

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

***Pseudomonas spp. fluorescents isolé à partir de la
rhizosphère : effet sur le développement et la
croissance des plantules de *Lycopersicon esculentum*
et le biocontrôles des pathogènes***

Présenté (e) par : **GRAINE Chahra zad.**

Le : 24/06/2014

Encadré (e) par : **M^{elle} AMEUR Djamila ; Maître-assistant A**

Dédicace :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien morale et source de joie et de bonheur celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père « **Mouhamed** ».

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman « **Fatiha** » que j'adore.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mes frères **Assim** et **Abdelhalim** et mes nièces **Aya** et **Soujoud** je dédie ce travail dont le grand plaisir à **Omar** qui a toujours cru en moi, pour son soutien.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude chacun par son nom,

A tous mes enseignants de département d'agronomie et biologie durant les deux années d'études.

Remerciement :

Avant tout, je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné la force, la foi, et de m'avoir permis d'arriver à ce stade.

Je voudrais remercier plus particulièrement M^{me} AMEUR Djamilia qui m'a régulièrement suivi dans la réalisation pratique de ce travail.

Je la remercie pour sa gentillesse, son soutien, ses conseils, sa simplicité, sa générosité scientifique et sa qualité humaine et pour le fait de m'avoir fait partager son expérience. Je lui exprime toute ma reconnaissance pour sa patience, sa disponibilité et sa participation active lors de la rédaction de ce mémoire : tes corrections, ta rapidité de réflexion.

Aux membres jury pour avoir acceptés de consacrer du temps évaluer notre travail avec bienveillance.

Je remercie chaleureusement à M^{lle} ZAZA et M^{me} MAALAM pour donner les conseils pratiques dans laboratoire et pour sa gentillesse et son soutien moral.

J'exprime ma pleine reconnaissance à Mr MOULLA pour leur disponibilité, pour leurs nombreuses orientations et surtout pour leur aide précieuse dans la partie statistique de ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude au OMAR. Je le remercie de la confiance qu'il m'a accordée tout au long de ma thèse. Merci pour l'écoute, l'aide et le soutien moral dont il a fait preuve à mon égard.

Je remercie très sincèrement toute l'équipe du laboratoire.

Mes remerciements vont également à Mr BOUNAR qui m'a aidé de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.

Je remercie mes fidèles amis : Halima, Hassina, Khadidja et Zahia, qui ont toujours été présents dans les moments importants de ma vie.

Je garde le meilleur pour la fin. Merci à toute ma belle famille de me donner tout leur amour et leur confiance, c'en quoi, rien de tout cela n'aurait été possible. Malgré les joies, les tristesses et toutes les difficultés de la vie quotidienne, la famille reste le sanctuaire où l'on peut se ressourcer.

Chakra zad.

Sommaire

Introduction.....	1
Revue bibliographique.....	3
I. Généralité sur <i>Pseudomonas</i> spp. fluorescents	3
1. Taxonomique du genre <i>Pseudomonas</i>	3
2. Les Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)	4
a- Action directe.....	6
b- Action indirecte	6
2.1. Interaction PGPR / stimulation	6
Compétition pour l'espace et les nutriments.....	6
2.2 Interactions PGPR / plante	7
A - Promotion de la croissance de l'hôte.....	7
b. Renforcement de la capacité défensive de l'hôte	7
3. Mécanisme d'action des <i>Pseudomonas</i> spp fluorescents	8
3.1. Les sidérophores	8
3.2. Les antibiotiques	9
3.3. L'acide cyanhydrique (HCN)	9
4. Les <i>Pseudomonas</i> spp. fluorescents ; agent de bio contrôle et de croissance des plantes.....	9
4.1. Stimulation de la croissance des plantes.....	10
4.1.1. Synthèse de phytohormones	11
a. Acide Indole-3-acétique (AIA)	11
b. Cytokinines	11
c. La 1-Amino-cyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminase.....	11
4.2. Dénitrification	12
5. Effets bénéfiques	12
II. la lutte biologique.....	13
II aperçu générale sur la tomate	14
1. Description botanique de la tomate	14
2. Nomenclature et classification de la tomate	15
3. Historique et l'origine de la tomate	15

Sommaire

4. Importance économique de la tomate.....	16
a. A l'échelle mondiale	16
Les échanges internationaux	17
b. A l'échelle nationale	17
c. l'échelle régionale « la wilaya de Laghouat ».....	18
5. Caractéristiques morphologique de la tomate	19
5.1. Appareil végétatif.....	19
a. Système racinaire	19
b. Tige.....	19
c. Feuille	20
5.2. Appareil reproducteur	20
a. Fleurs.....	20
b. Fruits	20
c. Graine	20
6. Cycle biologique de la tomate	20
6.1. La germination	21
6.2. La croissance.....	21
6.3. La floraison	21
6.4. La pollinisation	21
6.5. La fructification et nouaison des fleurs.....	22
6.6. La maturation du fruit	22
7. Irrigation des cultures de la tomate	22
8. Exigence edapho-climatiques de la culture	22
8.1. La température	23
8.2. La lumière	23
8.3. L'eau et l'humidité.....	23
8.4. pH.....	23
8.5. Le sol.....	23
9. Les types variétaux de la tomate cultivée.....	23
10. Les variétés les plus utilisées en Algérie	24
11. Contraintes phytosanitaires de la culture de la tomate en pépinière	24

Sommaire

Matériel et méthodes.....	27
A. Matériels biologiques.....	27
Souche bactériennes	27
B. régénération et conservation des souches bactériennes	27
I. Essai 01 : test de germination <i>in vitro</i>	27
I.1. Matériels végétales (La tomate)	27
I.2. La désinfection superficielle des semences	28
I.3. La suspension bactérienne	28
I.4. Bactérisation des graines	28
I.5. Paramètres étudiés	28
I.5.1. La faculté de germination	29
I.5.2. L'énergie de germination	29
I.5.3. La vitesse de germination médiane T50.....	29
I.6. Dispositif expérimental.....	29
I.7. Analyse statistique	30
II. Essai 02 : la biostimulation de la croissance végétale	30
II.1. Le matériel végétale (La tomate)	30
II.2. Substrat.....	30
II.3. Le traitement bactérien.....	30
II.4. Dispositif expérimentale	30
II.5. Paramètres étudiés.....	30
II.6. Analyse statistique.....	30
III. Essai 03 : test d'antagonisme <i>in vitro</i>	33
III.1. Matériels biologiques.....	33
III.1.1. Champignons phytopathogènes	33
III.1.2. Les souches bactériennes	33
III.2. Protocole de travail	33
Résultats et discussion	35
I. Régénération des souches.....	35
II. Essai 01 : test de germination <i>in vitro</i>	35

Sommaire

II.1. Paramètre de germination.....	35
II.1.1. Taux de germination (%).....	35
II.1.2 : taux de germination interaction variétés avec souches bactériennes ...	37
II.1.3. Energie de germination (%)	38
II.1.4. La vitesse de germination (T50).....	38
III. Essai 02 : test de biostimulation de la croissance végétale <i>in vivo</i>	39
III. Paramètre de croissance	41
III.1.1. Longueur racinaire	41
Facteur substrat	41
Facteur souche	41
III.1.2. le poids frais de la racine	42
Facteur substrat	42
III.1.3. Hauteur de tige.....	43
Facteur substrat	43
III.1.4. Poids frais de la tige.....	43
Facteur substrat	43
IV. Essai d'antagonisme <i>in vitro</i>	44
Discussion générale	47
Conclusion	49

GRAINE Chahra zad.

Pseudomonas spp. fluorescens isolé à partir de la rhizosphère : effet sur le développement et la croissance des plantules et le biocontrôle des pathogènes (*Lycopersicon esculentum*).

Résumé :

Notre thème de recherche s'insère dans le cadre de la recherche d'éventuelles antagonistes pour les utiliser en lutte biologique qui peut être considérée comme une alternative potentielle à la lutte chimique, la stimulation de la croissance et la germination des graines. Les études que nous avons menées visent, l'utilisation des souches *Pseudomonas fluorescens* qui ont été isolées et identifiées auparavant de la rhizosphère du sud Algérien de deux plantes spontanées Armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) et Alfa (*Stipa tenacissima*) à la région de Sahou l'Achmar (d'Aflou). Les cinq souches A11, A23, A24, S1 et S4 ont été étudiées pour leur potentiel de la stimulation de la germination des graines et la croissance des plantules de la tomate (*Lycopersicon esculentum*). Les cinq isolats retenus ont un effet significatif sur la bio-stimulation de la germination *in vitro* pour les trois variétés de tomate (Marmande, Saint pierre et super straine), et sur la bio-stimulation de la croissance des racines de la Super straine. Tous les isolats ont une activité inhibitrice sur la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici*, *Fusarium oxysporum* f.sp *albidinis*, *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum* *in vitro* sur milieu KB et PDA.

Mots clés : lutte biologique, la bio-stimulation, *Pseudomonas fluorescens*, la rhizosphère, germination, *Lycopersicon esculentum*.

قرين شهرزاد

Pseudomonas spp. مشعة معزولة من تربة جذور النبات تأثيرها على النمو و التطور النبات والمراقبة الحيوية لمسببات الأمراض.

لدينا موضوع البحث يلائم سياق مكافحة البيولوجية التي يمكن اعتبارها بديلا محتملا للمكافحة الكيميائية، انعاش النمو وتحفيز انبات البذور. دراستنا التي قمنا بها دسيسة في استعمال سلالات *Pseudomonas fluorescens* والتي سبق تحديدها في ريزوسفير اثنين من النباتات البرية الجنوبية الجزائرية عشبة الشيح والحلفاء في منطقة أفلو. وقمنا بدراسة خمسة سلالات A11، A23، A24، و S1 S4 في تحفيز انبات البذور ونمو شتلات الطماطم، خمسة سلالات لديها تأثير ذو معنى على تحفيز انبات البذور *in vitro* لثلاث متنوعات من الطماطم، وفي تحفيز الجذور، كل العزلات لديها نشاط كايح على نمو الفطريات *in vitro*

الكلمات المفتاح: مكافحة البيولوجية، التحفيز الحيوي، *Pseudomonas fluorescens* ريزوسفير، الانبات، *Lycopersicon esculentum*

GRAINE Chahra zad.

Pseudomonas spp. fluorescent the rhizosphere : effect on growth and biocontrol of plant (*Lycopersicon esculentum*).

Abstract:

Our research theme fits into the framework of the research potential antagonists for use in biological control which may be considered as a potential alternative to chemical control, stimulating growth and seed germination. Studies we conducted aimed, the use of *Pseudomonas fluorescens* strains which have been isolated and previously identified in the rhizosphere of two southern Algeria wild plants white herbe wormwood (*Artemisia herba-alba*) and Alfa (*Stipa tenacissima*) the region of the Sahou l'ahmar (Aflou). The five strains A11, A23, A24, S1 and S4 were studied their potential for growth promotion germination and seedling tomato (*Lycopersicon esculentum*). The five isolates used have a significant effect on the bio-stimulation *in vitro* germination for three tomato varieties (Marmande, Saint pierre and Super straine), and bio-stimulation of root growth of the Super straine. All isolates had an activity on mycelia growth of *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici*, *Fusarium oxysporum* f.sp *albidinis*, *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum* *in vitro* medium KB and PDA.

Keywords: biological control, bio-stimulation, *Pseudomonas fluorescens*, the rhizosphere, germination, *Lycopersicon esculentum*

Liste des abréviations :

% : pourcentage.

°C: degré celsius.

ACC : 1-Amino-cyclopropane-1-carboxylate.

AIA : Acide Indole -3- acétique.

Cm: centimètre.

cv : cultivar.

DO: densité optique.

DSA: direction des services agricoles.

FAO : Food and Agriculture Organisation.

Fig : figure.

h : heure.

HCN : acide cyanhydrique.

ITCMI : Institut Technique de Cultures Maraichères et Industrielles.

j: jours.

KB: king B

m³/ha : mètre cube par hectare.

MADR : Ministère d'Agriculture et du Développement Rural.

mm: millimetre.

nm: nanomètre.

P.aeruginosa : *Pseudomonas aeruginosa*.

P.chlororaphis : *Pseudomonas chlororaphis*.

P.fluorescens : *Pseudomonas fluorescens*.

P.putida : *Pseudomonas putida*.

PDA: Potato Dextrose Agar.

PGPR : Plant Growth Promoting Rhizobacteria ou rhizobactéries stimulant la croissance des plantes.

Liste des abréviations

Qx/ha : quintaux par hectare.

RSI : résistance systémique induite.

Spp : plusieurs espèces.

Subs : substrat.

UFC/ml: unité formatrice de colonies par millilitre.

Liste des tableaux

Tableau 01 :	Production mondiale de la tomate en 2010.....	17
Tableau 02 :	La production de la tomate maraîchère dans la wilaya de Laghouat (2000-2011)	18
Tableau 03 :	Les principaux maladies et ravageurs de la tomate présents en Algérie.....	25
Tableau 04 :	Origine des souches bactériennes.....	27
Tableau 05 :	Champignons phytopathogènes.....	33
Tableau 06 :	Résultats d'analyse de la variance pour les paramètres étudiés.....	36
Tableau 07 :	Résultat d'analyse de la variance pour les paramètres étudiés pour l'essai de la biostimulation de la croissance végétale.....	40
Tableau 08 :	Activité antagoniste des souches bactériennes vis-à-vis des champignons phytopathogènes.....	45
Tableau 09 :	Taux d'inhibition (%) de la croissance mycélienne par rapport au témoin.....	46

Liste des figures

Fig. 01.	Relations phylogénétiques entre les différents groupes des protéobactéries contenant les genres bactériens actuellement ou anciennement (en gras) associés aux <i>Pseudomonas</i>	4
Fig. 02.	Le marché des biopesticides microbiens en 2005.....	13
Fig. 03.	un jeune plant de tomate.	14
Fig. 04.	Dispositif expérimentale de biostimulation de la croissance végétale.....	32
Fig. 05.	Test de l'antagonisme <i>in vitro</i>	34
Fig. 06.	Résultat de la régénération des souches pure.....	35
Fig. 07.	taux de germination par variétés	37
Fig. 08.	Taux de germination interaction souches*variétés.....	37
Fig. 09.	Energie de germination (%).	38
Fig. 10.	La vitesse médiane de germination (T_{50}).....	39
Fig. 11.	Longueur racinaire (cm) dans les coupes 01 et 02 (facteur substrat).....	41
Fig. 12.	Longueur racinaire (cm) dans la deuxième coupe (facteur bactérisation).....	42
Fig. 13.	Poids frais racinaire (g) pour la première coupe (facteur substrat).....	42
Fig. 14.	Poids frais de la racine (g) pour la deuxième coupe (facteur substrat).....	43
Fig 15.	Poids frais de tige (g) pour les coupes 01 et 02 (facteur substrat).....	44

Introduction

Introduction :

L'agriculture (du latin *agricultura*) est un processus par lequel les hommes aménagent leurs écosystèmes pour satisfaire les besoins alimentaires en premier et autres, de leurs sociétés. L'agronomie regroupe, depuis le XIX^e siècle, l'ensemble de la connaissance biologique, technique, culturelle, économique et sociale relative à l'agriculture.

La culture de la tomate joue un rôle très important dans l'économie agricole algérienne. La production de tomate a connu un grand progrès ces dernières années ; elle passe d'une production de 48 millions de tonnes en 1978 à 124 millions tonnes en 2006 (Blancard *et al.*, 2009).

La lutte chimique est actuellement en vigueur, ce sont essentiellement des pesticides de synthèse qui sont utilisés (Kouassi, 2001). Ces produits chimiques sont considérés comme l'arme la plus efficace, mais ces substances ont des conséquences néfastes sur l'environnement. Au regard de ces inconvénients, il est important de trouver des solutions alternatives qui permettront de continuer à lutter contre les phytopathogènes tout en diminuant l'emploi de produits chimiques. L'utilisation de certains microorganismes non pathogènes en tant que biopesticides est une technologie émergente et écologiquement compatible considérée comme alternative prometteuse aux pesticides de synthèse (Minuto *et al.*, 2006 ; Bouzerda *et al.* 2003). Ces biopesticides ou agents de lutte biologique peuvent donc être constitués d'organismes (plantes, insectes, nématodes) ou de microorganismes (bactéries, levures, champignons, virus) exerçant une activité protectrice sur les plantes vis-à-vis d'agents phytopathogènes (Fravel, 2005 ; Lee *et al.*, 2006).

Dans le sol, les microorganismes représentent la majorité des organismes vivants et constituent une importante part de la diversité génétique de la planète. L'exploitation du potentiel microbiologique des sols, en particulier certaines souches bactériennes osmotolérantes promotrices de la croissance végétale (Horner-Devine *et al.*, 2003), de 6000 à 50000 espèces bactériennes (Curtis *et al.*, 2002) et jusqu'à 200 m d'hyphes fongiques (Leake *et al.*, 2004).

La variabilité des résultats obtenue par l'utilisation d'organismes vivants est souvent supérieure à celle obtenue par l'application de produits de synthèse. De meilleures connaissances des mécanismes d'interaction plantes-microorganismes permettent de

Introduction

favoriser des populations déjà présentes dans la rhizosphère et qui sont bénéfiques pour les plantes (Elhassan *et al.*, 2010).

Par ailleurs, de nombreuses bactéries sont capables d'améliorer la santé des plantes en limitant la croissance saprophyte des microorganismes phytopathogènes. Certaines sont utilisées en agriculture comme agents de lutte biologique (Bloemberg et Lugtenberg, 2001; Whipps, 2001).

La capacité des *Pseudomonas* spp. fluorescents à coloniser rapidement la rhizosphère fait de ces bactéries un groupe taxonomique de grand intérêt pour leur utilisation en lutte biologique (Verma *et al.* 2007 ; Trivedi *et al.* 2008). Elles sont très largement représentées parmi les bactéries à effet PGPR qui promouvoient la croissance des plantes. Ces bactéries ont pour effet d'améliorer la santé des plantes et sont notamment connues pour leur effet antagoniste avec les phytopathogènes. (Bloemberg et Lugtenberg, 2001 ; Whipps, 2001; van Loon, 2007).

Elles sont connues comme promotrices de la nutrition et la croissance des plantes par la solubilisation de minéraux comme le phosphore ou par la production de sidérophores. Elles peuvent modifier la morphologie et la physiologie racinaire par la production de régulateurs de croissance comme les auxines. Elles peuvent également augmenter le niveau de résistance des plantes aux maladies diverses grâce à leur activité antagoniste vis-à-vis de pathogènes (Lemanceau, 1992).

Ces dernières années, l'exploration et l'introduction des agents de contrôle biologiques (ACB) dans les systèmes de production des cultures dites organiques est en hausse continue (Nicot *et al.*, 2011).

L'objectif de ce travail est d'apporter un plus dans la lutte biologique par la mise en évidence de bactéries indigènes bénéfiques pour les plantes. En évaluant leurs contributions dans la croissance, et la germination et la santé des plantes. La stratégie d'étude de ce travail consiste à l'utilisation une population bactérienne spécifique, en l'occurrence des *Pseudomonas fluorescens* isoler et caractériser, à partir de la rhizosphère

- I. explorer la capacité des souches dans la germination *in vitro* ;
- II. tester l'effet de ces souches sur la croissance des plante ;
- III. Et enfin, tester *in vitro* la compétence d'antagonisme contre des champignons phytopathogènes.

