteignent jusqu'à 25 mm de diamètre, ajoutant à l'élégance de l'arbre. Le fruit, connu sous le nom de bigarade, est une baie à la peau rugueuse qui, à maturité, passe du vert-jaune au rouge-orangé et se caractérise par des ponctuations bien visibles. Cependant, son goût très acide et amer le rend impropre à la consommation (Esabelle, 2011).

Le bigaradier, originaire des pentes méridionales de l'Himalaya, est apprécié pour ses fleurs blanches très parfumées. Celles-ci sont particulièrement prisées par les parfumeurs pour la production de l'absolu de fleur d'oranger, de l'eau de fleur d'oranger et de l'essence de néroli.



**Figure15.**Bigaradier (orange amer) (Ghédira et Goetz, 2015).

- **Le pamplemoussier (*Citrus maxima*Burm)**

Le pamplemoussier est un arbuste, parfois considéré comme un petit arbre, qui présente généralement des épines. Ses feuilles, grandes et alternes, possèdent un pétiole très ailé et ont une forme de cœur. Les fleurs, qui apparaissent en avril, sont de couleur blanc-jaunâtre et dégagent un parfum agréable. Le fruit (Figure 16), connu sous le nom de pamplemousse, est une baie qui peut atteindre un poids impressionnant de jusqu'à 8 kg dans des climats chauds et humides.

Sa peau, épaisse et pouvant être lisse ou granuleuse, varie du jaune clair au vert clair. A l'intérieur, la pulpe est découpée en quartiers, avec des vésicules juteuses de teintes jaune clair, rose ou rouge. Le goût du pamplemousse est aigre-doux, et il est reconnu comme le plus gros des agrumes. Cet arbre est originaire d'Asie du Sud-Est (Esabelle, 2011).

Le pamplemousse est riche en vitamine C, en fibres et en antioxydants. Il peut aider à réduire le cholestérol et le risque de maladies cardiovasculaires. Possédant des propriétés anti-inflammatoires, il peut également soulager certains symptômes. De plus, sa teneur en fibres contribue à une meilleure digestion.



**Figure16.**Le pamplemousse (Hippopx, 2017).

### 3.2. Généralité sur le romarin

Le nom latin *Rosmarinus* est interprété, comme dérivé de "ros" rosée et "marinus" appartenant à la mer autrement rosée marin, ce qui fait référence à la présence du romarin sur les côtes et les îles de la Méditerranée (Guinochet, 1973). Le romarin est une plante aromatique originaire du littoral méditerranéen. Elle est prise pour ses propriétés curatives depuis l'antiquité. Les médecins arabes tenaient le romarin en grande estime et l'utilisaient pour soigner un grand nombre de maladies.

La classification complète du genre *Rosmarinus* n'a été achevée qu'au début de ce siècle. Trois espèces ont été décrites : *Rosmarinus officinalis* L., *Rosmarinus eriocalyx* et *Rosmarinus tomentosus* (Maire, 1932, Garcia-Granados, 1987).

#### 3.2.1 Caractéristiques botaniques

Le romarin (*Rosmarinus officinalis*) se distingue par ses feuilles étroites et allongées (Figure 17), à la fois coriaces et persistantes. Ses fleurs, d'un bleu pâle nuancé de violet, se regroupent en grappes denses et s'épanouissent tout au long de l'année, conférant à cette plante aromatique une présence constante dans son environnement naturel. (Ozenda, 2004; Hans, 2007).



**Figure17.** Aspect morphologique de *R. officinalis* (Köhler, 1897 in Ouibrahim,2015).

### 3.2.2 Taxonomie

Systématique du romarin selon EL Rhaffari,( 2008)

**Règne :** Plante.

**Embranchement :** Spermaphytes.

**Classe :** Dicotylédones.

**Ordre :** Lamiales.

**Famille :** Lamiaceae.

**Genre :** *Rosmarinus*.

**Espece:** *Rosmarinus officinalis*.

**Période de floraison :** Février à Avril.

### 3.2.3 Répartition géographique

Le romarin (*Rosmarinus officinalis*) est une plante indigène qui pousse spontanément à travers toute l'Algérie (Quezel et Santa, 1963) et trouve ses origines dans le bassin méditerranéen (Iserin, 2001). Il se développe principalement dans les maquis, les garrigues et les forêts claires, s'adaptant à divers environnements. Sa croissance est favorisée dans les zones sub-spontanées où le sol calcaire, la faible altitude, l'ensoleillement optimal et l'humidité modérée lui offrent des conditions idéales (Schauenberg et Paris, 1977).

### 3.2.4 Composition biochimique de l'huile essentielle de romarin

L'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* se distingue par une richesse en composés actifs aux propriétés variées. Elle contient principalement de l' $\alpha$ -pinène (7 à 80 %), de la verbénone (1 à 37 %), du camphre (1 à 35 %), de l'eucalyptol (1 à 35 %), ainsi que du bornéol (4 à 19 %) et de l'acétate de bornyle (jusqu'à 10 %), accompagnés de camphène (Belkhiri F, 2015). Outre ses composants aromatiques, le romarin renferme 2 à 4 % de dérivés triterpéniques, notamment l'acide oléanolique et l'acétate de germanicol. Il contient également des lactones diterpéniques telles que la picrosalvine et les dérivés de l'acide carnosolique, ainsi que des composés phénoliques et des acides gras hydroxylés, principalement issus de l'acide décanoïque.

Parmi ses autres constituants, on retrouve des acides organiques comme l'acide citrique, glycolique et glycérique, des stérols, de la choline, du mucilage et de la résine, contribuant à ses nombreuses applications thérapeutiques et biologiques.

### **3.2.5 Caractéristique de l'extrait de *Romarinus officinalis***

#### **3.2.5.1 Les propriétés et bienfaits du romarin**

Reconnu pour ses multiples vertus médicinales, le romarin (*Rosmarinus officinalis*) est l'une des plantes les plus utilisées en phytothérapie. Son action stimulante et antispasmodique contribue à améliorer la digestion, tout en étant efficace contre les céphalées, les migraines, les bronchites et les infections des voies respiratoires.

Il est également apprécié pour son rôle dans la régulation des troubles menstruels, la gestion des problèmes cardiaques et la réduction des états de nervosité. Son huile essentielle, dotée de propriétés antibactériennes et fongistatiques, constitue un agent naturel de protection contre divers agents pathogènes.

Les extraits de romarin sont reconnus pour leur puissant effet antioxydant, principalement attribué à leur richesse en flavonoïdes. En outre, son activité antivirale est largement influencée par la présence d'acide rosmarinique et de certains phénols terpéniques, renforçant ainsi son potentiel thérapeutique (Eberhard et *al.*,2005).

#### **3.2.5.2 Les variétés de *Romarinus officinalis***

Il ya 150 variétés dans le monde et 25 variétés en Algérie. Elles se différencient par leur taille maximale (une dizaine de cm à 2m), leur tenue (verticale ou rampante), la couleur de leurs fleurs (violette, bleues, blanches, roses) et de leurs feuilles (Mostefal, 2012).

