

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

Université Amar TELIDJI - Laghouat -  
Faculté des Sciences  
Département des Sciences Agronomiques

جامعة عمار ثليجي - الاغواط -  
كلية العلوم  
قسم العلوم الفلاحية



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Agronomie*

*Option : Protection Des Végétaux et d'Environnement*

***Thème***

*Implication de quelques isolats d'actinomycètes  
endophytes dans le biocontrôle de Fusarium  
oxysporum f. sp. radicis lycopersici*

Présenté par : **Kiboub Ikram**

Le : 16 /09/2014

Encadré par : **M. GOUDJAL YACINE.** (Maître de conférences B)

Kiboub Ikram.

Implication de quelques isolats d'actinomycètes endophytes dans le biocontrôle de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*

## Résumé

Dix isolats d'actinomycètes endophytes ont été isolés des racines de plantes spontanées d'une zone aride de la région d'El-Khneg (Laghouat). Les activités antifongiques de tous les isolats d'actinomycètes endophytes étaient étudiées vis-à-vis *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*: l'agent causal de la fonte des semis de la tomate (cv. Marmande). Tous les isolats ont été étudiés pour leur potentiel de lutte biologique de la fonte des semis *in vitro*, quatre isolats TL5, AR1, TL8 et TL4 ont montré une incidence faible 13,33%, 23,33%, 30% et 30% respectivement. Les résultats de la lutte biologique *in vivo* de cet agent pathogène dans un sol stérilisé et dans un sol non stérilisé, ont permis de classer les isolats *Streptomyces* spp. TL2 et TL4 comme meilleur agents de lutte biologique avec un taux de plantules saines de 76.47% et de 100% respectivement, ainsi leur promotion de la croissance des plantules de tomate.

Les résultats de notre travail ouvrent des perspectives prometteuses pour les souches *Streptomyces* spp. TL2 et TL4 comme meilleur agent de biocontrôle.

Mots clés: Actinomycètes endophytes, biocontrôle, Fonte des semis, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*, Tomate.

قيوب اكرام.

المساهمة في اثبات قدرة بعض الاكتينو ميسات اندوفيت في المكافحة البيولوجية ضد اجهاض شتلات الطماطم التي يسببها فيزيروم اوكسيسبروم غدسي ليكوبرسيس.

#### ملخص

تم عزل 10 اكتينومييسات اندوفيت من جذور نباتات صحراوية من منطقة الخنق -الاعواط - . تمت دراسة نشاط مضاد الفطريات لكل معزولات اكتينومييسات اندوفيت ضد *Fusarium oxysporom f. sp. radicis lycopersic* العامل المسبب لمرض اجهاض شتلات للطماطم . تم دراسة قدرة جميع المعزولات للمكافحة البيولوجية ضد اجهاض شتلات للطماطم, حدوث انخفاض معدل الإصابة في اربعة معزولات TL4 .TL8 .AR1 .TL5 بنسبة % 23.33, 13.33% 30% , 30% على التوالي. النتائج المحصل عليها من المكافحة البيولوجية ضد العامل المسبب للمرض في التربة المعقمة و الغير معقمة , سمح بتحديد افضل المعزولات من حيث تعزيزها لنمو الشتلات و نسبة الشتلات السليمة , % 76.33% 100 وهي TL2 . TL4 على التوالي.

الكلمات الدالة: اكتينومييسات اندوفيت, المكافحة البيولوجية, اجهاض الشتلات, الطماطم , فيزيروم اوكسيسبروم غدسي ليكوبرسيس.

Kiboub Ikram.

Implication of some endophytic actinomycetes in biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*

#### Summary

Ten endophytic actinomycetes were isolated from the roots of spontaneous plants of an arid area in EL-Khneg region (Laghouat). The antifungal activities of all endophytes actinomycetes isolates were studied against *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* the causal agent of damping-off of tomato (*cv.* Marmande). All isolates were studied for their biological control potential against damping-off *in vitro*. Four isolates TL5, AR1, TL8 and TL4 showed a low incidence 13,33%, 23,33%, 30% and 30% respectively. The results of the biological control *in vivo* of this pathogen in a sterilized soil and unsterilized soil ground, were used to classify isolates *Streptomyces* spp. TL2 and TL4 as the best biological control agents with a healthy rate of seedlings 76,47% and 100% respectively, and their promotion of the growth of tomato seedling. The results of our work open promising prospects for *Streptomyces* spp. TL2 and TL4 as best biocontrol agent.

Key-words: Endophytes actinomycetes, Biological control, Damping-off, Tomato, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire :*

*À mes chers parents qui m'ont soutenus et  
encouragés tout au long de mes études.*

*À ma sœur et mes frères et tous mes amis ainsi tous  
mes collègues de travail.*

# *Remerciements*

*Tout d'abord, je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour terminer ce travail.*

*J'exprime mes profonds remerciements à mon encadreur M.GOUDJAL YACINE Maître de conférences B à Université Amar Telidji Laghouat, pour son aide, ses précieux conseils scientifiques avisés qu'il m'a prodigué.*

*Je tiens également à remercier Mme. GOUDJAL- ZAMOUM MiYADA Maître assistant A à Université Amar Telidji Laghouat, Qui m'à avoir tendus la main pour La réalisation de mon projet de fin d'étude.*

*J'exprime à remercie les membres de jury, de m'avoir fait l'honneur de présider et d'examine mon travail.*

*Sans oublier d'exprimer mes sincères remerciements à mes enseignants qui m'ont aidé tout au long de mon parcours d'étude.*

<b>Sommaire</b>	<b>Page</b>
Résumé.....	I
Dédicace.....	IV
Remerciements.....	V
Sommaire.....	VI
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des figures.....	IX
Liste des abréviations.....	X
Introduction.....	1
<b>Données bibliographiques</b>	
I. Généralités.....	3
I.1. Historique et origine de la tomate.....	3
I.2. Classification de la tomate.....	3
I.3. Caractéristiques morphologiques de la tomate.....	4
I.4. Exigences pédo-climatiques.....	6
I.5. Les variétés les plus utilisées en Algérie.....	6
II. FONTE DES SEMIS.....	7
II.1. L'agent causal.....	8
II.2. Symptomatologie de la maladie.....	8
II.3. <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> .....	9
II.3.1. Micromorphologie.....	9
II.3.2. Caractères cultureux.....	9
II.3.3. Taxonomie.....	10
II.4. Biologie du <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> .....	10
II.5. Facteurs favorisant le développement de la maladie.....	11
III. MOYEN DE LUTTE CONTRE LA FONTE DES SEMIS.....	11
III.1. Pratiques culturales et physique.....	11
III.2. Lutte chimique.....	12
III.3. La lutte biologique.....	12
III.3.1. L'antibiose et la production d'antibiotique.....	13
III.3.2. Compétition pour le fer et la production de sidérophores.....	13
III.3.3. Parasitisme et production des enzymes.....	13
III.3.4. Promotion de la croissance de la plante et production des phytohormones...	14
III.3.5. Renforcement de la capacité défensive de la plante.....	14
IV. LES ACTINOMYCETES.....	15
IV.1. Définition et caractéristiques.....	15
IV.2. Morphologie.....	15
IV.3. Ecologie.....	18
IV.4. Classification des actinomycètes.....	18
IV.5. Actinomycètes endophytes.....	19
IV.6. Les bactéries bénéfiques PGPB ( <i>Plant Growth Promoting Bacteria</i> ).....	19
VII. EXEMPLE DE BIOPESTICIDE A BASE D'ACTINOMYCETE.....	20

<b>Matériel et méthodes</b>	
I. MATERIEL.....	22
I.1. Matériels végétales.....	22
I.1.1. La tomate.....	22
I.2. Les souches.....	22
I.2.1. Agent pathogène.....	22
I.2.2. Les isolats d'actinomycètes.....	23
II. METHODES D'ETUDES.....	23
II.1. Activités des antibioses <i>in vitro</i> .....	23
II.1.1. Méthodes des stries croisées.....	23
II.1.2. Méthodes des disques.....	24
II.2. Contrôle biologique <i>in vitro</i> .....	25
II.3. Contrôle biologique <i>in vivo</i> .....	27
II.4. Les analyses statistiques.....	28
<b>Résultats et discussions</b>	
I. Résultats des activités d'antibioses <i>in vitro</i> .....	29
II. Contrôle biologique <i>in vitro</i> de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> ...	31
III. Contrôle biologique <i>in vivo</i> de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> ...	32
IV. résultats de la promotion de la croissance des plantules de tomate.....	37
<b>Conclusion</b> .....	39
<b>Références bibliographiques</b> .....	41
<b>Annexe</b> .....	50

## Liste des tableaux

	<b>Page</b>
Tableau 1. Caractéristiques du cultivar Marmande.....	7
Tableau2. Classe d'actinomycètes .....	18
Tableau 3. Activité d'antibiose des actinomycètes endophytes sur la croissance mycélienne de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> .....	28

## Liste des figures

	Page
Figure 1. Appareil végétatif et Appareil reproducteur de tomate : A) Système racinaire, B) Tige, C) Feuille, D) Fleur, E) Fruit, F) Graine.....	5
Figure 2. Symptôme de la fonte du semis sur un plant de tomate.....	8
Figure 3. Biologie de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> sous microscope (G × 400).....	11
Figure 4. Exemples des principales formes de chaînes de spores chez les actinomycètes.....	16
Figure 5. Micromorphologie de quelques genres d'actinomycètes.....	17
Figure 6. <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersi</i> cultivé sur milieu PDA.....	22
Figure 7. Schème de la confrontation directe entre le champignon pathogène et l'actinomycète sur milieu ISP2 en boîte de Pétri (méthode des stries croisées).....	24
Figure 8. Confrontation directe entre le champignon pathogène et l'actinomycète sur milieu ISP2 en boîte de Pétri (méthode des disques).....	25
Figure 9. Une partie du dispositif expérimental <i>in vitro</i> .....	26
Figure 10. Résultats de l'incidence de la fonte des semis de la tomate <i>in vitro</i> causé par <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> .....	30
Figure 11. Symptômes de la fonte des semis : plantules mortes et graines non germées et pourriture racinaire causé par <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> .....	31
Figure 12. Taux de plantules saines traité par les spores de la souche <i>Streptomyces</i> sp. TL5.....	32
Figure 13. Résultats de l'activité de contrôle biologique <i>in vivo</i> de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> (sol non stérilisé et sol stérilisé).....	33
Figure 14. Résultats de contrôle biologique <i>in vivo</i> représenté les différents traitements	34
Figure 15. Promotion de la croissance des plantules de la tomate en sol stérilisé.....	35
Figure 16. Poids frais et poids sec des plantules de tomate en sol stérilisé.....	35
Figure 17. Promotion de la croissance des plantules de tomate en sol non stérilisé.....	36
Figure 18. Poids frais et poids sec des plantules de tomate en sol non stérilisé.....	36
Figure 19. Le marché des biopesticides microbiens en 2005.....	50

## Liste des abréviations

AIA : Acide indole- 3- acétique.

*cv.* Cultivar.

EPR: Emergence Promoting Rhizobacteria.

FORL: *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersic*.

ISR : Induced systemic resistance.

ITCMI. Institut technique de cultures maraîchères et industrielles.

LBSM : Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens.

PGPB : Plant Growth Promoting bacteria.

RAP : Réseau d'avertissement phytosanitaire.

UFC : Unité formatrice d'une colonie.

YIB : Yield Increased Bacteria.

.

# *Introduction*

## Introduction

La culture de tomate est l'une des plus populaires dans le monde entier. Cette culture a été limitée et affaiblie par une panoplie de maladies microbiennes d'origines variables (mildiou, oïdium, pourriture grise et fonte des semis...etc.), et de ravageurs (mouche blanche, pucerons, thrips, nématodes...ect.) (Toufouti, 2012).

Actuellement, ce sont essentiellement des pesticides de synthèse qui sont utilisés. Ces produits chimiques sont considérés comme l'arme la plus efficace pour faire face à ces problèmes, mais ces substances ont des conséquences néfastes sur l'environnement comme l'accumulation de résidus et la pollution des sols, l'apparition et la généralisation des mécanismes de résistance chez les agents pathogènes, le déséquilibre écologique, dû au fait que beaucoup de ces composés de synthèse ont un large spectre d'action, détruisant non seulement les agents nuisibles, mais également les autres populations de l'écosystème (Kouassi, 2001., Thakore, 2006).

Au regard de ces inconvénients, il est important de trouver des solutions alternatives qui permettront de continuer à lutter contre les agents phytopathogènes tout en diminuant l'emploi de produits chimiques. Celles-ci peuvent faire appel à la rationalisation des pratiques agricoles (fumigation-stérilisation en horticulture, désinfection des graines, rotation des cultures, contrôle du vecteur de la maladie...ect.), à l'utilisation des variétés résistantes (croisements sélectifs, insertion de gènes...ect.) ou au développement des biopesticides (Minuto *et al.* 2006).

Ces biopesticides, ou agents de lutte biologique, peuvent être définis comme des produits phytosanitaires dont le principe actif est un organisme vivant ou l'un de ses dérivés. Ils peuvent donc être constitués d'organismes (plantes, insectes, nématodes) ou de micro-organismes (bactéries, levures, champignons, virus) exerçant une activité protectrice sur les plantes vis-à-vis des agents phytopathogènes, mais aussi de substances d'origine naturelle telles que des extraits végétaux et des phéromones (Thakore, 2006).

Parmi ces bactéries, les actinomycètes représentent une partie importante de la population microbienne du sol (Breton *et al.*, 1989). Ils sont capables de coloniser la rhizosphère grâce leurs caractères antagonistes et compétitifs vis-à-vis des autres micro-organismes du sol, de produire de nombreux métabolites ayant des structures chimiques et des activités biologiques très diverses (Ouhdouch *et al.*, 2001 Gundliffe, 2006., Sontag *et al.*, 2006). Grâce à ces

aptitudes, ces microorganismes sont largement utilisés dans la lutte biologique contre les phytopathogènes du sol (Xiao *et al.*, 2002). L'interaction entre la plante et ces microorganismes peut avoir des effets positifs sur la santé des plantes, la récolte et la qualité du sol (Sturz et Christie, 2003).

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence le pouvoir de quelques isolats d'actinomycètes endophytes en lutte biologique contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* l'agent causal de la fonte des semis, par des tests biologiques *in vitro* et *in vivo*, et ce en vue d'évaluer leur potentiel de biocontrôle.

*Données  
bibliographiques*

## I. GENERALITES

### I.1. Historique et origine de la tomate

La tomate est originaire de l'Amérique du sud. Son ancêtre sauvage, *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*, était présent au Pérou, au Chili, dans la vallée des Andes et en Equateur (Doré et Varoqaux, 2006). Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe en 1544. De là, sa culture s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et en Moyen Orient. Sa première description fut faite en 1544 par le botaniste Italien Matthioli. Son nom latin *Lycopersicum esculentum* lui fut donné par le botaniste anglais Phillip Miller en 1731. Pour des raisons phylogénétiques, la tomate est appelée *Solanum lycopersicum* L (Shankara *et al.*, 2005).

En Algérie, ce sont les cultures de sud de l'Espagne (Tomateros), qui l'ont introduite étant donné des conditions qui lui sont propices. Sa consommation à commencer dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral algérois (Latigui, 1984).

### I.2. Classification de la tomate

La tomate dont l'appartenance à la famille des solanacées a été classée par Linné en 1753, comme *Solanum lycopersicon*. D'autres botanistes lui ont attribué différents noms : *Solanum lycopersicum*, *Solanum esculentum*, *Lycopersicum lycopersicum* ; c'est finalement *lycopersicum esculentum* attribué par Philip Miller en 1754, qui a été retenue (Munroe et Small, 1997). Sheh *et al* (2006) rappellent que la tomate appartient à la classification suivante :

Règne :	<i>Plantae</i>
Sous règne :	<i>Trachenobionta</i>
Division :	<i>Magnoliophyta</i>
Classe :	<i>Magnoliopsida</i>
Sous classe :	<i>Asteridae</i>
Ordre :	<i>Solanales</i>
Famille :	<i>Solanaceae</i>
Genre :	<i>Solanum</i>
Espèce :	<i>Solanum lycopersicum</i> L.

