

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université SAAD DAHLEB - Blida 1 -**  
**Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département de Biotechnologies**  
**Laboratoire de Recherches sur les Plantes Aromatiques et Médicinales**



## **MÉMOIRE**

En Vue de l'obtention du Diplôme de Master académique en Science de la Nature et de la  
Vie

Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

***Evaluation de l'effet biostimulant et éliciteur de  
quelques intrants biologiques fongiques et  
mycorhiziens vis-à-vis des agents responsables de  
flétrissures et de pourritures sur la culture de tomate  
sous serre***

**Soutenu le : 13 /09/2020**

**Par: Gouri Yasser**

**Devant le jury composé de :**

- |                          |            |             |                            |
|--------------------------|------------|-------------|----------------------------|
| • <b>Mr ABBAD A.</b>     | <b>MCA</b> | <b>USDB</b> | <b>PRESIDENT</b>           |
| • <b>Melle SADDEK D.</b> | <b>Dr</b>  | <b>INPV</b> | <b>EXAMINATRICE</b>        |
| • <b>Mme MOUMENE S.</b>  | <b>MCA</b> | <b>USDB</b> | <b>DIRECTRICE DE THESE</b> |

**Année universitaire 2019/2020**

## Résumé

Cette présente synthèse bibliographique a fait ressortir des informations pertinentes concernant cette culture stratégique de tomate « *Solanum lycopersicum* », l'incidence des contraintes biotiques d'origine fongique dont, les plus fréquentes et redoutables sont la pourriture grise et le flétrissement des plantes de tomates causés respectivement par *Botrytis cinerea* et *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*. L'utilisation massive et répétée des fongicides de contact et systémiques ont induit leur résistance d'où, la nécessité de rechercher d'autres moyens durables de lutte biologique en vue de réduire leur inoculum dans le sol. Parmi les biopesticides recommandés dans le biocontrôle de ces agents pathogènes, plusieurs travaux se sont orientés vers les microorganismes bénéfiques et ont recommandé l'utilisation des champignons mycorhiziens dont, leurs potentialités se résument par la biostimulation de la croissance et du rendement ainsi que la résistance induite chez les plantes vis-à-vis de ces agents pathogènes. Il serait donc, intéressant de rechercher et d'incorporer les mycorhizes endémiques dans le sol de la culture de tomate en pépinières ou sous serre en vue d'améliorer le rendement et la qualité ainsi que l'état phytosanitaire.

**Mots clés :** Biostimulation, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*, Mycorhizes

Résistance, *Solanum lycopersicum*.

## **Abstract**

This present bibliographic synthesis has brought out relevant information concerning this strategic tomato crop "*Solanum lycopersicum*", the incidence of biotic constraints of fungal origin, the most frequent and dreadful diseases which are gray rot and wilting of tomato plants caused by *Botrytis cinerea* and *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici* respectively. The massive and repeated use of contact and systemic fungicides have induced their resistance, hence the need to seek other sustainable means of biological control in order to reduce their inoculum in the soil. Among the biopesticides recommended in the biocontrol of these pathogens, several studies have focused on beneficial microorganisms and have recommended the use of mycorrhizal fungi whose potentials are translated by the biostimulation of growth and yield as well as the resistance induced in plants against these pathogens. It would therefore be interesting to research and incorporate endemic mycorrhizae in the soil of tomato cultivation in nurseries or in greenhouses in order to improve yield and quality as well as the phytosanitary status.

**Key words:** Biostimulation, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*, Mycorrhizae, Resistance, *Solanum lycopersicum*.

## الملخص:

أظهر هذا الملخص البيولوجي المعلومات ذات الصلة بشأن محصول الطماطم الاستراتيجي " *Solanum lycopersicum* "، حدوث القيود الحيوية من أصل فطري ، وأكثرها تكرارا وخطورة هي العفن الرمادي والذبول الناجم عن *Botrytis cinerea* و *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici* على التوالي. لقد أدى الاستخدام المكثف والمتكرر لمبيدات الفطريات الجهازية و الملامسة إلى مقاومتها ، ومن ثم الحاجة إلى البحث عن وسائل مستدامة أخرى للتحكم البيولوجي من أجل تقليل لقاحها في التربة. من بين المبيدات الحيوية الموصى بها في مكافحة الحيوية لمسببات الأمراض هذه ، ركزت العديد من الدراسات على الكائنات الحية الدقيقة المفيدة وأوصت باستخدام الفطريات الجذرية (mycorrhizes) ، وتتخلص إمكاناتها من خلال التحفيز الحيوي (biostimulation) للنمو والغلة وكذلك المقاومة المستحثة (resistance induite). في النباتات مقابل هذه العوامل الممرضة. لذلك سيكون من المثير للاهتمام البحث ودمج الفطريات الجذرية المستوطنة في تربة زراعة الطماطم في المشاتل أو في البيوت البلاستيكية من أجل تحسين المحصول والجودة بالإضافة إلى حالة الصحة النباتية.

## الكلمات المفتاحية:

التحفيز الحيوي (Biostimulation)، العفن الرمادي، *Botrytis cinerea*، الذبول، *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*، الفطريات الجذرية (Mycorrhizes)، المقاومة (Résistance)، الطماطم (*solanum lycopersicum*).  
1.)

## Remerciements

Au terme de ce travail,

Nous remercions tout d'abord de bon Dieu qui nous a donné le courage et la patience pour terminer ce travail.

Nous sommes heureux d'exprimer ici nos remerciements les plus sincères et notre profonde reconnaissance à tous ceux qui de loin ou de près nous ont aidés à réaliser ce travail, en particulier :

**Mme MOUMEN Saida.** D'avoir accepté de diriger ce travail et pour tous les conseils qu'elle nous a régulièrement prodigués, qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde gratitude et nos remerciements pour la grande disponibilité et l'intérêt constant qu'elle a toujours manifesté à l'égard de notre travail.

Notre reconnaissance s'adresse également au **Mr ABBAD Mohamed** pour avoir accepté de présider notre jury.

A mademoiselle **SADDEK Dounia** qui nous avons fait l'honneur de bien vouloir accepter de juger ce travail.

On tient également à remercier **Mlle BENAMOUR Safia, ELBEY Mohamed Lemine, HAMEL Amira, MIDOUNE Amel.** Pour l'aide particulière qu'il nous apporté. Remercie.

Nous remercions infiniment **Mme ABBABSSIA Amel.** directrice de SRPV (station régionale de protection des végétaux) de Boufarik de nous avoir permis de réaliser notre expérimentation dans les meilleurs conditions.

Sans oublier les ouvriers d'SRPV en particulier les **Mme TAAZOUNT Nassima** qu'ils trouvent ici l'expression de nos vifs remerciements.

## *Dédicace :*

*Je dédie ce travail*

*A mes très chers parents, source de ma joie de vivre  
et de mon courage d'avancer.*

*A mes tendres sœurs: Soumia, Asia, Meriem, Zineb,  
Nour el Koloub.*

*A mon respectueux frère: Mohamed.*

*A mes oncles, tantes, cousins et cousines*

*A toute l'équipe de la station régionale de la  
protection des végétaux de Boufarik. Et particulièrement la  
présidente S.Dounia.*

*A tous ceux que j'aime et je respecte.*

*A la mémoire de tous ceux que j'ai perdus mais que je  
n'ai jamais oublié.*

*Ainsi qu'à toute ma promotion de biotechnologie et  
Valorisation des Plantes Aromatiques et Médicinales*

**GOURI.Y**

## Liste d'abréviations :

- **ACTA** : Association de coordination technique agricol.
- **ARN** : acide ribonucléique.
- **CE** : conductivité électrique
- **CMA** : champignons mycorhiziennes arbusculaires
- **FAO** : Organisation des Nations Unies de l'Agriculture et de l'Alimentation
- **Fo** : *Fusarium oxysporum f. sp.*
- **Foc** : *Fusarium oxysporum f. sp. Cucumerinum*
- **Fol** : *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*
- **GNIS** : Le Geographic Names Information System (GNIS), littéralement en français « Système d'Information des Noms Géographiques »
- **HR** : Humidité Relative
- **INRA** : Institut national de la recherche agronomique d'Algérie
- **LCO** : lipochitoooligosaccharides
- **M1** : *mycorhize 1 (Glomus caledonium 90036)*
- **M2** : *mycorhize 2 (consortium CMA)*
- **MA** : mycorhizes à arbuscule
- **Myc** : champignons
- **OILB** : Organisation Internationale de la Lutte Biologique
- **PAM** : Membrane péri-arbusculaire
- **PAS** : Espace péri-arbusculaire
- **PDA** : (extrait de pomme de terre-dextrose- agar)
- **T°** : Température
- **UV** : Ultra-Violet

## Liste des figures :

- **Figure 1:** origine et diffusion de la tomate dans le monde (Gallais et Bannerot, 1992). Page 1
- **Figure 2:** Feuille composée de plante de tomate d'isolement sur le fond blanc - Illustration libre de droits source : iStock.com. page 3
- **Figure 3 :** morphologies structures des différentes parties de la tomate. Page 6
- **Figure 4:** illustration de cycle biologique de la tomate (source : dreamstime). Page 8
- **Figure 5:** *B.cinerea* sur un milieu PDA (source : photothèque de ctifl). Page 12
- **Figure 6 :** *B.cinerea* sur milieu PDA et observation des conidies et conidiophores. Page 15
- **Figure 7 :** Cycle de développement (production asexuée) de *Botrytis cinerea* sur différentes culture (d'après Agrios, 2005). Page 16
- **Figure 8 :** Formation *in vitro* (à gauche) et *in vivo* (à droite) de sclérotés de *Botrytis cinerea* (Source INRA). Page 16
- **Figure 9 :** *Fusarium oxysporum f .sp* sur gélose nutritive, source INRA, 2015. Page 24
- **Figure 10 :** symptômes de fusariose sur feuilles de la tomate. Page 25
- **Figure 11 :** Principaux symptômes de la fusariose chez les plantes de tomate montrer par l'INRA 2013. Page 25
- **Figure 12 :** cycle biologique de *Fusarium oxysporum f. sp radidis-lycopersici* (Alabouvette, 1990). Page 27
- **Figure 13 :** Représentation schématique des différents types des mycorhizes (Le Tacon, 1985). Page 31
- **Figure 14 :** Arbre phylogénétique des *Glomeromycota* basé sur l'analyse des séquences de la petite sous-unité ribosomale (dessiné d'après les définitions de Schwarzott et al, 2001). Page 31
- **Figure 15 :** Différentes structures de la colonisation mycorhizienne arbusculaire (Brundrett et al, 1996). Page 34
- **Figure 16 :** Classification phylogénétique des champignons CMA (Schüßler et al, 2001). Page 40
- **Figure 17 :** Cycle de développement des CMA (Akiyama, 2007). Page 41
- **Figure 18 :** Signaux pré-symbiotiques établis entre le CMA et la plante hôte (Genre, 2012). Page 42
- **Figure 19 :** Schéma d'un arbuscule (Parniske, 2008). Page 45

**Liste des tableau :**

**Tableau 1 :** les maladies cryptogamiques de la tomate (snoussi, 2010). Page 10

## **Introduction:**

La tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole Algérienne qui s'agrandit de jour en jour. Elle a des bonnes perspectives économiques dues à son cycle biologique court combiné à des rendements importants (BELAID. 2016).

Cette culture est sujette à plusieurs problèmes phytosanitaires, notamment les maladies cryptogamiques qui sont plus fréquentes et causent des pertes importantes de rendement chaque années au cours de la végétation et/ ou en stockage. La pourriture grise (*Botrytis cinerea*) (ABIDET, et al., 2018), et la fusariose vasculaire (*Fusarium oxysporum*) (DEBBI. 2019).sont classées parmi les mycoses les plus destructives de cette culture.

Plusieurs méthodes sont appliquées pour faire face à ces phytopathogènes (méthode prophylactique, lutte chimique etc...), cependant l'apparition des souches virulentes est agressives a rendu le contrôle de ces maladies plus difficile et a engendré aussi la pollution de l'environnement par les résidus des pesticides. A cet effet les recherches ont été orientées vers la lutte biologique en utilisant des produits naturels et des micro-organismes bénéfiques antagonistes tels que *Clonostachys rosea* IK726 (KAMOU, et al., 2020), et *Trichoderma harizianum* (CARILLO, et al., 2020). Les bactéries des genres *Pseudomonas*, *Bacillus* (MEBARKI, & BENAKLI. 2018). Et les mycorhizes.

Les mycorhizes sont un moyen peu utilisé, malgré leurs propriétés très intéressantes dans la biostimulation des plantes, la fertilité du sol, le control biologique des agents pathogènes et leur pouvoir important dans la colonisation de la rhizosphère. Dans ce sens l'objectif de cette étude et de déterminer l'effet bio-stimulant et éliciteur des champignons mycorhiziens (CMA) sur des plants de tomate infectés par *Botrytis cinerea* et *Fusarium oxysporum*.

# Sommaire

Résumé

Mots clés

Remerciements

Dédicaces

Liste d'abréviation

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1. Généralités sur la tomate ( <i>Solanum Lycopersicum L</i> ).....	1
1.1.1 Description .....	1
1.1.2 Historique et origine .....	1
1.1.3 Importance économique .....	2
1.1.4 Classification botanique.....	2
1.1.5 Classification génétique.....	3
1.1.6 Morphologie.....	4
1.1.7 Cycle biologique .....	6
1.1.8 Exigences pédoclimatiques de la culture.....	8
2. Généralités sur les maladies fongiques de la tomate.....	10
2.1. La pourriture grise	
2.1.1. Agent causal ( <i>Botrytis cinerea</i> ) .....	11
2.1.1.2. Morphologie de <i>B. cinerea</i> .....	12
2.1.1.3. Classification .....	14
2.1.1.4. Cycle de développement de la pourriture grise.....	14
2.1.1.5. Symptômes et dégâts .....	17
2.1.1.6. Facteurs influençant le développement de champignon .....	17
2.1.1.7. Moyens de lutte .....	19
2.2. Fusariose vasculaire de la tomate	
2.2.1 Agent causal .....	23

2.2.2	Morphologie de <i>Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici</i> .....	23
2.2.3	Identification et taxonomie .....	23
2.2.4	Symptômes et dégâts .....	24
2.2.5	Cycle infectieux .....	26
2.2.6	Méthodes de lutte .....	27
3.	<b>Généralités sur les mycorhizes</b>	
3.1	Aperçu sur la rhizosphère .....	29
3.1.1.	Interactions Sol-Plante-Microorganismes .....	29
3.2.	Les champignons mycorhiziens .....	30
3.2.1	Les types de mycorhizes .....	30
3.2.1.1	Les éctomycorhizes (ECM).....	32
3.2.1.2	Les ectendo-mycorhizes.....	32
3.2.1.3	Les endomycorhizes .....	32
3.2.2.	Développement de la symbiose (MA) .....	34
3.2.3.	Les différentes phases de symbiose MA .....	35
3.2.3.1	Phase pré-symbiotique.....	36
3.2.3.1.1	Réponse du champignon aux signaux végétales .....	36
3.2.3.1.2	Réponse de la plante aux signaux dérivés du champignon.....	37
3.2.3.2	Première phase symbiotique .....	37
3.2.3.2.1	Développement d'appressorium.....	37
3.2.3.2.2	Pénétration du champignon mycorhizien .....	37
3.2.3.3	Phase symbiotique d'âge mur .....	38
3.2.3.3.1	Développement des arbuscules .....	38
3.2.3.3.2	Interface symbiotique et le transfert d'éléments nutritifs .....	38
3.2.4.	Les champignons mycorhiziens à arbuscules	
3.2.4.1.	Classification .....	39
3.2.4.2.	Cycle biologique .....	40
3.2.4.3.	Importance des champignons mycorhiziens à arbuscules .....	45
3.2.4.3.1	Absorption de l'eau et des éléments minéraux .....	45
3.2.4.3.2	Agrégation des sols .....	46
3.2.4.3.3	Protection contre les organismes pathogènes .....	46
3.2.4.3.4	Résistance aux stress de l'environnement .....	47

## **Chapitre 2 : Synthèse sur les travaux relatifs à la problématique et les objectifs de notre thématique**

**2.1. Intérêt de l'endomycorhization fongique arbusculaire dans la suppression des agents pathogènes contaminants les sols des cultures sous- serres ..... 49**

**2.2. Importance d'utilisation de l'endomycorhize à arbuscules « *Glomus mosseae* » dans le biocontrôle de la fusariose de la tomate causée par « *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici* »..... 50**

**2.3 Réaction systémique induite par les champignons mycorhiziens à arbuscules sur les plantes de tomate lors de l'infection par *Botrytis cinerea* ..50**

**Conclusion.....51**

**Références bibliographiques..... 52**

## **Chapitre 1 :**

# **Synth èse bibliographique**

## 1.1. Généralités sur la tomate (*Solanum Lycopersicum L.*)

### 1.1.1 Description

La tomate *Solanum Lycopersicum L* appartient à la famille des solanacées, d'origine tropicale (Amérique latine) (ANONYME., 1999). Elle a de bonnes perspectives économiques et la superficie des terres arables augmente chaque jour, Parce que c'est une culture à cycle assez court et à haut rendement,

### 1.1.2 Historique et origine

La tomate est originaire des basses Andes et a été cultivée par les Aztèques au Mexique (Figure 1). Le mot aztèque «tomate» signifie simplement «fruit à chair», tandis que les conquérants espagnols l'appelaient «tomate». Au cours du voyage de Christophe Colomb, les tomates ont été introduites en Espagne au début du XVI<sup>e</sup> siècle. Au début du XVI<sup>e</sup> siècle, les conquérants apportent des tomates du Pérou ou du Mexique. Elle a d'abord atteint l'Espagne, puis bientôt l'Italie, et s'est étendue à d'autres parties de l'Europe (Polese., 2007).

En Algérie, des éleveurs du sud de l'Espagne (Tomateros) l'ont introduit en tenant compte de ses conditions favorables. Sa culture a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis s'est étendue au centre, notamment sur la côte algérienne (Latigui., 1984).

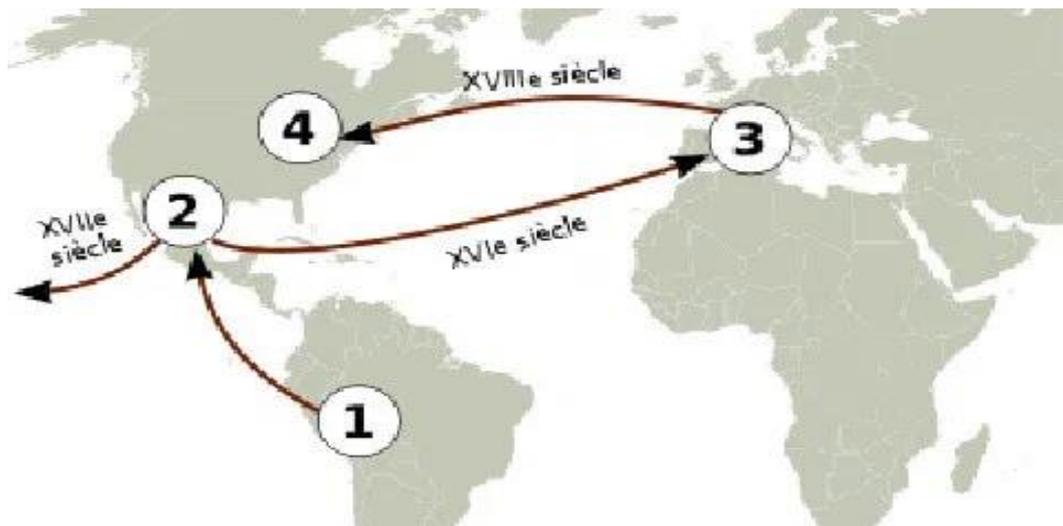


Figure 1: origine et diffusion de la tomate dans le monde (Gallais et Bannerot, 1992)

En 1753, **Linné** a donné à la tomate le nom scientifique «*Solanum lycopersicum* » c'est-à-dire «pêche de loup »(de *lucos* : loup, et *persica* : pêche).

**Miller Gardner** a raffiné la classification de **Linné** et a donné à la tomate le nom latin "*Lycopersicon esculentum*". C'est aussi bien la reconnaissance que la consécration en tant que plante alimentaire, puisque *l'esculentum* définit le caractère comestible.

Le dernier nom réservé est *Lycopersicon esculentum* Mill. Cela a été proposé par Philip Miller en 1754 (Blancard et al., 2009).