# **Partie expérimentale**

# **Matériel et méthodes**

## Objectif

Cette étude vise à valoriser les sous-produits aromatiques, notamment le zeste de bigarade et le romarin, en évaluant leur potentiel en tant qu'alternatives naturelles aux produits phytosanitaires classiques. L'étude comporte deux volets complémentaires :

**Évaluation *in vitro*** : Tester l'effet bio-fongicide des huiles essentielles de bigarade, extraites de fruits provenant de deux régions différentes (Mostaganem et Relizane), ainsi que de l'huile essentielle de romarin, sur deux agents phytopathogènes. L'évaluation repose sur deux paramètres ; le taux d'inhibition de l'extension mycélienne, et la vitesse de croissance des champignons testés.

**Évaluation *in vivo*** : Étudier l'effet combiné et synergique de ces huiles essentielles sur la conservation post-récolte des produits agricoles, en prenant la tomate comme modèle. L'objectif est de vérifier l'efficacité de ces extraits naturels pour prolonger la durée de vie des fruits en entrepôt et de proposer une alternative biologique, efficace et durable, aux traitements chimiques conventionnels.

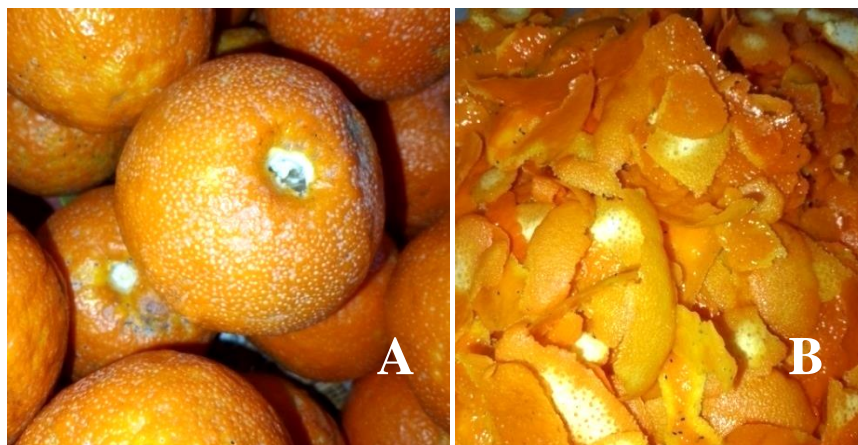
## I. Matériel biologique

### I.1. Plantes aromatiques

Dans le cadre de cette recherche, le fruit de bigarade (Figure18) et la partie aérienne du romarin (Figure 19) sont choisis comme source potentielle de substances bioactives.

Pour la bigarade les prélèvements ont été réalisés le 18 Avril 2025 dans deux régions : la vallée des jardins (Dabedaba), wilaya de Mostaganem, et Oued Rhiou, wilaya de Relizane.

Les zestes ont ensuite été séparés manuellement à l'aide d'un éplucheur de cuisine, afin d'enlever la partie externe de la peau d'agrumes préserver leur intégrité pour les étapes d'extractions ultérieures.



**Figure18.** (A) : Le fruit de bigarade /(B) : zestes de la couche externe (épicarpe) à utiliser pour l'extraction (Originale, 2025).

Par contre le romarin, a été prélevé en 28 Avril 2025 À l'université de Mostaganem, EX-ITA.



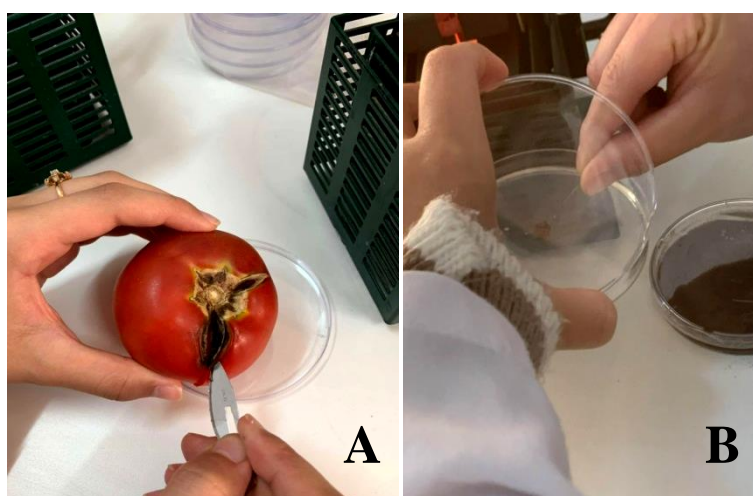
**Figure19.**Touffe de romarin (Originale, 2025).

## I.2. Isolement des agents pathogènes

L'agent causal de la maladie (Alternariose) a été isolée partir de fruit de tomate. L'isolement a été réalisé selon une procédure en plusieurs étapes, débutant par la désinfection des échantillons. Les fruits de tomate ont d'abord été rincés sous l'eau courante pendant une minute, puis désinfectés à l'aide d'une solution d'eau de Javel diluée à 2 % (v/v) pendant une minute. Cette étape a été suivie de trois rinçages successifs à l'eau distillée stérile afin

d'éliminer tout résidu de désinfectant. Enfin, les fruits ont été soigneusement séchés à l'aide de papier absorbant stérile. Ensuite, environ trois fragments de tomate, découpés longitudinalement en petits morceaux, ont été déposés dans quatre boîtes de Pétri contenant du milieu PDA (Potato Dextrose Agar : purée de pommes de terre, glucose et agar). Par ailleurs, l'agent causal de la fusariose a été représenté par une souche de *Fusarium oxysporum*, gracieusement fournie par notre directrice de projet de fin d'études.

Après une incubation de dix jours à 25 °C, les colonies fongiques obtenues ont été soumises à une observation macroscopique et microscopique afin d'analyser leur morphologie et confirmer la pureté des cultures.



**Figure 20.** Étapes de l'isolement de l'agent phytopathogène (Originale, 2025).

(A) Découper longitudinalement en petits fragments. (B) Placer les petits fragments dans des boîtes de Pétri contenant le milieu PDA.

### I.3. Extraction des huiles essentielles

La technique d'hydrodistillation repose sur le chauffage d'un mélange d'eau et de matière végétale, dans le but d'en extraire les huiles essentielles, jusqu'à ce qu'ils ébullissent. Sous l'effet de la chaleur, les cellules végétales éclatent et libèrent leur huile, puis les vapeurs d'eau et d'huile vont s'élever pour atteindre un réfrigérant constitué de deux tubes, le premier dans lequel passe la vapeur pour se liquéfier et le second qui l'entoure et qui dispose d'une entrée et d'une sortie à travers lesquelles on fait circuler de l'eau à température ambiante en continu pour refroidir. Le distillat peut alors être récupéré dans un récipient tel qu'une burette ou une éprouvette. Le distillat contient deux phases, car l'eau et l'huile sont non miscibles. L'huile essentielle apparaît alors sur le dessus, car elle est moins dense que l'eau (Figure 21).