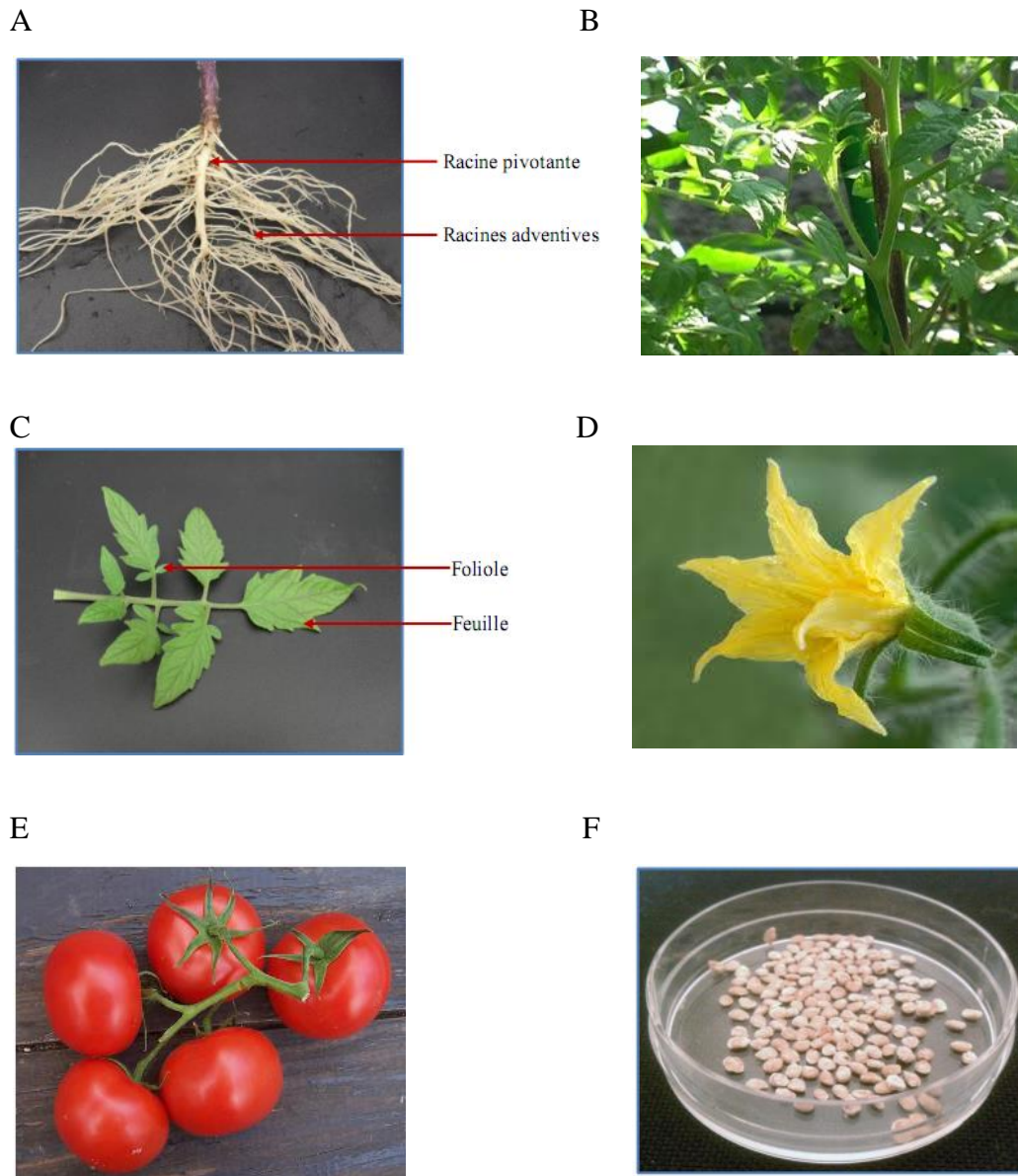
### I.3. Caractéristiques morphologiques de la tomate

La plante a un appareil végétatif différencié en racines, tige, feuilles. Le système racinaire est fasciculé, de nombreuses racines primaires, secondaires, tertiaires prennent naissance sur un pivot puissant (Naika *et al.*, 2005) (Figure 1-A). La croissance de la tige monopodiale au début, devient sympodiale après quatre ou cinq feuilles ; pendant que les bourgeons axillaires donnent naissance à des ramifications successives, les bourgeons terminaux produisent des fleurs ou avortent. Les rameaux issus des bourgeons axillaires produisent des feuilles à chaque nœud et se terminent par une inflorescence (Milne-Edwards, 2010) (Figure 1-B).

Les feuilles alternées, longues de 10 à 25 cm, sont composées, imparipennées, et comprennent de 5 à 7 folioles aux lobes très découpés ; le bord du limbe est denté (Blancke, 2001). Elles sont vertes et ont une odeur forte lorsqu'on les froisse. La tige et les feuilles portent des poils (Naika *et al.*, 2005) (Figure 1-C).

La fleur de tomate est actinomorphe à symétrie pentamère, hermaphrodite. Le calice compte cinq sépales, après la fécondation, il subsiste au sommet du fruit. La corolle a également cinq pétales d'un jaune vif, soudés à la base, souvent réfléchis en arrière, et formant une étoile à cinq pointes. L'androcée est constitué de cinq étamines à déhiscence latérale. Les anthères allongées forment un cône resserré autour du pistil. Celui-ci est constitué de deux carpelles soudés, formant un ovaire supère biloculaire et à placentation centrale. Chez certaines variétés l'ovaire est pluriloculaire (Milne-Edwards, 2010). La fécondation est autogamique mais avec possibilités de pollinisation croisée assurée par les abeilles et le vent (Blancke, 2001) (Figure 1-D).

Le fruit est une baie charnue formée d'une peau (épicarpe), d'une chair (mésocarpe) et d'une formation centrale (endocarpe) qui contient des graines (pépins). Les fruits sont traditionnellement sphériques et rouges, ils peuvent être de diverses formes, tailles et couleurs (Figure 1-E). Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert. Suivant les variétés, les graines sont plus ou moins abondantes (Milne-Edwards, 2010) (Figure 1-F).



Source : Courchinoux, 2008.

Figure 1. Appareil végétatif et Appareil reproducteur de la tomate : A) Système racinaire, B) Tige, C) Feuille, D) Fleur, E) Fruit, F) Graine.

#### **I.4. Exigences pédo-climatiques**

La tomate a des exigences particulières. Elle est sensible au froid, craint beaucoup le gel et les vents chauds et est très exigeante en température. La température est le facteur déterminant dans la production de la tomate. Elle influence la croissance végétative, la formation des grappes florales, la fructification, le développement des fruits, le mûrissement et la qualité des fruits. Les basses températures (<10°C) ralentissent la croissance et le développement des plantes. Il en résulte un raccourcissement des entre-nœuds et la formation d'un feuillage abondant au détriment de la production, en plus d'une ramification des bouquets et des difficultés de nouaison. Par contre, les températures élevées favorisent la croissance de la plante au détriment de l'inflorescence qui peut avorter. Les températures optimales sont comprises entre 20 et 25°C le jour. Les températures nocturnes optimales sont de l'ordre de 13 à 17°C (Chibane, 1999).

La culture de la tomate peut supporter une humidité relative qui varie de très faible à très élevée. Une humidité relative de 75% est jugée optimale. La croissance est généralement favorisée par un taux élevé d'humidité relative, et un taux élevé durant le jour peut aussi améliorer la fructification. Elle permet d'avoir des fruits de bons calibres. Lorsque ce taux est bas, l'irrigation est absolument nécessaire, et lorsqu'il est élevé, des maladies peuvent se manifester, notamment le botrytis et le mildiou (Heller, 1981).

La tomate n'est pas sensible au photopériodisme, cependant son développement exige de fortes quantités de lumière. La longueur de l'obscurité est essentielle pour le contrôle de la croissance et le développement de la tomate. Le développement reproducteur de la tomate est fortement influencé par la quantité totale d'énergie que reçoit la plante quotidiennement. (Kinet, 1985).

En général, la tomate n'a pas de besoins particuliers en matière de structure du sol. Néanmoins, elle s'adapte bien dans les sols profonds, meubles, bien aérés et bien drainés. Une texture sablonneuse ou sablo-limoneuse est préférable (Elattir *et al.*, 2003).

#### **I.5. Les variétés les plus cultivées en Algérie**

Les variétés de tomate sont très nombreuses. A cet effet, ces dernières peuvent être classées selon leur croissance, qui peut être du type indéterminé ou du type déterminé (Snoussi, 2010).

Pour le type indéterminé, les variétés à caractères fixés les plus utilisées sont : Marmande et Saint pierre. Les hybrides : Actana, Agora, Bond, Nedjma, Tafna, Tavira, Toufan, Tyerno et Zahra sont les plus utilisées en Algérie (Snoussi, 2010).

Pour le type déterminé, la variété à caractère fixé, la plus utilisée est la variété Aicha. Les hybrides: Farouna, Joker, Luxor, Super red, Tomaland, TOP 48, Suzana, Zigana et Zeralda sont également très cultivés en Algérie (ITCMI, 2012).

- La variété Marmande

Tableau 1. Caractéristiques du cultivar Marmande

La plante	Fruit	Autre caractères
Type de semence : fixée ou standard.	Forme : ronde, aplatie, côtelée	Production : rendement précoce élevé
Croissance : semi déterminée.	Couleur : rouge intense	Destination : sous abris plastiques et plein champ
Vigueur : moyenne.	Collet vert : très peu marqué	
Précocité : très précoce.	Cicatrice stylaire : moyennement marquée	Résistance aux maladies:
Couvert végétal : moyen.	Chair : peu charnue, bien juteuse	Virales.
Couleur du feuillage : vert.	Nombre de fruits par bouquet : 4 à 6	
Aération : moyenne.	Nombre de loges par fruit : 4 à 5	
Écart entre nœud : court à moyen	Calibre du fruit : moyen	
	Poids moyen d'un fruit : 120 à 150 grammes.	
	Fermeté du fruit : peu ferme	

Source : ITCMI, 2012.

## II. FONTE DES SEMIS

La fonte des semis est une maladie des plantes dont un des principaux symptômes est un pourrissement des jeunes pousses en cours de germination dans les pépinières ou alors tout juste au moment du repiquage dans la parcelle ce qui entraîne la mort subite du plant. Elle est provoquée par une série de champignons vivant dans le sol ou alors transmis par les semences. L'attaque commence au niveau des racines et du collet pour se propager par, la suite, sur la tige (Lebdi-Grissa, 2010).

## II.1. L'agent causal

La fonte des semis est causée par différentes espèces de champignons qui peuvent varier suivant la plante concernée, le sol et la région où l'on se trouve. Les principaux agents microbiens responsables de cette maladie sont : *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora parasitica*, *Phytophthora capsici*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia* spp. et *Fusarium* spp. De nombreux travaux ont montrés le rôle de *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis lycopersici* sur la fonte des semis de nombreuses plantes cultivées, notamment la tomate (Benhamou et Thériault, 1992 ; Boivin, 1994 ; Dhanaskaran *et al.*, 2005 ; Hibar *et al.*, 2005 ; Richard).

## II.2. Symptomatologie de la maladie

Cette affection se manifeste souvent par une pourriture ou un petit collet boudiné rougeâtre ou brun à la base de la tige des plantules. Les plantules se dessèchent, deviennent filiformes et meurent. Une fois que la maladie est apparue, il existe peu de recours pour la contrer. Il est alors plus simple de se débarrasser des plants malades que de tenter de les sauver (Blancard, 2001) (Figure2).



Source : Brouillard, 2012.

Figure 2. Symptôme de la fonte du semis sur des plantules de tomate

---

### II.3. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*

#### II.3.1. Micromorphologie

*Fusarium oxysporum* est caractérisé par la présence abondante de microconidies (Tivoli, 1988) fusiformes à réniformes, présentant 0 à 2 septa, agglomérés en fausses têtes produites par de petits phialides (5 à 12 x 2,2 à 3,5µm). Des observations microscopiques ont montré qu'une population de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* est constituée de plusieurs propagules dont les microconidies à elles seules constituent plus de 90% de cette population (Tello- Marquina et Alabouvette, 1984).

Les macroconidies sont légèrement arquées, présentant 3 à 4 septa, la cellule basale pédicellée, la cellule apicale en crochet, produite par des phialides sur des conidiophores ramifiés ou en sporodochie (27 à 46 x 3 à 4,5 µm) (Messiaen et Cassini, 1968).

Les chlamydospores sont hyalines, lisses ou rugueuses, globuleuses, terminales ou intercalaires (5 à 15µm de diamètre) (Komi, 1993). Les chlamydospores sont des organes de conservation, résultant de l'accumulation de réserves dans une région (article du mycélium ou conidie) qui se dilate un peu et s'entoure finalement d'une membrane épaisse de teinte généralement foncée (Dommergues et Mangenot, 1970., Nelson *et al.*, 1983). Après trois semaines de culture, de nombreuses chlamydospores intercalaires apparaissent sur le mycélium (Tivoli, 1988).

#### II.3.2. Caractères cultureux

Les champignons du genre *Fusarium* se développent bien sur milieu PDA. La température optimale de croissance varie entre 22 et 37°C. Les colonies duveteuses ou cotonneuses sont de couleur variable (blanc, crème, jaune, rose, rouge, violette ou lilas) selon les espèces (Chebasse *et al.*, 2002).

---

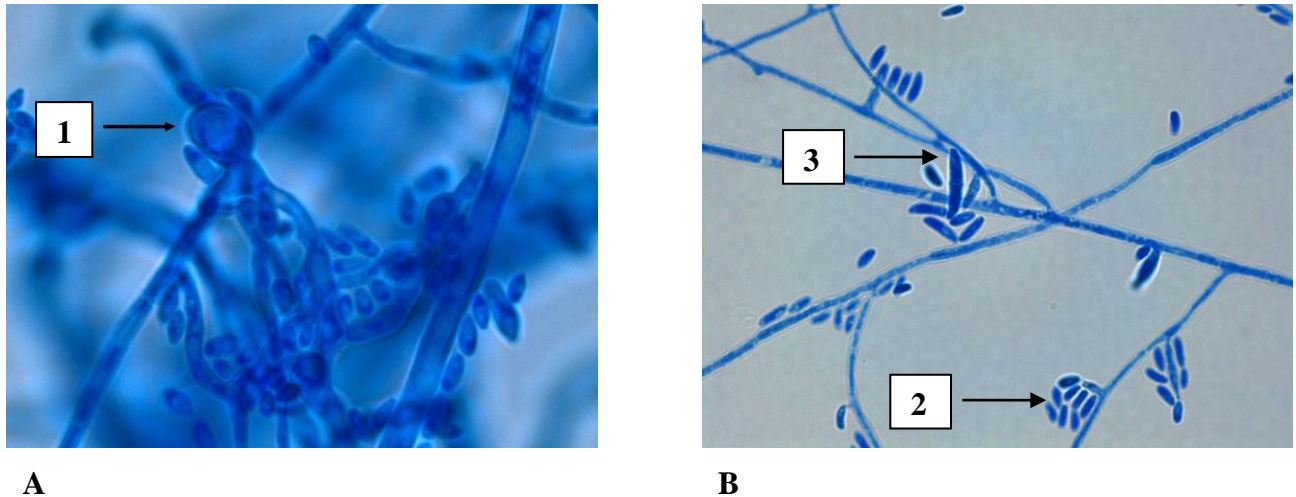
### II.3.3. Taxonomie

Règne :	<i>Champignons</i>
Embranchement:	<i>Ascomycota</i>
Classe:	<i>Sordariomycetes</i>
Sous-classe:	<i>Hypocreomycetidae</i>
Ordre :	<i>Hypocreales</i>
Famille:	<i>Nectriaceae</i>
Genre:	<i>Fusarium</i>
Espèce:	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> . (Jarvis et Shoemaker, 1979).

### II.4. Biologie du *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*

Les champignons du genre *Fusarium* peuvent se conserver dans le sol pendant plusieurs mois sous forme de chlamydospores ou de mycélium capables de se propager sur les débris végétaux. Des conidies se forment au niveau de coussinets roses sur les débris végétaux et à la base des tiges atteintes de Piétin (Kendall, 2008).

La biologie de *Fusarium* se différencie des autres espèces qui sont responsables de la fonte des semis. Ses attaques restent localisées au-dessus du sol et touchent les racines. Le champignon se conserve dans le sol sous forme de chlamydospores (Figure 3-A). Les agglomérats (sporodochies) de microconidies sont pigmentés de rouge. Le champignon produit également des macroconidies (Snyd et Hansen, 1999) (Figure 3-B).



Source. Snyder et Hansen, 1999.

