



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences de la Nature et vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Protection des Végétaux

Réf. :

Présenté et soutenu par :
HOADJLI Mahmoud Abolkacem

Le : 27 juin 2022

Etude de la faculté suppressive d'un sol au *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* race 1, agent causal du Fusarium wilt sur tomate.

Jury :

M ^{me} . BEDJAOUI Hanane	M.C.B	Université Mohamed Khider de Biskra	Président
M. DJEKIREF Laâla	M.C.B	Université Mohamed Khider de Biskra	Rapporteur
M. HADJEB Ayoub	M.C.A	Université Mohamed Khider de Biskra	Examineur

Dédicace

Je dédie ce travail

A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection

A mon cher frère et mes chères sœurs, source de joie et de bonheur

A toute ma famille, source d'espoir et de motivation

A tous mes amis et mes enseignants

A vous cher lecteur

Remerciements

D'abord, nous remercions Allah, de nous avoir donné la force et la patience pour pouvoir mener ce travail à terme.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury, Madame BEDJAOUI Hanane et Monsieur HADJEB Ayoub, pour l'honneur que vous m'avez fait en acceptant de juger et d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent à Mr DJEKIRÈF Laâla Maître de conférence à l'université de Biskra, pour avoir accepté de m'encadrer et auprès de qui j'ai trouvé un soutien constant.

Toujours prêt à m'écouter, me guider, m'orienter et me motiver par ces conseils. Il n'a pas cessé tout au long de ce travail de me faire profiter de son expérience enrichissante.

Qu'il me soit également permis de remercier tout le personnel de la faculté des sciences agronomiques de l'université de Biskra et toutes les personnes ayant collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Liste des abréviations

°C : degré Celsius.

ANOVA : analyse de la variance.

BCA : Agent bio contrôle.

Cm : centimètre.

CDA : Czapek Dox Agar.

Co : Diamètre du témoin.

Cn : Diamètre du pathogène en présence de l'antagoniste.

EDS : Eau distillée stérile.

I (%) : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne.

f.sp. : forme spécial.

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations.

F.o.l : *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*

FORL : *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*

g : gramme.

min : minute.

ml. : millilitre.

PDA : Potato Dextrose Agar.

PGPR : Rhizobactéries favorisant la croissance des plantes.

PGPF : Champignons favorisant la croissance des plantes.

pH : potentiel Hydrogène.

sp. : Une espèce non déterminée du genre

YPG : Yeast-extract-Peptone-Glucose-Agar.

Liste des figures

Figure 01. Jaunissement et flétrissement des feuilles basses	p04
Figure 02. Coloration brun sombre visible en coupe longitudinale	p04
Figure 03. Coloration brun sombre visible en coupe transversale	p04
Figure 04. Cycle de vie du <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	p13
Figure 05. Technique de l'incorporation directe du sol (Soil plates).....	p24
Figure 06. Présentation schématique de la confrontation directe.	p26
Figure 07. Méthode de mesure des diamètres D1 et D2.....	p27
Figure 08. Quelques souches obtenues à partir du sol sur milieu PDA.	p29
Figure 09. Zone d'inhibition apparue lors de la confrontation directe (<i>F.o.l-</i> Antagoniste)	p30
Figure 10. Diagramme représentant le pourcentage d'inhibition	p31
Figure 11. Croisement apparue lors de la confrontation directe (<i>F.o.l-</i> Souche isolées).....	p33

Liste des tableaux

Tableau 01. Nombre de microorganismes isolés à partir du sol.	p28
Tableau 02. Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne de <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> « <i>F.o.l</i> » par confrontation directe avec les 36 microorganismes sélectionnés.	p32
Tableau 03. Analyse de la variance (Diamètre).....	Annexe II
Tableau 04. Coefficients d'ajustement (Diamètre).....	Annexe II
Tableau 05. Souche / Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Diamètre)	Annexe II
Tableau 06. Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Souche (Newman-Keuls (SNK))	Annexe II
Tableau 07. Groupement par le test Newman-Keuls (SNK)	Annexe II

TABLE DES MATIERES

- Liste des abréviations
- Liste des figures
- Liste des tableaux

Introduction.....p01

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

Pathologie

1. La flétrissure fusarienne (<i>Fusarium wilt</i>).....	p03
1.1. Les symptômes externes de la maladie.....	p03
1.2. Les symptômes internes de la maladie	p04
2. Les moyens de lutte	p05
2.1. La lutte culturale	p05
2.2. La lutte agronomique.....	p05
2.3. La lutte génétique	p05
2.4. La lutte intégrée	p05
2.5. La lutte biologique	p06
2.6. La lutte physique	p06
2.7. La lutte chimique.....	p06

Pathogène

1. Généralités sur le genre <i>Fusarium</i>	p07
2. Généralité sur l'espèce <i>Fusarium oxysporum</i>	p08
2.1. Les <i>Fusarium oxysporum</i> phytopathogènes	p09
2.2. Les races de <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	p10
2.3. Position taxonomique	p10
2.4. Position systématique	p11
2.5. Identification.....	p11
3. Le cycle de vie de <i>F. oxysporum</i>	p12
4. La position taxonomique de l'espèce <i>F. oxysporum</i>	p14

Biocontrôle et Sols résistants

1. Le bio-contrôle des maladies phytopathogènes	p15
2. Généralité sur les microorganismes antagonistes	p16
2.1. Effets bénéfiques des microorganismes antagonistes	p17
3. Les Rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes	p18
3.1. Définition de Rhizobacteria (PGPR)	p17
3.2. Biodiversité des PGPR dans la rhizosphère.....	p18
3.2.1 Les Rhizobia.....	p18
3.2.2 Les PGPR diazotrophes	p18
3.2.3 <i>Bacillus</i>	p18
3.2.4 <i>Pseudomonas</i>	p19
4. Sols résistants	p19
4.1. Type de résistance	p19
4.2. Origines de la résistance	p21

CHAPITRE II : Matériel et méthodes

1. Matériel.....	p22
1.1. Appareillage.....	p22
1.2. Verrerie.....	p22
1.3. Autres matériels	p22
2. Milieux de culture	p23
2.1. Milieux d'isolement et de purification	p23
2.2. Milieux d'isolement, de purification et de conservation des rhizobactéries.....	p23
3. Méthodes.....	p23
3.1. Obtention de l'agent pathogène	p23
3.2. Agents antagonistes.....	p23
3.2.1. Prélèvement et préparation des échantillons des sols rhizosphériques.....	P23
3.2.2. Isolement des antagonistes	p24
3.2.3. Purification et conservation des isolats	p24
4. Test de l'activité antagoniste <i>in vitro</i>	p25
4.1. Confrontation par contact directe sur milieu de culture	p25
4.2. Evaluation du taux d'inhibition	p26
5. Analyse statistique des données	p27

CHAPITRE III : Résultats et discussion

I. Résultats	p28
I.1. Isolement des agents antagonistes.....	p28
I.2. Test de l'activité antifongique <i>in vitro</i>	p29
II. Discussion	p35
Conclusion et perspectives.....	p37
– Références Bibliographiques	
– Annexe I	
– Annexe II	
– Résumé	

En Algérie, la culture de la tomate occupe une place privilégiée dans le secteur socio-économique, elle considérée comme l'une des cultures prioritaires avec une superficie totale avoisinant les 22646 hectares (FAO, 2014). Bien qu'estimée à 1065609 tonnes et 47.05 t/ha, la production reste inférieure comparée aux autres pays du pourtour méditerranéen, cela est dû en partie à plusieurs maladies, cryptogamiques notamment telles que les fusarioses.

Les fusarioses sont des maladies fongiques courantes qui affectent les végétaux. Une enquête menée par « The American phytopathological society » a révélé que sur les 101 cultures à intérêt économique, 81 d'entre elles sont attaquées par un ou plusieurs champignons appartenant au genre *Fusarium*. Les symptômes induits par les espèces de *Fusarium*, tout comme leur gravité, sont très variés. Ces derniers provoquent des pourritures de racines ou de tiges, des chancres, des flétrissements, des pourritures de fruits ou de semences ou bien des maladies foliaires. (Leslie et Summerell, 2006).

Parmi ces fusarioses, la flétrissure fusarienne (*Fusarium wilt*) causée par (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*), engendre des pertes de rendements considérables sur la culture de la tomate en conditions optimales de développement du pathogène. Ce champignon a la particularité de se développer en saprophyte dans le sol.

Ainsi, l'orientation des recherches vers l'application de stratégies de lutte, qui s'avèrent plus efficaces et plus respectueuses de l'environnement, semble plus que nécessaire. Parmi ces stratégies ciblées les sols suppressifs qui inhibent ce genre de fusarioses.

Les agents antagonistes peuvent constituer l'un des outils de la lutte biologique contre les maladies cryptogamiques de la tomate.

De nombreux travaux ont mentionné l'activité inhibitrice des microorganismes contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Hibar *et al.*, 2005). Sur le terrain, des formulations à base de souches de *pseudomonas* spp. fluorescents ont longtemps été appliquées en lutte biologique contre les maladies des plantes (Ranasingh *et al.*, 2006).

Dans le présent travail, nous avons fixé comme objectif le test du pouvoir antagoniste de plusieurs microorganismes isolés à partir d'un sol rhizosphérique du sud-ouest algérien. En second lieu, l'identification des isolats antagoniste prévus.

Ce travail a pour finalité de contribuer à la mise en service de microorganismes antagonistes comme agents de lutte biologique.

A cet effet notre étude sera structurée en trois parties :

- Une partie bibliographique comprend trois chapitres qui présentent des informations compilées sur la maladie, son agent causal et certains concepts sur le biocontrôle et les sols suppressifs.
- Une deuxième partie qui porte sur l'expérimentation et la méthodologie appliquées pour l'atteinte de nos objectifs.
- La troisième partie expose les résultats obtenus et leur interprétation.
- Et enfin une conclusion et perspectives.

Du semis jusqu'à la récolte, la tomate peut être sujette à plusieurs maladies dont deux maladies fusariennes différentes : la flétrissure fusarienne (*Fusarium wilt*) ou fusariose vasculaire causée par la forme spéciale *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (F.o.l) et la pourriture des racines et du collet (*Fusarium crown and root rot*) causée par la forme spéciale *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) (Armstrong et Armstrong 1981; Steinkellner *et al.*, 2005).

1. La flétrissure fusarienne (*Fusarium wilt*)

La flétrissure fusarienne est une maladie dévastatrice pour les cultures de tomate partout dans le monde, elle est causée par *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Walker, 1971).

Apparue pour la première fois dans les îles de la Manche vers 1895, la fusariose vasculaire de la tomate sévit depuis de nombreuses années aux U.S.A, en Europe, au sud de l'Italie et en Afrique du Nord (Walker, 1971 ; Latterot *et al.*, 1988).

Ce champignon terricole qui pénètre dans la plante par les racines envahit les tissus ligneux et provoque le jaunissement, la flétrissure puis la mort de la plante (Blancard, 1997).

Néanmoins, dans la mesure où il existe aujourd'hui de nombreuses variétés résistantes au *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici*, ce pathogène ne représente plus un grand danger pour la culture de la tomate.

1.1. Les symptômes externes de la maladie

La flétrissure fusarienne évolue très rapidement, les parties des limbes touchés flétrissent comme par manque d'eau, c'est le flétrissement rapide (Quick wilt). Les feuilles asséchées gardent leur chlorophylle et apparaissent avec un aspect gris verdâtre (Laterrot *et al.*, 1978).

Il s'ensuit un jaunissement puis une nécrose d'une partie ou de la totalité du limbe avec des éclaircissements au niveau des nervures. L'atteinte des feuilles se fait progressivement de bas en haut ce qui fait que les feuilles se trouvant à la base de la plante sont déjà mortes (Messiaen, 1981 ; Gindrat, 1975).

Au niveau de la tige de la plante atteinte, apparaît une dépression longitudinale qui part du collet puis remonte unilatéralement. Les tissus au niveau de la dépression sont de couleur brune (Booth, 1971).

D'autres symptômes peuvent parfois apparaître tels que l'inclinaison et la courbure progressive vers le sol des pétioles et des limbes (épinastie), le ralentissement de la croissance et la formation de bourrelets adventives sur la tige (Laterrot *et al.*, 1978).

1.2. Les symptômes internes externes de la maladie

Une coupe longitudinale au niveau de la tige des plantes atteintes, présente dans la partie ligneuse et adjacente au cortex vert, montre une coloration brune sombre des tissus conducteurs. Des coupes transversales laissent apparaître également des tissus bruns foncés contenant souvent des fragments mycéliens.



Figure 01. Jaunissement et flétrissement des feuilles basses (Blancard, 2009).



Figure 02. Coloration brun sombre visible en coupe longitudinale (Agrios, 2005).



Figure 03. Coloration brun sombre visible en coupe transversale (Blancard, 2009).

2. Les moyens de lutte

Les méthodes de lutte appliquées pour le contrôle des fusarioses sont généralement limitées, comme c'est le cas pour l'ensemble des maladies parasitaires vasculaires.

Il n'existe actuellement aucun moyen réellement efficace pour contrôler totalement ces maladies, les mesures de contrôle demeurent dans leur globalité d'ordre préventif (Rouxel *et al.*, 1979).

2.1. La lutte culturale

La rotation des cultures demeure une bonne prévention contre certaines maladies des racines. Le déchaumage, les dates optimales de semis, les conditions de labour ainsi que l'élimination des mauvaises herbes, permettent de lutter contre certains champignons nuisibles. (Semal, 1989 ; Minaud et Pelossier, 1979 ; Bovey, 1972).

2.2. La lutte agronomique

Elle est considérée comme la plus pratique, elle consiste à stopper la culture de la plante qui héberge le *Fusarium* pendant plusieurs années, ainsi l'arrêt de l'exploitation des champs garantit l'apparition des chlamydospores.

2.3. La lutte génétique

Elle consiste à introduire des gènes de résistance au niveau des plantes appelées plantes trans-génétiques. Ces gènes sont responsables de la synthèse de protéines capables d'éliminer le parasite. Cependant, cette technique fut inefficace car elle a été à l'origine de l'apparition de races plus virulentes (Henni, 1998).

2.4. La lutte biologique

Des méthodes alternatives, notamment celles qui se basent sur l'exploitation des potentialités microbiennes antagonistes ont fait l'objet de plusieurs études. Parmi les microorganismes expérimentés avec succès, à l'égard des maladies d'origine tellurique, les *Pseudomonas* spp. fluorescents et les *Fusarium* non pathogènes qui occupent une place de choix (Armstrong et Armstrong, 1981 ; Rouxel *et al.*, 1979 ; Benchabane, 2005).