I. Généralité sur *Pseudomonas* spp. fluorescents :

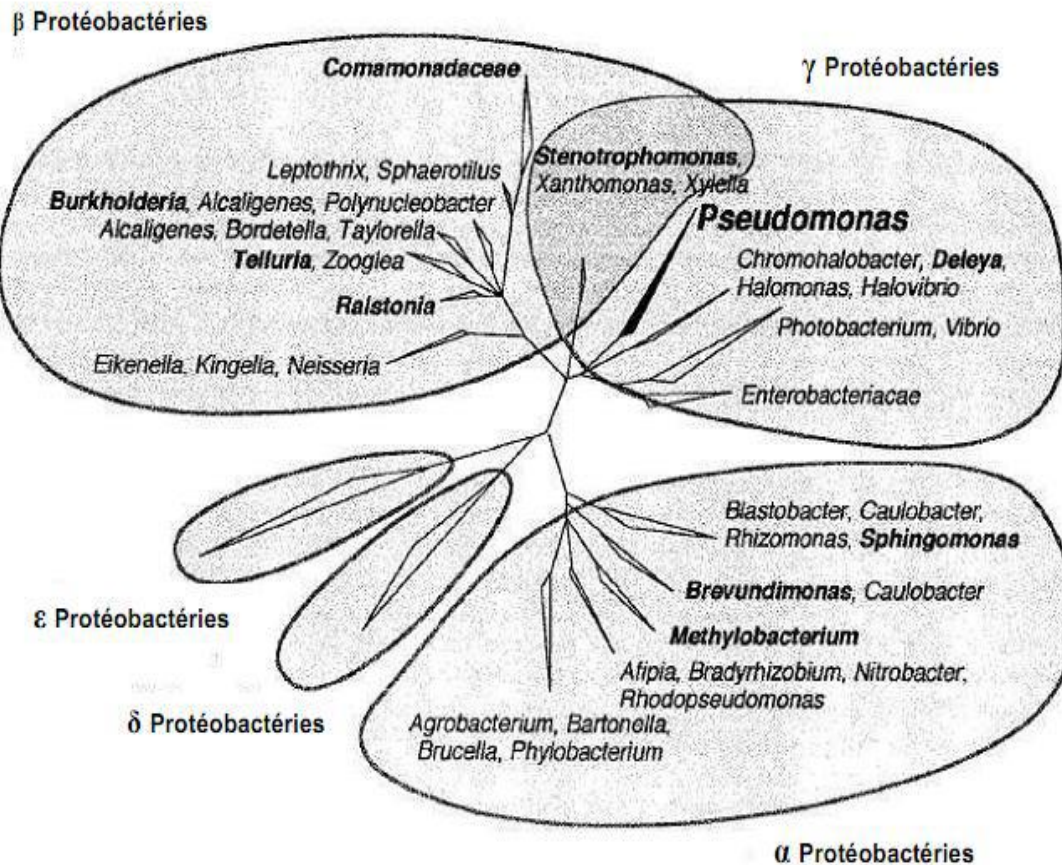
Elles sont très largement représentées parmi les bactéries à effet PGPR qui ont un effet promoteur sur la croissance des plantes, les actions bio contrôle et stimulation. Ces bactéries sont aussi largement retrouvées des agents potentiels de lutte biologique qui ont pour effet d'améliorer la santé des plantes et sont notamment connues pour leur effet antagoniste avec les phytopathogènes (Dubuis *et al.*, 2007 ; Klopper et Schroth, 1978 ; Weller, 1988).

Ces espèces présentent en effet un intérêt potentiel pour l'environnement et l'agriculture. Certaines souches améliorent la croissance et la santé des plantes, et contribuent donc à réduire l'utilisation d'intrants de synthèse en agriculture, d'autres sont capables de réduire les oxydes d'azote et de dégrader les composés xénobiotiques (Bossis *et al.*, 2000).

Les bactéries sont en général 10 à 20 fois plus nombreuses que dans le sol avoisinant et celle appartenant au genre *Pseudomonas* sont souvent dominantes au sein de cette microflore racinaire. (Dommergues et Mangenot, 1970 ; Digat, 1988), Peuvent constituer plus de 60 % de la flore bactérienne. (Digat et Gardan, 1987).

1. Taxonomique du genre *Pseudomonas* :

Le genre *Pseudomonas* est un grand groupe bactérien particulièrement important qui appartient à la sous-classe γ des protéobactéries et comprend plus d'une centaine d'espèces ubiquitaires (Bossis *et al.*, 2000 ; Palleroni et Moore, 2004). Cependant, depuis la découverte du genre *Pseudomonas* (Migula, 1894) ; beaucoup de noms d'espèces lui ont été assignés. Le nombre d'espèces a subi de nombreuses variations principalement dues à la description de nouvelles espèces et à divers changements de la définition du genre (fig. 02). Néanmoins, 188 espèces sont actuellement répertoriées sur le site internet <http://www.bacterio.cict.fr/p/pseudomonas.html>.



Source : Bossis et al., 2000.

Fig. 02. Relations phylogénétiques entre les différents groupes des protéobactéries contenant les genres bactériens actuellement ou anciennement (en gras) associés aux *Pseudomonas*.

2. Les Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR):

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 la résistance de la plante ((Kloepper et Schroth, 1978 ; Dunne *et al.*, 1996 ; Paulitz et Bélanger, 2001 ; Lugtenberg *et al.*, 2002 ; Spadaro et Gallino, 2004 ; Bouizgarne *et al.*, 2006 ; Prévost *et al.*, 2006 et Lehr *et al.*, 2008). D'autres substances qui sont absorbés par les racines et transportés vers les feuilles (Gen et Tik, 2012).

Certaines bactéries PGPR sont utilisées en tant qu'inoculant pour améliorer le développement des racines via la production de certaines phytohormones (Bloemberg et Lugtenberg, 2001), telles que des auxines dont l'acide indole acétique (AIA), des cytokinines et des gibbérellines (Vessey, 2003).

La production des antibiotiques par les "PGPR" antagonistes a été mise en évidence dans un premier temps *in vitro*. Plusieurs auteurs ont pu isoler, purifier et identifier plusieurs molécules antibiotiques. Howell et Stipanovic (1980) ont mis en évidence la synthèse de deux antibiotiques, la Pyrrolnitrine et la pyolutéorine, par la souche Pf5 de *P. fluorescens*. Ces antibiotiques inhibent *in vitro* la croissance de *Pythium ultimum* (agent causal de la fonte des semis et de la pourriture du collet des plantes) et de *Rhizoctonia solani* (agent de la fonte des semis et de la pourriture des racines des plantes) (Waller et Cook, 1986 ; Howell et Stipanovic, 1980).

Ces capacités antagonistes et PGPR, sont dues à des mécanismes directs et indirects. Les mécanismes indirects utilisés par ces *Pseudomonas spp.* fluorescents, comprennent la production d'antibiotiques contre des bactéries pathogènes (Thomashow *et al.*, 1990), la réduction de fer disponible pour les phytopathogènes présents dans la rhizosphère (Scher et Baker, 1980), la synthèse d'enzymes dégradant les paroi cellulaires fongiques et la compétition avec les microorganismes délétères pour les niches sur la plante.

Ces bactéries PGPR affectent également la croissance des plantes par des mécanismes indirects impliquant la suppression des pathogènes bactériens, fongiques, viraux ainsi que des nématodes. Plusieurs études (Kaymak, 2011 ; Maheshwari *et al.*, 2012) ont montré que l'inoculation avec des PGPR entraîne :

- L'induction d'une floraison précoce,
- L'enracinement des boutures ligneuses,
- L'amélioration de la germination et l'accroissement de l'émergence des semences dans des différentes conditions,
- L'amélioration de l'absorption des nutriments par les racines,
- L'augmentation du poids des graines,
- L'augmentation de la biomasse totale des plantes,
- Une augmentation significative des rendements de différentes cultures.

Les PGPR peuvent également agir dans la protection de la plante par la production de métabolites secondaires (antibiotiques, HCN, sidérophores). (Tarnawski, 2004).

Les bactéries antagonistes aux pathogènes des plantes peuvent exercer leur effet par l'intermédiaire de plusieurs mécanismes qui peuvent être directs ou indirects (Suslow,

1982 ; Kloepper *et al.*, 1981 et Digat, 1992). L'isolement de ces antagonistes se fait sur la base de leur antibiose *in vitro* envers les pathogènes et/ou sur la base de leur pouvoir stimulateur de la croissance et de la vigueur des plantes.

- a- **Action directe :** Kloepper *et al.*, (1980) ont été les premiers à mettre en évidence l'effet direct d'une souche de *Pseudomonas fluorescens* sur la croissance de certains pathogènes. Cette action directe se fait, en présence de l'agent pathogène.
- b- **Action indirecte :** Ce mode d'action des PGPR antagonistes est expliqué par l'induction de la résistance naturelle des plantes contre les maladies (Digat *et al.*, 1993). Lors de ce phénomène appelé aussi « résistance systémique induite » (RSI), des rhizobactéries non pathogènes peuvent conférer à la plante un certain degré de protection à des attaques ultérieures par un phytopathogène (ou un agent délétère) via la stimulation de mécanismes de défense systémiques. (Pieterse *et al.*, 2001 ; Jourdan, 2008 ; Van Loon, 2007).

2.1. Interaction PGPR / stimulation:

❖ Compétition pour l'espace et les nutriments :

Les interactions microbiennes sont conditionnées par la nature et l'intensité de la compétition entre microorganismes. (Alabouvette, 1983). Cette compétition peut s'instaurer pour l'espace et pour les nutriments.

Dans certains cas, une réduction de la maladie peut être associée à une colonisation importante des racines par les bactéries bénéfiques, ce qui réduit le nombre de sites habitables pour les microorganismes pathogènes et par conséquent, leur croissance (Reles *et al.*, 2004). Cependant, cette corrélation entre l'importance de la population de PGPR sur les racines et la protection observée n'est dans certains cas pas vérifiée et ne peut donc pas être considérée comme une règle générale.

Une rhizobactérie à croissance rapide pourrait éliminer les pathogènes fongiques par la compétition pour le carbone et les sources d'énergie. Le PGPR doit être présent sur les racines en nombre suffisant pour avoir un effet bénéfique sur les plantes et pour être capable d'instaurer une compétition pour les nutriments dans la rhizosphère (Haas et Defago, 2005).

Le rôle de la compétition pour l'espace ne peut être complètement exclu, l'essentiel des travaux relatifs à la compétition, instauré par les *Pseudomonas fluorescents*, porte sur la compétition trophique et en particulier sur la compétition pour le fer. Cet élément en effet indispensable au métabolisme des microorganismes aérobies. (Loper et Buyer, 1991).

D'autres bactéries peuvent contrôler la croissance des pathogènes par la compétition pour les éléments nutritifs, comme par exemple, la compétition pour le carbone (Lemanceau *et al.* 1988).

2.2 Interactions PGPR / plante :

A - Promotion de la croissance de l'hôte :

Les microorganismes, tels que les champignons mycorhizogènes et les bactéries fixatrices d'azote (Elhassan *et al.*, 2010), représentent un potentiel important pour l'amélioration de la croissance des plantes et la lutte biologique contre les maladies d'origine tellurique (Fravel, 1988 ; Lemanceau, 1992).

Les PGPR peuvent favoriser la croissance des plantes hôtes par divers mécanismes tels que la fixation d'azote (N₂) et la solubilisation d'oligoéléments tels que le phosphate (P). (Orhan *et al.*, 2006).

La production de substances de croissance par les *Pseudomonas fluorescents* a été fréquemment mise en évidence *in vitro*. (Brown, 1974 ; Lynch, 1976). Ces substances peuvent être absorbées par les racines.

b. Renforcement de la capacité défensive de l'hôte :

D'autre part, certaines souches de PGPR 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.

L'augmentation de la résistance des plantes de haricot au *Fusarium solani* grâce à l'inoculation d'une souche de *Pseudomonas putida* serait liée à leur plus grande teneur en lignine (Anderson et Guerra, 1985).

3. Mécanisme d'action des *Pseudomonas* spp fluorescents :

Les *Pseudomonas* sont des colonisateurs de la rhizosphère très efficaces. Ils sont efficaces contre de nombreux agents pathogènes telluriques, et ceci grâce à divers mécanismes. Il a également été démontré que certaines souches de *Pseudomonas* peuvent induire une résistance dans les plantes.

Elles utilisent des mécanismes directs et indirects pour produire ces métabolites. Les actions directes résultent des activités rhizobactériennes par les solubilisations de divers éléments minéraux et la production de régulations de croissance. (Richardson *et al.*, 2001).

Les mécanismes indirects utilisés par ces *Pseudomonas* spp fluorescents, comprennent la production d'antibiotiques contre des bactéries pathogènes (Thomashow *et al.*, 1990), la séquestration du fer pour les plantes par les sidérophores, Et aussi la production l'acide cyanhydrique (HCN).

Différents mécanismes, agissant seuls ou en combinaison, ont été avancés pour expliquer comment ces *Pseudomonas* fluorescents sont capables de réduire la gravité de ces maladies :

- la simple occupation des sites d'infection potentielle par colonisation de la rhizosphère, empêchant ainsi la croissance des pathogènes ;
- la production de métabolites inhibiteurs de la croissance des pathogènes ;
- la stimulation des mécanismes de résistance de l'hôte vis-à-vis des agents pathogènes (Jacques *et al.*, 1993).

3.1. Les sidérophores :

Le mot sidérophores, issu du grec, signifie sidêros : fer et phore : porteur. L'utilisation des sidérophores représente chez les bactéries l'un des systèmes les plus efficaces pour l'acquisition du fer.

D'après Neilands (1995) ; les sidérophores sont des métabolites secondaires de faible poids moléculaire, dont sont jouées le rôle de chélateur et d'extraire le fer ferrique de nombreux complexes minéraux ou organiques et de le rendre ainsi accessible aux microorganismes.

La majorité des espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents produisent des sidérophores. Un nombre important d'espèces de plantes peuvent assimiler les complexes Fe^{3+} sidérophores bactériens (Bitter *et al.*, 1991).

La compétition pour le fer via les sidérophores dans les rhizosphères est un déterminant majeur dans les interactions entre les microorganismes pathogènes et bénéfiques.

Les sidérophores sont très importants pour la croissance et la survie des bactéries dans le sol et les environnements aqueux (Guerinot, 1994). Dans la rhizosphère, la concentration des sidérophores est estimée de quelques micro molaires à quelques milli molaires (Hersman *et al.*, 1995).

3.2. Les antibiotiques :

Les espèces de *Pseudomonas* qui produisent des antibiotiques comme les phénazines ont une capacité de bio contrôle envers Plusieurs pathogènes racinaires fongiques.

Les phénazines sont des pigments hétérocycliques azotés intensément colorés, produits par différentes souches bactériennes (Stevens *et al.*, 1994). Les phénazines jouent aussi un rôle dans la compétition rhizosphérique, incluant la survie et la compétence des bactéries productrices (Mazzola *et al.*, 1992).

3.3. L'acide cyanhydrique (HCN):

L'HCN est un métabolite secondaire produit par les bactéries à Gram négatifs *P. fluorescens*, *P. aeruginosa*, et *Chromobacterium violaceum* (Askeland et Morisson, 1983).

La production de l'HCN par les *Pseudomonas* est impliquée dans la suppression d'agents pathogènes comme *Thielaviopsis basicola*, *Septoria tritici* et *Puccinia recondita* (Ramette *et al.*, 2003).

4. Les *Pseudomonas* spp. fluorescents ; agent de bio contrôle et de croissance des plantes :

La plupart des substances chimiques utilisées pour combattre les maladies en plus d'être dangereux pour l'homme, les animaux et les organismes bénéfiques ; persistent dans

les écosystèmes naturels. Durant les trois dernières décennies, les bactéries appartenant au genre *Pseudomonas* ont été identifiés comme agents potentiels de bio contrôle, à l'encontre des phytopathogènes.

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents saprophyte sont les habitants type des sols agricoles et la rhizosphère des plantes, et sont impliqués dans de nombreuses interactions avec les plantes (Schroth *et al.*, 1992). Ces bactéries sont considérées comme des composés biologiques du sol agricole, et sont responsable de la suppression des maladies fongiques dans les cultures. Ces *Pseudomonas* diminuent la sévérité de la maladie et stimulent la croissance des plantes comme le riz (Sakthivel et Gnanamanickam, 1987), le blé (Weller et Cook, 1983), la pomme de terre (Kloepper *et al.*, 1980).

Différentes espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents ont été rapportés à la fois comme PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), et comme souches de biocontrôle des champignons phytopathogènes (Salmone *et al.*, 2001). Toutefois, les *Pseudomonas* spp. fluorescents ne sont pas tous des antagonistes.

Leur application comme agents de contrôle biologique grâce à leur abondance dans les sols naturels et les racines des plantes (Sands et Rovira, 1971). Ces bactéries sont d'excellents compétiteurs vis-à-vis de la microflore fongique et bactérienne du sol par leur temps de génération *in situ* relativement court (Garbaye, 1994), leur capacité à utiliser les exsudats de plantes comme nutriments (Lugtenberg *et al.*, 2002).

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont connus pour leurs aptitude d'adhésion aux particules du sol et au rhizoplan, mais sont aussi mobiles et prototrophes (Weger *et al.*, 1994), produisent des antibiotiques (Garbaye, 1994 ; Natsch *et al.*, 1994), et des enzymes hydrolytiques (Lim *et al.*, 1991; Neilsen *et al.*, 1998).

4.1. Stimulation de la croissance des plantes :

De nombreux travaux font état d'une stimulation de la croissance des plantes et du rendement des cultures après bactérisation. Ces études ont été réalisées avec des plantes hôtes et des conditions expérimentales variées. Il apparait clairement que l'augmentation de rendement, observée en conditions normales de production, est toujours inférieure à l'augmentation de croissance des plantes cultivées en conditions contrôlées (culture en pots et en serre ou en chambre climatisées) (Lemanceau, 1992).

Les espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents comme *P. chlororaphis*, *P. putida* et *P. aeruginosa* ont été identifiés comme rhizobactéries solubilisant le phosphate (Bano et Musarat, 2003).

Il est également reconnu que des bactéries de la mycorrhizosphère, encore appelées bactéries auxiliaires de la mycorrhization, stimulent sélectivement l'établissement de la symbiose ectomycorhizienne (Garbaye, 1994).

Une des composantes du rendement agronomique des grandes cultures est la densité du peuplement végétal. Or, cette densité est liée à la faculté et à l'énergie germinative des semences. Certaines souches bactériennes, appartenant en particulier au groupe des *Pseudomonas* spp. fluorescents, semblent améliorer la germination des graines lorsque les conditions d'environnement sont défavorables.