1 : Chlamydospores. 2 : Microconidies asymétriques, légèrement incurvées, déposées en amas à l'extrémité de monophyalides solitaires. 3 : Macroconidies.

Figure 3. Biologie de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radialis lycopersici* sous microscope (G × 400).

## II.5. Facteurs favorisant le développement de la maladie

La fonte des semis est le plus souvent observée dans un sol froid et humide que ce soit en plein champ ou en terreau de départ. L'air humide et stagnant est aussi un facteur qui favorise le développement de la fonte des semis. Comme son nom l'indique, cette maladie s'attaque au semis, pouvant apparaître dès la mise en terre des graines aussi bien qu'au stade plantule (Agrios, 2005).

## III. MOYEN DE LUTTE CONTRE LA FONTE DES SEMIS

### III.1. Pratiques culturales et physique

Certaines pratiques culturales, telles la désinfection des instruments de travail et des espaces de culture ainsi que l'utilisation de matériel végétal exempt d'agents pathogènes, doivent être mises en place afin d'éviter l'introduction de l'inoculum dans la culture. Toutefois, l'exclusion complète d'agents pathogènes est pratiquement impossible. Le choix du substrat a également une influence sur l'incidence des maladies. Juneau et ses collaborateurs (2006) ont démontré que l'utilisation d'un substrat organique à base de tourbe, de compost et de sciure de pin réduisait la fonte comparativement à la laine de roche chez des plants de tomate cultivés

sous des conditions environnementales propices au développement de cette maladie. De façon générale, les pratiques culturales améliorant le développement du système racinaire aident à la prévention de la fonte des semis (Jarvis, 1992).

Anchisi *et al* (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 plantes 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).

### **III.2. Lutte chimique**

Plusieurs stratégies chimiques permettent de lutter contre l'invasion d'une plante par un champignon, de façon directe ou indirecte. En effet, certains fongicides agissent sur le système énergétique des cellules fongiques en inhibant les processus respiratoires. D'autres agissent sur la synthèse des constituants du champignon. Des substances ont encore pour but de désorganiser les cellules des tissus fongiques et leurs divisions. Un classement de ces matières actives consiste à distinguer plusieurs catégories suivant leur pénétration dans la plante et leur fonction chimique (Rocher, 2004).

### **III.3. La lutte biologique**

La lutte biologique a pour principe l'utilisation des agents biologiques capables d'entrer en compétition (antagonisme) avec les agents pathogènes et les ravageurs sans avoir d'activité néfaste sur la plante. Ces agents naturels sont réunis sous le concept de biopesticides. Plusieurs microorganismes du sol ont été utilisés pour lutter contre les maladies des plantes (Singh *et al.*, 2003 ; Haas et Defago 2005 ; Valdebenito *et al.*, 2006 ; Rahman *et al.*, 2007).

Ces microorganismes utilisent différents mécanismes pour lutter contre les agents phytopathogènes du sol, à savoir : L'antibiose, la compétition, le parasitisme et/ou l'induction des mécanismes de résistance chez la plante (Spadaro et Gallino, 2004 ; Bouizgarne *et al.*, 2006 ; Prévost *et al.*, 2006 ; Lehr *et al.*, 2008).

Une meilleure application d'un agent efficace de lutte biologique nécessite une bonne compréhension du (ou des) mécanisme(s) qu'il utilise et là (ou les) molécule(s) qu'il sécrète pour inhiber les agents phytopathogènes (Alabouvette *et al.*, 1991).

### III.3.1. L'antibiose et la production des composés antibiotiques

L'antibiose, par définition, est l'inhibition de l'agent phytopathogène par la production des métabolites secondaires par un autre microorganisme (Cook et Baker, 1983). En général ces métabolites sont des métabolites secondaires à faible poids moléculaire ayant une fonction antifongique et/ou antibactérienne. Ceux-ci offrent aux agents antagonistes un pouvoir d'inhibition des agents phytopathogènes et de colonisation de l'espace rhizosphérique des plantes (Peter *et al.*, 2003).

La production de ces métabolites présente un rôle important dans la lutte contre les agents phytopathogènes (Schottel *et al.*, 2001 ; Raaijmakers *et al.*, 2002 ; Spadaro et Gallino, 2004 ; El-Tarabily et Sivasithamparam, 2006). Cette production est influencée par des facteurs abiotiques qui correspondent à la composition du sol en matière organique, l'humidité du sol et le pH. Les facteurs biotiques qui sont surtout liés à l'interaction de l'agent antagoniste avec la plante et la microflore du sol, peuvent aussi influencer la production des composés antibiotiques (Lemrisse *et al.*, 2003).

### III.3.2. Compétition pour le fer et la production des sidérophores

Le manque de nutriments peut engendrer automatiquement la mort de l'agent phytopathogène. Ceci fait de la compétition nutritive un moyen important de la lutte biologique (Benitez *et al.*, 2004). Le fer est un élément essentiel pour la croissance et la survie de la plupart des champignons phytopathogènes (Eisendle *et al.*, 2004). Certains agents antagonistes ont la capacité de produire des composés de nature protéique à faibles poids moléculaires appelés sidérophores. Ces molécules permettent à ces microorganismes de chélater le fer du milieu et ainsi d'inhiber la croissance des agents phytopathogènes (Bouitez *et al.*, 2004).

### III.3.3. Parasitisme et production des enzymes lytiques

Le parasitisme consiste en l'interaction directe entre deux microorganismes où les tissus vivants de l'un constituent une base nutritive pour l'autre. L'agent antagoniste sécrète des enzymes dégradant les parois cellulaires des agents phytopathogènes comme les protéases, les chitinases et les glucanases. Les agents de biocontrôle qui utilisent ce mode sont nombreux. *Bacillus subtilis* réduit les populations de *Pythium ultimum* et de *Rhizoctonia solani* par sécrétion de glucanases et de protéases (Paulitz et Bélanger, 2001). *Trichoderma* sp. produit

des  $\beta$ -glucanases dégradant les parois de *Sclerotium rolfsii*, de *Rhizoctonia solani*, de *Botrytis cinerea* et *Pythium ultimum* (Viterbo *et al.*, 2002). Certains actinomycètes produisent aussi des chitinases et glucanases pour dégrader la paroi de *Fusarium oxysporum* (El-Tarabily *et al.*, 1997 ; Sabaou *et al.*, 1998 ; Schottel *et al.*, 2001).

#### III.3.4. Promotion de la croissance de la plante et production des phytohormones

Les auxines, comme l'AIA, qui peuvent être produites par des microorganismes, jouent un rôle important dans les interactions plante-microorganisme et en particulier la régulation de la croissance des plantes (Vassilev *et al.*, 2006). Le mécanisme d'action de l'AIA a été expliqué par hypothèse: l'AIA peut agir en inhibant la germination des spores et la croissance mycéliale de différents champignons phytopathogènes où l'AIA avec les glutathio S-trasférases jouent un rôle dans les réactions de défenses de la plante (Droog, 1997). Brimer et Bolound (2004) ont montré que le traitement des racines des œillets par *Pseudomonas fluorescens* WERA17 induit la résistance de ces racines au flétrissement causé par *Fusarium oxysporum* f. sp. Indiragandhi *et al* (2008) dans une autre étude, ont montré qu'*Acinetobacter* sp. PSGB03 et *Serratia* sp. PRGB11 sont capables de solubiliser le phosphate, de produire à la fois des composés antifongiques, des sidérophores, l'AIA, de chitinases et de glucanases.

#### III.3.5. Renforcement de la capacité défensive de la plante

Certaines microorganismes peuvent protéger les plantes d'une façon indirecte par la stimulation de mécanismes de défense inductibles dans la plante, ce qui peut rendre l'hôte beaucoup plus résistant à l'agression future par des agents pathogènes. Ce phénomène a été nommé «résistance systémique induite» «ISR» (Pieterse *et al.*, 2007). L'induction d'une telle capacité de défense est systémique : le traitement des racines par des PGPB produit des effets protecteurs sur d'autres parties de la plante sans migration des bactéries induit l'ISR au travers du système vasculaire de la plante ou à travers les tissus (Ramamoorthy *et al.*, 2001 ; Bent, 2006). Les mécanismes développés par les plantes permettent de se protéger contre un large spectre d'agent pathogènes fongiques, bactériens et viraux, et aussi vis-à-vis de maladies causées par certains insectes et nématodes (Dong, 2001).

## IV. LES ACTINOMYCETES

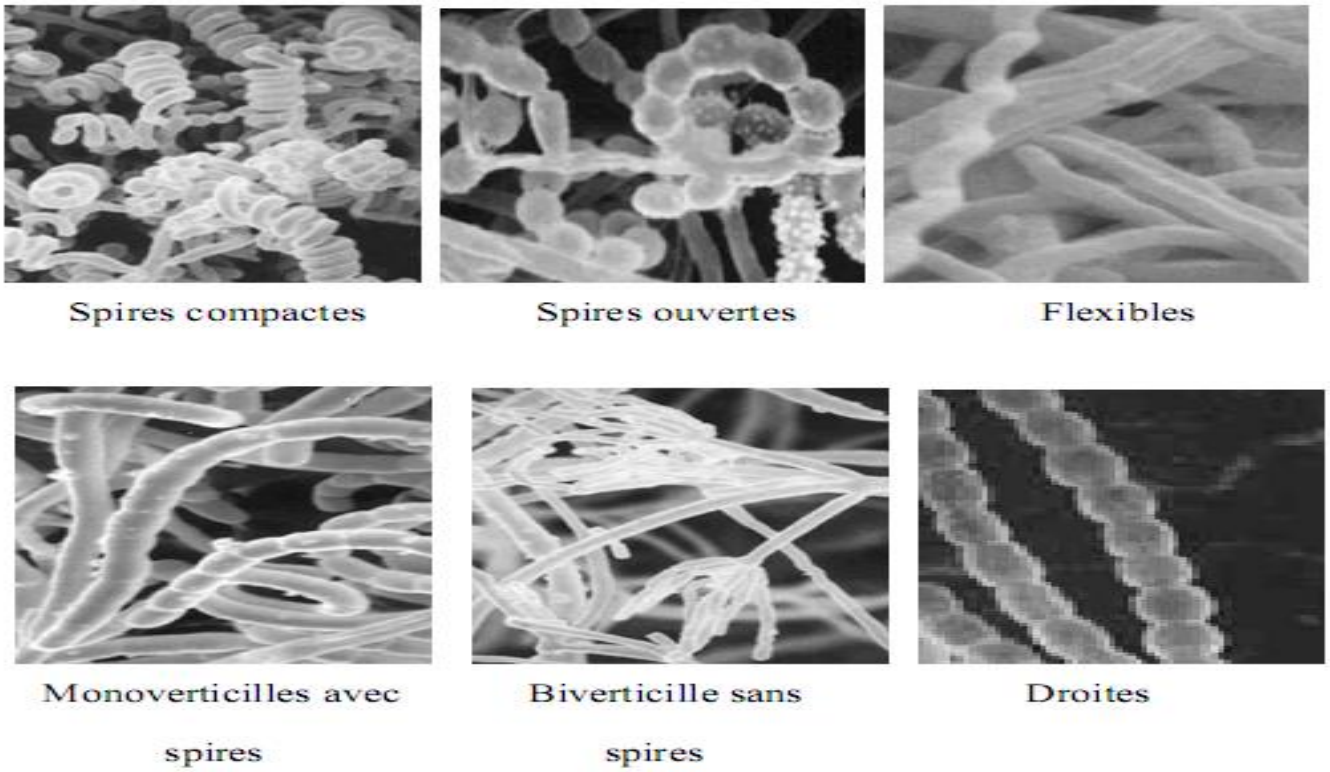
### IV.1. Définition et caractéristiques

Les actinomycètes sont des bactéries filamenteuses, séptées, ramifiées, à coloration de Gram positive (Sabaou *et al.*, 1992). La morphologie des différents groupes d'actinomycètes est très variable, elle va de formes peu évoluées comme *Mycobacterium*, à des formes très évoluées comme le genre *Streptomyces* qui forme un véritable mycélium non fragmenté et sporulant (Smaoui, 2010).

Les actinomycètes ont longtemps été considérés comme des champignons primitifs, du fait de leur mycélium, souvent à la fois aérien et pénétrant dans le substrat nutritif, et du fait également de la fructification par sporanges libérant des spores (Horinouchi, 2002).

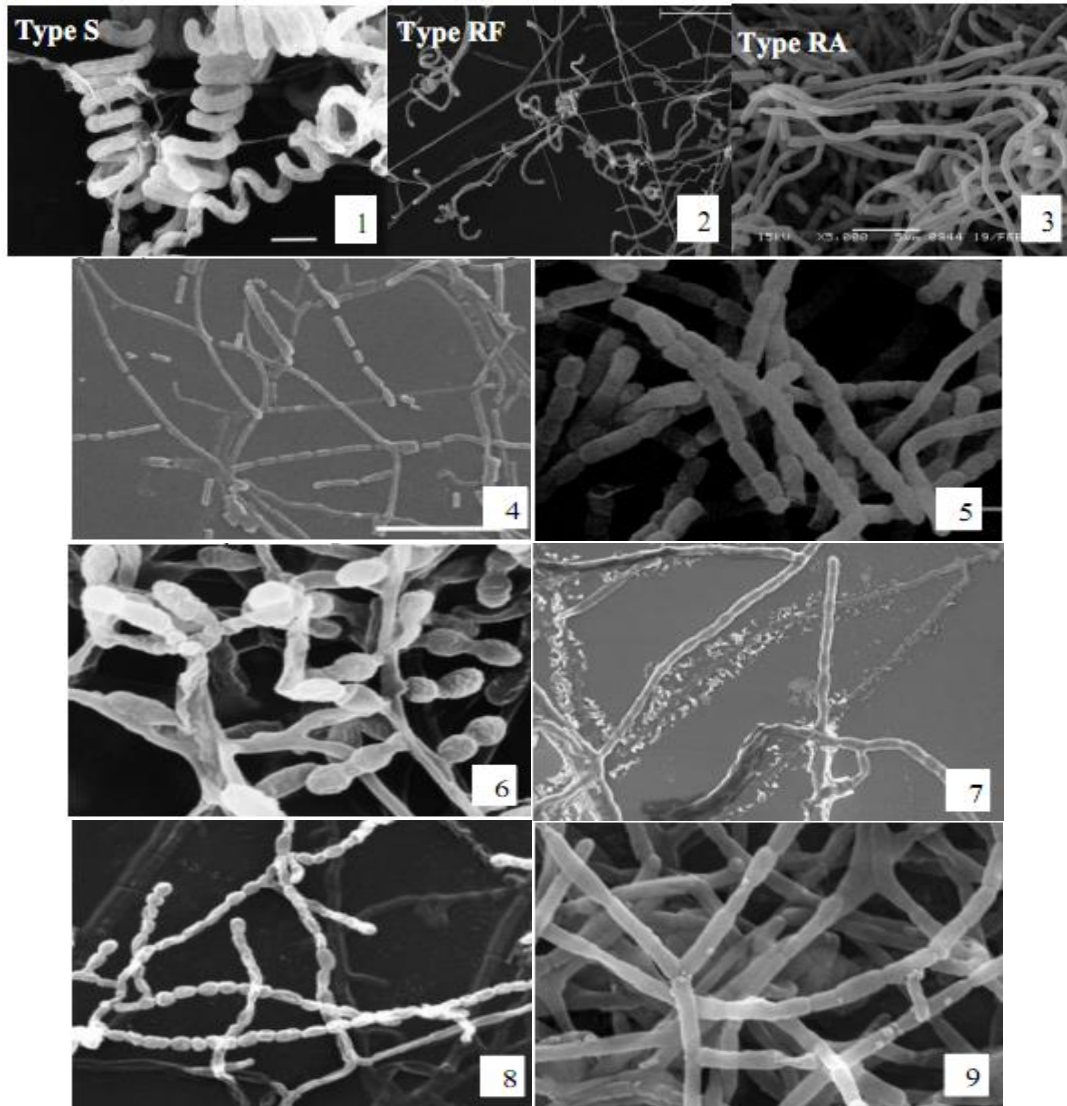
### IV.2. Morphologie

La morphologie des différents groupes d'actinomycètes est très variable. Elle va de simples bacilles diphtéroïdes à des formes mycéliennes complexes. Certains peuvent présenter un mycélium se développant sur et dans les milieux (mycélium végétatif ou mycélium de substrat) ou dans l'air au-dessus du substrat (mycélium aérien). Les filaments peuvent produire des spores soit isolées, soit groupées en chaînes ou même enfermées dans un sporange ou conidies qui libèrent des spores de formes variées (d'aspects lisses, ridée), soit isolées soit groupées en chaînes (Figure 4). Certains actinomycètes forment un mycélium non persistant rapidement transformé en une masse de formes bactéroïdes irrégulières. D'autres actinomycètes, ne présentent que des mycéliums très rudimentaires. Les colonies qu'ils forment sur milieux solides sont caractéristiques, elles résultent de l'accumulation des hyphes ramifiés et non pas des cellules comme c'est le cas chez les bactéries non filamenteuses (Figure 5). Le diamètre des colonies est de 1 à 4 mm. L'aspect des colonies est compact, sec, lisse ou rugueux en chou-fleur à contours lisse ou échancré. Elles sont très souvent pigmentées en blanc, crème, jaune, violet, rose et gris (Perry *et al.*, 2004).