Aujourd'hui, il a été démontré que des souches de *F. oxysporum* non-pathogènes pour une espèce végétale peuvent entrer en compétition pour les nutriments ou la colonisation racinaire avec des souches de *F. oxysporum* pathogènes (Alabouvette *et al.*, 1998 ; 2006). Ainsi, l'activité infectieuse des formes spéciales de *F. oxysporum* peut-être limitée par cette compétition.

2.5. La lutte physique

Anchisi *et al* en 1985 ont utilisé un traitement à l'eau chaude pour protéger les plants dans un sol où la maladie est présente. La technique consiste à traiter les racines des plants avec de l'eau entre 48 et 49°C pendant 30 secondes avant de les transplanter, cela stimule la croissance des racines. La taille des racines procure ainsi une protection contre la maladie. La stérilisation ou la solarisation ne sont pas des solutions efficaces à long terme (Corbaz, 1990).

2.6. La lutte chimique

Elle est efficace mais présente beaucoup d'effets néfastes, elle se fait par une désinfection du sol à l'aide de fongicides. Les fongicides les plus usités reste le triazole et ces dérivés qui sont des composés très actifs grâce à leur noyau qui possède une activité pharmacologique, antibactérienne, antifongique et hypoglycémique (Hamoir *et al*, 2001).

2.7. La lutte intégrée

C'est la combinaison de toutes les techniques précédentes afin de lutter contre les phytopathogènes pour une longue durée. Ces méthodes ne sont efficaces que si l'on a une meilleure connaissance des mécanismes qui sont à l'origine des interactions entre la plante et l'agent pathogène (Corbaz, 1990).

1. Généralités sur le genre *Fusarium*

Le genre *Fusarium* a été introduit par Link en 1809, ce dernier traverse son troisième siècle comme l'un des genres comprenant de nombreux champignons qui peuvent causer directement des maladies chez les plantes, chez les humains ou bien chez les animaux domestiques (Boonpasart *et al.*, 2002 ; Krcmery *et al.*, 1997 ; Martino *et al.*, 1994 ; Rabodonirina *et al.*, 1994 ; Rebell, 1981 ; Vismer *et al.*, 2002).

Le taux de mortalité chez les humains à cause des infections systémiques à *Fusarium* est inférieur à 70% (Krcmery *et al.*, 1997) et les patients séropositifs sont plus exposés à de telles infections (Eljaschewitsch *et al.*, 1996 ; Guarro *et al.*, 2000).

En outre, les espèces de *Fusarium* produisent des métabolites secondaires qui sont associés à des maladies de plantes, à des cancers et à des problèmes de croissance chez les humains et chez les animaux domestiques. Certains de ces métabolites secondaires sont utilisés soit directement, soit comme produit de départ dans l'industrie chimique pour la synthèse des promoteurs de croissance chez les végétaux et chez les animaux (Hidy *et al.*, 1977 ; Shukla *et al.*, 2003, Tomasini *et al.*, 1997).

Des allégations de l'utilisation des mycotoxines produites par certains de ces champignons comme armes biologiques ont été également faites (Heyndrickx *et al.*, 1989 ; Mirocha *et al.*, 1983 ; Rosen *et al.*, 1983).

En effet, des épidémies de toxicoses à *Fusarium* touchant directement les humains se sont produites à Athènes au V^{ème} siècle av JC et en union soviétique pendant la deuxième guerre mondiale. Ainsi, *Fusarium* a toujours été visible par ses espèces et ses métabolites dont l'importance transcende à la fois la science et l'agriculture.

Cependant, l'identification de la souche présente dans un échantillon de plante malade, au niveau de l'espèce et parfois plus loin, reste une tâche importante dans de nombreux diagnostics de laboratoires.

Depuis les années 1980, le nombre d'espèces identifiées a augmenté progressivement pour atteindre les 80 espèces et avec l'évolution des techniques de la biologie moléculaire, ce nombre risque d'augmenter de façon considérable au cours des années à venir (Leslie et Summerell, 2006).

2. Généralité sur l'espèce *Fusarium oxysporum*

Dans le genre *Fusarium*, l'espèce *Fusarium oxysporum* est la plus répandue dans le monde, elle peut être retrouvée dans la plupart des sols : arctiques (Kommedahl, *et al.*, 1988), tropicales, désertiques (Mandeel *et al.*, 1995), cultivés ou non (Mc Mullen et Stack, 1984). Elle peut également être dispersée par les insectes (Gillespie et Menzies, 1993) et récupérée à partir d'algues marines (Granchinho *et al.*, 2002).

F. oxysporum est également l'une des espèces les plus importantes du point de vue économique compte tenu de ses nombreux hôtes et du niveau des dégâts qu'elle peut entraîner. En effet, les formes spéciales de *F. oxysporum* sont des agents pathogènes vasculaires provoquant souvent le flétrissement vasculaire, la fonte de semis et les pourritures racinaires (Nelson *et al.*, 1983).

Ce champignon survit dans le sol en forme de chlamydospores dormantes et immobiles jusqu'à la stimulation de la germination par des substrats organiques ou par des exsudats racinaires. Suite à la germination, il y a formation d'un mycélium et si les conditions sont favorables, le thalle produit des conidies (Agrios, 2005).

Les caractéristiques morphologiques typiques de *F. oxysporum* mettent en évidence : la production de microconidies en fausses têtes sur des monophialides courts portés par les hyphes, la production de chlamydospores, la forme des macroconidies et des microconidies.

Le nombre et la morphologie des macro- et microconidies formés peuvent être modifiés par des mutations sur un seul gène (Ohara *et al.*, 2004 ; Ohara et Tsuge, 2004).

Les isolats de *F. oxysporum* sont difficiles à distinguer de ceux de *F. solani* et *F. subglutinans*. *F. solani* produit des microconidies en fausses têtes sur de très longs monophialides formée sur les hyphes, tandis que *F. subglutinans* se distingue de *F. oxysporum* par l'absence de chlamydospores et par la production de microconidies sur des polyphialides.

Cependant, les polyphialides sont difficiles à rencontrer chez certains isolats de *F. subglutinans*, et les chlamydospores sont parfois produites lentement chez certains isolats de *F. oxysporum* (Leslie et Summerell, 2006).

2.1. Les *Fusarium oxysporum* phytopathogènes

Parmi ces champignons telluriques, une espèce ubiquiste nommée *Fusarium oxysporum* est retrouvée dans tous les types de sols (Burgess, 1981). Ce champignon filamenteux décrit par Snyder et Hansen en 1940, appartient à la famille des Tuberculiacées (classe des Hyphomycètes).

Ce champignon a la capacité de provoquer des maladies sur de nombreuses espèces végétales cultivées, d'intérêt économique (Armstrong et Armstrong, 1981). En effet, certaines souches de *F. oxysporum* sont dites pathogènes et engendrent des fusarioses (trachéomyose, nécrose, fonte de semis) sur des plantes hôtes.

Ces souches pathogènes ont une grande spécificité d'hôte et sont ainsi regroupées en formes spéciales (Armstrong et Armstrong, 1981). D'autres souches sont dites non pathogènes car leur effet pathogène n'a encore été observé chez aucune espèce végétale.

Les *Fusarium oxysporum* comprennent un ensemble très diversifié de formes plus ou moins spécialisées (Dommergues et Mangenot, 1970). Cette forme spéciale (*forma specialis*, f.sp) présente une virulence particulière pour telle ou telle plante (Messiaen et Cassini, 1968 ; Snyder et Hansen, 1945).

Les formes spécialisées de *Fusarium oxysporum* s'attaquent à la plupart des plantes cultivées mono et dicotylédones (El Modafar, 1994).

Certaines formes spéciales ne présentent plus de réel problème agronomique, c'est le cas de la forme spéciale *lycopersici*, pour laquelle la plupart des variétés de tomate cultivées sont résistantes, des variétés sensibles sont toujours cultivées dans de nombreux pays, notamment en Afrique du Nord comme l'Algérie où, pour des raisons économiques, ces variétés sont utilisées.

Par contre, il existe toujours des problèmes causés par *F.oxysporum* f.sp *radicis lycopersici*, responsable de pourriture racinaire sur la tomate dans de nombreux pays du bassin méditerranéen (Utkhede, 2006).

Néanmoins, il existe certaines souches dites non pathogènes, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas de pouvoir pathogène connu ou ne sont pas pathogènes pour l'espèce végétale considérée.

2.2. Les races de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*

Trois races de *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici* ont été répertoriées. Elles se distinguent entre elles par leur degré de virulence vis-à-vis des différents cultivars de tomate.

La race 1 a été initialement décrite en 1886 (Booth, 1971), la découverte d'un gène de résistance par Bohn et Tucker en 1939 (Elocy, 1972 ; Beckman *et al.*, 1988) et son introduction dans de nombreuses variétés de tomates a permis de limiter l'incidence de cette première race dite 1.

La race 2 est apparue pour la première fois en 1945 à l'Ohio aux U.S.A (Alexander et Tucker, 1945 ; Randall, 1980), puis au Maroc (Pecault et Laterrot, 1966), en Tunisie (Davet, 1967), au Moyen orient (Walker, 1971), aux Pays Bas (Hubbeling et Dimond, 1972), en Grande Bretagne (Gabe et Kright, 1973), en République Sud-Africaine (Holtz, 1976) et aussi en Italie en 1999 (Stravato, 1999).

La race 3 a été observée en Australie en 1978 (Grattidge et O'Brien, 1982) et a été successivement rapportée aux Etats unis : en Californie (Davis *et al.*, 1988), Floride (Volin et Jones, 1982), Géorgie (Chellemi, 1992), Arkansas et Nord Carolina (Marlatt *et al.*, 1996) et au Tennessee (Bost, 2001). Elle a également été retrouvée au Mexique (Valenzuela-Ureta *et al.*, 1996) et au Brésil (Reis, 2005).

Actuellement, peu de cultivars résistants à la race 3 sont commercialisés (Jones *et al.*, 1991).

2.3. Position taxonomique

Les nombreuses controverses dans les études taxonomiques du genre *Fusarium* ont peu concerné l'espèce *F.oxysporum*. En effet, (Snyder et Hansen, 1940) ont montré que les différences morphologique décrits par (Wollenweber et Reinking, 1935) pour distinguer plusieurs espèce dans la section Elegans n'étaient que des variation culturelles d'une même espèce, appelée *F.oxysporum* . La plupart des système taxonomiques proposés ultérieurement ont maintenu *F.oxysporum* comme espèce unique dans la section Elegans. La seule controverse qui subsiste concerne la position taxonomique de *F. redolens*, considérée comme une espèce (Wollenweber et Reinking ,1935) ou comme une variété de *F.oxysporum* (Booth,1971) . Cependant, des données Récentes tendent à définir *F.redolens* comme une espèce à part entière (Baayen *et al.* , 1997).

2.4. Position systématique

Actuellement et grâce à l'utilisation des techniques de la biologie moléculaire, la systématique de *Fusarium oxysporum* a considérablement évolué. Il est classé parmi les Ascomycète bien que le stade sexuel reste inconnu. *Gibberella* qui est le groupe téléomorphe. le plus étroitement apparenté est classé dans la catégorie des pyrénomycètes (Di Pietro *et al.*, 2003).

- Règne *Fungi*
- Division *Ascomycota*
- Classe *Hymenoascomycètes*
- Sous-classe *Pyrenomycetideae*
- Ordre *Hypocreales*
- Famille *Nectriaceae*
- Genre *Fusarium*
- Espèce *Fusarium oxysporum*
- Téléomorphe *Gibberella (Sacco.)*

2.5. Identification et caractérisation du F.o.l

Les mycéliums de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder et Hans (2003) sont délicatement blancs à roses, souvent avec une teinte pourpre, et sont clairsemés à abondants. Le champignon produit trois types de spores: les microconidies (B), les macroconidies (C) et les chlamydospores (D). Les microconidies sont portées sur des phialides simples apparaissant latéralement et sont abondantes, ovales-ellipsoïdes, droites à incurvées, de 5-12 x 2,2-3,5 µm et non réagies. Les macroconidies, clairsemées à abondantes, sont portées sur des conidiophores ramifiés ou à la surface des sporodochies et sont à parois minces, trois à cinq-septées, fusoides-subulées et pointues aux deux extrémités, ont une base pédicellée. Les conidies à trois cloisons mesurent 27- 46 x 3-5 µm tandis que les conidies à cinq fentes mesurent 35-60 x 3-5 µm. Les spores à trois cloisons sont plus communes. Les chlamydospores, à la fois lisses et à parois rugueuses, sont abondantes et forment des terminaisons ou des intercalaires. Ils sont généralement solitaires, mais se forment parfois en paires ou en chaînes. Aucune étape parfaite n'est connue

3. La position taxonomique de l'espèce *F. oxysporum*

La taxonomie au sein du genre *Fusarium* a connue énormément de changement pendant les 100 dernières années. Les bases de la systématique moderne ont été mises au point par Wollenweber et Reinking (1935) grâce à un système à 65 espèces, 55 variétés et 22 formes, rassemblées en 16 sections et 06 sous-sections.

Snyder et Hansen (1940, 1954) ont simplifié la classification au sein du genre *Fusarium* pour ne retenir que 09 espèces à savoir : *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. moniliforme*, *F. roseum*, *F. lateritium*, *F. tricinctum*, *F. nivale*, *F. rigidiuscula*, et *F. episphaeria*.

Gordon (1944, 1960) en examinant des espèces de *Fusarium* isolées à partir de plusieurs substrats et environnements a développé une approche taxonomique basée sur les travaux de Wollenweber et Reinking et les études de Snyder et Hansen avec la description de la forme téléomorphe.

Messiaen et Cassini (1959, 1968) ont à leur tour développé un système en s'appuyant sur les travaux de Snyder et Hansen et en utilisant beaucoup plus les cultivars pour désigner la spécificité des espèces vis-à-vis des plantes hôtes.

D'autres systèmes taxonomiques basé sur les travaux de Wollenweber et Reinking ont été suggérés, notamment ceux de Raillo (1935), Gordon (1952, 1960, 1965), Booth (1971, 1975, 1981) et Gerlach (1970, 1977, 1981).

Toussoun et Marasas (1983) ont élaboré le premier manuel d'identification pour le genre *Fusarium*, ce guide est devenu très populaire grâce à sa simplicité et aux informations utiles qu'il a fourni sur l'isolement et la culture des espèces de *Fusarium* avec d'excellentes figures en couleur qui permettent la distinction des variations de la pigmentation.

Leslie et Summerell (2006) ont traité 152 espèces de *Fusarium* dans un manuel d'identification contenant des techniques de caractérisation plus modernes et plus précises.

De nos jours, plusieurs espèces de *Fusarium*, longtemps classées dans l'embranchement des Deutéromycètes (champignons imparfaits), classe des *Hyphomycètes*, ordre des *Hyphales* et famille des *Tuberculariacées*, sont actuellement considérées comme les formes asexuées (anamorphes) de plusieurs genres d'Ascomycètes.