4.1.1. Synthèse de phytohormones :

a. Acide Indole-3-acétique (AIA) :

Cette phytohormone est impliquée dans l'initiation de la division des cellules au niveau des racines, et de leurs élargissements (Salisbury, 1994). Communément produite par les rhizobactéries (Barazani et Friedman, 1999). Les rhizobactéries produisant l'AIA sont connues pour leurs capacités à augmenter la croissance et la longueur des racines (Patten et Glick, 2002).

b. Cytokinines :

Les cytokinines forment une classe de phytohormones qui stimulent les divisions cellulaires, l'élargissement et le développement des tissus (Salisbury, 1994). Ce sont des signaux impliqués dans la médiation du stress environnemental des racines vers les parties supérieures de la plante. La production de cytokinines a été rapportée chez *P. fluorescens* (Garcia *et al.*, 2001).

c. La 1-Amino-cyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminase :

L'éthylène est la seule phytohormone gazeuse. Il est connu pour être l'hormone des blessures, parce que sa production dans la plante peut être induite par n'importe quelle perturbation physique ou chimique des tissus (Salisbury, 1994). Parmi ses nombreux effets

sur la croissance et le développement de la plante, la production d'éthylène peut causer l'inhibition de la croissance des racines.

4.2. Dénitrification :

La dénitrification est un processus microbien dans lequel les oxydes d'azote sont utilisés comme accepteurs finaux d'électrons, pour la production d'énergie en absence d'oxygène (Stewart, 1988). La dénitrification est composée de quatre réactions par lesquelles les nitrates sont réduits en dit nitrogène (N₂), par des métallo-enzymes comme le nitrate réductase, nitrite réductase, oxyde nitrique réductase, et l'oxyde nitreux réductase (Ghiglione, 2000).

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont les dénitrifiant les plus communs des sols des régions tempérées (Gamble *et al.*, 1977).

5. Effets bénéfiques :

L'effet bénéfique des rhizobactéries est directement lié à leur interaction avec les différents constituants de la rhizosphère. Ceci justifie l'intérêt de tester leur pouvoir colonisateur des racines de la plante à protéger (Rosas *et al.*, 2009).

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents présentent des effets dans certaines conditions bénéfiques sur la croissance des plantes et sur leur protection vis-à-vis des agents pathogènes telluriques (Digat *et al.*, 1988). S'accompagne d'effets bénéfiques significatifs pour la plante bactérisés (Lemanceau, 1992).

Les mécanismes responsables de ces effets bénéfiques sont sommairement les effets d'antibiose, la compétition trophique notamment pour le fer et le carbone et la production d'enzymes lytiques (Lemanceau, 1992); ainsi que l'induction de la résistance contre différents agents pathogènes (Meyer *et al.*, 1997).

La finalité de la bactérisation est d'augmenter le rendement des cultures. Seules certaines souches semblent présenter cette capacité. (Weller, 1988).

L'augmentation de rendement d'une culture bactérisée résulte de 02 effets bénéfiques principaux : la stimulation de la croissance des plantes et la protection des plantes contre les maladies telluriques. Ainsi certaines souches de *Pseudomonas* stimulent la germination des graines.

II. la lutte biologique :

La lutte biologique a pour principe d'utiliser 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 (Rahman *et al.*, 2007).

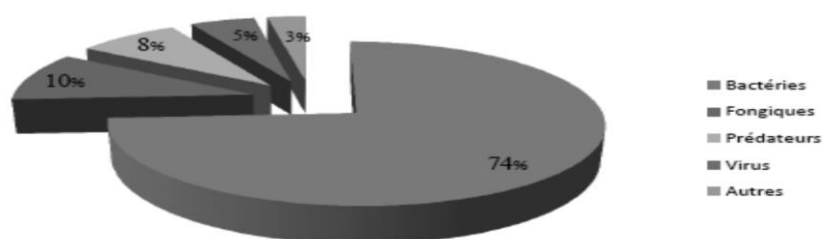
Deux principaux avantages des agents de lutte biologique résident dans leur compatibilité environnementale, et dans le fait qu'ils offrent des modes d'action multiples (Emmanuel, 2008).

Des rhizobactéries non pathogènes peuvent conférer à la plante un certain degré de protection à des attaques ultérieures par un phytopathogène via la stimulation de mécanismes de défense systémiques (Emmanuel, 2008).

Par ailleurs, de nombreuses bactéries sont capables d'améliorer la santé des plantes en limitant la croissance saprophyte des microorganismes phytopathogène. Certaines sont utilisées en agriculture comme **agents de lutte biologique** (Bloemberg et Lugtenberg, 2001 ; Whipps, 2001).

Parmi les biopesticides, les agents microbiens sont soit des bactéries, des champignons, des levures, et même des virus. Ils sont employés dans le monde entier dans des cultures en champ et en serres pour réduire de multiples maladies sur diverses céréales, légumineuses, fruits, fleurs et plantes d'ornement (Fravel, 2005 ; Haas et Defago, 2005).

Pseudomonas spp. fluorescens est réalisé selon la liste des produits commerciaux formulés pour le contrôle biologique des pathogènes des plantes parue en 2004 (Cawoy *et al.*, 2011).



Source : Thakore, 2006

Fig. 03. Le marché des biopesticides microbiens en 2005.

II aperçu générale sur la tomate :

1. Description botanique de la tomate :

La tomate (*Lycopersicon esculentum*) est l'un des fruits et légumes le plus cultivé au monde pour son utilisation dans de nombreux mets (Liu *et al.*, 2000). Cependant ce légume est très rapidement périssable, d'où l'utilisation de techniques de conservation pour la préservation de ses éléments nutritifs.

Selon la description de Berti (1989), la tomate est une liane annuelle, à port buissonnant dont la longueur peut dépasser plusieurs mètres. Elle porte de nombreuses feuilles velues alternes et composées, ainsi que plusieurs bourgeons latéraux. Sa tige herbacée se lignifie rapidement avec l'âge de la plante et devient anguleuse (Fig. 01). Le système racinaire est fasciculé et puissant pouvant atteindre 1,50 m de profondeur et 0,70 m de largeur. Les fleurs sont bisexuées, régulières. La plante est principalement autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu ; les abeilles et les bourdons étant les principaux pollinisateurs. Les graines sont nombreuses, de 3 à 5 mm de longueur et 2 à 4 mm de largeur. L'embryon est enroulé dans l'albumen (Shankara *et al.*, 2005). Son couleur est rouge, parfois jaune ou orangée.



Source : Auteur, 2014.

Fig. 01 : un jeune plant de tomate.

D'après Rank (2010) ; La tomate est un aliment diététique riche en eau et pauvre en calories. Le fruit renferme aussi beaucoup d'éléments minéraux et de vitamines, dont la plus importante en quantité est la vitamine C.

Parmi les plantes maraîchères cultivées dans le monde, la tomate est l'une des plus largement produites en plein champ et dans les jardins. (Salunkhe et Kadam, 1998).

2. Nomenclature et classification de la tomate :

La tomate (*Lycopersicon esculentum*), est une plante appartenant à la grande famille des Solanacées qui regroupe plusieurs espèces, telles que la pomme de terre, le tabac, le poivron et l'aubergine. C'est une espèce diploïde ($2n=24$), monoïque et allogame. De point de vue taxonomique, la systématique de la tomate peut être résumée comme suit, selon schankara *et al.*, 2005 :

Règne	: Végétale.
Sous-règne	: Cormophytes.
Embranchement	: Spermaphytes.
Sous-embranchement	: Angiospermes.
Classe	: Gamopétales.
Ordre	: Polémoniales.
Famille	: Solanacées.
Genre	: <i>Lycopersicon</i> .
Espèce	: <i>Lycopersicon esculentum</i> .

Le genre *Solanum* est très important dans le monde (environ 1700 espèces recensées) et comporte des plantes alimentaires comme la pomme de terre (*Solanum tuberosum*), et bien sûr la tomate. Ce genre comprend aussi des plantes ornementales comme le moreau faux jasmin (*Solanum jasminoides*) (Rank, 2010).

3. Historique et l'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). Selon Purseglove (1982) ; La domestication de cette plante hors de sa zone d'origine fut réalisée durant les premières civilisations mexicaines. Elle a été par la suite introduite en Europe par les Espagnols vers la troisième décennie du 16^{ème} siècle (en 1523) comme plante ornementale (Damidaux, 1989). Après la généralisation de cette culture en Europe, elle se propage aux Etats-Unis d'Amérique au début du 18^{ème} siècle. Ce n'est qu'à la fin du 19^{ème} siècle que cette culture s'est répandue dans le reste du monde (Purseglove, 1982 ; Laumonnier, 1979 ; in Abderrezak, 2001).

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. Actuellement, pour des raisons phylogénétiques, la tomate est appelée *Solanum lycopersicum* L (Shankara *et al.*, 2005). Longtemps appelée "pomme d'amour" ou "pomme d'or", son nom de « tomate » n'a été accepté par l'Académie française qu'en 1835 (Laterrot et Philouze, 1995). Le nom *lycopersicum* signifie littéralement « pêche de loup ».

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

Selon l'ITCMI (2012), la semence utilisée en Algérie est de provenance totalement de l'étranger et principalement de Hollande, France et d'Amérique dans un emballage spéciale en sachet de 1000 graines ou bien en sachet de 10 grammes.

4. Importance économique de la tomate :

La tomate est le légume le plus consommé dans le monde après la pomme de terre. Elle est cultivée sous presque toutes les latitudes avec une superficie d'environ 3 millions d'hectares dans des conditions climatiques et de production très variées (De Broglie et Guérault, 2005). Sa culture occupe près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes (Messai *et al.*, 2005).

La tomate, qui est l'un des aliments les plus importants dans l'alimentation humaine et qui se consomme frais ou transformé. Cent cinquante (150) millions de tonnes de tomates sont produites annuellement dans le monde (Péron, 2002).

L'importance économique de la culture de tomate peut être analysée à trois échelles : mondiale, nationale et régionale.

a. A l'échelle mondiale :

La superficie de tomate plantée en 2001, s'élève à 3,7 millions d'hectares avec une production estimée à 100 millions de tonnes (Causse *et al.*, 2003 ; FAO, 2003). L'Asie occupe le premier rang avec 45 % de la production mondiale, l'Europe le 2^{ème} rang avec 22 % suivie de l'Amérique 19 % et l'Afrique 12 % (FAO, 2003).

Selon le rapport de la FAO, 2012 ; la tomate est le premier produit horticole dans le monde grâce à sa production. En effet, plus de 124 millions de tonnes ont été produites en 2009. Il est estimé que 30 % des tomates produites à l'échelle mondiale sont destinées à la transformation.

La tomate représentée 14,7% de l'ensemble des légumes produit dans l'Union, la superficie agricole destinée à cette production représentée en moyenne 13% de la superficie horticole de l'Union (commission des communautés européenne, 2000).

Tableau 01 : Production mondiale de la tomate en 2010.

position	région	production
1	Chine	41879684
2	Etat-unis d'amérique	12902000
3	Inde	11979700
4	Egypte	8544990
5	Turqui	10052000
6	Italie	6024800
7	Iran	5256110
8	Espagne	4312700
9	Brésil	3691320
10	Mexique	2997640

Source : FAO, 2012.

Les échanges internationaux :

Le Mexique fournisseur essentiel des États-Unis et l'Espagne fournit l'Union européenne (FAO-STAT, 2009). Pour la même année les premiers pays importateurs de tomates fraîches sont dans l'ordre; les États-Unis, l'Allemagne, la France, le Royaume-Uni et la Russie. En revanche, en 2006 pour la tomate transformée (pâte et purée) les principaux pays exportateurs sont la Chine, l'Union européenne, les États-Unis, le Chili et la Turquie.

b. A l'échelle nationale :

Les wilayas potentielles pour la production de cette catégorie de la tomate sont Skikda, Annaba, El Taref et Guelma. Elle a démarré dans les années 1920, dans la région

de l'est avec la création de la première conserverie TOMACOOOP à Bône (actuellement Annaba). Les surfaces consacrées à la tomate industrielle ont, également, augmenté, pour passer de 100 hectares en 1930 à 2000 en 1960. (Toufouti, 2013).

La tomate se place au premier rang parmi les cultures maraîchères en Algérie selon l'Institut technique des cultures maraîchères et industrielles (2000). Elle représente 51% de la production totale en produits maraîchers. (Nechadi *et al.*, 2002).

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha (MADR, 2009).

c. l'échelle régionale « la wilaya de Laghouat » :

La production de la tomate dans la wilaya de Laghouat est donnée par le tableau 02. Une légère augmentation de la production est enregistrée dans la période allant de l'année 2000 à 2003. Durant les années 2004 et 2005, et malgré l'augmentation de la superficie, la production a diminué. L'accroissement de la superficie a engendré une augmentation de la production durant les années 2006 à 2010 dont on note un pic de production d'environ 54000 Qx en 2010. Cette augmentation de la production n'est pas liée uniquement à l'augmentation de la superficie mais aussi à l'intensification et aux techniques utilisées dans le calendrier cultural et l'entretien de la culture qui se sont améliorées progressivement.

Tableau 02. La production de la tomate maraîchère dans la wilaya de Laghouat (2000-2011) (DSA, 2012).

Année	Superficie (ha)	Production (Qx)
2000	155	15160
2001	156	21410
2002	149	26870
2003	155	28945
2004	175	26250
2005	185	27240
2006	155	23250

Source : DSA, 2012.

Tableau 02. La production de la tomate maraîchère dans la wilaya de Laghouat (2000-2011) (DSA, 2012) suite .

Année	Superficie (ha)	Production (Qx)
2007	162	25110
2008	170	25500
2009	172	30960
2010	195	54600
2011	180	360000

Source : DSA, 2012.

5. Caractéristiques morphologique de la tomate :

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

La tomate est une plante herbacée annuelle, appartenant au groupe des légumes-fruits (Baba Aissa, 1999).

5.1. Appareil végétatif :

a. Système racinaire :

La tomate a un système racinaire puissant, très ramifié. Il est très actif sur les 30 à 40 premiers centimètres. En sol profond, on peut trouver des racines jusqu'à 1 mètre de profondeur (Chaux et Foury, 1994).

b. Tige :

La tige de forme anguleuse, épaisse aux entre nœud pubescent (couvert de poil), de type herbacée en début de croissance. Cette croissance monomodale au début après 4 à 5 feuilles devient sympodiale, c'est-à-dire que les bourgeons axillaires donnent naissances à des ramifications successives. Par contre les bourgeons terminaux produisant des fleurs ou avortent (Chaux et Foury, 1994). La tige pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m. (Toufouti, 2013).

c. Feuille :

Les feuilles sont composées de 5 à 7 folioles principales, longues de 10 à 25cm, et 10 à 30 cm de large et d'un certain nombre de petites folioles intercalaires ovales, un peu dentées sur les bords, grisâtre à la face inférieure. Elles sont souvent repliées en forme de cuillère ou même à bords roulés on dessus. Ces feuilles sont alternées sur la tige (Raemaekers, 2001).

5.2.Appareil reproducteur :

a. Fleurs :

Les fleurs sont regroupées sur le même pédoncule en bouquet lâche en inflorescences formant des grappes plus ou moins bifurquées de 3 à 8 fleurs chez les variétés fixées et au-delà chez les hybrides (Polese, 2007).

Les fleurs sont Bisexuées, régulières et entre 1.5 et 2 cm de diamètre (Toufouti, 2013).

b. Fruits :

Le fruit de la tomate est une baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. L'épiderme est lisse brillant et peut présenter sur des fruits mûrs des colorations très diverses, selon les variétés (Polese, 2007).

c. Graine :

Selon Chaux et Foury (1994) ; chaque fruit contient un nombre important de graines qui varie de 80 à 500 graines par fruit. Elles sont recouvertes d'un mucilage qui présent à la maturité un albumen et embryon à courbe, à germination épigée (Doré et Varoquaux, 2006).

6. Cycle biologique de la tomate :

D'après Gallais et Bannerot (1992), le cycle végétatif complet de la tomate varie selon les variétés, l'époque et les conditions de culture; mais il s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit) le cycle comprend six phases qui sont les suivantes :

6.1. La germination :

La germination chez la tomate est épigée. A ce moment, une température ambiante d'environ 20 °C et une humidité relative de 70 à 80 % sont nécessaires (Chaux et Foury, 1994).

6.2. La croissance :

Selon Laumonnier (1979), la croissance de plant de tomate se déroule en 2 phases et en 2 milieux différents :

- En pépinière : de la levée jusqu'au stade 6 feuilles. On remarque l'apparition des racines non fonctionnelles et de pré-feuilles.
- En plein champ : après l'apparition des feuilles à photosynthèse intense et des racines fonctionnelles, les plantes continuent leur croissance. La tige s'épaissit et le nombre de feuilles augmente.

6.3. La floraison :

C'est le développement des ébauches florales par transformation du méristème apical de l'état végétatif à l'état reproducteur.

La floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs de la plante, car celle-ci ne peut fleurir que si elle reçoit la lumière pendant une durée qui lui est propre. (Chaux et Foury, 1994).

6.4. La pollinisation :

En général la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu (Shankara *et al*, 2005). La pollinisation nécessite l'intervention des agents extérieurs, le vent ou certains insectes comme le bourdon qui est capable de faire vibrer les anthères et de libérer le pollen (Chaux et Foury, 1994).

La libération et la fixation du pollen reste sous la dépendance des facteurs climatiques (Pesson et Louveaux, 1984).

6.5. La fructification et nouaison des fleurs :

La nouaison est l'ensemble de gamétogenèse, pollinisation, croissance du tube pollinique, la fécondation des ovules et le développement des fruits « fructification ».

6.6. La maturation du fruit :

La maturation du fruit se caractérise par grossissement du fruit, changement de couleur, du vert au rouge. La lumière intense permet la synthèse active de matière organique qui est transporté rapidement vers les fruits en croissance, par ailleurs, il faut une température de 18 °C la nuit, et 27 °C le jour (Rey et Costes, 1965).

7. Irrigation des cultures de la tomate :

Les besoins en eau de la plante peuvent être établis par une approche dite holistique. C'est-à-dire en déterminant, pour différents types de sol, les besoins immédiats en eau de la plante à partir de relations entre des facteurs environnementaux (température de l'air, déficit de pression de vapeur, flux de photons photosynthétiques), des indicateurs du contenu en eau du sol (contenu volumique, potentiel matriciel) et des indicateurs physiologiques (conductance stomatique, taux d'assimilation en CO₂, fluorescence chlorophyllienne, potentiel hydrique du xylème, diamètre de tige, changements morphologiques, taux de croissance, etc.).

L'irrigation est l'une des phases les plus importantes dans le processus de production agricole (Çetin et coll, 2002). L'irrigation est la technique qui consiste à apporter de l'eau aux cultures en complément de celle trouvée dans leur environnement. Une irrigation insuffisante peut causer un stress hydrique chez la tomate et avoir un impact négatif sur le développement des racines et le rendement en fruits (Tüzel et coll, 1994). Selon une étude effectuée par Machado et Oliveira (2005), l'irrigation influence la profondeur des racines dans le sol et la biomasse racinaire des plantes.

8. Exigence edapho-climatiques de la culture :

Le *Lycopersicum esculentum* Mill a des exigences particulières: sensible au froid, craint beaucoup le gel, les vents chauds et très exigeants en température (Polese, 2007).