Les synonymes de la nomenclature scientifique de la tomate :

***Solanum lycopersicon* L. 1753 ;**

***Lycopersicon esculentum* Mill. 1768 ;**

***Lycopersicon pomumamoris* Moench 1794 ;**

***Lycopersicon lycopersicum* Karst. 1882 (VAN DER VOSSEN et al., 2004).**

### **1.1.3 Importance économique**

La tomate est la troisième espèce légumineuse cultivée au monde, après la pomme de terre et la patate douce, et le deuxième légume le plus consommé (Mpika, J et al., 2015)

La tomate est également la plus importante source d'un pigment rouge appelé lycopène, qui possède des propriétés antioxydants et même anticancéreuses. Des taux élevés de ces substances dans le plasma sont associés à une incidence plus faible de certains types de cancer. (Ottaway., 2001).

Les statistiques mondiales démontrent que les superficies couvertes sont de plus en plus importantes. Et en terme d'actualité la production mondiale de tomate a battu des records au cours de l'année 2016 avec 177 042 000 T (FAO, 2016)

### **1.1.4 Classification botanique**

La tomate appartient à la famille des Solanacées (Solanacées), a été classée par **Linné** en 1753 et a été reconnue par les botanistes comme *Solanum lycopersicum* L.

CRONQUIST (1981) ; GAUSSEN et al., (1982) rappellent que la tomate appartient à la classification suivante :

**Règne.....*Plantae*.**

**Sous règne.....*Trachenobionta*.**

**Division.....*Magnoliophyta*.**

**Classe.....*Magnoliopsida***

**Sous classe.....*Asteridae*.**

**Ordre.....*Solanales*.**

**Famille.....*Solanaceae*.**

**Genre.....*Solanum ou Lycopersicon***

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

### **1.1.5 Classification génétique**

La tomate cultivée *Solanum Lycopersicum L* est une espèce diploïde avec  $2n = 24$  chromosomes. Il existe de nombreux mutants monogamiques, dont certains sont très importants pour la sélection. Sa carte chromosomique compte actuellement 235 gènes localisés précisément (GALLAIS et BANNEROT., 1992).

La structure de la fleur de *L.esculentum* assure une cleistogamie (correspondance sauvage) (autogamie stricte), mais elle peut se comporter comme une plante allogame. On peut avoir jusqu'à 47% de fécondation croisée dans la nature (PUBLISHERS., 2004). Ces deux types de fécondation divisent la tomate en deux variétés qui sont :

#### **1.1.5.1 Variété fixée:**

Les variétés fixées sont des variétés anciennes stable génétiquement (conservent les qualités parentales), dont la reproduction par autofécondation donne une descendance identique (exemple: le green Zebra, elle date de 1985 a été créée par Tom Wagner.

Il existe plus de cinq cents variétés fixées. Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (POLESE., 2007).

#### **1.1.5.2 Variété hybride :**

Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes, puisqu'elles n'existent que depuis 1960 (POLESE., 2007).

Les "F1" sont issu de croisement entre deux parents qui sont issu de la même espèce, ils ont été choisis pour leurs caractères complémentaires et intéressantes, ces caractères sont très nombreux on cite par exemple : la qualité gustative et la résistance aux maladies,

Les variétés sélectionnées chaque année ne sont pas toutes des hybrides.

### **1.1.6 Morphologie**

La tomate est une plante vivace dans sa région d'origine mais en culture on la considère comme une plante annuelle (CHAUX et FOURY., 1994).

#### **L'appareil végétatif :**

##### **1.1.6.1 Le système racinaire :**

La tomate présente une forte racine pivotante, pousse jusqu'à 50cm et plus de profondeur, la racine principale produit une forte densité de racines latérales et adventives. (Voir figure 3)

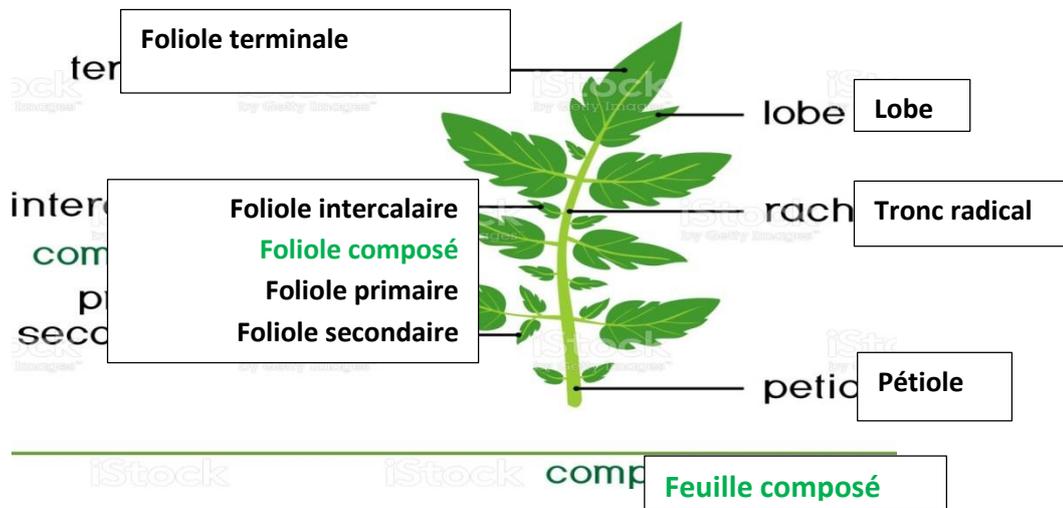
##### **1.1.6.2 La tige :**

La croissance peut être soit érigée (verticale) ou bien prostrée (couchée) et la tige pousse jusqu'à 2 à 4 m de longueur. Elle est pleine, fortement poilue et glandulaire. (Figure 3)

##### **1.1.6.3 Les feuilles :**

Les feuilles, disposées en spirale, mesurent 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large, les lobules vont de l'ovale à l'oblong, recouverts de poils glandulaires et parfois de gros lobules fleurissent à la base. L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs, avec un pédoncule de 3 à 6 cm (voir figure 2). Certaines variétés ont de très petites feuilles sans dents

sur les bords. C'est ce qu'on appelle la variété « à feuilles de pomme de terre » (Laterrot., 2013).



**Figure 2:** Feuille composée de plante de tomate d'isolement sur le fond blanc - Illustration libre de droits source : iStock.com

### L'appareil reproductrice :

#### 1.1.6.4 Les fleurs :

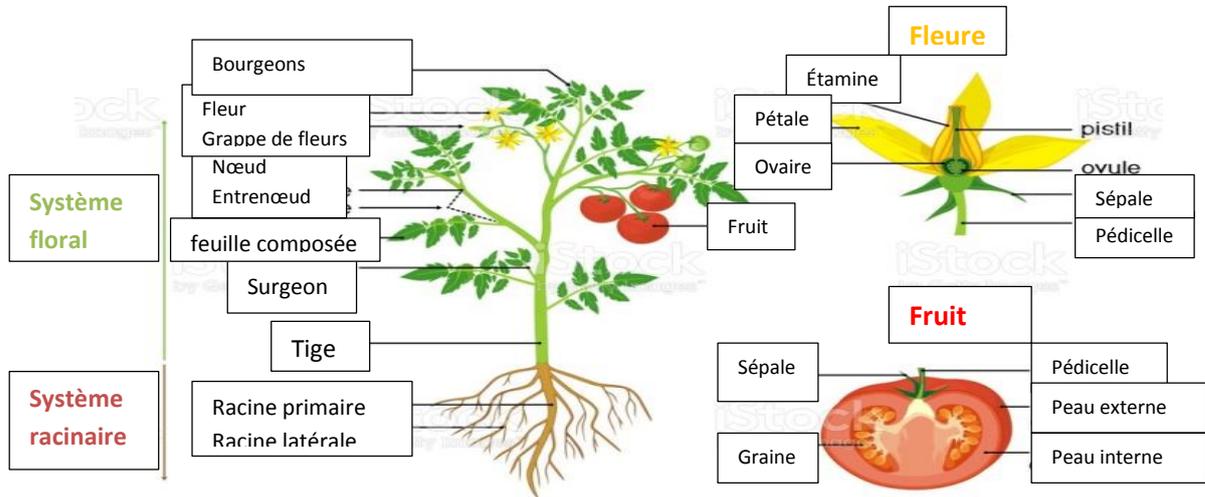
Bisexuées, régulières, de 1,5 à 2 cm de diamètre. Elles poussent à côté opposées aux – ou entre les feuilles. Tube de calice court et velu, spirales persistantes. Il y a 6 pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1cm généralement, elles sont jaunâtres et courbées lorsqu'elles sont mures. Il y a 6 étamines, les anthères ont une couleur jaune vif et entourent le style qui a une extrémité stérile allongée. L'ovaire est supère avec entre 2 à 9 carpelles. Habituellement la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu. (Voir figure 3).

#### 1.1.6.5 Les fruits :

Les baies sont charnues, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre varie entre 2 et 15 cm. Le fruit est vert et poilu avant la maturité. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange, ils sont ronds et réguliers ou côtelés. (Voir figure 3).

### 1.1.6.6 Les graines :

Le fruit contient de nombreuses graines, 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 présentent approximativement 2,5 à 3,5 g. voir (figure 3).



**Figure 3 :** morphologies et structures des différentes parties de la tomate

## 1.1.7 Cycle biologique

### 1.1.7.1 Germination (la levée) :

C'est le stade de levée qui mène la graine jusqu'à la jeune plante capable de croître normalement (Corbineau & Core., 2006). Elle peut être déterminée ou indéterminée. Lorsqu'il y a une sorte d'épuisement progressif de la « fonction végétative », il en résulte un port déterminé. La croissance se poursuit donc jusqu'à ce que les extrémités des tiges ne produisent plus que des fleurs, l'allongement devient impossible. Donc le rendement est plus faible mais la production est groupée dans le temps et l'espace. Ce type de plant présente aussi l'avantage de pouvoir être conduit sans taille et tuteurage, grâce à son aspect compact. Dans d'autres cas, on se trouve en présence d'un port indéterminé. Il y a alors une récolte prolongée et plus tardive. La hauteur de la tige s'allonge de façon régulière car la plante produit continuellement une nouvelle pousse ainsi que de nouvelles feuilles et inflorescences (Figure 4).

On peut avoir de nombreuses générations de fleurs et donc de fruits et les plants peuvent atteindre plusieurs mètres de longueur. De par ses caractéristiques, ce type de port nécessite un tuteurage.

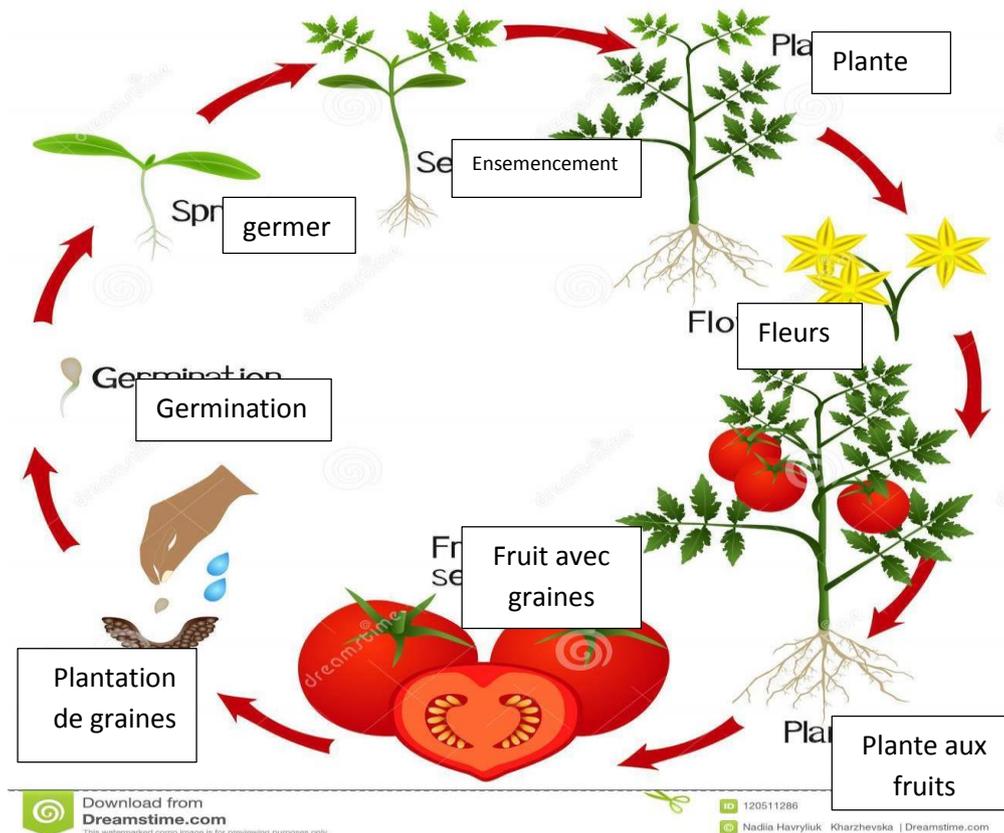
### **1.1.7.2 Floraison :**

La croissance continue. Environ deux mois et demi après le semis, la première inflorescence est apparue. Les autres inflorescences apparaissent au-dessus de la première (Figure 4), et le nombre de feuilles n'est pas fixé entre chaque inflorescence : de une à quatre. Par conséquent, les fleurs se propagent de bas en haut. La floraison dure d'un mois à un mois et demi, soit de deux mois et demi à trois mois et demi à quatre mois après le semis (Andry, 2010).

La pollinisation nécessite l'intervention d'agents extérieurs, du vent ou de certains insectes (comme les abeilles et les bourdons), qui font vibrer les anthères, ce qui libère du pollen pour la pollinisation (Silva-Neto, C. D. M et *al.*, 2017).

### **1.1.7.3 Fructification et la maturité des fruits :**

Elle débute durant la phase de floraison. Elle commence par la nouaison des fruits de l'inflorescence de base et se poursuit par les inflorescences supérieures au fur et à mesure de l'apparition des inflorescences et de la fécondation des fleurs (Figure 4). Les fruits se développent, grossissent et après avoir atteint leur taille définitive, ils commencent à perdre leur coloration verte au profit du jaune puis au rouge de plus en plus accentué. Cette phase dure environ deux mois, soit de quatre à six mois après le semis. La durée du cycle végétatif complet de la tomate 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 (Andry, 2010).



**Figure 4:** illustration de cycle biologique de la tomate (source : dreamstime)

## 1.1.8 Exigences pédoclimatiques de la culture:

### 1.1.8.1 La température :

Les tomates ont besoin d'un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte riche et de qualité abondante, elles sont adaptées à une vaste diversité climatique et peuvent être surmontées dans une certaine plage de températures (voir tableau \*). La température optimale est de 21 à 24 °C. Mais les tissus en-dessous de 10 °C et au-dessous de 38 °C seront endommagés.

### 1.1.8.2 Humidité relative :

L'humidité relative (HR%) des tomates est de 75%, ce qui est considéré comme le meilleur choix. Il peut avoir des fruits et de bonne taille, n'est pas facile à craquer et ne présente aucun défaut de coloration. Une humidité relative excessive couplée à une température élevée entraîne une végétation luxuriante avec un allongement des entrenœuds plus et du développement des maladies d'origine microbiennes, notamment le *B.Cinerea*.

L'aération matinale permet de réduire l'humidité de l'air et d'éliminer les minuscules gouttelettes d'eau qui se forment sur la paroi en plastique.

### **1.1.8.3 La lumière :**

La lumière est un facteur écologique fondamentale elle intervient dans de nombreux phénomènes physiologiques, dont la photosynthèse.

La tomate est une culture neutre à photopériode. Cependant, il a besoin d'énergie lumineuse et le manque d'énergie lumineuse inhibera l'induction des fleurs. La réduction de la lumière réduira le pourcentage de germination du pollen.

### **1.1.8.4 Structure et texture de sol :**

En règle générale, les tomates n'ont pas d'exigences particulières pour le sol. Cependant, elle s'adapte bien dans les sols profonds, meubles, bien aérés, et bien drainés, et de préférence une texture sablonneuse ou sablo-limoneuse.

### **1.1.8.5 La salinité et le pH :**

La tomate est classée comme plante ayant une tolérance modérée à la salinité et lorsque la conductivité électrique (CE) et la teneur totale en sel de 4 mmhos / cm ou 2,5 g / l, le rendement baisse de 10%. Cependant, lorsque la salinité est d'environ 4 g / l, le rendement diminue de 25%, avec réduction de calibre. Le pH optimal du sol se situe entre 6,0 et 6,5. Les tomates sont toutefois cultivées sur des sols dont le pH est compris entre 5,0 à 7,5. Lorsque le pH est inférieur à 5,5, la disponibilité en magnésium et en molybdène diminue.

## Généralités sur les maladies fongiques de la tomate :

La culture de tomates abrite plus de 200 agents pathogènes et dans certaines conditions, le développement de maladies peut entraîner une perte de rendement importante (FRY., 2012)

Comme les tomates sont sensibles à diverses maladies fongiques, non seulement le rendement est réduit, mais aussi la qualité des fruits est considérablement réduite (tableau 01). Certains agents pathogènes des plantes peuvent provoquer diverses maladies, entraînant des pertes massives de cultures :

- 1) pourriture des semences (*Fusarium spp.*, *Pythium spp.*, etc.)
  - 2) fonte des semis (*Pythium spp.*, *Sclerotinia spp.*, etc.)
  - 3) pourriture racinaire (*Fusarium spp.*, *Phytophthora spp.*, *Rhizoctonia spp.*, etc.)
  - 4) flétrissement des plantes (*Fusarium spp.*, *Verticillium spp.*, etc.)
- (Agrios, 1988).
- 5) la pourriture des feuilles et de la tige (*Botrytis cinerea*)

**Tableau 1 : Les maladies cryptogamiques de la tomate (Snoussi, 2010)**

Maladie	Agent causal	Symptômes et dégâts
Mildiou	<i>Phytophthora infestans</i>	Grandes taches brunes sur les feuilles et les tiges
Alternariose	<i>Alternaria solani</i>	Tâches noires de taille variables sur les feuilles.
Fusariose	<i>fusarium oxysporum f.sp lycopersici.</i> <i>fusarium oxysporum f.sp radidis lycopersici</i>	Flétrissement des feuilles avec brunissement des vaisseaux et pourriture des racines.

Verticilliose	<i>Verticillium albo-atrum</i> -- <i>Verticillium dahliae</i>	Flétrissement des feuilles accompagné d'un jaunissement. Unilatéral suivi de dessèchement des feuilles de la base.
Anthraxose	<i>Collectotrichum coccodes</i>	Tâches circulaires de 05 à 10 mm sur les fruits rouges.
Oïdium	<i>Oïdium neolycopersici</i>	Feutrage blanc sur feuilles
Pourriture grise	<i>Botrytis cinerea</i>	Feutrage gris sur les feuilles et sur les fruits.

## 2.1 La pourriture grise:

### 2.1.1 Agent causal (*Botrytis cinerea*) :

La pourriture grise est une pathologie provoquée par un champignon aérien *Botrytis cinerea*, la forme imparfaite du *Botryotinia fuckeliana*.

*B. cinerea* est un champignon polyphage vivant comme saprophyte sur une multitude de plantes. Il peut survenir sur de nombreuses cultures d'importance économique, les légumes (tomate ; le concombre ; la laitue), les plantes ornementales (rose ; gerbera), des bulbes (oignons) et fruits (vigne ; fraise ; kiwi). Ce champignon peut attaquer plusieurs organes aériens de la plante à tout stade de leur développement (Lahlali et al., 2007 ; Leroux., 2007) ainsi qu'en période de stockage. *B. cinerea* est ubiquiste s'évissant partout là où ses hôtes sont cultivés, allant des zones tempérées fraîches aux zones subtropicales humides.

Sur le plan taxonomique, *Botrytis* et sa forme sexuée *Botryotinia* comprennent 22 espèces et un hybride. *Botrytis* connaît une double classification selon la forme sous laquelle il se présente (Staats et al., 2004).

**Forme parfaite** (téléomorphe), *Botryotinia fuckeliana*, un Ascomycète, de la classe des Discomycètes, de l'ordre des Lécotiales, famille des Sclerotiniaceae.

**Forme imparfaite** (anamorphe), *Botrytis cinerea*, c'est un Deutéromycète de la classe des Hyphomycètes, de l'ordre des Moniliales, famille des Moniliaceae.