C'est le cas de l'espèce *Fusarium oxysporum* qui est la forme anamorphe du genre *Gibberella*, classé dans l'embranchement des Ascomycètes, classe des *Sodariomycètes*, ordre des *Hypocréales* et famille des *Nectariacées*, cette dernière renferme d'autres genres tels que : *Haematonectria*, *Ilyonectria*, *Nectria* et *Neonectria* (Di Pietro *et al.*, 2003 ; Michielse et Rep, 2009).

4. Le cycle de vie de *F. oxysporum*

Les *F. oxysporum* ne sont pas des parasites obligatoires, en absence de la plante hôte, ils mènent une vie de saprophyte sur des débris végétaux et des matières organiques. Les isollements effectués indiquent qu'un gramme de sol peut renfermer près de 100.000 propagules ou les *F. oxysporum* représentent 80 à 90% de la population fusarienne totale de la rhizosphère (Correll *et al.*, 1986).

Ces champignons persistent dans le sol principalement sous forme de spores de résistance (chlamydospores) en état de dormance (Booth, 1971). En contact de l'hôte et une fois les conditions favorables le cycle se déroule comme suit (figure 12) :

- Les chlamydospores germent et les jeunes filaments pénètrent les racines au niveau des blessures ou des ouvertures naturelles ;
- Après pénétration dans la cellule épidermique, le mycélium se ramifie et colonise toutes les cellules avoisinantes ;
- Les hyphes mycéliens progressent à l'intérieur des cellules puis colonisent le cortex, arrivé au niveau du cylindre central, le parasite s'installe dans les vaisseaux du xylème d'où il se propagera dans la tige par l'intermédiaire des microconidies aisément véhiculées par la sève dans toutes les parties de la plante ;
- A la surface des feuilles, se forment des organes fructifères appelés sporodochies qui produisent des macroconidies qui vont à leur tour contaminer d'autres plantes lorsqu'elles sont transportées par le vent, par l'eau ou bien par l'intermédiaire des insectes (El Mahjoub, 1979).

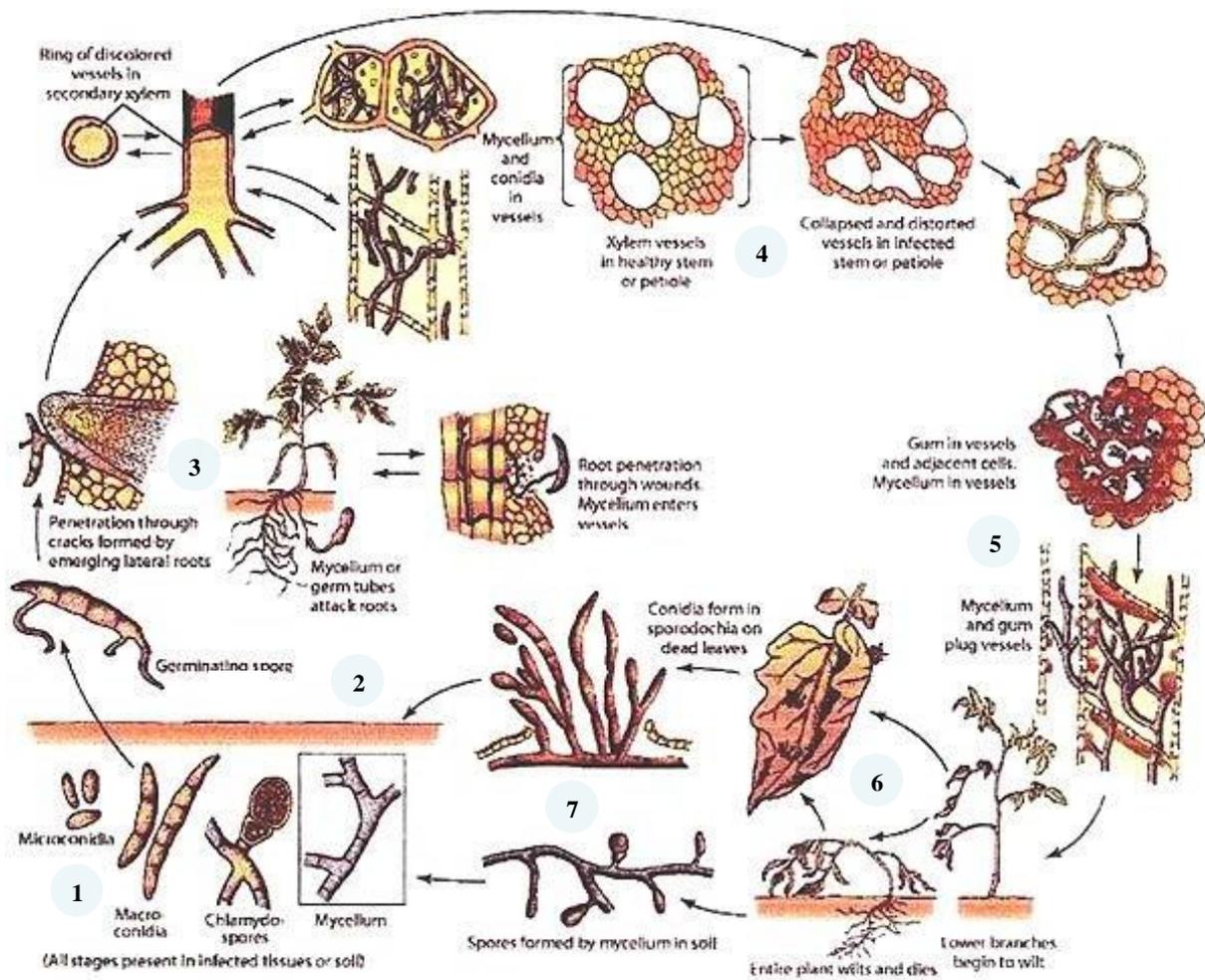


Figure 04. Cycle de vie du *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Agrios, 2005).

- 1- Conidies, chlamydo-spores ou mycélium vivant dans le sol ;
- 2- Germination des spores ;
- 3- Pénétration du tube germinatif à l'intérieur des racines ;
- 4- Invasion des vaisseaux par les conidies et/ou mycélium ;
- 5- Production de gomme à l'intérieur des vaisseaux ;
- 6- Flétrissement et mort de la plante ;
- 7- Sporodochies ou mycélium produisant des conidies.

1. Le biocontrôle des maladies phytopathogènes

D'après la définition de Cook et Baker (1983), la lutte biologique consiste à réduire la densité d'un agent pathogène et/ou l'activité de celui-ci (le potentiel infectieux) en mettant en œuvre un ou plusieurs organismes autres que l'homme.

Dans le sens écologique strict, l'application de la lutte biologique peut être considérée comme une stratégie pour restaurer la biodiversité dans les agroécosystèmes par l'addition des antagonistes naturels (parasite ou prédateur) (Altieri, 1999 ; Nautiyal *et al.*, 2000, *in* Aouar, 2012).

La lutte biologique a une efficacité relative et demande plus de connaissances et d'observations, mais à long terme, elle est beaucoup plus intéressante sur le plan environnemental et économique (Toussaint, 1996). En effet, la possibilité de rendre un sol suppressif à une maladie en y introduisant des microorganismes s'avère très prometteuse, surtout à une époque où les traitements phytosanitaires à base de produits chimiques de synthèse suscitent une méfiance de plus en plus grande (Lugtenberg *et al.*, 1991). Les traitements chimiques tels que les fongicides donnent de bons résultats à court terme, mais à long terme leur accumulation ou l'accumulation de leurs résidus dans l'environnement représente un danger qu'on ne peut plus négliger (Toussaint, 1996).

En plus de son rôle dans la restauration de la biodiversité dans les écosystèmes, la lutte biologique présente un rôle important dans le contrôle des maladies phytopathogènes. Emmert et Handelsman (1999) affirment que la lutte biologique peut être aussi efficace dans le contrôle des maladies phytopathogènes que l'utilisation des fongicides chimiques.

L'utilisation de microorganismes fait partie des alternatives prometteuses à l'emploi des fongicides, de par l'ubiquité de ces microorganismes, leur grande diversité et leur dissémination dans les sols rhizosphériques (Berg *et al.*, 2005).

La réussite de la lutte biologique nécessite l'application d'un agent de biocontrôle efficace. L'efficacité est notamment liée à l'utilisation de plusieurs modes d'action (Cook, 1993 ; Benbrook *et al.*, 1996) et à la capacité de l'agent de lutte biologique à coloniser et à s'installer dans le milieu rhizosphérique des plantes (Singh *et al.*, 2003).

Ce paramètre correspond à la compétence rhizosphérique. Cette dernière réside dans l'adaptation de l'agent antagoniste aux conditions biotiques et abiotiques du sol. L'agent aussi doit être doté d'une capacité à coloniser les racines de la plante hôte (Whipps, 2001). En plus de cette compétence, l'agent de bio contrôle doit disposer de divers mécanismes de lutte biologique lui permettant d'inhiber le développement de l'agent phytopathogène et de réduire ainsi l'incidence de la maladie qu'il provoque (Errakhi, 2008).

La plupart des souches bactériennes exploitées comme bio pesticides appartiennent aux genres *Agrobacterium*, *Bacillus* et *Pseudomonas* (Haas et Defago 2005).

Beaucoup de recherches se sont concentrées sur ces deux derniers types de bactéries parce qu'ils sont des habitants communs de la rhizosphère et possèdent une grande activité dans le contrôle biologique des maladies d'origines telluriques. Ils ont aussi la capacité de produire de nombreux antibiotiques, et ils sont facilement manipulables. De plus, les *bacillus* offrent un avantage par rapport aux autres bactéries en raison de leur capacité à former des endospores résistantes aux conditions défavorables du milieu (Raaijmakers *et al.*, 2002).

2. Généralité sur les microorganismes antagonistes

Depuis plus d'un siècle, la compréhension des interactions plantes microorganismes dans la rhizosphère a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs. Hiltner (1904) fut le premier à définir la rhizosphère comme étant la zone de sol entourant la racine qui est directement ou indirectement influencée par cette dernière et qui présente une forte activité microbienne. La rhizosphère est le siège de nombreuses interactions entre les plantes et les divers microorganismes associés.

La densité des populations de la microflore associée aux racines est significativement plus élevée dans la rhizosphère que dans le sol nu. Ces modifications quantitatives de la microflore, ou 'effet rhizosphère', s'accompagnent également de modifications qualitatives. En effet, la diversité et la structure des communautés microbiennes dans la rhizosphère (Cardon *et al.*, 2006) et leur activité métabolique diffèrent de celles du sol nu. Les populations aptes à percevoir les variations de l'environnement rhizosphérique et à adapter leur physiologie, tirent profit de la perturbation et sont favorisées. Les composés organiques exsudés par les plantes dans la rhizosphère activent différents groupes de microorganismes et augmentent leur prolifération (Bais *et al.*, 2004).

La microflore rhizosphérique est naturellement constituée d'un assemblage complexe de microorganismes procaryotes et eucaryotes (Cardon *et al.*, 2006). Parmi ces microorganismes telluriques, certains champignons appelés PGPF (champignons promoteurs de la croissance des plantes) et bactéries PGPR (rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes) pouvant être bénéfiques, en stimulant la croissance des plantes comme ils peuvent assurer un effet de bio contrôle en induisant une résistance systémique contre de multiples parasites. La croissance, la santé des plantes et leur diversité sont donc influencées par la diversité des populations microbiennes présentes dans la rhizosphère (Lemanceau *et al.*, 2006).

La réduction ou l'élimination des applications des pesticides de synthèse dans l'agriculture est hautement désirée. L'un des moyens les plus promoteurs pour atteindre ce but est l'utilisation des méthodes basées sur les agents de bio contrôle (BCAs), ou leur intégration avec les produits chimiques pour réduire les doses afin de minimiser leur impact négatif sur l'environnement (Harman *et al.*, 2004).

Afin d'optimiser les interactions favorables à la croissance et à la santé des plantes et développer des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement et moins consommatrices d'intrants de synthèse, il est nécessaire de mieux connaître les mécanismes d'interactions entre les plantes et les microorganismes de la rhizosphère. Actuellement, l'utilisation de microorganismes pour améliorer la croissance et la santé des plantes repose principalement sur l'inoculation. La variabilité des résultats obtenue par l'utilisation d'organismes vivants est souvent supérieure à celle obtenue par l'application de produits de synthèse. De meilleures connaissances des mécanismes d'interaction plantes microorganismes permettraient d'envisager de développer des pratiques autres que l'utilisation d'inoculant, comme par exemple, favoriser des populations déjà présentes dans la rhizosphère et qui sont bénéfiques pour les plantes.

2.1. Effet bénéfiques des microorganismes antagonistes

En plus des effets bénéfiques assurés dans les interactions directes avec les agents pathogènes des plantes, certains BCA (bio control agent) sont capables de coloniser les surfaces des racines et causent des changements substantiels dans le métabolisme de la plante. Il est mentionné que certaines souches peuvent promouvoir la croissance de la plante, augmenter la disponibilité des nutriments, améliorer la production et augmenter leur résistance aux maladies (Harman *et al.*, 2004).

3. Les Rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes

3.1. Définition de Rhizobacteria (PGPR)

Le terme PGPR provenant de l'anglais « Plant Growth Promoting Rhizobacteria » désigne les bactéries qui exercent un effet bénéfique sur la croissance et le développement des plantes par différents moyens (BENDJIDA *et al.*, 2019). Les rhizobactéries sont des bactéries qui présentent l'aptitude à coloniser les racines de façon intense (SCHROTH et HANCOCK., 1981., 1982). Les bactéries non symbiotiques répondant à cette définition appartiennent à différents genres et espèces dont les plus étudiés sont : *Agrobacterium radiobacter*, *Azospirillum spp*, *Bacillus spp*, *Pseudomonas spp* fluorescents (LEMANCEAU., 1992).

3.2. Biodiversité des PGPR dans la rhizosphère

3.2.1. Les Rhizobia

La mise en place d'une interaction non spécifique des Rhizobia avec les racines des plantes non légumineuses a favorisé les espèces de ce genre de devenir des PGPR, outre leurs activités fixatrices de l'azote atmosphérique, les Rhizobia contribue considérablement à l'amélioration de la disponibilité des phosphates pour la plante par mobilisation de formes organiques et inorganiques. Elles peuvent produire des phytohormones, des sidérophores et de l'H₂CN, avec la capacité de coloniser les racines de plusieurs types de plantes non légumineuses. Les Rhizobia ont manifesté un grand intérêt lors de leur utilisation comme agents de bio-control. (Antoun et Prevost., 2005).