**Figure 21.** L'appareil d'hydrodistillation (Originale, 2025).

### Détermination du rendement

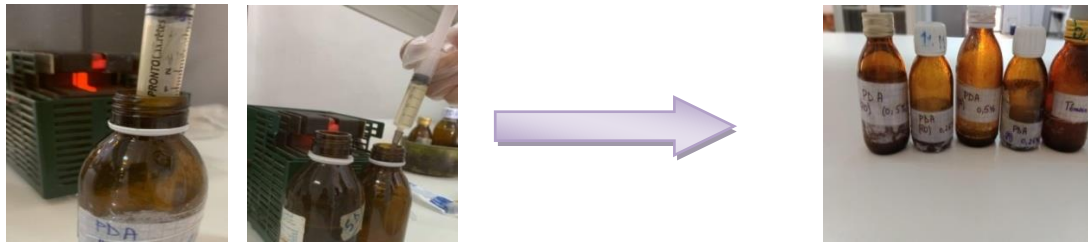
Le rendement en huile essentielle (R) est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue après l'extraction (M') et la masse de la matière végétale utilisée (M). Ce dernier est exprimé en pourcentage selon la formule :  $R = (M' / M) \times 100\%$

### 1.4 Evaluation du pouvoir biofongicide *in vitro*

Deux concentrations ont été préparées pour chaque huile essentielle. La première, à 0,5 %, a été obtenue en incorporant 0,5 ml d'huile essentielle dans 99,5 ml de milieu de culture PDA, représentant la concentration élevée. Une deuxième concentration plus faible (0,25 %) a ensuite été préparée par dilution au demi de la solution initiale. Un témoin constitué uniquement de milieu PDA sans huile essentielle a également été inclus. Un explant de 5 mm de diamètre a été prélevé puis placé au centre de chaque boîte de Pétri. Trois répétitions ont été réalisées pour chaque concentration testée. Les boîtes ont été incubées à 25 °C pendant dix jours (Planche 01). Le diamètre de l'extension mycélienne a été mesuré quotidiennement jusqu'au dixième jour. Le taux d'inhibition (Ti) de chaque huile essentielle, à différentes concentrations, a été déterminé afin d'évaluer son activité antimicrobienne (ou antifongique, selon le cas). Le calcul s'est fait selon la formule suivante :  $Ti(\%) = (C_T - C_{HE}) / C_T \times 100$

où :  $C_T$  représente le diamètre moyen de croissance mycélienne du témoin (en mm),  $C_{HE}$  représente le diamètre moyen de croissance en présence de l'huile essentielle (en mm).

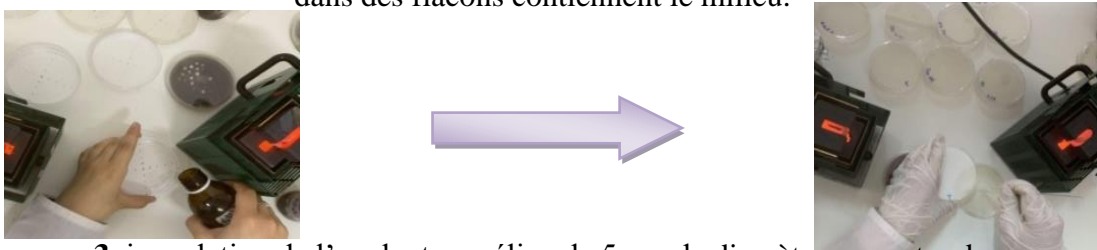
Chaque test a été réalisé en triplicat pour assurer la reproductibilité des résultats. La moyenne des mesures a été utilisée dans le calcul du taux d'inhibition.



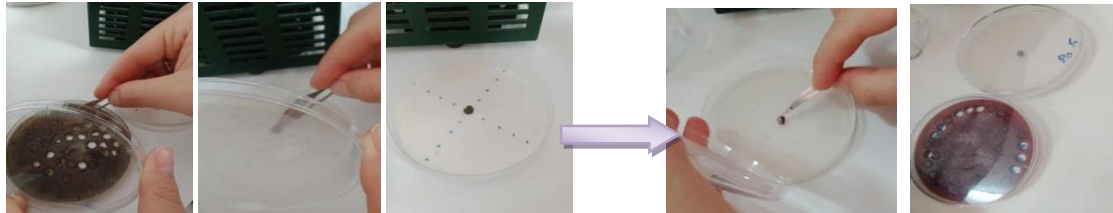
1. Préparation des milieux de culture (PDA).



2. Ajout les huiles essentielles de romarin et de bigarade (0,5% et 0,25%) dans des flacons contiennent le milieu.



3. inoculation de l'explant mycélien de 5mm de diamètre au centre de chaque boîte Pétri.



4. Placement des disques mycéliens au centre de la boîte qui contient le milieu PDA.



5. Les boîtes sont placées en incubation à une température de 25C° pendant une durée de dix jours.

**Planche01.** Etapes du test d'évaluation *in vitro* de l'activité biofongicide des huiles essentielles de romarin et du zeste de bigarade (Originale, 2025).

## I.5. Evaluation du pouvoir bio fongicide *in vivo*

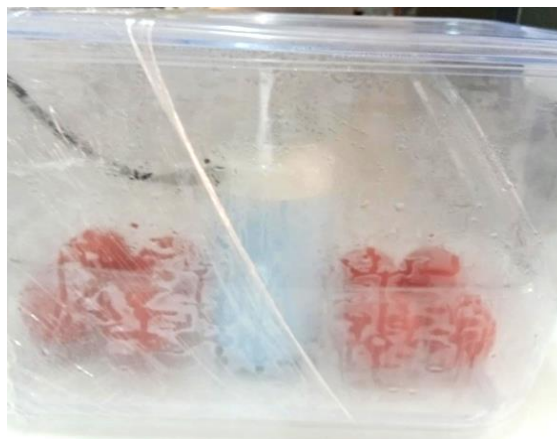
### I.5.1. Traitement préventif sur les fruits

Pour cette expérience, une formulation (**F**) à base d'huiles essentielles en mélangeant dans un flacon ombré de capacité de 250 ml ; 40 microlitres de l'huile essentielle (**RO**), 60 microlitres de l'huile essentielle (**Bg**) et 200 ml d'eau distillée.

Avant chaque utilisation, les solutions à base d'huiles essentielles ont été homogénéisées à l'aide d'un vortex afin d'assurer une dispersion uniforme des composés actifs dans l'eau. Immédiatement après cette étape, les solutions ont été appliquées sur des fruits de tomate, à raison de quatre tomates par boîte. Chaque traitement a été réalisé avec une répétition pour assurer la reproductibilité et la fiabilité des résultats expérimentaux.

➤ **Trois techniques d'application ont été utilisées :**

**1. Application par vaporisation (V) :** Cette méthode consistait à vaporiser la solution directement sur les fruits de tomate à l'aide d'un vaporisateur électrique. L'application a été réalisée une heure et deux heures avant l'inoculation de l'agent pathogène, afin d'observer l'effet préventif du traitement.



**Figure22.** Technique de vaporisation à l'aide d'un appareil électrique (Originale, 2025).

**2. Application par diffusion passive (D) :** Cette méthode reposait sur l'utilisation de disques de papier filtre imbibés de la solution formulée. Deux disques ont été placés dans chaque boîte de Pétri, créant ainsi une micro-atmosphère saturée en molécules bioactives autour des tomates. Les fruits ont été exposés à cette atmosphère pendant deux heures avant l'inoculation (Figure 23).



