



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 Thelidji- Laghouat

FACULTE : DES SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : CHEBAB Ahlam

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : PROTECTION DES VEGETAUX

Thème

Evaluation de l'activité antagoniste des *pseudomonas spp* fluorescents vis-à-vis du *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum* agents de la fusariose du blé

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Rouighi Tahar	Maitre-assistant A	Président
Mokhtar Rahmani	Maitre-assistant A	Examineur
Mohamed		
Ameur Djamila	Maitre-assistant A	Encadreur
Mm. Ranane zahra		Co-Encadreur

Promotion : Novembre –2020

REMERCIEMENTS

Je dois, en premier lieu, remercier الله le tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la volonté pour bien mener ce travail. Au terme de ce travail, j'adresse ma gratitude et je remercie énormément **Mlle .Ameur Djamila**. qui a dirigé ce travail, pour son encadrement, son aide précieuse, et ses conseils qui ont été essentiels pour l'aboutissement de ce modeste travail. Remerciements vont également aux membres du jury Mr Rouigi taher et Mr Rahmani Mouhamed mokhtar d'avoir accepté de lire et d'examiner mon mémoire.

Je remercie très vivement Mlle Renan Z ingénieure de laboratoire d'agronomie pour son aide et encouragements. Comme je remercie encore Mme Marfoua Mariam pour conseils et son aide.

Enfin, je dis merci pour tous ceux que de près ou de loin, dont l'assistance ou les conseils m'ont permis de mener à bien ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Ma princesse maman, merci pour ton amour, tes encouragements et ton soutien inconditionnel durant toute ma vie, je t'aime énormément maman.

Mon cher papa, c'est grâce à toi que je suis devenu ce que je suis, merci beaucoup pour ton amour, tes encouragements, tes conseils et surtout pour tes sacrifices, je t'aime énormément mon très cher papa.

A mes belles sœurs : Khaoula, Marwa et Nour

A mes chers frères : Bahaaeldin, Mohamed et à mon petit frère Anas

A ma grande famille

A mes amies

A toute personne intéressée par ce modeste travail

Titre du mémoire : Evaluation de l'activité antagoniste des *pseudomonas* spp fluorescents vis-à-vis du *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum* agents de la fusariose du blé

Nom : CHEBAB

Prénom : Ahlam

Encadreur : Ameer Djamilia

Résumé

Nous visant par ce travail la mise en évidence de l'effet bénéfique de *Pseudomonas* spp. fluorescents isolée de la rhizosphère de certain plantes spontanée des régions arides et semi-aride sur biostimulation de la germination et le biocontrôle de certains agents pathogènes de blé.

Ce travail comporte deux parties, la première est testé de la capacité d'antagonisme *in vitro* de huit souches sur deux agents de la fusariose de blé, *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum*, et la deuxième est d'étudier l'effet des deux souches P12 et AZ24 sur la biostimulation de la germination de la semence de blé dur (*Triticum durum*), ainsi que et le biocontrôle de ses champignons transmis par semence. L'effet antagonisme *in vitro* de huit souches bactériennes a été mis en évidence à travers la confrontation directe Les résultats obtenus ont montré que ces souches avec des taux d'inhibition aux alentours de 50%, le AZ24 se distingue des autres souches avec un taux de 55%.

Pour la biostimulation de la germination la souche P12 a donne les milieu résultats sont pour le taux de germination avec 94%, l'analyse de feuille 10.94cm et longueur des racicules 7.12cm avec un indice de vigueur de 1594.

Mots clé : Biocontrôle, Biostimulation, *Pseudomonas spp. fluorescents*, la Rhizosphère, Germination, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*, Blé.

عنوان المذكرة: تقييم النشاط المضاد لنبات الزائفة الفلورية ضد *Fusarium* و *Fusarium colmorum* و *graminearum*، عوامل ذبول الفوزاريوم في القمح.

المشرفة: عامر جميلة

الإسم: أحلام

اللقب: شباب

ملخص

نهدف من خلال هذا العمل إلى إظهار التأثير المفيد لـ *Pseudomonas spp.* تم عزل الفلورسنت عن جذور بعض النباتات العفوية في المناطق القاحلة وشبه القاحلة على التحفيز الحيوي للإنبات والمكافحة الحيوية لبعض مسببات أمراض القمح.

يتكون هذا العمل من جزأين ، الأول تم اختباره لسعة التضاد في المختبر لثماني سلالات على عاملين من ذبول القمح الفيوزاريوم ، *Fusarium culmorum* و *Fusarium graminearum* ، والثاني لدراسة تأثير سلالاتي P12 و AZ24 بشأن التحفيز الحيوي لإنبات بذور القمح القاسي (*Triticum durum*) ، وكذلك المكافحة الحيوية للفطريات المنقولة بالبذور. تم إثبات تأثير العداء في المختبر لثمانية سلالات بكتيرية من خلال المواجهة المباشرة. وأظهرت النتائج المتحصل عليها أن هذه السلالات ذات معدلات تثبيط تقارب 50% ، و AZ24 تتميز عن سلالات أخرى بمعدل بنسبة 55%.

بالنسبة لسلالة التحفيز الحيوي للإنبات P12 ، فإن النتائج المتوسطة هي لمعدل الإنبات بنسبة 94% ، وتحليل الأوراق 10.94 سم وطول الجذر 7.12 سم بمؤشر قوة يبلغ 1594.

الكلمات المفتاحية: *Pseudomonas spp.* ، الفلورسنت ، الجذور ، الإنبات ، *Biocontrol* ، *Biostimulation* ، *Fusarium culmorum* ، *Fusarium graminearum* ، القمح .

These title: Evaluation of the antagonist activity of *Pseudomonas* spp fluorescent *Fusarium culmorum* and *Fusarium graminearum* agent of fusarium wilt wheat .

Name: CHEBAB

First name: Ahlam

Directed by: Ameer Djamila.

Summary

We aim by this work to demonstrate the beneficial effect of *Pseudomonas* spp. fluorescent isolated from the rhizosphere of certain spontaneous plants of arid and semi-arid regions on germination biostimulation and biocontrol of certain wheat pathogens.

This work has two parts, the first is tested for the in vitro antagonism capacity of eight strains on two agents of wheat *fusarium* wilt, *Fusarium culmorum* and *Fusarium graminearum*, and the second is to study the effect of the two P12 strains. and AZ24 on the biostimulation of durum wheat (*Triticum durum*) seed germination, as well as and the biocontrol of its seed-transmitted fungi. The in vitro antagonism effect of eight bacterial strains was demonstrated through direct confrontation The results obtained showed that these strains with inhibition rates of around 50%, AZ24 is distinguished from other strains with a rate by 55%.

For germination biostimulation strain P12 a gives the medium results are for germination rate with 94%, leaf analysis 10.94cm and radicle length 7.12cm with a vigor index of 1594.

Keywords: Biocontrol, Biostimulation, *Pseudomonas* spp. fluorescent, Rhizosphere, Germination, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*, Wheat

Liste des tableaux

Tableau 01 : Origine des souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents

Tableau 02 : Tableaux 2 : taux de contamination (%)

Liste des figures

Figure 1 : Les mécanismes des PGPR sur la plante

Figure 2 : Effets des PGPR sur l'architecture du système racinaire et le fonctionnement racinaire

Figure 3: Technique de l'essai d'antagonisme in vitro.

Figure 4 : Méthode de désinfection des semences de blé dur

Figure 5 : méthode d'obtention d'inoculum bactérien

Figure 6 : Méthode de bactérisation des semences de blé dur

Figure 7 : Effet de facteur bactérie sur le taux d'inhibition de FC

Figure 8 : Effet de facteur milieu sur le taux d'inhibition de FC

Figure 9 : Effet de temps de l'ensemencement des bactéries sur le Taux d'inhibition de FC

Figure 10 : Effet l'interaction entre facteur bactérie et facteur milieu sur taux d'inhibition du FC

Figure 11 : Effet l'interaction entre facteur bactérie et facteur temps sur Taux d'inhibition du FC

Figure 12 : Effet de facteur bactérie sur le Taux d'inhibition du FG

Figure 13 : Effet de facteur milieu sur le Taux d'inhibition du FG

Figure 14 : Effet de facteur temps sur le Taux d'inhibition du FG

Figure 15 : Effet d'interaction entre facteur bactérie et facteur milieu sur le taux d'inhibition du FG

Figure 16 : Taux d'inhibition exercer sur deux champignons FG et FC

Figure 17 : Effet d'interaction entre facteur bactérie et facteur champignon sur le taux d'inhibition

Figure 18 : Effet l'interaction entre facteur milieu et facteur champignon sur le taux d'inhibition

Figure 19 : Effet d'interaction entre facteur temps et facteur champignon sur le taux d'inhibition

Figure 20 : Effet d'interaction entre facteur bactérie et facteur désinfection sur le Taux de germination

Figure 21 : Effet d'interaction entre facteur bactérie et facteur milieu sur Taux de germination

Figure 22 : Effet d'interaction entre facteur désinfection et facteur milieu sur Taux de germination

Figure 23 : Effet de l'interaction entre bactérie, désinfection et milieu sur le Taux de germination

Figure 24 : Effet d'interaction entre facteur bactérie et facteur désinfection sur la longueur de radicule

Figure 25 : Effet d'interaction entre facteur bactérie et facteur milieu sur la longueur de radicule

Figure 26 : Effet d'interaction entre facteur désinfection et facteur milieu sur la longueur de radicule (cm)

Figure 27 : Effet d'interaction entre facteur bactérie, facteur désinfection et facteur milieu sur la longueur de radicule

Figure 28 : Effet d'interaction entre facteur bactérie et facteur désinfection sur la longueur des feuilles

Figure 29 : Effet d'interaction entre facteur bactérie et facteur milieu sur la longueur des feuilles

Figure 30 : Effet d'interaction entre facteur désinfection et facteur milieu sur la longueur de feuille

Figure 31 : Effet d'interaction entre facteur bactérie, facteur désinfection et facteur milieu sur la longueur de feuille

Figure 32 : Effet d'interaction entre facteur bactérie, facteur désinfection et facteur milieu sur l'indice de vigueur

Liste des abréviations

Acc : 1-Amino-cyclopropane-1-carboxylate.

Cm : centimètre.

DAPG : diacetylphlorolucinol.

Do : densité optique.

FC : *Fusarium culmorum*

FG : *Fusarium graminearum*

h : heure.

HCN : acide cyanhydrique.

KB : King B

mm : millimètre.

nm : nanomètre.

P : probabilité

p.aeruginosa : pseudomonas aeruginosa.

p.chlororaphis : pseudomonas chlororaphis.

p.fluorescens : pseudomonas fluorescens.

p.putida : pseudomonas putida.

p.syringae : pseudomonas syringae.

PDA : Potato Dextrose Agar.

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

Spp : plusieurs espèces.

Liste des abréviations

TNB : témoin non bactériisé

UFC/ml : unité formatrice de colonies par millilitre.

% : pourcentage

Table des matières

Résumé	
Dédicace	
Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1

Chapitre I : revue bibliographique

I. Interaction microorganisme-plantes-sol.....	3
I.1. Structuration et stabilité du sol	3
I.2. Biodiversité des bactéries du sol	3
I.3. Rôle de bactéries du sol.....	4
I.4. Rhizosphère	4
I.5. Interaction entre la plante et les microorganismes.....	5
I.6. Micro-organismes de la rhizosphère.....	5
I.6.1. Les bactéries dans la rhizosphère	6
I.7. Les rhizobactéries ou PGPR	7
II. Les <i>Pseudomonas</i> fluorescents.....	8
II.1. Interactions de <i>Pseudomonas</i> spp. fluorescents dans la rhizosphère.....	9
II.2. Effets bénéfiques des rhizobactéries sur les plantes.....	10
II.2.1. Effets directs.....	11
II.3.1.1. Acquisition des ressources.....	12
1. Fixation d'azote.....	12
2. Solubilisation du phosphate	12
3. Solubilisation du potassium.....	13
4. Production de sidérophores	13

II.2.1.2. Production des phytohormones.....	14
1. Acide Indole Acétique (AIA)	14
2. Production des cytokines	14
3. Production de gibbérellines.....	15
4. Production d'acide 1- Aminocyclopropane -1- carboxylique désaminase (ACC- désaminase)	15
II.2.2. Effet indirect.....	16
II.2.2.1. Compétition pour l'espace et les nutriments.....	16
II.2.2.2. Productions des antibiotiques.....	17
1. 2,4-Diacéthylyphloroglucinol (DAPG).....	17
2. Les phénazines (PHZ).....	17
3. Pyolutéorine (PLT).....	17
4. Cyanure d'hydrogène (HCN).....	18
II.2.2.3. Induction d'un système de résistance (ISR).....	18
II.2.2.4. Modification de l'équilibre microbien.....	19
III. Formation des biofilm par les PGPR.....	19

Chapitre II : Matériel et méthodes

I. Matériel biologique.....	20
I.1. Les souches bactériennes.....	20
I.2. Les souches fongique.....	21
I.3. Matériel végétale.....	21
II. Essai d'antagonisme <i>in vitro</i>	21
II.1. Dispositif expérimental.....	21
III. Essais biostimulation de la germination et biocontrôle <i>in vitro</i>	22
III.1. Désinfection de la semence.....	22
III.2. Inoculum bactérien.....	23
III.3. Bactérisation des semences.....	24
III.4. Dispositif expérimental.....	25
III.5. Les paramètres étudiés.....	26
IV. Analyse statistique.....	27

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Essai d'antagonisme <i>in vitro</i>	32
--	----

I.1.Taux d'inhibition (%) de la croissance mycélienne de <i>F. culmorum</i>	32
I.2. Taux d'inhibition de la croissance mycélienne de <i>F. graminearum</i>	37
II. Essai biostimulation de la germination <i>in vitro</i> et le biocontrôle.....	43
II.1. Essai de biostimulation de la germination.....	43
II.1.1. Taux de germination (%).....	43
II.1.2. Longueur de racicule.....	47
II.1.3. longueur des feuilles.....	51
III. Indice de vigueur	55
IV. Biocontrôle <i>in vitro</i> des champignons transmis par semences	56
Discussion	58
Conclusion	62
Références bibliographique	
Annexe	

Introduction

Le blé est une céréale d'importance majeure à travers de monde, aussi bien d'un point de vue économique qu'en tant que denrées alimentaires pour l'homme et les animaux d'élevage. C'est la première céréale cultivée et largement consommée dans le monde et en Algérie (Hamadache, 2001).

Le blé est sujet à l'attaque par une multitude de microorganismes pathogènes. En effet, sa culture intensive a généré et a amplifié les problèmes phytosanitaires. Outre les champignons et les bactéries pathogènes entraînent une réduction important de la qualité et du rendement de cette culture. Surtout les maladies racinaires et les microorganismes peuvent survivre aussi dans le sol. En Algérie, toutes les zones de production de blé sont contaminées par ces agents pathogènes, dont la sévérité varie d'une région à l'autre (FAO, 2019). En effet, le genre *Fusarium* regroupe différentes espèces phytopathogènes, susceptibles d'induire les fusarioses, maladie très répandue chez de nombreuses plantes. Les espèces du genre *Fusarium* peuvent ainsi attaquer les céréales (maïs, blé, orge, avoine), des légumes, les plantes ornementales et beaucoup d'arbres fruitiers (Dihazi *et al.*, 2012).

Les espèces du genre *Fusarium*, tels que *F. culmorum*, *F. graminearum* certaines ont la capacité à produire des Fusariotoxines. Ces métabolites secondaires fongiques sont de nature multiple et différentes familles sont susceptibles d'être retrouvées dans les grains de blé. Il s'agit essentiellement des trichothécènes, zéaralénone et Fumonisine. (Bennett et Klich, 2003; Balzer *et al.*, 2004). La contamination des grains par ces mycotoxines ajoute une dimension sanitaire au problème de la fusariose (Sweeney et Dobson, 1999).

La lutte biologique au moyen d'organismes antagonistes suscite un intérêt grandissant, même si les exemples de commercialisation sont encore loin par rapport à la lutte chimique classique (Benhamou *et al.*, 1999). Parmi les agents exploités en lutte biologique, les rhizobactéries PGPR (*Plant growth promoting rhizobacteria*), ont été reconnues comme des agents potentiels de biocontrôle (Bloemberg et Lugtenberg, 2001). L'effet bénéfique des PGPR est assuré principalement soit par des mécanismes directs à travers la stimulation de la germination des graines, la stimulation de la croissance végétale et l'induction de la résistance systémique « ISR », ou par des mécanismes indirects via leur pouvoir compétitif à l'égard des autres communautés microbiennes, par l'antibiose, la

production des sidérophores, et les composés volatiles tel que le cyanure d'hydrogène (HCN) (Ficher *et al.*, 2007). De ce fait les rhizobactéries sont très intéressantes pour l'application en agriculture comme biofertilisants, biopesticides et en bioremédiation (Berg, 2009).

Il est bien établi que le fonctionnement, la stabilité et la productivité des écosystèmes terrestres dépendent en grande partie de la richesse en espèces du cortège floristique. Cependant, l'installation et le développement de ces espèces au sein de l'écosystème dépendent des interactions, qui se produisent entre celles-ci et de leur concurrence spatiotemporelle vis-à-vis des ressources limitées du sol (Tilman et Downing, 1994).

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 PGPR les plus efficaces, 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), la canne à sucre (Suslow et Schroth 1982), le radis (Kloepper et Schroth 1978), le coton (Howell et Stipanovic 1980) et le manioc (Hernandez *et al.*, 1986).

Depuis 1980, le début des recherches et des études clés ont mis la lumière sur l'importance des *Pseudomonas* spp. fluorescents. Notre objectif est d'apporter un plus dans le recherche d'une solution aux problèmes de croissance et de santé des plantes en exploitant des bactéries locale comme une alternative écologique et économique par rapport à l'utilisation pesticides, les régulateurs de croissance et les fertilisant chimiques. La stratégie d'étude de ce travail consiste à mettre en évidence *in vitro* l'effet de certaines souches de *Pseudomonas* ssp. fluorescentes isolées de la rhizosphère de certaines plantes spontanées des zones arides et semi arides. Nous avons réalisé un essai pour mettre en évidence l'activité antagoniste chez huit souches isolées et identifiées à l'université Amar Thelidji- Laghouat, contre deux agents de la fusariose du blé *Fusarium culmorum* (FC) et *Fusarium graminearum* (FG) préliminaire pour étudier l'effet bénéfique de deux souches (P12 et AZ24) sur la biostimulation de la germination des graines du blé dur (*Triticum durum*) et le biocontrôle de la microflore fongique transmis par semence, touchant ainsi le premier maillon dans le système de production agricole.

Revue
bibliographique

I. Interaction microorganisme-plantes-sol

I.1. Structuration et stabilité du sol

Le sol constitue à la fois un matériau généralement poreux recouvrant les roches inaltérées à la surface de la terre et un milieu de vie abritant de très nombreux organismes, dont des bactéries. Il prend naissance à partir de la roche et évolue par altération sous l'action du climat et des êtres vivants (Rebuffat, 2018).

Il forme une matrice complexe constituée de minéraux (issus de la roche mère), de matière organique (matières organiques en décomposition, humus), d'air et d'eau, et abrite une grande diversité d'êtres vivants (petits mammifères, insectes, arachnides, mollusques, vers, racines de végétaux, champignons et microorganismes incluant bactéries et cyanobactéries, champignons microscopiques, protozoaires, archées) (Alexander, 1977).

L'ensemble des interactions entre les microorganismes, les racines, le sol et l'eau provoque des modifications physicochimiques sur la structure et la stabilité (agrégation) du sol (Haynes et Swift, 1990).

I.2. Biodiversité des bactéries du sol

Le sol est considéré comme l'un des environnements les plus complexes de la biosphère et est à ce titre un réservoir majeur de la diversité microbienne (Faugier, 2010).

Les organisations structurelles du sol fournissent par conséquent différents habitats dans lesquels les bactéries indigènes sont distribuées de manière hétérogène avec beaucoup de paramètres biotiques et abiotiques interviennent pour moduler la structure des communautés bactériennes des sols tant en termes de diversité que d'effectifs (Ranjard et Richaume, 2001).

I.3. Rôle de bactéries du sol

Les cyanobactéries, capables de fixer le carbone et l'azote atmosphérique, en sont les premiers colonisateurs et permettent l'accumulation de nutriments dans les sols (Rebuffat, 2018). Dans les cycles nutritifs : les bactéries du sol sont impliquées dans la décomposition de la matière organique, formant l'humus et libérant des nutriments disponibles pour les plantes. Certaines sont même capables de décomposer des biopolymères complexes comme la cellulose et la lignine (constituants majeurs des parois végétales) ou la chitine (constituant de l'exosquelette des insectes et de la paroi des cellules de champignons) (Ranjard et Richaume, 2001).

En association symbiotique avec les plantes : Certaines bactéries comme les *Rhizobium* forment des nodules fixateurs d'azote au niveau des racines des légumineuses. Cette association favorise la croissance des plantes dans les sols pauvres en azote (Ranjard et Richaume, 2001).

I.4. Rhizosphère

Hiltner (1904) a décrit la rhizosphère comme étant l'étroite partie du sol, lieu d'une intense activité microbienne autour des racines des légumineuses. Les racines des végétaux peuvent être considérées comme les « ingénieurs biologiques du sol ». En effet, ces dernières créent et maintiennent leur propre milieu, et ceci, non seulement par leur présence physique mais aussi par leur activité (Lawton et Jones, 1995, Nemouchi et Oulefki, 2017).

Par la suite, cette définition a été étendue à toutes les plantes. Enfin, elle correspond non seulement à l'étroite zone (1-2 mm) à proximité immédiate de la surface racinaire, mais aussi à la région de quelques centimètres de la racine, où ont lieu les échanges d'eau et de nutriments. La rhizosphère constitue ainsi un lieu d'échange entre le végétal et le minéral ; c'est un milieu complexe aux multiples interactions (Lynch, 1990, Nemouchi et Oulefki, 2017).

Dans la rhizosphère, on distingue :

Le rhizoplan (surface des racines), L'endorhizosphère (surface intraracinaire de certaines bactéries, à l'intérieur ou à l'extérieur des cellules des tissus), L'exorhizosphère ou sol rhizosphérique (Gobat *et al.*, 2010).

Elle joue un rôle important dans la résistance des sols à l'érosion, au gel, aux incendies, aux inondations, etc. De même pour la résilience de ces sols et des plantes cultivées (Les enjeux sont donc également agronomiques) (Krafczyk *et al.*, 1984).

La rhizosphère est une zone privilégiée d'interaction entre les microorganismes, la plante et le sol. Elle est le siège d'une activité importante qui a des répercussions sur la diversité, le turn-over et l'activité des populations bactériennes résidentes. Celles-ci, en retour modifient l'environnement racinaire et l'équilibre entre la plante et le sol (Tarnawski, 2004).

I.5. Interaction entre la plante et les microorganismes

Les racines de la plante, via la rhizodéposition, sont la source clef d'énergie et de nourriture pour les microorganismes présents dans la rhizosphère (Whipps, 2001).

Ainsi la rhizosphère peut être vue comme un (oasis dans le désert) : jusqu'à 10^9 bactéries sont dénombrées par gamme de racine, ce qui représente des populations de bactéries 5 à 15 fois plus élevées dans la rhizosphère que dans le sol non adhérent. La présence de certaines espèces bactériennes peut être stimulée à hauteur de 100 fois ou plus dans le sol rhizosphérique comparé au sol non rhizosphérique (Tarnawski, 2004).

Les bactéries particulièrement bien adaptées à la vie dans la rhizosphère sont appelées rhizobactéries (Gobat *et al.*, 2010).

I.6. Micro-organismes de la rhizosphère

Le sol n'est pas simplement le support dans lequel les plantes s'enracinent et puisent les éléments nutritifs indispensables à leur développement. Le sol est un réservoir important de micro-organismes (champignons et bactéries), en termes de diversité et de densité.

Parmi les micro-organismes retrouvés dans le sol, certains vivent en symbiose ou mutualisme avec les végétaux, c'est-à-dire en association à bénéfices réciproques (Ferret, 2012).