3.2.2. Les PGPR diazotrophes

Les bactéries libres fixatrices d'azote sont utilisées pour la stimulation de la croissance des plantes. La disponibilité d'une source d'énergie pour l'établissement du processus de fixation de l'azote constitue une principale limitation, compensée par le rapproche vers l'intérieur de la plante. *Azoarcus sp.*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum sp.* et *Azotobacter sp.* forment un groupe bactérien non symbiotique fixateur d'azote. (Ahmad *et al.*, 2008)

3.2.3. *Bacillus*

Certaines espèces de genre *Bacillus* sont des diazotrophes, notamment *B. subtilis*, isolée à partir des rhizosphères de diverses plantes à des concentrations supérieures à 10⁷ bactéries par gramme de sol rhizosphérique (Antoun et Prevost., 2005).

3.2.4. *Pseudomonas*

Les *Pseudomonas*, et notamment les *Pseudomonas* fluorescents, sont des bactéries ubiquistes, rencontrées souvent dans les sols, classées comme étant les meilleurs candidats PGPR (Mekahlia *et al.*, 2020). Les effets bénéfiques de la bactérisation des graines sont observés lors de l'inoculation des graines de pomme de terre par *P. fluorescens* et *P. putida*. (Lemanceau *et al.*, 1993) ont démontré que lors de l'utilisation de *Fusarium oxysporum* non pathogènes, *P. fluorescens* et *P. putida* se manifestent comme principales candidates de contrôle biologique du flétrissement fusarien, avec une application bénéfique pour la suppression des fusarioses chez plusieurs espèces des plantes (Chung *et al.*, 2005).

4. Sols résistants

Bien que la notion des sols résistants à des maladies d'origine tellurique soit ancienne, sa compréhension et son exploitation restent relativement insuffisants et nécessitent plus d'investigations avec les avancées scientifiques actuelles. De nombreuses études consacrées aux sols résistants, ces dernières années, ont montré que le phénomène est assez répandu et se manifeste à l'encontre de plusieurs maladies. Ces sols ont été désignés par plusieurs qualificatifs : immunes, conductifs, suppressifs, résistants, « sensitifs soils », « pathogènes suppressifs soils », « diseases suppressives soils », « long life soils », « antagonistic soils », « biologically buffered », « competitive soils », « decline soils », fongistatique, « low pathogen », « intolerant » (Pieterse *et al.*, 1996).

Le qualificatif de résistant s'applique à des sols qui limitent fortement ou suppriment la manifestation d'une maladie sur une culture sensible, en présence de conditions environnementales favorables à l'expression de l'agent pathogène présent ou introduit dans le sol (Anchisi *et al.*, 1985).

4.1. Type de résistance

La résistance d'un sol peut être spécifique ou générale en fonction des cibles biotiques inhibées, constitutive ou acquise selon les caractères biotiques ou abiotiques du sol et à long ou à court terme selon sa durabilité et sa longévité (Rezzonico *et al.*, 2005).

Dans un sol caractérisé par une résistance spécifique, la transmission de ce caractère, lié à la nature microbiologique, pour d'autres sols est une propriété fondamentale pour ce type de résistance. Dans ce cas, c'est une suppression où l'ensemble de la microflore n'est pas indispensable à la manifestation de la résistance, seulement une fraction fongique et / ou bactérienne, et spécifiquement *Fusarium oxysporum* non pathogène et *Pseudomonas* spp. fluorescents devraient jouer un rôle prépondérant (Welle *et al.*, 2002).

Cette résistance a un spectre d'action spécifique, elle s'exerce vis-à-vis de l'ensemble des espèces de *Fusarium oxysporum* mais pas à l'encontre d'autres agents telluriques y compris les espèces fusariennes non vasculaires (Schers *et al.*, 1982). Il a été rapporté d'autres cas de sols dont leur résistance est spécifique vis-à-vis de *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, ou de *Aphanomyces euteiches*, ou de *Thielaviopsis basicola* ou de *Phytophthora cinnamomi* ou de *Phytophthora infestans* ou de *Pythium splendens* ou de *Pythium ultimum* ou *Rhizoctonia solani* ou de *Streptomyces scabies* ou de *Plasmodiophora brassicae* ou de *Ralstonia solanacearum* ou de *Pseudomonas solanacearum* (Pierson *et al.*, 1998).

La résistance d'un sol suppressif, considérée comme non transmissible est liée à la biomasse microbienne totale autochtone tellurique, qui entre en compétition avec les pathogènes nuisibles outre la composante microbienne antagoniste. L'activité de la biomasse tellurique est souvent stimulée par le type de cultures, la conduite culturale incluant la quantité et la qualité de fertilisants appliquée ainsi que les travaux du sol (Thomashow *et al.*, 1997).

La résistance constitutive est conditionnée par un environnement biologique et physico-chimique défavorable dans lequel le pathogène ne peut pas s'exprimer, même s'il est autochtone ou se développer s'il est introduit. La résistance acquise peut s'observer dans un sol initialement permissif, progressivement avec la même culture « monoculture ».

La résistance à long terme, après plusieurs années de suite dans un sol contaminé où l'agent pathogène peut s'établir mais ne provoque pas la maladie ; il s'agit d'une résistance liée fortement à la stabilité des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (Parsek *et al.*, 2000).

Contrairement, la résistance à court terme s'observe uniquement pendant quelques cycles végétatifs seulement. Ce phénomène est le résultat d'un changement exogène rapide dans l'environnement physique, chimique et / ou biologique du sol (introduction des antagonistes, matière organique, engrais...). Les techniques culturales jouent également un rôle important dans l'installation d'une fraction particulière de la flore antagoniste ; ainsi le déclin du piétin échaudage n'a pas lieu dans les champs non labourés et semés directement sur chaumes (Cook *et al.*, 1995). Les rotations de cultures sont les plus anciennes mesures de lutte préventive contre les agents pathogènes, ayant pour effet la suppression des débris contaminés et des substrats favorables aux pathogènes, pour éviter l'accumulation de leur inoculum (Parsek *et al.*, 2000).

4.2. Origines de la résistance

Une maladie d'origine tellurique est conditionnée par trois facteurs principaux : La plante hôte, le parasite et le sol. Le pouvoir pathogène du parasite peut être modifié par un ensemble de facteurs liés à l'environnement physico-chimique du sol qui agit sur le parasite lui-même ou sur la plante ; à cet égard les sols suppressifs aux flétrissements fusariens, causés par *Fusarium oxysporum*, ont été liés à l'influence des propriétés physiques et chimiques du sol (abiotique) (Garbeva *et al.*, 2008), et /ou de la microflore du sol (biotique) (Miller *et al.*, 2001).

1. Matériel

1.1. Appareillage

- Agitateur magnétique.
- Autoclave.
- Balance.
- Etuve.

1.2. Verrerie

- Béchers.
- Entonnoir.
- Eprouvettes graduées à pied (10-100 ml).
- Erlenmeyer (1000 ml).
- Fioles jaugées (volume de 250ml).

1.3. Autres matériels

- Anse de platine.
- Barreaux magnétiques.
- Bec bunsen.
- Boites de Petri.
- Couteau.
- Eau distillé stérile.
- Emporte-pièce.
- Papier aluminium.
- Papier filtre.
- Produit désinfectant.

2. Milieux de culture

Suivant les besoins expérimentaux, divers types de milieux de culture sont mis en œuvre. Le choix d'un milieu de culture adéquat est indispensable pour la bonne croissance du champignon étudié (F.o.l) et les antagonistes. Trois milieux de culture ont été utilisés (Indiqué dans l'annexe 1).

2.1. Milieux d'isolement et de purification

Le milieu PDA (Potato Dextrose Agar) a été utilisé pour l'isolement et la purification des isolats fongiques

2.2. Milieux d'isolement, de purification et de conservation des rhizobactéries

Les deux milieux de culture YPG et CDA sont utilisés pour l'isolement de rhizobactéries.

3. Méthodes

3.1. Obtention de l'agent pathogène

La souche fongique de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 1, utilisée dans notre expérimentation, nous a été fourni gracieusement par le laboratoire de mycologie de la station régionale de la protection des végétaux (SRPV) de Ghardaïa.

3.2. Agents antagonistes

3.2.1. Prélèvement et préparation des échantillons des sols rhizosphériques

Les prélèvements des échantillons de sols ont été effectués dans la wilaya d'Adrar, au niveau d'une serre cultivée de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Six échantillons ont été prélevés à trois niveaux différents (0-20 cm, 20-30 cm et 30-40 cm), à l'aide d'une carotte.

Le sol a subi un séchage et tamisage à 2 mm afin d'éliminer les éléments grossiers et d'assurer une granulométrie homogène. Les échantillons des sols rhizosphériques prélevés ont été placés dans des sacs en papier Kraft, bien fermés et conservés au réfrigérateur à 4°C.

3.2.2. Isolement des souches à tester pour leur pouvoir antagoniste

L'isolement des souches à tester pour leur pouvoir antagoniste est performant en utilisant la technique de l'incorporation directe du sol (Soil plates), pour obtenir les microorganismes à partir du sol. Une faible quantité de terre (6 mg) a été saupoudrée et immédiatement dispersée dans des boîtes Petri contenant le milieu PDA. Les cultures ont été ensuite mises en incubation à 28 C° et observation (Davet et Rouxel, 1997).

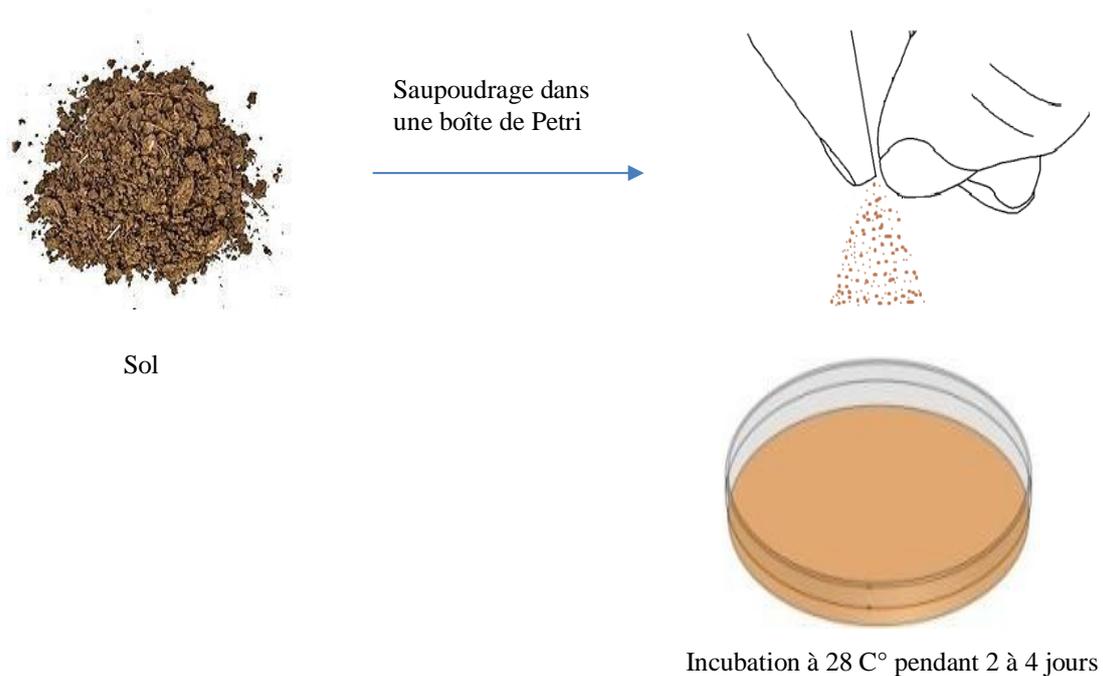


Figure 05. Technique d'incorporation directe du sol (Soil plates).

3.2.3. Purification et conservation des isolats

Les microorganismes isolés sont d'abord purifiés par deux ou trois repiquages successifs mono-colonie sur des milieux de cultures PDA, YPG et CDA pour les champignons, actinomycètes et pour les bactéries respectivement.

Une fois purifié, chaque isolat est désigné par un numéro. Pour les souches bactériennes, le numéro de code est précédé par la lettre B, suivi d'un numéro d'ordre. La nomenclature des isolats de champignon commence par la lettre C, suivi d'un numéro d'ordre. Les isolats des Actinomycètes commence par la lettre A, suivi d'un numéro d'ordre. Des disques de gélose prélevés sur le pourtour de chaque boîte Petri purifiée, ont été transférés dans des tubes à essai contenant les milieux de cultures précédents, ensuite ils ont été conservés à -4 C° pendant 7 à 9 jours.

4. Test de l'activité antagoniste *in vitro*

Ce test consiste en la vérification des activités antagonistes *in vitro* des microorganismes antagonistes sélectionnés vis-à-vis de l'agent phytopathogène étudié. Nous avons utilisé dans ce test un isolat de *F.o.l* répété dans toutes les boîtes : 15 isolats de bactéries, 17 isolats d'actinomycètes et 4 isolats de champignons. Ainsi, les tests de confrontation ont été réalisés par une seule méthode que s'appelle la confrontation par contact directe sur milieu de culture.

4.1. Confrontation par contact direct sur milieu de culture

Cette méthode consiste à repiquer l'agent pathogène et l'agent antagoniste sur une même boîte de Petri. Un disque de champignon (*F.o.l*) de 5 mm de diamètre est prélevé puis déposé à l'aide d'un emporte-pièce stérile sur une boîte de pétri à 4 cm de l'autre agent antagoniste. Le témoin consiste au repiquage de l'agent phytopathogène (*F.o.l*) seul dans une boîte contenant le milieu PDA. Le test est réalisé en deux répétitions. Après 7 jours d'incubation à l'obscurité à 28°C, la croissance en diamètre des colonies de l'agent phytopathogène est mesurée et exprimée en mm (Dennis et Webstert, 1971).

Les mesures radiales quotidiennes de chaque colonie via le test d'antagonisme (y compris le diamètre du disque inoculé) permettent d'estimer l'effet inhibiteur de chaque souche antagoniste sur la croissance mycélienne du pathogène.

La comparaison se fait alors par rapport à une boîte témoin en absence d'antagoniste (Marwa *et al.* ; 2014).

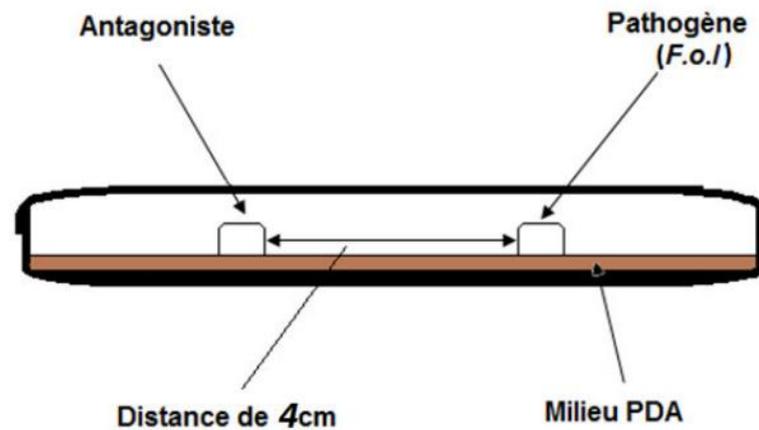


Figure 06. Présentation schématique de la confrontation directe.