**Figure23.** Tomates traitées préventivement par la technique de diffusion passive (Originale, 2025).

**3. Application par spray manuel (pulvérisation directe) (S):** Dans cette approche, la même formulation a été directement pulvérisée sur les tomates. Après un temps de contact de deux heures, les fruits ont été inoculés avec l'agent pathogène.



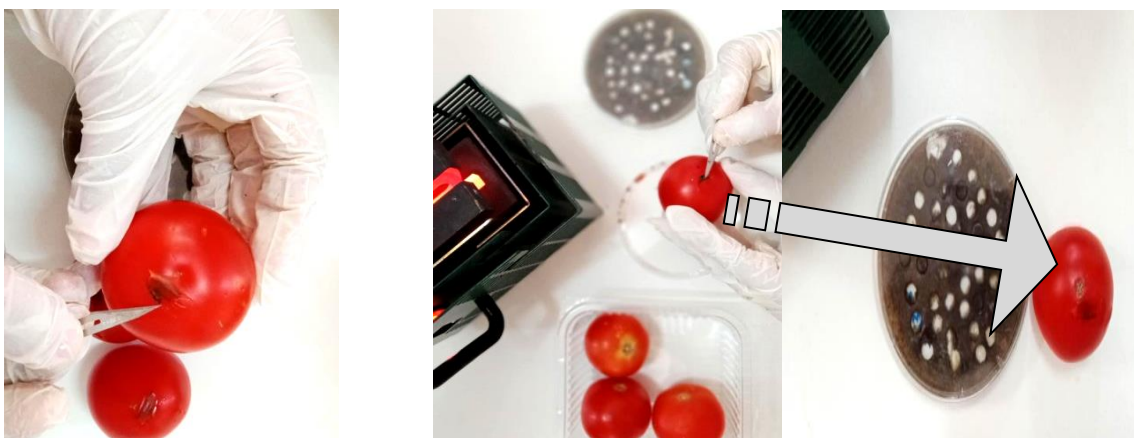
**Figure24.** Tomates traitées préventivement par la technique de spray aromatique (Originale,2025).

Deux groupes témoins ont été mis en place en complément des traitements :

- **Témoin inoculé non traité (Ti)** : ce groupe permet de suivre le développement de l'infection en l'absence de traitement.
- **Témoin non inoculé non traité (Tn)** : ce groupe sert à observer l'état naturel des tomates sans intervention, pour servir de référence.



**Figure25.** Témoin inoculé par l'*Alternaria sp* et Témoin non inoculé (Originale, 2025)



**Figure26.**Inoculation des tomates par l'agent phytopathogène *Alternaria sp* (Originale,2025).

L'inoculation a été réalisée à l'aide d'un disque mycélien de 5 mm de diamètre, prélevé sur une culture d'*Alternaria sp*. Une petite entaille a été pratiquée sur la peau de chaque fruit de tomate, dans laquelle le disque mycélien a été inséré afin de faciliter la contamination.

Les boîtes contenant les tomates inoculées ont ensuite été incubées à température ambiante, dans l'obscurité, et dans des conditions favorisant le développement fongique afin d'accélérer le processus d'infection.

# **Résultats et discussion**

# Résultats

## 1. Rendement de l'extraction

Après récupération du distillat et séparation des phases, les rendements d'extraction ont été calculés selon la formule présentée précédemment, donnant les résultats suivants :

HE de Bigarades de la région de Relizane **R (BgR)** =  $(1.5/311) \times 100 = 0,48 \%$ .

HE de Bigarades de la région de Mostaganem **R (BgM)** =  $(1/261) \times 100 = 0,38 \%$ .

HE de Romarin **R (RO)** =  $(10/1292.27) \times 100 = 0,77 \%$ .

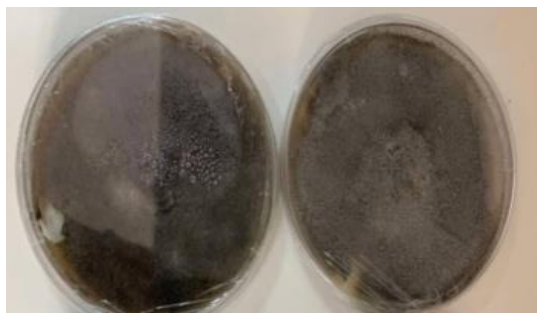
## 2. Identification des isolats

L'identification d'une espèce d'*Alternaria* et *Fusarium* est effectuée en suivant les clés de détermination proposées par Zillinsky (1983), Botton et al. (1990), Le poivre (2003) et Nasraoui (2006). Elle repose sur des critères macroscopiques des colonies, incluant leur couleur, leur odeur et leur forme. De plus, l'étude des caractéristiques microscopiques du mycélium cloisonnement ou non cloisonnement et la morphologie des conidies, des spores et aussi la structure des organes de fructification.

### 2.1. Aspect macroscopique

#### 2.1.1 Isolat d'*Alternaria sp*

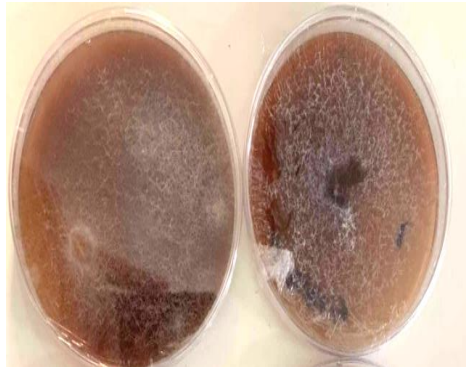
Les caractéristiques macroscopiques d'*Alternaria* cultivé sur milieu PDA, qui est l'un des milieux les plus couramment utilisés à cet effet (Botton, 1990), présentent un aspect velouté, une couleur gris foncé avec un fond noirâtre, ainsi qu'une teinte brunâtre accompagnée d'une marge gris clair. La colonie affiche une bordure irrégulière et se distingue par une croissance rapide (Figure 27).



**Figure27.** Aspect macroscopique d'*Alternaria sp* (Originale, 2025).

### 2.1.2 Isolat de *Fusarium oxysporum*

Les caractéristiques macroscopiques de *Fusarium* cultivé sur milieu PDA, présentent un aspect cotonneux ou veloutées, selon l'âge de la culture, les colonies appariassent généralement blanche au début, puis deviennent roses avec le temps, à mesure que les conidies (spores asexuées) se développent (Figure 28).