Source. Joachin, 2002.

Figure 4. Exemples des principales formes de chaînes de spores chez les actinomycètes



1: chaînes de spores spiralées (Takahashi *et al.*, 2002) ; 2: chaînes en crochets ou en boucles (Nagai *et al.*, 2010) ; 3: chaînes de spores droites à flexueuses (Xu *et al.*, 2009); 4: spores en bâtonnets et espacées formant des chaînes droites (Yang *et al.*, 2008); 5: spores en bâtonnets formant de longues chaînes droites à flexueuses (Al-Yoshida *et al.*, 1991); 6: spores agencées par paires sur le MA (Al-Zarban *et al.*, 2002); 7: spores ovales à bâtonnets formant des chaînes courtes (Li *et al.*, 2003a); 8: spores rondes à ovales arrangées en chaînes (Tang *et al.*, 2009); 9: spores en bâtonnets formant de longues chaînes (Li *et al.*, 2003b).

Figure 5. Micromorphologie de quelques genres d'actinomycètes.

### IV.3. Ecologie

Les actinomycètes sont des microorganismes ubiquitaires retrouvés dans une grande variété d'habitats naturels. Ils proviennent de différents substrats, en particulier du sol qui représente le réservoir le plus riche en actinomycètes (10 à 20% de la microflore tellurique) et la source de colonisation de nombreux biotopes (Dommergues et Mangenot, 1970).

Ils sont aussi présents dans l'air, les eaux douces et les eaux de mer, le fumier, les composts, le foin, les débris végétaux, les litières, le pollen des plantes, les ruches des abeilles, les plantes en culture, les lichens et plusieurs autres substrats (Goodfellow et Williams, 1983 ; lacey, 1997 ; Kim *et al.*, 1998 ; Taechowisan *et al.*, 2003 ; Gonzàlez *et al.*, 2005 ; Promnuan *et al.*, 2011).

Ils sont retrouvés dans des écosystèmes particuliers tels que les déserts chauds, les glaciers, les sites pollués par des hydrocarbures ou par des métaux lourds, les grottes naturelles, les sédiments marins profonds et les lacs alcalins ou salés (Sabaou *et al.*, 1998 ; Moncheva *et al.*, 2002 ; Pathom-aree *et al.*, 2006 ; Okoro *et al.*, 2009).

### IV.4. Classification des actinomycètes

Selon la classification du "Taxonomic Outline of The Procaryotes, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology" (Garrity *et al.*, 2004), Le Phylum Actinobacteria (bactéries à Gram positif et G+C  $\geq$  55%) est constitué d'une seule classe dénommée également "Actinobacteria". Celle-ci a été décrite par Stackebrandt *et al.* (1997).

Tableau 2. Classe d'actinomycète

Classe d'actinomycète		
Sous-classe	Ordre	Famille
Acidimicrobidae	Acidimicrobiales	Acidimicrobiaceae
Rubrobacteridae	Rubrobactérales	Rubrobacteraceae
Coriobacteridae	Coriobactérales	Coriobacteriaceae
Sphaerobacteridae	Sphaerobactérales	Sphaerobacteraceae
Actinobacteridae	Actinobacteriales	

Source : Larpent, 2000.

#### **IV.5. Actinomycètes endophytes**

Le terme “endophyte” sous-entend un microorganisme capable d’entrer à l’intérieur d’une plante et d’y survivre au moins une partie de sa vie sans provoquer de symptômes apparents à son hôte végétal. Cette définition correspond à la définition de Hallmann (2001) pour les bactéries endophytes et inclut également les microorganismes de nature fongique.

Certains effets dans la promotion de la croissance des plantes de ces endophytes peuvent même former des symbioses remarquables avec les plantes comme c’est le cas avec les genres *Rhizobium* (Sessitsch *et al.*, 2002), et *Burkholderia* dans les nodules des Fabacées (Moulin *et al.*, 2001 ; Chen *et al.*, 2003 ; 2005 ; 2006).

#### **IV.6. Les bactéries bénéfiques PGPB (*Plant Growth Promoting Bacteria*)**

Plusieurs travaux ont montré l’utilité des bactéries bénéfiques pour protéger les plantes contre les infections par les agents pathogènes (Raaijmakers *et al.*, 2002 ; van Loon et Bakker, 2004 ; 2005 ; Cavaglieri *et al.*, 2005 ; Haas et Defago, 2005). De plus certains peuvent stimuler la croissance de leur hôte végétal et sont ainsi d’un grand intérêt pour l’agriculture (Glick, 1995 ; Welbaum *et al.*, 2004). Ces microorganismes bénéfiques ou PGPB “*Plant Growth Promoting Bacteria*” peuvent provenir de différentes niches écologiques telles que la rhizosphère, la spermosphère, la phyllosphère, voire même de l’anthosphère ou de la carposphère. Néanmoins, Hitlner a décrit dès 1904 que la plupart des PGPB est originaire de la rhizosphère (Hartmann, 2005). Elles sont de ce fait des rhizobactéries et sont ainsi appelées PGPR “*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria*” (Klopper et Schroth, 1978). Dans la littérature, on peut rencontrer d’autres appellations des PGPR tels que EPR “*Emergence Promoting Rhizobacteria*” (Kloepper *et al.*, 1986), PGPB (Bashan et Holguin, 1998), “*biocontrol PGPB*” voir même YIB “*Yield Increased Bacteria*” (Chen *et al.*, 1996).

Les Actinomycètes PGPB peuvent présenter des activités antagonistes, induire une résistance systémique chez la plante, produire des composés stimulant la croissance des plantes, accélérer l’émergence des coléoptiles, induire une floraison précoce et voire même conférer au sol des propriétés minimisant les dégâts des plantes (Vessey, 2003 ; Welbaum *et al.*, 2004).

## VII. EXEMPLES DE BIOPESTICIDES A BASE D'ACTINOMYCETES

Les produits d'origine naturelle, sont plus respectueux de l'environnement et de la santé des utilisateurs et de consommateurs, pourront être introduits dans des programmes classiques pour permettre de diminuer l'apport d'intrants chimiques. Différents microorganismes (Bactéries, champignons) (Annexe 2) ont été signalés par plusieurs auteurs pour lutter contre le *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*, tel que les bactéries appartenant au genre *Streptomyces* (Dhedhi *et al.*, 1990 ; Mahadevan et Crawford, 1997 ; Loqman *et al.*, 2009).

En outre, les produits commerciaux pour contrôler la fonte des semis, comme Mycostop® (*Streptomyces griseoviridis* souche K61) et Actinovate® (*Streptomyces lydicus* souche WYEC 108), ont été homologués et commercialisés dans certains pays (Lahdenperä *et al.*, 1991).

### VII. 1. Actinovate®

#### VII.1.1. Renseignements généraux

L'actinovate® est un fongicide biologique qui permet de réprimer la pourriture grise et l'oïdium dans les fraises de grande culture et cultivées en serre, l'oïdium sur les poivrons de grande culture et cultivées en serre, l'oïdium sur les gerbéra de grande culture et cultivées en serre, le blanc (*Podosphaera xanthii*) dans les cucurbitacées de grande culture et cultivées en serre, le blanc (*Leveillula taurica*, *Oidium lycopersicum*) dans les tomates de grande culture et cultivées en serre, l'oïdium (*Uncinula necator*) sur les raisins, et pour la répression partielle de pourriture sclérotique (*Monilinia vaccinii-corymbosi*) sur les bleuets. L'Actinovate® peut réduire des symptômes de pourriture de fruit Anthracnose (*Colletotrichum acutatum*) sur les fraises. Offre aussi la répression des maladies suivantes dans les ornementaux énumérés ci-dessous et cultivés en serre: flétrissure fusarienne sur les cyclamen, pourridié pythien sur les *petunias*, la pourriture des racines et du collet causé par *Rhizoctonia* sur les geraniums et le blanc sur les verbenas (RAP, 2014).

## VII.2. Mycostop®

### VII.2.1. Renseignements généraux

Est utilisé pour le contrôle de la pourriture des graines, des racines et des tiges et la pourriture causée par le *Fusarium*, *Alternaria* et *Phomopsis* de conteneurs plantes ornementales cultivées, des légumes et des arbres et des forêts semis. Mycostop® a également montré la suppression de la pourriture grise *Botrytis* et la pourriture des racines de *Pythium*, *Phytophthora* et *Rhizoctonia* dans la serre. Il peut être utilisé comme un traitement de semences pour les semences ou transmis par le sol fonte des semis sur tomate et le début de la pourriture des racines de plusieurs légumes, d'herbes et de plantes ornementales plantées dans le champ ou en serre (Verdera, 2014).

*Matériel et  
méthodes*

## I. MATERIEL

### I.1. Matériel végétal

#### I.1.1. La tomate

Les semences de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) utilisées dans cette étude sont représentées par le cultivar Marmande. Le choix de la variété de tomate est basé sur sa très large utilisation en culture sous serre en Algérie (Snoussi, 2010). Ces semences sont originaires d'une récolte de l'année 2012 (France).

### I.2. Les souches

#### I.2.1. L'Agent phytopathogène

La souche utilisée pour notre travail est représentée par un champignon phytopathogène *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* obtenu confidentiellement du Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM) d'Alger (Figure 6).

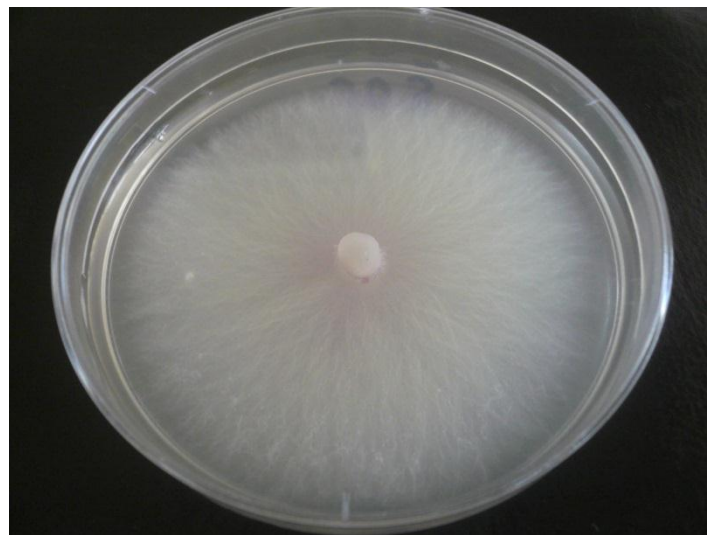


Figure 6. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersi* cultivé sur milieu PDA.

### I.2.2. Les isolats d'actinomycètes

Les souches d'actinomycètes utilisées dans notre expérimentation sont issues des travaux d'isolement, à partir des racines des plantes spontanées prélevées de la région d'EL-khneg Laghouat (33°44' N, 2°47' E), et ce dans le cadre de projet de fin d'étude réalisé au département d'agronomie de l'université Amar Telidji Laghouat (2013).

Un total de 10 isolats d'actinomycètes présentés par les souches : *Streptomyces* sp. TL1, TL2, TL3, TL4, TL5, TL8, AR1, AR2, DN4 et DN19 ont été retenus pour notre travail.

## II. METHODES D'ETUDES

### II.1. Activités d'antibiose *in vitro*

Dans le cas d'un mode d'action par antibiose, l'organisme antagoniste produit des métabolites secondaires actifs contre l'agent pathogène. Ces métabolites produits à faibles concentrations peuvent inhiber la germination, la croissance mycélienne et/ou la sporulation des spores de l'agent pathogène (Montesinos *et al.*, 2009).

Deux méthodes ont été utilisées pour étudier l'activité d'antibiose *in vitro* des isolats d'actinomycètes endophytes vis à vis de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* :

#### II.1.1. Méthodes des stries croisées

La méthode des stries croisées décrite par Boubetra *et al* (2013) a été utilisée pour tester l'activité antifongique des actinomycètes endophytes contre une souche pathogène de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*. Le principe de la méthode consiste à inoculer l'actinomycète selon une strie latérale à la surface du milieu ISP2 en boîte de Pétri (90 mm de diamètre) (Figure7). La culture est ensuite incubée à  $30^{\circ} \pm 2$  C. Après 5 jours d'incubation, le champignon test est inoculé selon une strie perpendiculaire à celle de l'actinomycète. La boîte sera réincubée à nouveau à  $25 \pm 2$  °C et la zone d'inhibition est évaluée en (mm) après 3 jours d'incubation. Une culture témoin de l'agent pathogène, dans les mêmes conditions, est effectuée en absence de l'actinomycète.

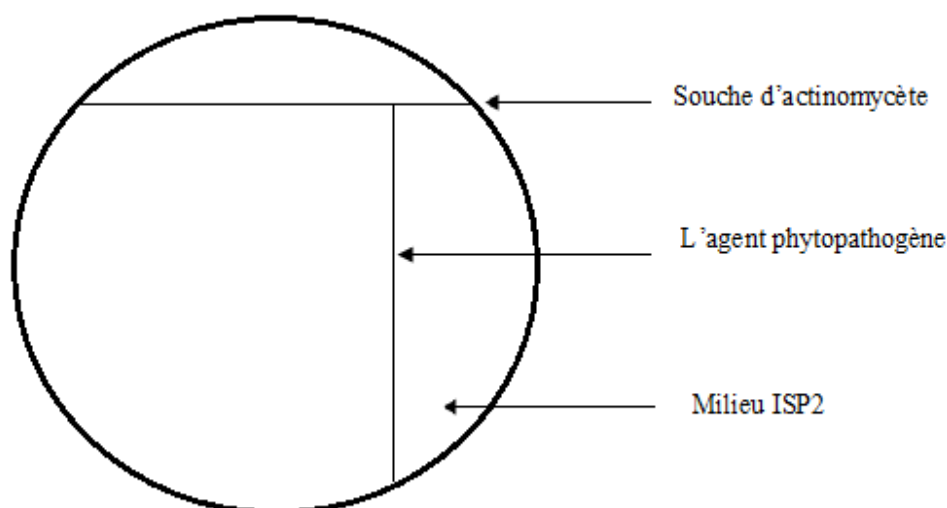


Figure 7. Schème de la confrontation directe entre le champignon pathogène et l'actinomycète sur milieu ISP2 en boîte de Pétri (méthode des stries croisées).

#### II.1.2. Méthode des disques

Les confrontations *in vitro* entre les isolats d'actinomycètes vis-à-vis du champignon phytopathogène *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* a été effectuée selon la méthode des disques décrite par Suzuki *et al.* (2000). Cette technique consiste à placer dans une boîte de Pétri contenant le milieu ISP2, deux disques d'actinomycète de 6 mm de diamètre à 1 cm de la périphérie puis incubés à  $30 \pm 2$  °C (Figure 8). Après 5 jours d'incubation, un disque de même diamètre d'une culture de l'agent pathogène est appliqué au centre de la boîte. Les boîtes sont ensuite incubées à nouveau à  $25 \pm 2$  °C et les zones d'inhibition (en mm) sont mesurées après 3 jours d'incubation.

En vue d'exprimer l'inhibition de l'agent pathogène (en %), une culture d'un témoin négatif de l'agent pathogène a été effectuée dans les mêmes conditions.

Le taux d'inhibition est calculé selon la formule utilisée par Hibar *et al* (2005) comme ainsi :

$$I (\%) = \frac{(1 - Cn)}{Co} \times 100$$

Cn: Diamètre moyen de la croissance de l'agent pathogène en présence d'actinomycète en mm.

Co: Diamètre moyen de la croissance du pathogène en absence d'actinomycète en mm.

I(%): Taux d'inhibition.

