



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : TEGGARI Amina

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

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : AMELIORATION DES PLANTES ET BIOTECHNOLOGIE

Thème

**Caractérisation de quelques souches d'actinobactéries et
biocontrôle de la pourriture racinaire du blé dur (*Triticum
durum* Desf) causée par *Bipolaris sorokiniana***

Soutenu le: 19 juin 2017

Jury de soutenance:

Nom et Prénom	Grade	Qualité
AMRANI Ouarda	Maître Assistant "A"	Président
MARFOUA Meriem	Maître Assistant "A"	Examineur
Dr. GOUDJAL Yacine	Maître de Conférences "A"	Encadreur
BOUKAYA Nassira	Maître Assistant vacataire	Co-encadreur

Session : Juin 2017



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



جامعة عمار ثليجي - الأغواط

كلية العلوم
قسم العلوم الفلاحية

مذكرة ماستر

تقديم الطالبة : تقاري آمنة

ميدان : علوم الطبيعة و الحياة

شعبة : العلوم الفلاحية

تخصص : تحسين النبات و البيوتكنولوجيا

موضوع البحث

تشخيص بعض سلالات الأكتينوبكتيريا والمكافحة البيولوجية للعفن الجذري
للقمح الصلب (*Triticum durum* Desf) الناجمة عن *Bipolaris sorokiniana*

تاريخ المناقشة:
19 جوان 2017

أعضاء لجنة المناقشة:

الاسم و اللقب	الدرجة العلمية	الصفة
عمراني وردة	أستاذ مساعد " أ "	رئيسا
مرفوعة مريم	أستاذ مساعد " أ "	ممتحن
د. قوجال ياسين	أستاذ محاضر " أ "	مقرر
بوقاية نصيرة	أستاذ مساعد مؤقت	مساعد مقرر

دفعة : جوان 2017

Sommaire

	Page :
Résumé.....	I
ملخص.....	II
Abstract.....	III
Dédicaces	IV
Remerciements	V
Liste des tableaux.....	VI
Liste des figures.....	VII
Liste des abréviations.....	X
Introduction.....	02
Partie I. Revue bibliographique	
1. Généralités sur le blé	05
1.1.Origine géographique du blé dur	05
1.2.Description générale de la plante	05
1.3.Taxonomie et classification du blé dur	07
1.4. Production du blé dans le monde et en Algérie.....	07
1.5.Les facteurs limitant la production du blé dur	09
1.6.Les principales maladies de blé dur.....	09
1.6.1. Maladies foliaires	10
1.6.2. Maladies liées au sol	11
1.6.3. Helminthosporiose	13
1.7.Dépistage et lutte	14
1.7.1. Dépistage	15
1.7.2. Moyens de lutte	16
2. L'agent phytopathogène <i>Bipolaris sorokiniana</i>	16
2.1.Généralités.....	16
2.2.Les symptômes	17
2.3.La gamme d'hôtes	19
2.4.La variabilité des agents phytopathogènes	19
2.5. La survie	20
2.6.Cycle biologique de <i>Bipolarissorokiniana</i>	21
3. Biocontrôle	22

3.1.Activités antagonistes	22
3.1.1. Compétition pour le fer et production des sidérophores.....	22
3.1.2. Les enzymes lytiques	24
4. La promotion de la croissance des plantes par les bactéries bénéfiques.....	24
4.1.Effet bénéfiques des bactéries PGPB.....	24
4.2.Solubilisation des phosphate inorganiques	25
4.3.Production des phytohormones (AIA)	25
5. Actinobactéries	26
5.1.Définition et principales caractéristiques	26
5.2.Historiques	27
5.3.Classification des actinobactéries	28
5.4.Cycle de développement.....	30
5.5.Physiologie et écologie	31
5.6.Importance des actinobactéries.....	32
5.6.1. Dans le domaine agronomique	32
4.6.2. Dans la lutte biologique	32
5.7.Biopesticides à base d'actinobactéries.....	32
a/ Mycostop®	32
b/Actinovate®	33
Partie II. Matériel et méthodes	
1. Matériel végétal	36
1.1. Le blé	36
1.2. Caractéristiques de la variété Vitron	36
2. Matériel biologique	37
2.1. Les souches d'actinobactéries.....	37
2.1.1. Test du pouvoir colonisateur racinaire	37
2.1.2. Test d'antibiose	38
2.1.3. Production d'HCN	39
2.1.4. Test de production des sidérophores	40
2.1.5. Solubilisation des phosphates inorganiques.....	40
a). Solubilisation des phosphates en milieu solide	41
b).Solubilisation des phosphates en milieu liquide	41
2.1.6. Production de l'acide indole-3-acétique (AIA).....	41

2.1.6.1. Chromatographie sur couche mince (CCM)	42
2.1.7. Test de production des protéases	43
2.1.8. Test de production des chitinases	43
2.1.9. Production des cellulases	43
2.2. L'agent phytopathogène <i>Bipolaris sorokinia</i>	43
2.2.1. Isolement et purification du champignon.....	43
2.2.2. Test de pathogénécité des isolats de <i>Bipolaris sorokinia</i>	45
2.3. Biocontrôle <i>in vitro</i> de <i>Bipolaris sorokinia</i>	47
2.3.1. Désinfection superficielle et traitement des semences	47
2.3.2. Préparation des suspensions de spores	47
2.3.3. Sérénade : agent de lutte biologique	48
2.3.4. Agent de lutte chimique	49
2.4. Traitement des graines du blé	49
2.5. Analyses statistiques.....	50
Partie III. Résultats et discussions	
1. Identification préliminaire des genres des isolats d'actinobactéries endophytes	52
2. Test du pouvoir colonisateur racinaire	53
3. Mécanismes de biocontrôle et de l'effet PGPB	54
3.1. Mécanismes liés au biocontrôle	54
3.1.1. Test d'antibiose	54
3.1.2. Production de l'HCN	55
3.1.3. Production des sidérophores	57
3.2. Mécanismes liés à l'effet PGPB	58
3.2.1. Solubilisation des phosphates inorganiques	58
3.2.2. Production de l'acide indole-3-acétique (AIA)	60
3.2.2.1. Chromatographie sur couche mince (CCM)	62
3.3. Production des enzymes lytiques	62
3.3.1. Production des protéases	62
3.3.2. Production des chitinases	64
3.3.3. Production des cellulases	65
4. Purification de l'agent phytopathogène <i>Bipolaris sorokiniana</i>	66
4.1. Caractérisation de <i>Bipolaris sorokiniana</i>	67

4.2. Résultats du test de pathogénéicité	67
4.3. Résultats du test de biocontrôle <i>in vitro</i> de <i>Bipolaris sorokinia</i>	69
4.3.1. Taux de germination <i>in vitro</i> des graines de blé	69
4.3.2. Incidence de la pourriture racinaire du blé	70
5. Effet PGPB des actinobactéries	71
5.1. Effet PGPB sur des plantules de blé non infectées par <i>B. sorokiniana</i>	71
5.2. Effet PGPB sur des plantules de blé infectées par <i>B. sorokiniana</i>	72
Conclusion	74
Références bibliographiques	77

Remerciements

Je rends grâce à **Dieu** Tout-Puissant pour Sa miséricorde sans Lui rien n'aurait été possible.

Arrivée au bout du chemin de mon mémoire, je prends quelque temps pour regarder en arrière et voir un peu ce trajet que j'ai parcouru pendant toute une année afin d'exprimer tous mes remerciements, et si j'y arrive, mes sentiments à ceux qui m'ont accompagné et soutenu jusqu'à ce point précis.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance et ma gratitude à mon encadreur Monsieur **Dr. GOUDJAL Yacine**, Maître de Conférences "A" à l'Université Amar THELIDJI (Laghouat), pour la confiance qu'il m'a témoignée pour la réalisation de ce modeste travail, ses compétences techniques, pour le temps qu'il m'a consacré pour diriger ce mémoire. Son savoir et sa grande expérience dans le domaine des actinobactéries ont fortement contribué à la réalisation de ce mémoire.

Mes sincères remerciements à Mlle BOUKAYA Nassira (co_encadreur), pour son aide inestimable et ses précieux conseils.

Je tiens à exprimer ma très grande considération à Mme AMRANI Ouarda maître Assistant "A" à l'Université Amar THELIDJI (Laghouat), d'avoir accepté de présider ce jury.

Je remercie également Mme MARFOUA Meriem maître Assistant "A" à l'Université Amar THELIDJI (Laghouat), d'avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie aussi tous les ingénieurs de laboratoire du département d'agronomie pour leurs aides durant nos travaux au niveau du laboratoire surtout Aicha, Fatima, Zahra, Halima.

Enfin mes remerciements à tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce travail, et ont été soucieux de notre réussite.

Merci à tous...

TEGGARI Amina

Thème : Caractérisation de quelques souches d'actinobactéries et biocontrôle de la pourriture racinaire du blé dur (*Triticum durum* Desf) causée par *Bipolaris sorokiniana*

Résumé

Notre étude a pour objectif de tester *in vitro*, quatorze souches d'actinobactéries endophytes, qui ont été isolées de plantes spontanées de la région de Laghouat. L'identification préliminaire a révélé que la majorité des souches appartient au genre *Streptomyces*. L'activité antifongique de toutes les souches a été étudiée vis-à-vis de *Bipolaris sorokiniana*, le meilleur résultat était donné par les souches *Streptomyces* ML2, SN2 et TL8. Leurs capacité à produire l'HCN et les enzymes lytiques se traduit par la diminution de l'incidence de la maladie jusqu'à 35,6 % par rapport à un agent de lutte chimique (Devadent[®]) et à un agent de lutte biologique (Sérénade[®]).

Quant à la promotion de la croissance, l'ensemble des souches d'actinobactéries ont été testées pour la production d'AIA, et pour la solubilisation de trois formes de phosphate inorganique. Les mesures ont été portées sur le taux de germination des graines du blé, la longueur des racines et des tiges, et sur le poids frais et sec des plantules. Les résultats montrent que les meilleures souches sont ML2, SN2, TL8, MB29 et DN19, qui ont pu favoriser l'élongation des racines (170 mm) et de la tige (151,38 mm) des plantules du blé. Ces souches ont tous la capacité à produire l'AIA.