En effet, un gramme de sol végétalisé contient environ 1 milliard de bactéries réparties en 5 à 25000 espèces dont la plupart ne sont pas encore connues, ni même cultivables en laboratoire (symbiotech.com).

Dans ces associations, les micro-organismes peuvent être classés en deux catégories :

- **les ectosymbiontes** qui constituent les micro-organismes colonisant l'extérieur de la racine, c'est-à-dire, la rhizosphère ou le rhizoplan (surface des racines). Parmi ces organismes, sont retrouvés des bactéries telles que *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter* (Gray et Smith, 2005) et des champignons (*Trichoderma*). Les bactéries de ce type sont alors définies comme des rhizobactéries (Ferret, 2012).
- **les endosymbiontes** qui regroupent les micro-organismes vivant à l'intérieur des cellules de la plante hôte. Cette catégorie est constituée majoritairement de champignons dits endomycorrhiziens, dont les hyphes pénètrent dans les cellules végétales et ceci jusqu'au plasmalemme en formant des arbuscules. Ces champignons sont définis sous le nom de champignons mycorrhiziens arbusculaires (AMF) et regroupent principalement la famille des Glomales. Ces bactéries, appartenant principalement aux genres *Rhizobium* et *Frankia*, peuvent alors former des nodules racinaires, et ceci sur les racines des légumineuses et des ligneuses (Gray et Smith, 2005 ; Lugtenberg et Kamilova, 2009).

I.6.1. Les bactéries dans la rhizosphère

La croissance végétale peut être affectée par les bactéries de différentes façons. En effet, des bactéries peuvent être à l'origine de maladies, inhiber la croissance des plantes, tandis que d'autres peuvent, activement ou non, favoriser la croissance à travers différents mécanismes (fixation d'azote, solubilisation des phosphates, production de sidérophores, phytohormones) (Ma *et al*, 2011). Dans la rhizosphère, la concentration en bactéries peut être 10 à 1000 fois supérieure à celle du reste du sol (Lugtenberg et Kamilova, 2009).

Cependant, pour effets bénéfiques dans l'environnement des racines, les bactéries doivent en rivaliser avec les autres micro-organismes de la rhizosphère, aussi bien pour bénéficier des nutriments sécrétés par la plante que coloniser les sites disponibles (Lugtenberg et Kamilova, 2009).

I.7. Les rhizobactéries ou PGPR

Alors les bactéries associées aux racines des plantes comme les rhizobactéries, celles-ci sont généralement des souches très compétitives capables de coloniser le système racinaire riche en éléments nutritifs, tout au long du cycle de développement de la plante (Klepper, 1993).

Certains microorganismes, principalement des bactéries telles *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* (Gray et Smith, 2005) sont capables de coloniser efficacement les systèmes racinaires (Tokala *et al.*, 2002). Ces bactéries de la rhizosphère sont alors reprises sous le terme PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria).

Les rhizobactéries sont des hétérotrophes typiques, elles nécessitent donc des composés organiques comme source d'énergie. Leurs besoins sont entièrement comblés à l'intérieur même de la rhizosphère (Campbell et Greaves, 1990). Sont des bactéries qui présentent l'aptitude à coloniser les racines de façon intense (Schroth et Hancock, 1981, 1982). Où, la densité des bactéries est plus élevée dans la rhizosphère que dans le sol distant des racines : il s'agit de «l'effet rhizosphère» (Foster et Rovira, 1978). La quantité et la composition des exsudats racinaires conditionnent également la nature des activités bactériennes (fig.1) (Loper et Schroth, 1986).

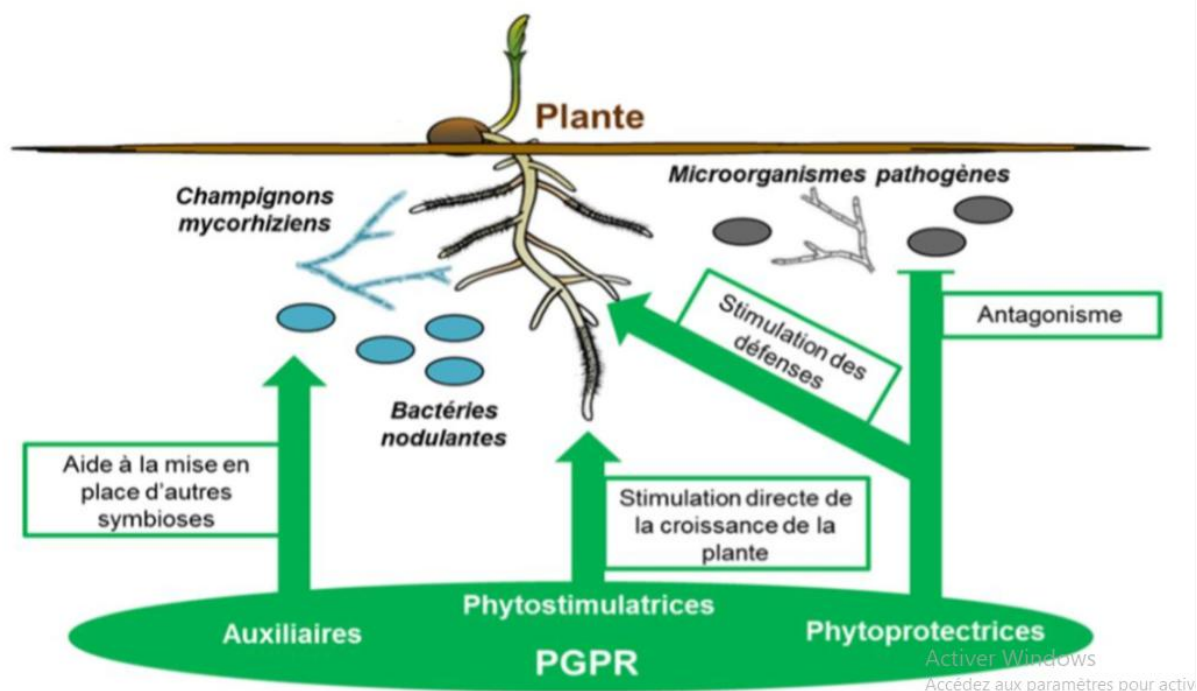


Figure 1 : Les mécanismes des PGPR sur la plante (Drogue *et al.*, 2013)

II. Les *Pseudomonas* fluorescents

Les bactéries appartenant au genre *Pseudomonas* sont ubiquitaires et ont été isolées de nombreux habitats tels que les sols, les sédiments, les végétaux ainsi que les eaux douces et marines (O'Sullivan et Ogara, 1992). Saprophyte pathogènes des animaux et des végétaux (Haas et Keel, 2003). Il apparaît comme l'un des taxons bactériens les plus importants du sol (Garbeva *et al.*, 2004), où les populations indigènes de *Pseudomonas* fluorescents sont très fréquentes (Latour *et al.*, 1999).

Elles possèdent plusieurs caractéristiques intrinsèques qui les rendent particulièrement intéressantes pour une utilisation comme agents de lutte biologique (Haas et Keel, 2003). De plus, elles sont très faciles à isoler et à cultiver au laboratoire et se prêtent aisément aux manipulations génétiques (Moore *et al.*, 2006).

Les *Pseudomonas* sont des bacilles à Gram négatif, aérobies stricts (O'Sullivan et Ogara, 1992), de 0,5 à 1 μm de diamètre sur 1,5 à 5 μm de long, mobiles et asporulées (Bell-Perkins et Lynch, 2002). Elles ont un métabolisme mésophile et chimio-organotrophe oxydatif (Moore *et al.*, 2006).

Les *Pseudomonases* des sols produisent généralement un pigment jaune-vert, fluorescent (O'Sullivan et Ogara, 1992), (pyoverdine ou pseudobactine) dans des conditions de carence en fer, et correspondant à une famille importante de sidérophores.

Parmi les espèces appartiennent à ce groupe sont : *Pseudomonas aeruginosa*, espèce pathogène pour l'homme, *P. syringae*, espèce phytopathogène et *P. fluorescens*, *P. putida*, et *P. chlororaphis* espèces saprophytes (Höfte et Altier, 2010).

II.1. Interactions de *Pseudomonas* spp. fluorescents dans la rhizosphère

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents associés aux plantes incluent des souches pathogènes et des souches bénéfiques. Les souches influençant avantageusement l'hôte végétal sont désignées sous le terme « plant- probiotic fluorescent *Pseudomonas* spp. » (Höfte et Altier, 2010). L'efficacité des souches de *Pseudomonas* fluorescents utilisées dépend de leur aptitude à produire certains métabolites. Ou, les métabolites responsables d'activités spécifiques intéressantes sont variés : sidérophores, antibiotiques, substances de croissance, lipopolysaccharides (Lemanceau, 1992). La compétence rhizosphérique des *Pseudomonas* fluorescents varie d'une souche à l'autre. Cette compétence définit l'aptitude d'une souche à se distribuer le long des racines de la plante hôte, à se multiplier et survivre pendant plusieurs semaines en présence de la microflore rhizosphérique indigène (Bahme et Schroth, 1987; Weller, 1988).

D'autres métabolites produits par les *Pseudomonas* spp. *fluorescents* peuvent également interférer avec la croissance des phytopathogènes (Mercado-Blanco et Bakker, 2007).

Les caractéristiques bactériennes qui conditionnent la bonne compétence rhizosphérique des souches de *Pseudomonas* sont relativement méconnues. Ces caractéristiques semblent liées à l'aptitude des souches à :

- à s'attacher à la racine;
- se déplacer vers et le long de la racine;
- entrer en compétition de façon efficace avec la microflore résidente.

En effet la colonisation racinaire s'effectue en 2 temps. Les bactéries s'attachent d'abord à la racine et sont donc distribuées de façon passive. Puis elles se multiplient et

colonisent de façon active la rhizosphère (Howie *et al.*, 1987 ; Lemanceau, 1992 ; Brimecombe *et al.*, 2008).

L'attachement des bactéries à la racine résulte d'interactions physico-chimiques et biologiques entre les bactéries et la racine. Ainsi l'adhésion des bactéries à la racine serait d'autant plus efficace que la surface de la cellule bactérienne est hydrophobe (Van Loosdrecht *et al.*, 1987). Cette adhésion est également conditionnée par des phénomènes électrostatiques mettant en cause en particulier les charges de surface de la cellule bactérienne (James *et al.*, 1985; Dickson et Koohmaraie, 1989).

II.2. Effets bénéfiques des rhizobactéries sur les plantes

Les bénéfices apportés par ces bactéries incluent la suppression d'organismes pathogènes ou délétères (Chakraborty *et al.*, 2006 ; Lemanceau et Alabouvette, 1991), l'approvisionnement en éléments inorganiques (Dimkpa *et al.*, 2009), la fixation d'azote (Dobbelaere *et al.*, 2003), la tolérance aux stress abiotiques, la production de phytohormones et une meilleure résistance aux contaminants (Ma *et al.*, 2011).

Ces effets bénéfiques des rhizobactéries sont liés à leur position stratégique à l'interface sol racine. En effet, le rhizoplan et la rhizosphère sont le siège d'échanges intenses entre la plante et le milieu environnant (fig.2) (Curl, 1982).

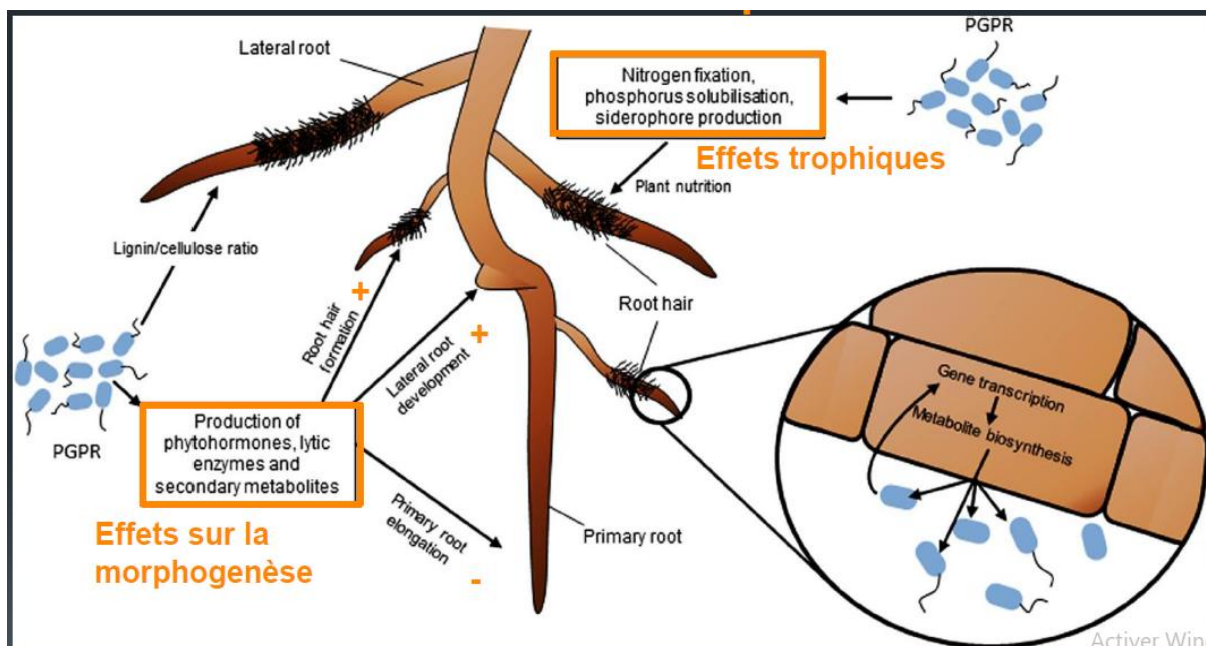


Figure 2 : Effets des PGPR sur l'architecture du système racinaire et le fonctionnement racinaire (PAF, 2017).

II.2.1. Effets directs

Les bactéries PGPR facilitent la croissance des plantes directement en aidant à l'acquisition des ressources (azote, phosphore et minéraux essentiels) ou par modulation des niveaux d'hormone végétales (Munees et Mulugeta, 2014).

Les rhizobactéries connues sous le terme PGPR stimulent directement la croissance de plantes en augmentant le prélèvement des éléments nutritifs du sol, en induisant et produisant des régulateurs de croissance végétale et en activant les mécanismes de résistance induite chez les végétaux (Nemouchi et Oulfki, 2017).

Les PGPR peuvent affecter la nutrition de la plante par :

- ✓ La stimulation et la régulation de la croissance racinaire par la production d'hormones végétales.
- ✓ L'amélioration de la nutrition de la plantes, par : la sécrétion de sidérophores compatibles avec les systèmes de transport des cellules végétales, pour assurer la nutrition des plantes en fer.

- ✓ La protection des racines contre les parasites, par : la production de composés inhibiteurs de la croissance des parasites racines, comme le 2,4-diacétylphloroglucinol.
- ✓ Les interactions positives avec les mycorhizes (Gobat *et al.*, 2010).

II.2.1.1. Acquisition des ressources

1. Fixation d'azote

Parmi les éléments nutritifs nécessaires, celui qui est le plus souvent limitant pour la croissance des plantes est l'azote. La majeure partie de cet élément se trouve sous forme d'azote gazeux (N₂) inaccessible aux animaux et aux plantes (Pujic et Normand, 2009). Les bactéries fixatrices de l'azote ont la capacité de récupérer l'azote atmosphérique et de le fournir aux plantes par deux mécanismes: symbiotiques et non symbiotiques. La fixation d'azote symbiotique est une relation mutualiste entre une bactérie et la plante. La bactérie entre d'abord dans la racine et plus tard sur les nodules de forme dans lesquels se produit la fixation de l'azote (Munees et Mulugeta, 2014).

En revanche d'autres fixatrices d'azote sont symbiotiques et fixent l'azote seulement en association avec certaines plantes (Tilak *et al.*, 2005 ; Gray et Smith, 2005). Nombreux genres rhizobactéries sont recensés tels *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* (Gray et Smith, 2005).

2. Solubilisation du phosphate

Le phosphore et le deuxième nutriment important limitant la croissance des plantes après l'azote, il est largement disponible dans le sol sous deux formes organiques et inorganiques. *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus* spp. *Bradyrhizobium* spp. *Enterobacter agglomerans*, *Pseudomonas putida* et *Rhizobium* spp. sont des exemples de bactéries rhizosphériques solubilisant le phosphate inorganique en produisant de l'acide gluconique et l'acide 2- cétogluconique (khan *et al.*, 2009). Elles sont aussi capables de minéraliser le phosphate organique par l'excrétion des enzymes extracellulaires telles les phosphatases, les phytases et C-P lyases (Kim *et al.*, 1998 in Weyens *et al.*, 2010).

Ces microorganismes produisent des acides organiques et relâchent des protons, qui à travers leurs groupements carboxyliques, chélatent les cations fixés aux phosphates insolubles ce qui permet de les convertir en formes solubles (Taktek, 2015).

3. Solubilisation du potassium

C'est le troisième nutriment majeur important pour les plantes. Les concentrations de potassium soluble dans le sol sont généralement très faibles et plus de 90% de potassium dans le sol existe sous forme de roches insolubles et de minéraux de silicate (Parmar et Sindhu, 2013). En outre, en raison de l'application déséquilibrée des engrais, la carence en potassium devient l'une des principales contraintes dans la production végétale. Sans potassium adéquat, les plantes ont des racines mal développées, poussent lentement, produisent de petites graines et ont des rendements plus faibles. (Kumar et Dubey, 2012) On a signalé que les microorganismes des sols jouaient un rôle clé dans le cycle K naturel et, par conséquent, les microorganismes solubilisants de potassium présents dans le sol pourraient fournir une technologie alternative pour rendre le potassium disponible pour l'absorption par les plantes (Rogers *et al.*, 1998).

4. Production de sidérophores

Le fer est un élément capital aussi bien pour les bactéries que les champignons et les plantes. Il est abondant dans le sol et se présente sous forme d'oxydes de fer (Fe^{3+}). mais il demeure souvent un facteur limitant pour la croissance des bactéries et des plantes (Compant *et al.*, 2005). Certaines bactéries sont capables de séquestrer le fer du milieu environnant par une molécule appelée sidérophore (Kuffner *et al.*, 2008). La plupart des microorganismes ont donc développé un mécanisme hautement spécifique afin de l'assimiler via la production de sidérophores (Jacques *et al.*, 1993).

Beaucoup de plantes peuvent utiliser divers sidérophores bactériens comme sources de fer, beaucoup de bactéries productrices de sidérophores appartiennent aux genres *Bradyrhizobium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* et *Streptomyces* de la rhizosphère (Kuffner *et al.*, 2008). Les sidérophores de *Pseudomonas fluorescens* sont retrouvés dans *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas chlororaphis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida* et *Pseudomonas syringae* (Meyer, 2000).

II.2.1.2. Production des phytohormones

Une large gamme de microorganismes trouvés dans la rhizosphère est capable de produire des substances qui régulent la croissance et le développement des plantes. Les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes produisent des phytohormones telles que les auxines, les cytokines, les gibbérellines et l'éthylène peuvent affecter la prolifération cellulaire dans l'architecture racinaire par la surproduction de racines latérales et de racines avec un accroissement subséquent de l'apport d'éléments nutritifs et d'eau (**Arora et al., 2013**).

1. Acide Indole Acétique (AIA)

Les plantes ont développé des systèmes élaborés pour réguler les niveaux cellulaires de l'AIA (Normanly et Bartel, 1999). L'AIA représente l'une des hormones végétales les plus importantes, ce qui renforce de nombreux aspects de la croissance et du développement des plantes tout au long du cycle cellulaire de la plante, de la division cellulaire, de l'allongement cellulaire et de la différenciation (Guilfoyle et al., 1998).

L'acide indole-3-acétique est reconnue comme une auxine principale chez les plantes, impliqué dans le contrôle de la croissance des fruits, de la dominance apicale, de l'élongation des tiges et de nombreux processus mettant en jeu la division et différenciation cellulaires (O'Gara et al., 2008). En outre, l'AIA bactériennes augmentant la surface et la longueur de la racine et fournit ainsi à la plante un meilleur accès aux nutriments du sol. En outre, l'AIA rhizobactéri en dégage les parois cellulaires de la plante et, en conséquence, facilite une augmentation de l'exsudation des racines qui fournit des nutriments supplémentaires pour soutenir la croissance des bactéries rhizosphériques (Glick, 2012).

2. Production des cytokines

Les cytokinines et les gibbérellines sont impliquées dans la modification de la morphologie des plantes et dans la stimulation de développement de la partie aérienne (Van Loon, 2007).

Plusieurs plantes stimulant la croissance des bactéries telle que *Azotobacter* sp, *Rhizobium* sp, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* et peuvent produire des

cytokines pour la promotion de la croissance des plantes (Kang, 2010). Les PGPR produisent des niveaux inférieurs de cytokines par rapport aux phytopathogènes, de sorte que l'effet des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes sur la croissance des plantes est stimulant tandis que l'effet des cytokinines des agents pathogènes est inhibiteur (Glick *et al.*, 2007).

3. Production de gibbérellines

Les gibbérellines sont synthétisées par les plantes supérieures, les champignons et les bactéries ; ce sont des acides diterpénoïques constitués de résidus isopréniques. Un nombre important (136) de gibbérellines différentes est identifié et caractérisé. Elles affectent la division et l'allongement cellulaires et sont impliquées dans plusieurs de développement tels que la germination des graines, la floraison, la fructification et le retard de la sénescence dans de nombreux organes d'une large gamme d'espèces végétales (MacMillan, 2002).

Les gibbérellines sont également impliquée dans la promotion de la croissance de la racine car elles régulent l'abondance des poils racinaires (Bottini *et al.*, 2004). La capacité des bactéries à synthétiser des substances de gibbérellines a été initialement décrite chez *A. brasilense* (Tien *et al.*, 1979) et rhizobium (Williams et De Mallorca, 1982) puis chez différents genres bactériens qui peuplent le système racinaire de la plante, y compris *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Agrobacterium*, *Clostridium*, *Burkholderia* et *Xanthomonas* (Mitter *et al.*, 2002 ; Tsakelova *et al.*, 2006 ; joo *et al.*, 2009).

4. Production d'acide 1- Aminocyclopropane -1- carboxylique désaminase (ACC-désaminase)

L'éthylène est une phytohormone capable de lever la dormance des graines. Elle favorise également la maturation des fruits et déclenche l'abscission des feuilles (Bleecker et Kende, 2000).

L'ACC est le précurseur direct de l'éthylène. La biosynthèse de l'éthylène se fait par les plantes à partir de la méthionine (Adams et Yang, 1979). La diminution de la teneur élevée de l'éthylène peut être réalisée en dégradant son précurseur direct, l'acide 1-Aminocyclopropane -1- carboxylique (ACC), à l'aide de l'ACC-désaminase. Cette enzyme est exprimée chez plusieurs rhizobactéries (Glick *et al.*, 2007).

II.2.2. Effet indirect

Kloepper et Schroth (1981) ont été les premiers à mettre en évidence l'effet bénéfique indirect d'une souche de *Pseudomonas fluorescens* sur la croissance des plantes, en effet ces effets bénéfiques des rhizobactéries sont liés à leur position stratégique à l'interface sol – racine.

II.2.2.1. Compétition pour l'espace et les nutriments

Dans certains cas, les rhizobactéries à croissance rapide peuvent éliminer les pathogènes fongiques par une compétition pour le carbone et les sources d'énergie (Kamilova *et al.*, 2005). 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).

La majorité des espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents produisent des sidérophores. Ainsi un nombre important d'espèces de plantes peuvent assimiler les complexes Fe³⁺/sidérophore bactériens (Becker et Cook, 1988; Loper, 1988; Bitter *et al.*, 1991).

Les espèces de *Pseudomonas* fluorescents ont un grand pouvoir de chélation du fer et pourraient rendre l'ion ferrique inaccessible aux autres microorganismes. Elles peuvent aussi reconnaître et utiliser les sidérophores produits par d'autres souches, alors que ces dernières ne sont pas capables d'utiliser le sidérophore qu'elles produisent (Mercado-Blanco et Bakker, 2007).

Les espèces de *Pseudomonas* spp. fluorescents produisent aussi la pseudomonine (un alcaloïde provenant de cultures de *Pseudomonas fluorescens*) comme *P. fluorescens*, *P. stutzeri* et *P. putida* (Lewis *et al.*, 2000; Mossialos *et al.*, 2000; Mercado-Blanco *et al.*, 2001).