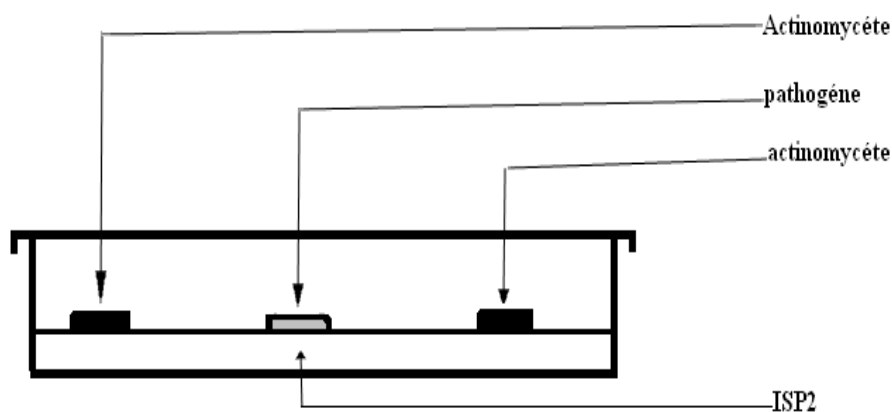


Figure 8. Schéma de la confrontation directe entre le champignon testé et l'actinomycète sur milieu ISP2 en boîte de Pétri (méthode des disques).

## II. 2. Contrôle biologique *in vitro*

Afin de déterminer l'effet antagoniste des actinomycètes endophytes dans la lutte biologique de la fonte des semis de la tomate causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*, un essai de lutte biologique *in vitro* a été effectué selon les étapes suivantes :

### a. Suspensions de spores

Les suspensions de spores ont été préparées par le raclage de la surface de la culture des actinomycètes. Une solution stérile de twin 80 à 0,005% a été ajoutée à la surface des cultures en boîte de Pétri. Les suspensions de spores sont ensuite ajustées à  $10^6$  ufc/ml pour les actinomycètes, et à  $10^5$  ufc/ml pour l'agent pathogène et cela à l'aide d'une cellule de Thoma (Errakhi *et al.*, 2007).

## b. Désinfection et traitement des semences

Une désinfection des semences a été effectuée par trempage dans l'éthanol à 70% pendant 5 min, suivie de 3 rinçages successifs à l'eau distillée stérile pour éliminer le reste de l'agent désinfectant.

Les graines stérilisées ont été enrobées séparément par trempage pendant 30 min dans les suspensions de spores des actinomycètes puis séchées sous hotte à flux laminaire (Coa *et al.*, 2004).

## c. Dispositif expérimental

La germination des graines était effectuée dans des boîtes de Pétri contenant du papier buvard imbibé d'eau distillée stérile. Dix semences traitées ont été déposées à la surface du papier buvard et à raison de 3 répétitions par traitement. Les cultures sont ensuite contaminées par la suspension de spores ( $10^5$  ufc/ml) de l'agent pathogène (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*) à l'aide d'une seringue stérile.

Les boîtes ont été maintenues humides par addition de 3 ml d'eau distillée stérile quotidiennement, afin d'éviter le dessèchement des graines (Figure 9). Après 14 jours de culture, le taux de germination final était évalué et le matériel végétal était récupéré dans le but de déterminer le taux des plantules saines.



Figure 9. Une partie du dispositif expérimental *in vitro*.

### II.3. Contrôle biologique *in vivo*

Dans le but de confirmer le pouvoir antagoniste des actinomycètes endophytes sur l'activité de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*, un essai de lutte biologique *in vivo* a été mis en évidence.

Les protocoles de la désinfection superficielle des semences et de la préparation des suspensions des spores des actinomycètes et de l'agent phytopathogène sont similaires à ceux réalisés pour le contrôle biologique *in vitro*.

Le dispositif expérimental utilisé pour cet essai est celui d'un bloc aléatoire complet à un facteur : le facteur A représenté les différents traitements.

Le semis est effectué en sol sableux prélevé de la région d'El-Bordj El snoussi à Laghouat (33°48'N, 2° 51'E). Dans le premier dispositif, le sol utilisé est stérilisé, le sol utilisé, il a subi une stérilisation par trois autoclavages successifs à 121°C pendant 20 mn afin d'éliminer toute forme de vie pouvant affecter la germination et la croissance des plantules, tandis que pour le deuxième dispositif nous avons utilisé un sol non stérilisé afin de voir l'effet de la microflore indigène du sol utilisé.

Les sols ont été conditionnés dans des pots en polyéthylène (9 cm de haut x 8 cm de diamètre) et infesté avec 10 ml de suspension d'agent pathogène diluée dans 90 ml d'eau distillée stérile. Les pots ont été recouverts d'un film en plastique noir et incubés pendant une semaine à la chambre de culture à température ambiante (environ 25°C) pour favoriser la croissance de l'agent pathogène.

Les pots ont été ensuite semés à raison de six graines pour chacun avec cinq répétitions par traitement. Ils sont ensuite déposés selon un dispositif en bloc aléatoire complet dans une chambre de culture à température ambiante (environ 25°C) et sous un éclairage naturel (environ 14h de lumière par jour). L'irrigation des cultures est effectuée régulièrement dans le but de maintenir une certaine humidité du sol. Après 4 semaines de culture, le taux de l'incidence de la maladie, la longueur du plant entier et la longueur du racine, le poids frais et le poids sec des plantules ont été évalués.

### - Calcul de l'incidence de la maladie

En se basant sur une échelle de notation de symptômes proposée par Vakalounakis et Fragkiadakis (1999), comprenant quatre valeurs:

0: plante saine; 1: léger jaunissement, légère pourriture du pivot et des racines secondaires et pourriture du collet; 2: jaunissement important des feuilles avec ou sans flétrissement, rabougrissement des plantes, pourriture sévère du pivot et des racines secondaires, pourriture importante du collet et brunissement des vaisseaux de la tige; et, 3: mortalité de la plante. Sur la base de ces notations, on a calculé l'incidence de la maladie (%) en utilisant la formule suivante :

$$I \% = \left( \frac{\sum \text{Valeurs} * \text{Nombre de plants infectés}}{(\text{La valeur la plus élevée} * \text{nombre total des plants})} \right) * 100$$

### II.4. Les analyses statistiques

Les résultats ont été représentés par les moyennes de trois répétitions pour le contrôle biologique *in vitro* et pour les moyennes de cinq répétitions pour le contrôle biologique *in vivo* avec une erreur standard. L'analyse de la variance était effectuée à l'aide du logiciel Statistix 8 pour Windows. Les différences sont considérées significatives lorsque la probabilité "P" est inférieure ou égale à 0,05.

*Résultats et  
discussions*

## I. Résultats des activités d'antibiose *in vitro*

Les isolats d'actinomycètes endophytes ont été étudiés pour leur activité d'antibiose *in vitro* vis-à-vis du *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*. Les activités d'antibiose, exprimées en taux d'inhibition, sont regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3. Activité d'antibiose des actinomycètes endophytes sur la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*.

Les souches	Zone d'inhibition (%)*	Zone d'inhibition (%)**
AR1	0	60
AR2	60	46
DN4	30	65
DN19	20	66
TL1	30	70
TL2	20	70
TL3	0	40
TL4	0	72,5
TL5	20	62,5
TL8	20	50

\*Résultats obtenus selon la méthode des striés croisés.

\*\* Résultats obtenus selon la méthode des disques.

La confrontation directe des dix isolats d'actinomycètes avec *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* sur milieu de culture ISP2, nous a permis de mettre en évidence l'aptitude de ces isolats à inhiber la croissance mycélienne de l'agent pathogène. L'action antagoniste se traduit par une faible croissance mycélienne de l'agent pathogène durant les trois premiers jours d'incubation, suivi d'un arrêt total de la croissance à partir du quatrième jour d'incubation. Le taux d'inhibition de la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* varie d'une souche d'actinomycète à une autre et cela, quelle que soit la technique utilisée (technique de striés croisés ou de des disques). Les souches TL4, TL1 et TL2 ont montré, respectivement, les taux d'inhibition les plus élevés (72,5, 70 et 70 %), ces résultats sont confirmés par plusieurs études montrant l'activité antifongique des souches du genre *Streptomyces* sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* (Benhamou et Chet, 1996). Les autres souches présentent des taux d'inhibition moins important.

Ces résultats sont en accord avec ceux donnés par (Sabaou *et al.*, 1992) rapportant l'activité inhibitrice des *Streptomyces* sur la croissance de plusieurs espèces du genre *Fusarium*.

## II. Contrôle biologique *in vitro* de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*

Les résultats du contrôle biologique de la fonte du semis causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* par les isolats d'actinomycètes endophytes, sont représentés par les histogrammes de la figure 10.

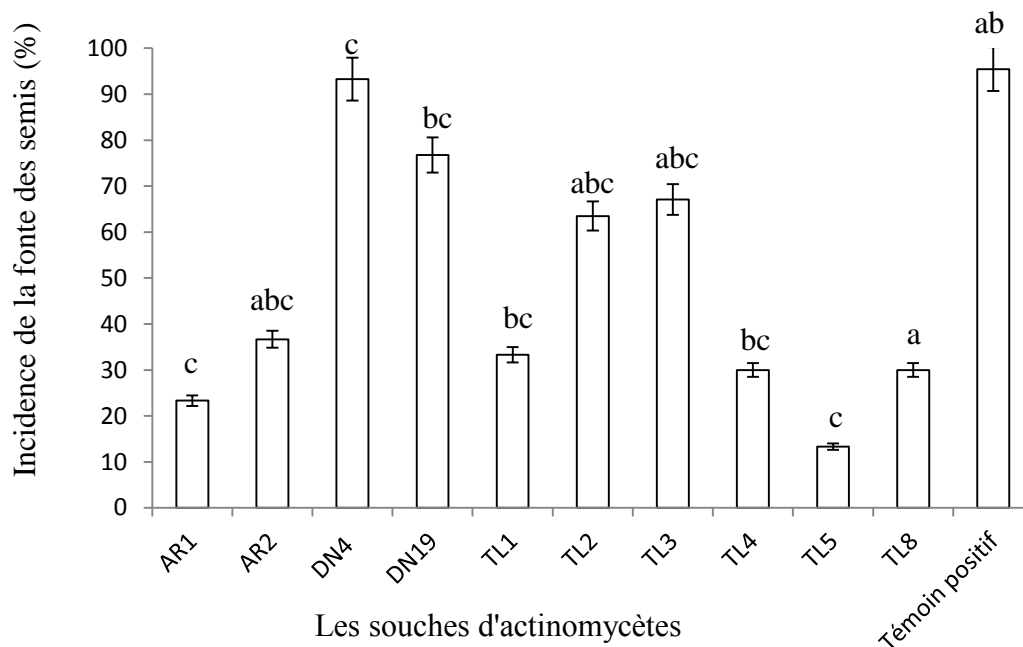


Figure 10. Résultats de l'incidence de la fonte des semis de la tomate *in vitro* causé par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*

Les histogrammes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, selon le test de Fisher LSD la différence la moins significative ( $P \leq 0,05$ ).

Dix isolats du genre *Streptomyces* ont montré une activité variable sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*. Sur la base des résultats obtenus de l'incidence de la maladie, les isolats TL5, AR1, TL8 et TL4 présentent une incidence faible (inférieur à 30 %). Les autres isolats ont montré des taux de plantules infectées plus élevés, et l'incidence de la maladie était relativement élevée (supérieure à 90%) (Figure 10).

D'après ces résultats, nous constatons que la variété Marmande est très sensible à la fonte des semis causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*. Ceci se confirme par le taux de l'incidence (95.45%) (Groupe homogène ab) obtenues dans le cas du témoin positif (Figure 10,11).

L'enrobage des semences par les spores de la souche *Streptomyces* sp. TL5 a permis d'atteindre la faible incidence de la maladie (13,33 %) (Groupe homogène c), ce qui correspond au meilleur taux de protection (86.67%) de plantules saines (Figure 10,12).

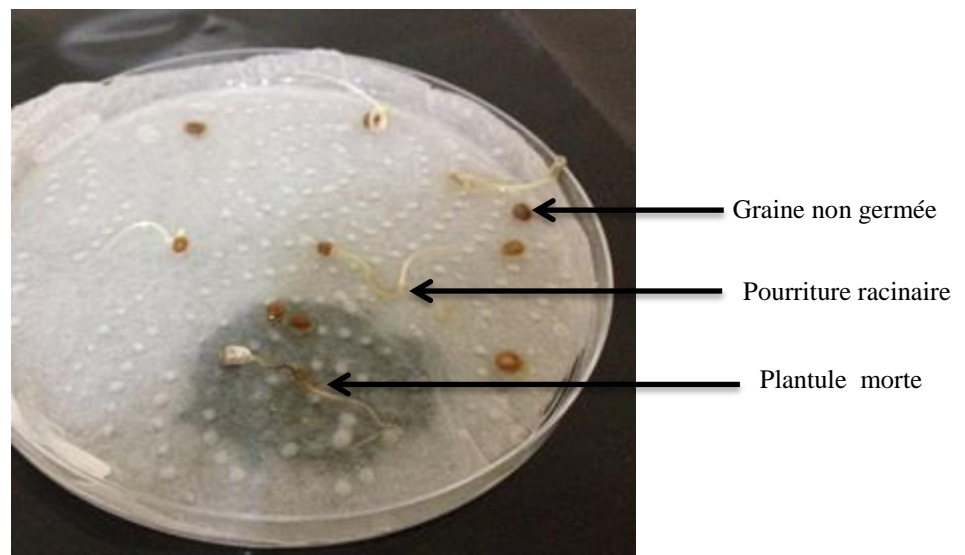


Figure 11. Symptômes de la fonte des semis : plantules mortes et graines non germées et pourriture racinaire causé par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*



Figure 12. Taux de plantules saines traité par les spores de la souche *Streptomyces* sp. TL5.

Il est à noter que certaines souches d'actinomycètes, permettant un seuil de protection élevé *in vitro*, pourraient se doter d'une faible activité d'antibiose sur milieu ISP2. A titre d'exemple nous citons le cas de la souche *Streptomyces* sp. TL4 dont le potentiel d'antibiose sur milieu ISP2 est de 0 % alors que son effet contre la fonte des semis *in vitro* était de 70% de plantules saines. Ce taux d'inhibition *in vitro* peut être expliqué par le fait que la croissance du champignon était limitée par les conditions du milieu et non pas par l'action de la souche *Streptomyces* sp. TL4 en outre, à cette inhibition pourrait être expliquée par un autre mécanisme d'inhibition tel que l'action des enzymes lytiques et la compétition pour les éléments nutritifs, par la production des sidérophores dans le cas du fer par exemple. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Baniyadi *et al.*, (2009). Ces derniers rapportent que le potentiel du contrôle biologique *in vitro* n'est pas proportionnel aux résultats des activités d'antibiose sur milieu de culture (ISP2). La souche *Streptomyces* sp. TL4 avait la meilleure activité d'antibiose sur milieu ISP2. Le taux de protection atteint dans les essais de contrôle biologique *in vitro* est de 70% de plantules saines. Ces résultats sont en accord avec ceux donnés par EL-Tarabily *et al.*, (2008).

### III. Contrôle biologique *in vivo* de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*

Les résultats des essais du pouvoir protecteur *in vivo* des souches d'actinomycètes vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* sont donnés par les histogrammes de la figure 14.