8.1.La température :

La tomate est une plante des saisons chaudes, elle est exigeante en chaleur pour assurer son cycle végétatif complet. Les températures optimales pour la plupart des variétés sont 20 et 25 °C le jour et 15 °C à 17 °C la nuit (Shankara *et al.*, 2005).

La température du sol est le premier facteur dont dépendent le pourcentage de levée et la vitesse de germination (Rey et Costes, 1965).

8.2.La lumière :

La tomate n'est pas sensible au photopériodisme, mais, exigeante en énergie lumineuse. La longueur de l'obscurité est essentielle pour le contrôle de la croissance et le développement de la plante (Cirad et Gret, 2002). En outre, l'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles, la mise à fruits et la couleur des fruits.

8.3.L'eau et l'humidité :

La tomate paraît être l'une des cultures les plus exigeantes en eau. Les besoins de la tomate en plein champ se situent entre 4000 et 5000 m³/ha. Celles d'un cycle de 90 à 120 jours sont de 400 à 600 m³/ha. L'évolution des besoins en eau est fonction de l'environnement, de la plante, mais aussi des stades de développement de celle-ci (Bussières, 2002).

8.4.pH :

La tomate tolère modérément un large intervalle de valeurs du pH, mais, pousse le mieux dans des sols où la valeur du pH varie entre 5.5 et 6.8 (Shankara, 2005).

8.5.Le sol :

La tomate pousse bien sur la plupart des sols minéraux qui ont une bonne capacité de rétention de l'eau, une bonne aération et qui sont libres de sels. Elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées (Shankara, 2005). Une texture sablonneuse ou sablo-limoneuse est préférable (Verolet, 2001).

9. Les types variétaux de la tomate cultivée :

D'après la synthèse d'El Fadl et Chtaina, 2010, les types variétaux de la tomate sont assez complexes à définir, car les critères utilisés intègrent de très nombreux paramètres à

savoir : la forme, la couleur, le poids, le mode de croissance variétale, la destination du produit et les qualités gustatives.

10. Les variétés les plus utilisées 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. 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 les plus cultivées en Algérie (ITCMI, 2012).

11. Contraintes phytosanitaires de la culture de la tomate en pépinière

La tomate est une culture particulièrement sujette aux attaques de ravageurs et de maladies (Kennedy, 2003). Les aleurodes, pucerons, mineuses, acariens, thrips, noctuelles et nématode constituent ses principaux ravageurs. Les principales maladies rencontrées en culture de tomate sont : chancre bactérien, la pourriture grise, mildiou, l'alternariose, la fusariose, la fonte de semis et certaines viroses, dont le TYLC (Tomato Yellow Leaf Curk virus) (ITCMI, 2012).

Revue bibliographique

Tableau 03. Les principaux maladies et ravageurs de la tomate présents en Algérie.

	Agent causal	Symptômes et dégâts	Moyens de lutte
Maladies bactériennes			
Chancre bactérien	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>	Sur tige : jaunissement de la moelle en bordure des vaisseaux. Sur fruit : petite tache blanche, brunes au centre.	Utiliser des semences saines, éviter les irrigations par aspersion, éliminer les débris des végétaux, désinfecter les outils de taille à intervalle régulier (en début de ligne), en les plongeant dans l'eau javellisée 2% au dans l'alcool.
Gale bactérienne	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i>	Les plants sévèrement infectés perdent leurs feuilles . Sur fruit : lésions sous forme de pustules liégeuse entourées d'un halo huileux	
Moucheture bactérienne	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	Sur feuille : elle se manifeste par de petits points noirs qui, habituellement, ne font pas plus de 2 mm de diamètre. Sur fruit : petites taches noires (de moins de 1 à 3 mm) légèrement surélevées et souvent cernées d'une fine aureole allant du vert au jaune.	
Maladie cryptogamique			
Alternariose	<i>Alternaria dauci</i> , <i>Alternaria solani</i>	Sur feuille des plantes adultes, taches nécrotiques noires de taille variable(3à6mm) plus ou moins arrondies souvent entourées'un halo jaune Sur fruit , tâches noires bien délimitées, déprimées, de 1à2 cm, débutant souvent à l'aisselle du calice.	Éliminer les débris végétaux en fin de culture. Éviter les arrosages par aspersion Utiliser les variétés résistantes Traitement des semences. Traitement chimique à base d'Azoxystrobine, chlorothalonil.
Fusariose ou pourriture fusarienne	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>radicis lycopersici</i> , <i>fusarium solani</i>	Pourriture du système racinaire, jaunissement unilatéraux des folioles. le collet peut présenter un chancre recouvert d'un mucus rose saumon. Les symptômes consistent en un flétrissement de la plante qui se produit au moment où les fruits grossissent et durant les fortes chaleurs. Brunissement des vaisseaux au niveau du collet.	Utiliser des substrats et des plants sains. Éliminer les plantes malades en cours de culture. Buter les plantes pour obtenir l'émission de nouvelles racines qui remplaceront les racines nécrosées. Traitement chimique à base de Carbendazime, Hyméxazol.

Revue bibliographique

Tableau 03. Les principaux maladies et ravageurs de la tomate présents en Algérie (suite).

	Agent causal	Symptômes et dégâts	Moyens de lutte
Maladie cryptogamique			
Mildiou	<i>Phytophthora infestans</i>	Sur feuilles : larges plages brunes auréolées à marge vert pale à la face supérieur, se desséchant en leur centre et correspond à un duvet blanc sur la face inférieur. Sur fruit : taches brunes, dures et marbrées avec parfois un feutrage blanc.	Eviter la proximité des cultures de pomme de terre. Lutte biologique par <i>Enterobacter aerogenes</i> . Eviter d'asperger les plants lors des arrosages. Traitement chimique à base de cuivre de l'hydroxyde de cuivre, tolylfluanide
Maladies virales			
CMV	<i>Myzus persicae</i> , <i>Aphis gossypii</i> , <i>A. craccivora</i> , <i>A. fabae</i> .	Symptômes de mosaïque foliaire. Lorsque l'infection est précoce, on observe une stérilité des plantes ou une malformation des fruits.	Protéger les ouvrants des serres avec des filets insect-proof. Introduire les ravageurs naturels du puceron tel que <i>Aphidius ervi</i> .
TICV	<i>Crinivirus</i>	Un jaunissement interveine sur les feuilles basales puis médianes. Un retard de développement de la plante.	Eviter l'introduction de plantes infestées ou d'insectes porteurs du virus. Utiliser des variétés tolérantes à ce virus.
Ravageurs			
Mineuse	<i>Tuta absoluta</i>	Les pertes pouvant aller jusqu'à 80-100%. Les galeries se nécrosent et brunissent. Les tomates présentent des nécroses sur le calice ou des trous de sortie à leur surface	Eliminer les débris de culture et désinfecter le sol pour détruire les pupes. Utilisation d'auxiliaires : les punaises prédatrices <i>Nesidiocoris tenuis</i> et <i>Macrolophus caliginos</i> .
Nématodes	<i>Meloidogyne</i> spp.	Sur les racines, des nécroses juste au dessous de la peau. La partie aérienne peut présenter une croissance réduite accompagnée d'un jaunissement des feuilles.	Eliminer et détruire les racines infestées. Solarisation ou désinfection des sols à la vapeur.

Source : ITCMI, 2012.

Matériel et méthodes :

A. Matériels biologiques :

- Souche bactériennes :

Nous avons utilisé dans ce travail cinq (05) souches bactériennes de *Pseudomonas fluorescens* (tableau 04). Ces souches ont été isolées à partir de rhizosphères de plantes spontanées steppiques (*Artemisia herba-alba* et *stipa tenacissima*) par Hamdaoui (2013).

Tableau 04 : origine des souches bactériennes :

Souches	Rhizosphère et le nom scientifique	Région
A11	Armoise herbe blanche (<i>Artemisia herba-alba</i>)	Aflou (sahou l'Ahmar)
A23	Armoise herbe blanche (<i>Artemisia herba-alba</i>)	Aflou (sahou l'Ahmar)
A24	Armoise herbe blanche (<i>Artemisia herba-alba</i>)	Aflou (sahou l'Ahmar)
S1	Alfa (<i>stipa tenacissima</i>)	Aflou (sahou l'Ahmar)
S4	Alfa (<i>stipa tenacissima</i>)	Aflou (sahou l'Ahmar)

B. régénération et conservation des souches bactériennes :

Nous avons récupéré les souches précédentes (cf : A), qui ont été conservé à une température de 4 ± 2 °C, et nous avons procédé la régénération dans milieu gélosé King B (annexe 13) (King *et al.*, 1954) pour la vérification de la pureté de ces souches. Les boîtes sont incubées à une température de 25 ± 2 °C pendant 24 heures jusqu'à 48heures.

I. Essai 01 : test de germination *in vitro* :

I.1. Matériels végétales (La tomate) :

Trois variétés de tomate (*Lycopersicon esculentum*) ont utilisé pour cette étude sont représentées par cv. Marmande, cv. Saint pierre et cv. Super straine ont été utilisées pour tester l'efficacité et la biostimulation de la germination des semences de tomate par nos bactéries appartenant au genre *Pseudomonas*.

Le choix de deux variétés de tomate cv. Marmande, cv. Saint pierre est basée sur leurs très larges utilisations en culture maraîchère algérienne (Snoussi, 2010) sont issu d'une récolte de juin 2009 (France). La variété cv. Super straine est une variété

nouvellement introduite en Algérie, notre choix pour cette variété pour tester la croissance, la germination.

I.2. La désinfection superficielle des semences :

Les semences ont subies une désinfection par trempage dans une solution de désinfection superficielle avec l'eau de javel, pendant 20 minute, suivie de 03 rinçages successifs à l'eau distillé stérile, puis nous avons mis ces graines sur du papier absorbant stérile pour le séchage (Simons *et al.*, 1996).

I.3. La suspension bactérienne :

A partir des cultures bactériennes jeunes (Cf : A) âgées de 24h, nous avons mis des colonies dans de l'eau distillée stérile (Jone *et al.*, 1984). La concentration de la suspension bactérienne d'environ $10^6 - 10^7$ UFC/ ml est ajustée à une DO 620 nm.

I.4. Bactérisation des graines :

La bactérisation a été réalisé par les cinq suspensions bactériennes, chacune des trois variétés utilisées (cv. Marmande, cv. Saint pierre, et cv. Super straine) a été trempé dans les cinq suspensions pendant une minute. Les semences témoins ont été mises dans l'eau distillée stérile.

Pour notre essai, nous avons pris comme base un lot de 1200 graines par variété. Les graines ainsi bactérisé sont mis dans des boites de Pétri stérile contenant du papier filtre stérile, imbibé par 3ml d'eau distillé stérile ; afin de maintenir une humidité suffisante pour éviter le dessèchement des graines, à raison de 40 graines par boite (fig 04) avec cinq répétitions pour chaque traitement, ensuite ces boites ont été laissé, à la température ambiante pour la germination.

I.5. Paramètres étudiés :

Après le premier jour, nous avons réalisé des observations visuelles des graines germés et des plantules obtenues, puis nous avons procédé à la notation des plantules germé, jusqu'à le septième jour (Hultberg *et al.*, 2000). L'évaluation de la germination de la tomate a été effectuée sur des paramètres suivant :

I.5.1. La faculté de germination :

Révéla la faculté de germination selon l'équation suivante :

$$FG = \frac{\text{nombre des graines germées}}{\text{nombre totale des graines}} \times 100$$

I.5.2. L'énergie de germination :

L'énergie de germination sous la réalisation de l'équation suivante :

$$EG = \frac{\text{germination mediane}}{\text{numberde germination}} \times 100$$

I.5.3. La vitesse de germination médiane T_{50} :

La vitesse de germination médiane par l'équation qui crée par Côme (1970) ;

$$T_{50} = \frac{\left[\left(\frac{N}{2}\right) - N_1\right] \times (T_2 - T_1)}{N_2 - N_1} + T_1$$

N : % finale des semences germés ;

N_1 : % de germées un peu avant $N/2$;

N_2 : % de germées un peu après $N/2$;

T_1 : nombre de jours correspondant à N_1 ;

T_2 : nombre de jours correspondant à N_2 ;

T_{50} : nombre de jours correspondant à $N/2$.

I.6. Dispositif expérimental :

Le dispositif utilisé pour cet essai est celui d'une randomisation totale, représenté par l'interaction de trois facteurs :

- **Facteur 01** correspond aux variétés de la tomate, avec trois variantes (cv. Marmande, cv. Saint pierre, et cv. Super straine) ;
- **Facteur 02** représenté par les souches bactériennes, avec cinq variantes A11, A23, A24, S1, et S4, en plus le témoin.
- **Facteur 03** représenté les jours correspond à la germination.

I.7. Analyse statistique :

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée en considérant l'essai aléatoire ($\alpha = 5\%$). La mise en évidence de différences significative concerne l'effet de chaque facteur contrôlé (F_1 : les variétés, F_2 : les différentes suspensions bactériennes, F_3 : les jours) et de leurs interactions.

II. Essai 02 : la biostimulation de la croissance végétale:

II.1. Le matériel végétale (La tomate) :

A partir des résultats obtenus du test de germination *in vitro*, nous avons choisi le cv. Super straine. Les graines ont subi la même désinfection (cf : I.2).

II.2. Substrat :

Pour cet essai nous avons utilisé deux types de substrat le premier (Sub1) est un sol sableux provenant de Kaf mokran (Laghouat), le deuxième (Sub2) est un mélange de (1/3 tourbe et 2/3 de sable).

Les substrats utilisés ont subi une stérilisation par autoclavage à une température de 120 °C pendant 20 minutes, afin d'éliminer toute forme de vie pouvant affecter la germination et la croissance des plantules.

II.3. Le traitement bactérien :

Nous avons réalisé des suspensions bactériennes pour deux souches (A24 et S4) et une autre suspension issue de leur mélange (A24+S4) à part égale, à une concentration cellulaire d'environ 10^6 - 10^7 UFC/ml.

La bactérisation du substrat a été réalisée par irrigation à raison de 20 ml/pot, cinq jours avant le semis, un rappel a été réalisé sept jours après.

II.4. Dispositif expérimentale :

Cet essai a été repartitionné en blocs aléatoires complets, représenté par l'interaction de deux facteurs :

- **Facteur 01** correspond au substrat, avec deux variantes (Sub1, Sub2) ;

- **Facteur 02** représente les différentes suspensions bactériennes, avec trois variantes A24, S4 et (A24+S4) et en plus le témoin;

L'interaction de ces deux facteurs, constitue les quatre traitements et le substrat de chaque bloc. Le semées est effectué en deux types de substrat : sub 1 (sol sableux) et le sub 2 (1/3 tourbe + 2/3 sol sableux). Les graines ont été cultivées en pots de plastique (8 cm de long x 5cm de diamètre) de couleur blanchâtre conditionnés en substrat, ont été semés à raison d'une graine par pot recouvert par une couche fine de substrat (0,5 cm), à raison de dix répartitions par traitement.

Les pots sont ensuite déposés dans une chambre de culture à température ambiante (comprise entre 25 à 30°C) et sous un éclairage naturel (environ 14 heures de lumières par jour).

Les traitements en question sont :

- T₁ : le Sub1 traité par la suspension bactérienne « A₂₄ » ;
- T₂ : le Sub1 traité par la suspension bactérienne « S₄ » ;
- T₃ : le Sub1 traité par la suspension bactérienne mélange entre « A₂₄ » et « S₄ » ;
- T₄ : le Sub1 sans suspension bactérienne (témoin) ;
- T₅ : le Sub2 traité par suspension bactérienne « A₂₄ » ;
- T₆ : le Sub2 traité par suspension bactérienne « S₄ » ;
- T₇ : le Sub2 traité par suspension bactérienne mélange entre « A₂₄ et S₄ » ;
- T₈ : le Sub2 sans suspension bactérienne (témoin).

L'irrigation des cultures est effectué régulièrement 20 ml de l'eau de robinet pour chaque pot dans le but de maintenir l'humidité du sol.

II.5. Paramètres étudiés :

L'évaluation du développement de la tomate a été effectuée par des mensurations sur des paramètres de croissance. Les mensurations ont été réalisées en deux périodes :

- a- **Première coupe** : Après deuze (12) jours de la culture ;
- b- **Deuxième coupe** : Après vingt-quatre (24) jours de la culture.

Matériel et méthodes

Les mensurations ont été réalisées sur trois plants, choisis aléatoirement, pour la première coupe et le reste des plants pour la deuxième coupe.

Après ces coupes, l'hauteur de la tige, la longueur racinaire, le poids frais de la tige et le poids frais de la racine des plantules sont évalués.

II.6. Analyse statistique :

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée en considérant l'essai aléatoire ($\alpha = 5\%$). La mise en évidence de différences significative concerne l'effet de chaque facteur contrôlé (F_1 : le substrat, F_2 : les différentes suspensions bactériennes) et de leurs interactions ($F_1 \times F_2$). L'effet de bloc est considéré comme aléatoire.

Dispositif aléatoire en bloc

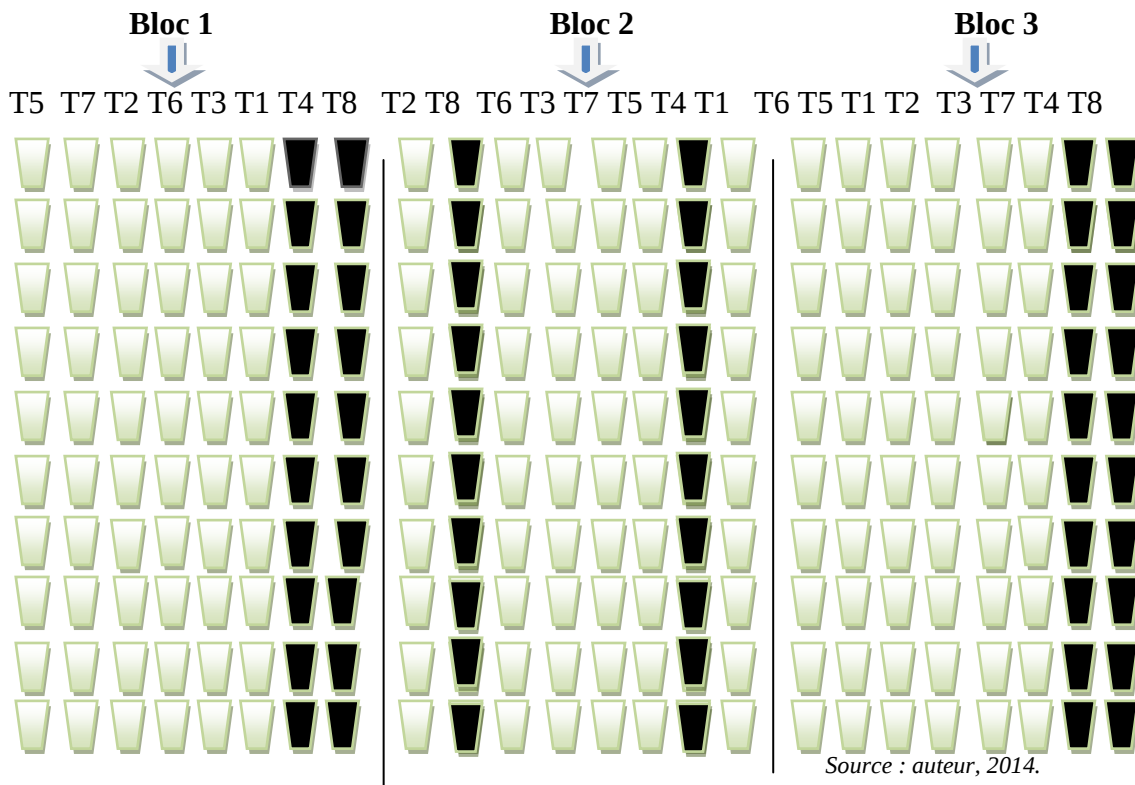


Fig 04. Dispositif expérimentale de biostimulation de la croissance végétale.