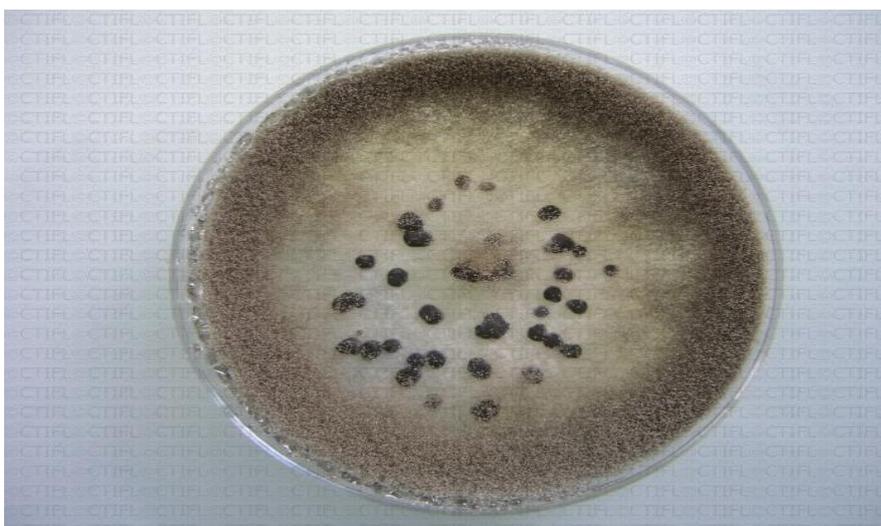
Lorsque les conditions climatiques sont favorables, ce pathogène se retrouve souvent sur les légumes des abris et des espaces ouverts. Cela pose également des problèmes lors du transport et du stockage des fruits après la récolte. (Blancard et al., 2009).

Des cotylédons déchisants, des organes floraux sénescents, des folioles sénescentes blessées et diverses plaies placées en milieu humide en pépinière permettent à ce champignon opportuniste de s'installer et de coloniser rapidement divers tissus (Blancard et al., 2009).

### 2.1.1.2 Morphologie de *B.cinerea* :

Sur un milieu PDA, il apparaît des colonies blanches, et deviennent grises (Figure 5) qui sont ovoïdes ou rondes. Hyalines d'une taille comprise entre 11 et 15 µm. Elles sont produites à l'extrémité de conidiophores ramifiés. Ce champignon peut produire également des sclérotés à contours irréguliers noirs (1-5 mm de diamètre).

L'exposition à la lumière provoque la sporulation (Lorenzini & Zapparoli. 2014). *Botrytis cinerea* peut apparaître ou survivre sous différentes formes telles que le sclérote, le mycélium, les macroconidies, les microconidies et les ascospores.



**Figure 5:** *B.cinerea* sur un milieu PDA (source : photothèque de ctifl)

#### 2.1.1.2.1 Mycélium :

Cette structure constituée d'hyphes septés qui peut survivre dans les tissus morts de l'hôte. Le mycélium se présente sous forme d'une toile blanchâtre et grisâtre ou olivâtre comprenant des filaments articulés, cylindriques vésiculeux au niveau de la cloison médiane, dont le diamètre varie en fonction des conditions de développement des hyphes. (Ajouz. 2009). Après incubation sur un milieu nutritif pendant un certain temps (> 7 jours), il développera des touffes de conidiophores dressés grisâtres (gris brunâtre ou gris cendré) et ce mycélium devient fructifère et présentant des ramifications à leur sommet.

#### **2.1.1.2.2 Sclérote :**

Il s'agit d'une autre structure qui peut survivre dans les débris morts de l'hôte, et est considérée comme la principale structure de survie des champignons d'hiver.

Il est formé par une masse mycélienne dense plutôt arrondie (1-5 mm de diamètre), entouré d'un cortex rigide contenant des pigments de mélanine. Ces caractéristiques le protègent de la dessiccation, des rayons ultra-violets et des attaques de microorganismes sur de longues périodes (Williamson et al., 2007).

#### **2.1.1.2.3 Macroconidies :**

Les macroconidies sont ovoïdes, et différentes des microconidies (également appelées spermatozoïdes), qui sont sphériques et de petite taille (2 à 4 µm). Le fait que les macroconidies présentent des caractéristiques hétérocaryotiques est très avantageux. Cette caractéristique confère une plus grande variabilité génétique à *Botrytis cinerea* et lui permet donc de s'adapter plus rapidement aux conditions du milieu telles que les fongicides (Williamson et al., 2007; Leroux, 2004).

#### **2.1.1.2.4 Microconidies (spermatie) :**

Ce sont des gamètes mâles (spermatozoïdes) mononucléaires qui jouent un rôle dans la reproduction sexuée des champignons.

#### 2.1.1.2.5 Les ascospores :

Elles sont oblongues à ovales. Un asque contient huit ascospores binucléées qui germeront pour produire un mycélium (Williamson et al, 2007). Les asques sont produits sur des apothécies, fructifications d'ascomycètes assurant la reproduction sexuée (Ajouz, 2009).

#### 2.1.1.3 Classification :

En 1801 Persoon donna à *B.cinerea* son nom à un agent pathogène de vigne

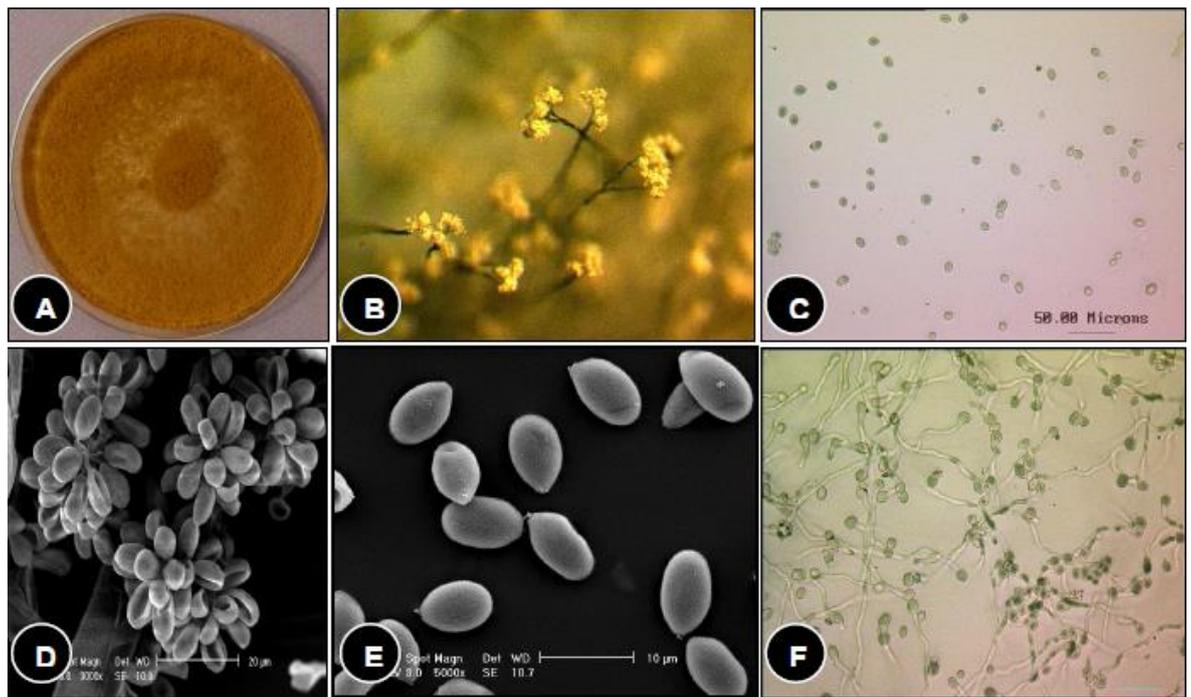
En 1866 Bary a établi une relation génétique entre l'organisme asexué *Botrytis cinerea* Pers et *Botryotinia fuckeliana* qui est l'organisme asexué.

- **Règne** : Fungi
- **Division** : Ascomycota
- **Classe** : Leotiomycetes
- **Ordre** : Helotiales
- **Famille** : *Sclerotiniaceae*
- **Genre** : *Botrytis*
- **Espèce** : *Botrytis cinerea* (Hakim ALILOU, 2012).

#### 2.1.1.4 Cycle de développement de la pourriture grise :

Au cours de son cycle biologique, *B. cinerea* peut produire du mycélium, des spores asexués ou conidies, des spores sexués ainsi que des sclérotés (figures 6).

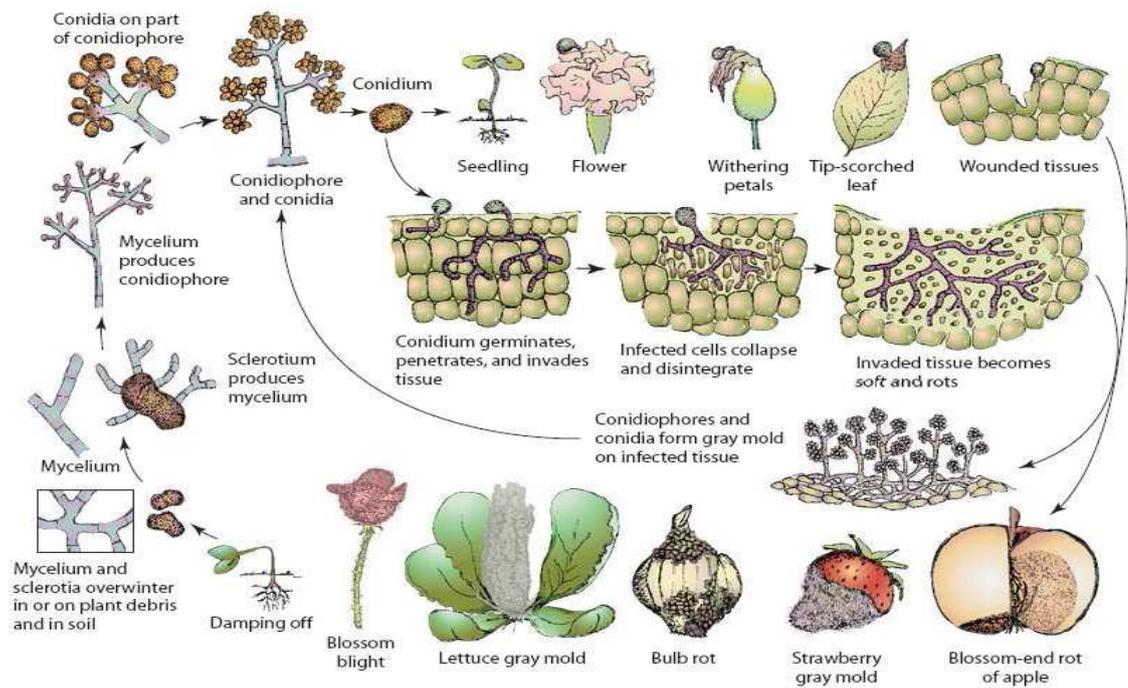
Le mycélium de *B.cinerea* est composé de filaments articulaires, gris ou olive, cylindriques, parfois en forme de vésicules au niveau, et son diamètre varie selon les conditions de développement des hyphes (figure 6), Lorsque le mycélium se fructifie, il produit des touffes de conidiospores grisâtres qui peut disparaître et laisser place à une prolifération mycélienne blanche résulte de l'élongation d'hyphes grâes, hyalins qui se répandent sous forme de "toile" (Romanazzi, & Feliziani. 2014)



**Figure 6 :** *B.cinerea* sur milieu PDA et observation des conidies et conidiophores.

La figure 6 représente les conidies de *Botrytis cinerea* produites sur boîte de pétri après 14 jours de culture sur un milieu PDA à 21 °C en présence de lumière (A). Conidiophores observés en utilisant une loupe binoculaire (B) et un microscope électronique à balayage (D). Conidies observées en microscopie optique (C) et en microscopie électronique à balayage (E). Observation de la germination des conidies sur milieu riche PDA au microscope optique (F).

Lorsque les conditions deviennent favorables, *B.cinerea* fructifie pour donner des conidies (figures 6, 7). Pour les cultures couvertes un climat humide favorise la libération des conidiospores, puis elles sont transportées par le vent, la pluie et les insectes (Holz et al., 2004).



**Figure 7 :** Cycle de développement (production asexuée) de *Botrytis cinerea* sur différentes cultures (d'après Agrios, 2005).

Le mycélium et les conidies produisent des sclérotés (mycélium agrégé blanchâtre). En vieillissant, ils durcissent et deviennent noirs (figure 8). Ils sont composés d'un cortex de cellules épaisses formant une fine barrière de cellules pseudo-parenchymateuses, tandis que la grande médullaire centrale est composée d'hyphes filamenteux. Au printemps, les sclérotés peuvent produire du mycélium ou des conidies. Ils peuvent également être à l'origine de la formation des apothécies (Romanazzi, & Feliziani, 2014).



**Figure 8.** Formation *in vitro* (à gauche) et *in vivo* (à droite) de sclérotés de *Botrytis cinerea* (Source INRA).

### **2.1.1.5 Symptômes et dégâts :**

Le botrytis envahit les feuilles, le pédoncule, les fleurs, les sépales, les fruits et les tiges. Le tissu infecté est recouvert d'une moisissure grise très caractéristique. La pourriture brune humide est généralement liée aux blessures causées au niveau de la plaie lors de la transplantation.

Des taches en anneaux concentriques plus foncés apparaissent sur la face supérieure des folioles.

Sur tiges, des chancres beiges ou marron foncé apparaissent à l'endroit de blessures faites lors de l'effeuillage ou du palissage.

Sur fruits, la contamination provient des sépales ou pétales desséchés.

Les premiers symptômes sont la pourriture beige blanc cassé. Les attaques peuvent cibler directement les fruits verts ou rouges. Dans ce cas, ils peuvent être observés à travers des taches ou des anneaux blancs translucides d'un diamètre de 3 à 6 mm (avec des taches nécrotiques au centre).

Ce champignon est particulièrement dangereux dans la culture de la tomate en serre, surtout en hiver et au début du printemps. Le climat particulier dans la serre et les méthodes de production intensives rendent plus difficile la lutte contre cette maladie.

### **2.1.1.6 Facteurs influençant le développement de champignon :**

La dépendance des plantes hôtes et des facteurs externes peut affecter les premiers stades de l'infection, le développement de la maladie et la formation de *Botrytis cinerea* (Elad et al., 2014).

#### **2.1.1.6.1 Exigence nutritif :**

Considérant que la réserve d'énergie endogène des conidies est limitée, *B. cinerea* a besoin d'un autre nutriment exogène pour s'épanouir. La germination des spores, le développement du mycélium et la formation d'appressoriums nécessitent des nutriments (Li et al., 2012).

La germination des spores nécessite la présence de carbone et d'azote, et la germination des conidies de différents isolats de *Botrytis cinerea* est beaucoup plus faible dans l'eau que dans les solutions nutritives (Li et *al.*, 2012).

La présence de nutriments tels que le glucose et le fructose favorise la germination et l'allongement des filaments en germination (Ciliberti, N et al, 2016) et restaure la capacité de germination des conidies. Par conséquent, l'ajout de saccharose, maltose, lactose, mannose, galactose ou xylose stimulera la germination des conidies de *B.cinerea* âgé de plus de 40 jours. (Ciliberti, et al., 2016).

#### **2.1.1.6.2 Etat physiologique de la plante, fertilisation :**

Lorsque la plante hôte devient faible (sensibles), les symptômes de *Botrytis cinerea* apparaissent rapidement, et les dommages deviennent automatiquement plus importants et plus évidents par rapport aux plantes résistantes ou en bon état. La quantité d'engrais et la composition de la solution nutritive affecteront la sensibilité de la plante hôte à la pourriture grise. Cependant, les résultats sont parfois contradictoires à cet égard. (Dik and Wubben, 2004). Une teneur élevée en azote, par exemple, augmente la croissance des plantes et la densité de feuillage et, mais en même temps, augmente la sensibilité à *B.cinerea*. (Pitchay et *al.*, 2007).

#### **2.1.1.6.3 Facteurs climatique :**

Les conditions environnementales, en particulier l'humidité relative et la température, jouent un rôle clé dans le développement de *Botrytis cinerea* infectant les plantes et les maladies (Ajouz, 2009).

Elad et *al.*, 2014, ont détaillé l'effet de la température sur la germination des conidies, la formation d'appressorium et l'élongation de tube germinatif dans de l'eau distillée sur une lame de verre. D'après cette étude, la température optimale pour la germination des conidies était comprise entre 20 et 30 °C. À des températures inférieures à 5 °C et supérieures à 35 °C, les spores de *B.cinerea* ne germent pas après 48 heures d'incubation.

#### **2.1.1.6.4 Qualité de lumière :**

La lumière est un facteur important dans la protection des cultures sous serre. La lumière, surtout UV augmente la sporulation de *B.cinerea* (Dik et Wubben., 2007). L'absence d'UV inhibe la sporulation plutôt que de la retarder.

La production de spores sous un film sélectif filtrant les ultraviolets en boîte de Pétri représente 0,05% de la production de spores sous un film témoin non filtrant et ceci pendant plusieurs semaines après l'inoculation. (Zhu, et al., 2013).

Dans les cultures sous serre, la filtration de la lumière en utilisant un film polyéthylène de couleur verte ou rose permet ainsi d'inhiber la sporulation de *B.cinerea* de 35 à 75% respectivement (Elad et al., 2014).

#### **2.1.1.7 Moyens de lutte :**

À l'heure actuelle, il n'existe aucune variété commerciale résistante à la pourriture grise pour l'ensemble des cultures attaquées par le champignon (Berrada, et al., 2012). Cependant, il existe d'importantes différences dans la sensibilité à la pourriture grise pour certaines plantes. Chez la fraise par exemple, de grandes différences d'incidence de la maladie ont été observées entre des cultivars différents (Donmez, et al., 2011).

Des essais de transgénèse ont commencé à donner des résultats intéressants. Par exemple, Powell et al, (2000) ont réussi à réduire le développement de *B.cinerea* sur les fruits mûrs de tomates transgéniques. La dégradation des tissus a été diminuée de près de 15%, comparativement aux fruits non transgéniques. Dans les feuilles transgéniques, les lésions des tissus ont été réduites d'environ 25% (Powell et al., 2000).

À l'heure actuelle la lutte contre *B.cinerea* repose principalement sur l'utilisation de produits phytosanitaires, Différentes stratégies de lutte culturale ont aussi été développées et de nombreux travaux sont effectués pour mettre en place et développer des stratégies de lutte biologique efficace.

#### 2.1.1.7.1 Méthode prophylactique :

La prophylaxie désigne le processus actif ou passif ayant pour but de prévenir l'apparition, la propagation ou l'aggravation d'une maladie, par opposition à la thérapie curative, qui vise à la guérir. Elle consiste à éviter les conditions qui favorisent la maladie

Cette méthode de lutte repose sur des moyens directs visant à éloigner ou à combattre l'organisme indésirable en situation de nuire ou sur des mesures indirectes ayant pour objectif de minimiser ou de rendre impossible l'expression de la nuisibilité de l'organisme considéré. Pour lutter contre *B. cinerea*, certaines mesures sont préconisées :

- L'élimination des feuilles sénescentes et des organes infectés de la parcelle ou de la serre pour de réduire les sources d'inoculum (Richard and Boivin, 1994).

- en serres, dépouiller les feuilles pour de permettre une aération optimale et réduire ainsi l'hygrométrie (Decognet et *al.*, 2009).

L'effeuillage est réalisé par une coupe franche à ras de la tige en évitant les jours pluvieux. L'effeuillage au ras de la tige sans laisser de chicot de pétioles diminue significativement les risques d'infection des plaies (Decognet et *al.*, 2009)

- La Réduction de la densité des plantes afin de limiter les zones de confinement entraînant l'accroissement de l'humidité relative et de la condensation dans les serres. le taux de fleurs de cyclamen infectés par *B. cinerea* augmente avec la densité des plantes (Berrada, et *al.*, 2012).

- la fertilisation raisonné afin de limiter le développement de *B. cinerea*, L'apport de certains composés dans le sol peut limiter le développement de la maladie sur la plante. L'efficacité de cette méthode est confirmée par plusieurs études et sur plusieurs cultures (Daugaard et *al.*, 2003; Elad et Volpin, 2011).

#### 2.1.1.7.2 Lutte chimique :

La lutte chimique se définit par l'utilisation de fongicides pour détruire, affaiblir ou réprimer le champignon. Les fongicides ciblés à *B. cinerea* utilisés en végétation ont largement évolué depuis le début des années 1970, où les premières matières actives apparues sur le marché français pour lutter contre la pourriture grise furent le folpel, le captafol, l'euparène (dichlofluanide) et le thirame.

Les fongicides restent des outils essentiels pour contrôler *B. cinerea* avant et après récolte et assurer une production adéquate (Leroux, 2004). Le tableau 2 (ACTA, 2008).

Présent une liste de produits phytopharmaceutiques homologués en France contre *B.cinerea*. La plupart des fongicides affectent directement des fonctions essentielles, comme la respiration, la biosynthèse des stéroïdes ou la division cellulaire (Leroux, 2004). L'utilisation de produits phytosanitaires peut contribuer à l'apparition de souches résistantes à ces fongicides (Hamaidia, C. 2016).