Les résultats de ce travail ont permis de classer la souche ML2 comme la meilleure souche pour la promotion de la croissance et comme agent de biocontrôle *in vitro* avec 64,4 % de plantules saines, par rapport au témoin positif (56 %), au Devadent (55,2%) et au Sérénade[®] (16,4%).

Mots clé : Actinobactéries endophytes, Biocontrôle, Pourriture racinaire, *Bipolaris sorokiniana*, promotion de la croissance, *Triticum durum*.

العنوان : تشخيص بعض سلالات الأكتينوبكتيريا و مكافحة البيولوجية للعفن الجذري للقمح الصلب
(*Triticum durum* Desf) الناجمة عن *Bipolaris sorokiniana*

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تجربة 14 سلالة من الأكتينوبكتيريا endophytes المعزولة من النباتات التلقائية. أثبت الكشف الأولي أن معظم السلالات تنتمي إلى النوع *Streptomyces*. تم اختبار النشاط المضاد للفطريات لجميع السلالات ضد *Bipolaris sorokiniana*، لقد لوحظ أفضل نشاط عند السلالات *Streptomyces* SN2، ML2 و TL8 ، و تتمثل قدرة هذه السلالات على إنتاج HCN والأنزيمات التحليلية في تخفيض تأثير المرض حتى نسبة 35.6 % مقارنة بعامل مكافحة كيميائي (Devadent) و بعامل مكافحة بيولوجي (Sérénade®).

بالنسبة إلى تعزيز نمو القمح، فقد تم اختبار جميع السلالات من أجل إنتاج هرمون AIA، وتحليل ثلاثة أشكال من الفوسفات غير العضوي. العوامل التي تم قياسها هي نسبة إنبات بذور القمح، طول الجذور والساق، وزن النباتات الرطب والجاف. أظهرت النتائج أن أحسن السلالات هي SN2 ، ML2 ، TL8 ، MB29 و DN19 والتي قد تمكنت من تعزيز إطالة جذور (170 مم) وسيقان (151,38 مم) نباتات القمح. كل هذه السلالات لها القدرة على إنتاج AIA.

سمحت نتائج هذه الدراسة بتصنيف السلالة ML2 كأفضل سلالة من أجل تعزيز نمو النباتات و كعامل للمكافحة البيولوجية حيث قدرت نسبة النباتات السليمة ب 64,4 % مقارنة مع ال مراقبة الإيجابية (56%)، Devadent (55,2%) و Sérénade® (16,4%).

الكلمات المفتاحية: الأكتينوبكتيريا endophytes ، مكافحة بيولوجية، عفن الجذور، *Bipolaris sorokiniana*، تعزيز النمو، *Triticum durum*.

Title: Characterization of some actinobacterial strains and biocontrol of root rot of durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) caused by *Bipolaris sorokiniana*

Summary:

Our study aims to test *in vitro*, fourteen strains of endophytic actinobacterial isolated from the spontaneous plants from Laghouat region. The preliminary identification revealed that most strains belonged to the genus *Streptomyces*. The antifungal activity of all the strains was studied against *Bipolaris sorokiniana*, the shoing antagonistic activities have been shown with better result was given by the strains *Streptomyces* sp. ML2, SN2 and TL8. Their capacity to produce the cyanhydric acid and lytic enzymes is translated by the decrease of the control chemical agent to the (Devadent[®]) and to the biocontrôle agent (Serenade[®]).

As for growth promotion, all the strains of actinobacteria were tested for the AIA production, and for the solubilization of three forms of inorganic phosphate. Measurements concerned germination rate of wheat seeds, root and stem length, and on the fresh and dry weight of seedlings.

The results showed that the best strains were ML2, SN2, TL8, MB29 and DN19, that were able to enhance root elongation (170 mm) and stem (151,38 mm) of wheat seedlings. All these strains have the ability to produce the AIA.

The strain *Streptomyces* sp. ML2 showed promising biocontrol and plant growth promoting activities. The healthy seedlings rate was 64,4 % compared to the positive control (56%), Devadent[®] (55,2%) and Serenade[®] (16,4%).

Keywords: Endophytic actinobacteria, Biocontrol, Root rot, *Bipolaris sorokiniana*, Plant Growth Promotions, *Triticum durum*.

Liste des tableaux

	Page
Tableau 01. Les principales maladies des céréales	11
Tableau 02. Quelques champignons du sol qui attaquent le blé	12
Tableau 03. Maladies propagées aux céréales par la culture précédente dans le cadre d'une rotation	14
Tableau 04. Quelques caractéristiques agronomiques de la variété VITRON	36
Tableau 05. Caractéristiques morphologiques des actinobactéries endophytes.....	52
Tableau 06. Production d'HCN par les isolats d'actinobactéries.....	56
Tableau 07. Résultats du test de production des sidérophores par les actinobactéries et de leur croissance sur milieu AIM.....	57
Tableau 08. Résultats de la solubilisation de différentes sources des phosphates inorganiques par les isolats d'actinobactéries	58
Tableau 09. Résultats de la solubilisation de différentes sources des phosphates inorganiques par les isolats d'actinobactéries sur milieu liquide.....	59
Tableau 10. Résultats du test de production de l'AIA sur milieu YT et réaction des souches d'actinobactéries en contact avec le réactif de Salkowski.....	61
Tableau 11. Résultats de production des protéases	63
Tableau 12. Résultats du test de production des chitinases sur milieu CC.....	64
Tableau 13. Résultats de la production des cellulases par les isolats d'actinobactéries.....	66

Liste des figures

	Page:
Figure 01. Morphologie des graminées (exemple du blé).....	06
Graphique 01. La production et consommation mondiale du blé dur	07
Graphique 02. Les superficies emblavées et récoltées en blé dur en Algérie Bilan de la campagne céréalière 2014/2015	08
Graphique 03. La production nationale des céréales lors de la campagne 2014/2015.	09
Figure 02. Modèles de développement de différentes maladies durant tout le cycle végétatif du blé	10
Figure 03. Racines de blé infectées par <i>Bipolaris sorokiniana</i> (à gauche), comparées à des racines saines (à droite)	12
Figure 04. Collet et entre-noeuds de blé atteints de <i>Fusarium roseum</i>	12
Figure 05. Maladie du Take-all (pourriture racinaire sévère) causée par <i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i> (Ggt).....	12
Figure 06. L'apparition précoce d'épis blancs	12
Figure 07. Représentant les symptômes de la pourriture racinaire sur causée <i>Bipolaris sorokiniana</i> : (A) sur feuilles de blé, (B) sur collet de blé, (C) taches noires sur graines de blé comparés à des graines saines (D)	18
Figure 08. Cycle biologique de <i>Bipolaris sorokiniana</i> (forme parfaite sexuée : <i>Cochliobolus sativus</i>)	21
Figure 09. Fonctions biologiques des sidérophores	23
Figure 10. Interactions entre les plantes et les bactéries coopératives (PGPR) dans la rhizosphère	25
Figure 11. Rôle de l'acide indole-3-acétique dans l'amélioration de la croissance végétale	26
Figure 12. Principaux groupes d'actinobactéries	28
Figure 13. Différents types de chaînes de spores chez les actinobactéries spores endogènes (A) spores exogènes, (B)	29
Figure 14. Cycle de développement des <i>Streptomyces</i> sur milieu solide	31
Figure 15. Exemple d'un biofongicide à base de <i>Streptomyces griseovirdis</i> K61 et <i>S. lydicus</i> WYEC 108 (Mycostop®)	33
Figure 16. Exemple d'un biofongicide à base de spores de <i>Streptomyces lydicus</i> (WYEC 108) (Actinovate®)	34
Figure 17. Trempage des plantules dans les suspensions des spores des différents isolats d'actinobactéries.....	37
Figure 18. Transplantation des plantules dans la perlite blanche stérile.....	38
Figure 19. Coupure et dépôt de racines de blé dans des boîtes de Pétri contenant le milieu ISP2	38
Figure 20. La méthode de stries croisées pour le test d'antibiose.....	39
Figure 21. Photographies montrant quelques étapes expérimentales des tests de production d'HCN.....	40

Figure 22. Photographies montrant quelques étapes expérimentales du test de production de l'acide indole-3-acétique (AIA).....	41
Figure 23. Photographies montrant quelques étapes expérimentales représentant la centrifugation et la mesure de la Densité Optique (DO) à l'aide du Spectrophotomètre	42
Figure 24. Symptômes de <i>Bipolaris sorokinia</i> sur la feuille (A) et sur le collet respectivement (B) de plant de blé	44
Figure 25. Étapes d'isolement des échantillons (feuille et collet) présentant des symptômes typiques de <i>Bipolaris sorokinia</i> . (A : découpage de l'échantillon, B : désinfection des échantillons, C : dépôts sur milieu PDA)	44
Figure 26. Feuille saine de blé incubée dans l'eau gélosée	45
Figure 27. Fragments de feuille de blé incubées dans la chambre humide en présence des spores de <i>Bipolaris sorokinia</i>	46
Figure 28. Graines de blé déposées sur coton imbibé en tube à essai.....	46
Figure 29. Photographie montrant quelques étapes de la désinfection superficielle des graines de blé.....	47
Figure 30. Photographie montrant quelques étapes de préparation et de l'ajustement des suspensions des spores à l'aide de la cellule de Thomas.....	48
Figure 31. Sérénade® (<i>Bacillus subtilis</i> souche QST73).....	49
Figure 32. Incubation des graines de blé dans le phytotron	50
Figure 33. Aspect macroscopique de quelques isolats d'actinobactéries du genre <i>Streptomyces</i>	53
Figure 34 a. Ré-isolement des actinobactéries endophytes à partir des racines de blé...	54
Figure 34 b. Plantule de blé saine, inoculée artificiellement par les actinobactéries endophytes.....	54
Figure 34 c. la croissance des actinobactéries ré-isolées des racines des plantules du blé sur milieu ISP2	54
Figure 35. Photographies montrant les souches présentant un effet d'antibiose sur <i>Bipolaris sorokiniana</i> (A : MB29, B : TL8), C : souche AR1 qui ne présente pas un effet antibiose sur <i>Bipolaris sorokiniana</i> et D : la mesure de la zone d'inhibition obtenu par la souche MB29.....	55
Figure 36. Production d'HCN par les isolats d'actinobactéries. A : apparition d'une couleur rouge orange sur les extrémités de la bande indique une production d'HCN. B : Absence de la production d'HCN.....	56
Figure 37. L'apparition de zone claire (halo) autour des colonies d'actinobactéries	