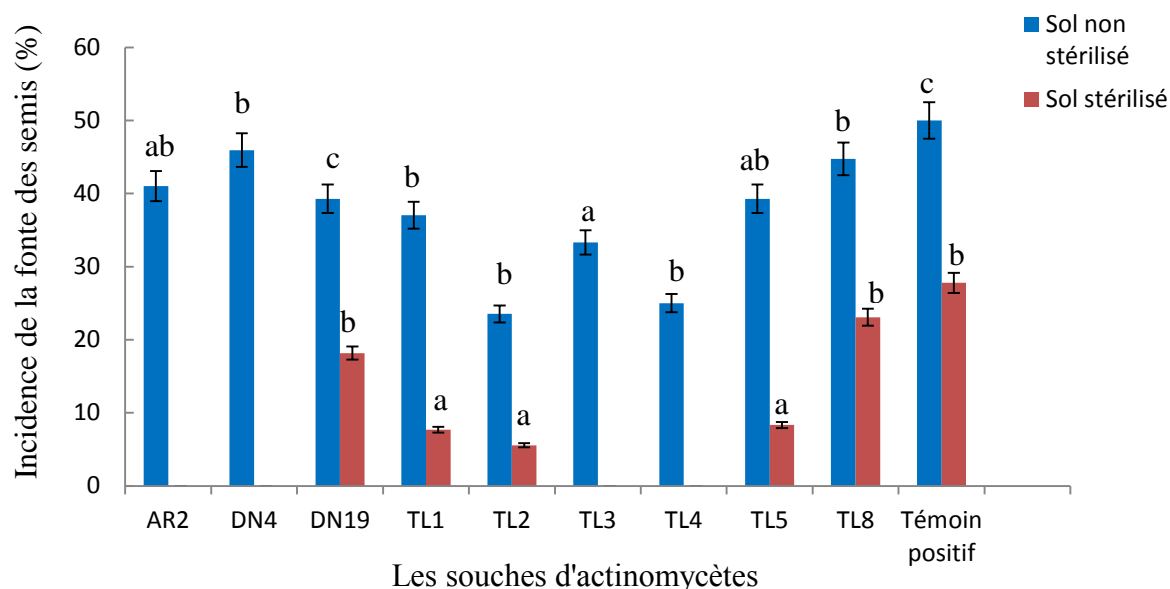


Figure 13. Résultats de l'activité de contrôle biologique *in vivo* de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* (sol non stérilisé et sol stérilisé)

Les histogrammes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, selon le test de Fisher LSD la différence la moins significative ( $P \leq 0,05$ ).

Les résultats de la figure 13 montrent que l'incidence élevée de la maladie (27, 78% et 50%) (Groupe homogène c et b) a été observée avec les graines non traitées dans le sol stérilisé et non stérilisé respectivement.

L'analyse de ces résultats montre que les souches AR2, DN4, TL3 et TL4 dans le sol stérilisé ont permis d'atteindre une meilleure protection des plantules de tomate contre la fonte des semis provoquée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* avec un taux de l'incidence égale à 0% Figure 14. Par contre, dans le sol non stérilisé, nous avons noté une variation quantitative de l'expression de la fonte des semis sur les plants de tomate, estimée à travers des taux de l'incidence importants passant, respectivement, de 23,53% à 50%, et de 5,56% à 27,78% dans le sol stérilisé. Ce développement de la fonte indique la bonne réceptivité de ces sols à *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*, se traduisant par

l'installation de l'agent pathogène, son développement et l'expression de son pouvoir pathogène aux contacts des plants de tomate.

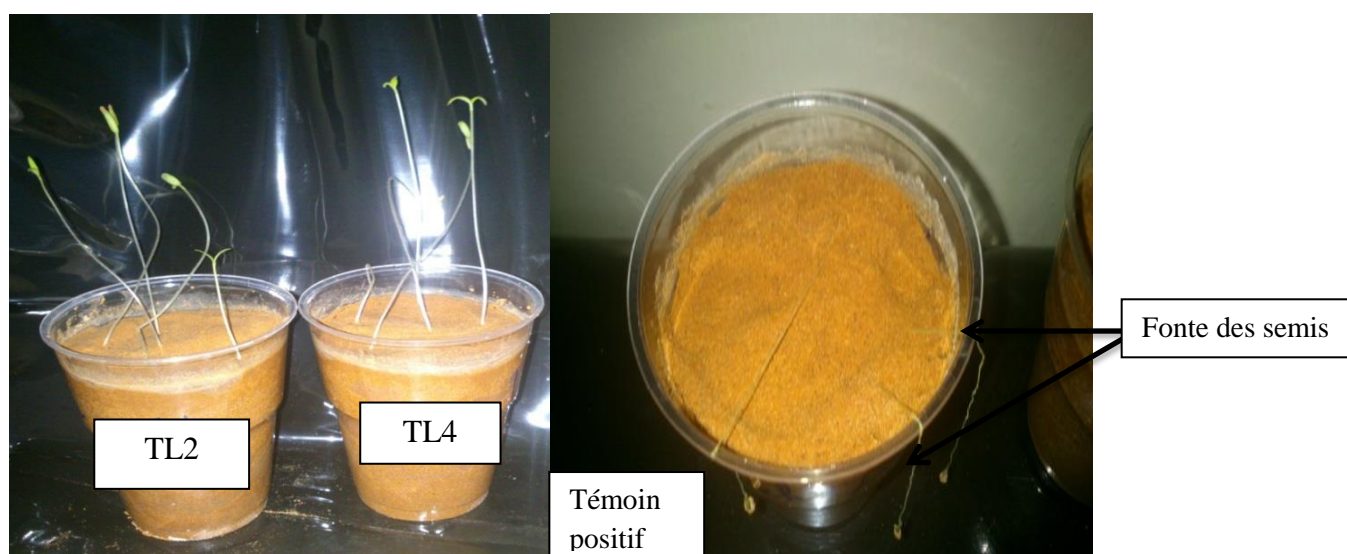


Figure 14. Résultats de contrôle biologique *in vivo* représenté les différents traitements

A l'issue des résultats obtenus, nous constatons encore une fois qu'il n'y a pas de proportionnalité entre le potentiel de contrôle biologique *in vitro* et *in vivo*. La souche *Streptomyces* sp. TL2 (Groupe homogène b) et TL4 ont été considérées comme les meilleurs agents de lutte biologique *in vivo* (sol stérilisé et sol non stérilisé), avec un taux de plantules saines (76.47% et 100%) respectivement.

Nos résultats sont en accord avec plusieurs travaux qui ont rapportés que des tests de contrôle biologique *in vivo* ont donné des résultats satisfaisants en utilisant des *Streptomyces* contre quelques agents pathogènes d'origine tellurique tel que le genre *Fusarium* (Tahvonen et Avikainen, 1987., Mohammadi et Lahdenpera, 1992., Hibar et al., 2007).

#### IV. Résultats de la promotion de la croissance des plantules de tomate

Les isolats d'actinomycète ont été étudiés pour leur effet dans la promotion de la taille des plantules, des racines, ainsi que la promotion du poids frais et du poids sec des plantules et cela pour un sol stérilisé et dans un sol non stérilisé. Les résultats de ces tests sont donnés par les histogrammes des figures (15,16,17 et 18).

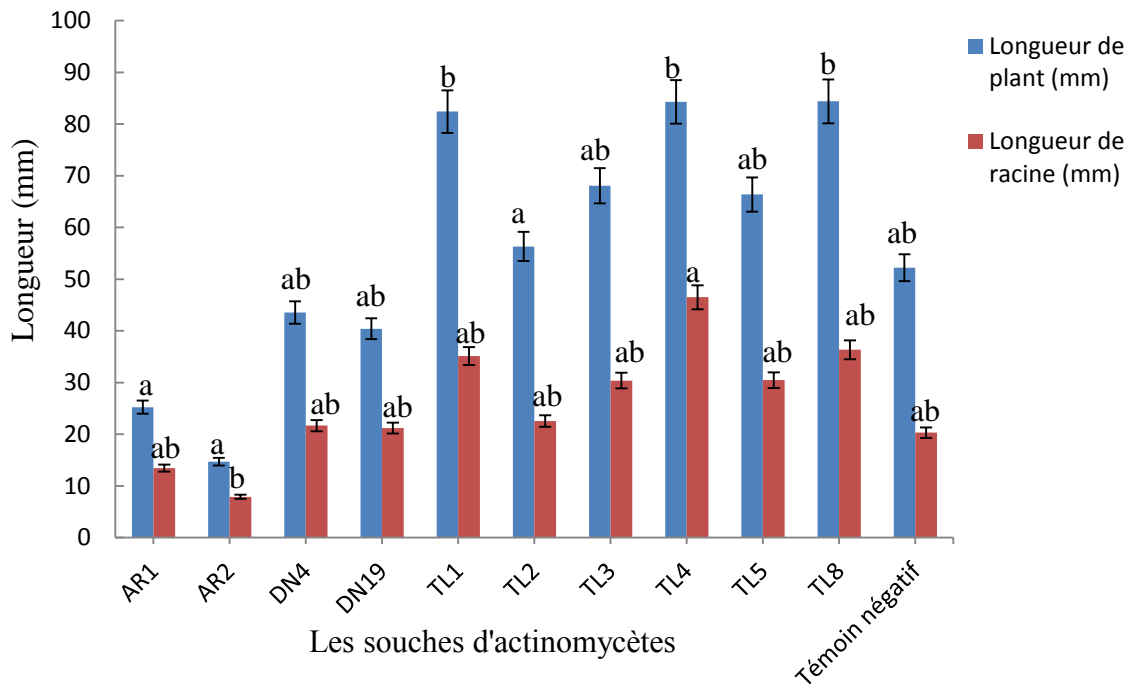


Figure 15. Promotion de la croissance des plantules de la tomate en sol stérilisé

Les histogrammes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, selon le test de Fisher LSD la différence la moins significative ( $P \leq 0,05$ ).

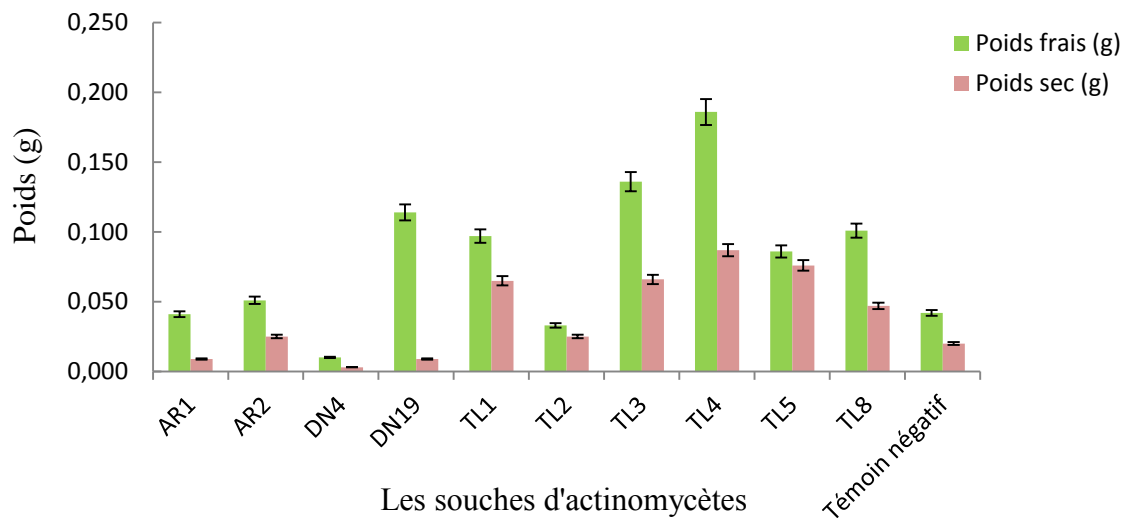


Figure 16. Poids frais et poids sec des plantules de tomate en sol stérilisé

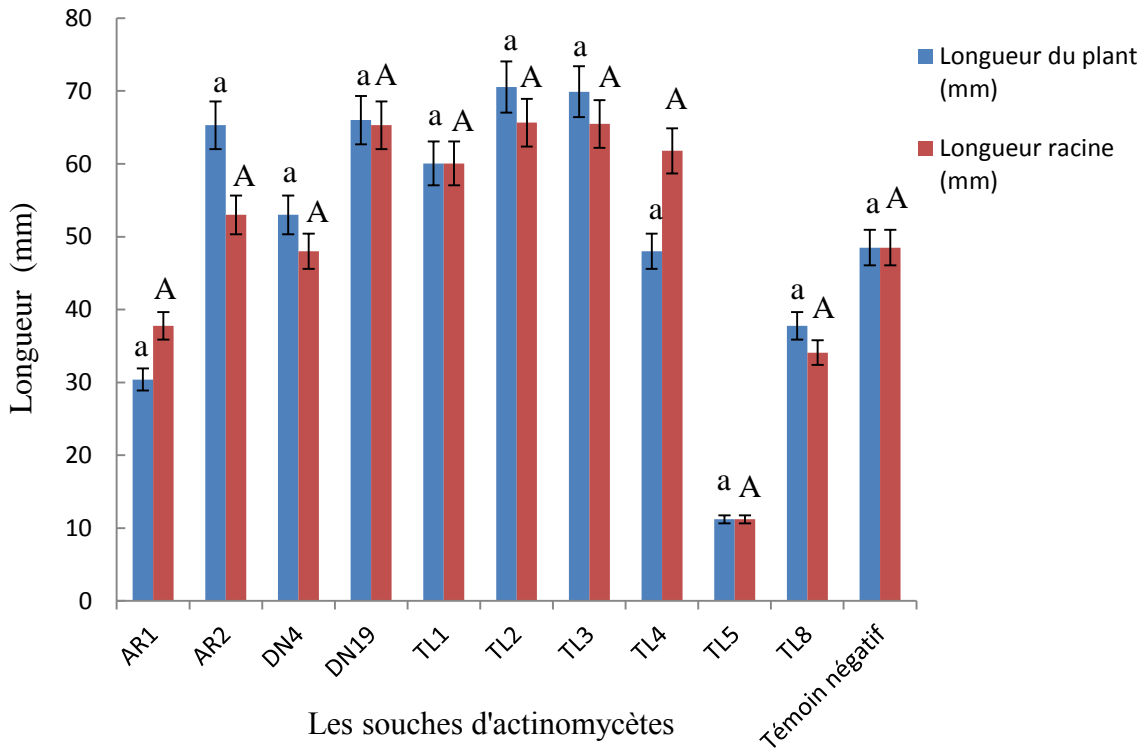


Figure17. Promotion de la croissance des plantules de tomate en sol non stérilisé

Les histogrammes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différents, selon le test de Fisher LSD la différence la moins significative ( $P \leq 0,05$ ).

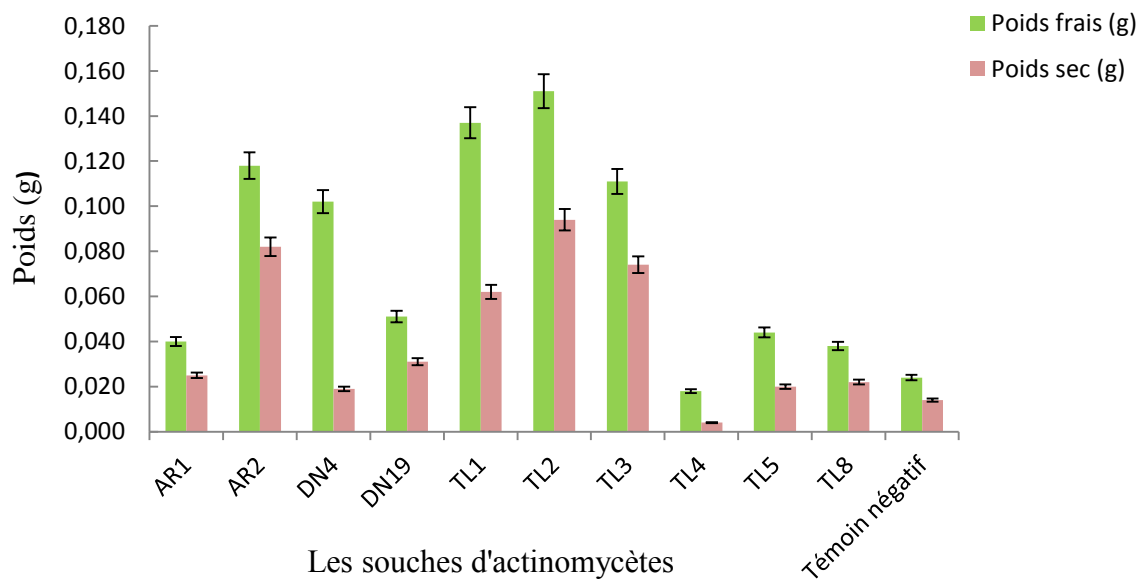


Figure18. Poids frais et poids sec des plantules de tomate en sol stérilisé

L'analyse des résultats donnés par la figure 15 montre que l'enrobage des semences par les spores de la souche *Streptomyces* sp. TL4 permet une augmentation de la taille des plantules et des racines (84,38 mm et 46,5 mm respectivement) (Groupe homogène b et a) cultivées dans le sol stérilisé comparativement au témoin négatif (55,22 mm et 20,3 mm) (Groupe homogène ab et ab). La même observation est valable pour le poids frais et le poids sec obtenus avec la souche *Streptomyces* sp. TL4 (0,186 g et 0,087 g) et avec le témoin négatif (0,042 g et 0,02 g) (Figure 16).