II.2.2.2. Productions des antibiotiques

La production d'antibiotiques est considérée comme l'un des mécanismes de biocontrôle les plus puissants et les plus étudiés chez les PGPR. (Shilev, 2013). Les souches de *Pseudomonas* produisent une variété de métabolites antifongiques puissants impliqués dans le biocontrôle, par exemple l'acide cyanhydrique (HCN), la viscosamide, la pyolutéorine, le 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG), la pyrrolnitrine, les phénazines, les butyrolactones, les tensines et les tropolones (Defago, 1993 ; de Souza *et al.*, 2003 ; Haas et Defago 2005).

1. 2,4-Diacéthyphloroglucinol (DAPG)

Les phloroglucinols sont des métabolites secondaires phénoliques produits par des plantes, algues et bactéries. Plus d'une soixantaine de dérivés ont été décrits pour leurs activités antimicrobiennes, antivirales, antihelminthiques, phytotoxiques, cytotoxiques et antioxydantes (Bender *et al.*, 1999; Dwivedi et Johri, 2003). En effet, plusieurs études ont démontré que les souches de *Pseudomonas* spp. productrices de DAPG peuvent supprimer une large gamme d'agents phytopathogènes.

2. Les phénazines (PHZ)

Les phénazines représentent une vaste famille de molécules hétérocycliques azotées fortement pigmentées et capables d'une action antibiotique à large spectre. L'aptitude à les produire est limitée aux bactéries. On en note la production chez certains membres des genres *Pseudomonas*, *Bulkholderia*, *Streptomyces*, *Sorangium*, *Nocardia* et *Brevibacterium* (Nowak-Thompson *et al.*, 1997, 1999).

PCA a été secrété par *Pseudomonas fluorescens* 2-79 Souche, *Pseudomonas fluorescens* 2-79, synthétise l'acide phénazine-1-carboxylique (PCA), un antibiotique pigmenté qui inhibe *G. graminis* var. *Tritici* et d'autres agents pathogènes racémiques in vitro à moins de (1 g / ml), Les mutants de 2-79 défectueux dans la production de PCA (Phz-) ne parviennent pas à inhiber *G. graminis* var. *Tritici* (linda *et al.*, 1990).

3. Pyolutéorine (PLT)

La pyolutéorine, un autre antibiotique produit par différents *Pseudomonas*, possède également un pouvoir fongitoxique efficace contre les oomycètes, notamment *Pythium ultimum*. Cette molécule, isolée pour la première chez *P. aeruginosa*, est composée d'un anneau résocrinol synthétisé par la voie de polycétide, relié à une partie pyrrole bichlorée (Nowak-Thompson *et al.*, 1997, 1999).

La diversité génomique retrouvée chez les producteurs de DAPG ne semble pas être présente chez les producteurs de PLT (Souza *et al.*, 2003). Cela peut s'expliquer par le fait que la production de PLT semble être limitée à un groupe restreint de *Pseudomonas* qui montrent une très forte similitude génomique (Keel *et al.*, 1996; Gardener *et al.*, 2000; Souza *et al.*, 2003).

4. Cyanure d'hydrogène (HCN)

La production de HCN par les *Pseudomonas* est impliquée dans la suppression d'agents pathogènes comme *Thielaviopsis basicola*, *Septoria tritici* et *Puccinia recondita* (Ramette *et al.* 2003). Une corrélation positive existe entre la production de cyanure d'hydrogène et le poids des plants de concombre confrontés au flétrissement par *P. ultimum*. Le composé agit directement sur les cellules de l'agent pathogène en bloquant la cytochrome oxydase dans la chaîne respiratoire. Chez les procaryotes, la production de HCN semble confinée aux protéobactérie et elle a été mise en évidence chez plusieurs souches de *Pseudomonas fluorescens* (Blummer *et al.* 2000).

II.2.2.3. Induction d'un système de résistance (ISR)

PGPR peut déclencher chez la plante un phénomène connue sous le nom d'induction de la résistance systémique qui se produit lorsque la plante active ses mécanismes de défense en réponse à une infection par un agent pathogène (Corné *et al.*, 2009). L'ISR peut être induite par des microorganismes variés incluent des bactéries à Gram positif comme *Bacillus pumilus*, ou des bactéries à Gram négatif appartiennent au genre *Pseudomonas* (*fluorescens*, *putida*), et aux entérobactéries comme *Serratia (marcesens, plymuthica)* ou *Pantoea agglomerans* (Jourdan *et al.*, 2008).

Les *Pseudomonas spp.* fluorescents sont capables de synthétiser de nombreuses molécules appelés « déterminants ou éliciteurs ». Elles sont impliquées dans l'induction ou la potentialisation des réactions de défense de la plante (Rabhi, 2011).

II.2.2.4. Modification de l'équilibre microbien

La microflore rhizosphérique est naturellement constituée d'un assemblage complexe de microorganismes procaryotes et eucaryotes, dont la croissance, la santé des plantes et leur diversité sont influencées par la diversité des populations des microorganismes présents dans la rhizosphère (Lemanceau, 1992; Whipps, 2001 ; Weller *et al.*, 2002 ; Van der Heijden *et al.*, 2009) Parmi cette microflore les *Pseudomonas* fluorescents qui ont une grande compétence rhizosphérique, qui est défini par la capacité d'une souche à se distribuer le long des racines de la plante hôte, à se multiplier et à survivre pendant plusieurs semaines (Weller ., 1988).

IV. Formation des biofilm par les PGPR

La majorité des bactéries favorise un mode de vie à l'état fixé. Les bactéries adhérentes alors aux surfaces sous forme de communautés structurées, décrites sous le terme de biofilm (Hall-Stoodley *et al*, 2004). Bien que de nombreux travaux se soient focalisés sur les surfaces abiotiques, le biofilm peut également se développer sur des surfaces biotiques, notamment lors des interactions bactéries-plantes. Il a pu être montré que la majorité des *Pseudomonades* associées aux racines favorisait la croissance de la plante hôte (Lugtenberg *et al*, 2001). Formant majoritairement des biofilms autour des racines (Ramey *et al*, 2004). La production de biofilm par PGPR reflète leur pouvoir de colonisation du système racinaire et est considéré comme une activité PGPR importante (Prescott, 2003). Des études ont montré que les *Pseudomonas* favorisant la croissance des plantes ne formaient que de fins biofilms discontinus sur la surface des racines (Bloemberg *et al*, 2000) tandis que celles étant pathogènes constituaient un biofilm dense et ceci sur toute la surface racinaire (Walker *et al*, 2004).

Matériel et Méthodes

Le but de notre travail est de déterminer l'effet bénéfiques de certaines souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents isolées de la rhizosphère de certaines plantes spontanées des zones arides et semi arides.

Ce travail comporte deux principales parties, la première est la mise en évidence de l'activité antagoniste *in vitro* contre deux souches de champignons pathogènes ; il s'agit de *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum* agent causale de la fusariose du blé. La deuxième est la mise en évidence de l'effet bactérien sur la germination des graines et le biocontrôle des agents fongiques transmis par semence.

I. Matériel biologique

I.1. Les souches bactériennes

Dans la présente étude, nous avons utilisé des souches de rhizobactériennes saprophytes, non symbiotiques de *Pseudomonas* spp. fluorescents. Ces souches ont été isolées de la rhizosphère de certaines plantes spontanées des zones arides et semi arides. (Tableau 1), et identifiées partiellement au niveau du laboratoire de département des sciences agronomiques à l'université d'Amar Thelidji –Laghouat. Nous avons récupéré les souches présidents qui ont été conservé à une température de 4 °C, et nous avons procédé à une réactivation sur le milieu gélose King B (Annexe 1), à une température 28±2°C.

Tableau 1 : Origine des souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents

Souches bactériennes	Origine Rhizosphériques	Date d'isolement
P107	<i>Retama raetam</i>	2016
ASO ₂	<i>Astragalus armatus</i>	2016
P432	<i>Pistacia atlantica</i>	2015
P212	<i>Ziziphus lotus L.</i>	2015
P12	<i>Ziziphus lotus L.</i>	2014
AZ24	<i>Pistacia atlantica</i>	2016
T ₄	<i>Tamarix gallica L.</i>	2019
T ₃₂	<i>Tamarix gallica L.</i>	2019

I.2. Les souches fongiques

Nous avons utilisé deux champignons phytopathogènes : *Fusarium culmorum* (FC) et *Fusarium graminearum* (FG) agents causale de la fusariose du blé, récupéré de laboratoire de l'université Amar Thelidji- Laghouat. Ces champignons ont été réactive sur milieu PDA et à une température d'incubation de $28 \pm 2^\circ\text{C}$.

I.3. Matériel végétal

Pour l'essai de la biostimulation de la germination et le biocontrôle des champignons transmis par semences *in vitro*, nous avons utilisé la variété vitron du blé dur (*Triticum durum*), récolte de la campagne agricole (2019/2020) récupérée au niveau de l'office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC) de Laghouat.

II. Essai d'antagonisme *in vitro*

L'essai antagonisme *in vitro* par confrontation directe a été réalisé en utilisant huit souches bactériennes jeunes âgées de 24 h, qui ont été ensemencé sur quatre milieu de culture solide King B, PDA, TSA, MH (Annexe 1), où la crème bactérienne a été déposée en spot bactérien à la périphérie de la boîte de Pétri, à de 2cm du centre de la boîte.

Les champignons phytopathogènes testés (FG et FC), âgés de 7 jour, ont été déposé en disque mycélien de 5 mm de diamètre, au centre de boîte de Pétri, après 24h d'incubation des bactéries antagonistes pour le premier essai, et pour les deuxièmes essais ont été déposé après 72h de l'incubation des bactéries antagonistes, et incubé à 28°C .

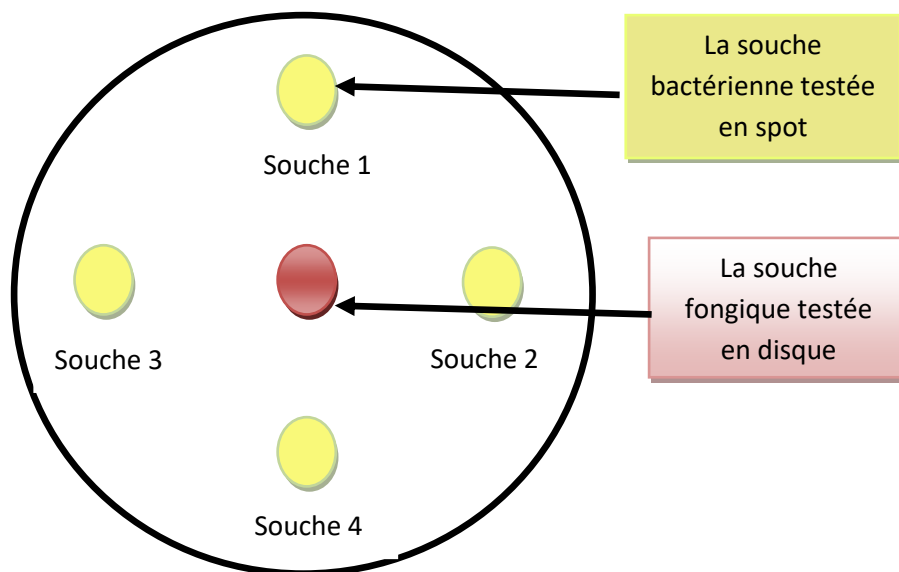
Pour estimer l'activité antagoniste, nous avons déposé des disques pour chaque champignon testé seul comme des témoins sur d'autre boit dans les même conditions d'incubations $28 \pm 2^\circ\text{C}$, l'essai a été réalisé avec trois répétition.

La lecture des résultats a été faite par la mesure de la distance parcourue par le mycélium de l'isolat fongique en direction de l'antagoniste bactérien. Le taux d'inhibition selon Trivedi *et al.*, (2008) est comme suit :

$$\text{Taux d'inhibition (\%)} = ((R \text{ témoin} - R \text{ testé}) / R \text{ témoin}) * 100$$

* R témoin : distance de la croissance radiale du mycélium de l'isolat fongique témoin.

* R testé : distance de la croissance radiale du mycélium de l'isolat fongique en présence de bactérie antagoniste.



Source : originale. 2020

Figure 3 : Technique de l'essai d'antagonisme *in vitro* par confrontation directe.

II. Dispositif expérimental

Pour l'essai de l'antagonisme *in vitro*, nous avons opté pour la randomisation totale à quatre facteurs et trois répétitions :

Facteur 1 : correspond au souche bactérienne, avec 8 niveau (P107, P212, AS02, P432, P12, AZ24, T4, T32) ;

Facteur 2 : correspond au milieu de culture avec quatre niveau (KB, PDA, TSA, MH).

Facteur 3 : correspond au temps avant l'introduction du champignon avec deux niveau (24 h, 72h).

Facteur 4 : correspond au champignon phytopathogène avec deux niveau (FC, FG).

III. Essais biostimulation de la germination du blé et biocontrôle *in vitro* des champignons transmis par semences

Pour étudier l'effet des souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents sur la stimulation de la germination et le biocontrôle de l'état sanitaire des semence de blé, nous avons réalisé un essais sur la germination *in vitro* en utilisant deux souches bactériennes AZ24 et P12 pour estimer la biostimulation de la germination et isoler et identifier le champignon contaminant cette semence de blé.

Ces deux souches ont été sélectionné parmi les autres en se basant sur les travaux réalisés par Djilali (2018) et Belkhadar (2018). D 'après les résultats obtenus elles ont la capacité de synthétiser des métabolites tels que les siderophores, des antibiotiques, l'HCN, ainsi que la production de l'acide indole acétiques (AIA).

III.1. Désinfection de la semence

Cet essai a été réalisé avec une semence désinfecté et une autre sans désinfection.

Pour la désinfection, les graines de blé sont désinfectées par trempage dans une solution de chlorure de mercure (HgCl_2) (0.1%) pendant 1 min, suivi de cinq rinçages successifs à l'eau distillée stérile pour éliminer le reste de l'agent désinfectant pendant 2 min chacune, en suite ces graines sont placées sur du papier buvard stérile pour séchage.

Pour les semences sans désinfection, nous avons passé directement aux rinçages des grains à l'eau distillée stérile (5 fois successivement) (Fig.3).

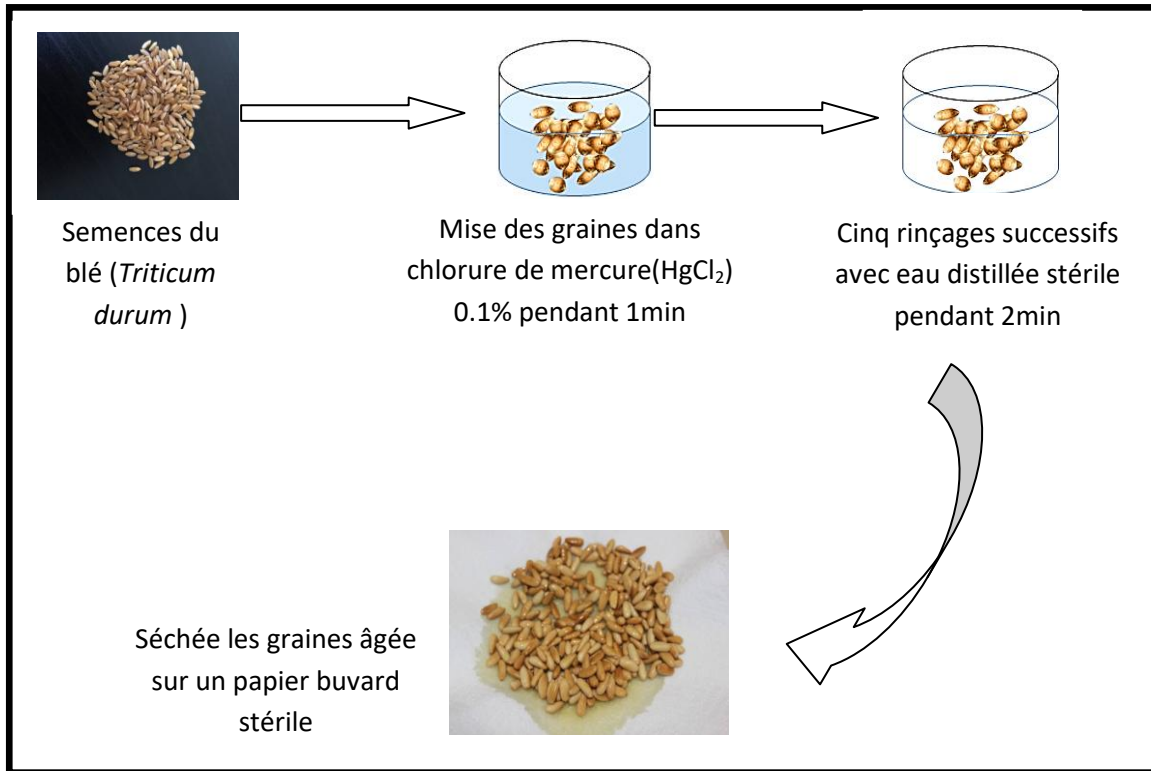


Figure 3 : Méthode de désinfection des semences de blé dur

III.2. Préparation des suspensions bactériennes

La préparation de la suspension bactérienne des deux souches P12et AZ24 de *Pseudomonas* spp fluorescents saprophyte, a été réalisée à partir d'une culture bactérienne jeune cultivée sur milieu King B et incubée à $28\pm 2^\circ\text{C}$ pendant 24h.

Les colonies bactériennes ont été raclées, la crème bactérienne récupérées et mises dans un flacon contenant de l'eau distillée stérile. Nous avons ajusté l'inoculum bactérien à une concentration d'environ 10^8 UFC/ml, à l'aide d'un spectrophotomètre à une densité optique DO à 600nm (Fig.4).

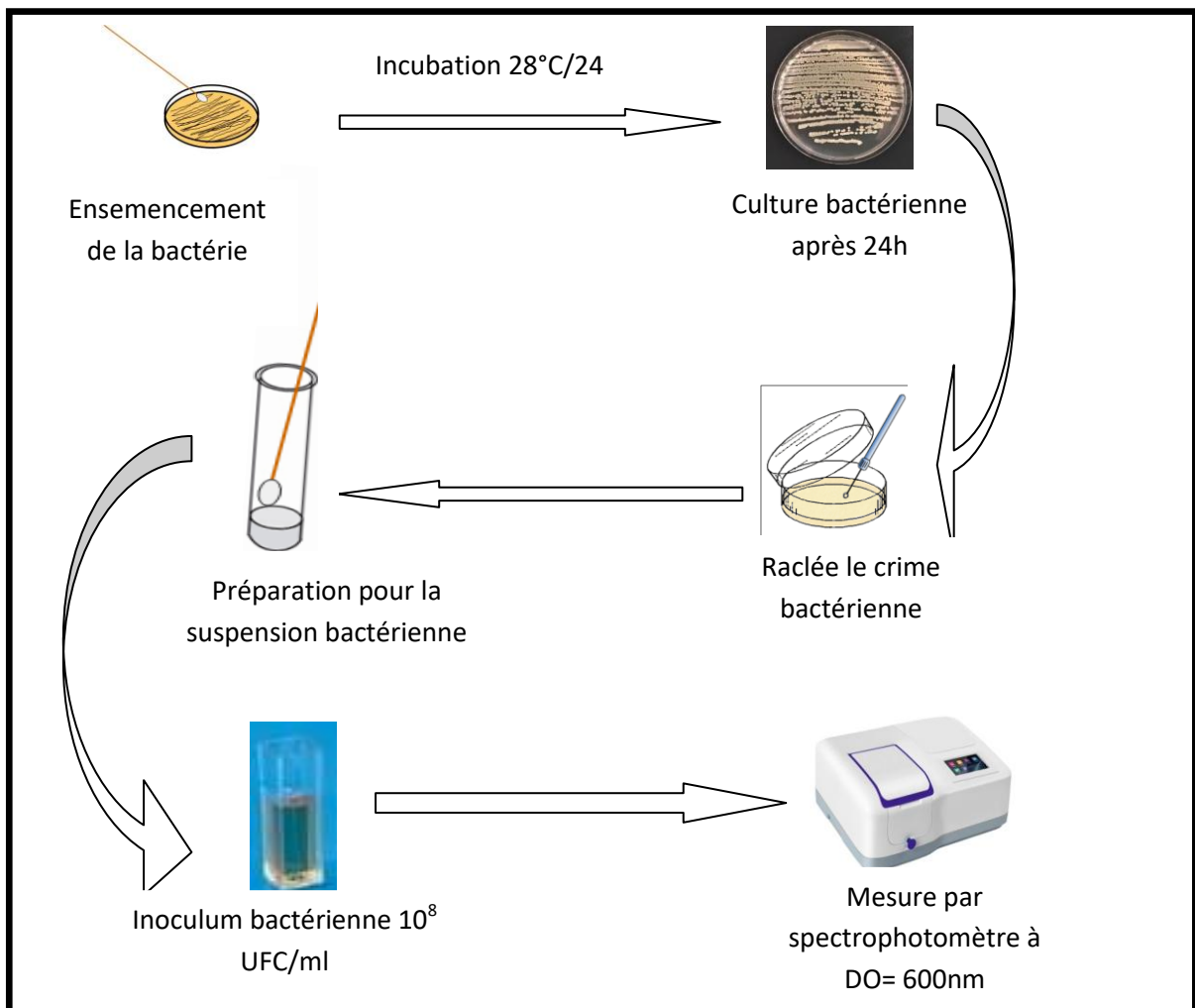


Figure 4 : Méthode de l'obtention de l'inoculum bactérien

III.3. Bactérisation de la semence

La bactérisation des semences a été réalisée par la suspension bactérienne déjà préparée (cf. matériel et méthode III.2), où nous avons placé la semence dans une suspension bactérienne respective (P12, AZ24) le témoin non bactérisé a été mis dans l'eau distillé stérile, et laissé tout une nuit à une température de 24°C.

Le lendemain et après le séchage de la semence sur du papier absorbant stérile les graines ont été placée sur deux milieu de culture PDA et malt (Annexe 1), nous avons mis 10 graines dans chaque boîte de Pétri (Fig. 5).