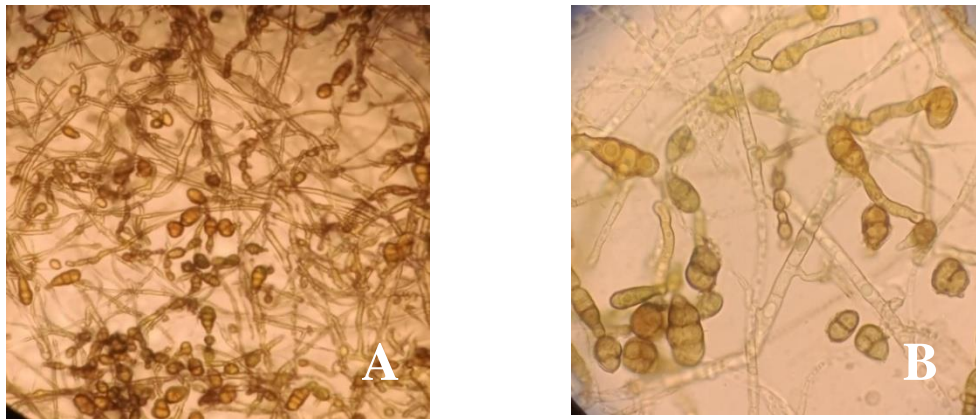


**Figure28.**Aspect macroscopique de *Fusarium oxysporum* (Originale, 2025).

## 2.2. Aspect microscopique

### 2.2.1 Aspect microscopique d'Isolat d'*Alternaria sp*

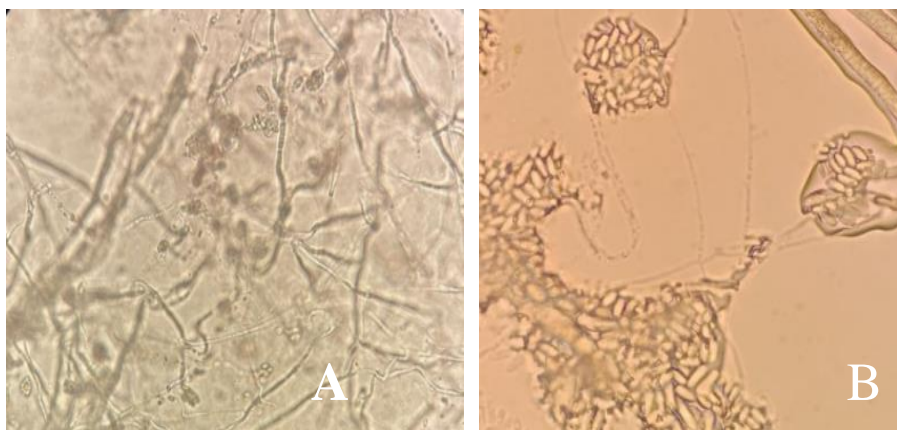
Les hyphes sont septes, constitués de filaments brun pigmentés. Les conidiospores, quant à eux, sont courts, cloisonnés et lisses, présentant une forme droite ou flexueuse et une coloration foncée. Ils se regroupent en chaînes, simples ou ramifiées, et sont pluricellulaires, avec des cloisons disposées de manière longitudinale ou transversale (Figure29).



**Figure29.** Aspect microscopique d'*Alternaria* : (A) grossissement X40, (B) grossissement X 100 (Originale, 2025).

### 2.2.2 Aspect microscopique de *Fusarium oxysporum*



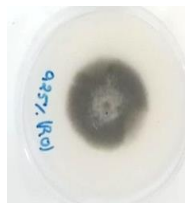
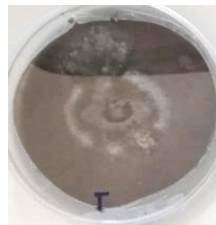
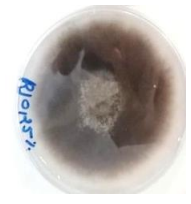
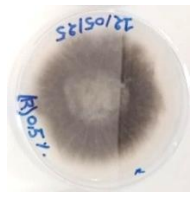

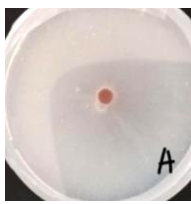
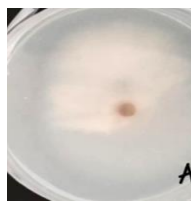
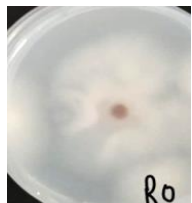
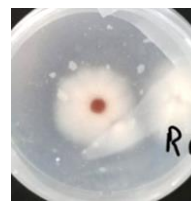
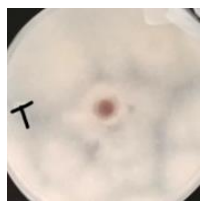
Les hyphes sont filaments longs et ramifiés, les conidies sont des spores asexuées. Les microconidies de *Fusarium oxysporum* sont généralement petites, unicellulaires, et ovales. Elles se forment en chaînes ou individuellement sur les hyphes du champignon. Les macroconidies, en revanche, sont plus grandes, multicellulaires, et ont souvent une forme en faucille ou en croissant.



**Figure30.** Aspect microscopique de *Fusarium oxysporum*. (A) grossissement X40, (B) grossissement X 100 (Originale, 2025).

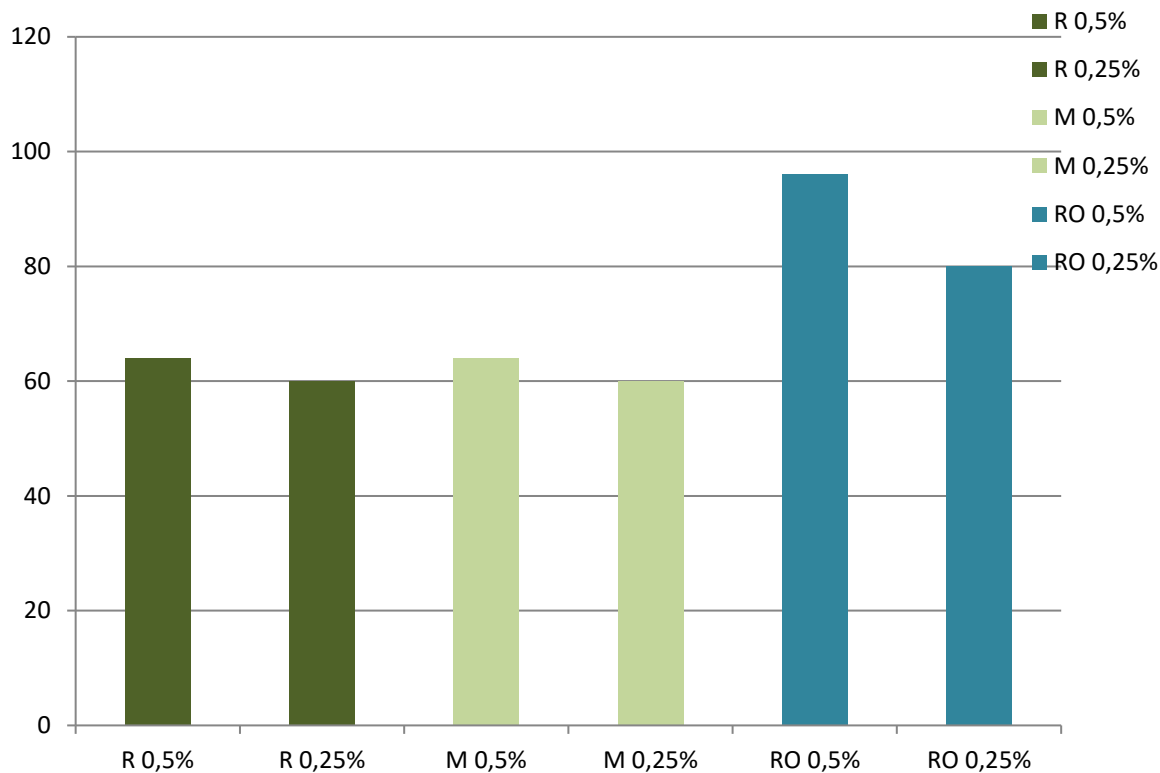
### 3. Efficacité bio-fongicide *in vitro*

En comparant entre les deux huiles, les résultats obtenus indiquent que L'huiles essentielles de bigarade de deux régions (M, R) présent une inhibition faible du développement fongique. À l'inverse, L'huile essentielle de romarin a démontré une activité antifongique marquée, réduisant significativement la croissance mycélienne des champignons (Planche 02).