cultivées sur milieu CAS bleu agar.....	58
Figure 38. Couleur du surnageant des cultures après l'ajout de réactif de Salkowski...	61
Figure 39. Résultat du test obtenu de la Chromatographie sur couche mince de l'AIA produit par la souche ML2.....	62
Figure 40. Photographie représentant la présence d'un halo clair autour des colonies d'actinobactéries cultivées sur milieu SMA	64
Figure 41. Aspect cultural d'une colonie purifiée de <i>Bipolaris sorokiniana</i> sur milieu PDA.....	66
Figure 42. Photographie représentant la germination bipolaire d'une spore de <i>Bipolaris sorokiniana</i> observée au microscope optique (G*400).....	67
Figure 43. Résultats du test de pathogénéicité sur feuilles saines de blé dur	68
Figure 44. Résultats du test de pathogénéicité sur des graines	68
Figure 45. Histogrammes représentant l'effet de différents traitement des graines sur le taux de germination en culture <i>in vitro</i>	69
Figure 46. Histogrammes représentant l'incidence de la pourriture racinaire du blé causée par <i>Bipolaris sorokiniana</i>	70
Figure 4. Histogrammes représentant le poids frais et le poids sec des plantules de blé.....	71
Figure 48. Histogrammes représentant la longueur des tiges et des racines des plantules de blé	71
Figure 49. Histogrammes représentant le poids frais et le poids sec des graines de blé traitées par les actinobactéries et infectées par <i>Bipolaris sorokiniana</i>	72

Liste des abréviations

AIA :	Acide indole-3-acétique
CCM :	Chromatographie sur couche mince
ISP :	International <i>Streptomyces</i> Project
PGPB :	<i>Plant-Growth-Promoting Bacteria</i>
PGPR :	<i>Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria</i>
PVK :	Pikovskaya
SMA :	Skim Milk Agar
UFC :	Unité formatrice de colonies
YT :	Yeast extract-Tryptone
rpm	Retour par minute

Introduction

A l'échelle mondiale, les céréales occupent une place primordiale dans le système agricole (Slama *et al.*, 2005). Elles constituent les plantes les plus cultivées au monde par la superficie et par le volume récolté (Pastre et Roa, 1993).

Le blé occupe la première place quant à l'occupation des terres agricoles, à la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines (Bajji, 1999). Le blé est une céréale importante en termes de consommation intérieure dans de nombreux pays du monde (Feillet, 2000).

En Algérie, les céréales occupent environ 80 % de la superficie agricole utile (SAU) du pays (Djermoun, 2009). Selon le ministère de l'Agriculture, du développement rural et de la pêche (2015), la production céréalière en Algérie, s'est établie à 37,5 millions de quintaux pour la campagne 2014/2015, en hausse de 10% par rapport à la campagne 2013/2014.

Le blé dur, comme toutes les plantes cultivées, peut subir l'attaque de nombreux bioagresseurs dont les champignons phytopathogènes qui causent des maladies sur tous les organes de la plante (Lepoivre, 2003). Les pourritures racinaires entraînent une diminution importante du rendement, elles sont provoquées par plusieurs champignons telluriques dont les *Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Bipolaris spp* souvent répandues dans toutes les régions céréalières algériennes (Sayoud *et al.*, 1999).

À court terme, les traitements chimiques présentent de bons résultats dans l'amélioration des rendements agricoles et dans la maîtrise des ressources alimentaires, mais à long terme, leur action secondaire sur l'environnement devient inquiétante (Vanachter *et al.*, 1983).

Parmi les alternatives à la lutte chimique, le recours vers la protection biologique est devenu un outil incontournable permettant de protéger les cultures sans nuire à la santé et à l'environnement, parce qu'elle fait appel à des antagonistes naturels, et parce qu'elle met en jeu des mécanismes complexes, difficiles à contourner par le parasite (Sayoud *et al.*, 1999).

Parmi les agents antagonistes qui colonisent les sols, les actinobactéries endophytes occupent une place importante. Ces microorganismes ont une grande capacité de produire des substances antimicrobiennes et d'entrer en compétition spatiale et nutritionnelle avec les agents phytopathogènes (Vanachter *et al.*, 1983).

L'importance des actinobactéries a de tout temps été soulignée dans divers domaines: dans le domaine industriel, dans le domaine médical et vétérinaire, dans l'agriculture et l'agro-alimentaire, etc (Verma, 2009).

Les actinobactéries, surtout celles qui ont une structure mycélienne, sont réputées pour la production d'antibiotiques, en particuliers le genre *Streptomyces* qui sécrète près de la moitié des antibiotiques naturels d'origine microbienne (Vanachter *et al.*, 1983) mais aussi d'autres genres que l'on retrouve peu fréquemment ou parfois même rarement (Sayoud *et al.*, 1999).

Les chercheurs s'évertuent à isoler perpétuellement de nombreuses souches d'actinobactéries de divers milieux, surtout des milieux où les conditions de vie sont très difficiles (sols salés, sols alcalins, sols acides, marais salants, sols pollués par du pétrole, etc.), en vue de découvrir de nouveaux taxons et également de nouvelles molécules bioactives ayant des activités intéressantes (Vanachter *et al.*, 1983).

La recherche des actinobactéries productrices de molécules bioactives se fait par des screening, parfois à grande échelle, pour espérer trouver les souches sécrétant des composés très intéressants et capables de faire face à la résistance de plus en plus croissante et inquiétante des microorganismes pathogènes aux antibiotiques, phénomène qui a pris de l'ampleur durant ces dernières années (Huttner *et al.*, 2013).

Notre travail s'intègre dans ce contexte, dont l'objectif est d'étudier l'implication de quelques souches d'actinobactéries isolées à partir des plantes spontanées de la région de Laghouat dans la promotion de la croissance de blé dur (*Triticum durum*), et de mettre en évidence leurs propriétés antagonistes *in vitro* sur la croissance mycélienne de l'agent phytopathogène *Bipolaris sorokiniana* responsable de la pourriture racinaire du blé dur. Ainsi que d'évaluer leur potentiel de biocontrôle *in vitro* de *B. sorokiniana* en comparant avec les agents de lutte couramment utilisés *Sérénade*[®] et *Dévadent*[®].

Partie I : Revue bibliographique

1. Généralités sur le blé

1.1. Origine géographique du blé dur

La culture du blé est très ancienne où on trouve ses traces dès le néolithique (Moule, 1980). Le blé a été cultivé 2700 ans avant notre ère en Chine. Les civilisations babyloniennes et égyptiennes se sont développées autour du blé (Moule, 1980).

Le centre d'origine géographique du blé dur est le Moyen-Orient, mais il s'est différencié dans trois centres secondaires : l'ouest du bassin méditerranéen, le sud de la Russie et le Proche-Orient (Grignac, 1977). Toutefois, l'Algérie a été considérée comme centre de diversification secondaire du blé dur (Erroux, 1974). L'espèce *Triticum durum* se subdivise en trois sous espèces qui sont *europaeum*, *syriacum* et *méditerranaeum* (Grignac, 1977).

Vavilov cité par Erroux et Laumont (1961) situe l'origine du blé dur en Abyssinie, ce dernier considérait trois centres d'origine distincts pour les trois groupes d'espèces du genre *Triticum* :

- Le foyer Syrien et nord Palestinien pour le groupe diploïde ;
- Le foyer Abyssinien pour la diversification des blés tétraploïdes ;
- Le foyer Afghano-Indien pour la diversification des blés hexaploïdes.

L'Algérie se trouvant à proximité de ce centre primaire d'origine, la diversification et le polymorphisme considérable de l'espèce blé dur dans nos régions ont invité Vavilov à considérer l'Afrique du nord comme centre secondaire d'origine du *Triticum durum*.

Grignac (1978), désigne, quant à lui, le Moyen-Orient comme l'origine géographique où coexisteraient les espèces parentales. Selon le même auteur, c'est à partir de cette zone d'origine que l'espèce s'est différenciée vers trois différentes régions : le bassin occidental de la méditerranée, le sud de l'ex URSS et le proche orient, chaque centre de différenciation donne des caractères morphologiques et physiologiques particuliers.

1.2. Description générale de la plante

Le blé dur (*Triticum durum* sp. *durum*) est une plante annuelle du genre *Triticum*. En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante après le blé tendre. Leur famille comprend 600 genres et plus de 5000 espèces (Feillet, 2000).

Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (Soltner, 1998).

Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (Bozzini, 1988).

Le blé dur possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entre nœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines. Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale (Bozzini, 1988). Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions, de croissance et de la densité de plantation (Clark *et al.*, 2002).