4.2. Evaluation du taux d'inhibition

La mesure du diamètre moyen de chaque colonie, calculé à partir de deux diamètres perpendiculaires. Le taux d'inhibition est calculé après 7 à 9 jours d'incubation à 28° C, relativement à la croissance mycélienne maximale enregistrée chez les témoins qui sont représentés par des cultures cryptogamiques pures sans interaction avec les autres souches des microorganismes.

Le calcul du pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne est estimé selon la formule suivante (Hmouni *et al.*, 1996) :

$$I(\%) = (1 - C_n / C_o) * 100$$

Où : I (%) : le pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne.

C_n : le diamètre moyen des colonies en présence de l'antagoniste

C_o : le diamètre moyen des colonies témoins.

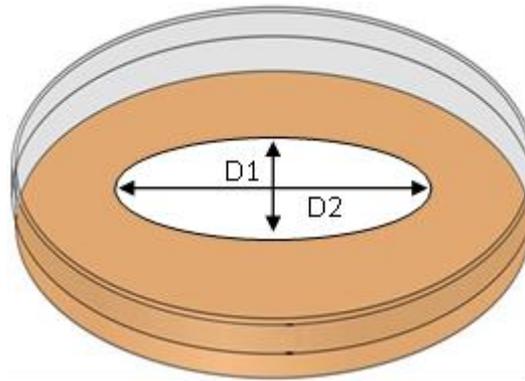


Figure 07. Méthode de mesure des diamètres D1 et D2.

5. Analyse statistique des données

Les données obtenues pour chaque confrontation ont fait l'objet d'analyses statistiques. Des analyses de la variance (ANOVA) ont été effectuées. Le test de Newman-Keuls est utilisé pour comparer les moyennes pour ces paramètres chaque fois que le diamètre calculé était significatif.

Un seul facteur a été pris en considération à savoir le facteur souche fongique, et une seule variable à savoir le diamètre de croissance des colonies.

I. Résultats

I.1. Isolement des agents antagonistes

L'isolement et la purification des souches sur les milieux de culture utilisés PDA, YPG et CDA (Annexe 1), selon la méthode de l'incorporation directe du sol (Soil plates) nous a permis de sélectionner 36 microorganismes classés dans le tableau 01.

Tableau 01 : Nombre et type des microorganismes isolés.

Milieu de culture	Actinomycète (A)	Bactérie (B)	Champignon VIS-A-VIS
PDA	8	8	0
YPG	5	4	0
CDA	4	3	4
TOTAL	17	15	4

Les actinomycètes et les bactéries sont les microorganismes les plus représentatifs dans notre échantillon du sol (Figure 08).

La culture des antagonistes n'est possible que si des milieux de culture adéquats sont disponibles (Benseghir, 2021).

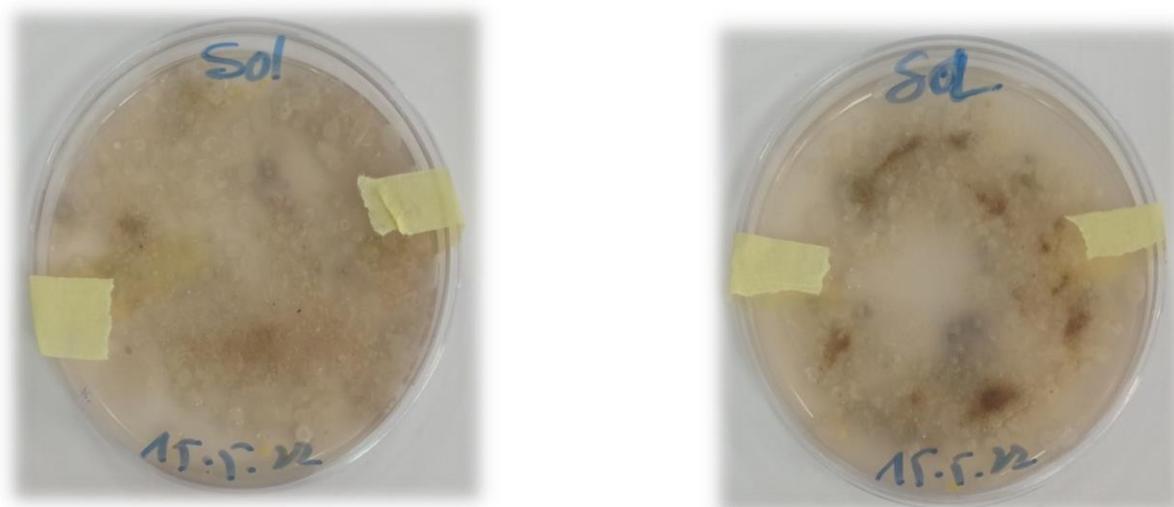


Figure 08 : Quelques souches obtenues à partir du sol sur milieu PDA

(Photos originales, 2022).

I.2. Test de l'activité antifongique *in vitro*

Le comportement des agents antagonistes et leurs interactions avec l'agent pathogène est une phase primordiale de l'étude des phytopathogènes (Larkin et Fravel, 1999), c'est pourquoi des tests d'activités antagonistes, qui ont pour but de sélectionner les isolats performants, ont été réalisés.

La croissance des isolats de *F.o.l* est ralentie à distance par la présence des antagonistes par la technique de la confrontation directe. En effet, au 7^{ème} jour de confrontation, Les microorganismes isolés ont montré une bonne activité inhibitrice vis-à-vis la souche pathogène, le rayon de croissance de l'isolat confronté aux antagonistes est significativement inférieur à celui des témoins (Annexe 2).

Une importante zone d'inhibition apparait entre un nombre considérable des microorganismes confrontés (Figure 09).

Le calcul d'un indice d'inhibition de croissance permet de mettre en évidence une potentielle cinétique d'efficacité des microorganismes auxiliaires sur l'agent pathogène (*F.o.l*).

Sur la Figure 09, on distingue que les microorganismes de bio contrôle n'entrent pas en contact direct avec *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* et inhibent sa croissance à distance.

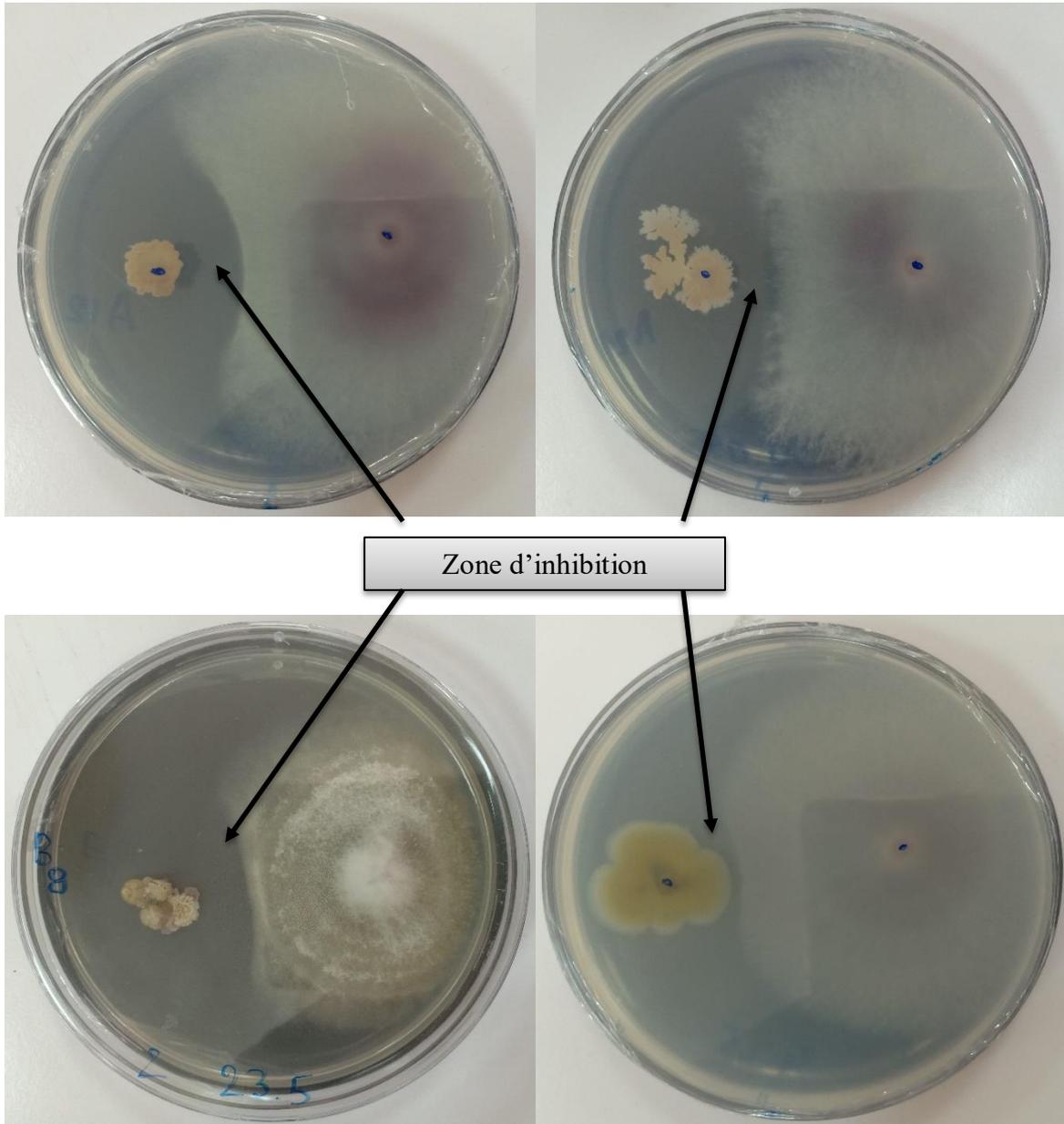


Figure 09 : Zone d'inhibition apparue lors de la confrontation directe (*F.o.l*-Antagoniste)
(Photos originales, 2022).

Parmi tous les 36 isolats des antagonistes obtenus, on a sélectionné cinq isolats qui présentent une activité antagonistes remarquable contre l'agent pathogène (*F.o.l*). Il s'agit des souches (A12, B6, B7, B9, B18). Selon la méthode appliquée, l'action antagoniste se traduit par une faible croissance mycélienne de l'agent pathogène durant les 05 premiers jours d'incubation, suivi l'arrêt totale de la croissance du côté de la confrontation (antagonistes- pathogènes).

Toutes les souches testées ont montré une activité d'antagonisme vis-à-vis du *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. Les pourcentages d'inhibition les plus élevés de la croissance mycélienne de *F.o.l* obtenus avec ces 5 isolats B7, B6, B9, B18 et A12 sont respectivement 90.36%, 89.75%, 89.75%, 89.15% et 89.15% (Fig. 16). La souche B7 apparait comme la plus active avec un pourcentage d'inhibition élevé (90.36%) par rapport aux autres souches antagonistes testées (Tableau 02).

Le figures 09 montre quelques exemples de l'inhibition de la croissance du *F.o.l* par certains isolats testés.

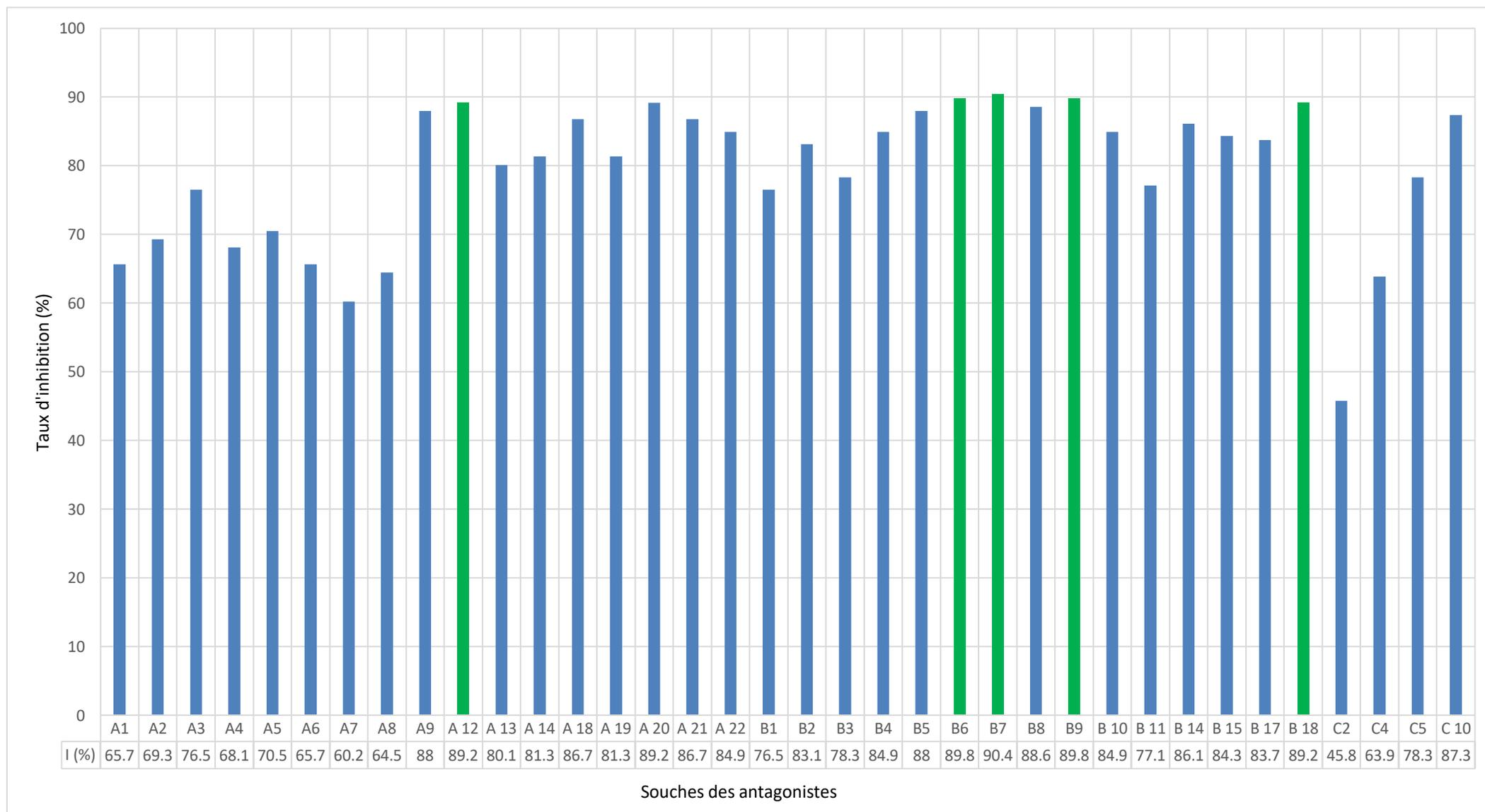


Figure 10 : Diagramme représentant le pourcentage d'inhibition exercé par 36 antagonistes sur la croissance mycélienne de *F.o.l* après 7 jours d'incubation à 28°C.