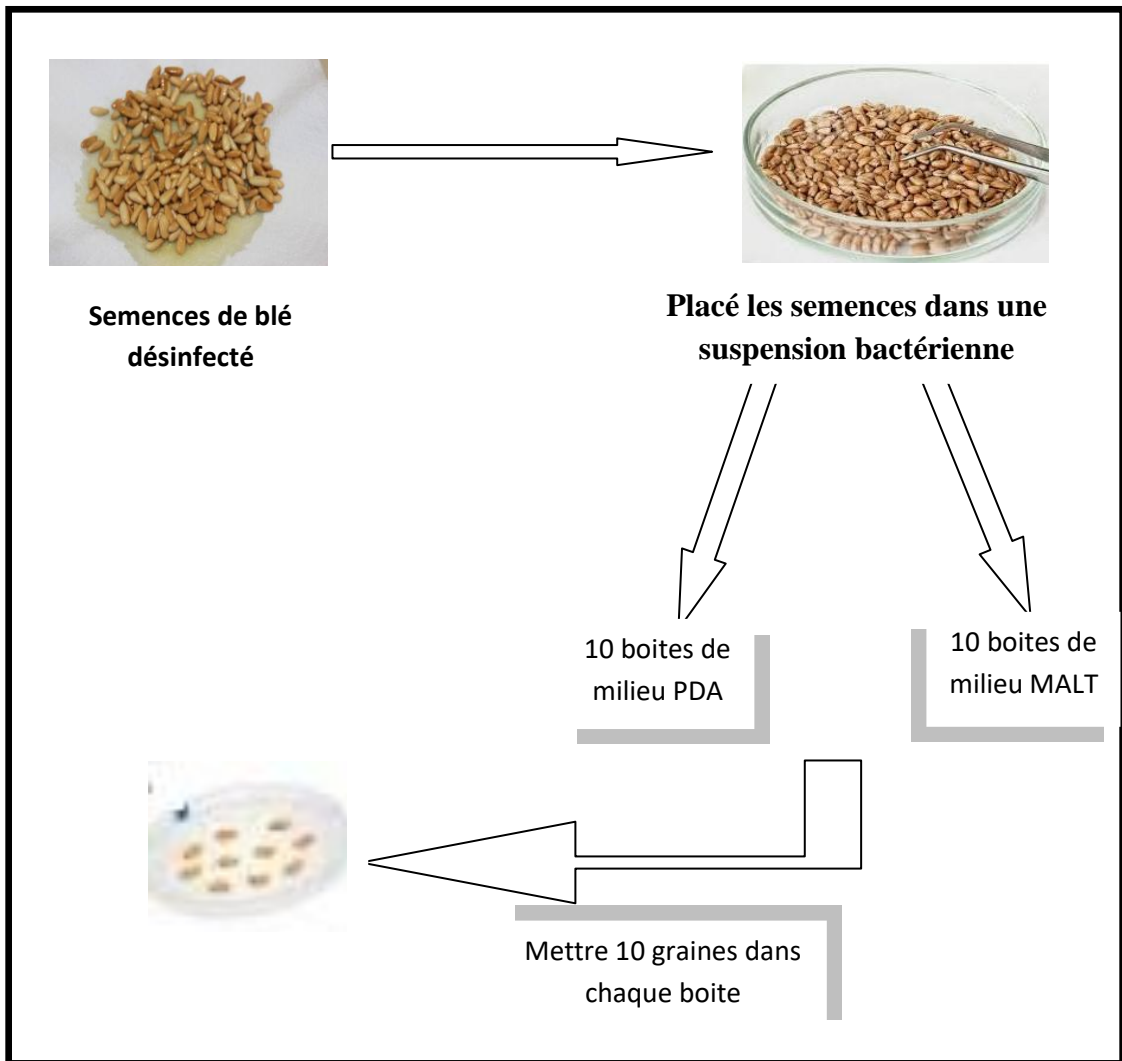


Figure 6 : Méthode de bactérisation des semences de blé dur

III.4. Dispositif expérimental

La germination des graines a été effectuée dans des boîtes de Pétri contenant du milieu de culture à raison de dix graines par boîte et 10 boîtes pour chaque traitement, ensuite ces boîtes ont été laissées à $(28 \pm 2^\circ\text{C})$ pour la germination pendant 10 jours avec une notation quotidienne.

Le dispositif expérimental adopté est une randomisation totale, représentée par l'interaction des trois facteurs :

- ❖ **Facteur 01** : correspond à la bactérisation, avec trois niveaux, les souches bactériennes (AZ24, P12) et le témoin non bactérisé.
- ❖ **Facteur 02** : correspond aux désinfections, avec deux niveau, avec désinfection et sans désinfection.
- ❖ **Facteur 03** : correspond au milieu de culture avec deux niveaux, PDA et malt.

Les traitements en question sont :

- ✓ T1, T2 et T3 : représente les graines désinfectées déposé sur milieu malt bactérisé par P12, AZ24, et le témoin non bactérisé respectivement ;
- ✓ T4, T5, T6 : représente les graines désinfectées sur milieu PDA et bactérisé par P12, AZ24, et le témoin non bactérisé respectivement ;
- ✓ T7, T8, T9 : représentent les graines sans désinfection déposé sur milieu malt, et bactérisée par P12, AZ24, et le témoin non bactérisé respectivement ;
- ✓ T10, T11, T12 : représentent les grains sans désinfection déposé sur milieu PDA, et bactérisée par P12, AZ24 et le témoin non bactérisé respectivement.

III.5. Paramètres étudiés

Nous avons réalisé ce test pour déterminer l'effet des souches rhizobactériennes en notant les graines germés et l'apparition des contaminations fongique sur les graines. L'évaluation de la stimulation de la germination des graines a été effectuée sur les paramètres suivant :

➤ La faculté de germination

La faculté de germination a été révélée par le nombre des graines germées sur le nombre total des graines fois cent selon l'équation suivante :

$$\text{FG}\% = (\text{nombre de graines germées} / \text{nombre total de graines}) * 100$$

➤ Longueur des radicules et des feuilles

A l'aide d'un papier millimétré, nous avons mesuré la longueur des radicules et la longueur des feuilles en (cm) après 10 jours.

➤ **Indice de vigueur**

L'indice de vigueur est calculé sur le bas de la longueur des racines et des feuilles et la faculté de germination selon l'équation suivante :

$$\text{Indice de vigueur} = (\text{longueur de racicule} + \text{longueur de feuille}) * \text{faculté de germination}$$

➤ **Taux de contamination**

Le taux de contamination a été révélée par le nombre de graines infectés sur le nombre total des graines fois cent.

$$\text{Taux de contamination (\%)} = (\text{nombre de graine infectés}/\text{nombre total des graine}) * 100$$

IV. Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats a été basée sur l'analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée en considérant l'essai aléatoire à l'aide du logiciel Statbox végétal 6.9 version d'essai. La comparaison des moyennes est établie par le test de Nexman-Keuls au seuil de risque d'erreur de 5%.

Résultats et Discussion

I. Résultats

Les résultats représentés dans cette partie sont issus des essais effectués pour mettre en évidence l'effet bénéfique des *Pseudomonas* spp. fluorescents isolées de régions arides et semi-arides, premièrement par la recherche de l'effet antagoniste des souches testées et deuxièmement par la biostimulation de la germination des graines de blé dur et le biocontrôle de leur état sanitaire.

L'analyse de la variance réalisée sur les résultats obtenus a montré des différences très hautement significatives pour l'ensemble des paramètres étudiés. Exception faite pour certain facteur ou interaction, pour l'essai de l'antagonisme *in vitro*, le facteur (4) soit le facteur champignon est non significatif ($P=0.831$). Pour l'essai de biostimulation de la germination pour l'indice de vigueur, l'interaction entre le facteur bactérisation et facteur désinfection est non significatif avec une probabilité (P) de 0.619, de même pour l'interaction entre le facteur désinfection et le facteur milieu avec une probabilité (P) de 0.96.

I.1. Essai d'antagonisme *in vitro*

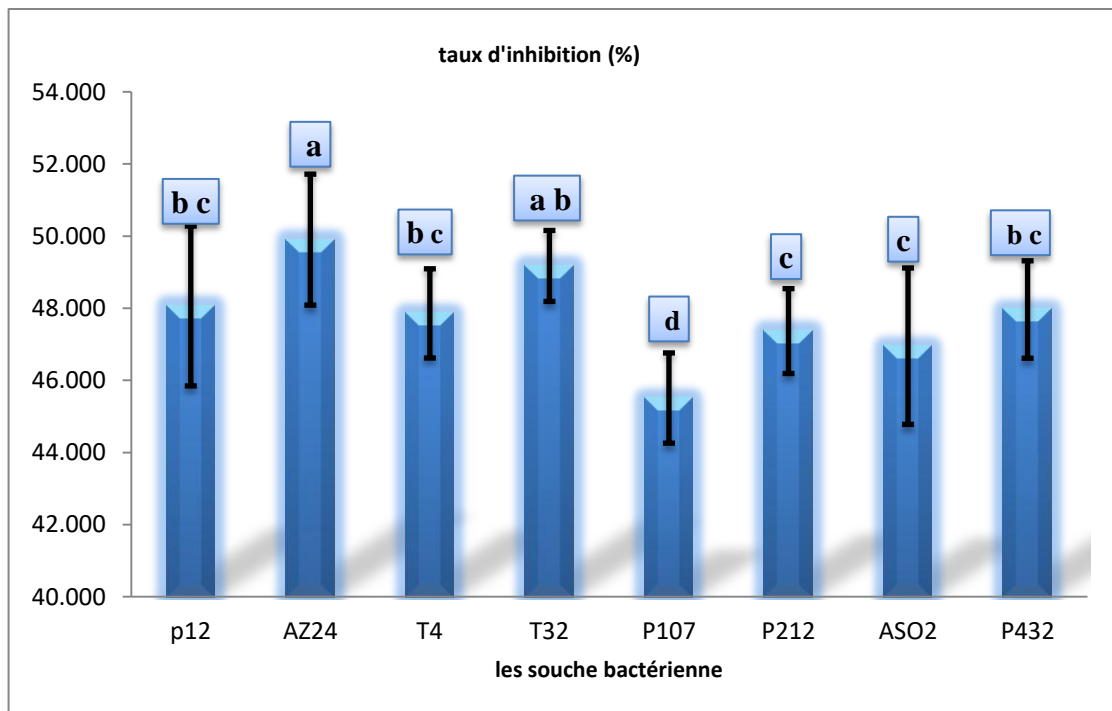
L'étude de l'activité d'antagonisme *in vitro* a été effectuée selon la méthode de confrontation directe sur quatre milieux de culture KB, TSA, MH et PDA. L'évaluation de l'inhibition exercée par huit souches bactériennes de *Pseudomonas* spp. fluorescents vis-à-vis des deux champignons phytopathogènes (*F.Culmorum* et *F.graminearum*) est estimée par le calcul du taux d'inhibition de la croissance mycélienne.

I.1.1. Taux d'inhibition (%) de la croissance mycélienne de *F. culmorum*

➤ Facteur bactérie

L'analyse statistique a révélé une différence très hautement significative ($P:0.000$) pour le facteur bactérie, la souche AZ₂₄ a donné le meilleur taux d'inhibition avec moyenne 49.90% qui a été classé dans le groupe homogène (a), la souche T₃₂ a été classé dans le groupe (ab) avec une moyenne de 49.17%, suivi par les souches P₁₂, P₄₃₂, T₄ classé dans le même groupe homogène (bc) qui ont noté des moyennes allant de 48.06% à 47.85%, dans le groupe (c) les sont classés les bactéries ASO₂ et P₂₁₂ avec des taux respectivement de 47.36% et 46.95%, et le

faible taux d'inhibition enregistré par la souche P₁₀₇ avec une moyenne de l'ordre de 45.51% qui classé dans le groupe (d) (Fig.7).



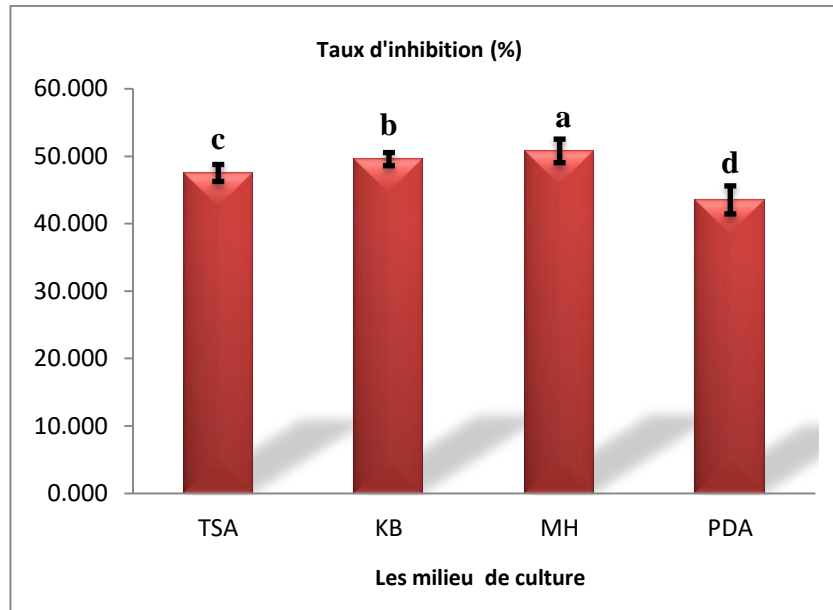
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 7. Effet de facteur bactérie sur le taux d'inhibition de *Fusarium culmorum*

➤ Facteur milieu

Pour le facteur milieu de culture, l'analyse de la variance a montré une déference très hautement significatif (P : 0.000).

A partir des résultats représentés sur la Figure 8, nous avons noté que le meilleure taux d'inhibition est enregistré sur le milieu MH avec un taux de 50.79% que le classe dans le groupe homogène (a), suivi par le milieu KB avec moyenne de 49.56% qui classé dans le groupe (b), puis le milieu TSA a été classé dans le groupe (c) avec valeur de 47.51% et la dernière valeur dans le milieu PDA est 43.52%.

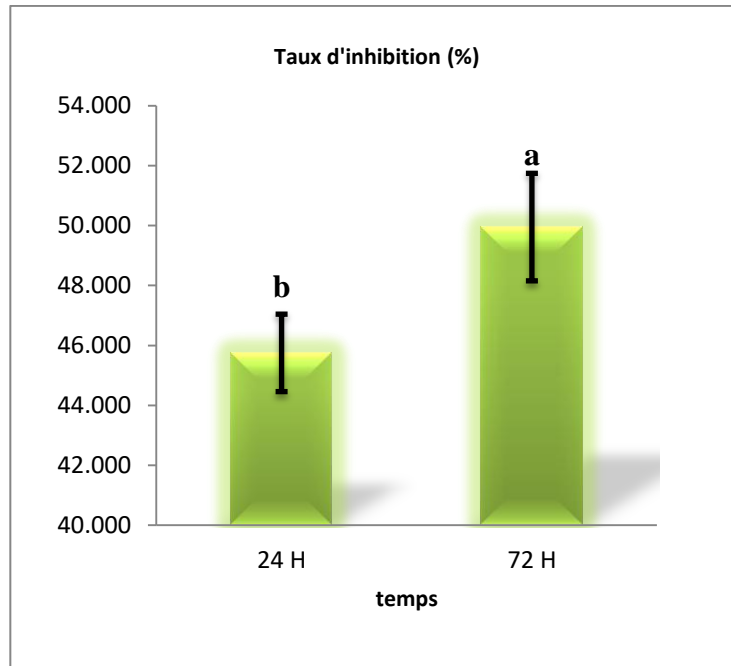


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 8. Effet de facteur milieu sur le taux d'inhibition de *Fusarium culmorum*

➤ Facteur temps

Les résultats de l'analyse de variance ont a révélé une différence très hautement significative ($P : 0.000$) pour le facteur de temps, l'ensemencement des bactéries 72h avant le champignon phytopathogène a été classé dans le groupe homogène (a) avec un taux d'inhibition de 49.94% suivi par ceux ensemencé avant champignon phytopathogène 24h qui se classé dans le groupe homogène (b) avec un taux de 45.75% (Fig.9).

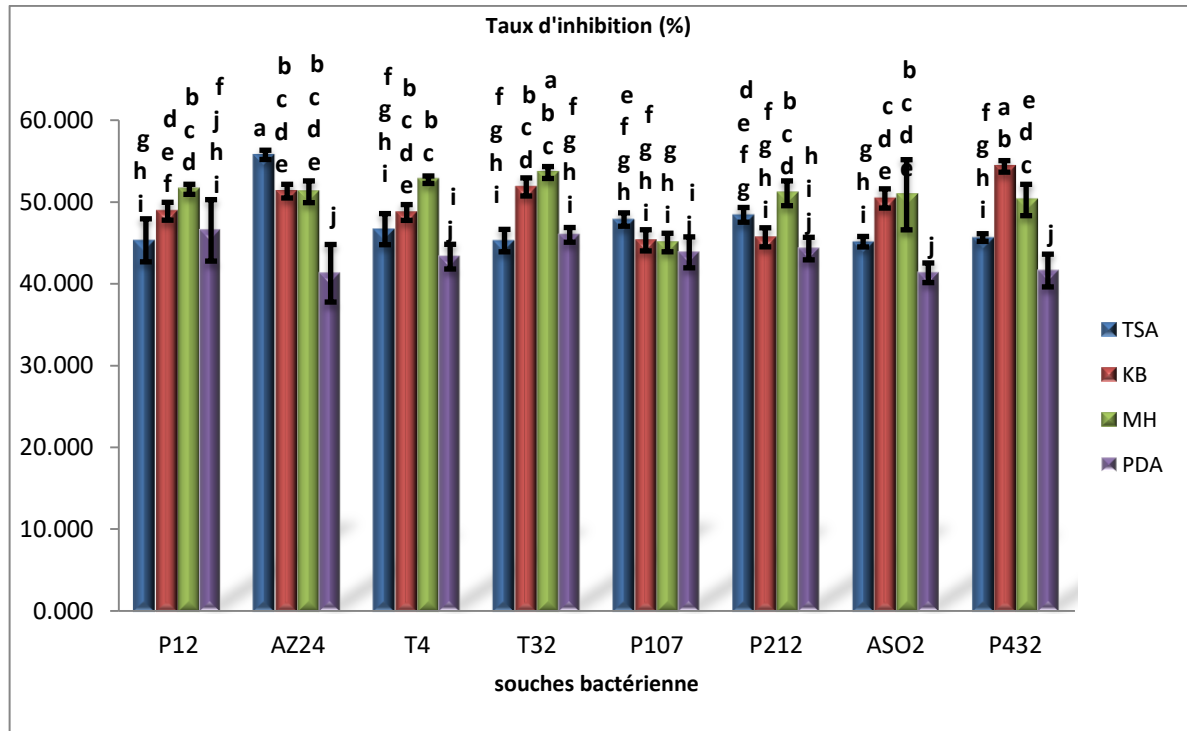


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 9. Effet de temps de l'ensemencement des bactéries sur le Taux d'inhibition de *Fusarium culmorum*.

➤ Interaction entre facteur bactérie et facteur milieu

D'après les analyses statistiques de la variance, l'interaction entre le facteur bactérie et milieu est très hautement significatif. La souche AZ24 au milieu TSA a une bonne réponse d'inhibition et elle est classé dans le groupe homogène (a) avec un taux d'inhibition de 55.76%. Alors que sur le milieu PDA les trois souches (P432, ASO2, AZ24) sont classé dans le groupe homogène (j) avec des moyenne respectivement 41.61%, 41.34% et 41.28% (Fig.10).

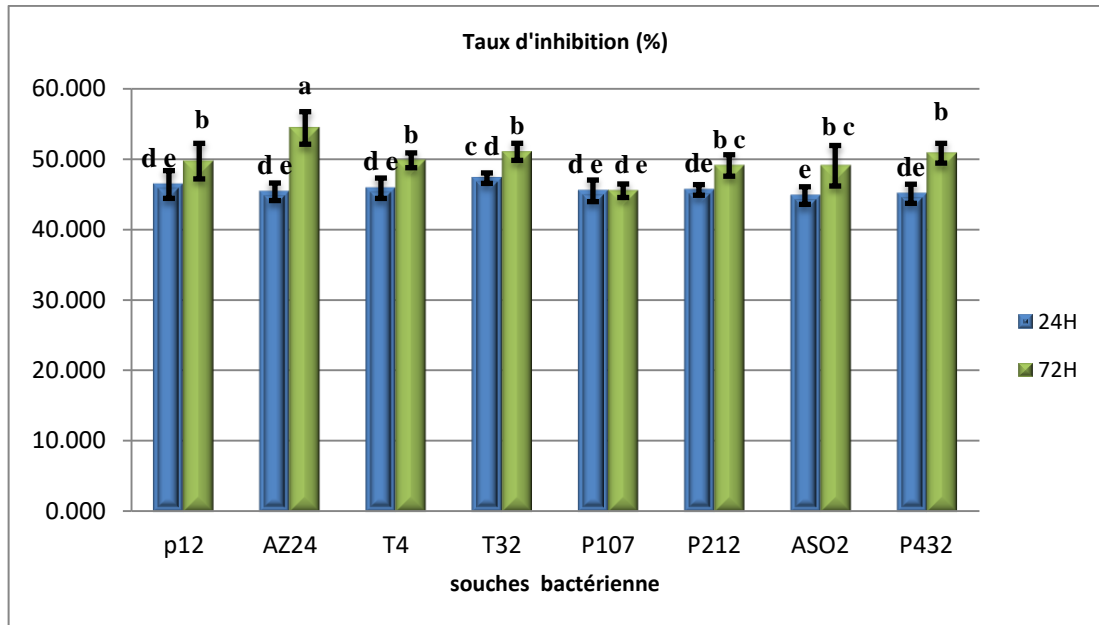


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 10. Effet de l'interaction entre facteur bactérie et facteur milieu sur taux d'inhibition du *Fusarium culmorum*

➤ Interaction entre facteur bactérie et facteur temps

D'après les résultats obtenus (Figure 11), le meilleur taux d'inhibition obtenu par la souche AZ24 à 72h d'incubation est de 54.44% qui est classé dans le groupe homogène (a), suivi par le faible taux enregistré par la souche ASO2 à 24h avec un taux de 44.83% qui est classé dans le groupe (e) et les autres souches sont classée dans les groupes homogène intermédiaire avec des taux de 51.04% à 45.08%.



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

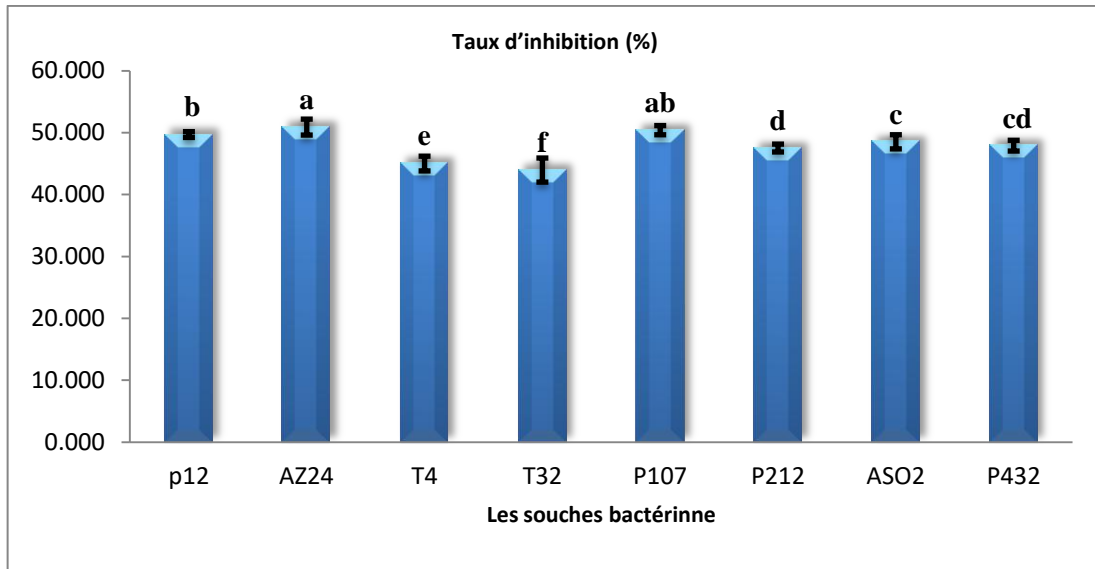
Figure 11. Effet de l'interaction entre facteur bactérie et facteur temps sur Taux d'inhibition du *Fusarium culmorum*

I.2. Taux d'inhibition de la croissance mycélienne de *F. graminearum*

L'analyse statique, des résultats obtenus, nous a révélé un effet très hautement significative pour les facteurs bactérie, milieu et temps et leur interaction.

➤ Facteur bactérie

La souche AZ24 a enregistré le meilleur taux de 50.89%, et a été classé dans le groupe homogène (a), suivi par la souche P107 avec une moyenne de 50.40% qui est classé dans les groupes homogènes intermédiaires (ab). Le plus faible taux avec 43.95% a été enregistré par la souche T32 et a été classé dans le groupe (f) (Fig.12).