T1 : Sub1+A24.

T5 : Sub2+A24.

: : non bactériisé.

T2: Sub1+S4.

T6: Sub2+S4.

T3: Sub1+ (A24+S4).

T7: Sub2+ (A24+S4).

: : Pot bactériisé.

T4 : témoin Sub1 non bactériisé. T8 : témoin Sub2 non bactériisé. T : traitement.

III. Essai 03 : test d'antagonisme *in vitro* :

III.1. Matériels biologiques :

III.1.1. Champignons phytopathogènes :

Les souches des champignons phytopathogènes utilisées pour notre travail sont représentées dans le tableau (05).

Tableau 05 : Champignons phytopathogènes utilisés :

Champignons phytopathogènes	Origine végétale	Origine des champignons phytopathogènes utilisés
<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp <i>lycopersici</i> (FOL ₁)	Isolé à partir des plantes de tomate.	M ^{me} Houiti, département de biologie, université de Laghouat.
<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp <i>albedinis</i> (FOA ₁)	Isolé à partir des rachis de palmier datties.	M ^{me} Houiti, département de biologie université de Laghouat.
<i>Fusarium culmorum</i> (BD11)	Isolé à partir des épis de blé.	M ^{me} Touati, département d'agronomie université de Laghouat.
<i>Fusarium graminearum</i> (R ₂ 14)	Isolé à partir des épis de blé.	M ^{me} Touati, département d'agronomie université de Laghouat.

III.1.2. Les souches bactériennes :

En vue de tester l'activité antagoniste, *in vitro*, des souches bactériennes de *Pseudomonas fluorescens* citées précédemment (cf : A), des suspensions bactériennes ont été préparés à partir des cultures bactériennes jeunes âgées de 24h, dans l'eau distillée stérile, à une concentration supérieure à 10⁷ UFC/ml.

III.2. Protocole de travail :

Ce test est effectué pour vérifier l'existence d'une éventuelle action inhibitrice des souches *Pseudomonas* vis-à-vis de quatre agents phytopathogènes (cf : III.1.1). La méthode utilisée est celle du contact direct sur milieu gélosé (KB, PDA) décrite par Backer et Cook (1988).

Un cylindre de 4mm de diamètre de chaque mycélium est prélevé à partir d'une culture jeune de 06 jours à l'aide de pipette pasteur, puis placé au centre de la boîte de pétri (85mm de diamètre) contenant le milieu KB, ensuite mitée les cylindres de papier buvard stérile et trempé dans la suspension bactérienne pendant 15 minutes, avec deux répétitions.

Matériel et méthodes

pour chaque suspension, et comme témoin l'agent pathogène est effectué en absence de suspension bactérienne, dans les même conditions (Hariprasad, 2009).

La même opération a été réalisée sur des boîtes de Pétri contenant le milieu PDA (Potato Dextrose Agar) (annexe 13). Les boîtes ont été ensuite incubées à une température de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$

L'évaluation de la croissance du mycélium a été effectuée toutes les 24 heures, pendant six (06) jours par la mesure du diamètre de la colonie mycélienne du pathogène. Le pourcentage d'inhibition $I(\%)$ de la croissance mycélienne du pathogène a été évaluée selon la formule suivante : (Hamouni *et al.*, 1996) :

$$I(\%) = (1 - D_{PA}/D_T) \times 100.$$

D_T : croissance radiale du témoin.

D_{PA} : croissance mycélienne radiale du pathogène en présence de l'antagoniste.

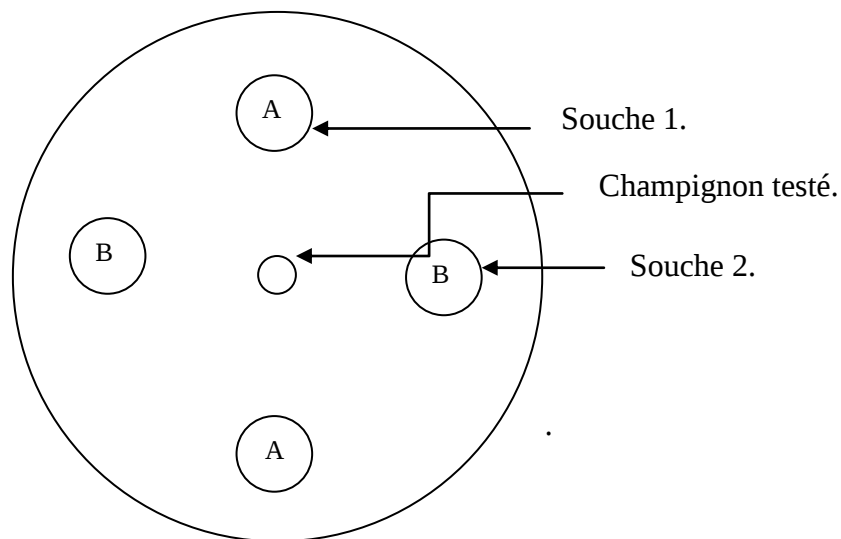


Fig 05. Test de l'antagonisme *in vitro*.

I. Régénération des souches :

Dans les différents essais, nous avons utilisé, Un total de cinq souche de *Pseudomonas* a été déjà isolé a partir de deux plantes spontanées (*Artemisia herba-alba* et *Stipa tenacissima*). Les souches régénérées ont fait l'objet d'assuré la purification Nous avons confirmé que sont des cultures pures avec des colonies de couleur jaune verdâtre fluorescente, forme arrondie, lisse, convexes et brillantes (fig. 07).

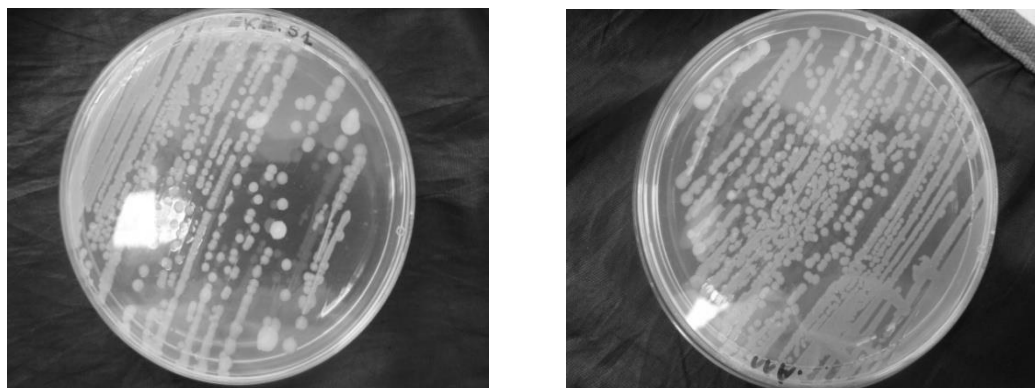


Fig 06 : Résultat de la régénération des souches pure.

II. Essai 01 : test de germination *in vitro* :

Rappelant que dans cette expérimentation l'effet des facteurs étudiés a été évalué aux sept (07) jours de germination. Les paramètres étudiés expriment le taux de germination, énergie de germination et la vitesse de germination.

L'analyse statistique, des résultats obtenue, a révélé une différence significatif pour les paramètres étudiés ; taux de germination, énergie et la vitesse de germination parmi les trois facteurs et l'interaction entre ces facteurs. (Tableau 06).

Cependant, nous avons constaté que l'effet du jour en association avec le facteur de variété, et le deuxième facteur, les suspensions bactériennes, n'a aucun effet significable.

II.1. Paramètre de germination :

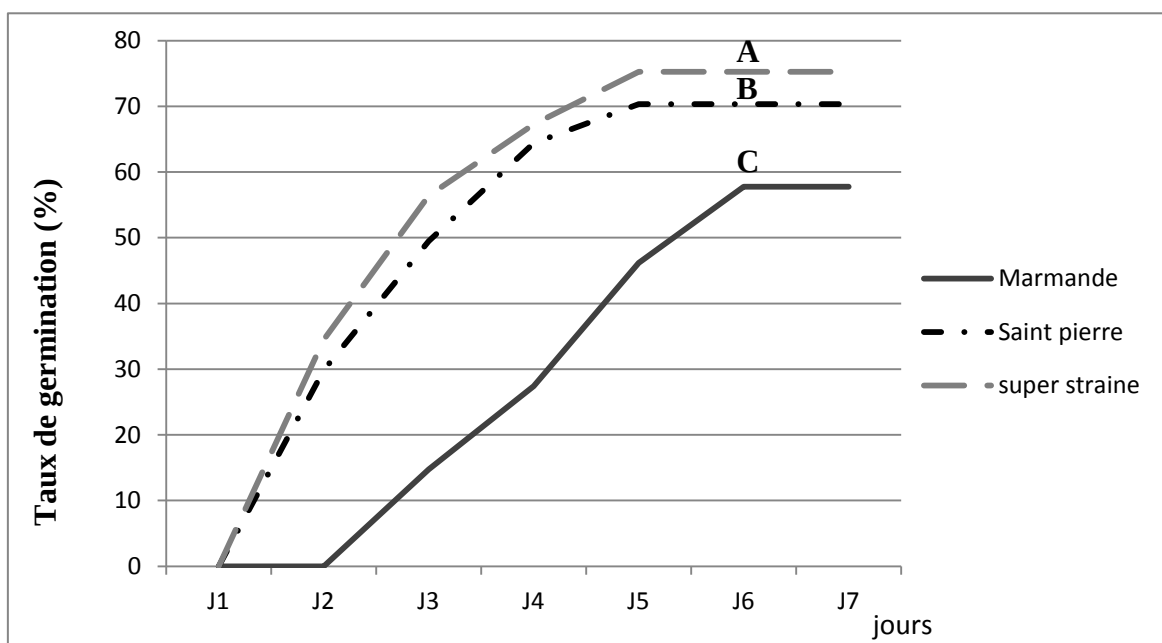
II.1.1. Taux de germination (%) :

En termes de vitesse de germination, le début de germination a été signalé aux deuxièmes jours aux variétés Saint pierre et Super straine, et aux troisièmes jours par Marmande.

Tableau 06 : Résultats d'analyse de la variance pour les paramètres étudiés :

Paramètre de germination	Facteurs étudiés		Faculté de germination	
Taux de germination	Facteur variété	Marmande	11,648	(C)
		Saint pierre	20,290	(B)
		Super straine	21,924	(A)
	Facteur bactérie	A11	18,962	(AB)
		A23	17,781	(C)
		A24	16,867	(D)
		S1	19,705	(A)
		S4	18,105	(BC)
		témoin	16,305	(D)
	Facteur jours	J1	0,000	(F)
		J2	8,689	(E)
		J3	15,978	(D)
		J4	21,122	(C)
		J5	25,600	(B)
		J6	27,144	(A)
		J7	27,144	(A)
Energie de germination	Facteur variété	Marmande	27,417	(B)
		Saint pierre	49,542	(A)
		Super straine	56,417	(A)
	Facteur bactérie	A11	46,583	
		A23	46,500	
		A24	40,167	
		S1	50,500	
		S4	41,500	
		témoin	41,500	
Vitesse de germination	Facteur variété	Marmande	4,025	(A)
		Saint pierre	2,335	(B)
		Super straine	2,163	(B)
	Facteur bactérie	A11	3,030	
		A23	2,788	
		A24	2,894	
		S1	2,710	
		S4	2,961	
		témoin	2,662	

Dans notre essai, nous avons constaté d'après les analyses de la variance (annexe 01), que la variété Super straine est arrivée à un taux de germination finale de 75%, suivi par la variété Saint pierre avec un taux de 70%, l'autre Marmande à un faible taux de germination de 57% (fig. 08).

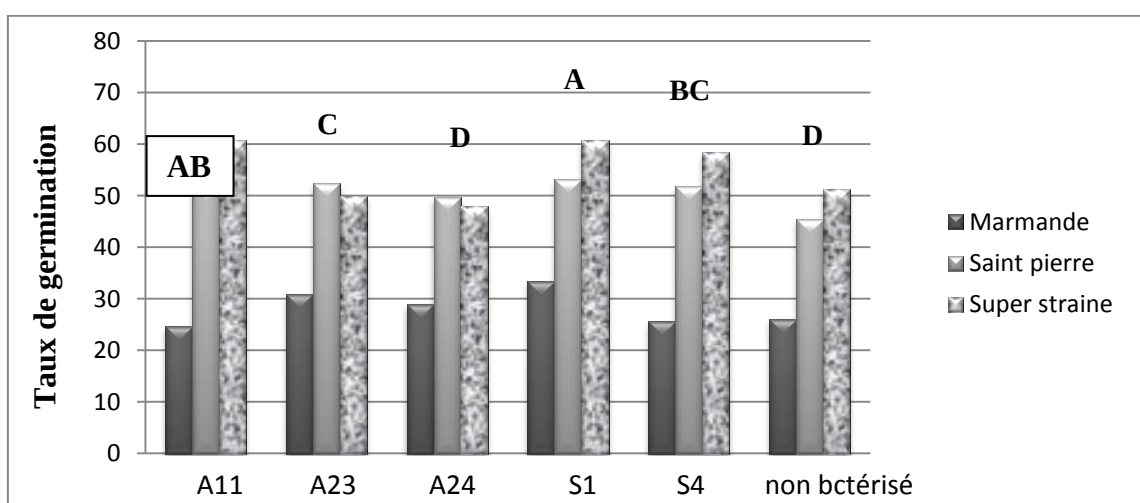


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Fig. 07 : taux de germination par variétés.

II.1.2 : taux de germination interaction variétés avec souches bactériennes :

Dans notre essai, nous constatons que les deux traitements (A_{11}), et (S_1) sont arrivés à un taux de germination finale de 60,78%. Nous que la bactérie (A_{23}) et (A_{24}) à un bon effet sur les variétés Marmande et Saint pierre, par contre sur la variété Super straine nous avons observé un effet faible de germination (annexe ???) (fig. 09).



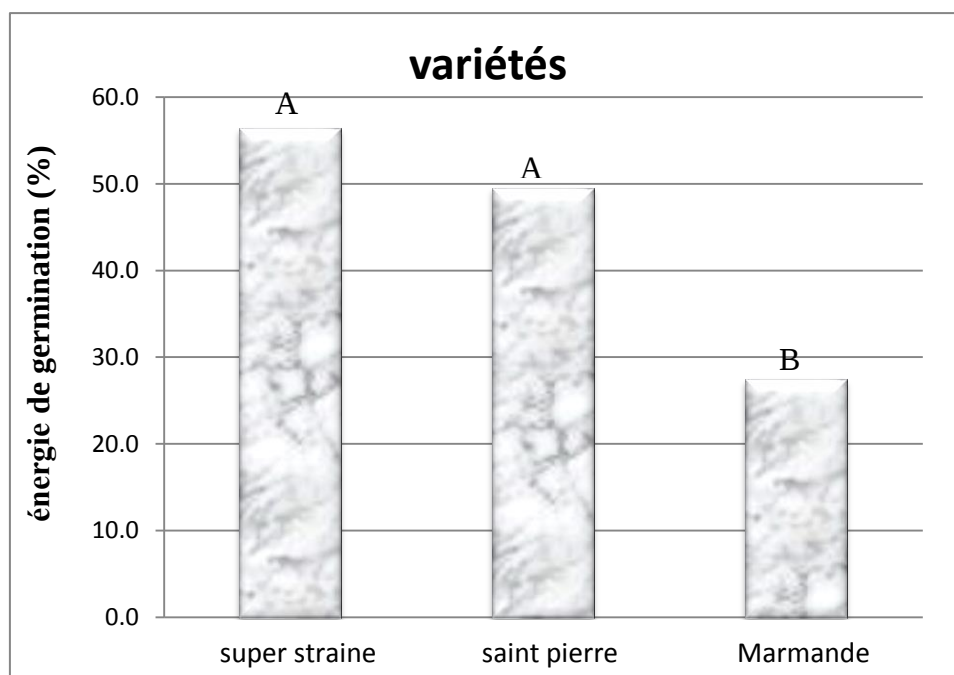
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Fig 08. Taux de germination interaction souches*variétés

II.1.3. Energie de germination (%) :

Pour l'énergie germinatif, l'analyse de la variance ,a révélé que l'effet des variétés est significatif, par contre les bactéries est non significatif (tableau 04) (fig. 10).

La variété Super straine qui comprend la plus haute énergie par une valeur de 57%, suivie par saint pierre avec une valeur de 50% et enfin la cv. Marmande par 28%.



Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

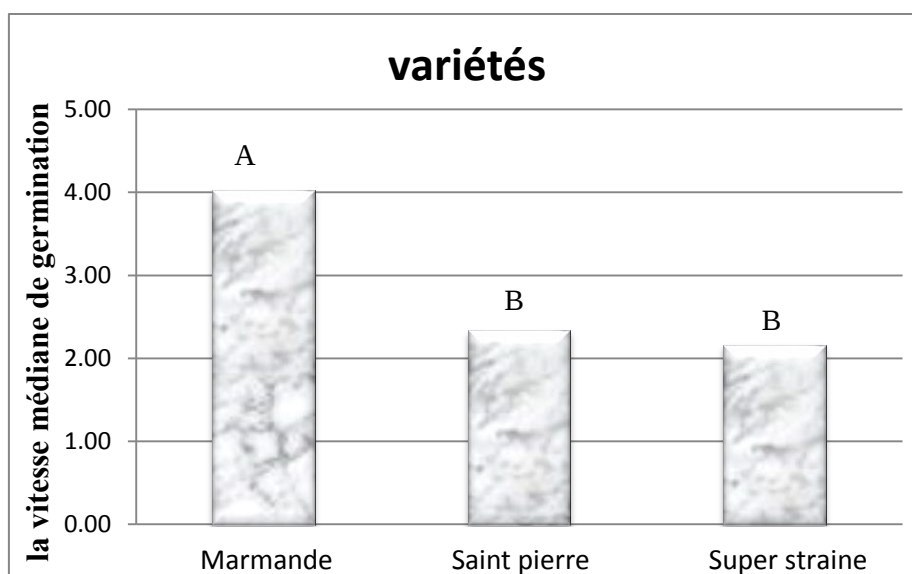
Fig 09 : énergie de germination (%).

II.1.4. La vitesse de germination (T_{50}) :

Dans l'essai de la vitesse germinatif d'après l'analyse de la variance (annexes ???), en révélé que l'effet de facteur des variétés a été significatif, par contre les bactéries non significatif (tableau 04).

Dans cette expérimentation l'effet de facteur 01, les variétés, et le facteur 02, la bactérisation, est significatif pour le paramètre de taux de germination.