Tableau 02 : Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* « *F.o.l* » par confrontation directe avec les 36 microorganismes sélectionnés.

Antagonistes	I (%)	Classe
A1	65.6626506	5
A2	69.27710843	4
A3	76.5060241	4
A4	68.07228916	5
A5	70.48192771	4
A6	65.6626506	5
A7	60.24096386	5
A8	64.45783133	5
A9	87.95180723	3
A 12	89.15662651	1
A 13	80.12048193	4
A 14	81.3253012	4
A 18	86.74698795	3
A 19	81.3253012	4
A 20	89.15662651	2
A 21	86.74698795	3
A 22	84.93975904	3
B1	76.5060241	4
B2	83.13253012	3
B3	78.31325301	4
B4	84.93975904	3
B5	87.95180723	2
B6	89.75903614	1
B7	90.36144578	1
B8	88.55421687	2
B9	89.75903614	1
B 10	84.93975904	3
B 11	77.10843373	4
B 14	86.14457831	3
B 15	84.3373494	3
B 17	83.73493976	3
B 18	89.15662651	1
C2	45.78313253	5
C4	63.85542169	5
C5	78.31325301	4
C 10	87.34939759	3

Antagonistes : Les souches sélectionnée.

I (%) : Taux d'inhibition.

Classe : Selon le classement du
Newman-keuls.

Tandis que les autres isolats (C2, A7, C4, A8, A6, A1, A4) sont très peu actifs avec un faible pourcentage d'inhibition de 45,78% à 68,07% (Figure 11).

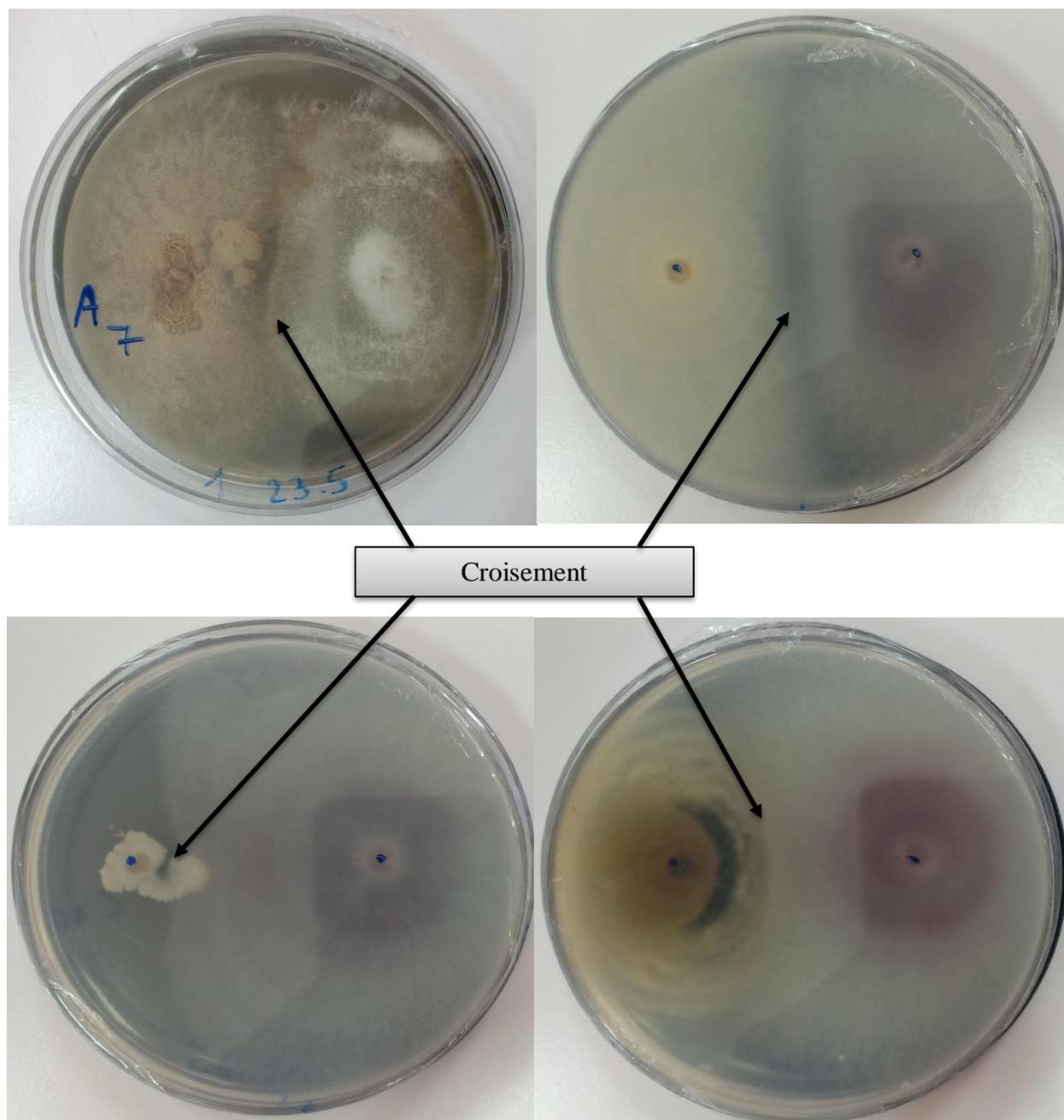


Figure 11 : Croisement apparu lors de la confrontation directe (*F.o.l*-Souche isolées)
(Photos originales, 2022).

Discussion

Dans les systèmes de production des matières premières d'origine végétale, ce sont essentiellement les pesticides de synthèse qui sont utilisés pour lutter contre les agents phytopathogènes. Ces dernières années, il est clairement considéré, et même mis en cause que ces produits chimiques constituent une menace sérieuse pour l'environnement et la santé humaine. Actuellement, un intérêt particulier s'est porté sur l'exploitation des ressources microbiennes bénéfiques dans la gestion des écosystèmes et dans les pratiques agronomiques. Le recours aux ressources biologiques propres et renouvelables est considéré comme un important potentiel alternatif à ces pratiques néfastes. Les rhizobactéries "PGPR" et champignons "PGPF" renferment une source de microorganismes qui peuvent stimuler la croissance des plantes, tout en assurant leur bio protection. D'ailleurs des formulations à base de ces microorganismes commencent à connaître des issues commerciales après ces dernières décennies d'expérimentation.

L'objectif de cette étude porte sur l'étude de l'activité antagoniste de 36 souches vis-à-vis l'isolat de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* agent du flétrissure fusarienne du tomate.

Le test d'antagonisme *in vitro* appliqué a permis d'estimer le potentiel inhibiteur de différentes souches de microorganismes vis-à-vis le *F.o.l.* cette évaluation a révélé des intensités inhibitrices variables selon le souche phytopathogène et la nature des milieux.

Même si les performances évaluées *in vitro* souvent ne sont pas corrélées aux activités biologiques naturelles, néanmoins ce genre de test reste comme un outil indicateur dans la sélection et le criblage des souches performantes.

Selon les résultats obtenus au cours de ce travail, nous remarquons qu'il y'a une variable activité antagoniste d'une souche à une autre. L'antagonisme entre les différentes souches testées et l'isolat pathogène employé a révélé que certaines souches ont exercées de fortes potentialités inhibitrices.

Les résultats des tests de confrontation directe *in vitro* ont démarqué la souche B7. En effet, cette dernière est douée d'une activité antagoniste importante par rapport aux autres souches sélectionnées, vis-à-vis du pathogène fongique *F.o.l.*

Plusieurs travaux ont été effectués, *in vivo* et *in vitro*, pour le biocontrôle du *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*, et d'autres champignons phytopathogènes appartenant au même genre, en utilisant des microorganismes antagonistes. Benchabane *et al.* (2000) ont trouvé que certaines souches appartenant au groupe des *Pseudomonas fluorescens*, isolées en Algérie, possèdent des potentialités d'antagonisme appréciables *in vitro* vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Ils ont également observé que la bactérisation des semences et des plantules de tomate a induit l'inhibition, voire même l'annulation de l'expression des symptômes du Fusarium wilt chez la tomate.

De même, la confrontation directe *in vitro* avec *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* vis-à-vis de plusieurs souches appartenant aux genres *Bacillus* et *Pseudomonas*, a donné de bons pourcentages d'inhibition de la croissance mycélienne du *F.o.l.* D'ailleurs, la bactérisation des graines, ainsi que la pré-inoculation des plantules, de tomate par les souches bactériennes récentes et avant l'ajout du champignon, ont pour la plupart montrées une diminution de la gravité de cette maladie (Bounoua, 2008).

Ainsi, les facteurs de l'environnement et la réaction de la plante elle-même vis-à-vis du traitement peuvent intervenir dans les mécanismes d'action de l'agent antagoniste et le comportement de l'agent phytopathogène.

L'analyse statistique des résultats des tests d'antagonisme *in vitro* a démontré une différence très significative, au seuil de 5% (Tableau 05 ; Annexe 2). En effet, le test Newman-Keuls, nous a permis de ressortir 10 classes (A, B, BC, C, CD, D, DE, E, EF et F) (Tableau 06 ; Annexe 2).

Conclusion et perspectives

La culture de la tomate occupe une place très importante du point de vue socio-économique dans les pays méditerranéens et en particulier dans les pays du Maghreb tel que l'Algérie, sont confrontés à une recrudescence des fusarioses de la tomate causée par *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*.

Néanmoins, Ce fléau est favorisé par les changements climatiques à savoir : une température en hausse durant toute l'année et un taux d'humidité croissant permettant le développement des champignons.

Le présent travail a porté sur l'isolement et le test de plusieurs souches variées de microorganismes qui se répartissent entre actinomycètes, bactéries et champignons. Afin de, mettre en évidence l'induction de la résistance systémique et le bio contrôle chez la tomate vis-à-vis de la fusariose vasculaire (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*), en utilisant différentes souches isolées à partir du sol.

Nous avons testé le pouvoir antagoniste de chaque isolats sélectionnés vis-à-vis *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici*. Les 36 souches ont été testées par la méthode de confrontation directe sur boîtes de Petri (*in vitro*) montrent un pourcentage d'inhibition varie entre 45.78% à 90.36%.

En outre, si nous nous reportons au point de départ de cette étude, les résultats obtenus sont intéressants et ont été confirmés par le calcul du taux d'inhibition. En effet, ce dernier démontre que les facteurs biotiques ont un rôle important dans la suppression de fusariose vasculaire.

La diversité dans les mécanismes d'action, ouvre de nombreuses perspectives et peut constituer un élément de choix et de décision dans les applications pratiques. Il serait nécessaire d'expérimenter leur pouvoir antagoniste dans des essais de co-inoculation.

En fin, il est intéressant de mener des études plus approfondies, nous suggérons que ce travail soit repris sur un nombre de souches plus important, tout en diversifiant les origines géographiques. Il serait également très intéressant de poursuivre ce travail et faire des analyses de sol précises pour étudier l'influence des facteurs abiotiques sur le pathogène afin de réduire l'incidence de la fusariose.

Références Bibliographiques

- 1) Agrios G.N., 2005. Plant Pathology, 5th Edition, Elsevier Acad. Press, p.922.
- 2) Ahmad, I., Pichtel, J., & Hayat, S. (2008). Plant-Bacteria Interactions: Strategies and Techniques to Promote Plant Growth. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- 3) Alabouvette, C. 1990. Biological control of Fusarium wilt pathogens in suppressive soils. In Biological Control of Soil-Borne Plant Pathogens, edited by Hornby, D. p. 27-43. CAB International. Wallingford.
- 4) Alexander, L.J., Tucker, C.M. 1945. Physiology specialisation in the tomato wilt fungus *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. J. Agr. Res.70: 303-313.
- 5) Antoun H. and Prévost D. (2005). Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. Z. A.Siddiqui (ed.), PGPR: Biocontrol and Biofertilization. p 1–38.
- 6) Anchisi, M., Genanari, M., Matta., (1985). “Retardation of Fusarium Wilt symptom in tomato by pre- and post- inoculation treatments of the roots and aerial parts of the host in hot water”, physiological plant pathology, 26, 175-183.
- 7) Aouar L., 2012. Isolement et identification des actinomycètes antagonistes des microorganismes phytopathogènes. Thèse de doctorat, Université Mentouri-Constantine, 201p.
- 8) Armstrong, G.N. et Armstrong, J.K., 1981. Formae speciales and races of *Fusarium oxysporum* causing wilt diseases, p. 391-399. In P.E. Nelson, T.A. Toussoun, and R.J. Cook (ed.), *Fusarium: diseases, biology, and taxonomy*. Pennsylvania State University Press, University Park.
- 9) Baayen R.P., Dreven F., Krijger M.C. and Waalwijk C. (1997). Genetic diversity in *Fusarium oxysporum* f.sp.*dianthi* and *Fusarium redolens* f.sp.*dianthi*. European Journal of Plant Pathology 103, 395-408.
- 10) Bais, H.P., Park, S. W et Weir, T. L., Callaway, R. M and. Vivanco, J.M., (2004). “How plants communicate using the underground information superhighway”, Trends Plant Science, 9 (1), 26-32.
- 11) Benbrook C. M., Groth E., Halloran J. M., Hansen M. K., Marquardt S., 1996. Pest Management at the Crossroads. Consumers Union, Yonkers p. 272
- 12) Benchabane, M., Bakour, R., Toua, D., & Boutekrabt, A. 2000. Mise en évidence de l'effet antagoniste de *Pseudomonas fluorescens* vis-à-vis de la fusariose vasculaire de la tomate. EPPO Bulletin, 30(2), 243-246.
- 13) Benchabane, M. 2005. Caractérisation des effets d'antagonisme microbienne et de promotion de la croissance végétale de souche de *Pseudomonas spp.* fluorescents, thèse de Doctorat d'état .FSB6UTHB.Alger, p. 235.