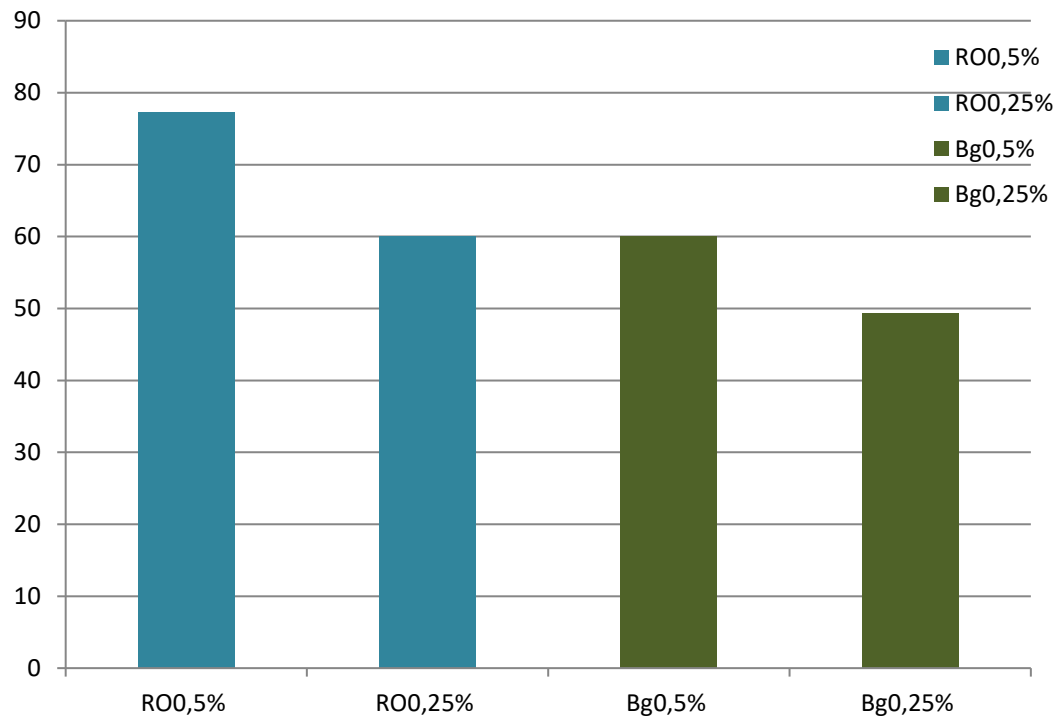
Les agents pathogènes	Huile essentielle de bigarade		Huile essentielle de Romarin		Témoin
<i>Alternaria sp</i>	 (M) 0,25%	 (M) 0,5%	 (RO) 0,25%		
	 (R) 0,25%	 (R) 0,5%	 (RO) 0,5%		
<i>Fusarium oxysporum</i>	 0,5%	 0,25%	 0,5%	 0,25%	 T

**Planche 02.** Résultats d'évaluation *in vitro* du pouvoir biofongicide des huiles essentielles de bigarade et du romarin vis-à-vis *Alternaria sp* et *Fusarium oxysporum*.

L'HE de bigarade, bien que modérément actives, présentent des taux similaires entre elles (Figure 32 et 34). Cela peut indiquer une composition chimique relativement proche malgré la différence géographique (Relizane vs Mostaganem).



**Figure 31.** Taux d'inhibition de la croissance mycélienne d'*Alternaria sp.* sous l'effet des huiles essentielles de romarin et du zeste de bigarade aux doses appliquées







**Figure32.** Taux d'inhibition de la croissance mycélienne *Fusarium oxysporum* sous l'effet des huiles essentielles de romarin et du zeste de bigarade aux doses appliquées.

#### 4. Evaluation de l'efficacité antifongique *in vivo*

- Sur tomate en post-récolte

Au cours de cette expérience, il a été démontré que la technique de vaporisation pendant deux heures est la plus efficace (Planche 03), surpassant celle d'une heure. Cette dernière a, à son tour, donné de meilleurs résultats que la méthode de diffusion passive du produit formulé, par rapport au témoin inoculé.

Méthode de Traitement	Résultats	Rang	Efficacité
Vaporisation pendant 2 heures		<b>1</b>	Très efficace
Vaporisation pendant 1 heure		<b>2</b>	Efficace
Diffusion passive		<b>3</b>	Moyennement efficace
Témoin inoculé		<b>4</b>	Développement mycélien

**Planche03.** Résultat des traitements appliqués préventivement sur les tomates puis inoculées par *Alternaria sp* et conservées durant deux semaines dans des conditions défavorables.

# Discussion

Les résultats de cette étude mettent en évidence l'activité biofongicide des huiles essentielles sur les deux agents pathogènes, laquelle augmente en fonction de la concentration utilisée appliquée *in vitro* sur les deux champignons l'*Alternaria sp* et *Fusarium oxysporum*.

Comme beaucoup d'huiles essentielles d'agrumes, l'huile essentielle de Bigarade contient une variété de composés bioactifs. Il s'agit souvent de flavonoïdes et de poly phénols connus pour leurs propriétés antimicrobiennes. Ces composés peuvent contribuer à l'efficacité d'une huile essentielle dans une variété d'applications, y compris la protection des plantes contre certains pathogènes.

L'huile essentielle de romarin contient aussi plusieurs métabolites secondaires tels que cinéole (eucalyptol), terpènes (comme l'alpha-pinène et le beta-pinène), camphre et l'acide rosmarinique qui est un antioxydant puissant qui peut aider à protéger les plantes contre le stress oxydatif. Ces composants naturels possèdent des propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires et connu pour ses effets stimulants (Eberhard et *al.*,2005). Dans cette étude, l'effet de ces huiles essentielles sur les isolats est différent selon la dose, et la plante source de molécules bioactives.

Les résultats ont montré que les isolats fongiques testés ont partiellement résisté au traitement à base d'huile essentielle de romarin, bien que celle-ci ait démontré une activité antifongique remarquable. Une inhibition quasi complète d'*Alternaria sp*. a été enregistrée, atteignant jusqu'à 96 %, ainsi qu'une inhibition de *Fusarium oxysporum* de 77 % pour une concentration de 0,5 % (v/v) d'huile essentielle de romarin. Pour une dose de 0,25 % (v/v), les taux d'inhibition observés sont respectivement de 80 % pour *Alternaria* et 60 % pour *Fusarium*.