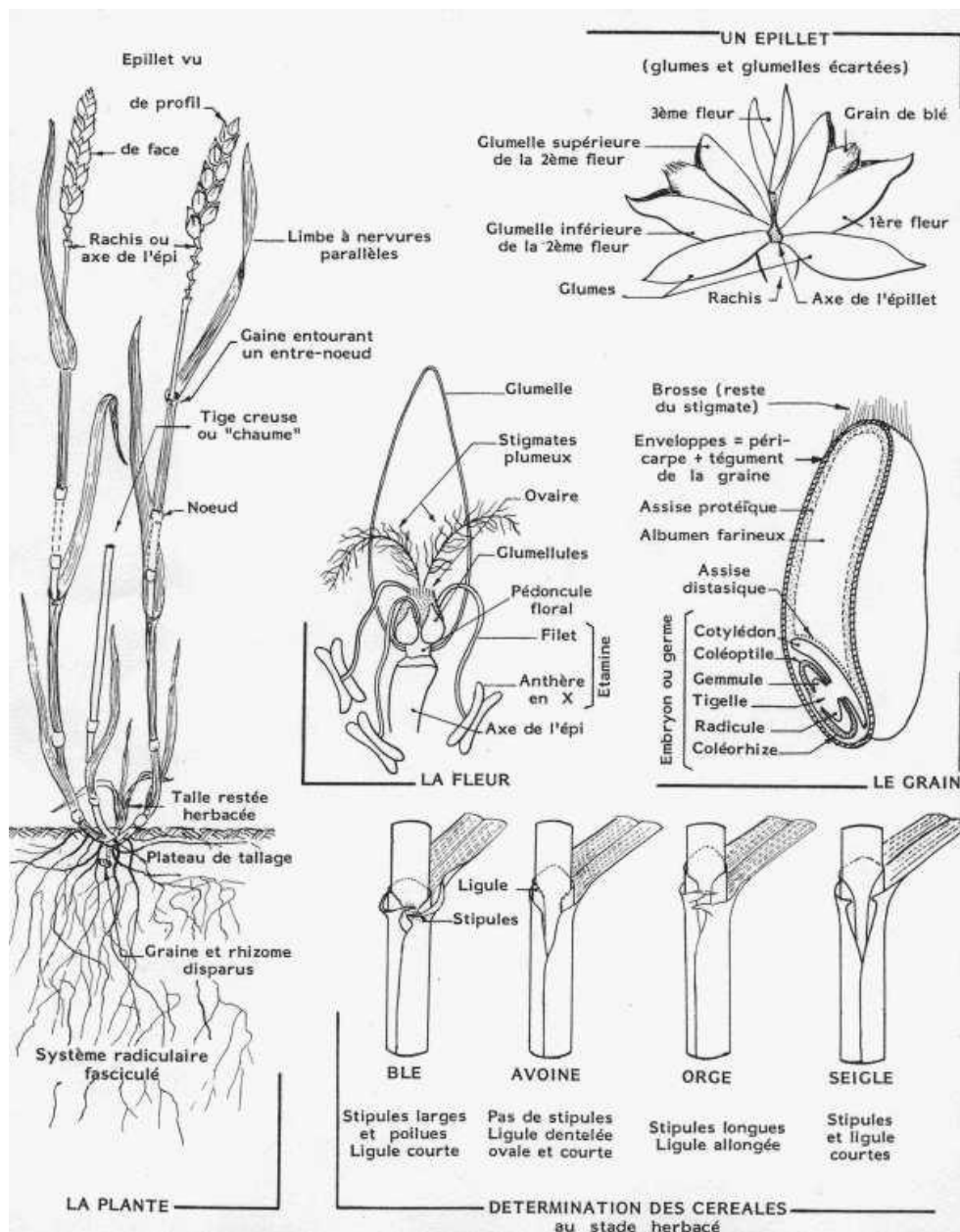


Figure 01. Morphologie des graminées (exemple du blé) (Soltner, 1998).

1.3. Taxonomie et classification du blé dur

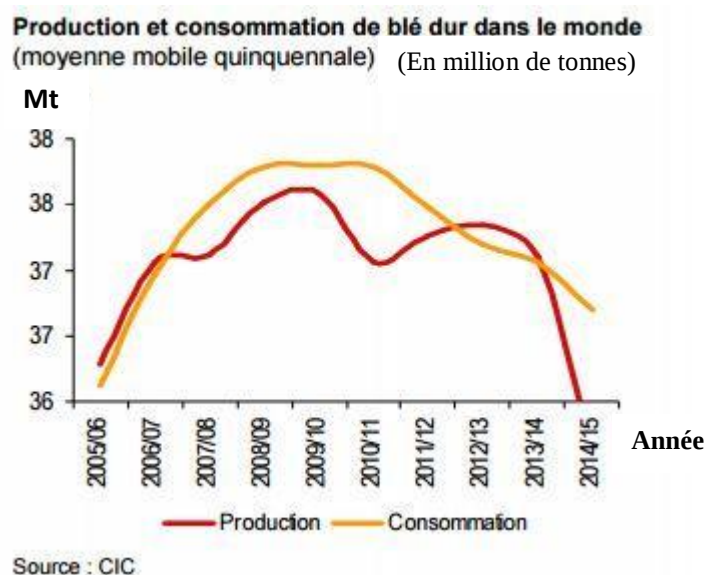
Selon Feillet (2000), le blé dur est classé comme suit :

Embranchement :	Spermaphytes
Sous Embranchement :	Angiospermes
Classe :	Monocotylédones
Ordre :	Poales
Famille :	Poaleae
Sous-famille :	Festucoideae
Tribu :	Triticeae
Sou-Tribu :	Triticineae
Genre :	Triticum
Espèce :	<i>Triticum durum</i> Desf.
Variété :	Vitron

1.4. Production du blé dans le monde et en Algérie

La majorité des terres labourables ouvertes dans le monde sont exploitées, lorsque le climat et le sol s'y prêtent, pour la culture des céréales (FAO, 2012). Le blé (froment) est la variété de céréale la plus cultivée dans le monde. Tout au long de l'année, du blé est semé ou récolté quelque part sur la planète (FAO, 2012). Les plus gros producteurs de blé sont la Chine, l'Inde, les États-Unis, la France, la Russie et l'Australie (FAO, 2012).

Quantitativement, les États-Unis, l'Australie et la Russie sont les plus grands exportateurs de blé. La production et la consommation mondiale du blé dur, est présentée dans le Graphique 01.

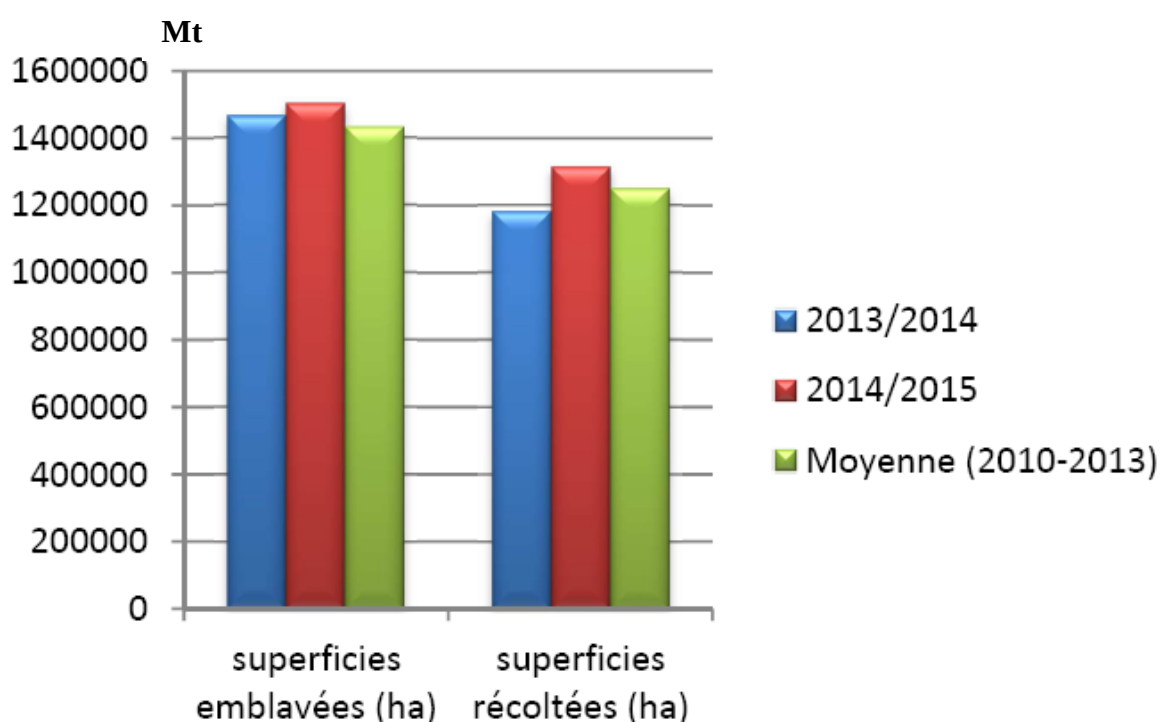


Graphique 01. Production et consommation mondiales du blé dur (source CIC, 2016).

En Algérie, le blé dur (*Triticum durum* Desf), est la première céréale cultivée dans le pays. Elle occupe annuellement plus d'un million d'hectares. La production nationale en blé dur est encore faible, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé (Chellali, 2007).

La superficie emblavée annuellement se situe entre 3 et 3,5 millions d'hectares et les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures. Elle apparait donc comme une spéculation dominante (Djermoun 2009).