- 14) BENSEGHIR, Hassane., 2021. Cour microbiologie appliqué, Chapitre 2 les milieux de culture et les techniques d'isolement, p.1.
- 15) Beckman, C.H., Muller, W.C., Verdier, P.A. 1988. A system of defense in depth provided by vascular parenchyma cells of tomato in response to vascular infection with *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*, race 1. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 34: 227-239.
- 16) BENDJIDA, H., & AOUADI, S. (2019). Effet promoteur des bactéries PGPR sur la croissance de la fève (*Vicia faba* L).
- 17) Berg G., Krechel A., Ditz M., Sikora R.A., Ulrich A., Hallmann J., 2005. Endophytic and ectophytic potato-associated bacterial communities differ in structure and antagonistic function against plant pathogenic fungi. *FEMS Microbiol Ecol*, 51: 215–229.
- 18) Blancard, D. 1997. A Colour Atlas of Tomato Diseases : Observation, Identification and Control. Edition, New York. 2012 p.
- 19) Blancard D. 2009. Les maladies de la tomate, identifier, connaître, maîtriser. Edition: Quæ. Paris. 691p.
- 20) Boonpasart, S., Kasetsuwan, N., Puangsricharern, V., Pariyakanok, L., & Jitpoonkusol, T. (2002). Infectious keratitis at King Chulalongkorn Memorial Hospital: a-12-year retrospective study of 391 cases. *JOURNAL-MEDICAL ASSOCIATION OF THAILAND*, 85, 217-230.
- 21) Booth C. (1971). The Genus *fusarium*, p. 237. Commonwealth Mycological Institute , Kew , Surrey , England.
- 22) Bost, S. C. 2001. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 on tomato in Tennessee. *Plant Dis.* 85: 802.
- 23) Bounoua, M, D. 2008. Essais d'utilisation des *Pseudomonas spp.* et *Bacillus spp.* dans le biocontrôle de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* sur tomate et *Verticillium dahliae* sur l'olivier (Doctoral dissertation, Université d'Oran1-Ahmed Ben Bella).
- 24) Bovey, R., & Station fédérale de recherches agronomiques, Lausanne et Changins-Suisse. (1972). *La défense des plantes cultivées: Traite pratique de phytopathologie et de zoologie agricole*. Lausanne: Editions Payot.
- 25) Burgess, L.W., and C.M. Liddell. 1981. Laboratory manuel for *Fusarium* research. University of Sydney, Sydney, Australia.
- 26) Cardon, Z.J. et Gage, D.J. (2006). Resource exchange in the rhizosphere: molecular tools and the microbial perspective. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 37: 459-488.
- 27) Chellemi, D.O., Da,kers, H. A., & Crosier, B. 1992. First report of *fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* race 3 on tomato in Northwest florida and Georgia. *Plant disease*, 76(8).

- 28) Chung, S. O., Lee, J. H., Lee, K. H., Kim, C. G., Lee, S. Y., Kim, G. J., & Park, Y. H. (2005). Cloning and expression of a trehalose synthase from *Pseudomonas stutzeri* CJ38 in *Escherichia coli* for the production of trehalose. *Applied microbiology and biotechnology*, 68(2), 213-219.
- 29) Clériveret, A., & El-Modafar, C. (1994). Vascular modifications in *Platanus acerifolia* seedlings inoculated with *Ceratocystis fimbriata* f. sp. *platani*. *European journal of forest pathology*, 24(1), 1-10.
- 30) Cook R. J. et Baker K. F., 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. Am. Phytopathol. Soc., St. Paul.
- 31) Cook, R.J., Thomashow, L.S., Weller, D.M., Fujimoto, D., Mazzola, M., Bangera, G. et Kim, D.S. (1995). Molecular mechanisms of defense by rhizobacteria against root disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 92: 4197-4201.
- 32) Corbaz, R. (1990). Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes. PPUR presses polytechniques.
- 33) Correll, J. C., Puhalla, J. E., & Schneider, R. W. (1986). Identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *apii* on the basis of colony size, virulence, and vegetative compatibility. *Phytopathology*, 76(4), 396-400.
- 34) Davet, P. 1967. Les maladies des solanacées maraîchères en Tunisie. *Annales I.N.R.A* 40 (3) : 1-13.
- 35) Davet, P. et Rouxel, F., (1997). Détection et isolement des champignons du sol. INRA, Paris. P. 13.
- 36) Davis, R.M. 1988. A third race of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* identified in California. *Plant Dis.* 66: 165-167.
- 37) Dennis, C., & Webster, J. (1971). Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*: III. Hyphal interaction. *Transactions of the British Mycological Society*, 57, pp.363-369.
- 38) Di Pietro A., Madrid M. P., Caracuel Z., Delgado-Jarana J., Roncero M. I. G., 2003. *Fusarium oxysporum*: exploring the molecular arsenal of a vascular wilt fungus *Molecular Plant Pathology*, 4: 315-325.
- 39) Dommergues, Y. et F. Mangenot, 1970. *Ecologie microbienne du sol*. Edition MASSON. 40-45p.
- 40) Eljaschewitsch, J., Padberg, J., Schürmann, D., & Ruf, B. (1996). High-performance liquid chromatography determination of pyrimethamine, dapsone, monoacetyldapsone, sulfadoxine, and N-acetyl-sulfadoxine after rapid solid-phase extraction. *Therapeutic drug monitoring*, 18(5), 592-597.

- 41) El Mahjoub, M., Bouzaidi, A., Joughri, A., Hamrouni, A., & Beji, E. L. (1979). Influence de la salinité des eaux d'irrigation sur la sensibilité du tournesol au *Macrophomina phaseoli* (Maubl.) Ashby. In *Annales de Phytopathologie* (Vol. 11, pp. 61-67).
- 42) Elocy, M. 1972. Raças fisiológicas de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Wr) Snyder et Hansen que ocorrem em Santa Maria, RS. Agr. Subgr. 13 (2): 207-211.
- 43) Errakhi R., 2008. Contribution d'actinomycètes (Actinobactéries) à la lutte biologique contre *Sclerotium rolfsii* et rôle de l'acide oxalique dans l'induction des mécanismes de défense. Thèse de Doctorat. Université Cadi Ayyad, Marrakech Maroc.
- 44) FAO. 2014. Site web : <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>
- 45) Gabe, H.L., Kright, B.C. 1973. The occurrence of a second race of the tomato Fusarium wilt in the greenhouse. Brit. Insectic Fungic. 3: 334.
- 46) Garbeva, P., van Elsas, J.D. et van Veen, J.A. (2008). Rhizosphere microbial community and its response to plant species and soil history. Plant Soil, 302: 19- 32.
- 47) Gerlach, W. (1970). Suggestions to an acceptable modern Fusarium system. *Ann. Acad. Sci. fenn. A, IV Biologica*, 168, 37-49.
- 48) Gerlach, W. (1977). Three new varieties of *Fusarium merismoides*, *Fusarium larvarum*, and *Fusarium chlamydosporum*. *Phytopathol Z.*
- 49) Gerlach, W. (1981). The present concept of Fusarium classification.
- 50) Gindrat, D. (1975). La fusariose vasculaire de la tomate de plein champ en Suisse.
- 51) Marwa, H., Rania, A. B. A., Hayfa, J. K., & Mejda, D. R. 2014. Pouvoir antifongique des *Penicillium sp.* et des *Gliocladium spp.* contre *Alternaria solani* in vitro et sur fruits de tomate. Tunis. J. Med. Plants Nat. Prod. 2014; 12: 9-28.
- 52) Gordon, W. L. (1944). THE OCCURRENCE OF FUSARIUM SPECIES IN CANADA: I. SPECIES OF FUSARIUM ISOLATED FROM FARM SAMPLES OF CEREAL SEED IN MANITOBA. *Canadian Journal of Research*, 22(6), 282-286.
- 53) Gordon, W. L. (1960). The taxonomy and habitats of Fusarium species from tropical and temperate regions. *Canadian Journal of Botany*, 38(4), 643-658.
- 54) Grattidge, R., & O'Brien, R. G. (1982). Occurrence of a third race of Fusarium wilt of tomatoes in Queensland. *Plant Disease*, 66(2), 165-166.
- 55) Guarro, J., Nucci, M., Akiti, T., & Gené, J. (2000). Mixed infection caused by two species of Fusarium in a human immunodeficiency virus-positive patient. *Journal of clinical microbiology*, 38(9), 3460-3462.
- 56) Haas, D., & Défago, G. (2005). Biological control of soil-borne pathogens by *fluorescent pseudomonads*. *Nature reviews microbiology*, 10, pp.1038-1129.
- 57) Hamoir, J., Goret, M., Mignon, B., & Gustin, P. (2001). News on antifungal drugs registered in Belgium for the treatment of dermatophytosis in domestic carnivores. In *Annales de Médecine Vétérinaire* (Vol. 145). ULg-Université de Liège, Liège, Belgium.

- 58) Handelsman, J. and Emmert E.A.B., 1999. Biocontrol of plant disease: a (Gram-) positive perspective. *FEMS. Microbiol. Lett.* 171, 1-9.
- 59) Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I., Lorito, M., 2004. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Review Microbiology* 2, 43–56.
- 60) Henni, J.E. 1998. Morphologie, pouvoir pathogène et diversité génétique chez *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Oran.171 p.
- 61) Hibar, K., Daami-Remadi, M., Khiareddine, H., & El Mahjoub, M. (2005). Effet inhibiteur in vitro et in vivo du *Trichoderma harzianum* sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *BASE*.
- 62) Hidy, P. H., Baldwin, R. S., Greasham, R. L., Keith, C. L., & McMullen, J. R. (1977). Zearalenone and some derivatives: production and biological activities. *Advances in applied microbiology*, 22, 59-82.
- 63) Hiltner, L. (1904). Über neuere Erfahrungen und Problem auf dem Gebiet der Bodenbakteriologie und unter besonderer Berücksichtigung der Grundungung und Brache. *Arbeite und Deutsche Landwirtschaft Gesellschaft*, 98: 59-78.
- 64) Hmouni, A., M.R. Hajlaoui and A. Mlaiki. 1996. Résistance de *Botrytis cinerea* aux benzimidazoles et aux dicarboximides dans les cultures de tomate en Tunisie. *OEPP /EPPO Bulletin*, 26: 697-705.
- 65) Holtz, G., 1976. Race two of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* in the Republic of South Africa. *Phytophylactica* 8: 87-88.
- 66) Hubbeling, N. Dimond, A.E. 1972. Resistance to *Fusarium* and *Verticillium* wilt in tomato. *Melled. Ryksfac . landwet.Cenl.*190 p.
- 67) Jones, J.P., Stall, R.E., and Zitter, T.A., 1991. Compendium of tomato diseases. *American Phytopathological Society, St Paul.MN.*p.15.
- 68) Krcmery Jr, V., Jesenska, Z., Spanik, S., Gyarfás, J., Nogova, J., Botek, R., ... & Trupl, J. (1997). Fungaemia due to *Fusarium spp.* in cancer patients. *Journal of hospital infection*, 36(3), 223-228.
- 69) Larkin R. P., FravelD. R. (1999). Efficacy of various fungal and bacterial biocontrol organisms for control of Fusarium Wilt of tomato, *Dis.* 82, 1022-1028.
- 70) Laterrot, H. ; Rouxel, F. ; Davet, p. ; Mineau, R. ; Nourrisseau, J.G. et Jonan, B.1978. La fusariose vasculaire de la tomate en France. *P.H.M.Rev.Horticol* 137 : 35-40.
- 71) Lemanceau, P., Offre, P., Mougél, C., Gamalero, E., Dessaux, Y., Moenne., Loccoz, Y. et Berta, G. (2006). Microbial ecology of the rhizosphere. Dans "Microbiological methods for assessing soil quality", Bloem, J., Hopkins, D.W. et Benedetti, A. (Eds). CABI publishing, Massachusetts, Cambridge, MA, Etats-Unis, p. 228-230.
- 72) Lemanceau, L., 1992. Effets bénéfiques de rhizobactéries sur les plantes : exemple des *Pseudomonas spp* fluorescents 413–437, 414.

- 73) Lemanceau, P., Bakker, P. A., De Kogel, W. J., Alabouvette, C., & Schippers, B. (1993). Antagonistic effect of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47 and pseudobactin 358 upon pathogenic *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi*. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(1), 74-82.
- 74) Leslie J.F., Summerell B.A., 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*; Blackwell Publishing: Oxford, UK.
- 75) Lugtenberg B. J. J., de Weger L. A, Bennett J. W., 1991. Microbial stimulation of plant growth and protection from disease. *Current Opinion in Microbiology* 2, 457–464.
- 76) Marlatt, M.L., Correll, J.C., Kaufmann, P. 1996. Two genetically distinct populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in the United States. *Plant Dis.* 80: 1336-1342.
- 77) MEKAHLIA, R., & SAIDANI, A. (2020). *Evaluation du pouvoir stimulateur de croissance "in situ" par des bactéries (PGPR) isolées de la rhizosphère du Citrullus colocynthis sur des variétés de blé dur* (Doctoral dissertation, Université laarbi tebessi tebessa).
- 78) Messiaen, C.M. et R. Cassini, 1968. Recherche sur les fusarioses. IV- La systématique *Fusarium*. *Ann. Epiphyt.* 19, 387-454.
- 79) Michielse C. B., Rep M., 2009. Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum* *Molecular Plant Pathology*, 10 (3): 311-324.
- 80) Miller, M.B., Bassler, B.L., (2001). «Quorum sensing in bacteria». *Annu. Rev. Microbiol.* N°55, pp.165–199.
- 81) Minaud, J., & Pelossier, S. (1979). *La biologie des sols. Ed Presses universitaire de France.* Mirocha, C. J., Pawlosky, R. A., Chatterjee, K., Watson, S., & Hayes, W. (1983). Analysis for *Fusarium* toxins in various samples implicated in biological warfare in Southeast Asia. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 66(6), 1485-1499.
- 82) Nelson P. E., Toussoun T. A. and Marasas W. F. O., 1983. *Fusarium species: An illustrated manual for identification.* The Pennsylvania State University Press, University Park. 193 pp
- 83) Nelson P. E., Toussoun T. A. and Marasas W. F. O., 1983. *Fusarium species: An illustrated manual for identification.* The Pennsylvania State University Press, University Park. 193 pp.
- 84) Parsek, M. R and Greenberg. E. P. (2000). «Acyl-homoserine lactone quorum sensing in Gram-negative bacteria: a signaling mechanism involved in associations with higher organisms». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* N°97, pp.8789– 8793.
- 85) Pecault, P., Laterrot, H. 1966. Perspective sur la sélection de variétés de tomate résistantes aux maladies. *Genetica Agaria* 20 : 110-120.