La variété Marmande qui présente la vitesse le plus élevé par 4, suivie par saint pierre avec une valeur de 2,4 et enfin la variété super straine par une vitesse médiane de 2,1.



Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Fig 10 : la vitesse médiane de la germination.

III. Essai 02 : test de biostimulation de la croissance végétale *in vivo* :

L'analyse statistique, des résultats obtenus, a révélé une différence non significatif pour les cinq (05) paramètres étudiés dans la première coupe, est significatif pour le paramètre de la longueur racinaire dans la deuxième coupe. (tableau 07).

L'effet de la substrat, est significatif pour tous les paramètres étudiées, exception faite pour deuxième coupe du paramètre poids frais racinaire, et pour la première coupe du paramètre d'hauteur tige.

Cependant, nous avons constaté que l'effet du substrat en association avec le deuxième facteur, les souches bactériennes, ont révélé, ensemble exceptionnellement , un effet significatif pour longueur racinaire lors de la deuxième coupe (tableau 07)

L'interaction substrat-suspensions bactériennes a présenté un effet non significable sur les paramètres étudiées.

Tableau 07 : Résultat d'analyse de la variance pour les paramètres étudiés :

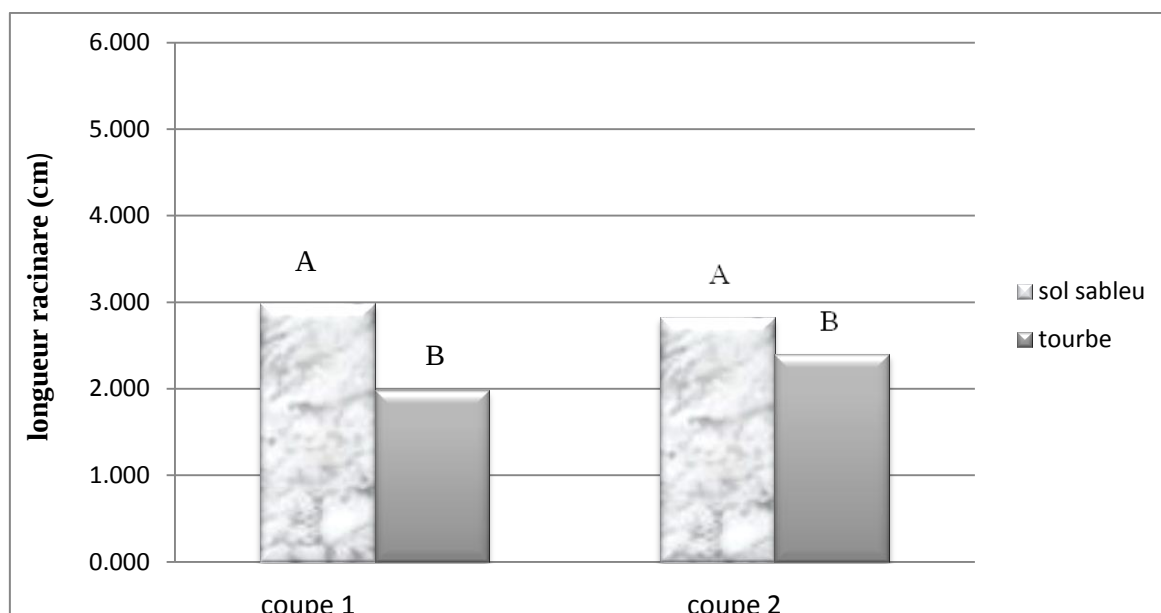
Paramètre de croissance	Facteurs étudiés		Coupe 1 (12j)	Coupe 2 (24j)
Longueur racinaire	Facteur substrat	subs 01	2,980 (A)	2,823 (A)
		subs 02	1,978 (B)	2,393 (B)
	Facteur bactérisation	A ₂₄	2,637	2,172 (B)
		S ₄	2,343	2,692 (A)
		A ₂₄ +S ₄	2,368	2,663 (A)
		Témoin	2,568	2,903 (A)
Poids frais de la racine	Facteur substrat	subs 01	0,037 (A)	0,067
		subs 02	0,019 (B)	0,050
	Facteur bactérisation	A ₂₄	0,023	0,047
		S ₄	0,031	0,059
		A ₂₄ +S ₄	0,029	0,060
		Témoin	0,030	0,068
Hauteur de la tige	Facteur substrat	subs 01	3,600	4,968 (A)
		subs 02	3,868	4,292 (B)
	Facteur bactérisation	A ₂₄	3,967	4,538
		S ₄	3,353	4,595
		A ₂₄ +S ₄	3,968	4,437
		Témoin	3,648	4,950
Poids frais de la tige	Facteur substrat	subs 01	0,055 (A)	0,112 (A)
		subs 02	0,042 (B)	0,087 (B)
	Facteur bactérisation	A ₂₄	0,052	0,091
		S ₄	0,042	0,104
		A ₂₄ +S ₄	0,052	0,092
		Témoin	0,048	0,110

III. Paramètre de croissance:

III.1.1. Longueur racinaire :

- **Facteur substrat :**

L'analyse de la variance, a révélé une différence significative pour le facteur substrat lors de la première et la deuxième coupe. Le subs 01 avec un moyen de 3 cm dans la première coupe, et 2,9 dans la deuxième coupe. Le subs 02 avec un moyen de 2cm par coupe 1, et avec une valeur de 2,4 par la deuxième coupe. Le sol sableux a donné l'effet le plus élevée, qui se classe dans le groupe homogène (A), le faible effet a été enregistré par la tourbe+sable (fig. 11).

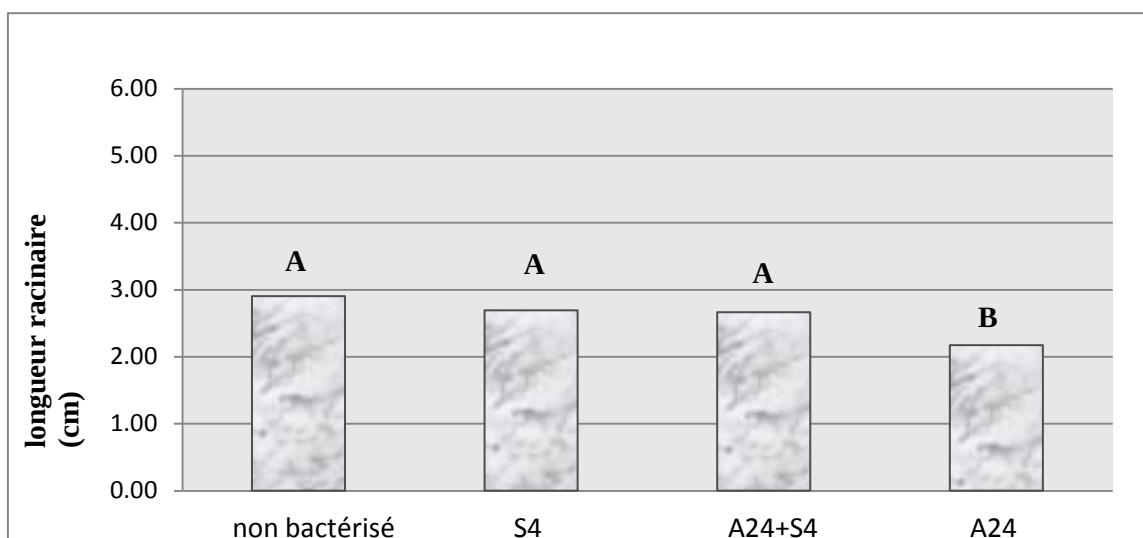


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Fig 11. Longueur racinaire (cm) dans les coupes 01 et 02 (facteur substrat).

- **Facteur souche :**

L'analyse de la variance, réalisé sur la longueur racinaire a montré que le facteur des souches bactériennes n'a aucun effet sur la longueur racinaire lorsque le témoin 2,9 dans le groupe homogène (A) avec S4 et A24+S4 pour une valeur de 2,8 cm, enfin A24 par 2,1cm dans le groupe homogène (B).



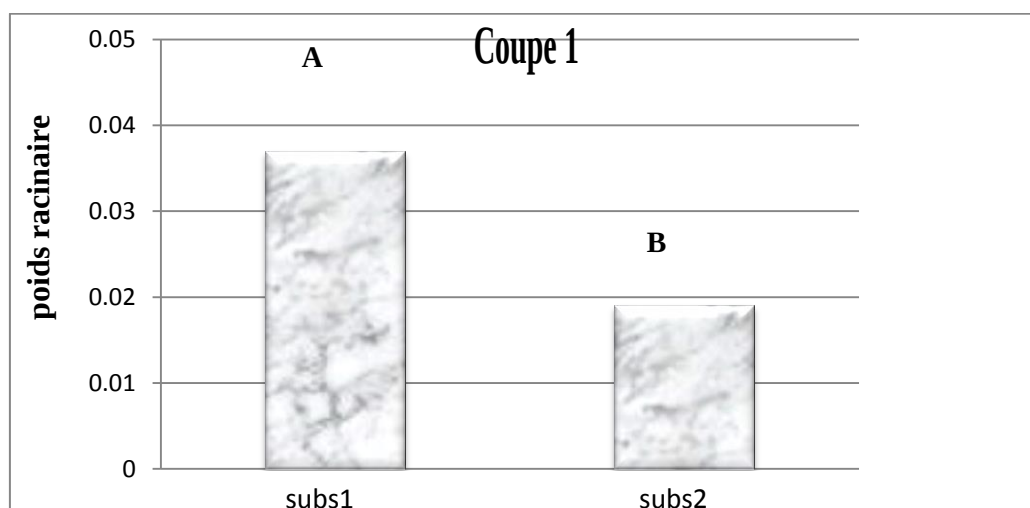
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Fig 12. Longueur racinaire (cm) dans la deuxième coupe (facteur bactérisation).

III.1.2. le poids frais de la racine :

• Facteur substrat :

Le facteur substrat a montré une différence significatif pour la première coupe selon l'analyse de la variance avec un poids de 0,036g pou le groupe homogène (A), et 0,019g pour le groupe homogène (B).



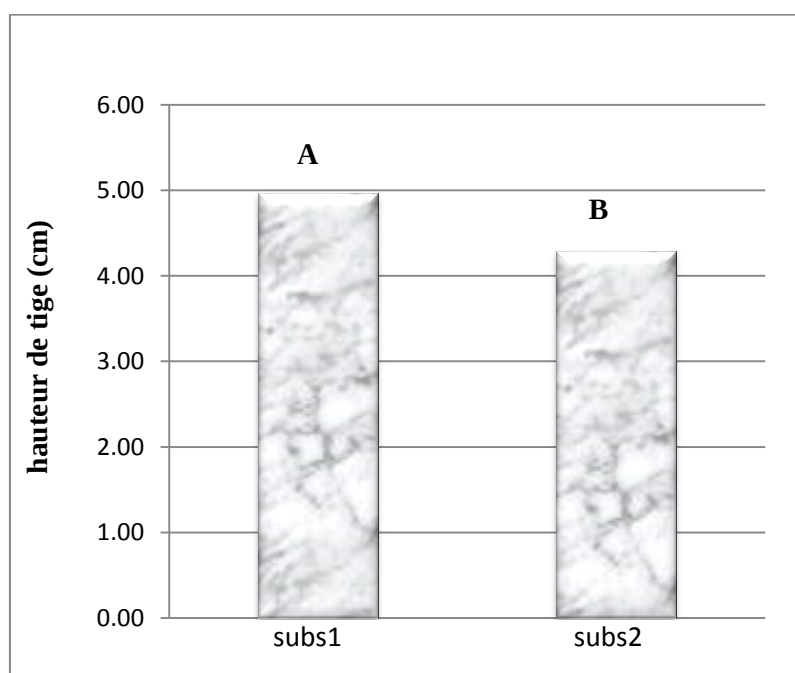
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Fig 13. Poids frais racinaire (g) dans la première coupe (facteur substrat).

III.1.3. Hauteur de tige :

- **Facteur substrat :**

L'analyse de la variance, effectuée sur l'hauteur de tige a révélé un effet significatif sur la deuxième coupe avec une hauteur de tige de 4,97 cm pour le sol sableux caractérisé dans le groupe homogène (A), et 4,28 pour la tourbe+sable dans le groupe homogène (B).



Les valeurs suivies de la même lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$).

Fig 14. Poids frais de la racine (g) pour la deuxième coupe (facteur substrat).

III.1.4. Poids frais de la tige :

- **Facteur substrat :**

Concernant le poids frais de la tige, l'analyse de la variance a révélé une différence significative uniquement pour le substrat lors de la première et deuxième coupe à un poids élevé dans le sable, plus de 0,1 pour la deuxième coupe lors du groupe homogène (A).

coupe1  coupe2

Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Fig 15. Poids frais de tige (g) pour les coupes 01 et 02 (facteur substrat).

D'après tout les résultats obtenus dans notre expérimentation, nous avons constaté que le substrat influe sur les paramètres étudié que ce soit les paramètres de poids frais (tige et racine) ou la longueur (tige et racine), alors que la bactérisation n'influe que sur la longueur racinaire.

Le sable a enregistré les meilleurs résultats pour le facteur substrat par contre la tourbe+sable.

Le facteur bactérisation n'exerce aucun effet significatif sur tous les paramètres, exception, de la longueur racinaire en deuxième coupe.

IV. Essai d'antagonisme *in vitro*:

Selon Hibar *et al.*, (2005) l'étude du phénomène d'antagonisme *in vitro* a été effectuée selon la méthode de confrontation directe sur milieu PDA. L'évaluation de l'inhibition exercée par 05 souches bactériennes identifiées comme *Pseudomonas* spp. fluorescens vis-à-vis des quatre champignons (*Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici*, *Fusarium oxysporum* f.sp *albedinis*, *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum*) est estimée par le calcul du pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne.

Au total, nous avons enregistré 19 boîtes présentant une activité antagoniste. Cependant, tous les souches montrèrent une présence d'action antagoniste de façon peu stable avec les quatre champignons phytopathogènes.

L'activité antagonisme des isolats de *Pseudomonas fluorescens* a été étudiée selon la méthode des disques, contre quatre champignons phytopathogènes. Les résultats des taux d'inhibition exprimés en pourcentage, sont donnés dans le tableau 09.

Tableau 08. Activité antagoniste des souches bactériennes vis-à-vis des 04 champignons phytopathogènes :

Champignons phytopathogènes	Milieu de culture	Boîtes	Type de réponse	Nombre de souche	Souches bactériennes
FOA ₁	PDA	01	++	01	S ₄
FOL ₁	PDA	01	++	01	A ₁₁
R ₂ 14	PDA	02	++	01	A ₁₁
BD11	PDA	00	-	00	/
FOA ₁	KB	05	++	04	S ₁ , A ₁₁ , A ₂₄ , S ₄
FOL ₁	KB	05	+	05	S ₁ , A ₁₁ , A ₂₄ , S ₄ , S ₁
R ₂ 14	KB	01	+	01	A ₁₁
BD11	KB	04	++	05	S ₁ , A ₁₁ , A ₂₄ , S ₄ , S ₁

- : non antagoniste.

+: présence d'une légère activité antagoniste.

++ : action antagoniste importante.

La zone d'inhibition dans le témoin 100%, zone d'inhibition la plus élevée par A₁₁ avec 31%, et après la souche S₄ par une valeur de 21% et enfin les souches A₂₄, S₁ et A₂₃ par des valeurs 15%, 15% et 10% successivement.

Sur le milieu KB, en comparant l'effet antagoniste des différentes souches bactériennes, il ressort que toutes les souches présentent une activité d'antibiose importante, vis-à-vis les quatre champignons phytopathogènes. Un taux minimal d'inhibition a été enregistré avec la souche A₁₁ sur milieu de culture KB de l'ordre de 36,46%, vis-à-vis de le champignon *Fusarium gramineum*, et un taux maximal d'inhibition avec la souche S₄ sur milieu KB de l'ordre de 47,27% vis-à-vis de *Fusarium*

oxysporum f.sp *albidinis*. Globalement les taux d'inhibition de la croissance mycélienne des quatre champignons sur le milieu KB, dépasse largement 40% (tableau 07).

Sur le milieu PDA, nous avons remarqué qu'il existe une activité antagoniste mais faible, certains souches S₄ et A₁₁ qui représente une activité antagoniste vis-à-vis trois champignons FOA, FOL, R₂ 14 parmi quatre champignons, dont le taux d'inhibition de globalement 43%, la souche A₁₁ qui montré une activité antagonisme haute avec un taux d'inhibition de l'ordre de 46,97% vis-à-vis de FOL.

Tableau 09. Taux d'inhibition (%) de la croissance mycélienne par rapport au témoin :

Traitements	FOA ₁		FOL ₁		R ₂ 14		BD11	
	PDA	KB	PDA	KB	PDA	KB	PDA	KB
Témoin	100	100	100	100	100	100	100	100
A₁₁	00,00	43,52	46,97	44,93	46,05	36,46	00,00	44,42
A₂₃	00,00	00,00	00,00	44,27	00,00	00,00	00,00	43,78
A₂₄	00,00	43,89	00,00	44,27	00,00	00,00	00,00	45,05
S₁	00,00	44,14	00,00	41,93	00,00	00,00	00,00	44,1
S₄	46,05	47,27	00,00	42,93	00,00	00,00	00,00	43,15

A partir des résultats, des activités antagonistes, *in vitro*, nous avons constaté que nos souches bactériennes, même à des degrés variables et sans uniformité, ont montré une activité d'antagonisme vis-à-vis des quarts champignons sur les deux milieux, sauf BD11 sur milieu PDA

- **Discussion générale :**

D'après les résultats obtenus dans notre essai de germination *in vitro*, nous avons constaté que les souches utilisées, révélé un effet significatif.

Le taux de germination le plus élevé est remarqué par la souche A11 qui isolée à partir Armoise herbe blanche (*Artemisia herba-alba*) par tous les variétés testées. *Pseudomonas* PM1 stimulent légèrement la croissance des graines de tomate variété Heinz (Killian *et al.*, 2000). Notant aussi qu'aucune interaction entre les facteurs n'est signalée.

Nous avons rappelant que dans le test de croissance et la bio stimulation *in vivo*. D'après l'analyse de la variance, nous avons noté que les souches utilisées dans cet essai ne présentent aucun effet significatif par tous les paramètres étudiées, l'exception nous avons remarqué dans le paramètre de la longueur racinaire lors de la deuxième coupe.

Certaines bactéries PGPR présentent en effet un intérêt potentiel pour l'environnement et l'agriculture. Certains souches améliorent la croissance et la santé des plantes, et contribuent donc à réduire l'utilisation d'intrants de synthèse en agriculture, d'autres sont capables de réduire les oxydes d'azote et de dégrader les composés xénobiotiques (Bossis *et al.*, 2000). Elles sont utilisées en tant qu'inoculant pour améliorer le développement des racines via la production de certaines phytohormones (Bloemberg et Lugtenberg, 2001), telles que des auxines dont l'acide indole acétique (AIA), des cytokinines et des gibbérellines (Vessey, 2003). Leur utilisation dans l'agriculture en tant que biofertilisants offre un bon rendement même dans des conditions sévères (Ali *et al.* , 2009 ; Bano et Fatima, 2009).