### 2.1.1.7.3 Lutte biologique :

La définition officielle par l'OILB (Organisation Internationale de la Lutte Biologique) stipule que la protection biologique est « l'utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs ». Le principe de la lutte biologique est basé sur l'exploitation par l'homme et à son profit d'une relation naturelle entre deux êtres vivants :

➤ **la cible** (de la protection) est un organisme indésirable, pathogène ou ravageur d'une plante cultivée, mauvaise herbe, etc.

➤ **l'agent de protection** (ou auxiliaire dans le cas des ravageurs) est un organisme différent, le plus souvent un parasite (ou parasitoïde), un prédateur ou un agent pathogène du premier, qui le tue à plus ou moins brève échéance, éventuellement en s'en nourrissant, ou tout au moins qui limite son développement.

Les premiers exemples de lutte biologique contre *B.cinerea* avec des microorganismes remontent aux travaux de Newhook (1951) et Wood (1951). Ces auteurs ont inoculé des feuilles sénescents de laitue avec les champignons *Fusarium spp.*, et *Penicillium claviforme*: ces deux champignons antagonistes empêchent l'installation de *B. cinerea*. (Veerakone, S et al., 2015).

Des travaux menés par l'unité de pathologie végétale à l'INRA d'Avignon depuis 1990 ont montré que le champignon *Microdochium dimerum* souche L13 a une bonne efficacité pour protéger les plaies d'effeuillage et les feuilles de plants de tomates contre les attaques de *B.cinerea* en cultures sous abris (Bardin et al., 2008; Nicot et al., 2003).

Depuis les années 1970, différentes espèces de *Trichoderma spp.* ont été étudiées pour le contrôle de *B. cinerea* sur haricot (Nelson and Powelson, 1988), vigne (Latorre et al, 1997; O'Neill et al, 1996; Sean et al, 1999), fraise (Tronsmo and Dennis, 1977) et diverses cultures sous abris (Elad et al., 1995).

Dans des tests en boîte de Pétri, la croissance mycélienne de *B.cinerea* est réduite de 85% en présence de l'isolat 1-112 de la bactérie *Pseudomonas chlororaphis* (Gulati et al., 1999).

## **2.2 Fusariose vasculaire chez la tomate :**

### **2.2.1 Agent causal :**

La fusariose est une maladie causée par des souches pathogènes de *Fusarium oxysporum f. sp. Radicis-* (Schlect.) qui est un champignon ubiquitaire omniprésent dans les sols naturels et agricoles, et il a été démontré qu'il représentait 80 à 90% du nombre total de champignons dans la rhizosphère de plusieurs cultures. Ces plantes comprennent le pathogène de la brûlure vasculaire, qui envahit de nombreuses cultures agricoles et horticoles dans le monde entier. Cependant, la plupart des souches de *f. oxysporum* du sol ne causeront de maladie sur aucun hôte, elles sont donc appelées saprophytes, sujets spéciaux non toxiques et non pathogènes. Ils peuvent être colonisés dans l'écorce des racines des hôtes insensibles. Ces souches sont appelées ici non pathogènes. (Bawa. 2016).

### **2.2.2 Morphologie de *Fusarium oxysporum f.sp. radicis-lycopersici* :**

La caractéristique de *Fusarium oxysporum* est un mycélium aérien en forme de feutre, blanc violet ou fort revers violet. Ce champignon produit des microconidies et des macroconidies. microconidies différentielles fusiformes à ériiformes, avec 0 à 2 cloisons, rassemblées dans une fausse tête, produites par de petits phialide flagellés dans le mycélium aérien. Les macroconidies sont légèrement cambrées, montrant 3 cloisons, des cellules de base du pédicelle et des cellules à crochet apical, produites par phialides sur le sporodochies ou les dans les conidiophores ramifient. Les clamidospores sont hyalin, lisses ou grossière, sphériques, terminales ou intermédiaires, en forme de chaîne, en paires ou séparés. Formés dans les hyphes ou les macroconidies, (Querin et *al.*, 2005).

### **2.2.3 Identification et taxonomie**

*Fusarium oxysporum* est appartient a la classe des *Adéomycètes (Deutéromycètes)*. Présent avec un mycélium septéet qui ont une forme de reproduction asexuée uniquement. La reproduction asexuée implique des spores appelées conidies produites par la germination (bourgeonnement) d'un mycélium spécialisé (c'est-à-dire des conidies). Ces conidies sont courtes, simples et liés au coussinet. Ils émettent des macroconidies pluricellulaires ou des conidies différentielles unicellulaires. Ces champignons possèdent une forme de résistance représentée sous les clamidospores, qui sont des spores reproductrices par voie végétative, entourées de parois épaisses et de nutriments pour assurer la préservation des parasites dans le sol. La forme parfaite de ces champignons est liée aux *ascomycètes*.

## Taxonomie :

Règne : fungi

Division : ascomycota

Classe :  
sordariomycetes

Sous-classe :  
hypocreomycetidae

Ordre : hypocreales

Famille : nectriaceae

Genre : fusarium

Espece : *fusarium oxysporum* ; schltl,  
1824.



**Figure 9:** *Fusarium oxysporum f.sp.* sur g òse nutritive, source INRA, 2015

### 2.2.4 Sympt ômes et d ég âts :

Ces champignons peuvent infecter les esp èces h ôtes à n'importe quel stade du développement des plantes. Lorsque la température du sol est basse (18-20 °C), le fl érissement et l'amortissement de pr édev é se produisent. Cependant, les infections les plus courantes touchent les feuilles plus âg ées (figure 10). Les feuilles fan ées peuvent d évelopper une chlorose, suivie d'une n écrose veineuse. Au d ébut, un ou plusieurs coueurs se fanent, puis la plante enti ère se fane. Dans certains cas, il s'effondre soudainement sans aucune verdure. Lorsque les plantes adultes infect ées sont pleines de fruits, elles ont tendance à s'effondrer. Une croissance de myc éium blanc peut être observ ée sur les tiges des plantes infect ées. La d écoloration du syst ème vasculaire peut être observ ée à la fois dans les racines et les tiges. À un stade avanc é les racines commencent à se d écomposer, ce qui peut entra îner la mort de la plante. (iriis, 2020).



**Figure 10** : symptômes de fusariose sur feuilles de la tomate

Les pétioles et les tiges ont également montré un jaunissement longitudinal (Figure 11 A), devenant progressivement jaune et provoquant des lésions nécrotiques, touchant quelques centimètres sur un côté de la tige (Figure 11 BC). Dans certains cas, une forme de racine approximative peut apparaître. Il y a une incision sur la tige pour libérer les vaisseaux sanguins, et les vaisseaux sanguins sont clairement bruns (Figure 11 D). Est la moelle n'est pas affecté.

Au fur et à mesure que la maladie progresse, cette maladie provoquera le flétrissement de plus en plus de plantes et finira par s'épuiser complètement. (D Blancard (INRA), 2013).



**Figure 11** : Principaux symptômes de la fusariose chez les plantes de tomate montrer par l'INRA 2013

## **2.2.5 Cycle infectieux :**

### **2.2.5.1 Conservation :**

*Fusarium oxysporum f. sp lycopersici* peut survivre dans le sol, grâce aux restes végétaux avec mycélium, micro et macro conidies et des clamidospores épaisses et résistantes (figure 12). Il est susceptible d'infecter les graines de tomates ; Ou ils peuvent rester plus de 12 semaines en stockage (Arino et *al.*, 2007).

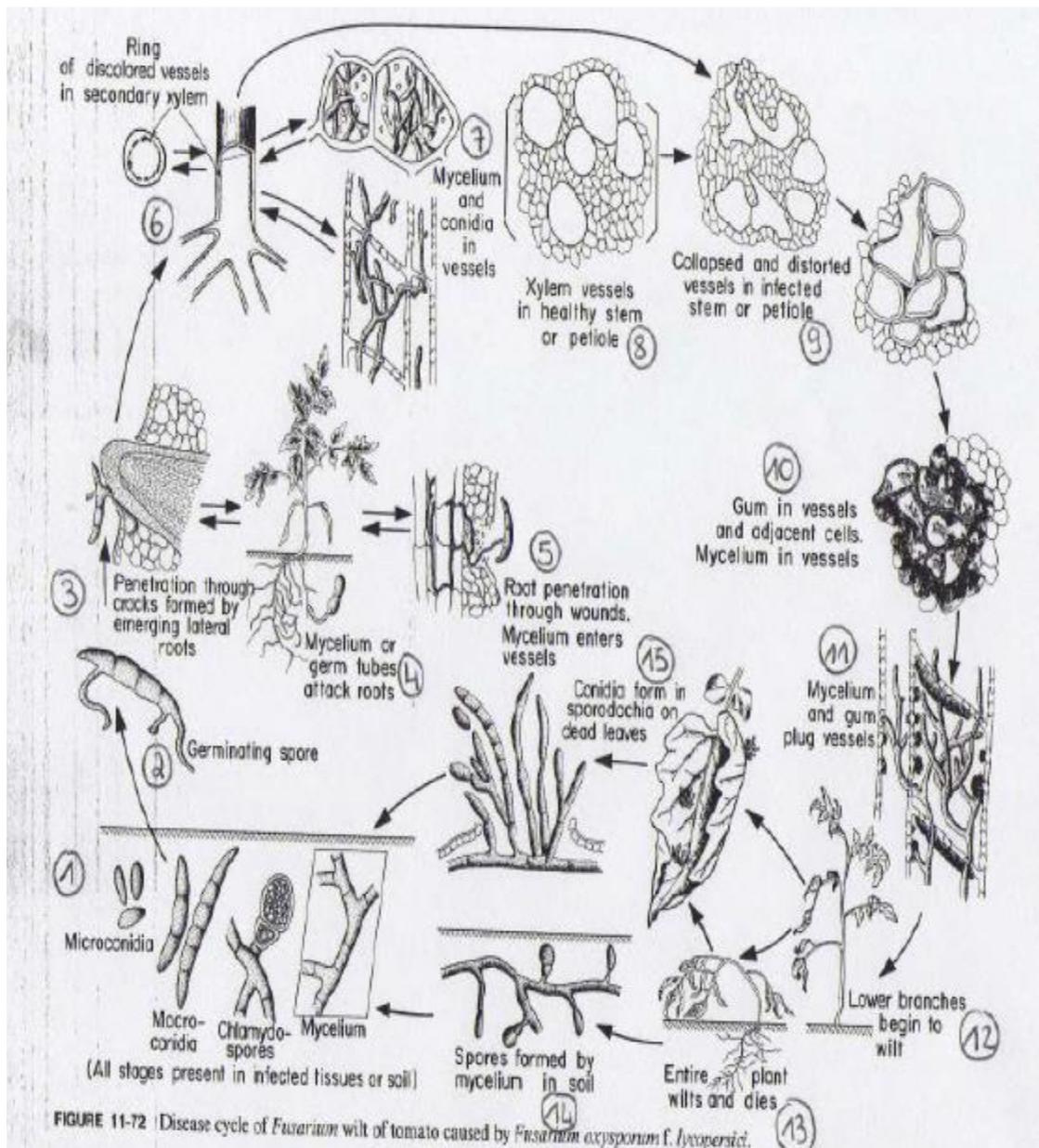
### **2.2.5.2 Pénétration et invasion :**

Après la germination des clamidospores, l'agent pathogène pénètre dans les racines de l'hôte par des ouvertures naturelles à l'extrémité des racines. Des études récentes montrant que le mycélium du champignon peut entrer en contact avec le cuir chevelu de la racine, s'emmêler et éventuellement se fixer à la racine (figure 12). Les champignons envahissent les tissus et finissent par la colonisation totale de système racinaire (Mohammed, A et *al.*, 2020).

### **2.2.5.3 Sporulation et dissémination :**

Il peut se propager par le matériel agricole, les chaussures, l'eau d'irrigation ou les courants d'air et les éclaboussures d'eau.

Certains porteurs appartenant au genre *Bradysia* peuvent agir comme porteurs et favoriser la propagation du champignon (Mohammed, A et *al.*, 2020).



**Figure 12** : cycle biologique de *Fusarium oxysporum* f. *sp. radicle-lycopersici* (Alabouvette, 1990).

## 2.2.6 Méthodes de lutte :

### 2.2.6.1 Lutte biologique :

L'une des méthodes de recherche les plus approfondies pour la lutte biologique contre la fusariose de la tomate consiste à utiliser une souche non pathogène de *Fusarium oxysporum*. La plupart de ces souches non pathogènes proviennent de sols résistants à la fusariose (Mohammed, A et al., 2020).

Ça existe que d'autres micro-organismes peuvent réduire l'incidence de la flétrissure de la tomate par le *fusarium oxysporum*, notamment: *Aspergillus sp*, *Stachybotrys sp*, *Bacillus sp* (Abdel-Razek, A et al., 2017).

### **2.2.6.2 Méthode prophylactique :**

A la base, des techniques de lutte contre presque tous les maladies non seulement la fusariose vasculaire. Pour éviter toute sorte de contamination ou de propagation de l'agent pathogène, il est recommander de désinfecter le sol pour éliminer tout sorte de pathogènes, l'utilisation des graines enrobées est recommandée. Au cœur de la culture il est recommandé de protéger la culture contre les insectes et blessures et éliminer les mauvaises herbes, appliquer des traitements fongicides systémiques avant stockage, de préférable d'utiliser des cultivars résistantes et faire des rotations avec des cultures non sensibles telles que la laitue. Ainsi que l'élimination des fruits légèrement affectées avant le stockage est un élément essentiel pour éviter les altérations au stock, au cour de stockage il est conseiller de respecter la loi des conditions de réfrigération.

### **2.2.6.3 Lutte chimique :**

La lutte chimique la plus connue contre *f. oxysporum* sert à utiliser des fongicides pour désinfecter le sol, dont le triazole et ses dérivés sont les plus répandus.

### **3 Généralités sur les mycorhizes**

#### **3.1 Aperçu sur la rhizosphère :**

Hiltner (1904) a défini la rhizosphère comme le développement continu du volume du sol sous l'influence des racines, qui se caractérise par la diffusion ou l'exsudation de composés organiques au niveau des racines conduisant à une forte activité microbienne. Ce «effet rhizosphère» est un processus dynamique qui est causé par l'interaction entre les plantes hôtes, le sol, les microorganismes telluriques et différentes caractéristiques de l'environnement (climat, méthodes agricoles, etc.), ce qui donne le compartiment rhizosphère Caractéristiques physico-chimiques et biologiques spécifiques. (Yang et Crowley, 2000; Wieland *et al.*, 2001).

C'est donc un lieu de communication intense entre les plantes et les minéraux (Darrah *et al.*, 2006). La différence entre le sol de la rhizosphère et le sol total est due à des processus biologiques, biochimiques, chimiques et physiques qui résultent de la croissance des racines, de l'absorption de l'eau et des nutriments, de la respiration et du dépôt des racines (MADI, 2016).

##### **3.1.1 Interactions Sol-Plante-Microorganismes.**

À l'échelle microscopique, le sol constitue un environnement où les microorganismes s'interagissent directement ou indirectement, entre eux mais aussi avec les composantes abiotiques du sol (matière organique, matrice minérale, etc.) et aussi avec les racines des plantes (MADI N ; 2016).

Pour un indicateur donné (par exemple: la croissance des plantes), l'interaction entre la plante hôte et le microorganisme peut être favorisée ou antagonisée.

Parmi les groupes fonctionnels qui composent la microflore tellurique, certains jouent un rôle important dans l'amélioration de la croissance et de la survie des plantes, notamment en augmentant la biodisponibilité des minéraux, qui est souvent un obstacle majeur au bon développement des plantes. En conséquence, il existe des micro-organismes du sol qui sont considérés comme des bio-fertilisants potentiels.

Il s'agit notamment des champignons mycorhiziens qui améliorent la nutrition hydrique et minérale et la protection phytosanitaire des plantes (Manga *et al.*, 2017), mais

également des bactéries fixatrices d'azote qui sont capables de piéger l'azote atmosphérique et de le rendre accessible aux plantes (Benbrahim et *al.*, 2014). Ces microorganismes ont également des processus spécifiques de mobilisation d'éléments nutritifs à partir de formes complexes de phosphates organiques et inorganiques (Alikhani et *al.*, 2006).

### **3.2 Les Champignons Mycorhiziens :**

Les mycorhizes sont des organes résultant de l'association symbiotique entre les racines des plantes et des champignons mutualistes, appelées mycorhization. Le mycorhize est une composante majeure de l'édaphon (l'ensemble des organismes vivant dans le sol. Ces êtres vivants, participant à la biologie ou à l'écologie du sol) et de la rhizosphère. Elle existe chez 95% de toutes les plantes à fleurs et à graines. Chez la plante, Les champignons aident les plantes à puiser des éléments nutritifs dans le sol et à s'adapter au milieu : en échange, les plantes fournissent aux champignons l'énergie qu'ils sont incapables de tirer eux-mêmes du soleil (Fortin et *al.*, 2011).

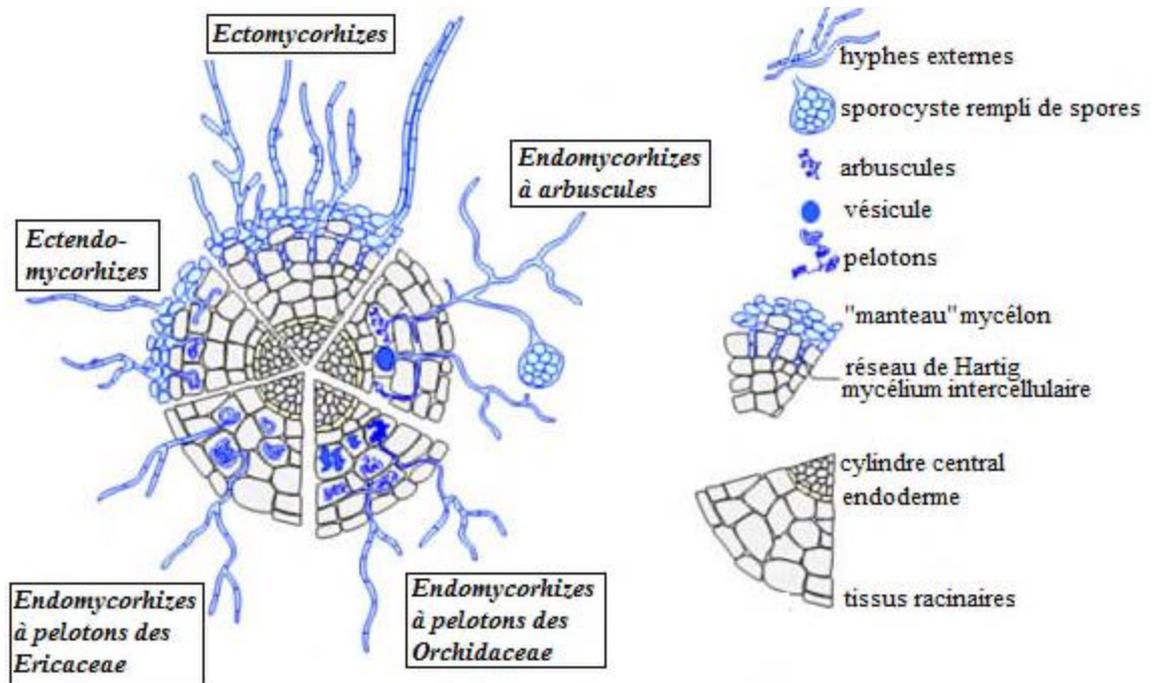
Le terme mycorhize a été introduit par Albert Bernhard Frank en 1885, qui provient des mots grecs « mycos » qui veut dire champignon et « rhiza » qui veut dire racine. Ce terme décrit une interaction symbiotique mutualiste dans laquelle la plante fournit au champignon de la matière carbonée sous forme de sucre et d'autres nutriments. En retour, le champignon fournit à la plante des minéraux et de l'eau (Hoffmann et *al.*, 2011)

Les champignons mycorhiziens forment un réseau de filaments reliés aux racines des végétaux qui puisent dans le sol de l'eau et les nutriments qui, autrement, seraient inaccessibles au système racinaire. Cette relation a pour effet de stimuler la croissance et de favoriser le développement rapide de système racinaire. Ils rendent également la plante moins sensible aux agents pathogènes du sol et à d'autres stress abiotiques. (étude-efficacité-mycorhizes ; Premier Tech Ltd. 2019).