Ces résultats diffèrent légèrement de ceux rapportés par Bendjdou et al. (2016), qui ont indiqué qu'une concentration de 0,5 % (v/v) permettait une inhibition totale de la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum*. Cette efficacité notable de l'huile essentielle de romarin peut être attribuée à sa richesse en composés bioactifs tels que le cinéole et le camphre, reconnus pour leurs propriétés antifongiques.

En comparaison, l'huile essentielle de bigarade extraite de fruits récoltés à Mostaganem a induit une inhibition de 67 % à la dose de 0,5 % (v/v) et de 47 % à 0,25 % (v/v) contre l'isolat *Alternaria sp*. De son côté, l'huile essentielle issue des bigarades provenant de Relizane a montré une inhibition de 64 % et 60 % respectivement pour les doses faible et forte. Pour l'agent phytopathogène *Fusarium oxysporum*, l'huile de bigarade a montré une inhibition maximale de 60 % pour la dose de 0,5 % (v : v) et de 49 % pour la dose de 0,25 % (v :v).

Donc selon les résultats obtenus, les huiles de bigarade des deux régions présentent une efficacité antifongique inférieure à celle de l'huile de romarin dans les mêmes conditions expérimentales. Ces résultats suggèrent que le romarin peut être un bon candidat pour les formulations biofongicides, tandis que la bigarade pourrait être utilisée en association ou à des doses plus élevées.

Les tests *in vivo*, réalisés pour évaluer des alternatives aux fongicides chimiques, ont révélé que la vaporisation pendant deux heures du mélange des deux huiles essentielles est la méthode la plus efficace. Durant la première semaine, tous les traitements ont montré une bonne résistance à l'infection induite par *Alternaria* sp., en particulier ceux appliqués par vaporisateur électrique.

Au-delà de cette période, un développement mycélien blanc a été observé, notamment sur les témoins Tn (non traité) et Ti (inoculé), ainsi que sur certaines autres boîtes, notamment au tour des sites d'inoculations dans les différentes boîtes. Cette prolifération fongique suggère une surinfection probable, possiblement due à une souche résistante de *Fusarium*, probablement *F. solani*, connue pour sa tolérance aux traitements chimiques. L'identification est confirmée par une observation microscopique de la structure mycélienne de l'agent contaminant. La souche d'*Alternaria* sp. Inoculée a été efficacement bloquée dans toutes les boîtes traitées, aucun signe de développement caractéristique de ce champignon n'a été observé.

La vaporisation, en particulier, permet une répartition uniforme et une bonne pénétration des composés actifs dans les tissus des fruits, tout en réduisant les pertes de substances volatiles. Il est également à noter que les boîtes traitées par la formulation n'ont présenté aucun développement fongique supplémentaire après la première semaine. Quinze jours après traitement, l'état des fruits est resté stable, sans signes de contamination. En revanche, les deux boîtes témoins ont montré une pourriture avancée, accompagnée d'une sécrétion abondante d'exsudats, traduisant une dégradation fongique importante.

Ces résultats confirment l'efficacité notable du traitement. Ils suggèrent aussi qu'une optimisation du protocole d'application par exemple, en prolongeant la durée de vaporisation au-delà de deux heures pourrait renforcer l'action antifongique, notamment en bloquant les agents phytopathogènes et en prévenant les surinfections potentielles par des souches résistantes non identifiées initialement.

# **Conclusion générale**

### Conclusion

Dans un contexte où la réduction de l'usage des produits phytosanitaires chimiques devient une priorité, cette étude a permis d'évaluer l'activité antifongique d'huiles essentielles naturelles, extraites du zeste de *Citrus aurantium* et du *Rosmarinus officinalis*, contre deux champignons phytopathogènes majeurs affectant la tomate, tant au champ qu'en post-récolte : *Alternaria* sp. et *Fusarium oxysporum*.

Les essais *in vitro* ont montré que l'huile essentielle de romarin présente un pouvoir antifongique nettement supérieur à celui issu du zeste de bigarade, en inhibant efficacement la croissance mycélienne des deux agents testés.

Les essais *in vivo*, réalisés en post-récolte sur des tomates traitées de manière préventive, ont confirmé ces résultats. Le traitement par vaporisation pendant deux heures de la formulation d'huiles essentielles a permis une meilleure protection des fruits, en limitant significativement le développement fongique, notamment celui d'*Alternaria* sp. Cette durée s'est révélée plus performante que celle d'une heure, ainsi que les autres techniques d'application testées.

En somme, les formulations à base d'huiles essentielles étudiées constituent des alternatives prometteuses aux fongicides chimiques, tant pour la protection préventive des cultures que pour la conservation post-récolte. Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes pour le développement d'une agriculture plus durable, respectueuse de l'environnement et de la santé humaine.

# **Références bibliographiques**

- Anonyme, 2009. « La tomate : un aliment diététique riche en eau, pauvre en calories et riche en éléments minéraux et vitamines (A.C.E). »
- Agrios, G.N., 2005. Plant Pathology. 5th ed. Elsevier Academic Press, USA UK.
- Armstrong, GM. Armstrong, JK. 1981. “Formae speciales and races of *Fusarium oxysporum* causing wilt diseases”, in: Nelson, P.E., Toussoun, T.A. and Cook, R.J. (Eds.) *Fusarium: Diseases, Biology, and Taxonomy*, The Pennsylvania State University Press, University Park, PA, USA: 391-399.
- AFNOR, 2000 « Recueil de normes : les huiles essentielles. Tome 2. Monographies relatives aux huiles essentielles ». AFNOR, Paris ; 661-3.
- Blancard, D. 1997. Les maladies de la tomate. Edition INRA, Paris, 212 P.
- Blancard, D., Laterrot, H., Marchoux, G. et Candresse, T., 2009. Les maladies de la tomate : identifier connaître maîtriser. Ed. Quæ. Paris. 679 pp.
- Blanchard, D, Laterrot H., Marchoux G. et Candresse , T. 2012. A colour Handbook – Tomato Diseases : identification, biology and control. Manson Publishing Ltd, 688p.
- Bouchot, D., Rouxel, F., Louvet, J. 1972. Premières observations de la *Fusarium* vasculaire de la tomate en France. Ann. Phytopath. 4(2) : 187-191.
- Besombes C., 2008. Contribution a l'étude des phenomenes d'extraction hydrothermo mecanique d'herbes aromatiques. Applications generalisees. These Doctorat. Université de La Rochelle.p :41-45.
- Besombes, C. 2008 Thèse de Doctorat : Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydro-thermomécanique d'herbes aromatiques, Applications généralisées Université de La Rochelle. France.
- Blancard D. 1988. Les maladies de la tomate, observée, identifié, lutté. Edition : INRA. Paris. 210 p.
- Blancard D. 2009. Les maladies de la tomate, identifier, connaitre, maitriser. Edition Quæ. Paris. 691 p.
- Belkheiri F, 2015. Etude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis*. Mémoire de master, Universites DE Biskra ,45p.
- Botton, B., Breton, A., Fèvre, M., Gauthier, S., Guy, P., Larpent, J P.,Reymond, P Anglier. J., Vayssier, Y., Veau, P.1990 Moisissures utiles et nuisibles, Importance, industrielle, Ed. Masson, Paris.
- Cavalli J. F. 2002Caracterisation par CPG/IK, CPG/SMetRMNdu carbone-13 d'huiles essentielles, madagascar : Université de Corse Pascal Paoli.