- 86) Pierson E.A., Wood D.W., Cannon J.A., Blachere F.M. and Pierson L.S. III (1998). Interpopulation signaling via N-acylhomoserine lactones among bacteria in the wheat rhizosphere. *Mol. Plant Microbe Interact.* 11: 1078 –1084.
- 87) Pieterse, C.M.J., Van Wees, S.C.M., Hoffland, E., Van Pelt, J.A. and Van Loon, L.C., (1996), “Systemic resistance in Arabidopsis induced by biocontrol bacteria is independent of salicylic acid accumulation and pathogenesis-related gene expression”, *Plant Cell*, 8, 1225-1237.
- 88) Raaijmakers, J.M., Vlami, M., and De Souza, J.T. 2002. Antibiotic production by bacterial biocontrol agents. *Antonie van Leeuwenhoek*, 81(1), 537- 547.
- 89) Rabodonirina, M., Piens, M. A., Monier, M. F., Gueho, E., Fiere, D., & Mojon, M. (1994). Fusarium infections in immunocompromised patients: case reports and literature review. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 13(2), 152-161.
- 90) Raillo, A. (1935). Diagnostic estimation of morphological and cultural characters in the genus Fusarium. *Bulletin of Plant Protection, Phytopathology Series*, 2(7), 1-100.
- 91) Ranasingh, N., Saurabh, A., & Nedunchezhiyan, M. (2006). Use of *Trichoderma* in disease management. *Orissa Review*, 63(2-3), 68-70.
- 92) Randall, C.R. 1980. Comparative pathogenicity and host ranges of *Fusarium oxysporum* isolates causing crown and rot of green house and field-grown tomatoes in North America and Japan. *Phytopathology* 70: 1143-1147.
- 93) Rebell, G. (1981). Fusarium infections in human and veterinary medicine. *Fusarium: diseases, biology and taxonomy. The Pennsylvania State University Press, University Park*, 210-220.
- 94) Reis, A., Costa, H., Boiteux, L.S., Lopes, C.A. 2005. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 on tomato in Brazil. *Fitopatologia Brasileira* 30:426-428.
- 95) Rezzonico, F., Binder, C., Défago, G. et Moëgne-Loccoz, Y. (2005). The type III secretion system of biocontrol *Pseudomonas fluorescens* KD targets the phytopathogenic chromista *Pythium ultimum* and promotes cucumber protection. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 18: 991-1001.
- 96) Rosen, O. M., Herrera, R., Olowe, Y., Petruzzelli, L. M., & Cobb, M. H. (1983). Phosphorylation activates the insulin receptor tyrosine protein kinase. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80(11), 3237-3240.
- 97) Rouxel, F., Alabouvette, C., & Louvet, J. (1979). IV.-Mise en évidence du rôle des Fusarium autochtones. *Ann. Phytopathol.*, 11(2), 199-207.

- 98) Schers, F.M., and Backer, R. (1982). Effects of *Pseudomonas putida* and a synthetic iron chelator on induction of soil suppressiveness to fusarium wilt pathogens. *Phytopathology* 72: 1567-1573.
- 99) Schroth, M. N., & JG, H. (1981). Selected topics in biological control.
- 100) Schroth, M. N., & Hancock, J. G. (1982). Disease-suppressive soil and root-colonizing bacteria. *Science*, 216(4553), 1376-1381.
- 101) Semal, J. (1989). traite de pathologie végétal, les presses agronomiques de Gembloux. A, S, B, L, Belgique, 621p.
- 102) Shukla, M. K., Lal, R., Owens, L. B., & Unkefer, P. (2003). Land use and management impacts on structure and infiltration characteristics of soils in the North Appalachian region of Ohio. *Soil Science*, 168(3), 167-177.
- 103) Snyder W.C and Hans H.N., 1940 *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. (Sacc.) Prepared by Mui-Yun Wong.PP728 Soilborne Plant Pathogen Class Project, spring.
- 104) Snyder, W. C., & Hansen, H. N. (1945). The species concept in *Fusarium* with reference to *Discolor* and other sections. *American Journal of Botany*, 32(10), 657-666.
- 105) Singh O. V., Labana S., Pandey G., Budhiraja R., Jain R. K., 2003. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology* 61: 405-412.
- 106) Steinkellner, S., Mammerler, R., & Vierheilig, H. (2005). Microconidia germination of the tomato pathogen *Fusarium oxysporum* in the presence of root exudates. *Journal of plant interactions*, 1(1), 23-30.
- 107) Stravato, V.M. 1999. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 2 on tomato in Italy. *Plant Disease* 83:967.
- 108) Thomashow, L.S., Bonsall, R.F., et Welter, D.M., (1997). "Antibiotic production by soil and rhizosphere microbes in situ", *Manual of environmental microbiology*, Hurst, C.J., Washington, D.C, 493-500.
- 109) Tomasini, A., & Fajardo, C. (1997). Gibberellic acid production using different solid-state fermentation systems. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13(2), 203-206.
- 110) Toussaint V., 1996. Caractérisation d'un antibiotique produit par la souche d'actinomycète EF-76 antagoniste à *Phytophthora Fragariae* var. *rubi* causant le pourridié des racines du framboisier. Mémoire de Maitrise ès science. Université de Sherbrooke, Québec, Canada.
- 111) Utkhede, R. (2006). Increased growth and yield of hydroponically grown greenhouse tomato plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Biocontrol*, 51(3), 393-400.

- 112) Valenzuela-Ureta, J. G., Lawn, D. A., Heisey, R. F., Zamudio-Guzman, V. 1996. First report of Fusarium wilt race 3, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, of tomato in Mexico. *Plant Dis.* 80:105.
- 113) Vismer, H. F., Marasas, W. F. O., Rheeder, J. P., & Joubert, J. J. (2002). *Fusarium dimerum* as a cause of human eye infections. *Medical mycology*, 40(4), 399-406.
- 114) Volin, R. B., Jones, J. P. 1982. A new race of fusarium wilt of tomato in Florida and sources of resistance. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 95:268-270.
- 115) Walker, J.C. 1971. *Fusarium Wilt of tomato*. The American Phytopathological Society. 56 p.
- 116) Welle, D.M., Raaijmakers, J.M., Gardener, M., and Thomashow, L.S., (2002). "Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens", *Annu. Rev. Phytopathol.*, 40, 309-348.
- 117) Whipps JM., 2001. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *J. Exp. Bot.* 52:487–511.
- 118) Wolleneber H.W. and Reinking O.A. (1935). "Die Fusarium, ihre Beschreibung , Schadwirkung und Bekämpfung, Berlin: Paul Parey.

Annexe I : milieux de culture

Milieu Potato Dextrose Agar (PDA)

Pomme de terre	200 g
Glucose	20 g
Agar	20 g
Eau distillée stérile (qsp)	1000 mL

pH=5,6

Milieu YPG (Yeast-extract-Peptide-Glucose-Agar)

Extrait de levure	05 g
Peptone	05 g
Glucose	20 g
Eau distillée stérile (qsp)	1000 mL

pH=6,8

Milieu Czapek Dox Agar

Saccharose	30 g
NaNO ₃	02 g
KCl	0,5 g
Glycérophosphate de magnésium	0,5 g
FeSO ₄	0.01 g
K ₂ SO ₄	0,35 g
Agar	12 g
Eau distillée stérile (qsp)	1000 mL

pH=6,8

Annexe II: Analyse statistique des données

Analyse de la variance

Tableau 03 : Analyse de la variance (Diamètre) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	42	210.683	5.016	17.265	<0.0001
Erreur	216	62.758	0.291		
Total corrigé	258	273.441			

Tableau 04 : Coefficients d'ajustement (Diamètre) :

Observations	259
Somme des poids	259
DDL	216
R ²	0.770
R ² ajusté	0.726
MCE	0.291
RMCE	0.539
MAPE	37.013
DW	0.852
Cp	43.000
AIC	-281.143
SBC	-128.199
PC	0.321

Tableau 05 : Souche / Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% (Diamètre) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
F.o.l vs B7	3.964	13.759	3.906	<0.0001	Oui
F.o.l vs B6	3.964	13.759	3.893	<0.0001	Oui
F.o.l vs B18	3.950	13.710	3.878	<0.0001	Oui
F.o.l vs B9	3.936	13.660	3.864	<0.0001	Oui
F.o.l vs A12	3.929	13.635	3.849	<0.0001	Oui
F.o.l vs B8	3.921	13.610	3.833	<0.0001	Oui
F.o.l vs A20	3.914	13.586	3.817	<0.0001	Oui
F.o.l vs B5	3.900	13.536	3.801	<0.0001	Oui
F.o.l vs A9	3.857	13.387	3.783	<0.0001	Oui
F.o.l vs A21	3.850	13.362	3.765	<0.0001	Oui
F.o.l vs C10	3.836	13.313	3.746	<0.0001	Oui
F.o.l vs A18	3.793	13.164	3.727	<0.0001	Oui
F.o.l vs B14	3.771	13.090	3.707	<0.0001	Oui
F.o.l vs B4	3.757	13.040	3.685	<0.0001	Oui
F.o.l vs B15	3.729	12.941	3.663	<0.0001	Oui
F.o.l vs B10	3.721	12.916	3.639	<0.0001	Oui
F.o.l vs A22	3.714	12.891	3.615	<0.0001	Oui
F.o.l vs B17	3.657	12.693	3.589	<0.0001	Oui
F.o.l vs B2	3.650	12.668	3.561	<0.0001	Oui
F.o.l vs A19	3.550	12.321	3.532	<0.0001	Oui
F.o.l vs A13	3.543	12.296	3.500	<0.0001	Oui
F.o.l vs A14	3.543	12.296	3.467	<0.0001	Oui
F.o.l vs B11	3.543	12.296	3.431	<0.0001	Oui
F.o.l vs C5	3.436	11.925	3.392	<0.0001	Oui
F.o.l vs B3	3.321	11.528	3.350	<0.0001	Oui
F.o.l vs A3	3.250	11.280	3.304	<0.0001	Oui
F.o.l vs B1	3.121	10.834	3.254	<0.0001	Oui
F.o.l vs A2	3.057	10.611	3.197	<0.0001	Oui
F.o.l vs A5	2.964	10.288	3.134	<0.0001	Oui
F.o.l vs A6	2.893	10.040	3.061	<0.0001	Oui
F.o.l vs C4	2.850	9.892	2.976	<0.0001	Oui
F.o.l vs A8	2.814	9.768	2.875	<0.0001	Oui
F.o.l vs A4	2.800	9.718	2.751	<0.0001	Oui
F.o.l vs A1	2.629	9.123	2.589	<0.0001	Oui
F.o.l vs A7	2.621	9.098	2.360	<0.0001	Oui
F.o.l vs C2	2.064	7.165	1.971	<0.0001	Oui

Tableau 06 : Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Souche (Newman-Keuls (SNK)) :

Modalité	Moyennes estimées(Diamètre)	Groupes					
F.o.l	4.600	A					
C2	2.536	B					
A7	1.979	B C					
A1	1.971	B C					
A4	1.800	B C D					
A8	1.786	B C D					
C4	1.750	B C D E					
A6	1.707	B C D E F					
A5	1.636	C D E F					
A2	1.543	C D E F					
B1	1.479	C D E F					
A3	1.350	C D E F					
B3	1.279	C D E F					
C5	1.164	C D E F					
A13	1.057	C D E F					
A14	1.057	C D E F					
B11	1.057	C D E F					
A19	1.050	C D E F					
B2	0.950	D E F					
B17	0.943	D E F					
A22	0.886	D E F					
B10	0.879	D E F					
B15	0.871	D E F					
B4	0.843	D E F					
B14	0.829	D E F					
A18	0.807	D E F					
C10	0.764	D E F					
A21	0.750	D E F					
A9	0.743	D E F					
B5	0.700	E F					
A20	0.686	E F					
B8	0.679	E F					
A12	0.671	E F					
B9	0.664	F					
B18	0.650	F					
B6	0.636	F					
B7	0.636	F					

Tableau 07 : Groupement par le test Newman-Keuls (SNK)

	Diamètre
F.o.1	4.600
C2	2.536
A7	1.979
A1	1.971
A4	1.800
A8	1.786
C4	1.750
A6	1.707
A5	1.636
A2	1.543
B1	1.479
A3	1.350
B3	1.279
C5	1.164
A13	1.057
A14	1.057
B11	1.057
A19	1.050
B2	0.950
B17	0.943
A22	0.886
B10	0.879
B15	0.871
B4	0.843
B14	0.829
A18	0.807
C10	0.764
A21	0.750
A9	0.743
B5	0.700
A20	0.686
B8	0.679
A12	0.671
B9	0.664
B18	0.650
B6	0.636
B7	0.636

Résumé

La tomate est le légume le plus consommé dans le monde après la pomme de terre. Parmi les maladies fongiques qui touche cette culture, la flétrissure fusarienne causée par (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*). La dynamique actuelle de réduction des intrants chimiques amène au développement de nouveaux produits dits biologiques. Il s'agit de remplacer la lutte chimique par l'utilisation des sols suppressifs représenté par les microorganismes antagonistes.

Les 36 isolats obtenus (17 actinomycètes, 15 bactéries et 4 champignons) à partir d'un sol et cultivés sur divers milieux de culture (PDA, YPG et CDA), ont été confrontés *in vitro* avec *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race1. Les résultats montrent que certaines souches isolées ont une activité antagoniste importante, où ils ont inhibé significativement la croissance mycélienne de l'agent pathogène testé avec un pourcentage d'inhibition atteignant dans certains cas 90.36%.

Mots clés : tomate, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, intrants chimiques, sols suppressifs, microorganismes antagonistes, activité antagoniste.

Abstract

The tomato is the most consumed vegetable in the world after the potato. Among the fungal diseases affecting this crop is Fusarium wilt caused by (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*). The current dynamic of reducing chemical inputs leads to the development of new so-called biological products. It is a question of replacing chemical control by the use of suppressive soils represented by antagonistic microorganisms.

The 36 isolates obtained (17 actinomycetes, 15 bacteria and 4 fungi) from a soil and cultivated on various growth medium (PDA, YPG and CDA), were confronted *in vitro* with *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race1. The results show that some isolated strains have significant antagonistic activity, where they significantly inhibited the mycelial growth of the pathogen tested with a percentage of inhibition reaching in some cases 90.36%.

Key words: Tomato, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* , chemical inputs, suppressive soils, antagonistic microorganisms, antagonistic activity.

ملخص

تعتبر الطماطم من أكثر الخضروات استهلاكًا في العالم بعد البطاطس. ومن الأمراض الفطرية التي تصيب هذا المحصول ذبول الفيوزاريوم الناتج عن (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*). تؤدي الديناميكية الحالية المتمثلة في تقليل المدخلات الكيميائية إلى تطوير ما يسمى بالمنتجات البيولوجية الجديدة. إنها مسألة استبدال المدخلات الكيميائية باستخدام التربة القاتلة للأمراض بكائنات دقيقة معادية.

تمت مواجهة 36 عزلة (17 أكتينوميست و 15 بكتيريا و 4 فطريات) من التربة المزروعة على وسط نمو مختلف (PDA و YPG و CDA) في المختبر مع *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. أظهرت النتائج أن بعض السلالات المعزولة لها نشاط عدائي حيث أعاقت بشكل كبير النمو الفطري للعامل الممرض الذي تم اختباره مع نسبة تثبيط تصل في بعض الحالات إلى 90.36%.

الكلمات المفتاحية : الطماطم، *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* ، المدخلات الكيميائية، التربة القاتلة للأمراض، الكائنات الدقيقة المعادية ، النشاط العدائي.