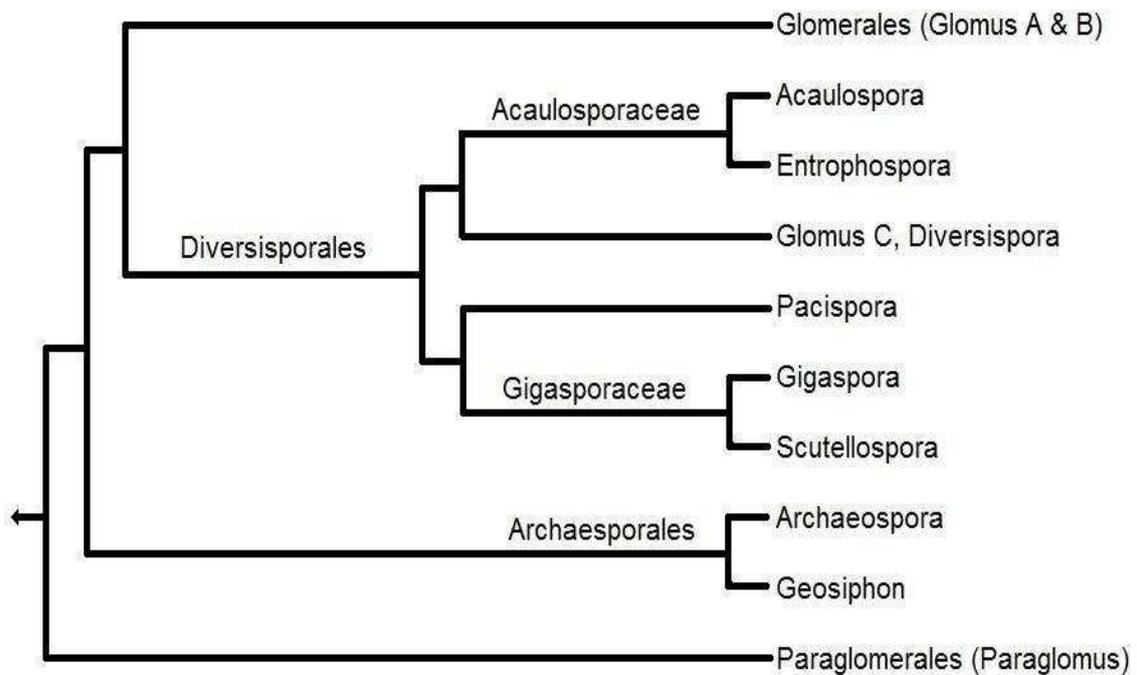
#### **3.2.1 Les types de mycorhizes :**

D'après la morphologie de l'organe résultant de l'association plante – symbiote fongique, plusieurs types de mycorhizes ; endomycorhizes à arbuscules, ectomycorhizes,

ect-endomycorhizes, mycorhizes arbutoïdes, éricoïdes et orchidoïdes, présente ses caractéristiques morphologiques uniques sont (Wang et Qiu, 2006). (Figure 13, 14)



**Figure 13 :** Représentation schématique des différents types des mycorhizes (Le Tacon, 1985)



**Figure 14 :** Arbre phylogénétique des Glomeromycota basé sur l'analyse des séquences de la petite sous-unité ribosomale (dessiné d'après les définitions de Schwarzott et al., 2001).

### 3.2.1.1 Les **éctomycorhizes (ECM)**:

(Du grec *ektos*: externe), il s'agit d'une forme de symbiose mycorhizienne entre certaines espèces fongiques et environ 10% des espèces végétales vasculaires. Ils sont apparus sur la terre il y a environ 150 à 220 millions d'années. La plupart des espèces fongiques font partie des Basidiomycètes (*Boletus*, *Russula*, *Laccaria* ...), des Ascomycètes (*Tuber*, *Elaphomyces*...), mais il existe très peu de zygomycètes, ils sont caractérisés par une gaine d'hyphes entourant la racine ou enveloppe, formant un manchon mycélien (manteau). L'extension latérale du manteau peut pénétrer entre les cellules épidermiques radiculaires dans le réseau dit de Hartig.

Il existe un lien écologique inévitable entre les champignons ectomycorhiziens et leurs hôtes. Bien qu'ils puissent pousser sur de la gélose, le champignon ne peut pas survivre à long terme dans le sol sans hôte. Une association obligatoire indique que le champignon obtient un signal ou une nutrition spécifique du partenaire végétal. Ils ont la capacité de former des fructifications de spores, qui sont libérés par le vent, de sorte qu'ils peuvent être largement distribués. Ces spores peuvent également être distribués par les insectivores (Bainard et *al.*, 2011) (tableau 1).

### 3.2.1.2 Les **ectendo-mycorhizes** :

Les ectendo-mycorhizes caractérisées à la fois par la présence du manteau mycélien et le développement d'hyphes inter et intracellulaires. Elles se rencontrent chez les Arbutacées (arbutoides) et les Monotropacées et sont formées généralement par des Basidiomycètes (*Cortinarius*, *Boletus*...) (Mikola, 1965).

Ces hyphes intracellulaires sont soit sous formes de pelotons (mycorhizes arbutoïdes) soit sous formes d'hyphes très courts (mycorhizes monotropoïdes). (Paul-Olivier REDON, 2016),

### 3.2.1.3 Les **endomycorhizes** :

Ce sont des champignons qui ne forment pas de manchon fongique mais dont les hyphes pénètrent dans les cellules du cortex racinaire. La différence réside dans l'endomycorhize ericoïde et l'endomycorhize d'orchidée qui forment des faisceaux

d'hyphes intracellulaires, et l'endomycorhize à arbuscules qui colonisent l'intérieur des cellules sous forme d'arbuscules. (Paul-Olivier REDON, 2016),

### **3.2.1.3.1 Endomycorhizes ericoïdes :**

Les champignons endomycorhiziens éricoïdes sont des ascomycètes appartenant au genre *Hymenospora*, qui colonisent spécifiquement des plantes appartenant à la famille des Ericaceae (comme *Calluna*, *Erica*, *Vaccinium*, *Rhododendron*). (Paul-Olivier REDON, 2016),

### **3.2.1.3.2 Endomycorhizes des Orchidées :**

Les champignons endomycorhiziens d'orchidées sont des compagnons importants de la famille des orchidées, et ils dépendent tous de sources de carbone externes à un certain stade de leur vie. Les graines et les embryons de cette famille végétale n'ont quasiment pas de réserves et une fois germés, ils doivent être colonisés par des champignons pour se développer. L'endomycorhize fournissent aux orchidées des molécules de carbone et des nutriments essentiels, de sorte que les espèces non chlorophylles dépendent de leurs symbiotes pour la vie. Parmi ce type de champignons endomycorhiziens, nous avons trouvé *Rhizoctonia*, *Tulasnella* et *Russula Sebacina*, (ce sont des basidiomycètes). (Paul-Olivier REDON, 2016),

### **3.2.1.3.3 Champignons Mycorhiziens à arbuscules (CMA) :**

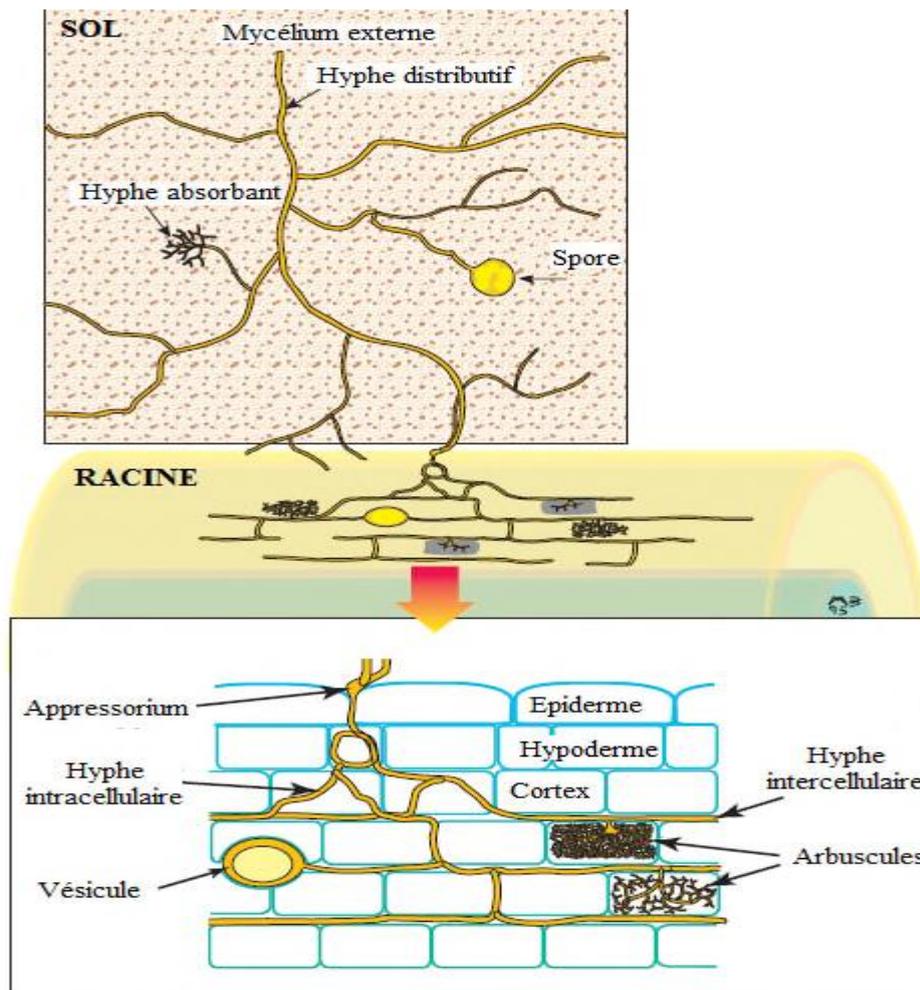
Les mycorhizes arbusculaires sont la forme la plus courante et la plus répandue d'interaction entre les champignons du sol et les racines des plantes (tableau 1). Ces associations sont également appelées mycorhizes arbusculaires et vésiculaires. Les partenaires de ces associations comprennent des membres du champignon "Glomeromycota" et la plupart des plantes vasculaires. La MA se caractérise par la présence de branches arbusculaires dans les cellules corticales des racines. La forme de touffe "en forme de petit arbre" est une structure de champignon spéciale, qui est le principal lieu d'échange de nutriments entre les plantes et les champignons. (He et Nara, 2007). Il est ramifié et a une microstructure formée dans les cellules corticales vivantes de la racine (Manchanda et Garg, 2007). Ces branches arbusculaires sont reliées par des hyphes intercellulaires ou intracellulaires à l'intérieur de la racine. Généralement, ces

champignons forment des structures de stockage circulaires appelées vésicules ou spores dans le tissu racinaire ou le sol. (Van der Heijden *et al.*, 2015).

Pour cette association, la plante hôte reçoit généralement des nutriments minéraux du sol fournis par le champignon, en échange, le partenaire fongique obtient des composés carboniques sous forme de sucres issus de la photosynthèse.

### 3.2.2 Développement de la symbiose (MA) :

Garg et Chandel, publié un décret en 2010, peuvent considérer la symbiose MA comme une séquence programmée de changements phénotypiques, ce qui correspond à l'événement de reconnaissance qui amène la symbiose partenaire, plante hôte et symbiote fongique à atteindre un degré élevé de symbiose. Intégration morphologique et physiologique (Figure 15).



**Figure 15** : Différentes structures de la colonisation mycorhizienne arbusculaire (Brundrett *et al.*, 1996)

L'établissement de la symbiose MA commence par la colonisation de racines compatibles par des hyphes produits par des spores asexués ou des MAC mycorhiziens ou les racines mycorhizées (van der Heijden et *al.*, 2015). Une fois les hyphes attachés à la surface de la racine par des épiphytes, le champignon pénètre dans le cortex et forme une structure morphologique particulière: des hyphes intercellulaires et intracellulaires enroulés et groupés (Garg et Chandel, 2010).

Les arbuscules sont des hyphes spécialisées, où les nutriments minéraux sont transportés vers les plantes, et peuvent également être l'endroit où les partenaires fongiques absorbent le carbone. (Pumplin et Harrison, 2009).

Après la colonisation, le mycélium se développe à partir des racines, explore les nutriments minéraux du sol et peut coloniser d'autres racines (Garg et Chandel, 2010). Après la formation de spores de chlamydia asexués sur le mycélium externe, le cycle de vie du champignon se termine (Garg et Chandel, 2010). Par conséquent, différents stades morphologiques peuvent être déterminés dans le cycle biologique du CMA, 20. Cela montre clairement que la plante hôte joue un rôle clé dans l'organisation du processus de colonisation de la MA (Eckardt, 2005).

Parmi les différentes combinaisons de champignons et d'espèces végétales, la séquence des étapes menant à la symbiose AM est largement préservée (Garg et Chandel, 2010). En général, ces processus de développement nécessitent une communication moléculaire entre les champignons AM et les plantes, y compris l'échange de signaux et la perception par des partenaires symbiotiques (Bucher, 2007). Par conséquent, les changements morphologiques et physiologiques complexes des deux partenaires symbiotiques qui accompagnent le processus de reconnaissance indiquent que la symbiose MA est le résultat de multiples aspects et est perfectionnée par des événements de signalisation (Paszkowski, 2006).

### **3.2.3 Les différentes phases de symbiose MA :**

La phase de la symbiose peut être divisée en trois étapes :

### 3.2.3.1 Phase pr ésymbiotique :

#### 3.2.3.1.1 Réponse du champignon aux signaux d'origine végétale

En effet, les deux symbiotes ont commencé à se reconnaître bien avant l'apparition de la première structure de colonisation sur l'épiderme racinaire. Par conséquent, C'est donc tout la période avant le développement d'appressorium impliquent la reconnaissance (mekahlia, 2014).

. Les spores de CMA persistent dans le sol et peuvent germer spontanément, quel que soit le signal envoyé par la plante (Garg et Chandel, 2010). Ils peuvent germer sans hôte, mais s'ils n'établissent pas de relation symbiotique fonctionnelle avec la plante hôte, ils ne peuvent pas produire une large gamme de mycélium et terminer leur cycle de vie. Cependant, les substances volatiles et les exsudats racinaires peuvent favoriser ou inhiber la germination des spores, indiquant la présence de spores « récepteurs » en réponse à des changements dans la composition chimique de l'environnement. (Bécard et *al.*, 2004; Harrison, 2005). La germination des spores à partir des hyphes est une preuve la présence de racines dans leur environnement. Ce qui améliore l'étendue de la croissance et la ramification des hyphes fongiques. Dans de nombreuses interactions entre plantes et micro-organismes, le dialogue entre les deux symbiotes est déclenché par la présence de phénoliques végétaux (comme les flavonoïdes) (Mechri et *al.*, 2015).

D'autres signaux, tels que les signaux thigmotropiques provenant de la surface des plantes ou des métabolites secondaires produits dans les plantes après la détection de champignons, peuvent être nécessaires pour la formation d'appressorium et le développement de la symbiose. Ces signaux sont éventuellement reconnus par des récepteurs protéiques liés à la membrane plasmique du champignon (Requena et *al.*, 2007).

Une avancée majeure dans les interactions moléculaires entre les deux partenaires a été l'identification du facteur de branchement de l'hôte, le 5-désoxy-strigol, qui induit la phase dite pr ésymbiotique caractérisée par la croissance fongique, l'augmentation de l'activité physiologique et une ramification abondante d'hyphes, et le gène, GmGin1, qui joue un rôle dans le développement des appressoria dans la symbiose MA (Garg et Chandel, 2010).

### **3.2.3.1.2 Réponses de la plantes aux signaux dérivés du champignon**

La nature et la fonction des facteurs mycorhiziens restent un mystère. Ces facteurs sont probablement composés de dérivés solubles fongiques qui déclenchent l'expression de gènes mycorhiziens sensibles, et des changements de structure racinaires de l'hôte. Après avoir le contact et l'établissement des régions de pénétration et de colonisation précises, l'expression du gène GUS:  $\beta$ -glucuronidase est limitée aux cellules qui sont en contact direct avec des champignons pénétrants. Ce contact se développera alors plus ou moins fortement dans les parties les plus profondes des branches hyphes adjacentes.

### **3.2.3.2 Première phase symbiotique**

#### **3.2.3.2.1 Développement d'appressorium**

L'initiation de la symbiose se forme morphologiquement par la formation d'épiphytes (le site de contact entre les champignons et les plantes), où le champignon pénètre dans les racines de l'hôte (Garg et Chandel, 2010). La formation de l'appressorium est l'un des premiers signes morphologiques de la reconnaissance entre la plante et le champignon s'est produite (Garcio-Garrido et Ocampo, 2002). Le développement de l'appressorium considéré comme le résultat réussi d'événements de reconnaissance pré-symbiotique dans l'interaction entre plante et champignon MA.

#### **3.2.3.2.2 Pénétration du champignon Mycorhizien**

Le champignon semble s'installer dans le tissu racinaire de la plante hôte grâce à la participation coordonnée des processus mécaniques et enzymatiques des cellules hôtes, ce qui favorise la pénétration des champignons mycorhiziens dans le cortex racinaire par l'action d'enzymes qui dissolvent les parois cellulaires (Linderman, 1994). La production d'endo et d'exoglucanase, de cellulase, de xyloglucanase et d'enzymes dégradant la pectine (y compris la poly galacturonases) a été prouvée dans diverses études. (Garcia-Garrido et Ocampo, 2002).

### **3.2.3.3 Phase symbiotique d'âge mûr**

#### **3.2.3.3.1 Développement des arbuscules**

Il existe deux types de symbioses MA morphologiquement différents (Paris et Arum) avec des interfaces structurellement aussi différentes. Le premier type (MA Paris) caractérisé par des enroulements des hyphes intracellulaires, qui se développent directement de cellule à cellule. Dans le deuxième type (MA Arum), une structure arborescente intracellulaire et hautement ramifiée connue sous le nom arbuscule est formée, sous-tendue par les hyphes intercellulaires (Giesemann et *al.*, 2020).

Les arbuscules sont l'élément clé de la symbiose MA, car ils représentent une forme extrême de l'intimité et de la compatibilité et sont considérés comme le site de transfert des éléments nutritifs du champignon vers la plante hôte (Hughes et *al.*, 2008). Une fois la cellule hôte colonisée par le CMA, la structure de la cellule hôte change de manière significative (Garg et Chandel, 2010). Les arbuscules sont des structures de courte durée qui disparaissent après 2 à 4 jours, laissant les cellules corticales intactes, qui peuvent ensuite accueillir une autre arbuscule (Pumplin et Harrison, 2009). Le début de la disparition des arbuscules pourrait arriver par une signalisation endogène dans le champignon. Après absorption, de nouvelles structures de stockage appelées «vésicules» se forment, ces structures peuvent être à l'intérieur ou entre les cellules, et parfois même à l'extérieur.

#### **3.2.3.3.2 Interface symbiotique et le transfert des éléments nutritifs**

Dans la symbiosome racinaire, le symbiote est l'environnement cellulaire, où les nutriments et les métabolites s'échangent (Garg et Chandel, 2010). En MA, c'est la lumière de cellules corticales hébergeant les hyphes enroulés ou les arbuscules entourés par la membrane plasmique péri-arbusculaires. La membrane péri-arbusculaires, en continuité avec la membrane plasmique de la cellule corticale, est une interface clé dans la symbiose, mais on sait peu de sa composition en lipides ou en protéines ou des mécanismes de son développement (Pumplin et Harrison, 2009). Au niveau du symbiosome, le champignon et la racine hôte régulent étroitement l'échange des composés, généralement par le biais de membranes intégrées contenant des transporteurs (tels que H<sup>+</sup>-ATPase) pour favoriser.

### **3.2.4. Les champignons mycorhiziens à arbuscules**

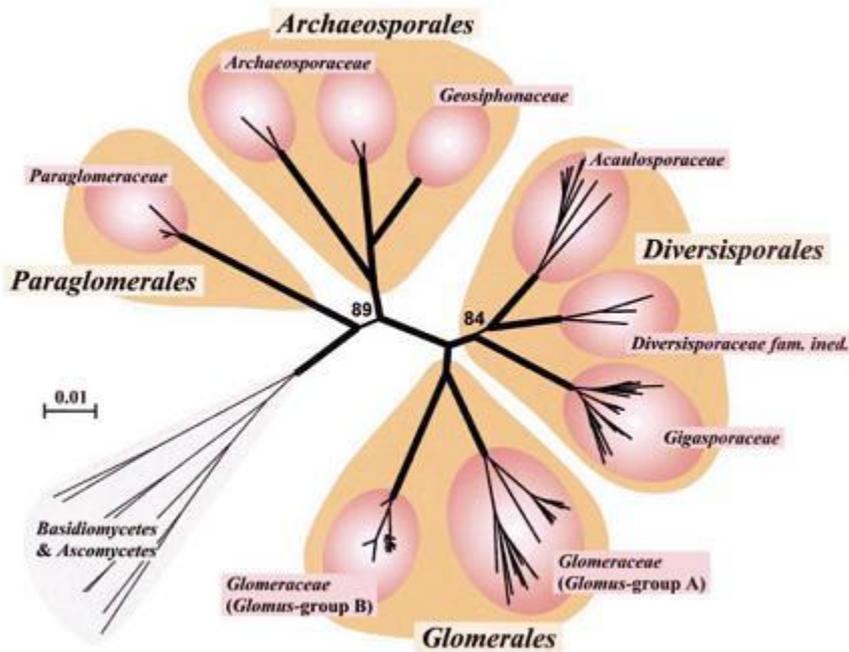
### 3.2.4.1 Classification des CMA :

Gerdemann et Trappe (1974) divisa l'ancien genre *Endogone* en sept nouveaux incluant trois genres non mycorhiziens, *Endogone*, *Modicella*, *Glaziella*, et quatre genres mycorhiziens, *Glomus*, *Sclerocystis*, *Gigaspora* et *Acaulospora*. L'ensemble de ces genres fut placé dans les Endogonacées, les Endogonales et les Zygomycètes. (Frédéric Simard, 2014)

La classification des MAC est d'abord construite par le typage morphologique des spores, qui considère non seulement la similitude structurale entre les spores, mais aussi les caractéristiques d'importance phylogénétique (Morton et Benny, 1990).