Les résultats donnés par la figure 17 montrent que le traitement des semences par la souche *Streptomyces* sp. TL2 a présenté la plus forte influence sur la promotion de la croissance des plantules et des racines (70,55 mm et 65,65mm) (Groupe homogène a et A), comparativement au témoin négatif (48,5 mm et 48,5mm) (Groupe homogène a et A). La même observation est valable pour le poids frais et le poids sec (0,151 g et 0,094 g) pour la souche TL2 et (0,024 g et 0,014 g) pour le témoin négatif (Figure 18).

Globalement, les souches TL1, TL4 et TL8 ont permis une augmentation maximale de la longueur des racines et des plantules (*cv.* Marmande) dans le sol stérilisé (Figure 16), et les souches TL2, DN19 et TL3 dans le sol non stérilisé (Figure 17).

Pour la promotion de la croissance des plantules exprimées en poids frais des plantules de tomate, nous constatons que le meilleur traitement pour la variété Marmande était observé par les souches TL3, TL4 et TL8 dans le sol stérilisé (Figure 16), et les souches AR2, TL1 et TL2 dans le sol non stérilisé (Figure 18).

L'amélioration de la croissance des plantules par les souches *Streptomyces* sp. TL2 et TL4 pourraient contribuer à la protection de la plante contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersic*. Ces résultats sont confirmés par plusieurs travaux qui montrent le rôle des actinomycètes endophytes dans la promotion de la croissance de leur plante hôte indigène (Kunoh, 2000., Hibar *et al.*, 2007).

Plusieurs études ont rapporté le rôle des souches *Streptomyces* spp. comme des agents potentiels en lutte biologique contre les champignons pathogènes transmis par le sol (Lahdenperä *et al.*, 1991., Cao *et al.*, 2004., Dhanasekaran *et al.*, 2005., El-Tarabily *et al.*, 2008). A titre d'exemple le rôle d'actinomycètes dans la lutte biologique contre les microorganismes phytopathogènes notamment la pourriture racinaire et du collet de la tomate

causé par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersic* (El-Tarabily et Sivasithamparam, 2006., Hibar *et al.*, 2006).

Cette étude montre le potentiel des souches *Streptomyces* sp. TL4 et TL2 isolés des racines des plantes spontanées dans la lutte biologique contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersic* l'agent causal de la fonte des semis, et dans la promotion de la croissance des plantules de tomate. Ces isolats de genre *Streptomyces* peuvent avoir des activités antagonistes efficaces contre les champignons dans le sol et de jouer un rôle dans la promotion de la croissance des plantules cultivées.

# *Conclusion*

## Conclusion

À l'issue de cette étude, un total de dix isolats d'actinomycètes endophytes ont été isolés des racines des plantes spontanées de la région d'El-Khneg (Laghouat) (33° 44' N, 2° 47'E). Afin de voir leur pouvoir antagoniste en lutte biologique contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*, par des tests biologiques *in vitro* et *in vivo*.

Parmi les dix souches d'actinomycètes endophytes testées *in vitro* pour l'activité d'antibiose sur milieu de culture ISP2, trois souches ont une activité sur la croissance mycélienne du *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*. Les souches *Streptomyces* spp. TL2, TL3 et TL4 avaient une activité d'antibiose élevée.

Pour le biocontrôle *in vitro* de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* tous les isolats d'actinomycètes endophytes ont été testés afin de déterminer leur effet protecteur contre la fonte des semis. La seule souche qui a montré un taux faible de l'incidence de la fonte des semis avoisinant 13,33 %, est la souche *Streptomyces* sp. TL5.

Le biocontrôle *in vivo* de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* dans le sol stérilisé et dans le sol non stérilisé, a montré que les souches *Streptomyces* spp. TL2 et TL4 ont une action sur cet agent pathogène, et cela s'exprime par le taux des plantules saines obtenues et 76,47 % 100% respectivement.

Les résultats obtenus dans cette étude ont révélé que la souche *Streptomyces* spp. TL4 et TL2 dans le sol stérilisé et dans le sol non stérilisé respectivement, sont caractérisés d'un effet PGPB notable caractérisé par une augmentation de la taille des plantules, du poids frais et du poids sec des plantules de tomate.

Les actinomycètes endophytes pourraient être utilisés comme moyen de lutte biologique potentiel susceptible de protéger les cultures de tomate contre les agents phytopathogènes, tout en limitant l'utilisation de pesticides, ce qui s'intègre parfaitement dans une démarche respectueuse de l'environnement.

En perspective, nous projetons de continuer l'étude des deux souches *Streptomyces* spp. TL4 et TL2, et de confirmer l'effet antagoniste dans différentes conditions, et l'identification du genre par des techniques plus précises, notamment la taxonomie moléculaire. Il est également important de tester l'aptitude des deux souches à produire des composés

antifongiques et d'étudier leur potentiel protecteur vis-à-vis d'autres agents phytopathogènes responsables de la fonte des semis de la tomate.

*Références*  
*Bibliographiques*

**Références bibliographiques**

- Agrios G-N. (2005). *Plant Pathology*. 5<sup>ème</sup> éd. Académie Press : San Diego. 922 p.
- Alabouvette C, Eparvier A, Couteaudier Y. et Steinberg C. (1991). *Methods to be used to study the competitive interactions between pathogenic and non-pathogenic Fusarium spp. In the rhizosphere and at the root surface. Proceeding workshop on new approaches in biological control of soilborne disease, Copenhagen, Denmark*. 30 p.
- Al-Zarban S-S, Al-Musallam A-A., Abbas I, Stackebrandt E. et Kroppenstedt R-M. (2002). *Saccharomonospora halophila sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from marsh soil in Kuwait*. Microbiol; 52: 555-558.
- Baniasadi F, Shahidi Bonjar A, Baghizadeh A, Karimi N. et Jorjandi M. (2009). *Biological control of Sclerotinia sclerotiorum, causal agent of sunflower head and stem rot disease, by use of soil borne actinomycetes isolates*. Americana Journal Agricola Biology Science. 4p.
- Benhamou N. et Thériault G. (1992). *Treatment with chitosan enhances resistance of tomato plants to crown and root rot pathogen Fusarium oxysporum f.sp. radicis lycopersici*. Physiological and molecular plant pathology ;41: 33-52.
- Benhamou N, Chet I. (1997). *Cellular and molecular mechanisms involved in the interaction between Trichoderma harzianum and Pythium ultimum*. Appl. Environ. Microbiol. vol. 63, p. 2095–2099.
- Benitez T, Rincón A-M, Limón M-C, Codón A-C. (2004). *Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains*. International Microbiology; 7: 249-260.
- Bent E. (2006). *Induced systemic resistance mediated by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and fungi (PGPF)*. In: *Multigenic and Induced Systemic Resistance in Plants* (Tuzun S. and Bent E., eds). Springer Science+Business Media, New York, United States of America. 225-258 p.
- Breton A, Theilleux J, Sanglier J-J, Viobis G. (1989). *Organismes producteurs: biologie, taxonomie et écologie*. In "Biotechnologie des Antibiotiques". Larpent J-P. et Sanglier J-J., Masson, Paris. 33-70 p.
- Blancke R. (2001). *Guide des fruits et légumes tropicaux*. Editions Ulmer. 180 p.
- Blancard D. (2001). *Les maladies de tomate, identifier, connaître, maîtriser*. éd. Paris : Quae. 690 p.
- Boubetra D, Sabaou N, Zitouni A, Bijani C, Lebrhi A, Mathieu F. (2013). *Taxonomy and characterization of new antibiotics produced by Saccharothrix SA198 isolated from a Sahran soil*. Microbiol Res, vol. 168, p. 23-29.
- Bouizgarne B, El-Maarouf-Bouteau H, Madiona K, Biligui B., Monestiez M., Pennarun A-M., Amiar Z, Rona J-P, Ouhdouch Y, El Hadrami I. et Bouteau F. (2006). *A putative*

- role for fusaric acid in biocontrol of the parasitic angiosperm Orobanche ramosa*. Mol. Plant Microbe. Interact; 19:550-556.
- Brimner T-A. et Boland G-J. (2004). *A review of the non-target effects of fungi used to biologically control plant diseases*. Agriculture, Ecosystems and Environment; 100: 3–16.
- Brouillard C. (2012). *Multipliez vos plantes préférées*. Les carnets Rustica. 51p.
- Chebasse D, Cimon B. et Brun S. (2002). *Cahier de formation biologie médicinale : Les moisissures d'intérêt médical*. Paris. 78 p.
- Chen W-M, Moulin L, Bontemps C, Vandamme P, Béna G. et Boivin-Masson C. (2003). *Legume symbiotic nitrogen fixation by  $\beta$ -Proteobacteria is widespread in nature*. Journal of Bacteriology.vol:185.p.7266-7272.
- Chen W-M, James E-K, Chou J-H, Sheu S-Y, Yang S-Z. et Sprent J-I. (2005).  *$\beta$  rhizobia from Mimosa pigra, a newly discovered invasive plant in Taiwan*. New Phytologist. Vol.68, p. 661-675.
- Chen W-M, James E-K, Coenye T, Chou J-H, Barrios E, de-Faria S-M, Elliott G-N, Sheu S-Y, Sprent J-I. et Vandamme P. (2006). *Burkholderia mimosarum sp. nov. isolated from root nodules of Mimosa spp. from Taiwan and South America*. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. Vol.56, p.1847- 1851.
- Chibane A. (1999). *Tomate sous serre*. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. MADRPM/ DERD N° 57.
- Cao L, Qiu, Z, You J, Tan H, Zhou S. (2004). *Isolation and characterization of endophytic Streptomyces from surface-sterilized tomato (Lycopersicon esculentum) roots*. Lett Appl Microbiol; 39: 425-430.
- Cook R-J. et Baker K-F. (1983). *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. Americ. Phytopathol. Society. 530p.
- Corbaz R. (1990). *Principe de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes*. Ed. Presse Polytechnique et Universitaire Romande. 286p.
- Courchinoux J-P. (2008). *Fiche technique tomate*. 8p.
- Dhanasekaran D, Sivamani P, Pannerselvan A, Thajuddin N, Rajakmar G. et Selvamani S. (2005). *Biologique control of tomato seedling damping off with streptomyces sp*. Plant pathology journal ; 4(2) : 91-95.
- Dommergues Y. et Mangenot F. (1970). *Ecologie microbienne du sol*. Ed. Masson. 40-45p.
- Dong X. (2001) *Genetic dissection of systemic acquired resistance*. Plant Biol ; 4: 309-314.
- Doré C. et Varoqaux F. (2006). *Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées*. Ed. INRA. Paris. 698p.

- Droog F. (1997). *Plant glutathione S-transferases, a tale of theta and tau*. J. Plant Growth Regul. 16, 95–107.
- Elattir H, Skiredj A. et Elfadl A. (2003). *La tomate, l'aubergine, le poivron et le gombo*. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. MADRPM/ DERD N° 100.
- El-Tarabily K-A, Hardy G-E-S, Sivasithamparam K, Hussain A-M, Kurtboke D-I. (1997). *The potential for the biological cavity-spot disease of carrot, caused by Pythium coloratum, by streptomycetes and non-streptomycete actinomycetes*. New Phytologist ; 137 : 495-507.
- El-Tarabily K-A, Sivasithamparam, K. (2006). *Non-streptomycete actinomycetes as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters*. Soil Biol. Biochem; 38: 1505-1520.
- El-Tarabily K-A, Nasser A-H, Hardy G-E, Sivaithamparam K. (2008). *Plant growth promotion and biological control of Pythium aphanidermatum, a pathogen of cucumber, by endophytic actinomycetes*. Appl Microbiol ; 106:13–26.
- Eisendle M, Oberegger H, Buttinger R, Illmer P. et Haas H. (2004). *Biosynthesis and uptake of siderophores is controlled by the PacC mediated ambient-pH regulatory system in Aspergillus nidulans*. Euk. Cell ; 3: 561-563.
- Errakhi R, Bouton F, Lebrihi A, Barakate M. (2007). *Evidence of biological control capacities of Streptomyces spp. Against sclerotium rolfsii responsible for damping off disease in sugar beet (Beta vulgaris L.)*. World TM Microbiol Biotechnol ; 15 : 03-09.
- Garrity G-M, Bell J-A. et Lilburn T-G. (2004). *Taxonomic Outline of the Prokaryotes, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 2<sup>ème</sup> Ed. 32p.
- González I, Ayuso-Sacido A, Anderson A. et Genilloud O. (2005). *Actinomycetes isolated from lichens: Evaluation of their diversity and detection of biosynthetic gene sequences*. FEMES Microbiol. Ecol ; 54: 401-415.
- Goodfellow M. et Williams S-T. (1983). *Ecology of actinomycetes*. Microbiol ; 37: 189-216.
- Gundliffe E. (2006). *Antibiotic production by actinomycetes: the Janus faces of regulation*. J. Ind Microbiol Biotechnol ; 33: 500-6.
- Haas D. et Defago G. (2005). *Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads*. Microbiol ; 3(4): 307-319.
- Heller R. (1981). *Physiologie végétale*. Tome I: Nutrition. 2<sup>ème</sup> Ed. Paris: Masson. 195 p.
- Hibar K, Daanirendi M, Khiareddue H. et Mahjoub M. (2005). *Effet inhibiteur in vitro et in vivo du Trichoderma harzianum sur Fusarium oxysporum f.sp. radialis lycopersici*. Biotechnologie Agronomie société et Environnement ; 9 : 163-171.
- Hibar K, Daami-Remadi M, Hamada W, El-Mahjoub M. (2006). *Bio-fungicides as an alternative for tomato Fusarium crown and root rot control*. Tunisian Journal of Plant Protection, vol. 1, p. 19-29.

- Hibar K, Daami-Remadi M, Hamada W, El-Mahjoub M. (2007a). *Effets de certains fongicides de synthèse et biologiques sur la croissance mycélienne et l'agressivité de Fusarium oxysporum f. sp. radicis lycopersici*. Tunisian Journal of Plant Protection, vol. 25, n. 3, p. 146-152.
- Horinouchi S. (2002). *Antimicrobial hormone, A-factor, as a master switch for morphological differentiation and secondary metabolism in Streptomyces griseus*. *Frontiers in Biosciences* ; 7: 2045-2057.
- Indiragandhi P, Anandham R, Madhaiyan M, Sa T-M. (2008). *Characterization of plant growth promoting traits of bacteria isolated from larval guts of diamondback moth Plutellaxylostella (Lepidoptera: Putellidae)*. *Curr. Microbiol.* DOI 10.1007/s00284-007-90864.
- ITCMI. 2012. *Principaux désordres physiologiques, maladies et ravageurs présents en Algérie: les tomates*. 64p.
- Jarvis W-R. et Shoemaker R-A. (1979). *Taxonomy status of Fusarium oxysporum causing foot and root rot of tomato*. *Phytopath*; 68: 1679- 1680.
- Jarvis W-R. (1992). *Managing Diseases in reenhouse rops*. The American Phytopathological Society, St. Paul. 288 p.
- Joachin W. (2002). *The Actinomycetales, An order of the class of Actinobacteria Important*. In : *The pharmaceutical industry*. Electronic Manual.
- Juneau V, Caron J, Martinez C, Gravel V. et Allaire S. (2006). *Growing média, greenhouse tomato yield and Pythium root rot*. *Can. J. Soil Sci*; 86: 501-512.
- Kendall A. 2000. *Request Authorship Credit*. Articlepublié sur: [www.mushroomobserver.org/observer/show/1199](http://www.mushroomobserver.org/observer/show/1199).
- Kim S-B, Lee J-Y. et Hwang B-K. (1998). *Diversity of actinomycetes antagonistic to plant pathogenic fungi in cave and sea-mud soils of Korea*. *J. Microbiol*; 36: 86-92.
- Kinet B. (1985). *Contrôle du développement de l'inflorescence de la tomate par les facteurs de l'environnement et les régulateurs de croissance*. 30-36 p.
- Komi A. (1993). *Pouvoir pathogène et diversité génétique chez Fusarium oxysporum f.sp. vasinfectum (ATK) SN. Et H. : Agent de la fusariose du cotonnier*. Thèse de doctorat d'état. Université de Montpellier II : Sciences et Techniques du Languedoc. 254 p.
- Kouassi M. (2001). *La lutte biologique: une alternative viable à l'utilisation des pesticides*. *VertigO* ; 2 : 2.
- Kunoh H. (2002) . *Endophytic actinobacteria: attractive biocontrol agents*. *Journal Gen. Plant Pathology*, vol. 68, p. 249- 257.
- Latigui A. (1984). *Effet des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée*. In Chougar, S.2011. *Bioécologie de la tomate Tuta absoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera : Gelechiidae) sur trois variétés de tomate*

sous serre (Zahra, Dawson et Tavira) dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Mémoire de magister : université Mouloud Mameri Tizi-Ouzou. 122p.