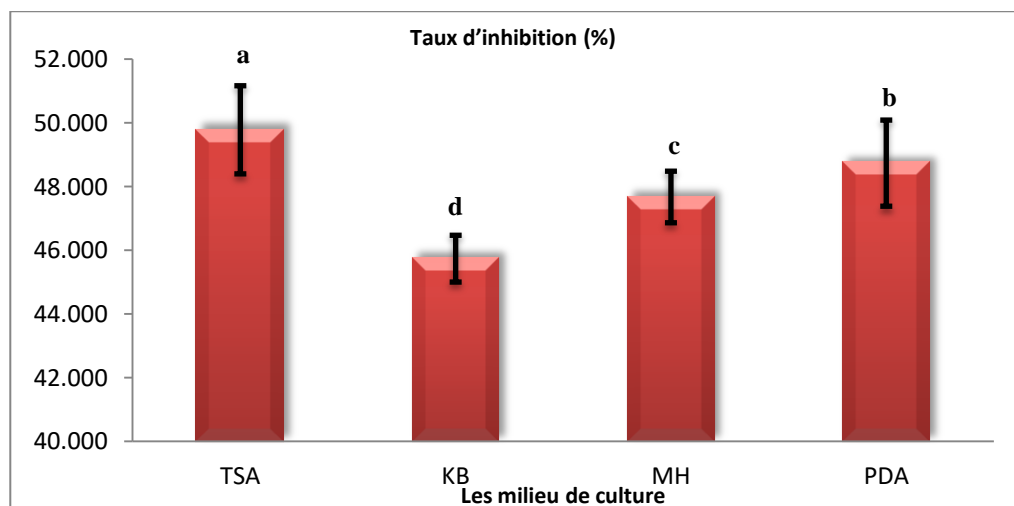


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 12. Effet de facteur bactérie sur le Taux d'inhibition du *Fusarium graminearum*

➤ Facteur milieu

Le milieu TSA a été classé dans le groupe homogène (a) avec le meilleur taux d'inhibition de 49.78%, suivi par le milieu PDA qui classé dans groupe (b) avec une taux 48.74%, le milieu MH présenté par un taux de 47.67% et dans le dernier groupe (d) avec un taux de 45.74% enregistré par le milieu KB (Fig13).

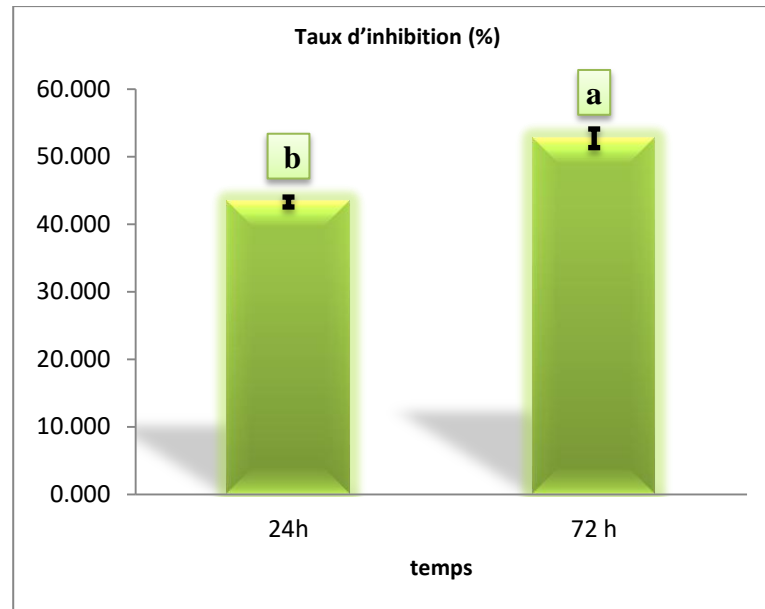


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 13. Effet de facteur milieu sur le Taux d'inhibition du *Fusarium graminearum*

➤ Facteur temps

L'ensemencement des bactéries 72h avant le champignon a montré le meilleur taux d'inhibition avec un taux de 52.70% classé dans le groupe homogène (a), suivi par ces ensemencés 24h avant FG avec un taux de 43.27% (Fig.14).

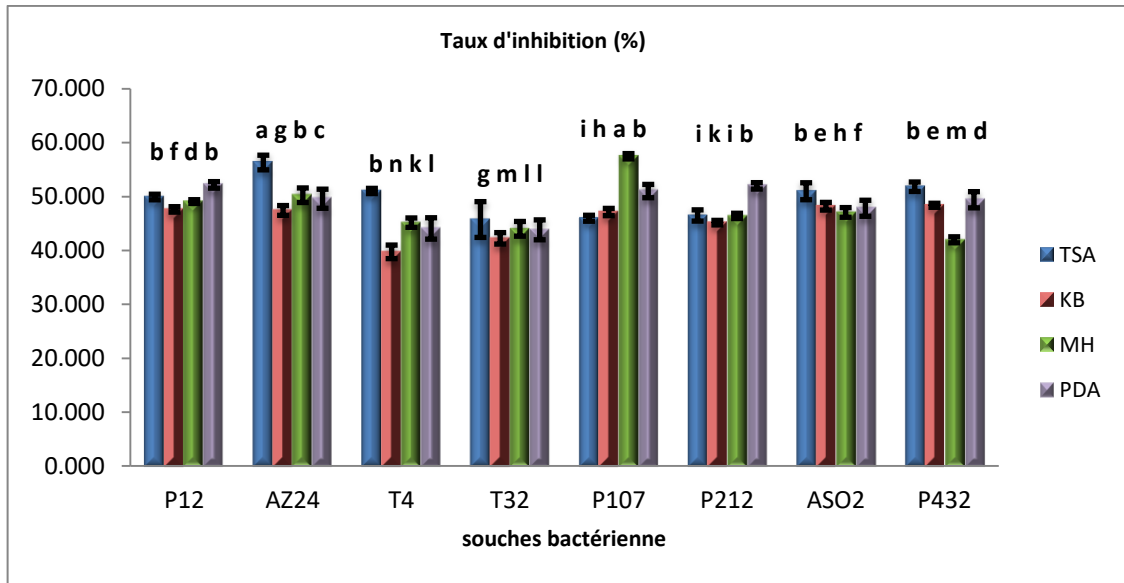


Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 14. Effet de facteur temps sur le Taux d'inhibition du *Fusarium graminearum*

➤ Interaction entre facteur bactérie et facteur milieu

D'après les analyse statistique de la variance, les résultats (figure 15), montrent que l'interaction entre P107 et MH, AZ24 et TSA ont donné les meilleurs taux d'inhibition avec 57.48% et 56.32% respectivement et classées dans le groupe homogène (a). Et la faible interaction entre T4 et KB sont classé dans le groupe homogène (n) avec un taux de 39.74%.



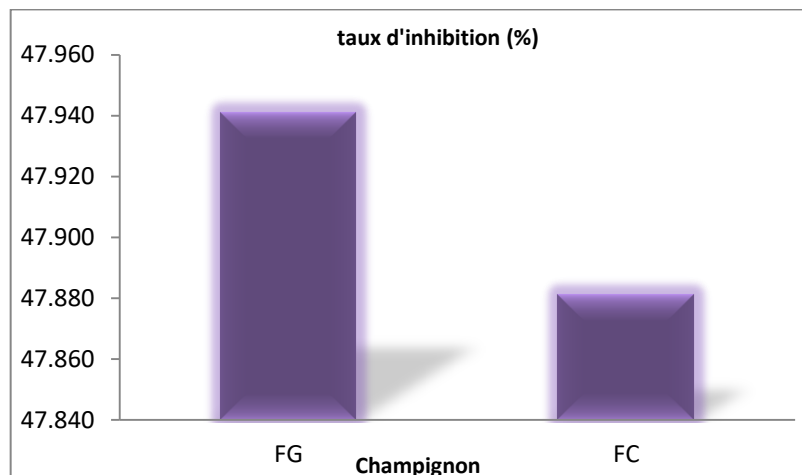
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

Figure 15. Effet de l'interaction entre facteur bactérie et facteur milieu sur le taux d'inhibition du *Fusarium graminearum*

➤ Facteur champignon

D'après, l'analyse de la variance a réalisé un effet non significatif ($P : 0.83$).

Le champignon *F.graminearum* a enregistré un taux de 47.94% et le champignon *F.culmorum* a enregistré un taux de 47.88% (Fig.16).



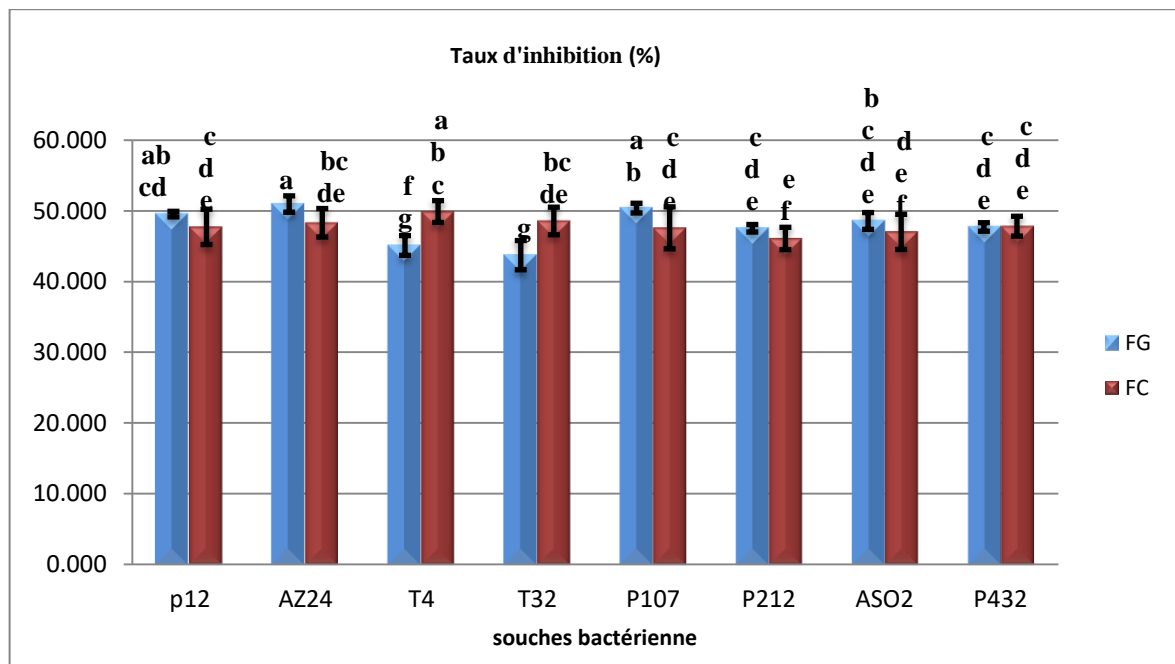
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

FC: *Fusarium culmorum* , FG: *Fusarium graminearum*

Figure 16. Taux d'inhibition exercer sur deux champignons *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum*

➤ Interaction entre facteur bactérie et facteur champignon

Cet interaction a montré une différence très hautement significative ont été classés en sept groupes homogènes selon l'analyse de la variance avec le meilleur taux de 50.95% enregistré par l'interaction AZ24 FG classé dans le groupe (a), et le plus faible taux de 43.72% enregistré par l'interaction T32 FG et classé dans le groupe (g) (Fig.17).



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

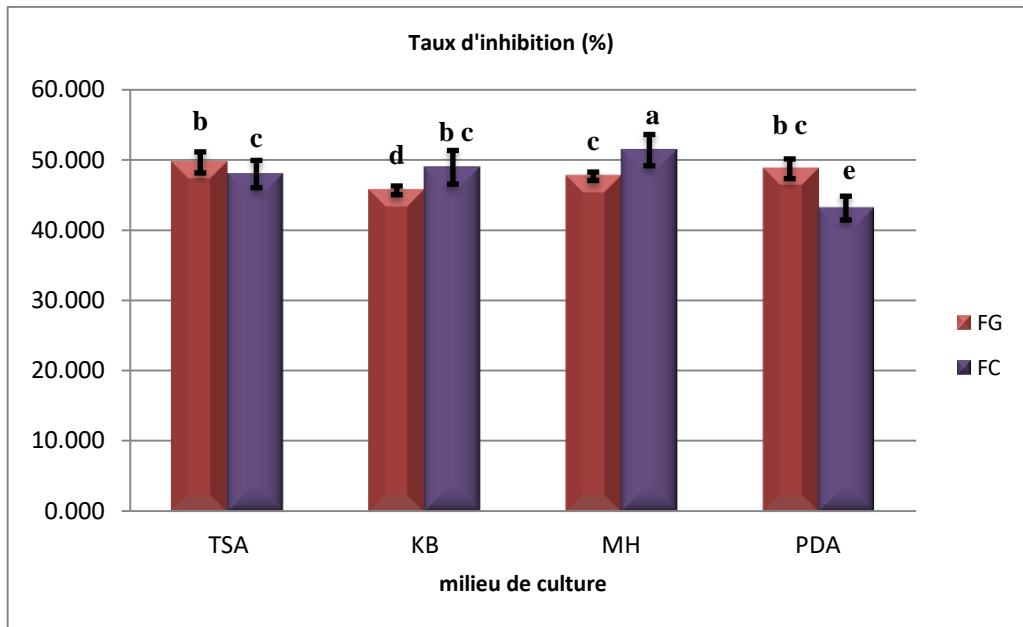
FC: *Fusarium culmorum*, FG: *Fusarium graminearum*

Figure 17. Effet de l'interaction entre facteur bactérie et facteur champignon sur le taux d'inhibition

➤ Interaction entre facteur milieu et facteur champignon

Les résultats de l'analyse de variance ont révélé un effet très hautement significatif ($P : 0.000$), ils ont montré que les meilleurs résultats par l'interaction de MH et FC avec un taux de 51.41% et classés dans le groupe homogène (a), suivis par l'interaction TSA FG classés dans le groupe (b) avec un taux de 49.65%, dans le groupe intermédiaire (bc) sont classés les interactions KB FC et PDA FG avec des taux de 48.95% et 48.75% respectivement, dans le groupe (c) sont classés les interactions TSA FC et MH FG avec des taux de 48% et 47.68%

respectivement. Dans le groupe (d) est classées l'interaction KB FG avec un taux de 45.67%, en dernier dans le groupe (e) est classée l'interaction PDA FC avec un taux 43.15% (Fig.18).



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

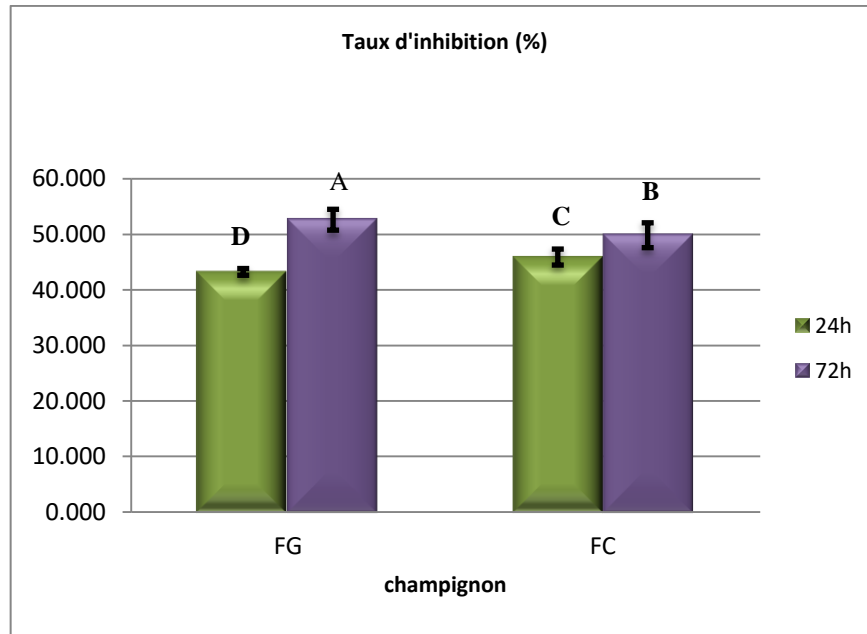
FC: *Fusarium culmorum* , FG: *Fusarium graminearum*

Figure 18. Effet de l'interaction entre facteur milieu et facteur champignon sur le taux d'inhibition

➤ Interaction entre facteur temps et facteur champignon

D'après l'analyse de la variance, les résultats (figure 19) ont montré une différence très hautement significatif (P : 0.000).

Dans l'interaction 72 h FG a enregistré le taux le plus élevée avec 52.63% et classée dans le groupe homogène (a), suivi par 72 h FC qui classe dans le groupe (b) avec un taux de 49.84%. Puis l'interaction 24h FC d'un taux de 45.91% dans le groupe (c) et le dernier taux enregistré par l'interaction 24h FG (43.24%).



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

FC: *Fusarium culmorum* , FG: *Fusarium graminearum*

Figure 19. Effet de l'interaction entre facteur temps et facteur champignon sur le taux d'inhibition

II. Essais biostimulation de la germination du blé et biocontrôle *in vitro* des champignons transmis par semences

Dans cet essai nous avons testé l'effet de trois souches sur faculté germinative de blé. Les paramètres étudiés sont le taux de germination et énergie de germination.

II.1. Essai de biostimulation de la germination

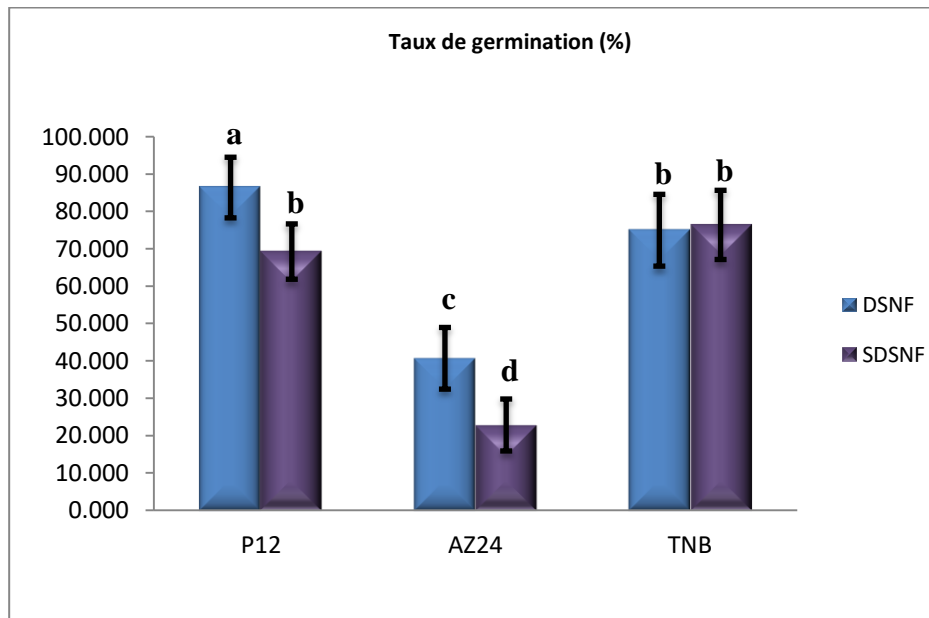
II.1.1. Taux de germination (%)

D'après, l'analyse statistique (Annexe 2) obtenue pour le taux de germination les trois facteurs des bactéries, facteur désinfections et facteur milieu sont significative.

➤ Interaction entre bactérie et désinfection

La bactérie la souche P12 avec désinfection a donné le meilleur taux de germination avec 77.85% et classé dans le groupe homogène (a), le témoin non bactérisée avec et sans désinfection, la souche P12 sans désinfection sont classé dans le même groupe homogène (b)

avec des taux qui varient entre 69.28% et 76.42%, les plus faibles taux sont enregistrés par la souche AZ24 avec désinfection et classé dans le groupe (c) et sans désinfection classé dans le groupe (d) avec des taux de 40.71% et 22.85% respectivement (Fig.20).



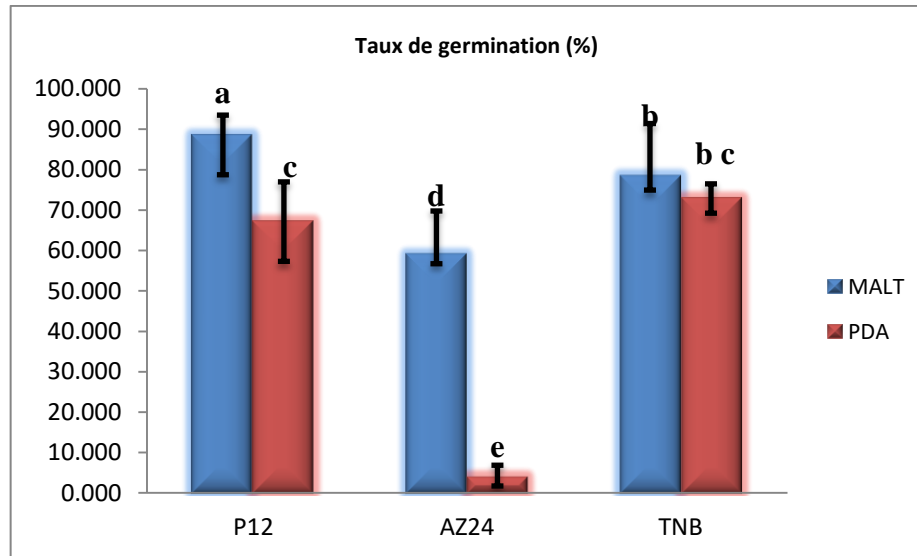
Les valeurs suivies de la même lettre appartiennent au même groupe homogène, selon le test de Newman-Keuls ($\alpha = 5\%$).

AZ24, P12 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents
 TNB : témoin non bactérié.

Figure 20. Effet de l'interaction entre facteur bactériation et facteur désinfection sur le taux de germination

➤ Interaction entre facteur bactériation et facteur milieu

Les résultats d'analyse statistique ont révélé une différence hautement significative pour l'interaction facteur bactérie et facteur milieu, suivi par le témoin non bactérié sur les malt avec un taux de 78.57% et classé dans le groupe (b), et dans le groupe intermédiaire (bc) se classé le témoin non bactéries sur PDA avec un taux de 72.85%, la souche P12 sur PDA a enregistré un taux de 67.14% et classé dans le groupe (c), la souche AZ24 sur malt a enregistré un taux de 59.28% et classé dans le groupe (d) en fin la souche AZ24 sur PDA avec le taux le plus faible 4.28% et classé dans le groupe (e) (Fig.21).



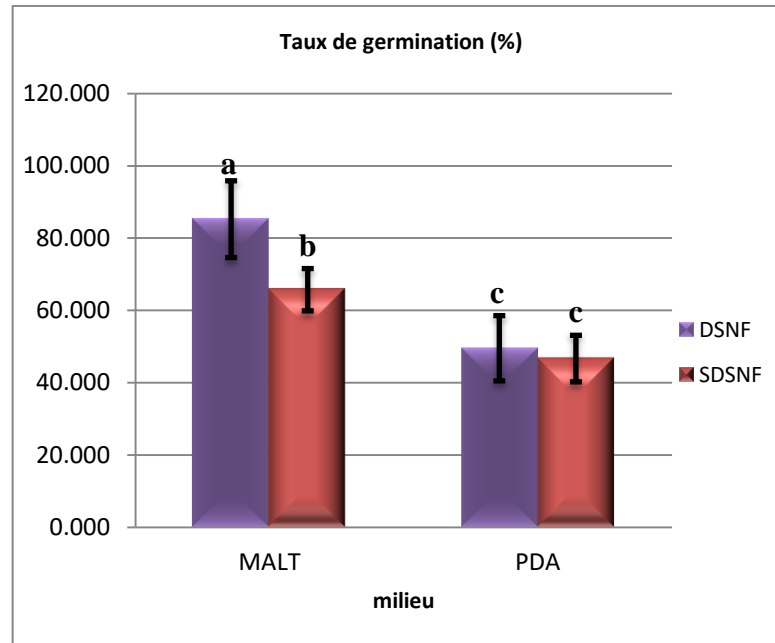
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

AZ24, P12 : souches de *Pseudomonas* spp.fluorescents
 TNB : témoin non bactériisé.

Figure 21. Effet de l'interaction entre facteur bactérie et facteur milieu sur le taux de germination

➤ Interaction entre facteur désinfection et facteur milieu

Les résultats d'analyse statistique, nous avons observé une différence très hautement significative ($P : 0.000$). Les taux de germination les plus élevés sont enregistrés sur le milieu malt avec désinfection ou sans désinfection et classés respectivement dans les groupes (abc) avec des taux de 85.23% et 65.71% et les plus faibles taux de germination sur milieu PDA avec désinfection ou sans désinfection avec des taux de 49.52% et 46.66% respectivement et classés dans le même groupe homogène (c) (Fig.22).