En 2001, une réelle révolution dans le monde de la classification des champignons mycorhiziens arbusculaires se produisit. (Schüßler *et al.*, 2001) ont utilisé des données moléculaires pour établir la relation phylogénétique entre différents genres et espèces de champignons mycorhiziens arbusculaires, en particulier après avoir analysé les petites sous-unités de l'ARN ribosomal 18S. L'arbre phylogénétique des études phylogénétiques des cocci permet de diviser les différentes espèces de champignons mycorhiziens arbusculaires en quatre niveaux: *Paracoccus*, *Protosporidium*, *Diverssispinales* et *Glomerales*. Pendant longtemps, l'une des espèces modèles, les souches de *Glomus intraradices* DAOM197198 et BEG 195, a porté à tort le nom d'espèce. L'analyse génétique a lié ses données moléculaires à l'espèce nouvellement décrite *Glomus irregulare* (Stockinger *et coll.*, 2009). (Frédéric Simard, 2014)

L'arbre phylogénétique suivant montre les taxons supérieurs au sein de la classe Glomeromycetes (Figure 16).



**Figure 16** : Classification phylogénétique des champignons CMA (Schüßler et al, 2001)

### 3.2.4.2 Cycle biologique :

Les CMA sont des symbiotes obligatoires (biotrophes) parce qu'ils sont hétérotrophes au carbone et ne peuvent pas terminer leur cycle de vie de manière non symbiotique (Beruti et al., 2016). Selon Requener et al., (2007), la mise en place de la symbiose mycorhizienne arbusculaire commence par le contact entre des racines (spores asexuées ou déjà mycorhiziennes) compatibles avec les hyphes produits par les propagules CMA. Le cycle de développement de l'AMC est divisé en cinq étapes (figure 17):

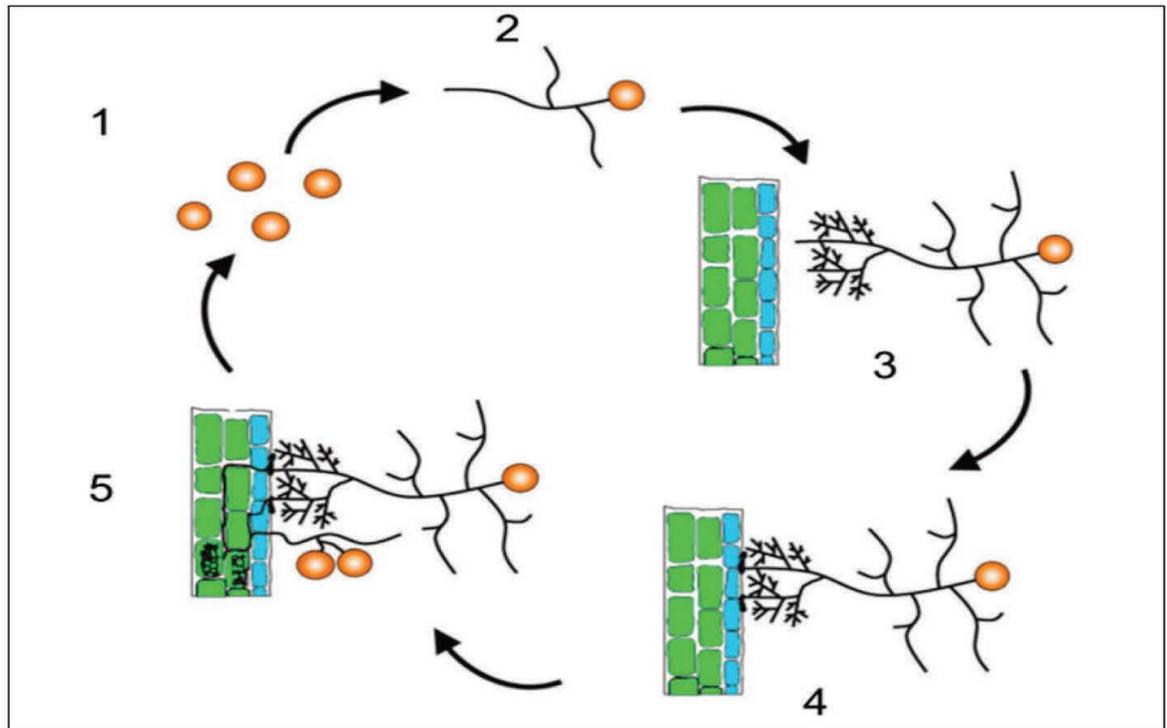
**Stade 1** : Germination des spores et émergence d'un mycélium primaire, ou promycélium.

**Stade 2** : Contact racinaire et développement d'un appressorium.

**Stade 3** : Pénétration du CMA dans la racine et mise en place de la forme intraracinaire du champignon. Le mycélium pénètre à l'intérieur du système racinaire, se renfle en vésicules et forme des arbuscules.

**Stade 4 :** Le mycorhize ainsi form ée produit un r éseau extra-racinaire le long duquel sont diff érenci és de nouvelles spores.

**Stade 5 :** Après leur maturation, ces spores seront à l'origine du pro-myc édium de départ (stade 1). (LENOIR, 2016)



**Figure 17 :** Cycle de d éveloppement des CMA (Akiyama, 2007).

**Phase a-symbiotique et pr é-symbiotique :**

Le diam ètre des spores de CMA compris entre 50µm et 150µm, et riches en r éserve lipidiques. Ces spores peuvent germer sans stimulus exog ène, bien que la perception de signaux v ég éaux stimule cette germination augmentant ainsi la probabilit é de mise en contact avec un partenaire v ég éal (Besserer et *al.*, 2006). âpre la germination :

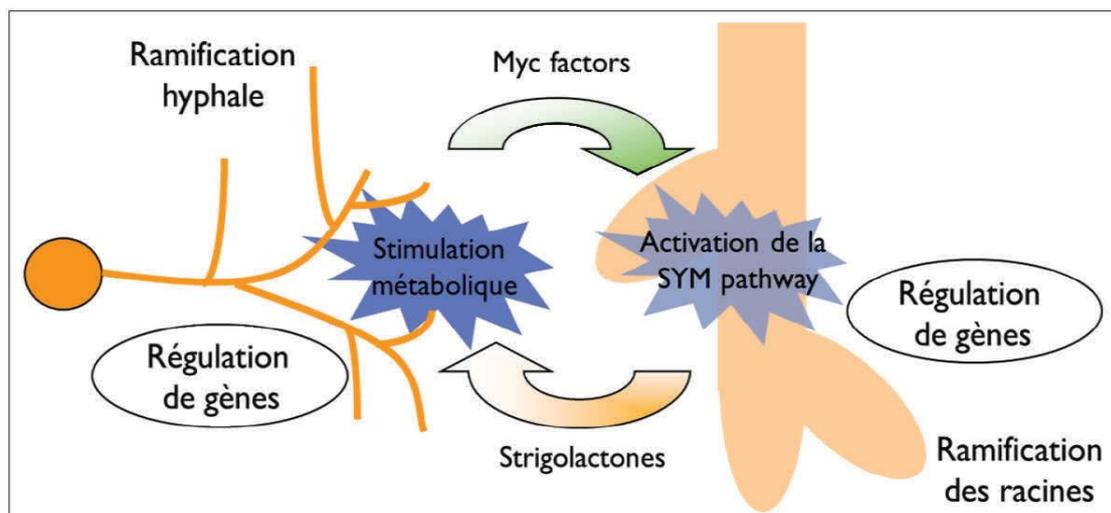
**Phase a-symbiotique.**

Si le myc édium ne trouve pas de racines, apr ès 2 à 4 semaines de croissance, le champignon pr ésente une faible croissance et ne peut pas terminer son cycle de vie. Dans ce cas, les spores sont à nouveau dormantes et les hyphes cessent de cro ître, les protoplasmes se r étractent et les ressources ne sont plus mobilis és pour produire du

mycélium en attendant de meilleures conditions (de Novais et *al.*, 2013). Arrêter la germination avant que les ressources ne soient complètement épuisées est une stratégie de MAC, qui peut augmenter les chances de rencontrer et de coloniser des racines hôtes appropriées (Bago et *al.*, 2000). Si le CMA ne détecte pas le signal racinaire, la spore CMA peut germer à nouveau et dormir à nouveau plusieurs fois.

### Phase pré-symbiotique :

Si la CMA détecte des racines hôtes proches, le mycélium se ramifiera considérablement dans le sol et les deux organismes enverront des signaux (Bucé et *al.*, 2000). Le CMA peut détecter la présence de plantes hôtes grâce aux composés diffusibles sécrétés par le CMA (figure 18) (par exemple, la glycolactone) (Giesemann et *al.*, 2020). Ces molécules activent le métabolisme énergétique fongique, la reproduction mitochondriale et la prolifération cellulaire (ramification) en quelques minutes (Besserer et *al.*, 2008).



**Figure 18** : Signaux pré-symbiotiques établis entre le CMA et la plante hôte (Genre, 2012).

Les strigolactones excrétées par la plante hôte activent le métabolisme fongique, stimulent la ramification racinaire et induisent la régulation de certains gènes chez le CMA. En même temps, la perception des *Myc factors* (encore non identifiés) par la plante engendre l'activation de la voie de transduction du signal SYM, menant à la régulation de certains gènes, l'accumulation d'amidon dans la racine et le développement de nouvelles racines latérales.

Différents flavonoïdes ont un effet sur la germination des spores ou la ramification des hyphes, mais en comparant leurs effets sur l'établissement de la symbiose, dans certains cas, cela montre un effet positif, tandis que dans d'autres cas, il montre un effet négatif (Hassan et Mathesius, 2012). Les polyamines stimulent la germination des spores de CMA, la ramification des hyphes et augmentent la colonisation des plantes. De plus, le monomère arginine semble jouer un rôle important dans la formation de barrière hydrophobes (Wang et al., 2012), et certains acides gras (comme l'acide 2-hydroxytétradécanoïque et l'acide 2-hydroxydodécanoïque) ont un rôle important dans la formation de barrières hydrophobes. Les branches de soie ont un effet stimulant. CMA.

D'autre part. En raison des signaux diffusibles, la plante hôte peut également percevoir la présence de champignons, modifiant ainsi son expression génique et son métabolisme (Gutjahr et al., 2009; Kuhn et al., 2010). ) Parmi ces molécules sécrétées par le champignon, les Myc-LCO (LCO : lipochitoooligosaccharides) ont été récemment mis en évidence comme jouant un rôle dans la préparation de la plante à la colonisation par le champignon. Ces composés favorisent la mycorhization des plantes lorsqu'ils sont ajoutés de manière exogène, et induisent également la formation de racines latérales (Maillet et al., 2011). Une fois ces premiers signaux échangés, les deux partenaires mettent en place une régulation génique propre à l'établissement de la symbiose (Ingrid LENOIR, 2016).

### **Phase symbiotique :**

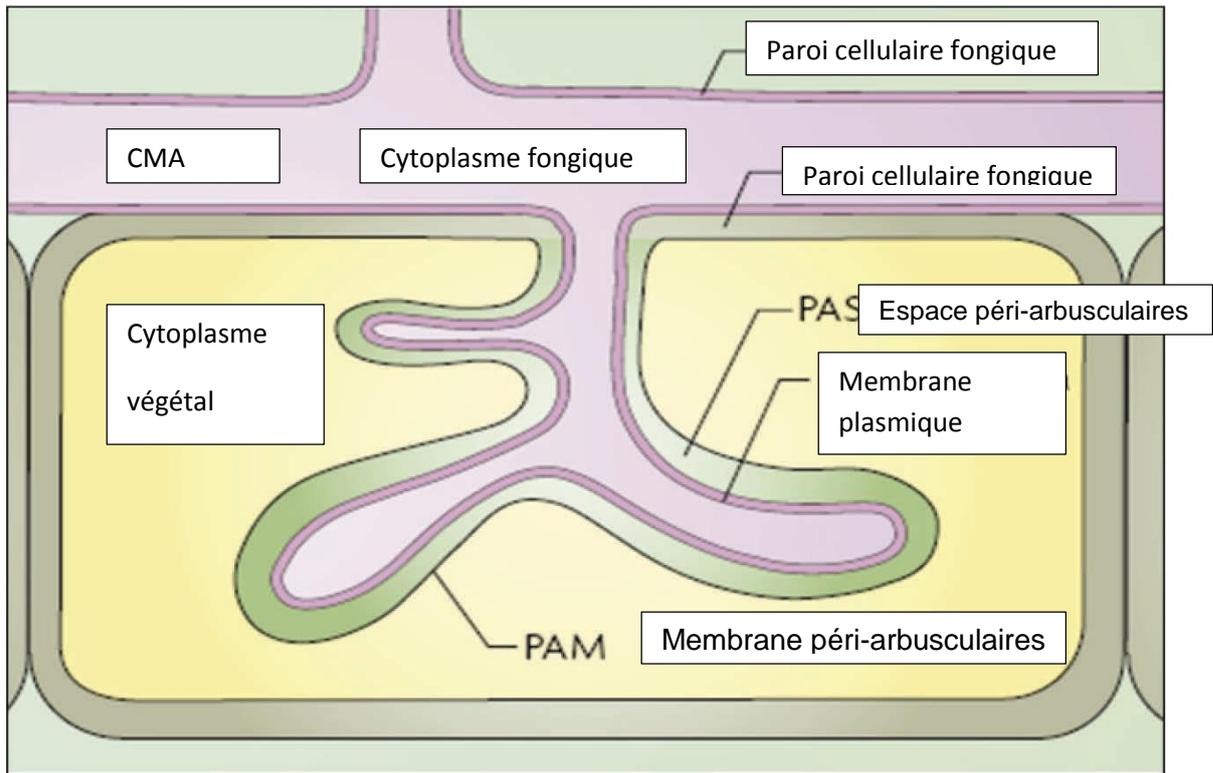
Les hyphes sont des structures gonflées créées par le contact entre les hyphes et les racines. Cette structure n'est pas complètement similaire à l'appressoria de champignon. L'hyphe renfle au contact du tissu de l'hôte, le cytoplasme se rétracte et le septum se forme. L'appressorium permet l'effraction tissulaire dans l'hôte par dégradation enzymatique des surfaces épidermiques et par l'augmentation de la pression de turgescence dans l'appressorium (Lenoir ; 2016). Chez les CMA, il n'y a ni septation, ni augmentation de la pression de turgescence, ni libération importante d'enzyme de lyse de la paroi de l'hôte (Genre & Bonfante, 2007). Dans des conditions favorables, en particulier lorsque les niveaux de phosphate sont réduits, le mécanisme de pénétration des MAC est encore inconnu et la plante est prête à pénétrer les champignons en développant un dispositif de pré-pénétration après 4 à 6 heures (Bonfante & Genre, 2008). Formation hyphopode. La formation de dispositif de pré-pénétration est orientée par la migration du noyau à travers la cellule. Le « tunnel » qui en résulte est traversé par un tube creux composé de

microtubules associés aux citernes du réticulum endoplasmique. Une fois ce tunnel en place, les hyphes du champignon peuvent alors y pénétrer et atteindre le cortex racinaire où il va quitter les cellules et pénétrer l'apoplaste afin de croître latéralement le long de l'axe racinaire. Le champignon est limité à certaines zones de la racine durant sa croissance intra-racinaire, il est présent dans la zone corticale uniquement, ne passant pas au-delà de la bande de Caspary vers les tissus vasculaires de la plante ; il n'atteint pas la zone d'élongation des racines ni l'apex (Laurel et *al.*, 2012).

Ensuite, les hyphes fongiques pénètrent dans les cellules corticales internes, où la CMA forme une structure intracellulaire très ramifiée en forme d'arbuste appelée arbuscule (du latin «arbusculaire», signifiant buisson ou petit arbre) (Figure 19) (Suetsugu et *al.*, 2014). Ces arbuscules sont des structures présentant un rapport surface/volume plus élevé qu'une hyphe normale. Le développement des arbuscules est un processus complexe qui implique la différenciation terminale de l'hyphe fongique en concomitance avec une réorganisation cellulaire transitoire et une reprogrammation transcriptionnelle des cellules corticales racinaires (Zhang et *al.*, 2010). Certaines modifications de la cellule corticale surviennent même avant l'entrée pour préparer à l'entrée de l'hyphe. Le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi et les mitochondries se rassemblent autour de l'arbuscule, la vacuole se fragmente, le noyau migre de la périphérie de la cellule jusqu'au centre et certaines modifications dans le nombre et la connexion des plastides (Zubek et *al.*, 2010). L'arbuscule est isolé du cytoplasme de l'hôte par une membrane péri-arbusculaire (Zubek et *al.*, 2010). Les arbuscules et les cellules les abritant sont des lieux d'aménagements cellulaires spécifiques à la symbiose donnant lieu à des régulations géniques présentes exclusivement dans ces cellules de l'interface champignon-plante (Gaude et *al.*, 2012). Comme, par exemple, le transporteur de phosphate MtPt4

(Harrison et *al.*, 2002) qui est essentiel au maintien de la symbiose. Les arbuscules ne sont pas des structures permanentes, ils dégèrent après 4 à 5 jours de symbiose (Bonfante & Genre, 2010). Ce phénomène semble être sous le contrôle de la plante par des mécanismes encore mal connus (Genre et *al.*, 2009).

La majorité des CMA forment également des structures de stockage intercellulaires, riches en lipides de réserve, appelées vésicules. Ces structures peuvent devenir des propagules capables de coloniser une autre plante. Et ils sont absentes chez certains CMA tels que les Gigasporales (Oehl et *al.*, 2011).



**Figure 19 :** Schéma d'un arbuscule (Parniske, 2008).

Chaque ramification fongique à l'intérieur de la cellule végétale est entourée par une membrane péri-arbusculaire dérivée de la plante (PAM). Elle exclut le champignon du cytoplasme végétal. L'interface apoplasmique entre la membrane plasmique du champignon et la PAM est appelée l'espace péri-arbusculaire (PAS), qui comprend à la fois le matériel de la paroi cellulaire fongique et végétale.

### 3.2.4.3 Importance des champignons mycorhiziens à arbuscules

Indépendamment du type de mycorhize diverses caractéristiques et fonctions sont modifiées suite à la mycorhization : l'absorption de l'eau et des éléments minéraux, les activités hormonales, l'agrégation des sols, la protection contre les organismes pathogènes.

#### 3.2.4.3.1 Absorption de l'eau et des éléments minéraux

La fonction la plus étudiée chez les mycorhizes est celle de l'absorption de l'eau et des éléments minéraux du sol, notamment le phosphore qui est peu mobile et est souvent en faible concentration dans la solution du sol. Grâce à la grande couverture du sol par le réseau mycélien, les hyphes puisent et transportent vers la plante l'eau et les éléments

nutritifs qui permettent une croissance vigoureuse et un rendement plus élevé (Bolan, 1991; Smith *et al.*, 2003)

On estime que 80% du phosphore absorbé par les plantes mycorhizées peut être fourni par les champignons arbusculaires. Dans certains cas, les bactéries fixatrices d'azote et les champignons mycorhiziens s'associent pour dissoudre des minéraux permettant ainsi aux cultures de se développer dans les sols pauvres en P et en N solubles (Haselwandter et Bowen, 1996; Destinoble, 2017). Présent en faible concentration dans la solution du sol.

#### **3.2.4.3.2 Agrégation des sols**

Les mycéliums ont la propriété d'excréter une glycoprotéine, la glomaline. Les champignons mycorhiziens qui sont très abondants dans certains sols peuvent en produire des quantités importantes, dont plusieurs études ont montré le rôle dans la stabilité structurale du sol. Cette substance assemble les particules les plus fines du sol pour en faire des agrégats dont on connaît le rôle fondamental pour la fertilité des sols, en retenant l'eau et les éléments minéraux et en favorisant les échanges gazeux et l'aération (Fortin *et al.*, 2008).