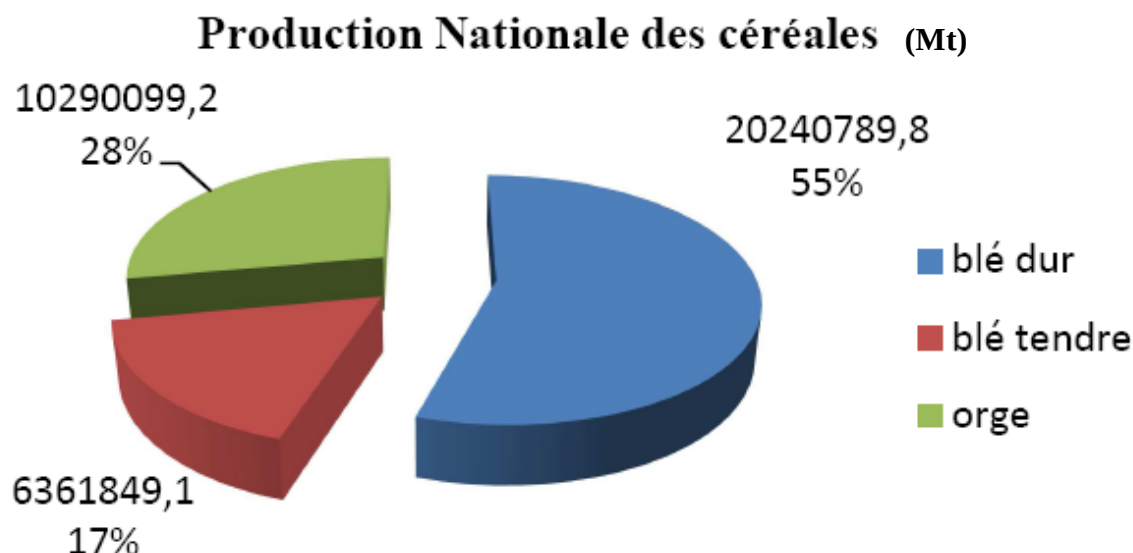
Les superficies emblavées et récoltées ont connu une augmentation de 2,4% et de 10,05% respectivement en 2014/2015 comparativement à la campagne écoulee.



Graphique 02. Les superficies emblavées et récoltées en blé dur en Algérie Bilan de la campagne céréalière 2014/2015 (source MADR, 2015)

La production céréalière s'est établie à 37,5 millions de quintaux pour la campagne 2014-2015, en hausse de 10% par rapport à la campagne 2013/2014, selon le ministère Algérien de l'Agriculture, du développement rural et de la pêche.

Le total de la production nationale des céréales est de 3,6 millions de tonnes, soit 2 millions de tonnes de blé dur, 1 million de tonnes d'orge et environ 6,3 millions de tonnes de blé tendre.



Graphique 03.La production nationale des céréales lors de la campagne 2014/2015

(Source : onfaa, 2015)

1.5. Les facteurs limitant la production du blé dur

La culture de blé est fréquemment exposée aux contraintes de l'environnement et soumise à une multitude de stress abiotiques et biotiques. Parmi les stress abiotiques qui limitent le rendement de blé sont de nature climatique (gel, températures excessives et sécheresse) ou édaphique (acidité du sol entraînant une toxicité par l'aluminium ou le manganèse). De plus, les stress biotiques sont ceux causés par les organismes pathogènes (Ezzahiri, 2001).

Les champignons sont les plus répandus et les plus dommageables pathogènes des céréales cultivées (Zahri *et al.*, 2014). Les champignons peuvent occasionner des pertes importantes lorsque les variétés utilisées sont sensibles et les conditions de l'environnement sont favorables à l'expansion des maladies (Zahri *et al.*, 2014).

Les maladies qui s'attaquent au blé sont dues à plusieurs types de pathogènes à savoir les champignons, bactéries, virus, nématodes) (Sayoud *et al.*, 1999).

1.6. Les principales maladies du blé dur

Selon Aouali et Douici-Khalfi (2009), les maladies des céréales peuvent être regroupées selon les symptômes qu'elles induisent et les parties qu'elles affectent. De ce fait, on distingue :

- Maladies causant des symptômes localisés sur feuillage,
- Maladies causant des pourritures racinaires,
- Maladies causant des symptômes sur les épis.

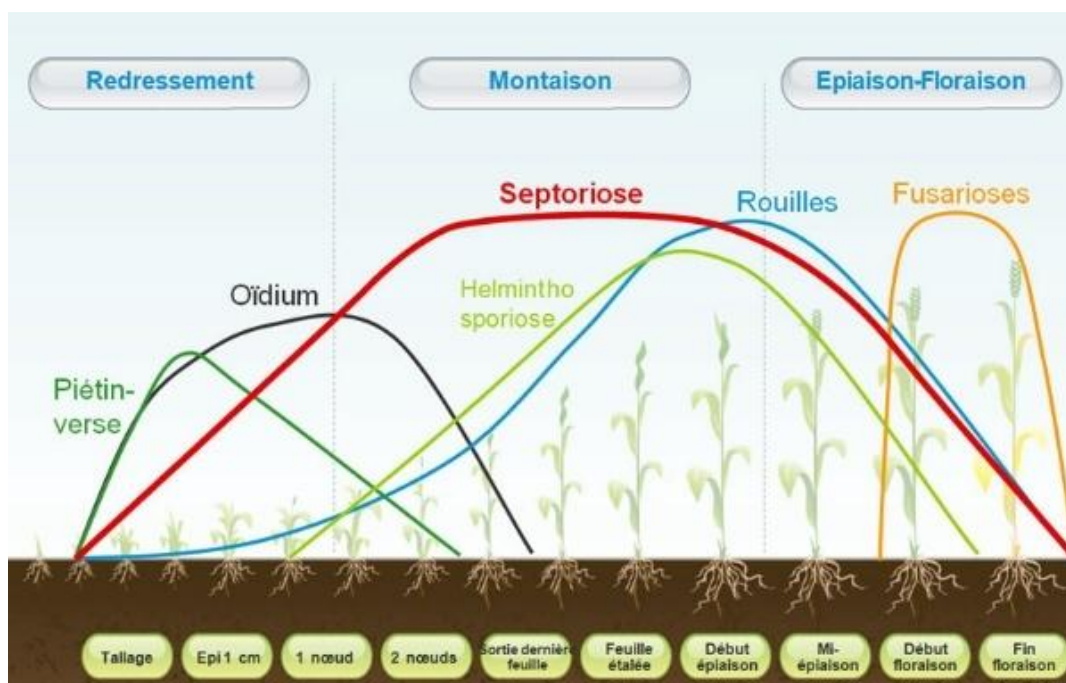


Figure 02. Modèles de développement de différentes maladies durant tout le cycle végétatif du blé (MADR, 2010 in Lounes et Guerfi, 2011).

1.6.1. Maladies foliaires

Selon Lacroix (2002), les maladies fongiques avec symptômes foliaires les plus couramment rencontrées sont :

- Rayure réticulée (*Drechslera teres*)
- Rhynchosporiose (*Rhynchosporium secalis*)
- Tache auréolée (*Drechslera tritici-repentis*)
- Tache hélmintosporienne (*Bipolaris sorokiniana*)
- Tache ovoïde (*Stagonospora avenae f. sp. avenaria*)
- Tache séptorienne (*Septoriatritici*, *Stagonospora nodorum*)

En se basant sur l'observation des symptômes, il est possible que la distinction de ces maladies fongiques puisse apparaître difficile (Lacroix, 2002). Cependant, en se référant aux détails indiqués dans le tableau 01, il devient alors possible de reconnaître la ou les maladies responsables des taches foliaires présentes dans la culture.

Les principales maladies des céréales sont présentées dans le Tableau 01.

Tableau 01. Les principales maladies des céréales.

Maladies	Céréales affectées	Symptômes
<u>Tache hélmintosporienne</u> (spot blotch) (<i>Bipolaris sorokiniana</i>)	Orge et blé, bien que l'orge est plus gravement affecté	Taches elliptiques, uniformément brun foncé, 2 à 10 mm de longueur et pouvant être bordées d'un halo jaune. Les taches peuvent s'allonger et être délimitées par les nervures mais les lésions n'auront jamais l'apparence de longues stries étroites comme la rayure réticulée.
<u>Rayure réticulé</u> (net blotch) (<i>Drechslerateres</i>)	Orge	Taches elliptiques, brun foncé, s'allongeant pour former des stries étroites et longues (5 mm et plus) se développant le long des nervures. À l'intérieur de ces lésions, de minuscules lignes horizontales plus foncées sont présentes donnant l'apparence d'un réseau. Un jaunissement peut se développer autour des stries.
<u>Tache auréolée</u> (tan spot) (<i>Drechsleratritici-repentis</i>)	Blé	Petites taches brunes, ovales et entourées d'un évident halo jaune caractéristique. Ces taches deviennent ovales, beiges, 5 à 13 mm de longueur et bordées d'un halo jaune. Contrairement aux lésions causées par <i>Septoria tritici</i> , la tache auréolée est ovale à lenticulaire (pointue aux extrémités). Un point brun foncé est souvent présent au centre des taches.
<u>Tache septorienne</u> (speckled leaf blotch, septoria blotch) (<i>Septoria tritici</i> <i>Stagonospora nodosum</i>)	Blé	Taches jaunes à brun rougeâtre au début devenant brun grisâtre, 5 à 15 mm de longueur et bordées d'un halo jaune. Les taches ont tendance à se développer longitudinalement et tout en étant limitées par les nervures. Les taches apparaissent donc parallèles les unes aux autres. Les lésions ont tendance à avoir une forme rectangulaire. De minuscules fructifications noires se développent lorsque les taches vieillissent. Celles-ci peuvent être visibles à l'aide d'une loupe.
<u>Tache ovoïde</u> (septoriaavenae blotch) <i>Stagonosporaavenae</i> f. sp. <i>avenaria</i>)	Avoine	Petites taches brun foncé, rondes à elliptiques lesquelles deviennent brunes à grisâtres. Elles peuvent atteindre une longueur de 10 mm. Les taches sont bordées d'un halo jaune. À l'aide d'une loupe, de minuscules fructifications noires peuvent être visibles sur les taches vieillissantes.
<u>Rhynchosporiose</u> (Scab) (<i>Rhynchosporiumsecalis</i>)	Orge	Taches elliptiques, grisâtres avec une marge brun foncé dont la longueur varie entre 10 et 15 mm. Le tissu au centre de la tache se dessèche et blanchi.

Source : Lacroix, 2002

1.6.2. Maladies liées au sol

Le sol contient naturellement des champignons qui y vivent et qui peuvent attaquer le blé depuis la mise en terre de la semence. Ces champignons peuvent causer des fontes de semis et engendrer des infections au niveau des racines et du collet. Quelques symptômes de ces maladies sont illustrés dans les figures **03, 04, 05 et 06** :



Figure 03. Racines de blé infectées par *Bipolaris sorokiniana* (à gauche), comparées à des racines saines (à droite)
(Boulif, 2016).