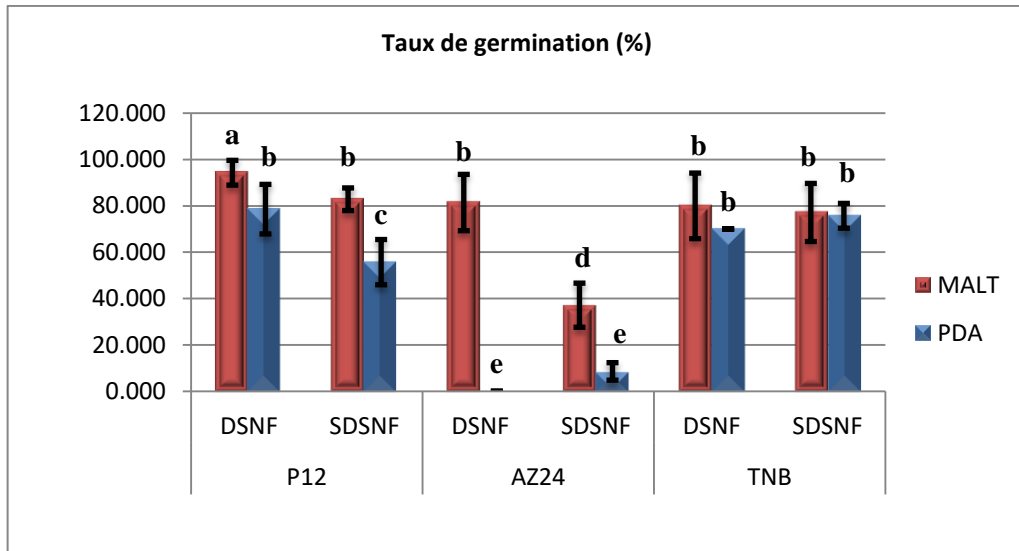
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

DSNT : avec désinfection, SDSNT : sans désinfection

Figure 22. Effet de l'interaction entre facteur désinfection et facteur milieu sur le taux de germination

➤ Interaction facteur entre facteur bactérie, facteur désinfection et facteur milieu

Selon les résultats sur la figure 23, le taux de germination est variable. Pour la souche P12 dans milieu malt avec désinfection a présenté la meilleure taux de 94.28% et classé dans le groupe homogène (a) et sans désinfection au groupe (B) par P12 avec désinfection malt avec une moyenne 82.85%, le groupe (B) détermine par les interactions avec désinfection malt, témoin non bactérisé avec désinfection sur malt, P12 avec désinfection sur PDA, témoin non bactérisé sans désinfection sur malt, témoin non bactérisé sans désinfection sur PDA et témoin non bactérisé avec désinfection sur PDA avec des moyenne de 81.42% à 70.00%, suivi par l'interaction P12 sans désinfection sur PDA qui classé dans le groupe (C) avec un taux 55.71%. L'interaction AZ24 sans désinfection sur malt enregistré une moyenne de 37.14% a été classé dans le groupe (D), la faible interaction AZ24 sans désinfection sur PDA (8.57%) puis AZ24 avec désinfection sur PDA (0.00%).



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

AZ24, P12 : souches de *Pseudomonas* spp.fluorescents, TNB : témoin non bactérié.
DSNF : avec désinfection, SDSNF : sans désinfection

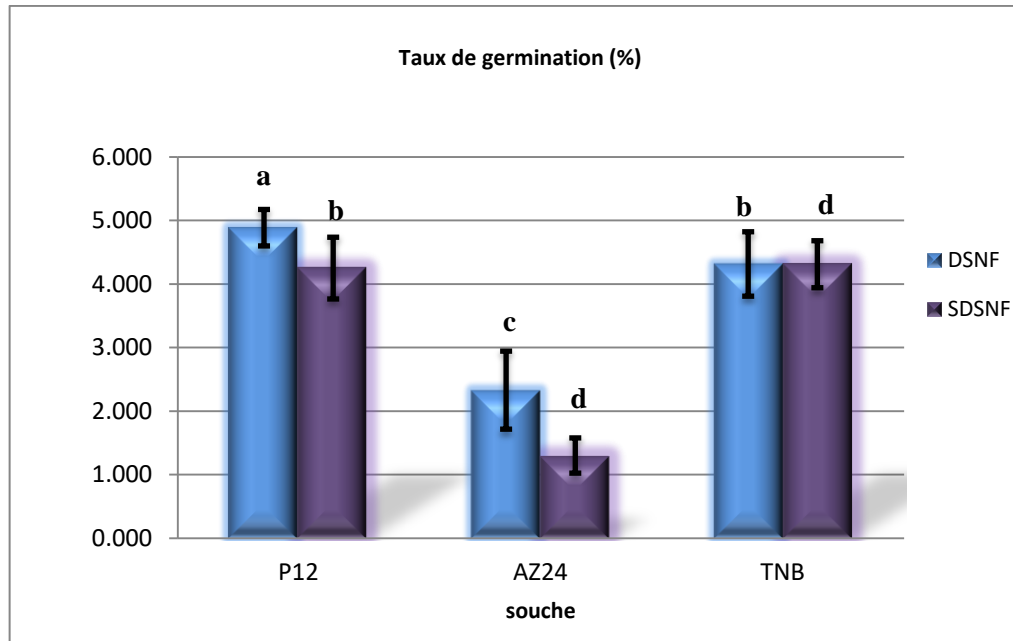
Figure 23. Effet de l'interaction entre bactérie, désinfection et milieu sur le Taux de germination

II.1.2. Longueur de racicules

Les analyses statistiques, des résultats ont montré une différence significative pour les paramètres de la longueur racinaire et la hauteur de tige pour les trois facteurs étudiés (bactérie, désinfection et milieu) et leur interaction.

➤ Interaction entre facteur bactérisation et facteur désinfection

Pour l'interaction de la souche P12 avec désinfection classé dans le groupe homogène (a) avec une moyenne de 4.88cm. Pour le témoin avec désinfections et la souche P12 sans désinfection classé dans le même groupe (b) avec des moyenne successive de 4.32 et 4.31 cm, suivi par la souche AZ24 avec désinfection classé dans le groupe (c) avec une moyenne de 2.32 cm et sans désinfection d'une moyenne 1.30 cm dans le groupe (d) (Fig.24).



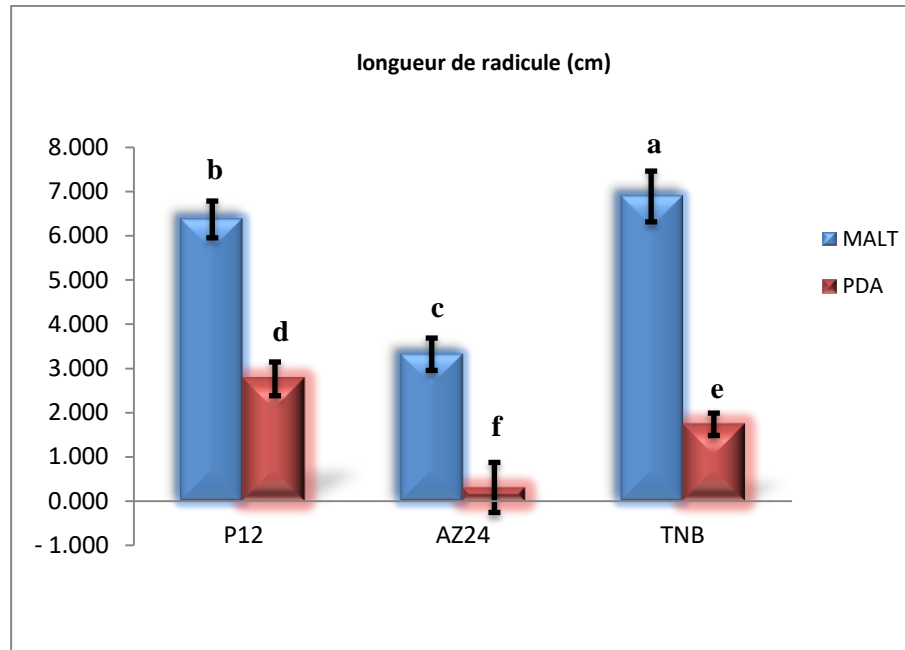
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

AZ24, P12 : souches de *Pseudomonas* spp.fluorescents, TNB : témoin non bactérié.
DSNF : avec désinfection, SDSNF : sans désinfection

Figure 24. Effet de l'interaction entre facteur bactériation et facteur désinfection sur la longueur de radicule

➤ Interaction entre facteur bactérie et facteur milieu

Le témoin non bactérié a donné l'effet le plus élevé dans le milieu malt qui est classé dans le groupe homogène (a) avec de moyenne de 6.89 cm et dans le milieu PDA est classé dans le groupe (e). Pour la souche P12 dans malt qui a été classé dans le groupe homogène (b) avec une moyenne de 6.37cm, classé dans le groupe (d) sur PDA avec de moyenne 2.76 cm, alors que le classement de l'interaction de la souche AZ24 et malt avec moyenne de 3.32 cm, au groupe (f) avec un moyenne de 0.30 cm correspondant à l'interaction de AZ24 et le milieu PDA (Fig.25)



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

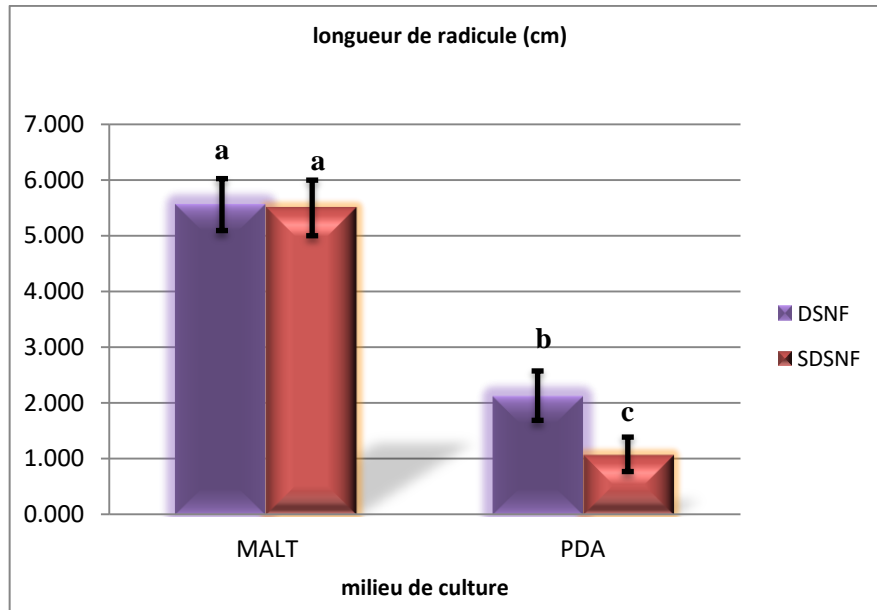
AZ24, P12 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents

TNB : témoin non bactérié.

Figure 25. Effet de l'interaction facteur bactérisation et facteur milieu sur la longueur de radicule

➤ Interaction entre désinfection et milieu

Les résultats ont été classés dans trois groupes homogènes. Pour le groupe homogène (a) déterminé par le milieu malt avec et sans désinfection a donné le meilleur résultat avec une moyenne respectivement 5.55 et 5.49 cm, suivi dans le groupe (b) par le milieu PDA avec désinfection avec une moyenne de 2.12 cm et dans le groupe (c) PDA sans désinfection avec une faible moyenne de 1.07 cm (Fig.26).



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

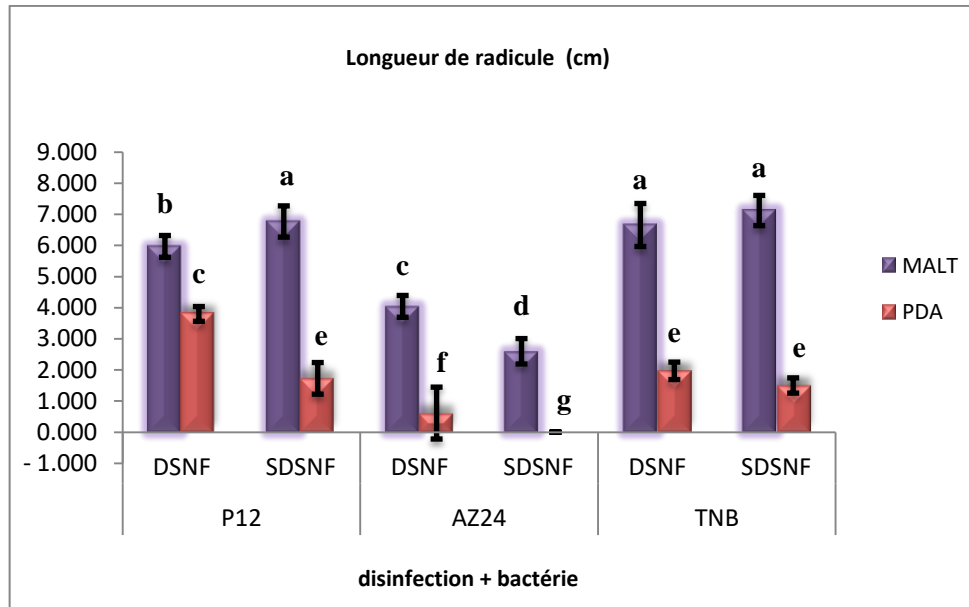
DSNT : avec désinfection, SDSNT : sans désinfection

Figure 26. Effet de l'interaction entre facteur désinfection et facteur milieu sur la longueur de racicules

➤ Interaction entre facteur bactérie, facteur désinfection et facteur milieu

D'après l'analyse de la variance, les résultats sur longueur de racicule très hautement significative ($P : 0.000$).

Selon nos résultats (figure 27), nous remarquons des meilleur résultats dans les premier trois interaction témoin non bactérisé sur malt, P12 sans désinfection sur malt et témoin non bactérisé sur PDA qui sont classé dans le groupe homogène (a) avec des moyenne successive 7.12, 6.77 et 6.65 cm, suivi le groupe (b) de l'interaction P12 avec désinfection sur malt avec une moyenne de 5.97 cm, dans le groupe (f) est classé l'interaction AZ24 sans désinfection sur PDA. Les autres interactions sont classé dans tout groupes homogènes (c, d, e).



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

AZ24, P12 : souches de *Pseudomonas* spp.fluorescents, TNB : témoin non bactérisé.
DSNF : avec désinfection, SDSNF : sans désinfection

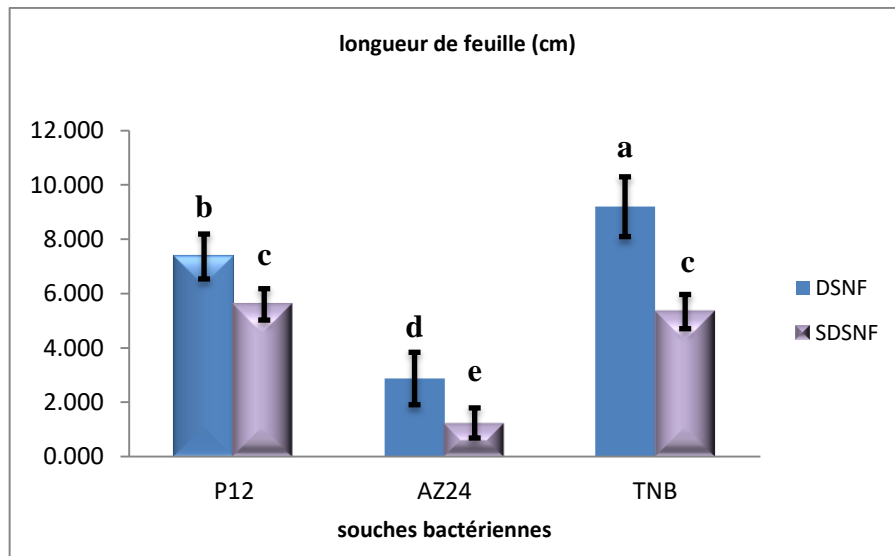
Figure 27. Effet de l'interaction entre facteur bactérisation, facteur désinfection et facteur milieu sur la longueur de radicule

II.1.3. longueur des feuilles

L'analyse de la variance réalisée sur les résultats de la longueur des feuilles a montré que les trois facteurs étudiés et leurs interactions ont une différence très hautement significative

➤ Interaction entre facteurs bactérisation et facteur désinfection

Pour cette interaction l'analyse de la variance, effectuée sur la longueur des feuilles a révélé un effet hautement significatif, la meilleure croissance en longueur des feuilles a été observée chez le témoin non bactérisé avec désinfection avec une longueur de 9.20 cm qui est classé dans le groupe homogène (a), suivi par les P12 avec désinfection d'une longueur de 7.37 cm qui est classé dans le groupe (b), la souche P12 et le témoin non bactérisé qui ont les deux sans désinfection classés dans le même groupe (c) avec respectivement des longueurs de 5.60 et 5.34 cm et la souche AZ24 avec désinfection dans le groupe (d) et sans désinfection dans le groupe (e) avec des longueurs respectives de 2.87 et 1.24 cm (Fig.28).



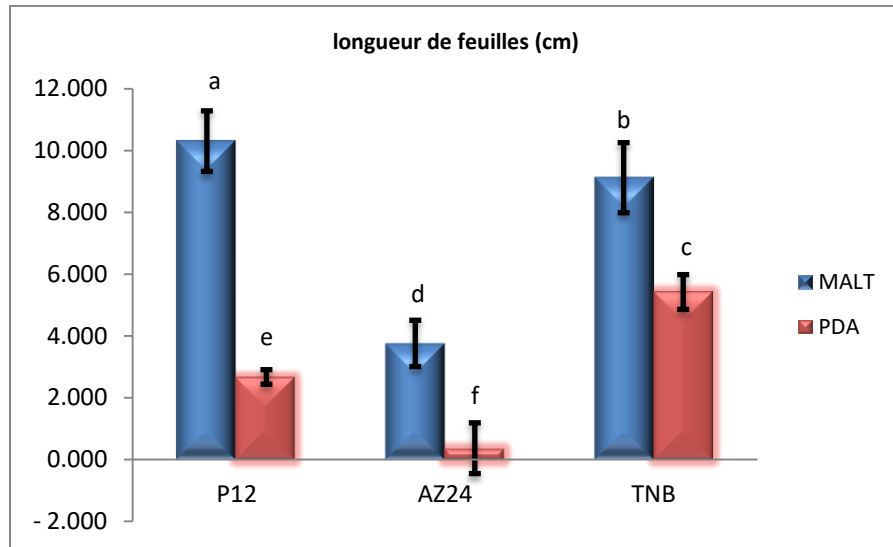
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

AZ24, P12 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents, TNB : témoin non bactérié.
DSNF : avec désinfection, SDSNF : sans désinfection

Figure 28. Effet de l'interaction entre facteur bactérisation et facteur désinfection sur la longueur des feuilles

➤ Interaction entre facteur bactérisation et facteur milieu

Selon nos résultats (figure 29), présentée en six groupes homogènes. Dans le groupe (A) classé la meilleure longueur de feuilles de 10.30 cm pour la souche P12 sur milieu malt, suivi dans les groupes homogènes (b) par le témoin non bactérié sur malt avec une longueur de feuilles de 9.12cm. La plus faible longueur a été obtenue par AZ24 PDA avec une moyenne de 0.36 cm.



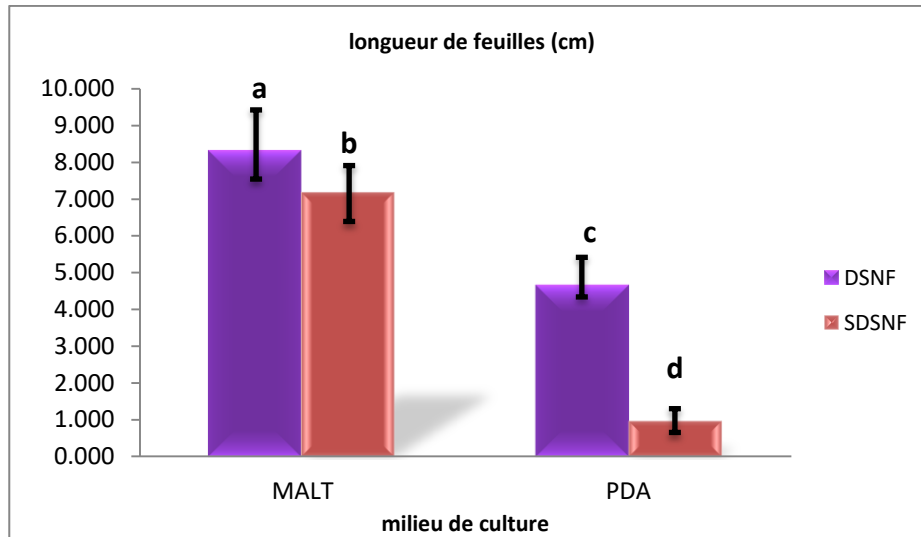
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

AZ24, P12 : souches de *Pseudomonas* spp.fluorescents
 TNB : témoin non bactérisé.

Figure 29. Effet de l'interaction entre facteur bactérisation et facteur milieu sur la longueur des feuilles

➤ Interaction entre facteur désinfection et facteur milieu

Les résultats de l'interaction entre facteur désinfection et facteur milieu ont montré une différence hautement significative qui sont classés en quatre groupes homogènes selon l'analyse de la variance avec une longueur de feuille de 8,30 cm enregistrée par le milieu malt avec désinfection, classé dans le groupe homogène (a). Cependant, le milieu malt sans désinfection est classé dans le groupe (b) avec une longueur de 7,15 cm. Le milieu PDA avec désinfection présente une longueur de 4,66 cm classé dans le groupe (c) et cependant une faible moyenne de longueur de feuille de 0,97 cm dans le milieu PDA sans désinfection (Fig.30).



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

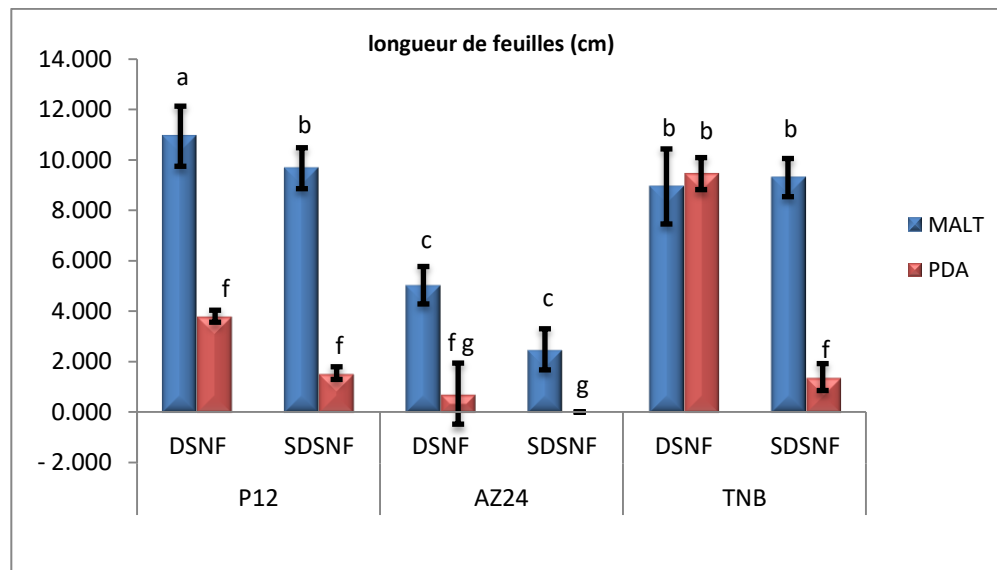
DSNT : avec désinfection, SDSNT : sans désinfection

Figure 30. Effet de l'interaction entre facteur désinfection et facteur milieu sur la longueur de feuilles

➤ Interaction entre facteur bactérisation, facteur désinfection et facteur milieu

A travers les résultats obtenues, nous constatons que l'effet de cet interaction sur la croissance de la feuille est très hautement significatif ($P : 0.000$). classé dans sept groupes homogène, le groupe (a) détermine par la souche P12 avec désinfection sur le milieu malt à donnée le meilleur résultat a une longueur de feuille 10.94 cm, dans le groupe (b) avec des longueur allons de 9.67 à 8.94 cm ont été classées les interaction P12 sans désinfecté sur malt, témoin non bactérisé avec désinfection sur PDA et témoin non bactérisé sans désinfection malt, suivi dans le groupe (c) où se trouvent l'interaction AZ24 avec désinfection malt avec une longueur de 5.02 cm, P12 avec désinfection sur PDA, AZ24 sans désinfection malt et P12 sans désinfection PDA classé dans les groupe respectivement (c d e) avec des moyenne successive 5.02, 380 et 2.48 cm.