#### **3.2.4.3.3 Protection contre les organismes pathogènes**

En nature, les plantes sont continuellement soumises à des agressions de la part des bactéries, de champignons, de nématodes, d'insectes et de maladies fongiques.

Il a été prouvé expérimentalement que les plantes inoculées avec des champignons mycorhiziens à arbuscules sont plus résistantes aux attaques de champignons pathogènes et l'exposition à des toxines du sol (Fitter, 1991 ; Moser et Haselwandter, 1983 ; Schtiepp *et al.*, 1987). Ces champignons mycorhiziens peuvent intervenir de deux façons et à deux endroits pour protéger les racines contre les champignons pathogènes : dans la rhizosphère et dans les tissus racinaires.

A l'échelle de la rhizosphère et surtout de la mycorrhizosphère, l'espace entourant immédiatement la mycorhize, les micro-organismes sont confrontés à la compétition et à l'antagonisme, ce qui a pour effet d'établir une flore microbienne diversifiée et équilibrée. Dans cet environnement, les propagules des champignons pathogènes ne parviennent pas à proliférer et leur nombre reste toujours relativement faible. (Fortin *et al.*, 2008).

Le second mécanisme permettant aux plantes mycorhizées de mieux résister aux maladies est lié à des modifications des activités physiologiques dans la racine. Les plantes agressées par un agent pathogène réagissent en produisant des substances antibiotiques contre ces organismes (Fortin et *al.*, 2008).

#### **3.2.4.3.4 Résistance aux stress de l'environnement :**

On constate que la présence des mycorhizes modifie plusieurs aspects de la plante hôte et de l'environnement qui permettent une meilleure résistance aux stress environnementaux.

Les champignons MA permettent à la plante d'avoir un meilleur accès aux éléments nutritifs et à l'eau du substrat, ce qui favorise sa croissance et lui permet de mieux résister aux périodes de stress environnementaux comme la sécheresse (Helgason et Fitter, 2005 ; Plenchette et *al.*, 2005 ; Fortin et *al.*, 2008 ; Dalpe, 2006).

Les champignons MA est un régulateur de la synthèse des polyamines (Goicoechea et *al.*, 1998; Sannazzaro et *al.*, 2007; Ciatelli et *al.*, 2014) Ces molécules sont essentielles pour la croissance des plantes , mais jouent également un rôle dans la protection des plantes contre de nombreux stress abiotiques (sécheresse, salinité, températures extrêmes) (Rodríguez-Kessler et *al.*, 2006).

## **Chapitre 2 :**

**Synthèse sur les travaux relatifs à la problématique et les objectifs de notre thématique**

Au vu des circonstances exceptionnelles, résultant de la pandémie mondiale du Corona virus, qui nous a causé des pertes très importantes en termes de recherche liés au mémoire de fin d'étude, après la décision qui a été prise de fermer toutes les universités et les centres de recherche sur tout le territoire national, et en particulier la quarantaine totale de la wilaya de Blida, nous ne pourrions pas terminer nos recherches. Et dans ce contexte, nous remettons entre vos mains les résultats de quelques travaux dans le cadre des objectifs qui étaient stipulés dans ce mémoire.

## **2.1. Intérêt de l'endomycorhization fongique arbusculaires dans la suppression des agents pathogènes contaminants les sols des cultures sous- serres**

**HU Jun-Li et al., 2010** a étudié l'effet des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) (*Glomus caledonium* 90036) et consortium CMA et de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cucumerinum* sur la croissance des plants de concombre (*Cucumis sativus* L.) et leurs rendements sous serre. Les résultats montrent que le traitement avec *F. oxysporum* uniquement et en absence de mycorhizes avait moins de biomasse aux semaines 3 et 9 et avait une incidence plus élevée de flétrissure fusarienne et ne produisait aucun fruit à la 9<sup>ème</sup> semaine.

Les deux traitements avec *F. oxysporum* et *G. caledonium* (FO + M1), et *F. oxysporum* et le consortium CMA (FO + M2) avaient une colonisation mycorhizienne plus élevée que les traitements qui n'ont reçu aucune inoculation d'CMA à la semaine 3 (P <0,05), mais seul le traitement FO + M2 a augmenté la biomasse végétale, a diminué l'incidence de la fusariose et l'amélioration de rendement du concombre au même niveau que le témoin à la semaine 9. Les résultats ont montré que le consortium CMA pouvait supprimer la fusariose du concombre et, par conséquent, a montré que le consortium CMA un agent puissant de lutte biologique dans les agro-écosystèmes en serre.

## **2.2. Importance d'utilisation de l'endomycorhize à arbuscules «*Glomus mosseae* » dans le biocontrôle de la fusariose de la tomate causée par «*Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici* »**

En 2012 une étude a été effectuée par **Siegrid Steinkellner** et al, afin de tester l'effet des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) « *Glomus mosseae* (BEG 12) » et des isolats de *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici* (dix souches) sur la croissance des plants de tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) et leur rôle protecteur sous serre. Les résultats montrent une grande variabilité entre les cultivars de tomates testés dans la colonisation des racines AM, et un effet de croissance mycorhizienne positif peut devenir évident. Ainsi que les cultivars résistants à certaines races Fol présentaient des niveaux de colonisation des racines MA similaires à ceux des cultivars non résistants au Fol, ce qui montre que la résistance au *F.oxysporum* 1 n'affecte pas la colonisation des racines mycorhizées. Donc montrant que La sensibilité est liée aux cultivars et la souche (race) de pathogène. Chez tous les cultivars affectés par Fol, la co-inoculation de cultivars avec **CMA** et **Fol** a entraîné une réduction de l'infection par *Fusarium* et / ou une augmentation de la croissance des plantes, corroborant un effet bio-protecteur de la mycorhisation contre *F. oxysporum lycopersici*

## **2.3 Réaction systémique induite par les champignons mycorhiziens à arbuscules sur les plantes de tomate lors de l'infection par *Botrytis cinerea***

**Neus Sanmartina et al., 2020.** Ont réalisé une étude de signalisation de la racine à la pousse de tomate (*Solanum lycopersicum L. cv. Better Boy*) inoculé par des champignons mycorhiziennes arbusculaires *Rhizogloium irrégularis* (BEG 121) (anciennement *Glomus intraradices*) lors d'une infection à *Botrytis cinerea* CECT2100 (collection espagnole de cultures types, Université de Valencia - Burjassot 46100, Espagne), montrant que Les plants de tomates présentaient une symbiose mycorhizienne bien établie puisque plus de 50% du système racinaire présentait des structures fongiques mycorhiziennes. Cette colonisation confère des avantages adaptatifs importants aux plantes cultivées. Notamment, la résistance induite contre des défis spécifiques, bien que les réponses défensives locales soient généralement plus fortes, ils ont également exploré les composés racinaires livrés aux pousses en réponse à la colonisation par le CMA, qui jouent

probablement un rôle de signalisation ou un rôle direct contre les infections foliaires pathogènes. Par conséquent, les racines MA influencent les réponses des pousses pour activer la défense dans les tissus aériens après une infection par *B. cinerea*.

## CONCLUSION

Cette recherche bibliographique a mis en exergue l'importance de notre thématique que ce soit sur la culture, les problèmes phytosanitaires ciblés, moyens de lutte utilisés ou l'intégration d'utilisation des mycorhizes dans le système d'agriculture biologique durable.

Les informations recueillies affirment que la culture maraichère étudiée est stratégique, elle est classée en seconde position après la pomme de terre. Elle connaît une importante utilisation dans la consommation que ce soit directe ou après transformation. Cependant cette dernière est sujette à de nombreuses maladies particulièrement d'origine fongique dont, les plus fréquentes sont responsables des pertes considérables sur le rendement et la dépréciation de la qualité du produit.

D'autant plus que les fongicides chimiques ne répondent pas efficacement contre ces agents pathogènes et induisent leur résistance vis-à-vis des matières actives utilisées comme fongicides. A ces problèmes s'ajoutent leurs effets secondaires sur l'environnement et la santé humaine.

De nombreux travaux rapportés par la littérature ont montré que le contrôle biologique est la meilleure solution à envisager contre ces maladies. Notamment, l'application des mycorhizes qui permettent de lutter contre les maladies et la suppression ou la réduction de l'inoculum des agents pathogènes, en renforçant la structure végétale. Il a été rapporté que les agents pathogènes fongiques les plus agressifs qui résistent aux fongicides et persistent dans le sol sont le *Botrytis cinerea* et *Fusarium oxysporum*, responsables de la pourriture grise et le flétrissement fusarien respectivement. Ils s'avèrent bien limités par des agents bénéfiques telluriques vivant en symbiose avec les racines des plantes. Ce sont les mycorhizes qui contribuent dans l'élimination des agents pathogènes telluriques par la formation d'une barrière d'hyphes protégeant les racines contre l'invasion de ces champignons phytopathogènes et la biostimulation qu'ils ont fournie pour la plante et leur pouvoir de colonisation racinaire. Cela est évident à travers la structure de la plante qui deviendra plus vigoureuse, fertile, plus grande et ramifiée, ainsi que pour ses fruits qui acquièrent une meilleure qualité. Dans ce sens, le système immunitaire de la plante devient plus performant et confère une meilleure résistance aux plantes. Dans cette optique, nous avons envisagé l'étude de l'impact d'utilisation d'un sol mycorhizé endémique sur un essai de culture de tomate en pots et sous serre en comparaison avec des témoins. Tout en considérant les facteurs de croissance et la résistance des plantes cultivées vis-à-vis de l'infection *in vitro* par *B. cinerea* et *F. oxysporum*.

En revanche, vu la situation actuelle de la pandémie et la mise en quarantaine de la wilaya de Blida comme foyer potentiel du Covid-19, nous n'avons pas pu terminer notre essai

expérimental. En outre, des recherches antérieures ont montré des résultats probants dans le sens stipulé de notre thématique. Les travaux ont montré que la combinaison de trois bio-agents microbiens (*Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum* et des CMA *Glomus intraradices*) avec L'ajout de CDC (cow-dung compost) ou compost de bouse de vache a réduit significativement la maladie fusarienne de 81 et 74% dans les pots et au champ, respectivement et a amélioré le rendement de 33%. D'autres résultats ont indiqué que le consortium CMA pourrait supprimer la fusariose du concombre, En effet, selon plusieurs travaux de recherche les mycorhizes ont également montré un potentiel très important comme agent de lutte biologique contre le *B. cinerea* dans les agro-écosystèmes en serre.

Il serait donc, judicieux de reproduire la même étude envisagée avec des mycorhizes prélevées et extraites des racines de plantes collectées de différentes régions d'Algérie pour évaluer leurs potentialités biofertilisantes, biostimulantes et élicitrices.

Les principaux objectifs de cette étude nous permettront dans l'avenir une sélection de mycorhizes très utiles pour l'amélioration des plantes, la fertilité et l'état sanitaire du sol en vue de leur utilisation comme intrant biologique pour une agriculture durable.

## REFERENCES :

1. **ABDELILAH MEDDICH, ABDALLAH OIHABI, YOUNES ABBAS, ESSIA BIZID. (2000)**, Rôle des champignons mycorhiziens à arbuscules de zones arides dans la résistance du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) au déficit hydrique. *Agronomie*, EDP Sciences, 20 (3), pp.283-295. 10.1051/agro:2000127. hal-00886038.
2. **ABDEL-RAZEK, A. S., EL-AWADY, M., HASSAN, A. Z., YASSIN, F. Y., ASKER, M., & SHAABAN, M. (2017)**. Bioactive compounds from marine *Stachybotrys* sp. QL23.
3. **ABIDET, K., DJABIL, A., & BASSA, N. (2018)**. L'effet de *Trichoderma* sp et acide salicylique sur la réduction de l'incidence de la maladie et l'efficacité sur la croissance de la variété de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) contaminée par *Fusarium oxy*.
4. **AJOUZ, S., BARDIN, M., TROULET, C., RIQUEAU, G., DECOGNET, V., LEYRONAS, C., ... & NICOT, P. C. (2009)**. Baseline sensitivity of *Botrytis cinerea* to pyrrolnitrin, an antibiotic produced by several biological control agents. 49, 51-56.

5. **ALILOU, H. (2012).** Etude phytochimique et antifongique de deux plantes du Sud du Maroc: *Asteriscus graveolens subsp. odorus (Schousb.) Greuter* et *Asteriscus imbricatus (Cav.) DC.* Th 215p.
6. **André G. (2013).** *De la domestication à la transgénèse: Évolution des outils pour l'amélioration des plantes.* Éditions Quæ 42-173.
7. **ANONYME, (2011).** Tomate de serre 2012. SYNGENTA SEEDS S.A.S, France, 24 p.
8. **BAGO, B., PFEFFER, P. E., & SHACHAR-HILL, Y. (2000).** Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. *Plant physiology*, 124(3), 949-958.
9. **BAINARD, L. D., KLIRONOMOS, J. N., & GORDON, A. M. (2011).** The mycorrhizal status and colonization of 26 tree species growing in urban and rural environments. *Mycorrhiza*, 21(2), 91-96.
10. **BAWA, I. (2016).** Management strategies of Fusarium wilt disease of tomato incited by *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*(Sacc.) A Review. *Int. J. Adv. Acad. Res*, 2(5).
11. **BEBBER, D. P., WATKINSON, S. C., BODDY, L., & DARRAH, P. R. (2011).** Simulated nitrogen deposition affects wood decomposition by cord-forming fungi. *Oecologia*, 167(4), 1177-1184.
12. **BELLO, S., AMADJI, L. G., & AHANCHEDE, A. (2019).** Efficacité technique et rentabilité économique des méthodes de contrôle culturale et chimique des mauvaises herbes en culture d'oignon (*Allium cepa L.*) au Nord-Est du Bénin. *Journal of Animal & Plant Sciences (J.Anim.Plant Sci. ISSN 2071-7024) Vol.42 (2): 7207-7225.*
13. **BENBRAHIM, K. F., BERRADA, H., EL GHACHTOULI, N., & ISMAILI, M. (2014).** Les acacias: des plantes fixatrices d'azote prometteuses pour le développement durable des zones arides et semi-arides [Acacia: Promising Nitrogen fixing trees for sustainable development in arid and semi-arid areas]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 8(1), 46.
14. **BENDIFF ABDERRAHMANE. (2016).** Étude comparative de différents substrats pour la production de tomate hors sol. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem ed. Mostaganem 112.

15. **BERRUTI, A., LUMINI, E., BALESTRINI, R., & BIANCIOTTO, V. (2016).** Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. *Frontiers in microbiology*, 6, 1559.
16. **BERRY OTTAWAY, P. (2001).** The roots of a healthy diet. *Chemistry and Industry* 22 January, pp. 42-45) (DIDI, Amel ; 11 novembre 2014).
17. **BESSERER, A., PUECH-PAGES, V., KIEFER, P., GOMEZ-ROLDAN, V., JAUNEAU, A., ROY, S., ... & SEJALON-DELMAS, N. (2006).** Strigolactones stimulate arbuscular mycorrhizal fungi by activating mitochondria. *PLoS Biol*, 4(7), e226.
18. **BLANCARD, D. (2003),** *Maladies des salades. Identifier, connaître et maîtriser.* INRA., Paris. 375.
19. **BOLAN NS (1991),** A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, vol. 134., pp. 189-207.
20. **BONFANTE, P., & GENRE, A. (2008).** Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary-developmental perspective. *Trends in plant science*, 13(9), 492-498.
21. **Bouzid, A., & Bedrani, S. (2013).** La performance économique de la filière tomate industrielle en Algérie. *Les cahiers du CREAD*, 103, 85-105.
22. **BRINK, J. C., HOLZ, G., & FOURIE, P. H. (2006).** Effect of fungicide spray cover on *Botrytis cinerea* infection in grape bunches. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 27(1), 51-56.
23. **CARILLO, P., WOO, S. L., COMITE, E., EL-NAKHEL, C., ROUPHAEL, Y., FUSCO, G. M., ... & VINALE, F. (2020).** Application of *Trichoderma harzianum*, 6-pentyl- $\alpha$ -pyrone and plant biopolymer formulations modulate plant metabolism and fruit quality of plum tomatoes. *Plants*, 9(6), 771.
24. **CHUTIMA, R., DELL, B., VESSABUTR, S., BUSSABAN, B., & LUMYONG, S. (2011).** Endophytic fungi from *Pecteilis susannae* (L.) Rafin (*Orchidaceae*), a threatened terrestrial orchid in Thailand. *Mycorrhiza*, 21(3), 221-229.
25. **CICATELLI A, TORRIGIANI P, TODESCHINI V, BIONDI S, CASTIGLIONE S, LINGUA G. 2014.** Arbuscular mycorrhizal fungi as a tool to ameliorate the phytoremediation potential of poplar: biochemical and molecular aspects. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 7: 333–341.
26. **CILIBERTI, N., FERMAUD, M., ROUDET, J., LANGUASCO, L., & ROSSI, V. (2016).** Environmental effects on the production of *Botrytis cinerea* conidia on

- different media, grape bunch trash, and mature berries. Australian journal of grape and wine research, 22(2), 262-270.
27. **DE NOVAIS, C. B., SBRANA, C., JUNIOR, O. J. S., SIQUEIRA, J. O., & GIOVANNETTI, M. (2013).** Vegetative compatibility and anastomosis formation within and among individual germings of tropical isolates of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). Mycorrhiza, 23(4), 325-331.
  28. **DECOGNET, V., BARDIN, M., TROTTIN-CAUDAL, Y., & NICOT, P. C. (2009).** Rapid change in the genetic diversity of *Botrytis cinerea* populations after the introduction of strains in a tomato glasshouse. Phytopathology, 99(2), 185-193.
  29. **DESTINOBLE A, 2017.** Effet de la symbiose mycorhizienne arbusculaire sur la composition minérale du poireau cultivé en présence de carbonate de calcium. Québec, Canada. 75p.
  30. **DIANE RIVATON. (2016).** Étude des champignons mycorhiziens arbusculaires des sols en systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage : application à la nutrition phosphatée. Sciences du Vivant [q-bio]. dumas-01472700
  31. **DIK, A. J., & WUBBEN, J. P. (2007).** Epidemiology of *Botrytis cinerea* diseases in greenhouses. In *Botrytis: biology, pathology and control* (pp. 319-333). Springer, Dordrecht.
  32. **DIK, A. J., VAN DER GAAG, D. J., PIJNAKKER, J., & WUBBEN, J. P. (2004).** Integrated control strategies for all pests and diseases in several glasshouse crops and implementation in practice. S. Michele all'Adige, Italy, 27(8), 35-39.
  33. **DJAMEL BELAID, (2016),** Algérie : la culture de la tomate, El oued 21p.
  34. **DOMINIQUE BLANCARD. (2012).** Tomato Diseases Identification, Biology and Control ; The tomato plant and its culture. ELSEVIER. LONDON.668.
  35. **DOOLITTLE, (1970).** Revue canadienne de microbiologie, 1988, 34(4): 547-551,
  36. **DUANE ANDRY – (2011).** Blogosphere Madness: Dogmasphere 2010: More Ravings of a Religious Fanatic. Ed Autborhouse 2011. USA 475p.
  37. **DUPONNOIS R, A.M. BÂ,Y. PRIN,E. BAUDOIN, A. GALIANA & B. DREYFUS. (2010).** Les champignons mycorhiziens : une composante majeure dans les processus biologiques régissant la stabilité et la productivités écosystèmes forestiers tropicaux.citation 421-439.
  38. **DUPONNOIS R. SANON A. HAFIDI M. NDOYE I. BA A. M. (2013).** GENERALITES SUR LA SYMBIOSE MYCORHIZIENNE. Université Cheikh

- Anta Diop. D épartement de Biologie v ég étale. Dakar. S é n égal. Ed INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT. Marseille 37p.
39. **DUPONNOIS, R., COLOMBET, A., HIEN, V., & THIOULOUSE, J. (2005).** The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. *Soil biology and Biochemistry*, 37(8), 1460-1468.
  40. **ELAD, Y., ISRAELI, L., FOGEL, M., DAVID, D. R., KENIGSBUCH, D., CHALUPOWICZ, D., ... & YITZHAK, S. (2014).** Conditions influencing the development of sweet basil grey mould and cultural measures for disease management. *Crop Protection*, 64, 67-77.
  41. **FERRADA, E. E., LATORRE, B. A., ZOFFOLI, J. P., & CASTILLO, A. (2016).** Identification and characterization of *Botrytis blossom blight* of Japanese plums caused by *Botrytis cinerea* and *B. prunorum* sp. nov. in Chile. *Phytopathology*, 106(2), 155-165.
  42. **FITTER, A.H. , SCHELLENBAUN, L., BERTA, G., RAVOLANIRINA, F. , TISSERANT, B., GIANNINAZZI, S., 1991.** Influence of endomycorrhizal infection on root morphology in a microporopagated woody plant-species (*Vitis vinifera* L.) *Annals of Bot.*, 68 : 135-141.
  43. **FORTIN J. A., PLENCHETTE C., PICHÉ Y., 2008.** Les mycorhizes. La nouvelle r évolution verte. MultiMonde Quae. (Eds.), Québec, 131 p.
  44. **FREDERIC SIMARD. (2014).** stimulation de la synthèse des composés nutraceutiques et aromatiques dans les fines herbes et les légumes par les champignons mycorrhiziens à arbuscules. Québec, Canada. Canada 123p.
  45. **FRUIT, L. (2010).** Etude des facteurs d'efficacité d'un agent de lutte biologique (*Ulocladium atrum*) pour la protection des plaies d'effeuillage sur tomate contre *Botrytis cinerea* (Doctoral dissertation, Lyon 1).th 142p.
  46. **FRY, W. E. (2012).** Principles of plant disease management. Academic Press. L 2-35.
  47. **GENRE, A., & BONFANTE, P. (2007).** Check-in procedures for plant cell entry by biotrophic microbes. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 20(9), 1023-1030.
  48. **GHALIA MUSTAFA. (2015).** Protection du blé contre l'oïdium par des champignons mycorrhiziens à arbuscules: mécanismes et optimisation. Unité de Chimie Environnementale et Interactions sur le Vivant (UCEIV). PARIS. 220p.