Figure 04. Collet et entre-nœuds de blé atteints de *Fusarium roseum*
(Boulif, 2016).



Figure 05. Maladie du Take-all (pourriture racinaire sévère) causée par *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (Ggt)(Don Mathre, 2000).



Figure 06. L'apparition précoce d'épis blancs .
(Don Mathre, 2000).

Tableau 02. Quelques champignons du sol qui attaquent le blé.

Maladie	Agents causaux	Conditions favorables
Fontes des semis	<i>Pythium</i> spp, <i>Bipolaris sorokiniana</i> <i>Fusarium</i> spp.	Monoculture + sols trempés
Pourriture des racines et des collets	<i>Fusarium roseum</i> var. <i>Culmorum</i> <i>Bipolaris sorokiniana</i> <i>Gaeumannomyces graminis</i> var <i>tritici</i> (Ggt)	Monoculture + Stress hydrique (Excès d'humidité en début de saison ou sécheresse en cours de saison)

Source :Boulif, 2016.

1.6.3. Helminthosporiose

La tache hélmintosporienne est une grave maladie foliaire du blé causée par le champignon *Pyrenophoratrutici-repentis* (Died) Drechs (Lamari *et al.*, 1991, Sayoud *et al.*, 1999 ; Lamari *et al.*, 2005). Communément désignée par l'appellation anglo-saxonne 'Tan Spot', la maladie de la tache bronzée ou maladie de la tache jaune (Sayoud *et al.*, 1999). Huit races de *P. tritici-repentis* ont été identifiées à ce jour, en se basant sur leur capacité à provoquer la nécrose ou la chlorose dans un groupe d'hôtes différentiels chez le blé (Benslimane *et al.*, 2011 ; Aboukhaddour *et al.*, 2013).

Cette maladie s'attaque principalement au blé. Elle est répandue partout au Maroc avec des attaques importantes au Nord du pays (Saoud, 1994). En Algérie et en Tunisie, cette maladie est surtout répandue dans les zones du Nord.

L'agent pathogène se conserve sous forme de spores et de mycélium sur les résidus du blé infecté à la surface du sol. Sur les chaumes, les périthèces structures de reproduction sexuée et le mycélium constituent la principale source d'inoculum primaire. En présence d'humidité, les périthèces libèrent les ascospores et le mycélium produit des conidies. (Ezzahiri, 2001 ; Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Les deux types de spores sont disséminés pour initier l'infection primaire sur les plantules de blé en début de saison. Au cours de la saison, l'infection secondaire est assurée par les conidies qui sont facilement disséminées par le vent. La germination des conidies et l'infection des tissus sont favorisées par une durée d'humectation du feuillage de 24 à 48h. Les températures optimales pour l'infection se situent entre 18 et 28 °C. La sporulation au niveau des taches foliaires est favorisée par des conditions humides (Ezzahiri, 2001 ; Aouali et Douici-Khalfi, 2009).

Tableau 03. Maladies propagées aux céréales par la culture précédente dans le cadre d'une rotation.

Culture Précédente	Maladie transmise sur		
	<u>AVOINE</u>	<u>ORGE</u>	<u>BLÉ</u>
Avoine	Tache séptorienne	—	—
Orge	—	Ergot Tache hélmintosporienne Rayure réticulée Rhynchosporiose Oïdium	Ergot Tache hélmintosporienne
Blé	—	Ergot Tache hélmintosporienne	Ergot Tache hélmintosporienne Fusariose Piétin échaudage Tache séptorienne Oïdium
Triticale	—	Ergot	Ergot Fusariose Piétin échaudage Tache séptorienne
Seigle	—	Ergot Rhynchosporiose	Ergot Fusariose
Maïs	—	—	Fusariose
Graminées fourragères	—	Ergot Rhynchosporiose Tache hélmintosporienne	Ergot Fusariose Piétin échaudage
Légumineuses fourragères	—	—	—

Source : Lacroix, 2002

1.7.Dépistage et lutte

Pour bien intégrer les aspects du dépistage et de la lutte, il est essentiel de posséder certaines connaissances sur la physiologie des céréales et sur le développement des maladies fongiques causant des taches foliaires. Bien que toutes les feuilles contribuent au remplissage des grains, il demeure que les feuilles situées dans la partie supérieure du plant, principalement la feuille la plus jeune, contribuent à plus de 50% pour le développement des grains (Lacroix, 2002).

Quant à la photosynthèse, elle est responsable de la synthèse des hydrates de carbone, lesquels sont directement impliqués pour le remplissage des grains. Ainsi, si la feuille étendard est affectée par des taches foliaires, elle sera moins performante pour la photosynthèse ce qui aura un effet négatif important sur le développement des grains (Lacroix, 2002).

En ce qui concerne les maladies fongiques causant des taches foliaires, celles-ci se développent généralement plus rapidement lorsque les conditions sont humides. Ainsi, dans un champ de céréales, la densité de la végétation fait en sorte que l'humidité est plus élevée à la base des plants (Lacroix, 2002).

Les maladies fongiques auront donc tendance à infecter les feuilles basales en premier et par la suite les lésions présentes sur ces feuilles porteront des spores qui infecteront les feuilles supérieures. L'important est de minimiser et de retarder le développement de la maladie afin d'éviter qu'elle ne colonise les feuilles supérieures (Lacroix, 2002).

1.7.1. Dépistage

Lacroix, (2002), décrit que le but de dépister pour la culture des céréales, vise à connaître les maladies présentes dans le champ, à suivre leur évolution afin de pouvoir intervenir pour minimiser les pertes de rendement et à identifier les maladies présentes dans les champs afin de planifier adéquatement les rotations pour les années subséquentes. Il ajoute qu'il faut :

- Examiner attentivement toutes les feuilles. L'utilisation d'une loupe peut être fort utile.
- Indiquer sur une carte du champ, les endroits où les maladies qui ont été identifiées.
- Tenir compte des antécédents cultureux afin de cibler les maladies ayant la plus grande probabilité d'être présente dans le champ.
- Dépister hebdomadairement les champs. Porter une attention particulière dans les endroits où l'humidité est plus élevée soit à la base des plants, dans les zones du champ où la végétation est plus dense, dans les sections du champ à l'abri du vent (ex.: près d'un boisé) ou dans des baissières.
- Tenir compte des conditions climatiques. À la suite d'une période pluvieuse ou de conditions nuageuses et peu venteuses (humidité relative élevée), il y a un risque accru du développement des maladies foliaires.
- Soyez davantage vigilant au moment de l'épiaison, période durant laquelle les infections débutent.

1.7.2. Moyens de lutte

La lutte contre les maladies du feuillage en est une qui doit être préventive afin de minimiser ou de retarder les infections des feuilles basales ce qui représente un gage de succès pour éviter l'infection des feuilles supérieures (Lacroix, 2002). Les infections causées par des spores transportées par le vent depuis d'autres champs se produisent généralement plus tardivement et sont moins graves que celles prenant naissance directement dans la culture (Lacroix, 2002).

Lacroix, (2002), indique que la rotation des cultures vise à diminuer la quantité de champignons phytopathogènes dans le sol ce qui aura un effet positif sur la diminution du risque d'une infection hâtive. Éviter les cultures avoine sur avoine, blé sur blé et orge sur orge. La tache helminthosporienne, la rayure réticulée, la tache auréolée, la tache septorienne, la tache ovoïde, la rhynchosporiose et le blanc peuvent passer l'hiver dans les résidus de cultures.

2. l'agent phytopathogène *Bipolaris sorokiniana*

Les taches marbrée (couleur de la lésion marron jaune), causées par *Bipolaris sorokiniana* est une maladie qui cause des pertes importantes au blé, dans les régions chaudes et humides du monde tels que l'Inde orientale, l'Asie du Sud-Est, l'Amérique latine, le Tarai du Népal, la Chine et l'Afrique (Raemaekers 1991; Saari, 1998). L'agent pathogène a d'abord été remarqué par Mohy en 1914 de Pusa, Bihar (HCIO, NC12508). Bien que l'apparition de la maladie a été signalée en Inde aussi tôt qu'en 1924 (Kulkarni, 1924 and Mc Rae, 1924), mais ce n'était pas très préoccupant que depuis peu.

Avec la modification du système de culture, intensité de culture, gestion des cultures et plus récemment avec le changement climatique et la propagation variétale, la tache foliaire complexe est devenu maintenant une maladie grave entraînant des pertes de rendement élevé (Singh *et al.*, 1994), et il a eu beaucoup d'importance surtout au cours de la dernière décennie (Singh *et al.*, 2001a, b). La maladie ravage maintenant la culture avec une grande intensité (Sharma *et al.*, 2004; Singh *et al.*, 2004a, b; Singh and Singh, 2005).

2.1. Généralités

Les taches foliaires du blé sont causées principalement par le pathogène de tin spot *Bipolaris sorokiniana* et *Pyrenophora tritici-repentis* outre *Alternaria trititica*, *Alternaria alternata* (Singh et Srivastava, 1997; Singh *et al.*, 2001a). Parmi ceux-ci, *Bipolaris sorokiniana* est le pathogène le plus important. Pendant longtemps, les tins spot étaient une partie de *Helminthosporium* brûlure foliaire (HLB) qui était compris comme un complexe de

plusieurs champignons pathogènes se produisant simultanément dans différents stades de développement du blé.

Une description détaillée de *Bipolaris sorokiniana* (sacc), peut être obtenu à partir de Shoemaker, CMI's Sivanesan and Holliday (1981). Dans la littérature ancienne, plusieurs synonymes de l'anamorphe ont été utilisés *Helminthosporium sorokinianum*, *Drechslera sorokiniana* and *Helminthosporium sativum* (Maraite et al., 1998). Shoemaker (1959), a proposé le nom commun de *Bipolaris* pour l' *Helminthosporium* espèces avec fusioïde, tout droit, ou la germination des conidies courbes par un tube germinal à chaque extrémité. L'ancien genre de *Helminthosporium* a été divisé en trois genres anamorphes: *Bipolaris*, *Drechslera* et *Exherohilum* avec le stade téléomorphe, *Cochliobolus*, *Pyrenophora* et *Setosphaeria* respectivement.