Ainsi pour le test d'antagonisme *in vitro* toutes les souches ont révélé une action d'antagonisme contre les trois (03) champignons phytopathogènes FOL1, FOA1, R₂14, mais aucune souche n'est antagoniste contre le champignon BD11.

La souche la plus antagonistes c'est S4 par inhibition (%) ; 47,27% contre FOA1 lors de milieu KB, et la souche A11 par inhibition (%) ; 74% contre FOA1 lors de milieu PDA. La plus part des zones d'inhibition sont effectués dans le milieu KB. Les PGPR peuvent également agir dans la protection de la plante par la production de métabolites secondaires (antibiotiques, HCN, sidérophores) (Tarnawski, 2004). Ramamoorthy *et al.* , 2002 ont établie que *P. fluorescens* stimulait les mécanismes de défense des plantes en améliorant leur résistance à différents phytopathogènes.

D'après nos résultats sur milieu PDA qui ne favorisent pas la production du pigment fluorescent, les souches se caractérisent par des activités antagonistes importantes, ceci peut s'expliquer par l'implication d'autres mécanismes d'action, en montrant que la fluorescence, signée de synthèse des sidérophores, n'est pas subordonnée obligatoirement à l'activité antagoniste des constatations similaires onyx été révélées par plusieurs travaux avec des essais en milieu non carencés en fer (Digat, 1983).

Donc les *Pseudomonas* spp fluorescents possèdent d'autre mécanisme inhibiteur dans leur pouvoir d'antagonisme qui peuvent être attribuer à la synthèse des antibiotiques et d'autres types de métabolites à effet d'antibiose

D'après les travaux de Howell et Stipanovic (1980), il y a implication de deux antibiotiques, la pyolutéorine et la pyrrolnitrine synthèses par la souche PF5 de *Pseudomonas fluorescens*, ces antibiotiques ont respectivement, inhibé la croissance *in vitro* de *Pythium ultimum* et de *Rhizoctonia solani*

Il a été démontré également, que certaines souches de *Pseudomonas fluorescens* ont la capacité de produire le 2-4 diacétyl phloroglucinal (PHP), qui présente des effets d'antibiose (Kiprianova *et al.*, 1985)

D'après Larbaoui (1998), la souche CHAO, utilisée comme souche de référence, produit deux antibiotiques différents, sur deux milieux différents la souche produit sur le milieu ISP2, le 2,4 diacétyl-phloroglucinol et sur le milieu KB produit l'antibiotique la pyolutéorine

Digat (1994) ; qui a signalé que l'activité antagoniste dépend non seulement des souches et des espèces testées, mais aussi de la composition des milieux

Les autres métabolites qui peuvent intervenir dans l'antagonisme microbienne peuvent être la compétition pour les nutriments (Weller *et al.*, 1988), et pour l'espace (Lemanceau, 1992), ainsi que l'augmentation de la concentration de glucose dans le milieu de culture a induit une réduction des taux d'inhibition de certains champignons, selon les travaux de Mohamed et Gautier (1993).

D'autres chercheurs ont montré clairement qu'une zone d'inhibition supérieure ou égale à 13 mm constitue un très bon critère pour l'isolement *in vitro* de bactéries antagonistes (Boudyach *et al.*, 2001 ; Boudyach, 2004).

Conclusion

Conclusion :

Le recours à la lutte biologique et/ou intégrée par utilisation des *Pseudomonas* spp. fluorescents antagonistes a permis le contrôle de plusieurs pathogènes de plantes en culture.

Les axes que nous avons développé lors de ces études sont l'activité d'antagonisme, la biostimulation de la croissance des plantes et la biostimulation de la germination.

Un total de cinq (05) souches de *Pseudomonas fluorescens* ont été isolé de racine de deux plantes spontanées de la région de Sahou l'Ahmar (Aflou). Ces cinq souches ont été testées *in vitro*, pour la germination des graines de trois variétés de la tomate, toutes les souches ont une activité sur la germination des plantules de la tomate. Les souches S1 et A11 avaient une activité germinative élevée.

L'essai de confrontation direct *in vitro* entre quatre champignons phytopathogènes, *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici* (FOL₁), *Fusarium oxysporum* f.sp *albedinis* (FOA₁), *Fusarium culmorum* (BD11), *Fusarium graminearum* (R₁ 14), et souches *Pseudomonas* spp. fluorescents sur deux milieu de culture PDA et KB a révélé une inhibition de la croissance mycélienne des pathogènes testé, exceptionnellement *Fusarium culmorum* (BD11) sur milieu PDA, aucun activité antagoniste contre il. Les souches envahit les colonies du pathogènes au bout de six jours d'incubation. Les souches qui ont montré un effet protecteur élevé, S4 et A11, le pourcentage est considéré un peu élevé par rapport à les autres souches.

La croissance des plantules de tomate a montré que les souches, A24, S4 et A24+S4 généralement n'avaient aucun effet significatif, et cela s'exprime pour tous les paramètres étudiés après l'apport des bactéries, sauf pour la longueur des racines.

Les *Pseudomonas* utilisées dans ces études ont révélé que les souches S4, en plus de son effet inhibiteur contre le *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici* (FOL₁), *Fusarium oxysporum* f.sp *albedinis* (FOA₁), *Fusarium graminearum* (R₁ 14). Par contre le champignon des céréales *Fusarium culmorum* (BD11) n'a subi aucune inhibitrice.

Sur la base de ces résultats, nous pouvons conclure que ces agents de lutte biologique (A11, A23, A24, S1 et S4), peuvent être valorisés pour la lutte contre les champignons phytopathogènes *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici* (FOL₁), *Fusarium*

Conclusion

oxysporum f.sp *albedinis* (FOA₁), *Fusarium graminearum* (R₁ 14) et *Fusarium culmorum* (BT11), agents responsables des maladies pathogènes des plantes, et cela comme alternative à la lutte chimique.

Nous pouvons conclure que les souches testé sont capable d'amélioré la croissance, et la santé des plantes. et pour faire suite à cette étude, plusieurs pistes de travail peuvent être envisagées comme perspectives :

- Etudier l'effet de d'autres souches qu' ont enrgisté un bonne effet sur la germination des graines, dans un essai de biostimulation de la croissance des plantes cultivés ;
- Réaliser des études d'antagonisme *in vivo* sur les plants agronomique comme des biofongicides ou biopesticide dans les cultures agricoles ;

Référence bibliographique

Alabouvette, C. 1983. *La réceptivité des sols aux fusarioses vasculaires. Rôle de la compétition nutritive entre microorganismes*. Thèse dresscinat, univ Nancy. 158 p.

Ali, S.k.Z, V., Sandhya, M., Grover, N., Kishore, L.V. Rao., et Venkateswarlu, B. 2009. *Pseudomonas* sp. strain AKM-P6 enhances tolerance of sorghum seedlings to elevated temperatures. *Biol. Fert. Soils*. 46. p 45–55.

Anderson, AJ., Guerra, D., 1985. *Responses of bean to root colonization with Pseudomonas putida in hydroponic system*. *Phytopathology* 75. p 992-995.

Avril, J-L., Dabernat, I., Deniso, F. et Moneil, E. 1992. *Bactériclogie clinique*. Edition N° : 2. Paris : ISBN. 511p.

Bais, H-P-O., Weir, T-L., Perry, L-G-N., Gilray, S. et Yivanec, J-l. 2006. *The role af root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms*. *Annual Review of Plant Biology*,57. p 66-233.

Bano, A et M. Fatima. 2009. *Salt tolerance in Zea mays (L.) following inoculation with Rhizobium and Pseudomonas*. *Biol. Fert. Soils*. 45. p 405–413.

Becker, J-O. et Cook, R-J. 1988. *Role of siderophores in suppression of Pythium species and production of increased-growth response of wheat by fluorescent Pseudomonari*. *Phytopathot*. 78. p. 778-782.

Benizri, E., Baudoin, E. et Guckert, A. 2001. *Root colonization by inoculated plantgrowth rhizobacteria*. *Biocontrol Science and Technology*. 11. p557-574.

Bitter,W., Marugg, J.D., de Weger, L.A., Tommassen, J. and Weisbeek, M.P.J. 1991.

Bittern, I-l., Marugg, J-D., de Weger, L-A., Tommassen, J. et Weisbeek, M-P-J. 1991. *The ferric-pseudobactin receptor PUPA of Pseudomonas putida \ /CS358 . homology toTonb-dependent Escherchia coli receptors and specificity of the protein*. *Mol. Microbiol*.5. p647-655.

Blancard, D., Laterrot, H., Marchoux, G., et Candresse, T. 2009. *Les maladies de la tomate*. ed : INRA.

Bossis, 8., Lemanceau, P., Latour, X. and Gardan, L. 2000. *The taxonomy of Pseudomonas fluorescens and Pseudomonas putida: current status and need for revision*. *Asronomie* .20. p 51-63.

Bossis, G., Lemanceau, P., Latouro X. et Gardan. L. 2000. *The taxonomy of Pseudomonas fluorescens and Pseudomonas putida : current status ans need for revision*. *Agronomie* Edition N°: 20. p51-53.

Boubyach, E. H., Fatmi, M., Akhayat, O., Benizri, E., Ait Ben Aoumar, A. 2001. *Selection of antagonistic bacteria of Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis and evaluation*

Référence bibliographique

of their efficiency against bacterial canker of tomato. *Biocontrol. Sci. Tech.* 11. p 141–149.

Boudyach, E. H. 2004. *Lutte biologique contre le chancre bactérien de la tomate : sélection des bactéries antagonistes à *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* et évaluation de leur efficacité dans le contrôle du chancre bactérien*. Thèse D'état Es-sciences. Option phytopathologie. Faculté des sciences d'Agadir, Maroc. 134p.

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., Bouteau, F. 2006. *A putative role for fusaric acid in biocontrol of the parasitic angiosperm *Orobanche ramosa**. p.550-556.

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., Bouteau, F. 2006. *A putative role for fusaric acid in biocontrol of the parasitic angiosperm *Orobanche ramosa**. p550-556.

Bouzerda, L., Boubaker, H., Boudyach, E. H., Akhayat, O., Ait Ben Aoumar, A. 2003. *Selection of antagonistic yeasts to green mold disease of citrus in Morocco*. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1. p 215-218.

Brown, ME. 1974. *Seed and root bacterization*. *Annu Rev Phytopathol* 12. p181-197.

Budzikiewicz., H. 1993. *Secondary metabolites from fluorescent pseudomonas*. *FEMS Microbiol. Rev.* 104. p209-228.

Bussieres, P. 2002. *Water import in the young tomato fruit limited by pedicel resistance and calyx transpiration*. *Functional plant biology*. 29. p631-645.

Cardon, Z-J. et Gage, D-J. 2006. *Resource exchange in the rhizosphere: molecular tools and the microbial perspective*. *Annual Review of Ecology. Evolution and Systematics*, 37. p459-488.

Causse, M., Buret, M., Robini, K., Verschave, P. 2003. *Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences*. *J. of Food Sci.*, 68 (7). p2342-2350.

Cawoy, H., Bettiol, W., Fickers, P., Ongena, M., 2011. *Bacillus-based biological control of plant diseases*. *Pesticides in the modern world-pesticides and management*, 1. p 273-302.

Çetin, Ö., Yildirim, O., Boyaci, D.U. 2002. *Irrigation scheduling of drip-irrigated tomatoes using class A pan evaporation*. *Tropical Journal Agricultural and Forestry* 26 . p 171-178.

Champion, R. 1997. *Identifier les champignons transmis par les semences*. Ed : INRA. Paris. p181-182.

Référence bibliographique

- Chaux, C-L et Foury C-L. 1994. *Cultures légumières et maraichères*. Tome III : légumineuses potagères, légumes fruit. Paris : Tec & Doc Lavoisier. 563p.
- Chibane, A. 1999. *Tomate sous serre*. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. MADRPM/ DERD N° 57.
- Chin-A-woeng, T-F., Thomas-oates, J-E-O., Lugtenberg, G-J. et Bloemberg. G-V. 2002. *Introduction of the phzH gene of Pseudomonas chlororaphisPCL13gi extends the range of biocontrol ability of phenazine-1-carboxylic acid-producing Pseudomonas spp. strains*. Mol. Plant Microbe Interact. Edition N° : 14. P1006-1015.
- Côme. 1970. Les obstacles à la germination. Masson et cie. Paris. 135p.
- Cox, C-D., Rinehart C-L., Moore, M-L. et Cook, J-C. 1981. *Pyochelin: novel structure of an iron-chelating growth promoter from Pseudomonas aeruginosa*. Proc. Nat. Acad. Sci.USA.78. P302-308.
- Curel, E-A. et Truelove, B. 1986. *The rhizosphere*. Springer-Verlag, New York, Etats-Unis. 288 p.
- Curtis, T.P., Sloan, W.T. and Scannell, J.W. 2002. *Estimating prokaryotic diversity and its limits*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 99. p10494-10499.
- Davet, P. 1996. *Vie microbienne du sol et production végétale*. Édition N° : 6. Paris : INRA. 383 p.
- De-Broglie et Guérault, 2005. *Tomate d'hier et d'aujourd'hui*. Paris. 134p.
- Digat, B. 1988. *Pommier*. Fertilisation bactériologique. Infos-CTIFL 41. p 8-12.
- Djigal, D. 2003. *Interactions entre la communauté microbienne de sol (bactéries et champignons mycorhisiens) et les nématodes bactérioses : effet sur la nutrition minérale et la croissance de différentes plantes*. Thèse de doctorat : Université Cheikh Anta diop de Dakar. 166p.
- Dommergues, Y-O., Mangenot, F. 1970. *Ecologie microbienne du sol*. Paris : Masson. 76 p.
- Doré, C. et Varoquaux, F. 2006. *Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées*. Ed INRA. Paris. 698p.
- DSA. 2012. *Service des statistiques : bilan de la production de la tomate maraichère dans la wilaya de Laghouat 2000-2011*.
- Dunne, C., Delany, I., Fenton A. et O'gara, F. 1996. *Mécanismes invololved in biocontrol by microbial inoculants*. Agronomie, 16. p 721-729.

Référence bibliographique

- Duponnois, R. 1992. *Les bactéries auxiliaires de la mycorhization du Douglas (Pseudosuga menziesii (Mirb) Franco) par Laccaria laccata souche S 238*. Thèse de Doctorat . Université de Nancy. 244 p.
- Emmanuel, J. 2008. *Dialogue moléculaire entre les rhizobactéries et leur hôte végétale : deux nouveaux éliciteurs impliqués dans l'induction de résistance aux pathogènes*. Thèse doctorat en science. Univ de liège. p 21-28.
- FAO. 2008. *L'actualité agricole en Méditerranée*. Ed CIHEAM .33 p.
- FAO. 2003. *La production de tomate Dans les médias demain* 6-817. p1-6.
- FAO. 2012. *Rapport de la production mondiale de tomate 2010* [en ligne]. [Consulté le 14 mars 2014]. <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=fr>.
- Fenton, A-M., Stephens, P-M., Crowley, J-O., O'Callaghan, M-O. et O'Gara, F. 1992. *Exploitation of gene(s) involved in 2,4-diacetylphloroglucinol biosynthesis to confer a new biocontrol capability to a Pseudomonas strain*. Appl. Environ. Microbiol. Edition N° : 58. p.3873-3878.
- Fitouri, S-D. 2011. *Diversités phénotypique et moléculaire des microsymbiotes du Sulla du Nord (IEDYSARUM CORONARILML) et sélection de souches rhizobiales efficaces*. Thèse de doctorat : Institut national agronomique de Tunisie. 145p.
- Fravel, D-R. 2005. *Commercialization and implementation of biocontrol*. Phytopathol. 43. p337-359.
- Fuchs, J. 1999. *Fertilité des sols : les produits biologiques : bien les connaître pour mieux les utiliser*. Paris : Jean- Michel Herisse. 6lp.
- Gallais, A et Bannerot, H. 1992. *Amélioration des espèces végétales cultivées objectif et critères sélection*. Paris : INRA. 765p.
- Gaussen, H., Lefoy, J et Ozenda, P. 1982. *Précis de botanique*. Deuxième éd. Paris: Masson. 172p.
- Gen, A., Tik, CR .2012. *Le système racinaire : Partie 2 -Les micro-organismes et la rhizosphère*. 24 Septembre 2012.
- Germida, J-J., Siciliano, S-D., Freitas, J-R . et Seid., A-M. 1999. *Diversity of root-associated bacteria associated with field-grown canola (Brassica napus L.) and wheat (Triticum aestivum L.)* FEMS Microbiol. Ecology. Edition N°: 26. p43-50.
- Gratzfeld, J. 2004. *Industries extractives dans les zones arides et semi-arides*. édition N° : 1. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni: GRATZFELD Joachim ulcN - Union Mondiale pour la Nature.

Référence bibliographique

- Hariprasad, P., Navya, H.M., Chandranayaka, S et Niranjana., S.R.. 2009. *Advantage of using PSIRB over PSRB and IRB to improve plant health of tomato*. Biol. Control. 50. p307-316.
- Hibar, k., Daami-Remadi, M., Khiareddine, H., El Mahjoub, M. 2005. *Effet inhibiteur in vitro et in vivo du Trichoderma harzianum sur Fusarium oxysporum f.sp radicis lycopersici*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 9 (3). p 163–171.
- Hirsch, A-M., Bauero, w-D., Birdo, D-M-O., Cullimoe, J., Tyrer, B. et yoder, J-R. 2003. *Molecular signals and receptors: controlling rhizosphere interactions between plants and other organisms*. Ecology. Edition N° : 84. p858-868.
- Horner-Devine, M.C., Leibold, M.A., Smith, V.H. et Bohannon, B.J.M. 2003. *Bacterial diversity patterns along a gradient of primary productivity*. Ecol. Lett. 6. p 613-622.
- Howell, C.R. et Stipanovic, R.D. 1980. *Suppression of Pythium ultimum-induced damping-off of cotton seedling by Pseudomonas fluorescens and its antibiotic, Pyoluteorin*. Phytopathol. 70. p 712-715.
- ITCMI. 2012. *Principaux désordres physiologiques, maladies et ravageurs présents en Algérie: les tomates*. 64p.
- Jarvis, W-R., Shoemaker, R-A. 1979. Taxonomy status of Fusarium oxysporum causing foot and root rot of tomato. Phytopath.68. p1679- 1680.
- Jha, B. K., Pragash, M. G., Cletus, J., Raman, G., et Sakthivel, N. 2009. *Simultaneous phosphate solubilization potential and antifungal activity of new fluorescent pseudomonad strains, Pseudomonas aeruginosa, P. plecoglossicida and P. mosselii*. W. J. Microbiol. Biotechnol. 25(4). p 573-581.
- Jones J.B., Carter S. M. Mc. et Stal R. E. 1984. *Pseudomonas viridiflava : causal agent of bacterial leaf blight of tomato*. Plant deseas. 68. p 341-342.
- Kaymak, H. C. 2011. *Potential of PGPR in Agricultural Innovations. Plant Growth and Health Promoting Bacteria. Microbiology Monographs* (18). p 45-79.
- Kennedy, G-G. 2003. *Tomato, pests, parasitoids, and predators: tritrophic interactions involving the geis Lycopersicon*. Annual Review of Entomology, 48. p51-72.
- Kent, A-D. et Triplett, E-W. 2002. *Microbial communities and their interactions in soil land rhizosphere ecosystems*. Annual Review of Microbiology, 56. p211-236.
- Killian, M., Steiner, U., Krebs, B., Jung, H., Schmiedeknechi, G., Hain, R. 2000. *FZB24 Bacillus subtilis – mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality*. Pflanzenschutz Nachrichten Bayer, 1. p.72-93.
- Kloepper, J., Schorth, M. N. 1981. *Plant growth promoting rhizobacteria and plant growth under gnotobiotic conditions*. Phytopathology . p642-644.