49. **GIESEMANN, P., RASMUSSEN, H. N., LIEBEL, H. T., & GEBAUER, G. (2020).** Discreet heterotrophs: green plants that receive fungal carbon through Paris - type arbuscular mycorrhiza. *New Phytologist*, 226(4), 960-966.
50. **GÖHRE, V., & PASZKOWSKI, U. (2006).** Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. *Planta*, 223(6), 1115-1122.
51. **GOICOECHEA N, SZALAI G, ANTOLIN MC, SANCHEZ-DIAZ M, PALDI E. 1998.** Influence of arbuscular mycorrhizae and Rhizobium on free polyamines and proline levels in water-stressed alfalfa. *Journal of Plant Physiology* 153: 706–711.
52. **GRAVES, D. T., LIU, R., ALIKHANI, M., AL-MASHAT, H., & TRACKMAN, P. C. (2006).** Diabetes-enhanced inflammation and apoptosis—impact on periodontal pathology. *Journal of dental research*, 85(1), 15-21.
53. **GUTJAHR, C., CASIERI, L., & PASZKOWSKI, U. (2009).** *Glomus intraradices* induces changes in root system architecture of rice independently of common symbiosis signaling. *New phytologist*, 182(4), 829-837.
54. **HAMAIDIA, C. (2016).** Les effets de trois fongicides de synthèse sur le pouvoir germinatif de *Botrytis cinerea*. Université 8 Mai 1945 Guelma 74p.
55. **HASELWANDTER, K., & BOWEN, G. D. (1996).** Mycorrhizal relations in trees for agroforestry and land rehabilitation. *Forest Ecology and Management*, 81(1-3), 1-17p.
56. **HASELWANDTER, K., & BOWEN, G. D. (1996).** Mycorrhizal relations in trees for agroforestry and land rehabilitation. *Forest Ecology and Management*, 81(1-3), 1-17.
57. **HASSAN, S., & MATHESIUS, U. (2012).** The role of flavonoids in root–rhizosphere signalling: opportunities and challenges for improving plant–microbe interactions. *Journal of experimental botany*, 63(9), 3429-3444.
58. **HEINEMEYER, A. ET AL. (2004)** Impact of soil warming and shading on colonization and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of a native grassland community. *Global Change Biology*, 10: 52-64.
59. **HELGASON, T. AND FITTER, A., 2005.**The ecology and evolution of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycologist*, vol.19, p.96-101.
60. **HOFFMANN, D., VIERHEILIG, H., & SCHAUSBERGER, P. (2011).** Mycorrhiza-induced trophic cascade enhances fitness and population growth of an acarine predator. *Oecologia*, 166(1), 141-149.

61. **INGRID LENOIR(2015)**. Int é r ê t de la symbiose mycorrhizienne à arbuscules dans la phytorem é d iation des sols historiquement contamin é s par les hydrocarbures: de la protection à la dissipation. Unit é de Chimie Environnementale et Interactions sur le Vivant (UCEIV).Paris. 230.
62. **IVANOV, S., FEDOROVA, E. E., LIMPENS, E., DE MITA, S., GENRE, A., BONFANTE, P., & BISSELING, T. (2012)**. Rhizobium–legume symbiosis shares an exocytotic pathway required for arbuscule formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(21), 8316-8321.
63. **JAYARAMAN, P., JACQUES, M. K., ZHU, C., STEBLENKO, K. M., STOWELL, B. L., MADI, A., ... & BEHAR, S. M. (2016)**. TIM3 mediates T cell exhaustion during *Mycobacterium tuberculosis* infection. *PLoS pathogens*, 12(3), e1005490.
64. **JONES J. J., ZITTER T. A., MOMOL T. M. & MILLER S. A. (EDS) (2014)**. Gray Mold. Dans *Compendium of Tomato Diseases and Pests*. 2e é d. APS Press. The American Phytopathological Society Press, St-Paul, Minnesota. p. 30-32.
65. **JUN-LI, H. U., XIAN-GUI, L. I. N., JUN-HUA, W. A. N. G., WEI-SHOU, S. H. E. N., SHU, W. U., SU-PING, P. E. N. G., & TING-TING, M. A. O. (2010)**. Arbuscular mycorrhizal fungal inoculation enhances suppression of cucumber *Fusarium* wilt in greenhouse soils. *Pedosphere*, 20(5), 586-593.
66. **KAMOU, N. N., CAZORLA, F., KANDYLAS, G., & LAGOPODI, A. L. (2020)**. Induction of defense-related genes in tomato plants after treatments with the biocontrol agents *Pseudomonas chlororaphis* ToZa7 and *Clonostachys rosea* IK726. *Archives of Microbiology*, 202(2), 257-267.
67. **KUMAR, A., GARG, B. R., RAJPUT, G., CHANDEL, D., MUWALIA, A., BALA, I., & SUMEER, S. (2010)**. Antibacterial activity and quantitative determination of protein from leaf of *Datura stramonium* and *Piper betle* plants. *Pharmacophore*, 1(3), 184-195.
68. **LAHLALI, R., DAGNO, K., FRIEL, D., BAJJI, M., & JIJAKLI, M. H. (2007)**. Synth è se bibliographique: probl é matique de la jacinthe d'eau, *Eichhornia crassipes*, dans les r é gions tropicales et subtropicales du monde, notamment son é radication par la lutte biologique au moyen des phytopathog è nes. BASE. Volume 11p.
69. **LAMBERS, H., CHAPIN III, F. S., & PONS, T. L. (2008)**. *Plant physiological ecology*. Springer Science & Business Media.

70. **LEE, K. M., & XIAO, Z. R. (2001).** A simplified nonlinear approach for pile group settlement analysis in multilayered soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 38(5), 1063-1080.
71. **LEGARD, D. E., XIAO, C. L., MERTELY, J. C., & CHANDLER, C. K. (2000).** Effects of plant spacing and cultivar on incidence of *Botrytis* fruit rot in annual strawberry. *Plant Disease*, 84(5), 531-538.
72. **LI, B., WANG, W., ZONG, Y., QIN, G., & TIAN, S. (2012).** Exploring pathogenic mechanisms of *Botrytis cinerea* secretome under different ambient pH based on comparative proteomic analysis. *Journal of proteome research*, 11(8), 4249-4260.
73. **LORENZINI, M., & ZAPPAROLI, G. (2014).** An isolate morphologically and phylogenetically distinct from *Botrytis cinerea* obtained from withered grapes possibly represents a new species of *Botrytis*. *Plant pathology*, 63(6), 1326-1335.
74. **MAGNY, M., DE BEAULIEU, J. L., DRESCHER-SCHNEIDER, R., VANNIERE, B., WALTER-SIMONNET, A. V., MIRAS, Y., ... & LEROUX, A. (2007).** Holocene climate changes in the central Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lake Accesa (Tuscany, Italy). *Quaternary Science Reviews*, 26(13-14), 1736-1758.
75. **MANCHANDA, G., & GARG, N. (2007).** Endomycorrhizal and rhizobial symbiosis: How much do they share?. *Journal of Plant Interactions*, 2(2), 79-88.
76. **MANGA, A., NDIAYE, F., & DIOP, T. A. (2017).** Le champignon arbusculaire *Glomus aggregatum* améliore la nutrition minérale de *Acacia seyal* soumis au stress salin progressif. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2352-2365.
77. **MARQUENIE, D., GEERAERD, A. H., LAMMERTYN, J., SOONTJENS, C., VAN IMPE, J. F., MICHIELS, C. W., & NICOLAI, B. M. (2003).** Combinations of pulsed white light and UV-C or mild heat treatment to inactivate conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilia fructigena*. *International journal of food microbiology*, 85(1-2), 185-196.
78. **MATIRU, V. N., & DAKORA, F. D. (2004).** Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. *African Journal of Biotechnology*, 3(1), 1-7.

79. **MEBARKI, H., & BENAKLI, L. (2018).** Evaluation de l'activité antagoniste de deux bactéries: *Pseudomonas sp* et *Bacillus sp* vis-à-vis des champignons phytopathogènes (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri 89p.
80. **MECHRI, B., TEKAYA, M., CHEHEB, H., ATTIA, F., & HAMMAMI, M. (2015).** Accumulation of flavonoids and phenolic compounds in olive tree roots in response to mycorrhizal colonization: a possible mechanism for regulation of defense molecules. *Journal of plant physiology*, 185, 40-43.
81. **MEKAHLIA MOHAMED NACER (2014).** Dépendance mycorhizienne de L'olivier (*Olea europaea L.*) dans L'est algérien et mycorhization contrôlée de la variété Ferkeni. Université Badji Mokhtar Annaba. Annaba 181.
82. **MOHAMED AMINE BEDRANE (2020) MADI NADIA, 2016).** Association de culture olivier/vesce/avoine : performance et influence sur le K (HNO<sub>3</sub>) de la rhizosphère. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 78p.
83. **MOHAMED AMINE BEDRANE (2020) MADI Nadia, 2016).** Association de culture olivier/vesce/avoine : performance et influence sur le K (HNO<sub>3</sub>) de la rhizosphère. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 78p.
84. **MOHAMMED, A. S., KADAR, N. H., DJAAFER, M., BAGHDAD, A., KIHAL, M., SANCHEZ, J., ... & GARRIDO-CARDENAS, J. A. (2020).** In vitro activity of Lavandula dentata essential oil against *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* in Algeria. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 10(4), 249-254.
85. **MORARD S., 2013-** Guide pratique. Mes tomates du jardin à la cuisine. SMACT, 20 p.
86. **MOSER M, HASSELWANDTER K., 1983,** Ecophysiology of mycorrhizal symbiosis, in: *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series*, vol. 12, pp. 392-421. Eds O. L. Lange. p. s. Nobel, c. b. Osmond and h. Ziegler. Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
87. **MPIKA, J., ATTIBAYEBA, A. M., & MINANI, D. (2015).** Influence d'un apport fractionné en potassium et en azote sur la croissance et le rendement de trois variétés de tomate de la zone périurbaine de Brazzaville en République du Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 94, 8789-8800.
88. **NOGUEIRA, M. A., ALBINO, U. B., BRANDAO-JUNIOR, O., BRAUN, G., CRUZ, M. F., DIAS, B. A., ... & RAIMAM, M. P. (2006).** Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural

- land use in southern Brazil. *Agriculture, ecosystems & environment*, 115(1-4), 237-247.
89. **OLAH, B., BRIERE, C., BECARD, G., DENARIE, J., & GOUGH, C. (2005).** Nod factors and a diffusible factor from arbuscular mycorrhizal fungi stimulate lateral root formation in *Medicago truncatula* via the DMI1/DMI2 signalling pathway. *The Plant Journal*, 44(2), 195-207.
90. **PARNISKE, M. (2008).** Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 6(10), 763-775.
91. **PAUL-OLIVIER REDON. (2009).** Rôle de champignons mycorhiziens à arbuscules dans le transfert du cadmium(Cd) du sol à la luzerne (*Medicago truncatula*). *Science des sols. Université Henri Poincaré - Nancy1, Français. NNT : 2009NAN10015. tel-01748490.*
92. **PITCHAY, D. S., FRANTZ, J. M., LOCKE, J. C., KRAUSE, C. R., & FERNANDEZ, G. C. (2007).** Impact of applied nitrogen concentration on growth of *Elatior begonia* and New Guinea *impatiens* and susceptibility of *begonia* to *Botrytis cinerea*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(2), 193-201.
93. **PLENCHETTE C., 2005.** Mycorhizes et nutrition phosphate des plantes. *Journées Techniques Fruits et Légumes et Viticulture Biologiques*, 6-7 décembre, Beaune, pp. 103-109.
94. **PUMPLIN, N., & HARRISON, M. J. (2009).** Live-cell imaging reveals periarbuscular membrane domains and organelle location in *Medicago truncatula* roots during arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant physiology*, 151(2), 809-819.
95. **RODRIGUEZ-KESSLER, M., ALPUCHE-SOLIS, A. G., RUIZ, O. A., & JIMENEZ-BREMONT, J. F. (2006).** Effect of salt stress on the regulation of maize (*Zea mays* L.) genes involved in polyamine biosynthesis. *Plant growth regulation*, 48(2), 175-185p.
96. **ROMANAZZI, G., & FELIZIANI, E. (2014).** *Botrytis cinerea* (gray mold). In *Postharvest decay* (pp. 131-146). Academic Press.
97. **SANMARTIN, N., SANCHEZ-BEL, P., PASTOR, V., PASTOR-FERNANDEZ, J., MATEU, D., POZO, M. J., ... & FLORS, V. (2020).** Root-to-shoot signalling in mycorrhizal tomato plants upon *Botrytis cinerea* infection. *Plant Science*, 110595.
98. **SANNAZZARO, A. I., ECHEVERRIA, M., ALBERTO, E. O., RUIZ, O. A., & MENENDEZ, A. B. (2007).** Modulation of polyamine balance in *Lotus glaber* by

- salinity and arbuscular mycorrhiza. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(1), 39-46p.
99. **SCHTIEPP H, DEHN B, STICHER H., 1987**, Interaktionen zwischen VA-Mykorrhiza und Schwermetallbelastungen. *Angew. Bot.* 61 85-96.
  100. **SCHÜBLER, A., SCHWARZOTT, D., & WALKER, C. (2001)**. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. *Mycological research*, 105(12), 1413-1421.
  101. **SCOTTI, I., MAGNI, F., FINK, R., POWELL, W., BINELLI, G., & HEDLEY, P. E. (2000)**. Microsatellite repeats are not randomly distributed within Norway spruce (*Picea abies* K.) expressed sequences. *Genome*, 43(1), 41-46.
  102. **SHANKARA N., JEUDE J. V. L., GOFFAU M., HILMI M., DAM B. V., 2005** – La culture de la tomate production, transformation et commercialisation. Ed. Prota, 105p.
  103. **SILVA-NETO, C. D. M., BERGAMINI, L. L., ELIAS, M. A. D. S., MOREIRA, G. L., MORAIS, J. M., BERGAMINI, B. A. R., & FRANCESCHINELLI, E. V. (2017)**. High species richness of native pollinators in Brazilian tomato crops. *Brazilian Journal of Biology*, 77(3), 506-513.
  104. **SIMARD, F. (2014)**. Stimulation de la synthèse des composés nutraceutiques et aromatiques dans les fines herbes et les légumes par les champignons mycorrhiziens à arbuscules. Th 110p.
  105. **SMITH, S. E., SMITH, F. A., & JAKOBSEN, I. (2003)**. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. *Plant physiology*, 133(1), 16-20p.
  106. **SNOUSSI S. A., 2010**- Etude de base sur la tomate en Algérie. Rapport de mission Programme régional de gestion intégré des ravageurs pour le Proche-Orient. Rome, 52 p.
  107. **SOUCHIE, E. L., AZCON, R., BAREA, J. M., SAGGIN-JUNIOR, O. J., & SILVA, E. M. R. D. (2006)**. Phosphate solubilization and synergism between P-solubilizing and arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(9), 1405-1411.
  108. **SOUCHIE, E. L., SAGGIN-JUNIOR, O. J., SILVA, E. M., CAMPELLO, E. F., AZCON, R., & BAREA, J. M. (2006)**. Communities of P-solubilizing bacteria, fungi and arbuscular mycorrhizal fungi in grass pasture and secondary

- forest of Paraty, RJ-Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(1), 183-193.
109. **STAATS, M., VAN BAARLEN, P., SCHOUTEN, A., & VAN KAN, J. A. (2007).** Functional analysis of NLP genes from *Botrytis elliptica*. *Molecular plant pathology*, 8(2), 209-214.
  110. **Steinkellner, S., Hage-Ahmed, K., Garc ía-Garrido, J. M., Illana, A., Ocampo, J. A., & VIERHEILIG, H. (2012).** A COMPARISON OF WILD-TYPE, OLD AND MODERN TOMATO CULTIVARS IN THE INTERACTION WITH THE ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGUS *GLOMUS MOSSEAE* AND THE TOMATO PATHOGEN *FUSARIUM OXYSPORUM F. SP. LYCOPERSICI*. *MYCORRHIZA*, 22(3), 189-194.
  111. **SUETSUGU, K., KAWAKITA, A., & KATO, M. (2014).** EVIDENCE FOR SPECIFICITY TO *GLOMUS* GROUP AB IN TWO ASIAN MYCOHETEROTROPHIC BURMANNIA SPECIES. *PLANT SPECIES BIOLOGY*, 29(1), 57-64.
  112. **SWIDERSKI, C., SABY, N., RATIE, C., JOLIVET, C., ARROUAYS, D., DEQUIEDT, S., & REDON, P. O. (2016).** Analyse de la diversité des sols et des micro-organismes telluriques à l'échelle d'un paysage: approche par cartographie numérique. *Etude et Gestion des Sols*, 23, 35-51.
  113. **TAO L., ZHIWEI Z, 2005.** Arbuscular mycorrhizas in a hot and aride ecosystem in southwest China. *Appl Soil Ecol*, 29 : 135-141.
  114. **TIBBETT, M., RYAN, M. & KERTESZ, M.A. (2012).** Rhizosphere 3: where plants meet soils down-under. *Plant Soil* 358, 1–5 <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1415-0>
  115. **TYNDALE, TYNDALE HOUSE PUBLISHERS – 2004.** LIVRE. AMAZON France 2007. Build : 20120424153021.
  116. **VAN DER HEIJDEN, M. G., MARTIN, F. M., SELOSSE, M. A., & SANDERS, I. R. (2015).** Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New phytologist*, 205(4), 1406-1423.
  117. **VEERAKONE, S., TANG, J. Z., WARD, L. I., LIEFTING, L. W., PEREZ-EGUSQUIZA, Z., LEBAS, B. S. M., ... & GUY, P. L. (2015).** A review of the plant virus, viroid, liberibacter and phytoplasma records for New Zealand. *Australasian Plant Pathology*, 44(5), 463-514.
  118. **VEERAKONE, S., TANG, J. Z., WARD, L. I., LIEFTING, L. W., PEREZ-EGUSQUIZA, Z., LEBAS, B. S. M., ... & GUY, P. L. (2015).** A review

- of the plant virus, viroid, liberibacter and phytoplasma records for New Zealand. *Australasian Plant Pathology*, 44(5), 463-514.
119. **VOLFIN, G., YAROM, N., ELAD, S., & VOLPIN, G. (2011).** The use of antibiotic prophylaxis prior to dental procedures for the prevention of prosthetic joint infection. *Refu'at ha-peh veva-shinayim* (1993), 28(2), 35-45.
120. **WANG, B., & QIU, Y. L. (2006).** Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16(5), 299-363.
121. **WILLIAMSON, B., TUDZYNSKI, B., TUDZYNSKI, P., & VAN KAN, J. A. (2007).** *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease. *Molecular plant pathology*, 8(5), 561-580.
122. **ZHU, P., ZHANG, C., XIAO, H., WANG, Y., TOYODA, H., & XU, L. (2013).** Exploitable regulatory effects of light on growth and development of *Botrytis cinerea*. *Journal of Plant Pathology*, 509-517.
123. **ZUBEK, S., STOJAKOWSKA, A., ANIELSKA, T., & TURNAU, K. (2010).** Arbuscular mycorrhizal fungi alter thymol derivative contents of *Inula ensifolia* L. *Mycorrhiza*, 20(7), 497-504.