P12 sans désinfection sur PDA et témoin non bactérisé sans désinfection sur PDA ont montré des résultats similaires (Classé dans le même groupe homogène f) avec des longueurs de feuille 1.54 et 1.38, AZ24 avec désinfection sur PDA a été classé dans les groupes (f g) d'une longueur de 0.72 cm. La plus faible moyenne a été obtenue par AZ24 sans désinfection sur PDA de 0.000 (Fig.31).



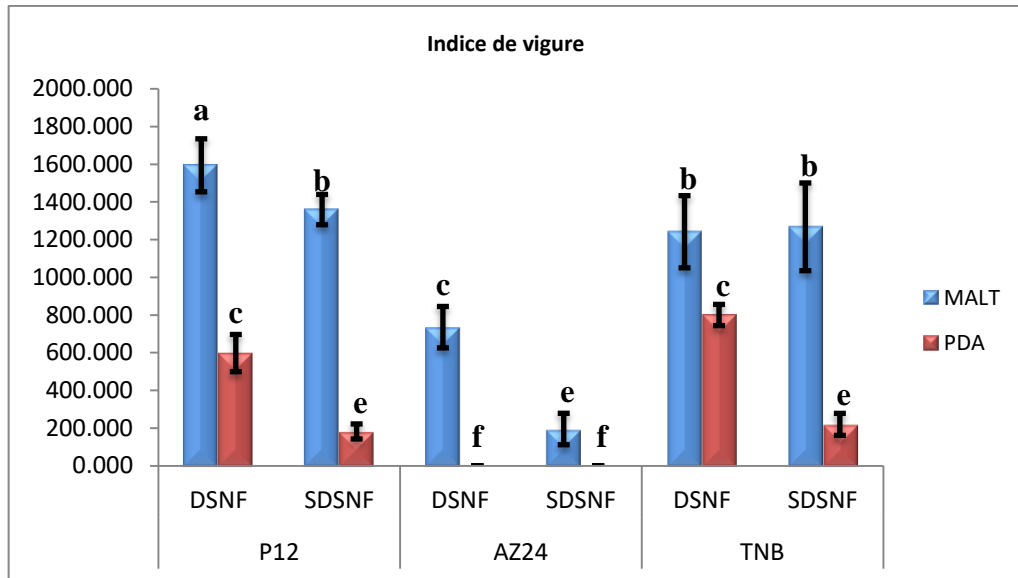
Les valeurs suivies de la même de la lettre appartient au même groupe homogène, selon le test de Newman-keuls ($\alpha = 5\%$).

AZ24, P12 : souches de *Pseudomonas* spp.fluorescents, TNB : témoin non bactérié.
DSNF : avec désinfection, SDSNF : sans désinfection

Figure 31. Effet de l'interaction entre facteur bactérisation, facteur désinfection et facteur milieu sur la longueur de feuilles

III. Indice de vigueur

L'analyse de la variance a donné une très hautement significative. Selon les résultats sur la figure 35 de l'indice de vigueur, dans l'interaction P12 avec désinfection malt enregistré la meilleur moyenne de 1594 qui classé dans groupe homogène (a) et le plus faible moyenne enregistré par les interactions AZ24 sans désinfection sur PDA et AZ24 avec désinfection sur PDA ont l'indice de vigueur est de 0 (Fig.32)



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

AZ24, P12 : souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents, TNB : témoin non bactérié.
DSNT : avec désinfection, SDSNT : sans désinfection

Figure 32. Effet de l'interaction entre facteur bactérisation, facteur désinfection et facteur milieu sur l'indice de vigueur

IV. Biocontrôle *in vitro* des champignons transmis par semences

• Taux de contamination de la semence

En ce qui concerne les résultats de l'essai de biocontrôle de l'état sanitaire de la semence du blé, nous n'avons pas enregistré de contamination pour la semence désinfectée, mais nous avons enregistré des taux de contamination sur la semence sans désinfection allons de 0 à 10%, où sur la semence bactériée par la P12 des taux de 2 et 9% enregistré respectivement sur PDA et Malt, et sur le témoin non bactériée (TNB) des taux de 10 et 2% enregistré respectivement sur PDA et Malt, tandis que sur la semence bactériée par la AZ24 aucune contamination n'a été observée (Tableaux 2). Des champignons appartenant aux genres *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Alternaria* et *Penicillium* ont été isolés et identifiés.

Tableaux 2 : Evaluation du taux de contamination par la microflore fongique totale (%)

Souche bactérienne	Sans désinfection		Avec désinfection	
	PDA	Malt	PDA	Malt
P12	2	9	0	0
AZ24	0	0	0	0
Témoin non bactérisé	10	2	0	0

II. Discussion

L'ensemble des souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents testées pour estimer leur effet antagoniste par confrontation directe vis-à-vis de deux champignons de *Fusarium* (*F. culmorum* et *F. graminearum*) ont donné des résultats positifs comparés aux champignons témoins avec des taux allant de 41.28 à 55.76%.

La souche la plus antagoniste contre le *F. culmorum* selon les analyses des variances est la souche P432 sur le milieu KB par un taux d'inhibition 52.97%. En outre, la souche P107 a été considérée comme la plus inhibitrice contre le *F. graminearum* sur le milieu MH.

Les *Pseudomonas*, principalement l'espèce *P. fluorescens*, sont connus depuis longtemps pour leur aptitude à réduire l'incidence des maladies racinaires, ainsi qu'à inhiber la croissance d'un grand nombre d'agents phytopathogènes *in vitro*. Cette capacité d'inhibition peut se faire selon plusieurs mécanismes incluant la production d'une large gamme de métabolites antagonistes. Elles pourraient s'associer à l'implication de sidérophores. La diffusion de ses molécules a accentué le déficit en fer au voisinage de la colonie bactérienne, en conduisant à l'inhibition de la croissance mycélienne à sa proximité. Les mêmes résultats sont signalés par (Albouvette *et al.*, 1998).

Leaong (1986) et Weller(1988) rapportent qu'en fixant les ions Fe^{+3} , les sidérophores limiteraient sa disponibilité pour le pathogène et par conséquent la suppression de leur croissance. Les phytopathogènes sont sensibles à la suppression par les sidérophores, de plus Weller et Cook(1983) avaient auparavant rapporté, que malgré l'importance de la production des sidérophores dans le biocontrôle, ce n'est probablement pas le seul mécanisme impliqué dans l'antagonisme.

Selon plusieurs auteurs les activités antagonistes peuvent être attribuées à la synthèse d'antibiotique et à d'autre type de métabolites secondaires à effet d'antibiose (; Lemanceau *et al.*,1988 ; Keel et Défago, 1991 ; Défago, 1993 ; Digat,1992 ; Keel *et al.*,1992 ; Whipps et Lymssen, 2001) et à la compétition pour les nutriments et pour l'espace (Bloemerg et Lugtenberg, 2001 ; Jetyanon et Kloepper, 2002 ; Persello-Cartieaux *et al.*,2003).

Les métabolites sécrétés par la bactérie peuvent agir sur le champignon phytopathogène comme fongistatique, inhibiteur de la germination des spores, fongicide ou en lysant le

mycélium (Gloud, 1990 ; Tarnawski, 2004). Selon Vining (1990), la production de ces métabolites secondaires s'effectue durant la phase stationnaire de la bactérie.

Les composés volatils tels que l'ammoniac et le cyanure d'hydrogène (HCN) sont produits par un grand nombre de rhizobactéries et jouent un grand rôle dans le biocontrôle en culture « in-vitro », la production de l'HCN peut inhiber la croissance de plusieurs agents phytopathogènes (Blumer *et al.*, 2000).

Voisard *et al.*, (1989) ont montré que la capacité de suppression de la pourriture noire de tabac causé par *Thielaviopsis basicola* semble être due principalement à la production d'HCN.

L'HCN inhibe le cytochrome oxydase de nombreux organismes. Les souches productrices possèdent une cytochrome oxydase alternative résistante à l'HCN, et sont relativement insensibles à ce dernier (Voisard *et al.*, 1989 ; Blumer et Haas, 2000).

La souche CHAO de *P. fluorescens*, agent de biocontrôle, colonisant les racines et protégeant de nombreuses plantes des maladies causées par les champignons telluriques (Voisard *et al.*, 1994). La production d'HCN par la souche CHAO est suppressive vis-à-vis de la pourriture noire du tabac causé par *Thielaviopsis basicola* (Sacherer *et al.*, 1994). GacA-mutant de la souche CHAO, défectueux en la production d'HCN, d'antibiotiques et d'exoenzymes, perd son habilité à protéger le tabac de la pourriture noire. D'autres parts, des mutants CHAO défectueux en HCN, sont moins effectifs dans le contrôle du take-all du blé. Alors, que la complémentation de ce mutant par des gènes *hcn+* clonés à partir de la souche sauvage restore l'habilité de biocontrôle (Voisard *et al.*, 1989).

Les autres métabolites qui peuvent intervenir dans l'antagonisme microbien peuvent être la compétition pour les nutriments, et pour l'espace (Lemanceau, 1992).

D'après les résultats obtenus, nous avons remarqué aussi que le facteur champignon est non significatif, ce qui signifie que ces deux *F. culmorum* et *F. graminearum* ont la même sensibilité vis-à-vis de ces bactéries.

D'après les résultats obtenus de l'essai de biostimulation de la germination et le contrôle de champignon transmis par cette semence effectuée sur la variété vitron du blé dur (*Triticum durum*) *in vitro*. Pour le test de phytostimulation de germination *in vitro*. D'après l'analyse de la variance de test de germination *in vitro*, nous avons enregistré des résultats hautement significatifs pour tous les facteurs étudiés. Kumar *et al.* (2012), ont montré que la plupart des

espèces de *Pseudomonas* spp. Isolées et testées ont un effet dans la promotion de la croissance des semis de sorgho. Parmi les isolats testés (69 sur 75) ont montré une augmentation de la longueur des racines. D'une manière générale les meilleurs résultats sont obtenus par la P12 sur malt avec des semences désinfectées à un taux de germination de 94%, et d'après les travaux de Djilali (2018) nos bactéries sont capables de la synthèse d'AIA. Cela signifie aussi que peut-être la souche P12 est capable de sécréter une phytohormone qui stimule légèrement la germination des graines. Car Les *Pseudomonas* spp. fluorescents sont des producteurs d'AAC-désaminase (Glick *et al.*, 1994). L'AAC-désaminase est une phytohormone capable de lever la dormance des graines. L'acide indole acétique 'AIA', présente un intérêt potentiel pour l'amélioration des rendements agricoles par stimulation de la croissance de la plante par stimulation la germination des semences, augmentant le développement des racines et le contrôle des processus de croissance végétative (Loper et Schroth, 1986 ; Spaepen *et al.*, 2007) et dans la prolifération des poils absorbants (Spaepen *et al.*, 2007). Abbass et Okon (1993), ont constaté que l'AIA ainsi que l'autre phytohormone seraient responsables de l'augmentation de la croissance de canola du blé et de la tomate. De même Van wess *et al.*, (2000), rapportent que la biostimulation induite par les PGPR est la conséquence de synthèse de métabolites secondaire analogues au phytohormones, telles que les gibbérellines, les cytokinines, les éthylènes et l'acide abscissique (Zahir *et al.*, 2004). Les cytokinines et les gibbérellines produites par les *Pseudomonas* sont impliquées dans la modification de la morphologie des plantes et dans la stimulation de développement de la partie aérienne (van Loon, 2007 ; Karnwal, 2009).

Les résultats obtenus de l'essai du contrôle de champignon transmis par semence, ont permis premièrement de confirmer l'efficacité de la désinfection par HgCl, deuxièmes de constaté que la microflore fongiques isolée sont que des contaminants superficielles (microflores fongiques externes) et non pas les vrais champignons transmis par semence (microflores fongiques internes) avec un taux global qui ne dépasse pas les 10%. Cependant, nous ne pouvons pas confirmer que cette semence est saine en se basant que sur les résultats obtenus, mais pour le faire il est préférable d'utiliser des milieux d'isolement plus spécifiques ainsi que d'autres essai.

Les résultats obtenus dans le test d'antagonisme et de phytostimulation, concordent avec ceux déjà obtenus dans plusieurs recherches réalisées par Benchabane, (2005) ; Toua *et al.*, (2013) ; Ouserir, (2009) ; Yala, (2016).

Nous avons constaté aussi que les souches testes P12 et AZ24 ont produit un biofilm bactérien sur le milieu de culture et aussi sur la semence, sachant que les mêmes souches avec la même concentration bactérienne ont été utilisé dans le travail de Logribi (2019) sur le milieu eau-agar où nous n'avons pas constaté la formation de biofilm apparent, cela peut être explique par la richesse des milieux de culture (PDA et Malt) utilise dans cet essai, alors que pour l'essai de Logribi la bactérie n'a aucune source que les exsudat sécrété par la graine. Selon les travaux de Mohamed et Gauter (1993) l'augmentation de la concentration de glucose dans le milieu de culture a induit une réduction des taux d'inhibition de certain champignon.

C'est vrai que nous n'avons pas observé l'apparition de champignons sur la semence bacterisé par l'AZ24, mais n'empêche qu'elle inhibe la germination, l'élongation des racicules et la formation de feuilles qu'a une influence sur l'indice de vigueur, surtout pour la semence sans désinfection nous pouvons déduire que la présence de l'autres micro-organismes à déclencher une compétition pour les nutriments et pour l'espace. Ces résultats nous orientent vers une autre piste de recherche.

Conclusion

Nous avons projeté de mettre en évidence l'effet bénéfique de certain PGPR, les *Pseudomonas* spp. fluorescents sur la stimulation de la croissance du blé et le biocontrôle de ses agents pathogènes transmis par semence.

Dans ce travail, Nous avons effectué l'étude sur huit (08) souches (AZ24, ASO2, P107, P12, P432, P212, T4 et T32) isolées des régions arides et semi-aride pour tester leur habilité de promotion de la germination et leur capacité d'antagonismes *in vitro*.

Pour l'essai de la confrontation directe *in vitro* contre deux champignons phytopathogènes *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum*, les huit souches ont montré une capacité d'antagoniste, la souche AZ24 a révélé une inhibition de la croissance mycélienne de l'agent pathogène testé et elle a marqué le taux le plus élevé par rapport aux autres souches testées.

Les résultats ont montré après l'analyse de la variance, pour le test de germination *in vitro* de taux de germination des graines de blé dur, la meilleure activité de stimulation de la germination a été enregistrée par la souche P12.

Nous prouvons conclure que nos souches ont une capacité à stimuler la germination des graines, si nous pouvons maîtriser la concentration de ces bactéries et les conditions de leurs applications.

Ces résultats montrent que nos souches de *Pseudomonas* spp. fluorescents, sélectionnés sur la base de leurs propriétés phénotypiques, métaboliques et écologiques reconnus dans l'antagonisme peuvent constituer un moyen de lutte biologique pour limiter l'utilisation d'intrants chimiques, pour stimuler et lutte contre les agent phytopathogène et pour faire suite à cette étude, plusieurs pistes de travail peuvent être envisages comme perspectives :

- ❖ Tester les souches AZ24 et P12 *in vivo* et *in situ* et même plein champ pour d'amélioré la croissance de la santé des plantes sur les plants agronomiques comme biofongicide ou biopesticide dans les cultures agricoles.
- ❖ Etudier l'effet de l'autres souches sur la germination des graines, dans un essai de biostimulation de la croissance de plantes cultivées et dans l'antagonisme.
- ❖ Etudier profondément les métabolites secrétés par ces souches.

*Références
bibliographiques*

Reference bibliographique

Adams, D. O., and Yang, F, 1979. Ethylene biosynthesis: identification of laminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 76, 170-174.

Alexander M. 1977. Introduction to soil microbiology, second edn. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Anderson TA, Guthrie EA, Walton BT (1993) Bioremediation in the rhizosphere. Environmental Science & Technology 27: 2630-2636. Anonyme:[http://le_sous-sol_biosol.free.fr/liens/rhizo2003/cadre_sous_sol .htm](http://le_sous-sol_biosol.free.fr/liens/rhizo2003/cadre_sous_sol.htm) consulté mai 2017.

Arora NK, Tewari S, Singh R, 2013. Multifaceted Plant-Associated Microbes and Their Mechanisms Diminish the Concept of Direct and Indirect PGPRs. In: Arora NK (ed.) Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances. Springer, 411-449

Askeland, R. A. and Morrison, S. M., 1983. Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas aeruginosa*. Appl. Environ. Microbiol. 45: 1802-1807.

Aurélié FAUGIER., (2010). Diversité bactérienne des sols : accès aux populations à effectifs moniritaires « the rare biosphere ». thèse, L'école doctorale électronique, électrotechnique, automatique de lyon, P156.

Bais HP, Weir TL, Perry LG, Gilroy S, Vivanco JM (2006) The role of root exudates in rhizosphere interations with plants and other organisms. Annual Review of Plant Biology 57:

233-266

Becker, J.O., et Cook, R.J. (1988). Role of siderophores in suppression of *Pythium* species and production on increased-growth response on wheat by Fluorescent Pseudomonads. Phytopathology 78, 778–782.

Bender, C., Rangaswamy, V., et Loper, J. (1999). Polyketide Production by Plant-Associated Pseudomonads. Annu. Rev. Phytopathol. 37, 175–196.

- Bitter, W., Marugg, J.D., Weger, L.A. de, Tommassen, J., et Weisbeek, P.J. (1991).** The ferric-pseudobactin receptor PupA of *Pseudomonas putida* WCS358: homology to TonB-dependent Escherichia coli receptors and specificity of the protein. *Mol. Microbiol.* 5, 647–655.
- Bell-Perkins, L. J., et J.M. Lynch. 2002.** Rhizosphere microbiology, p. 2713-2728. In G. Bitton (ed.), *Encyclopedia of environmental microbiology*, A Wiley-Interscience Publication, Canada.
- Bleecker, A.B., et H. Kende. 2000.** Ethylene: a gaseous signal molecule in plants. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 16: 1-18.
- Bloemberg GV, Wijfjes AHM, Lamers GEM, Stuurman N, Lugtenberg BJJ (2000)** Simultaneous imaging of *Pseudomonas fluorescens* WCS365 populations expressing three different autofluorescent proteins in the rhizosphere: New perspectives for studying microbial communities. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 13: 1170-1176.
- Blumer, C. and Haas, D., 2000.** Mechanism, regulation, and ecological role of bacterial cyanide biosynthesis. *Arch. Microbiol.* 173: 170-177.
- Bottini, R., Cassan F., et Picolli P. 2004.** Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 65:497-503.
- Blumer, C. and Haas, D., 2000.** Mechanism, regulation, and ecological role of bacterial cyanide biosynthesis. *Arch. Microbiol.* 173: 170-177.
- Braud A, Geoffroy V, Hoegy F, Mislin GLA, Schalk IJ (2010)** Presence of the siderophores pyoverdine and pyochelin in the extracellular medium reduces toxic metal accumulation in *Pseudomonas aeruginosa* and increases bacterial metal tolerance. *Environmental Microbiology Reports* 2: 419-425.
- Brimecombe, M. J., F.A. De Leij, et J.M. Lynch. 2007.** Rhizodeposition and microbial population, p. 74-98. In R. Pinto, Z. Varanini, P. Nannipierei (ed.), *The rhizosphere : biochemistry and organic substances at the soil-plant interface*. CRC Press. New York.
- Bruins MR, Kapil S, Oehme FW (2000)** Microbial resistance to metals in the environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 45: 198-207.

Campbell, R., & Greaves, M. P. (1990). Anatomy and community structure of the rhizosphere. *The rhizosphere.* :11-34 p.

Castric, P.A., 1977. Glycine metabolism by *Pseudomonas aeruginosa*: hydrogen cyanide biosynthesis. *J. Bacteriol.* 130: 826-831.

Claire Ferret., (2012). Rôle des *Pseudomonas* fluorescents dans la biodisponibilité des métaux contaminant les minéraux du sol: application à la phytoremédiation. Thèse, UNIVERSITÉ DE STRASBOURG, p265.

Chakraborty U, Chakraborty B, Basnet M (2006) Plant growth promotion and induction of resistance in *Camellia sinensis* by *Bacillus megaterium*. *Journal of Basic Microbiology* 46: 186-195

Clark RB, Zeto SK (1996) Growth and root colonization of mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 1505-1511.

Compant, S., B. Duffy, J. Nowak, C. Clément, et E. Ait Barka. 2005. Use of plant growthpromoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects. *Appl. Environ. Microbiol.* 71: 4951-4959.

Cooksey DA (1994) Molecular Mechanisms of Copper Resistance and Accumulation in Bacteria. *Fems Microbiology Reviews* 14: 381-386.

Curl EA, 1982. The rhizosphere: relation to pathogen behaviour and root disease. *Plant Dis* 66, 624-630.

Defago, G. 1993. 2,4-Diacetylphloroglucinol, a promising compound in biocontrol. *Plant Pathol.* 42: 311–312.

Digat B, Gaudillat M, Labadie JM (1990) Susceptibility of various tomato and lettuce genotypes to plantgrowthpromoting *Pseudomonas*. *Symbiosis* 9, 295-303

Dimkpa CO, Merten D, Svatos A, Buchel G, Kothe E (2009) Metal-induced oxidative stress impacting plant growth in contaminated soil is alleviated by microbial siderophores. *Soil Biology & Biochemistry* 41: 154-162.

Dobbelaere S, Vanderleyden J, Okon Y (2003) Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22: 107-149.

- Dwivedi, D., et Johri, B.N. (2003).** Antifungals from fluorescent *pseudomonads*: Biosynthesis and regulation. *Curr. Sci.* 85, 1693–1703.
- Foster RC, Rovira AD ,1978.** The ultrastructure of the rhizosphere of *Trifolium subterraneum* L. In: *Microbial ecology* (MW Loutit, JAR Miles, eds) Springer-Verlag, Berlin, 278-290.
- Garbeva P, van Veen JA, van Elsas JD (2004)** Assessment of the diversity, and antagonism towards *Rhizoctonia solani* AG3, of *Pseudomonas* species in soil from different agricultural regimes. *Fems Microbiology Ecology* 47: 51-64.
- Gardener, B.B.M., Schroeder, K.L., Kalloger, S.E., Raaijmakers, J.M., Thomashow, L.S., et Weller, D.M. (2000).** Genotypic and Phenotypic Diversity of phlD-Containing *Pseudomonas* Strains Isolated from the Rhizosphere of Wheat. *Appl. Environ. Microbiol.* 66, 1939–1946.
- Glick, R.B., Z. Cheng, et J. Czarny. 2007.** Promotion of plant growth by ACC de aminasproducing soil bacteria. *Eur. J. Plant Pathol.* 119: 329-339.
- Glick BR, Todorovic B, Czarny J, Cheng Z, Duan J, et al,2007.** Promotion of plant growth by bacterial ACC de aminase. *Crit Rev Plant Sci* 26: 227-242.
- Gobat J, Aragno M & Matthey W. 2003.** *Le sol vivant*, second edn. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010).** *Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols* (Vol. 14). PPUR Presses polytechniques.p 656.
- Gray, E.J., et Smith, D.L. (2005).** Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes. *Soil Biology & Biochemistry.* 37, 395–412.
- Haas, D., et C. Keel. 2003.** Regulation of antibiotic production in root-colonizing *Pseudomonas* spp. and relevance for biological control of plant disease. *Ann. Rev. Phytopathol.* 41: 117-153.
- Haas D., Défago G., 2005.** Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent *Pseudomonas*. *Nat. Rev. Microbiol.* 3: 307–319.

Haferburg G, Kothe E (2007) Microbes and metals: interactions in the environment. *Journal of Basic Microbiology* 47: 453-467.

Hall-Stoodley L, Costerton JW, Stoodley P (2004) Bacterial biofilms: From the natural environment to infectious diseases. *Nature Reviews Microbiology* 2: 95-108.