Bipolaris sorokiniana est caractérisé par une paroi épaisse, des conidies elliptiques (60-120µm x 12-20 µm) avec cinq à neuf cellules. Dans la culture axénique, le mycélium est composé d'hyphe entrelacé comme masse de coton lâche Et apparaît blanc ou léger à gris foncé en fonction des isolats. Le champignon est différencié des autres membres de la *Bipolaris* genre sur la base de caractéristiques morphologiques De conidiophores et de conidiospores. Une clé pour distinguer les espèces de *Bipolaris* et décrite par Subramaniam (1971).

L'état ascendant était observé au laboratoire sur des conditions naturelles en présence de types de multiplication opposés et a été décrit pour la première fois comme *Ophiobolussativus*. Il a été renommé par la suite comme *Cochliobolus sativus* (Ito and Kurubayashi) Drechsler ex Dastur (Dastur, 1942).

Le champignon *B. sorokiniana* est classé sous subdivision, Ascomycotina; Classe des Loculo ascomyces; Ordre, Pleosporales; Famille, Pleosporaceae. Le genre *Cochliobolus* est caractérisé par des globules ascomata avec un long tube cylindrique et des ascospores filiformes enroulées en hélice. Il est associé à *Bipolaris* et *Curvularia* anamorphe.

2.2. Les symptômes

Bipolaris sorokiniana provoque les taches foliaires, pourriture racinaire et point noir sur les grains (figure 07), aussi bien que brûlure de l'épi et fonte des semis de blé et de l'orge. Les semis infectés développent des lésions nécrotiques brun foncé sur les racines, gaine couronne et feuille inférieure. Les infections des feuilles et des gaines se développent comme distinctes, ovale à allonger les taches légères à brun foncé.

Les infections des racines et de la couronne peuvent être si sévères que les plantes infectieuses se dessèchent sans produire de graines. Dans des conditions favorables, les spikelets peuvent être affectés, provoquant un tremblement de grain (Singh *et al.*, 2001).

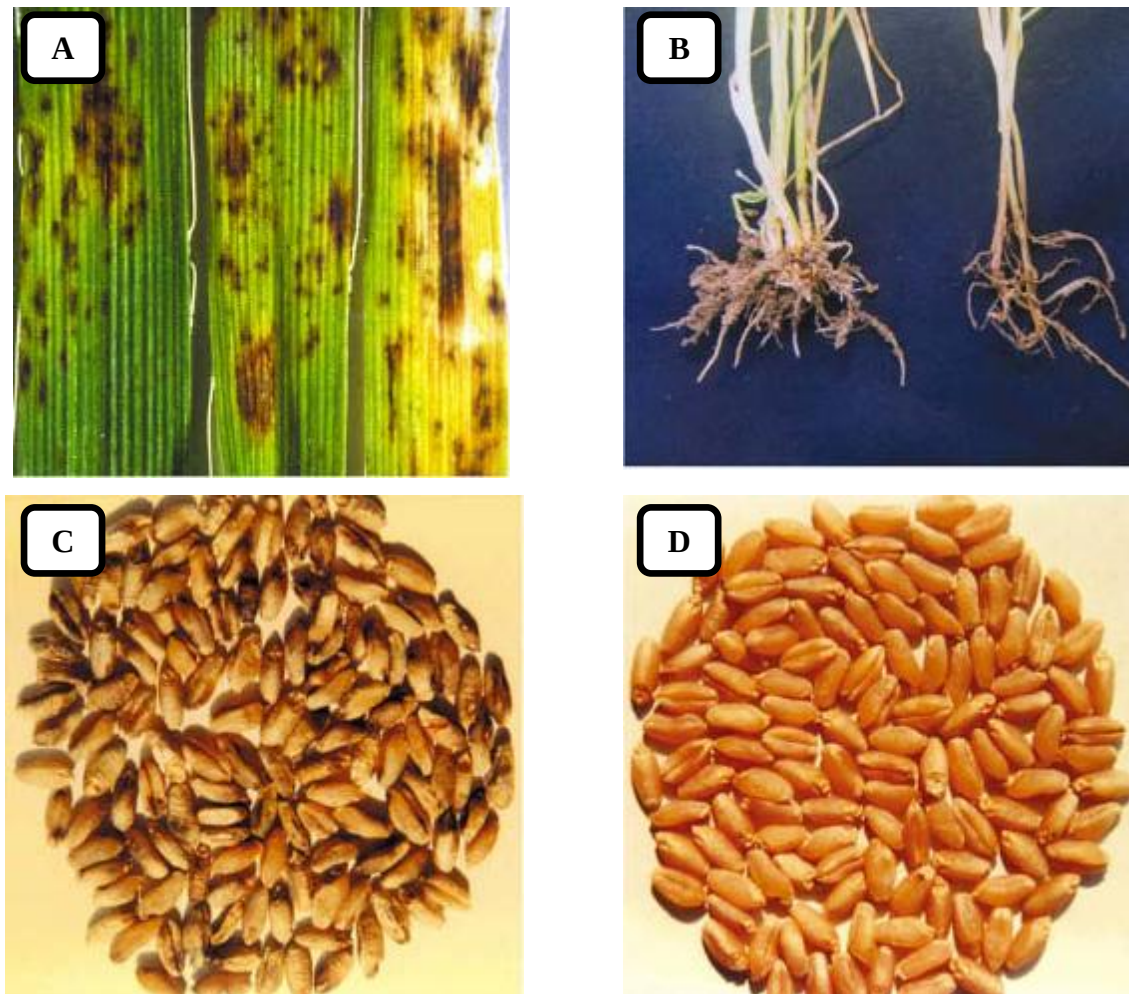


Figure 07. Photographies Représentant les symptômes de la pourriture racinaire causée *Bipolaris sorokiniana* : (A) sur feuilles de blé, sur collet de blé (B), et taches noires sur graines de blé infectées (C) comparées à des graines saines (D) (source : Kumar *et al.*, 2002).

La susceptibilité au pathogène augmente si les conditions météorologiques sont propices, c'est-à-dire une pluie continue pendant 5-6 jours, suivie de températures plus chaudes (moyenne journalière de 20-30°C). L'épidémie de tache marbrée peut se développer très rapidement (Mehta, 1998) sous faible intensité lumineuse. Le pathogène peut coloniser le tissu intercellulaire de l'hôte et intracellulaire sans causé des dégâts visibles (Aggarwal *et al.*, 2008). L'infection fongique accélère la sénescence des feuilles au stade de la croissance tardive (Dehne and Oerke, 1985).

2.3. La gamme d'hôtes

Bipolaris sorokiniana affecte les petits grains de céréales, bien que le seigle soit moins susceptible et l'avoine est rarement infectée (Zillinsky, 1983). Plusieurs variétés d'autres graminées agissent comme des hôtes potentiels (Kline and Nelson, 1963; Nelson and Kline, 1966). Lapis (1985) a noté que diverses graminées et les mauvaises herbes à feuilles larges telles que *Dactylactenium aegypticum*, *Laptochloachinensis*, poussent toute l'année et peuvent abriter le pathogène. En Inde, *Bipolaris sorokiniana* a été trouvé sur *Phalaris minor* et *Lannia splenifolia* (Singh et al., 1995).

2.4. La variabilité des agents phytopathogènes

La variabilité des agents phytopathogènes tente d'identifier les essais dans *Bipolaris sorokiniana* qui ont été faits dès 1922 (Christensen, 1922) et au moins 37 espèces de ce champignon ont été identifiées.

Ashworth et al. (1960), Gayed (1962), Hamilton et al. (1960) ont également tenté de classer les isolats de *Bipolaris sorokiniana* en différents groupes pathogènes. Bidari et Govindu (1975) et Misra et al., (1981) ont identifié les isolats des feuilles qui étaient plus virulentes que d'autres. Bien qu'il soit évident au vu de ces rapports que les isolats de *Bipolaris sorokiniana* diffèrent dans leurs capacités parasitaires, indépendamment de l'hôte ou la répartition géographique, mais, dans le même temps, il peut également être pris en considération que ce champignon est extrêmement variable, sa descendance d'une conidie unique peut différer dans la pathogénicité. La mutation constante et la saltation présentent d'autres problèmes qui rendent l'identification de l'espèce encore plus difficile.

Mehta (1981) a conduit des essais sur l'espèce ou l'identification des souches sur une série préliminaire de 13 cultivars de différentiel et enregistré l'existence de 32 espèces de *Bipolaris sorokiniana* au Brésil. Ces espèces, une fois testées sur des plantes adultes, elles étaient nettement différentes les unes des autres en ce qui concerne la production de spores et la taille des lésions. En outre, les réactions des espèces ont été modifiées dans la plupart des cas après que les isolats eurent été stockés pendant 8 à 10 mois (Mehta 1981).

Ce genre de changement est évident en raison du fait que les isolats perdent leur capacité pathogène après une certaine période. C'est pour cette raison que le terme "race" pour *Bipolaris sorokiniana* a été remis en question. Cependant, avec la création de la norme du différentiel de cultivars, il serait possible d'identifier les souches de virulence différente à tout moment en utilisant des isolats monoconidial (Mehta, 1985).

Les études de pathogénicité avec collection mondiale des isolats de *Cochliobolus sativus* monoconidial sur une série différentielle de 11 variétés de blé et de blé

Agropyroncurvi florum ligne hybride, utilisant des feuilles détachées à l'aide de test de culture ont révélé 15 pathotypes (Hetzler *et al.*, 1991).

Récemment une forte variabilité d'isolats de *Bipolaris sorokiniana* collectés à partir de différentes zones géographiques ont été observés en fonction de leurs caractères morphologiques, de leur pathogénéicité et de leur ADN à l'aide d'empreintes digitales en utilisant des marqueurs RAPD (Aggarwal *et al.*, 2009).