-Laumonnier R. (1979). *Cultures légumiers et maraichère*. Tome III. Ed. Paris: Bailliere. 279p.

-Lacey J. (1997). *Actinomycetes in composts*. Environ. Med ; 4: 113-121.

-Lahdenperä M-L, Simon E, Uoti J. (1991). *Mycostop – a novel biofungicide based on Strepto-myces bacteria*. 258–263p.

-Larpent J-P. (2000). *Introduction à la nouvelle classification bactérienne et les principaux groupes bactériens*. Lavoisier. France. 183-212 p.

-Lebdi-Grissa K. (2010). *Etude de base sur la culture d'agrume et tomate en Tunisie*. 92p.

-Lehr N-A, Schrey S-D, Hampp R. et Tarkka M-T. (2008). *Root inoculation with a forest soil streptomycete leads to locally and systemically increased resistance against phytopathogens in Norway spruce*. New Phytol. 1469-8137 p.

-Lemrisse S, Laurent F, Couble A, Casoli E, Lancelin J-M, Aintpierre-Bonaccio D, Rifai S, Fassouane A. et Boiron P. (2003). *Screening of nonpolyenic antifungal metabolites produced by clinical isolates of actinomycetes*. Can. J. Microbiol ; 49: 669–674.

-Li W-J, Tang S-K, Stackebrandt E, Kroppenstedt R-M, Schumann P, Xu L-H. et Jiang C-L. (2003a). *Saccharomonospora paurometabolica sp. nov., a moderately halophilic actinomycete isolated from soil in China*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol; 53: 1591-1594.

-Li W-J, Xu P, Tang S-K, Xu L-H, Kroppenstedt R-M, Stackebrandt E. et Jiang C-L. (2003b). *Prauserella halophila sp. nov. and Prauserella alba sp. nov., moderately halophilic actinomycetes from saline soil*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol; 53: 1545-1549.

-Messiaen C-M. et Cassini R. (1968). *Recherche sur les fusarioses. IV- La systématique Fusarium*. Ann. Epiphyt ; 19 :387-454.

-Milne-Edwards A. (2010). *De la Famille des Solanacées*. Ed. Réimprimée, Kessinger Publishing. PP 35-39.

-Minuto A, Spadaro D, Garibaldi A. et Gullino M-L. (2006). *Control of soilborne pathogens of tomato using a commercial formulation of Streptomyces griseoviridis and solarization*. Crop Protect; 25(5): 468-475.

-Mohammadi O. et Lahdenpera M-L. (1992). *Mycostop biofungicide in practice*. In 10th International Symposium on modern fungicides and antifungal compounds. Germany Thuringia. 1-9 p.

-Moncheva P, Tishkov S, Dimitrova N, Chipeva V, Antonova-Nikolova S. et Bogatzevska N. (2002). *Characteristics of soil actinomycetes from antarctica*. J. cult. Collect ; 3: 3-14.

-Montesinos E, Bonaterra A. et Moselio S. (2009). *Pesticides, microbial.. Encyclopedia of microbiology*. Academic Press, Oxford, UK.110-120 p.

- Moulin L, Munive A, Dreyfus B. et Boivin-Masson C. (2001). *Nodulation of legumes by members of the beta-subclass of Proteobacteria*. Nature. Vol. 411, p. 948- 950.
- Munroe B. et Small E. (1997). *Les légumes de canada*. Canada : Val Morin Québec. 436p.
- Nagai A, Khan S-T, Tamura T, Takagi M. et Shin-ya K. (2011). *Streptomyces aomiensis sp. nov., a novel species of Streptomyces isolated from a soil sample using the membrane filter method*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol; 61: 947-950.
- Naika S, DeJeud J-V-L, De-Jeffau M, Hilmi M. et Vandam B. (2005). *La culture de tomate, production, transformation et commercialisation*. Ed. Pays-Bas :Wageningen. 105p.
- Nanjwad B, Chandrashehara S, Goudanavar P- S, Shamarez A-M, Manvi F.( 2010). *Production of antibiotics from soil isolated actinomycetes and evaluation of their antimicrobial activities*. Tropical Journal of Pharmaceutical Research ; 9: 373-377.
- Nelson P-E, Toussoun T-A, Marasas W-F-O. (1983). *Fusarium species. An illustrated Manuel for Identification*. Pennsylvania State University Press, University Park, PA.
- Okoro C-K, Brown R, Jones A-L., Andrews B-A, Asenjo J-A, Goodfellow M. et Bull A-T. (2009). *Diversity of culturable actinomycetes in hyper-arid soils of the Atacama Desert*. Chile Antonie Leeuwenhoek ; 95: 121-133.
- Ouhdouch Y, Barakate M, Finance C. (2001). *Actinomycetes of Moroccan habitats: isolation and screening for antifungal activities*. Eur. J. Soil Biol ; 37 : 69-74.
- Pathom-aree W, Ward A-C, Horikoshi K, Bull A-T, Goodfellow M. (2006). *Diversity of actinomycetes isolated from the Challenger Deep sediment (10898 m) from the Mariana Trench*. Extremophiles ; 10: 181-189.
- Paulitz T-C. et Bélanger R-R. (2001). *Biological control in greenhouse systems*. Phytopathol ; 39: 103-133.
- Perry J-J, Staley J-T, Lory S. (2004). *Microbiologie*. Edition Dunod.
- Pieterse C-M-J, van-der-Ent S, van-Pelt J-A. et van-Loon L-C. (2007). *The role of ethylene in rhizobacteria-induced systemic resistance (ISR)*. Plant Hormone Ethylene.
- Prévost K, Couture G, Shipley B, Brzezinski R, Beaulieu C. (2006). *Effect of chitosan and a biocontrol streptomycete on field and potato tuber bacterial communities*. Biocontrol ; 51 : 533-546.
- Promnuan Y, Kudo T, Ohkuma M. et Chantawannakul P. (2011). *Actinomadura apis sp. nov., isolated from a honey bee (Apis mellifera) hive, and the reclassification of Actinomadura cremea subsp. rifamycini*.Evol. Microbiol ; 61: 2271-2277.
- Raaijmakers J-M. et Weller D-M. (2001). *Exploiting genotypic diversity of 2,4-diacetylphloroglucinol-producing Pseudomonas spp.: characterization of superior root-colonizing P. fluorescens strain Q8r1-96*. Appl. Environ. Microbiol ; 67 : 2545-2554.
- Rahman M-S, Ano T. et Shoda M. (2007). *Biofilm fermentation of iturin A by a recombinant strain of Bacillus subtilis 168*. J. Biotechnol ; 127(3):503-507.

- Ramamoorthy V, Viswanathan R, Raguchander T, Prakasam V. et Samiyappan R. (2001) *Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases*. Crop Protect ; 20(1):1-11.
- RAP. 2014. *Spécial phytoprotection biologique*. Bulletin d'information N°3. 20p.
- Richard C. et Boivin J. (1994). *Maladies et ravageurs des cultures légumières au Canada*. 333-394 P.
- Rocher F. (2004). *Lutte chimique contre les champignons pathogènes des plantes : évaluation de la systémie phléomienne de nouvelles molécules à effet fongicide et d'activateurs de réaction de défense*. Thèse de doctorat : université de Poitiers (France).163p.
- Sabaou N, Hacène H, Bennadji A, Bennadji H. et Bounaga N. (1992). *Distribution quantitative et qualitative des actinomycètes dans les horizons de sol de surface et profonds d'une palmeraie algérienne*. Can. J. Microbiol ; 38: 1066–1073.
- Sabaou N, Boudjella H, Bennadji A, Mostefaoui A, Zitouni A, Lamari L, Bennadji H, Lefebvre G. et Germain P. (1998). *Les sols des oasis du Sahara algérien, source d'actinomycètes rares producteurs d'antibiotiques*. Sécheresse ; 9: 147-153.
- Schottel J-L, Shimizu K, Kinkel L-L. (2001). *Relationships of in vitro pathogen inhibition and soil colonization to potato scab biocontrol by antagonistic Streptomyces spp.* Biol. Control ; 20 :102–112.
- Sessitsch A, Reiter B, Pfeifer U. et Wilhelm E. (2002). *Cultivation-independent population analysis of bacterial endophytes in three potato varieties based on eubacterial and Actinomyces-specific PCR of 16S rRNA genes*. FEMS Microbiology Ecology. vol. 39, p. 23-32.
- Shankara N, De-jeud J-V-L, De-Jeffau M, Hilmi M. et Vandam B. (2005). *La culture de tomate production, transformation et commercialisation*. Ed .Pays-Bas : Wageningen. 105p.
- Sheh M-T, Faurobert M, Pawlowski T, Garchery C, Burck H, Mhiri C. (2006). *Caractérisation de la diversité génétique de la tomate*. Nature ; 6 : 81-96.
- Singh A, Mehta S, Singh H-B. et Nautiyal C-S. (2003). *Biocontrol of Collar Rot Disease of Betelvine (Piper betle L.) Caused by Sclerotium rolfsii by Using Rhizosphere-Competent Pseudomonas fluorescens NBRI-N6 and P. fluorescens NBRI-N*. Cur. Microbiol ; 47: 153-158.
- Smaoui S. (2010). *Purification et caractérisation de biomolécules à partir de microorganismes nouvellement isolés et identifiés*. Thèse de Doctorat en Génie de Procédés et Environnement. Université de Toulouse. France. 251p.
- Snoussi S-A. (2010). *Programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient (Projet GTFS/REM/070/ITA) : Rapport de mission : Etude de base sur la Tomate en Algérie*. Ed. Rome : FAO.
- Snyd F. et Hansen B. (1999). *Mycologia* . [www.inra.fr/hyp3/pathogene/3fusro2.htm](http://www.inra.fr/hyp3/pathogene/3fusro2.htm).

- Sontag B, Gerlitz M, Paululat T, Rasser H-F, Grün-Wollny I, Hansske F-G. (2006). *Oxachelin, a Novel Iron Chelator and Antifungal Agent from Streptomyces sp. GW9/1258*. J. Antibiot ; 59 : 659-663.
- Spadaro D. et Gullino M-L. (2004). *Improving the efficacy of biocontrol agents against soilborne pathogens*. Crop Prot ; 23: 1-13.
- Stackebrandt E, Rainey F-A. et Ward-Rainey N-L., (1997). *Proposal for a new hierarchic classification system, Actinobacteria classis nov.* Int. J. Syst. Bacteriol ; 47 : 479-491.
- Sturz A-V. et Christie B-R. (2003). *Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria*. Soil and tillage research ; 72: 107-123.
- Suzuki S, Yamamoto K, Okuda T, Nishio M, Nakanishi N, Komatsubara S. (2000). *Selective isolation and distribution of Actinomadura rugatobispora strains in soil*. Actinomycetologica. Vol. 14, p. 27-33.
- Taechowisan T, Peberdy J-F. et Lumyong S. (2003). *Chitinase production by endophytic Streptomyces aureofaciens CMUAc130 and its antagonism against phytopathogenic fungi*. Microbiol ; 53 (4): 447-461.
- Tahvonen R-T. et Avikainen H. (1987). *The biological control of seedborne Alternaria brassicicola of cruciferous plants with a powdery preparation of Streptomyces sp.* Journal Agronomic Sciences. Finland, vol. 59, p. 199- 215.
- Takahashi Y-k, Matsumoto A, Seino A, Ueno J, Iwai Y. et Omura S. (2002). *Streptomyces avermectinius sp. nov., an avermectin-producing strain*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol; 52: 2163-2168.
- Thakore Y. (2006). *The biopesticide market for global agricultural use*. Industrial Biotechnology; 2(3): 294-208.
- Tang S-K, Wang Y, Cai M, Zhi X-Y, Lou K, Xu L-H, Jiang C-L. et Li W-J. (2009). *Saccharopolyspora halophila sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from a saline lake in China*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol; 59: 555-558.
- Tello-Marquina J-C. et Alabouvette C. (1984). *Observation de la persistance dans le sol des microconidies de Fusarium oxysporum*. Agronomie ; 4 (9) : 123- 130.
- Tivoli B. (1988). *Guide d'identification des différentes espèces ou variétés de Fusarium rencontrées en France sur la pomme de terre et dans son environnement*. Agronomie ; 8(3): 211-222.
- Toufouti H-Z. (2012). *Contribution à l'étude des maladies bactériennes de la tomate (Lycopersicon esculentum Mill) cultivée en serre de l'Est Algérien*. Mémoire de Magister : Option Microbiologie appliquée. Université de Constantine. 89 p.
- Vakalounakis D-J. et Fragkiadakis G-A. (1999). *Genetic diversity of Fusarium oxysporum isolates from cucumber: differentiation by pathogenicity, vegetative compatibility and RAPD fingerprinting*. Phytopathology ; 89 : 161-168.

- Valdebenito M, Crumbliss A-L, Winkelmann G. et Hantke K. (2006). *Environmental factors influence the production of enterobactin, salmochelin, aerobactin and yersiniabactin in Escherichia coli strain Nissle 1917*. Int. J. Med. Microbiol ; 296(8):513-520.
- Vassilev N, Nikolaeva I, Vassileva M. (2006a). *Phosphate ore solubilization and simultaneous indole-3-acetic acid production by a gel-entrapped bacterium in fermentation conditions*. Chem. Eng. Commun.
- Verdera. 2009. *Mycostop® biofongicide biologique, un moyen de protection fiable sans danger contre les pathogènes de vos cultures*. Naturally Profitably. 4p.
- Viterbo A, Ramot O, Chernin L. et Chet I. (2002). *Significance of lytic enzymes from Trichoderma spp. in the biocontrol of fungal plant pathogens*. Anton. Leeuw ; 81 : 549- 556.
- Xiao K, Samac D-A, Kinkle L-L. (2002). *Biological control of Phytophthora root rots on alfalfa and soybean with Streptomyces*. Biological Control, vol. 23, P. 285- 295.
- Xu J, Wang Y, Xie S-J, Xiao J. et Ruan J- S. (2009). *Streptomyces xiamenensis sp. nov., isolated from mangrove sediment*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol; 59: 472-476.
- Yang R, Zhang L-P, Guo L- G, Shi N, Lu Z. et Zhang X. (2008). *Nocardiopsis valliformis sp. nov., an alkaliphilic actinomycete isolated from alkali lake soil in China*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol ;58: 1542-1546.
- Yoshida M, Matsubara K, Kudo T. et Horikoshi K. (1991). *Actinopolys-pora mortivallis sp. nov., a moderately halophilic actinomycete*. Int J Syst Bacteriol: 41.15-20 p.

# *Annexes*

## Annexe 1. Le marché des biopesticides.

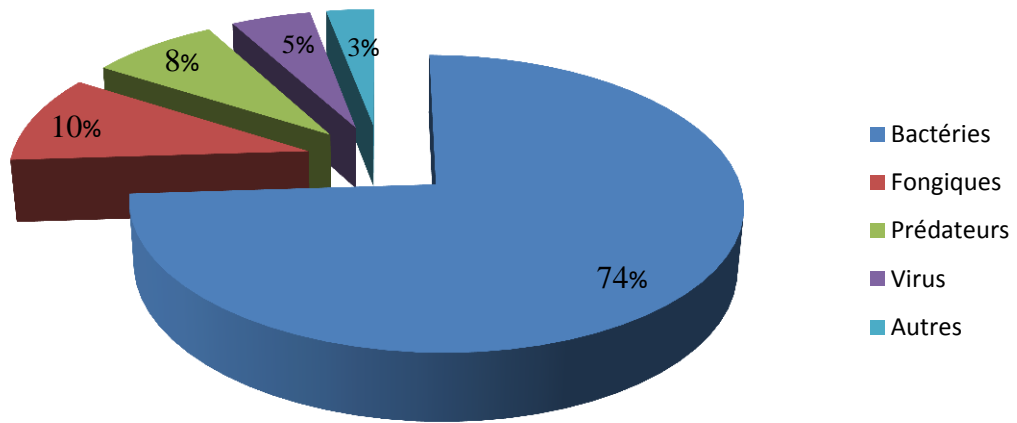


Figure 19. Le marché des biopesticides microbiens en 2005 (Thakore, 2006).