Hamadache, A. 2013. Element de phytotechnique générale-Grandes culture- Principaux itinéraires technique des principales espèces de grandes culture pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du Nord (agriculture conventionnelle) Tome I: Le blé, p.230.*graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 4: 195-209.*graminearum*,*F.pseudograminearum* and *F.culmorum* on cereals in Australia.

Hannauer M, Schafer M, Hoegy F, Gizzi P, Wehrung P, Mislin GLA, Budzikiewicz

H, Schalk IJ (2012) Biosynthesis of the pyoverdine siderophore of *Pseudomonas aeruginosa* involves precursors with a myristic or a myristoleic acid chain. *FEBS Letters* 586: 96-101.

Haynes, R.J., et R.S. Swift. 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *J. Soil Sci.* 41: 73–83.

Hernandez-Lucas, C., Royo, J., Paz-Ares, J., Ponz, F., GarciaOlmedo, F. and Carbonero, P., 1986. Polyadenylation site heterogeneity in mRNA encoding the precursor of the barley toxin a-hordothionin. *FEBS Lett.* 200: 103-105.

Hiltner L (1904) Über neuere Erfahrungen und Probleme auf Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Gründung und Brache. *Arb Dtsch Landwirtsch Ges Berlin* 98: 59-78.

Höfte M, Boelens J, Vestraete W (1991) Seed protection and promotion of seedling emergence by the plant growth beneficial *Pseudomonas* strain 7NSK2 and ANP15. *Soil Biol Biochem* 23, 407-410

Höfte, M., et N. Altier. 2010. Fluorescent *pseudomonads* as biocontrol agents for sustainable agricultural systems. *Res. Microbiol.* 161: 464-471.

Howell CR, Stipanovic RD (1980). Suppression of *Pythium ultimum* induced damping off of cotton seedlings by *Pseudomonas fluorescens* and its antibiotic, pyoluteorin. *Phytopathology* 70, 712-715

Jacques, P., P. Delfosse, M. Ongena, P. Lepoivre, P. Cornélis, N. Koedam, L. Neirinckx, et P. Thonart. 1993. Les mécanismes biochimiques développés par les *Pseudomonas fluorescens* dans la lutte biologique contre les maladies des plantes transmises par le sol. *Cahiers Agric.* 2 : 301-307.

Johansson JF, Paul LR, Finlay RD (2004) Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *Fems Microbiology Ecology* 48: 1-13

Jourdan, E., M. Ongena, et P. Thonart. 2008. Caractéristiques moléculaires de l'immunité des plantes induite par les rhizobactéries non pathogènes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12: 437-449.

Kamilova. F., S. Validov, T. Azarova, I. Mulders, et B. Lugtenberg. 2005. Enrichment for enhanced competitive plant root tip colonizers selects for a new class of biocontrol bacteria. *Environ. Microbiol.* 7: 1809–1817.

Keel, C., Weller, D.M., Natsch, A., Défago, G., Cook, R.J., et Thomashow, L.S. (1996). Conservation of the 2,4-diacetylphloroglucinol biosynthesis locus among fluorescent *Pseudomonas* strains from diverse geographic locations. *Appl. Environ. Microbiol.* 62, 552–563.

Khan, A. A., G. Jilani, M.S. Akhtar, S. M. S. Naqvi, et M. Rasheed. 2009. Phosphorus Solubilizing Bacteria: Occurrence, Mechanisms and their role in crop production. *J. agric. biol. sci.* 11: 48-58.

Kim, K.Y., D. Jordan, et G. A. McDonald. 1998. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. *Biol. Fertil Soils.* 26: 79-87.

Kloepper, J.W. and Schroth, M.N., 1978. Plant growthpromoting rhizobacteria on radishes. In: 4th Int. Conf. Plant Pathogen. Bacteria. Angers France, 2: 879-882.

Kloepper JW, Schroth MN, Miller TD (1980). Effects of rhizosphere colonization by plant growth promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. *Phytopathology* 70, 1078-1082.

Kloepper JW, (1993). Plant growth promoting rhizobacteria as biological control agents, I: soil Microbial Ecology, (Ed) F.B.J, Metting. Marcel Dekker inc ., N,y,p:225-273p.

Kloepper J.W., Schroth M.N., 1981. Plant growth promoting rhizobacteria and plant growth under gnotobiotic conditions .*Phytopathology* .71 :642-664

Kloepper JW, Scher FM, Laliberte M, Tipping B (1986) Emergence-promoting rhizobacteria: description and implications for agriculture. In: Iron, siderophores and plant diseases (TR Swinburne, ed) NATO ASI Series A, Life Sci, Plenum Press, New York, 351, 155-164.

Krafczyk, I., Trollenier, G., et Beringer, H. 1984. Soluble root exudates of maize: influence of potassium supply and rhizosphere microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 16(4), 315-322.

Kuffner M, Puschenreiter M, Wieshammer G, Gorfer M, Sessitsch A ,2008. Rhizosphere bacteria affect growth and metal uptake of heavy metal accumulating willows. *Plant Soil* 304: 35- 44.

Kumar P, Dubey RC ,2012. Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Biocontrol of Phytopathogens and Yield Enhancement of *Phaseolus vulgaris*. *J CurrPersApplMicrobiol* 1: 6-38

Latour X, Philippot L, Corberand T, Lemanceau P (1999) The establishment of an introduced community of fluorescent *Pseudomonads* in the soil and in the rhizosphere is affected by the soil type. *Fems Microbiology Ecology* 30: 163-170.

Lawton JH, Jones CG (1995) Linking species and ecosystems. Organisms as ecosystems engineers. In Jones CG and Lawton JH (Eds) *Linking Species and Ecosystems* Chapman and Hall Inc 9 pp.

Lemanceau P, Alabouvette C (1991) Biological-control of *Fusarium* diseases by fluorescent *Pseudomonas* and nonpathogenic *Fusarium*. *Crop Protection* 10: 279-286

Lemanceau, P. 1992. Effets bénéfiques de rhizobactéries sur les plantes : exemple des *Pseudomonas* spp. *fluorescents*. *Agronomie*. 12: 413-437.

Lemanceau P., 1992. Beneficial effects of rhizobacteria on plants : exemple of fluorescent *Pseudomonas* spp. *Agronomie*, 12: 413-437.

Lewis, T.A., Cortese, M.S., Sebat, J.L., Green, T.L., Lee, C.-H., et Crawford, R.L. (2000). A *Pseudomonas stutzeri* gene cluster encoding the biosynthesis of the CCl₄-dechlorination agent pyridine-2,6-bis(thiocarboxylic acid). *Environ. Microbiol.* 2, 407–416.

Linda S. Thomashow, David M. Weller, Robert F. Bonsall, and Leland S. Pierson, 1990. Production of the Antibiotic Phenazine-1-Carboxylic Acid by Fluorescent *Pseudomonas* Species in the Rhizosphere of Wheat. U.S. Department of Agriculture, Washington State University. 56(4)pp 908–912.

Loper, J.E. (1988). Role of Fluorescent siderophore production in biological control of *Pythium ultimum* by a *Pseudomonas fluorescens* strain. *Phytopathology* 78, 166–172.

Lugtenberg BJJ, Dekkers L, Bloemberg GV (2001) Molecular determinants of rhizosphere colonization by *Pseudomonas*. *Annual Review of Phytopathology* 39: 461.

Lugtenberg B, Kamilova F (2009) Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology* 63: 541-556.

Lynch, J. M., & Leij, F. (1990). *Rhizosphere*. John Wiley & Sons, Ltd.

Ma Y, Prasad MNV, Rajkumar M, Freitas H (2011) Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnology Advances* 29: 248-258

MacMillan, J. 2002. Occurrence of gibberellins in vascular plants, fungi, and bacteria. *J. plant Growth Regul.*, 20:387-442.

Mercado-Blanco, J., Drift, K.M.G.M. van der, Olsson, P.E., Thomas-Oates, J.E., Loon, L.C. van, et Bakker, P.A.H.M. (2001). Analysis of the pmsCEAB Gene Cluster Involved in Biosynthesis of Salicylic Acid and the Siderophore Pseudomonine in the Biocontrol Strain *Pseudomonas fluorescens* sWCS374. *J. Bacteriol.* 183, 1909–1920.

- Meyer, J.-M. (2000).** Pyoverdines: pigments, siderophores and potential taxonomic markers of fluorescent *Pseudomonas* species. *Arch. Microbiol.* 174, 135–142.
- Mitter, N., AC. Srivastava, AS. Renu, AK. Sarbhoy et DK. Agarwal 2002.** Characterization of gibberellins producing strains of *Fusarium moniliforme* based on DNA polymorphism. *Mycopathologia* 153:187-193.
- Moore, E.R.B., B.J. Tindall, V.A.P. Martins Dos Santos, D.H. Pieper, J.L. Ramos, et N.J. Palleroni. 2006.** Nonmedical: *Pseudomonas*, p.646-703. In M. Dworkin, S. Falkow, E. Rosenberg, K. H. Schleifer, et E. Stackebrandt (ed.), *Prokaryotes*, Springer, USA.
- Mossialos, D., Meyer, J.-M., Budzikiewicz, H., Wolff, U., Koedam, N., Baysse, C., Anjaiah, V., et Cornelis, P. (2000).** Quinolobactin, a New Siderophore of *Pseudomonas fluorescens* ATCC 17400, the Production of Which Is Repressed by the Cognate Pyoverdine. *Appl. Environ. Microbiol.* 66, 487–492.
- MuneesAhemad,MulugetaKibret , 2014.**Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective, *Journal of King Saud University – Science*, January Volume 26, Issue 1, Page 1–20.
- Nemouchi Sara & Oulefki Louiza, (2017).** Étude de la rhizosphère de trois plantes dans quelques régions d’Algérie. *Mémoire, Université A. MIRA – Bejaia*, p35.
- Nowak-Thompson, B., Gould, S.J., et Loper, J.E. (1997).** Identification and sequence analysis of the genes encoding a polyketide synthase required for pyoluteorin biosynthesis in *Pseudomonas fluorescens* Pf-5. *Gene* 204, 17–24.
- Nowak-Thompson, B., Chaney, N., Wing, J.S., Gould, S.J., et Loper, J.E. (1999).** Characterization of the Pyoluteorin Biosynthetic Gene Cluster of *Pseudomonas fluorescens* Pf-5. *J. Bacteriol.* 181, 2166–2174.
- O’Sullivan, D.J., et F. O’Gara. 1992.** Traits of fluorescent *Pseudomonas* spp. involved in suppression of plant root pathogens. *Microbiol. Rev.* 56: 662-676.
- PAF(2017).**interactions plantes /micro-organismes à travers quelques exemples. Université de bourgogne, UFR SVTE claire OLIVE.

- Parmar P, Sindhu SS ,2013.** Potassium Solubilization by Rhizosphere Bacteria: Influence of Nutritional and Environmental Conditions. *J Microbiol Res* 3: 25-31.
- Paul, E. A., & Clark, F. E. (1996).** Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. *Soil microbiology and biochemistry*, 2 : 58-179p.
- Pujic, P., et P. Normand. 2009.** La symbiose racinaire entre la bactérie *Frankia* et les plantes actinorhiziennes. *Biofutur*. 298: 26-29.
- Rabhi N., (2011).** Isolement de *Pseudomonas* spp. *fluorescents* d'un sol salé. Effet d'osmoprotecteurs naturels. *Memoir, UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF*, p111.
- Ramey BE, Koutsoudis M, von Bodman SB, Fuqua C (2004)** Biofilm formation in plant microbe associations. *Current Opinion in Microbiology* 7: 602-609.
- Ranjard L & Richaume A. 2001.** Quantitative and qualitative microscale distribution of bacteria in soil. *Res Microbiol*. 152: 707-716.
- Read DJ, Perez-Moreno J (2003).** Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems - a journey towards relevance? *New Phytologist* 157: 475-492
- Rogers J.R., Bennett, P.C. and Choi, W.J., 1998,** Feldspars as a source of nutrients for microorganisms. *American Mineralogy*, 83, 1532-1540.
- Sacherer, P., Défago, G. and Haas, D., 1994.** Extracellular protease and phospholipase-C are controlled by the global regulatory gene *gacA* in the biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* CHA0. *FEMS Microbiol. Lett.* 116 (2): 155-160.
- Salma Taktek ,2015.** Dissolution biologique des phosphates : Interaction bactéries – mycorrhizes. Thèse de doctorat . université LAVAL québec Canada.
- Sakthivel, N. and Gnanamanickal, S.S., 1987.** Evaluation of *Pseudomonas fluorescens* for Suppression of Sheath Rot Disease and for Enhancement of Grain Yields in Rice (*Oryza sativa* L.). *Appl. Environ. Microbiol.* 53(9):2056- 2059.
- Schroth MN, Hancock JG ,1981.** Selected topics in biological control. *Annu Rev Microbiol* 34, 453-476 Schroth MN, Hancock JG ,1982. Disease suppressive soil and root colonizing bacteria. *Science* 216, 1376-1381.

- Schroth, M.N., Hildebrand, D.C. and Panopoulos, N., 1992.** Phytopathogenic pseudomonads and related plant-associated pseudomonads. In: *The Prokaryotes* (MP Balows, ed), Springer-Verlag, New York, pp. 3104-3131.
- Scott JA, Palmer SJ (1990)** Sites of cadmium uptake in bacteria used for biosorption. *Applied Microbiology and Biotechnology* 33: 221-225.
- Shilev S ,2013.** Soil Rhizobacteria Regulating the Uptake of Nutrients and Undesirable Elements by Plants. Chappitre5 plant microbe symbiosis fundamentals and advance naveenkumararora editor.
- Souza, J.T.D., Mazzola, M., et Raaijmakers, J.M. (2003).** Conservation of the response regulator gene *gacA* in *Pseudomonas* species. *Environ. Microbiol.* 5, 1328–1340.
- Suslow TV, Schroth MN (1982)** Role of deleterious rhizobacteria as minor pathogens in reducing crop growth. *Phytopathology* 72, 111-115.
- Sylvie Rebuffat et Séverin Zirah.,(2018).** Biodiversité et rôles des bactéries du sol. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 87 (12): 4576–4579.
- Tien, T.M., Gaskins, M.H., et Hubbell, D.H. (1979).** Plant Growth Substances Produced by *Azospirillum brasilense* and Their Effect on the Growth of Pearl Millet (*Pennisetum americanum* L.). *Appl. Environ. Microbiol.* 37, 1016–1024.
- Tilak, K.V.B.R., N. Ranganayaki1, K.K. Pal, R. De, A.K. Saxena, C.S. Nautiyal, Shilpi Mittal, A.K. Tripathi, et B.N. Johri. 2005.** Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Curr. Sci.* 89: 136-150.
- Tokala, R. K., J.L. Strap, C.M. Jung, D.L. Crawford., H. Salove, L.A. Deobald, F.J. Bailey, et M.J. Morra. 2002.** Novel plant microbe rhizosphere interaction involving *S. lydicus* WYEC108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Appl. Environ. Microbiol.* 68: 2161-2171.
- Trevors JT, Stratton GW, Gadd GM (1986)** Cadmium transport, resistance, and toxicity in bacteria, algae, and fungi. *Canadian Journal of Microbiology* 32: 447-464.
- Van Loon, L.C. 2007.** Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *Eur. J. Plant Pathol.* 119: 243-254.

VAN DER HEIJDEN M.G.A., BARDGETT R.D., VAN STRAALLEN N.M., 2009. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecol. Lett.* 11: 296-310.

Voisard, C., Bull, C.T., Keel, C., Laville, J., Maurhofer, M., Schnider, U., Défago, G. and Haas, D., 1994. Biocontrol of root diseases by *Pseudomonas fluorescens* CHA0: current concepts and experimental approaches. In: *Molecular Ecology of Rhizosphere Microorganisms*,. Edited by F. O'Gara, D. Dowling and B. Boesten. Weinheim: VCH, pp. 67–89.

Voisard, C., Keel, C., Haas, D. and Défago, G., 1989. Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* helps suppress black root rot of tobacco under gnotobiotic conditions. *EMBO J.* 8: 351-358.

Wissing, F., 1974. Cyanide formation from oxidation of glycine by a *Pseudomonas* species. *J. Bacteriol.* 117: 1289-1294

Walker TS, Bais HP, Deziel E, Schweizer HP, Rahme LG, Fall R, Vivanco JM (2004) *Pseudomonas aeruginosa*-plant root interactions. Pathogenicity, biofilm formation, and root exudation. *Plant Physiology* 134: 320-331.

Weller, D.M. and Cook, R.J., 1983. Suppression of take-all of wheat by seed treatment with fluorescent pseudomonads. *Phytopathol.* 73: 463–469.

Weller D. M., 1988. Biological control of soil borne pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Ann Rev Phytopathol.* 26:379–407.

Weller D.M., Raaijmakers J., Mcsandden Gardener B.B et Thomashaw L.S.2002. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness plant pathogens. *Annu.Rev .Phtopathol.*, 40 : pp.309-348.

Weyens, N., S. Monchy, J. Vangronsveld, S. Taghavi, et D. Vander Lelie. 2010. PlantMicrobe Partnerships, p. 254- 2564 . In K.N. Timmis (ed.), *Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Williams, P.M., et De Mallorca, M.S. (1982). Abscisic acid and gibberellin-like substances in roots and root nodules of *Glycine max.* *Plant Soil* 65, 19–26.

Whipps J.M., Lumsden R.D., 2001. Commercial use of fungi as plant disease biological control agents: status and prospects. In: Butt, T.M., Jackson, C., Magan, N. (Eds.), Fungi as Biocontrol agents. Progress, Problems and Potential. CABI Publishing, Wallingford, pp. 9-22.

White RE. 2006. Principles and practice of soil science. The soil as a natural resource. . Fourth edn: Blackwell Publishing.

Whipps J.M., LUMSDEN R.D., 2001. Commercial use of fungi as plant disease biological control agents: status and prospects. In: Butt, T.M., Jackson, C., Magan, N. (Eds.), Fungi as Biocontrol agents. Progress, Problems and Potential. CABI Publishing, Wallingford, pp. 9-22.

Williams, PM., Sicardi M. de Mallorca 1982. Abscisic acid and gibberellins-like substances in root nodule of *Glycine max.* *Plant Soil* 65:19-26.

Yang. J, J.W. Kloepper, et C.M. Ryu. 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Sci.*4:1-4

Annexes

Annexe 1 : les milieu de culture

Milieu de King B

- ✓ King B 37 g
- ✓ Glycérol 10 ml
- ✓ Eau distillée 1000 ml

Milieu de PDA (potato dextrose agar)

- ✓ Extrait de pomme de terre 200 g
- ✓ Glucose 20 g
- ✓ Agar-agar 18 g
- ✓ Eau distillée 1000 ml

Milieu de TSA (trytic-soy-agar)

- ✓ TSA 40 g
- ✓ Glycine 10 ml
- ✓ Eau distillée 1000 ml

Milieu de MH

- ✓ MH 38 g
- ✓ Eau distillée 1000 ml

Milieu de MALT

- ✓ Agar-agar 18 g
- ✓ Eau distillée 1000 ml
- ✓ Extrait de malt 20g

Annexe 2 : analyse de variance taux d'inhibition

• *F. culmorum*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	5150.027	191	26.963		
Var.FACTEUR 1	301.113	7	43.016	11.858	0.000
Var.FACTEUR 2	1460.116	3	486.705	134.164	0.000
Var.FACTEUR 3	845.922	1	845.922	233.185	0.000
Var.INTER F1*2	1078.926	21	51.377	14.163	0.000
Var.INTER F1*3	271.479	7	38.783	10.691	0.000
Var.INTER F2*3	154.566	3	51.522	14.202	0.000
Var.INTER F1*2*3	573.560	21	27.312	7.529	0.000
VAR.RESIDUELLE 1	464.344	128	3.628		

• *F. graminearum*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	11288.980	191	59.105		
Var.FACTEUR 1	1028.781	7	146.969	80.998	0.000
Var.FACTEUR 2	429.863	3	143.288	78.969	0.000
Var.FACTEUR 3	4270.659	1	4270.659	2353.662	0.000
Var.INTER F1*2	1346.277	21	64.108	35.332	0.000
Var.INTER F1*3	911.885	7	130.269	71.795	0.000
Var.INTER F2*3	1846.494	3	615.498	339.216	0.000
Var.INTER F1*2*3	1222.770	21	58.227	32.090	0.000
VAR.RESIDUELLE 1	232.253	128	1.814		

Annexe 3 : analyse de variance taux germination

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	77432.143	83	932.917		
Var.FACTEUR 1	37864.286	2	18932.143	252.429	0.000
Var.FACTEUR 2	2629.762	1	2629.762	35.063	0.000
Var.FACTEUR 3	15744.048	1	15744.048	209.921	0.000
Var.INTER F1*2	1673.810	2	836.905	11.159	0.000
Var.INTER F1*3	8873.810	2	4436.905	59.159	0.000
Var.INTER F2*3	1458.333	1	1458.333	19.444	0.000
Var.INTER F1*2*3	3788.095	2	1894.048	25.254	0.000
VAR.RESIDUELLE 1	5400.000	72	75.000		

- **Radiculaire**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	512.916	83	6.180		
Var.FACTEUR 1	129.655	2	64.828	307.810	0.000
Var.FACTEUR 2	6.491	1	6.491	30.819	0.000
Var.FACTEUR 3	323.597	1	323.597	1536.477	0.000
Var.INTER F1*2	3.744	2	1.872	8.888	0.000
Var.INTER F1*3	17.103	2	8.552	40.604	0.000
Var.INTER F2*3	5.175	1	5.175	24.573	0.000
Var.INTER F1*2*3	11.987	2	5.994	28.459	0.000
VAR.RESIDUELLE 1	15.164	72	0.211		

- **Feuille**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	1353.231	83	16.304		
Var.FACTEUR 1	442.203	2	221.101	317.346	0.000
Var.FACTEUR 2	122.936	1	122.936	176.449	0.000
Var.FACTEUR 3	506.172	1	506.172	726.506	0.000
Var.INTER F1*2	21.844	2	10.922	15.676	0.000
Var.INTER F1*3	78.289	2	39.144	56.184	0.000
Var.INTER F2*3	33.668	1	33.668	48.324	0.000
Var.INTER F1*2*3	97.955	2	48.978	70.298	0.000
VAR.RESIDUELLE 1	50.164	72	0.697		

- **FG+FC**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	11268.527	255	44.190		
Var.FACTEUR 1	294.152	7	42.022	7.764	0.000
Var.FACTEUR 2	493.260	3	164.420	30.379	0.000
Var.FACTEUR 3	2841.690	1	2841.690	525.042	0.000
Var.FACTEUR 4	0.233	1	0.233	0.043	0.831
Var.INTER F1*2	1019.146	21	48.531	8.967	0.000
Var.INTER F1*3	426.005	7	60.858	11.244	0.000
Var.INTER F1*4	551.047	7	78.721	14.545	0.000
Var.INTER F2*3	584.119	3	194.706	35.975	0.000
Var.INTER F2*4	940.686	3	313.562	57.935	0.000
Var.INTER F3*4	477.313	1	477.313	88.190	0.000
Var.INTER F1*2*3	759.551	21	36.169	6.683	0.000
Var.INTER F1*2*4	478.572	21	22.789	4.211	0.000
Var.INTER F1*3*4	391.375	7	55.911	10.330	0.000
Var.INTER F2*3*4	769.468	3	256.489	47.390	0.000
Var.INT.F1*2*3*4	549.134	21	26.149	4.831	0.000
VAR.RESIDUELLE 1	692.776	128	5.412		

- **Indice de vigueur**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	26139074.696	83	314928.611		
Var.FACTEUR 1	8548037.216	2	4274018.608	333.002	0.000
Var.FACTEUR 2	1777049.920	1	1777049.920	138.455	0.000
Var.FACTEUR 3	12309240.241	1	12309240.241	959.050	0.000
Var.INTER F1*2	12644.947	2	6322.474	0.493	0.619
Var.INTER F1*3	1356149.821	2	678074.910	52.831	0.000
Var.INTER F2*3	35559.772	1	35559.772	2.771	0.096
Var.INTER F1*2*3	1176284.924	2	588142.462	45.824	0.000
VAR.RESIDUELLE 1	924107.854	72	12834.831		