- Di Pietro, A. Madrid, MP. Caracuel, Z. Delgado-Jarana, J, Roncero, MIG., 2003. *Fusarium oxysporum* :exploring the molecular arsenal of a vascular wilt fungus Molecular Plant Pathology(4): 315-325.
- Deravel J., Krier F., Jacques P. 2013. Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). Biopesticides, alternatives aux produits phytosanitaires chimiques. 2014 18(2), 220-232.
- DSA 2018 (Direction des services agricoles), Wilaya de Chlef (2017-2018).
- Ezzahiri B., 2001. Les maladies du Blé Identification, facteurs de développement et méthodes de lutte (Bulletin Mensuel d'information et de liaison du PNTTA) N°77.
- El akel M., CHOUBANI M. ET KAACK H. 2001. Protection intégrée en culture de tomate Integrated Pest Management Review. 1 : Pp15-29.
- Emberger L, 1960. Traite botanique. Fascicule II maison. p335.
- Fravel, D., Olivain, C., & Alabouvette, C. 2003. *Fusarium oxysporum* and its biocontrol. New phytologist, 157(3), 493-502.
- Faostat. 2023. Données de production agricole de l'Algérie. Ed. FAO.
- Gindrat, D. 1975. La fusariose vasculaire de la tomate de plein champ en Suisse. Revue suisse de viticulture arboriculture horticulture 7 (2) : 69-72.
- Guenaoui Y., 2008. Première observation de la mineuse de la tomate invasive, dans la région de Mostaganem, au printemps 2008. Phytoma, N° :617, p.p.18-19.
- Guinochet T., 1973. Phytosociologie, Ed. Masson, France, 227p.
- Haglund, W.A, Kraft, J .M., 2001. Fusarium wilt. In "Compendium of Pea Diseases Pests & " (Eds. Kraft, J.M., Pflieger, F.L.) American Phytopathological Society Press, St. Paul, USA, 13.
- Hibar, K., Daami-Remadi, M., & El Mahjoub, M. 2007. Effets de certains fongicides de synthèse et biologiques sur la croissance mycélienne et l'agressivité de *Fusarium oxysporum* f. sp. radicis-lycopersici. Tropicultura, 25(3), 146-152.
- Hassan E., GOKCE A. 2014. production and consumption of biopesticides. springer the language of science. DOL :10.1007/978-81-322-2006-0-15.
- Iñaki, G. 2015. *Botrytis cinerea* Un ravageur de culture très infectieux CANNA Gardening CANADA.htm. <http://H:/Symtomes>.
- Ito, S. I., Ihara, T., Tamura, H., Tanaka, S., Ikeda, T., kajihara, H ... & El-Sayed, M.A. 2007.  $\alpha$ -Tomatine, the major saponin in tomato, induces programmed cell

death mediated by reactive oxygen species in the fungal pathogen *Fusarium oxysporum*. FEBS letters, 581(17), 3217-3222.

- Iserin P., 2001. Encyclopédie des plantes médicinales, Tome 2. Ed. Larousse. Londres. 143- 225-226p.
- Leroux P., 2003. Mode of action of agro chemicals towards plant pathogens. Comptes Rendus de Biologies 326 : 9-21.
- Logrieco A., Moretti A. et Solfrizzo M., 2009. *Alternaria* toxins and plant diseases: an overview of origin, occurrence and risks. World Mycotoxin Journal. 2 (2): 129-140.
- Messiaen, C.M. 1981. Les variétés résistantes. Méthodes de lutte contre les maladies et ennemies des plantes. Edition INRA, Paris. 374 p.
- Messiaen C.M., Blancard D., Rouxel F. et Lafon R., 1991. Les maladies des plantes maraichères, INRA. Paris, 552p.
- Michielse C.B. Rep M. 2009. Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum*. Molecular Plant Pathology, 10 (3): 311-324.
- Mémento de l'agronome. 2003. GRET et CIRAD, Éditions Quae, France.
- Mostefaïai A, 2012. Contribution à une étude morpho métrique de *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiacées). Mémoire de master, Université Tlemcen, 106p.
- Ouibrahim Amira, 2015, Evaluation de l'effet antimicrobien et antioxydant de trois plantes aromatiques (*Laurus nobilis* L., *Ocimum basilicum* L. et *Rosmarinus officinalis* L.) de l'Est Algérien. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba.
- Patterson C.L., 1991. Importance of chlamydo spores as primary inoculum for *Alternaria solani* incitant of collar rot early blight of tomato. Plant Disease. 75:274-278.
- Pezet R., Viret O. et Gindro K. 2004. Plant-microbe interaction: the Botrytis grey mould of grapes biology, biochemistry, epidemiology and control management. In: Advances in Plant Physiology (Hemantaranjan A., ed), Scientific publishers, Jodhpur, India, 7, 71-116.
- Raul L. H. O., Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combine « solvant/actif » D'origine végétale. Toulouse : Thèse De L'institut National Polytechnique De Toulouse., 2005.
- Shankara Naika, 2005. Agromisa Foundation and CTA, Wageningen., AGRODOK 17, Cultivation of tomato production, processing and marketing. Pg. 6-8.

- Si Mohammed, A. 2016. Caractérisation Et Lutte Biologique Vis-à-vis *Fusarium oxysporum* (Doctoral Dissertation, Université D&#39;oran1-Ahmed Ben Bella).P:124.
- Simmons EG., 2007. *Alternaria. An Identification Manual.* : CBS Biodiversity SeriesNo. 6. CBS Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, the Netherlands, 775p.
- Senthil-Nathan S.2015. A Review of Biopesticides and Their Mode of Action Against Insect Pests. A Review of Biopesticides and Their Mode of Action Against Insect Pests.10.1007/978-81-322-2056-5\_3.
- Martin,Hilmi.,Barbara, Van Dam.,2005.La culture de la tomate production,transformation et commercialisation.
- Schauenberg, O. and Paris F., 1977. *Guide to Medicinal Plants.* Keats, New Canaan,CT.Monographie des plantes aromatiques et médicinales du maroc. Mrojetpam :Intégration de la biodiversité dans la chaine de valeurs des plantes aromatiques et médicinales méditerranéennes au Maroc.
- Tabuc C., 2007. Flore fongique de différents substrats et condition optimales de production des mycotoxines. Thèse de Doctorat. Institut polytechnique de Toulouse.

# **Annexe**

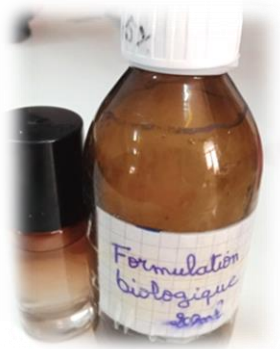
## Annexe I

- **Composant de la formulation biologique :**

- eau distillée.

-huile essentielle de Romarin.

-huile essentielle de Bigarade.



- **Composition des milieux de culture :**

- Milieu PDA :

-200g de pomme de terre.

-20g de glucose.

-20g d'Agar.

-Eau distillée : compléter à 1000 ml.

-Stérilisation : à 120c pendant 20 mn.