Référence bibliographique

Kouassi, M. 2001. *La lutte biologique: une alternative viable à l'utilisation des pesticides*. VertigO. 2. p2.

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 Mammeri Tizi-Ouzou. 122p.

Laumonnier, R. 1979. *Culture legumiere et maraichere. Tome III*. Ed: Bailliere et fils. Paris. 305p.

Laumonnier, R. 1979. *Cultures légumiers et maraichère. Tome III*. Paris : Ed. Bailliere.

Leake, J.R., Johnson, D., Donnelly, D.P., Muckle, G.E., Boddy, L. et Read, D.J. 2004. *Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning*. *Can. J. Bot.* 82. p1016-1045.

Lee, J-P., Lee, S-W., Kim, C-S., Son, J-H., Song, J-H., Lee, K-Y., Kim H-J., Jung, S-J. et Moon B-J. 2006. *Evaluation of formulations of Bacillus licheniformis for the biological control of tomato gray mold caused by Botrytis cinerea*. *Biol. Control*. 37(3). p329-337.

Lehr, N-A., Schrey, S-D., Hampp, R., 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.* Doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02322.x.

Lemanceau, P., Corberando T-O Gardatr, L., Latourelle X., Laguerre, G., Boeufgras, J-M. et Alabouvette, C. 1995. *Effect of two plant species, flax (Linum Usitatissimum L.) and tomato (Lycopersicon esculentum Mlll.), on the diversity of soilborne populations of fluorescent pseudomonads*. *Appt. Environ. Microbiol.* Edition N° : 6. p1004-1012.

Lemanceau, P., Heulin, T. 1998. *La rhizosphère dans "Scl :interface fragile"*. INRA, Paris, France. p93-106.

Liu, B., Qiao, H., Huang, L., Buchenauer, H., Han, Q., Kang, Z., Gong, Y. 2009. *Biological control of take-all in wheat by endophytic Bacillus subtilis E1R-j and potential mode of action*. *Biological Control*, 49(3). p277-285.

Loper, J.E., Buyer, J.S. 1991. *Siderophores in microbial interactions on plant surfaces*. *Mol Plant-Microbe Interac* 4. p5-13.

Loper, J-G. 1988. *Role of fluorescent siderophore production in biological control of Pythium ultimum by a Pseudomonas fluorescens strain*. *Phytopathol.* Edition N° : 78. p166-172.

Lugtenberg, B., Chin-A-Woeng T., Bloemberg, G. 2002. *Microbe-plant interactions: principles and mechanisms*. *Antonie van Leeuwenhoek*, 81. p373-383.

Référence bibliographique

- Machado, R.M.A et Oliveira, M.R.G. 2005. *Tomato root distribution, yield and fruit quality under different subsurface drip irrigation regimes and depths*. Journal of Irrigation Science, 24. p15-24.
- MADR. 2012. *Service des Statistiques : données statistiques sur la production de la tomate maraichère et industriel en Algérie (2000-2010)*.
- MADR.2009. *Service des statistiques : données statistique sur la production de la tomate (2008-2007)*.
- Mazzola, M., Cooko R-J., Thomashow, L-S., Weller, D-M. et Pierson, L-S. 1992. *Contribution of phenazine antibiotic biosynthesis to the ecological competence of fluorescent pseudomonads in soil habitats*. Appt. Environ. Microbiol. Edition N°: 58. p2616-2624.
- Messai, A., Hannachi, C et Zid, E. 2006. *Régénération in vitro des plantes de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) adapté au NaCl*. Tropiculture (4). p221-228.
- 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). p468-475.
- 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). p468-475.
- Morgan, J-A-W., Bending, G-D., White, P-J. 2005. *Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere*. Edition N° : 56. Journal of Experimental Botany. p1729-1739
- Munroe, B. et Small, E. 1997. *Les légumes de canada*. Canada : Val Morin Québec. 436p.
- Naik, P. R., Raman, G., Narayanan, K. B et Sakthivel, N. 2008. *Assessment of genetic and functional diversity of phosphate solubilizing fluorescent pseudomonads isolated from rhizospheric soil*. BMC microbiology, 8 (1). 230p.
- Nicot, P. C., Blum, B., Köhl, J et Ruocco, M. 2011. *Conclusions and perspectives for future research and development projects on biological control of plant pests and diseases. Classical and augmentative biological control against diseases and pests: critical status analysis and review of factors*. p45-68.
- Palleroni, N.J. 1984. *Genus I. Pseudomonas Migula 1894*. In: Krieg, N.R., Holt, J.G.(Eds.), Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, vol. L Williams and Wilkins Co, Baltimore, USA. p 141-171.
- Parke, J. L., Moen, R., Rovira, A. D et Bowen, G. D. 1986. *Soil water flow affects the rhizosphere distribution of a seed-borne biological control agent, Pseudomonas fluorescens*. Soil Biol Biochem. 18. p583–588.

Référence bibliographique

- Paulitz, T-C. et Bélanger, R-R. 2001. *Biological control in greenhouse systems*. Phytopathol. 39. p103-133.
- Péron, J-Y. 2002. *Production légumes*. Ed : Lavoisier. Paris. 613p.
- Pesson, P et Louveaux, J. (1984). *Pollinisation et production végétales*. Ed. INRA. 663 p.
- Polese, J-M. 2007. *La culture de la tomate*. Ed Artémis. 95p.
- 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. p533-546.
- Raemaekers, R. 2001. *Agriculture en Afrique tropicale*. Direction générale de la coopération internationale 2001.
- 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). p503-507.
- Rajaonarimamy, E. 2010. *Influence de la diversité mycorhizienne sur la symbiose Dalbergia trichocarpa Rhizobia et sur la structure de la microflore tellurique*. Mémoire pour l'obtention de diplôme d'études approfondies en sciences de la vie option: Biotechnologie/microbiologie : Université d'Antananarivo. 60p.
- Ramamoorthy, V., Raguchander, T et Samiyappan, R. 2002. *Induction of defense-related proteins in tomato roots treated with Pseudomonas fluorescens Pf1 and Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*. Plant Soil, 239. p55-68.
- Ramette, A., Frapolli, M., Défago, G., et Moëgne-Loccoz, Y .2003. *Phylogeny of HCN relationship with host plant species and HCN synthesis ability*. Mol Plant Microbe Interact.
- Rey, Y. et Costes, C. 1965. *La physiologie de la tomate : étude bibliographique*. INRA. 111p.
- Saisie, A. 2013. *Au pays des racines. Auditorum de la Société Nationale d'Horticulture*.
- Shankara, N., De jeud, J-V-L., De Jeffau, M., Hilmi, M. et Vandam, B. 2005. *La culture de tomate production, transformation et commercialisation*. Pays-Bas : Ed. Wageningen. 105p.
- 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.
- Spadaro, D. et Gullino, M-L. 2004. *Improving the efficacy of biocontrol agents against soilborne pathogens*. Crop Prot. 23. p1-13.

Référence bibliographique

- Stevens, A-M., Dolan, K-M. et Greenberg, E-P. 1994. *Synergistic binding of the Vibrio fischeri LuxR transcriptional activator domain and RNA polymerase to the *fax* promoter region*. Proc. Nat. Acad. Sci. USA. p12619-12623.
- Strullu, D-G. 1991. *Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées*. Edition N° : 3. Lavoisier: Paris. 250p.
- Thakore, Y. 2006. *The biopesticide market for global agricultural use*. Industrial Biotechnology. 2(3). p294-208.
- Trivedi, P., Pandey, A et Palni, L. M. S. 2008. *In vitro evaluation of antagonistic properties of Pseudomonas corrugates*. Microbiol Res. 163. p329–336.
- Trottin-Caudal, Y., Grassely, D. et Millot, P. 1995. *Maîtrise de la protection sanitaire – Tomate sous serre et abris*. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, France.
- Valencia, H. 2008. *Etude des bases moléculaires de l'agrégation des sols par des exopolysaccharides bactériens*. Thèse de doctorat : Université Joseph Fourier de Grenoble. Edition N° : 1. 196 p.
- Van loon, L-C. 2007. *Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria*. European Journal of Plant Pathology. Edition N° : 119. p243-254.
- Verma, R., Naosekham, A. S., Kumar, S., Prasad, R., Shanmugam, V. 2007. *Influence of soil reaction on diversity and antifungal activity of fluorescent pseudomonads in crop rhizospheres*. Bioresour Technol. 98. p1346-1352.
- Verolet, J-F. 2001. *Tomate : Fiche technique en agriculture biologique*. Ed. ADAB. 9 p.
- Viollet, A. 2010. *Influence du système de sécrétion de type II bactéries dans les interactions plantes- Pseudomonas spp. Fluorescents non pathogènes*. Thèse de doctorat : Université de Bourgogne. 77lp.
- <http://www.bactério.cict.fr/p/pseudomonas.html>. [Consulté le 04 avril 2014].
- Weller, DM et Cook RJ. 1986. *Increased growth of wheat by seed treatments with fluorescent pseudomonads, and implications of Pythium control*. Can J Plant Pathol 8. p328-334.

Annexes :

• **Annexe 01 : taux de germination :**

Marmande FG(%)	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇
(A ₁₁)	00,00	00,00	13,5	24	43	64,5	64,5
(A ₂₃)	00,00	00,00	15	30	50,5	60,5	60,5
(A ₂₄)	00,00	00,00	12,5	24,5	47	59	59
(S ₁)	00,00	00,00	18	34	54,5	63,5	63,5
(S ₄)	00,00	00,00	14	22,5	39,5	51,5	51,5
(témoin)	00,00	00,00	15,5	29,5	42,5	47,5	47,5

Saint pierre FG (%)	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇
(A ₁₁)	00,00	25,5	46	63	74,5	74,5	74,5
(A ₂₃)	00,00	34,5	54,5	66	70,5	70,5	70,5
(A ₂₄)	00,00	28,5	49,5	64	68,5	68,5	68,5
(S ₁)	00,00	32	53,5	68	73	73	73
(S ₄)	00,00	32	50	66	71,5	71,5	71,5
(témoin)	00,00	23,5	43,5	59,5	64	64	64

• **Annexe 02 : faculté de germination :**

Souches	Marmande FG (%)	Saint pierre FG (%)	Super straine FG (%)
A ₁₁	24	46,25	69,5
A ₂₃	30	54,5	55
A ₂₄	24,5	49,5	46,5
S ₁	34	53,5	64
S ₄	22,5	50	52
Témoin	29,5	43,5	51,5

• **Annexe 03 : vitesse médiane de germination :**

Souches	Marmande T ₅₀	Saint pierre T ₅₀	Super straine T ₅₀
A ₁₁	4,432	2,573	2,085
A ₂₃	4,012	2,321	2,031
A ₂₄	4,222	2,273	2,187
S ₁	3,859	2,209	2,062
S ₄	4,191	2,208	2,485
témoin	3,434	2,425	2,128

• **Annexe 04 : Analyse de variance (essai de germination *in vitro*) :**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	83061,665	629	132,054		
Var.FACTEUR 1	12807,679	2	6403,840	590,432	0,000
Var.FACTEUR 2	843,779	5	168,756	15,559	0,000
Var.FACTEUR 3	58456,921	6	9742,820	898,284	0,000
Var.INTER F1*2	619,978	10	61,998	5,716	0,000
Var.INTER F1*3	3911,365	12	325,947	30,052	0,000
Var.INTER F2*3	368,565	30	12,286	1,133	0,289
Var.INTER F1*2*3	586,978	60	9,783	0,902	0,683
VAR.RESIDUELLE 1	5466,400	504	10,846		
Cv : 18,343% (essai peu précis)					

Facteur 01 : Variété :

Id	Modalité	moyenne	Groupes homogènes
3	V3	21,924	A
2	V2	20,290	B
1	V1	11,648	C

Facteur 02 : Souches bactérienne :

Id	Modalité	Moyenne	Groupe homogènes
1	A11	18,962	AB
2	A23	17,781	C
3	A24	16,867	D
4	S1	19,705	A
5	S4	18,105	BC
6	témoin	16,305	D

• **Annexe 05 : Analyse de longueur racinaire (coupe 01) :**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	9.955	23	0.433		
Var.FACTEUR 1	6.020	1	6.020	41.146	0.000
Var.FACTEUR 2	0.381	3	0.127	0.869	0.483
Var.INTER F1*2	0.133	3	0.044	0.304	0.823
Var.BLOCS	1.374	2	0.687	4.698	0.027
VAR.RESIDUELLE 1	2.047	14	0.146		
Coef. variation % 15.423:					

Facteur 01 : substrat :

Id	Modalité	Moyenne	Groupe homogène
1	sable	2.980	A
2	Sable+tourbe	1.978	B

Facteur 02 : bactérie :

Id	Modalité	Moyenne
1	A24	2.637
2	S4	2.343
3	A24+S4	2.368
4	témoin	2.568

• **Annexe 06 : analyse de variance de poids frais de la racine (coupe 01) :**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	0.005	23	0.000		
Var.FACTEUR 1	0.002	1	0.002	10.096	0.007
Var.FACTEUR 2	0.000	3	0.000	0.458	0.719
Var.INTER F1*2	0.001	3	0.000	1.225	0.338
Var.BLOCS	0.000	2	0.000	0.048	0.953
VAR.RESIDUELLE 1	0.003	14	0.000		
Coef. variation % : 48.340					

Facteur 01 : substrat :

Id	Modalité	Moyenne	Groupe homogène
1	sable	0.037	A
2	tourbe	0.019	B

Facteur 02 : bactérie :

Id	Modalité	Moyenne
1	A24	0.023
2	S4	0.031
3	A24+S4	0.029
4	témoin	0.030

- Annexe 07 : analyse de variance d'hauteur tige (coupe 01) :**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	11.698	23	0.509		
Var.FACTEUR 1	0.432	1	0.432	1.146	0.303
Var.FACTEUR 2	1.568	3	0.523	1.386	0.288
Var.INTER F1*2	1.900	3	0.633	1.680	0.216
Var.BLOCS	2.521	2	1.260	3.343	0.064
VAR.RESIDUELLE 1	5.278	14	0.377		
Coef. variation % : 16,442					

Facteur 01 : substrat :

Id	Modalité	Moyenne
1	sable	3.868
2	Sable+tourbe	3.600

Facteur 02 : bactérie :

Id	Modalité	Moyenne
1	A24	3.967
2	S4	3.353
3	A24+S4	3.968
4	témoin	3.648

• **Annexe 08 : Analyse de variance de poids frais de la tige (coupe 01) :**

	S.C.E	DDL	CM	Test F	proba
Var totale	0,004	23	0,000		
Var.facteur 1	0,001	1	0,001	5,991	0,027
Var.facteur2	0,000	3	0,000	0,739	0,549
Var.inter F1*2	0,000	3	0,000	0,251	0,860
Var.bloc	0,000	2	0,000	0,610	0,562
Var.residuelle1	0,002	14	0,000		

Facteur 01 : substrat :

Id	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes
1	Sable	0,055	A
2	Sable+substrat	0,042	B

Facteur 02 : bactérie :

	Moyenne
A24	0,052
S4	0,042
A24+S4	0,052
témoin	0,048

• **Annexe 09 : Analyse de la variance de longueur racinaire (coupe 02) :**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	5,112	23	0.222		
Var.FACTEUR 1	1.109	1	1.109	15.491	0.002
Var.FACTEUR 2	1.729	3	0.575	8.034	0.002
Var.INTER F1*2	0.387	3	0.129	1.803	0.192
Var.BLOCS	0.887	2	0.443	6.190	0.012
VAR.RESIDUELLE 1	1.003	14	0.072		
Coef. variation % : 10.263 (essai précis)					

Facteur 01 : substrat :

Id	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes
1	Sable	2.823	A
2	Sable +tourbe	2.393	B

Facteur 02 : bactérie :

Id	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes
4	F2n4	2.903	A
2	F2n2	2.692	A
3	F2n3	2.663	A
1	F2n1	2.172	B

• **Annexe 10 : analyse de variance de poids frais racinaire (coupe 02) :**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	0.010	23	0.000		
Var.FACTEUR 1	0.002	1	0.002	3.653	0.074
Var.FACTEUR 2	0.001	3	0.000	1.069	0.395
Var.INTER F1*2	0.000	3	0.000	0.090	0.963
Var.BLOCS	0.000	2	0.000	0.366	0.704
VAR.RESIDUELLE 1	0.006	14	0.000		
Coef. variation % : 36.149					

Facteur 01 : substrat :

Id	Modalité	Moyenne
1	sable	0.067
2	Sable+tourbe	0.050

Facteur 02 : bactérie :

Id	Modalité	Moyenne
1	A24	0.047
2	S4	0.059
3	A24+S4	0.060
4	témoin	0.068

• **Annexe 11 : analyse de variance de l'hauteur tige (coupe 02) :**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	9.330	23	0.406		
Var.FACTEUR 1	2.747	1	2.747	7.032	0.018
Var.FACTEUR 2	0.896	3	0.299	0.765	0.535
Var.INTER F1*2	0.214	3	0.071	0.183	0.906
Var.BLOCS	0.002	2	0.001	0.003	0.990
VAR.RESIDUELLE 1	5.470	14	0.391		
Coef. variation % : 15.500					

Facteur 01 : Substrat :

Id	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes
1	Sol sableux	4.968	A
2	tourbe	4.292	B

Facteur 02 : bactérie :

Id	Modalité	Moyenne
1	A24	4.538
2	S4	4.595
3	A24+S4	4.437
4	témoin	4.950

• **Annexe 12 : analyse de la variance du poids frais de tige :**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	0.013	23	0.001		
Var.FACTEUR 1	0.004	1	0.004	9.791	0.007
Var.FACTEUR 2	0.002	3	0.001	1.383	0.289
Var.INTER F1*2	0.001	3	0.000	0.547	0.661
Var.BLOCS	0.002	2	0.001	0.909	0.087
VAR.RESIDUELLE 1	0.005	14	0.000		
Coef. variation % : 19.472					

Facteur : substrat :

Id	Modalité	Moyenne
1	Sol sableux	0.0112
2	Sable+tourbe	0.087

Facteur : bactérie

Id	Modalité	Moyenne
1	A24	0.091
2	S4	0.104
3	A24+S4	0.092
4	témoin	0.101

• **Annexe I3 : compositions des milieux de culture :**

1. King B :

Peptone	20g
Glycérol	15 ml
K ₂ HPO ₄	1,5g
MgSO ₂	1,5g
Agar	20g
Eau distillée	1L

2. Milieu PDA

Agar	20 g
Glucose	20 g
Pomme de terre	200 g
Eau distillée	1000 ml
pH = 7	