Aggarwal *et al.*, (2009), ont également étudié la variabilité moléculaire à l'aide d'URP-PCR et les isolats classés selon leur origine géographique. Ils ont signalé que l'un des marqueurs, l'URP-2F avait amplifié la taille de trois bandes monomorphes de 0,60, 0,80 et 0,90 ko, qui pourraient être utilisés comme marqueurs spécifiques pour l'identification de *Bipolaris sorokiniana*.

2.5. La survie

Les sources de *Bipolaris sorokiniana* inoculum dans la nature sont des graines infectées, des résidus de culture infectés, d'hôtes collatéraux et de conidies dormantes dans le sol. La présence de *Bipolaris sorokiniana* dans le sol est accompli par la capacité du champignon à contaminer la paille de blé, la densité d'inoculum de l'agent pathogène dans le sol est liée à la quantité de sporulation se trouvant dans les résidus des récoltes (Hamburgers et Griffin, 1968 ; Reis et Wunsche, 1984).

Tinline *et al.*, (1988) ont déclaré que l'intensité du pourrissement commun de la racine et la gravité de la tache hélmintosporienne au stade du tallage, ainsi que la floraison et la pâte de blé qui sont étroitement liées à la densité de la population de *Cochliobolus sativus* dans le sol. Ce champignon hemibiotrophique et nécrotrophe sporulates normalement sur les tissus nécrotiques tout au long de la saison de croissance et atteint le sommet, en retournant enfin à la semence, ce qui assure le mécanisme le plus efficace pour la survie des germes pathogènes (Reis, 1991 ; Reis *et al.*, 1998).

Lorsque ces graines sont semées dans le champ, la coléoptile est infectée facilement provoquant l'infection des semis (des jeunes plants), qui fournit l'inoculum pour la culture.

Mondal (2000), a signalé que les semences infectées, et les sols infestés avec la suspension de conidies ou grains contaminés pourraient servir de sources potentielles pour la survie de *Bipolaris sorokiniana* résultant de l'absence de la germination, de l'extinction (la disparition) des semis et de la prolifération de la tache hélmintosporienne dans le blé.

2.6. Cycle biologique de *Bipolaris sorokiniana*

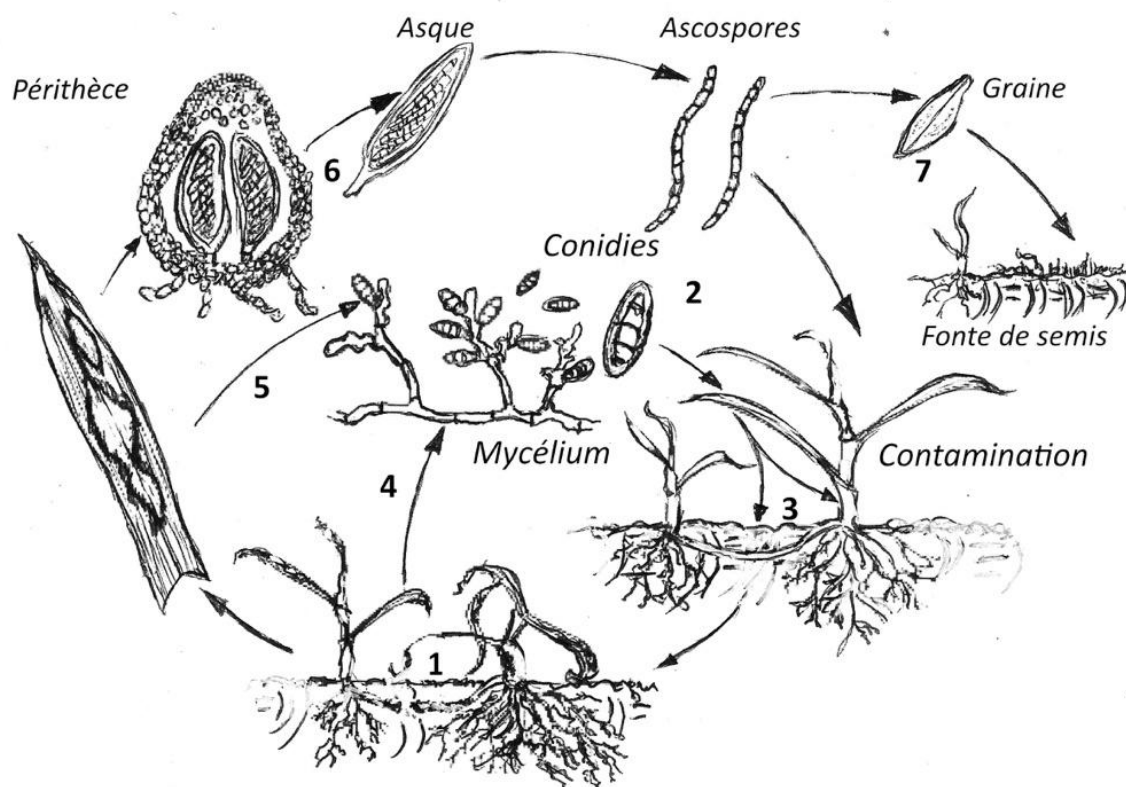


Figure 08. Cycle biologique b de *Bipolaris sorokiniana* (forme parfaite sexuée : *Cochliobolus sativus*).

(Dours, 2017)

D'après la figure 08 qui présente le cycle biologique de *Bipolaris sorokiniana*, la conservation est assurée par les conidies et/ou le mycélium présent dans les plantes infectées ou sur des débris végétaux et feutre. Ces champignons peuvent en effet se développer en saprophyte pour sporuler abondamment au retour des conditions favorables (Dours, 2017).

Les conidies principales formes de contamination, sont disséminées par le vent, la pluie ou l'eau d'arrosage, les tontes et matériels de façons culturales, les chaussures...etc. Leur germination aboutit à la contamination des plantes saines à différents niveaux (limbe, gaine, collet, racines, rhizomes, stolons). (Dours, 2017).

Les lésions qui en résultent peuvent être le siège de nouvelles sporulations permettant des cycles de contaminations secondaires. La plupart des spores produites sont des conidies. Le stade sexué est relativement rare dans la nature. Les formes de conservation : périthèces contiennent les asques qui portent les ascospores enroulés en spirale.

La forme parfaite contribue peu aux cycles épidémiologiques de *Bipolaris sorokiniana*. Les semences peuvent également être un vecteur de la maladie et peuvent entraîner des fontes de semis à la levée (Dours, 2017).

3. Le biocontrôle

Certains microorganismes, principalement des bactéries, sont capables de coloniser efficacement les systèmes racinaires et influencent de manière bénéfique la plante en la protégeant contre des infections par des agents phytopathogènes. La plupart des souches bactériennes exploitées comme biopesticides appartiennent aux genres *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* et *Agrobacterium* (Haas et Defago, 2005).

De nombreuses recherches ont concerné *Streptomyces*, *Bacillus* et *Pseudomonas* qui sont des habitants communs de la rhizosphère et possèdent une grande activité dans le contrôle biologique de maladies liées au sol. Ces rhizobactéries ont la capacité de produire de nombreux antibiotiques (Raaijmakers *et al.*, 2002). Les modes d'action des agents microbiens dans le biocontrôle ne sont pas toujours bien connus et peuvent varier pour un micro-organisme donné en fonction du pathosystème sur lequel ils sont appliqués. Mais de nombreux exemples décrivant un ou plusieurs mécanismes responsables de la réduction de la maladie sont disponibles (Raaijmakers *et al.*, 2002).

3.1. Activités antagonistes

3.1.1. Compétition pour le fer et production des sidérophores

Un cas particulier de compétition pour les nutriments concerne la compétition pour le fer. Les microorganismes ont la capacité de synthétiser des composés s'appropriant les ions ferriques présents dans la rhizosphère et les rendent ainsi indisponibles pour le champignon pathogène entraînant une diminution de sa croissance (Neilands *et al.*, 1987).

La quantité de fer soluble dans le sol est beaucoup trop faible soit environ 10-18M à pH 7,4, pour assurer la croissance microbienne, les microorganismes du sol sécrètent des molécules de faible poids moléculaire (~ 400 à 1000 daltons) appelés sidérophores qui lient le Fe^{3+} avec une très forte affinité (Castignetti et Smarrelli, 1986) et le transportent vers la cellule microbienne où il est repris par l'intermédiaire d'un récepteur cellulaire puis utilisé durant la croissance microbienne (Neilands et Leong, 1986; Briat, 1992).

Contrairement aux phytopathogènes microbiens, les plantes ne sont généralement pas lésées par l'épuisement du fer dans le sol. La plupart des plantes peuvent croître à des concentrations de fer beaucoup plus faibles (environ 1000 fois) (O'Sullivan et O'Gara, 1991).

La capacité des sidérophores d'agir comme agents efficaces dépend de la plante cultivée, du phytopathogène spécifique à supprimer, de la composition du sol, de la bactérie

productrice, et de l'affinité du sidérophore spécifique pour le fer. Ainsi, même si une PGPR est un agent efficace suppresseur du pathogène dans des conditions contrôlées, son comportement sur le terrain est extrêmement difficile à prédire (Ahmad *et al.*, 2008). Malgré cela, cette mise en garde suppose que la capacité des bactéries produisant des sidérophores inhibant les organismes phytopathogènes est un trait important qui pourrait avoir un impact agronomique important (Ahmad *et al.*, 2008).

De nombreuses bactéries sont capables de synthétiser des sidérophores (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Azotobacter* (Ahmad *et al.*, 2008). Les bactéries ayant un grand pouvoir de chélation du fer peuvent 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. Cette particularité peut favoriser la souche dans le processus de la colonisation et la compétition pour le substrat mieux que d'autres microorganismes de la rhizosphère (Ongena *et al.*, 2002).

Étant donné que les sidérophores soient principalement spécifiques du fer, ils peuvent aussi complexer d'autres métaux lourds pour atténuer leur toxicité ou posséder d'autres fonctions biologiques (Figure 09) (Khan *et al.*, 2009).

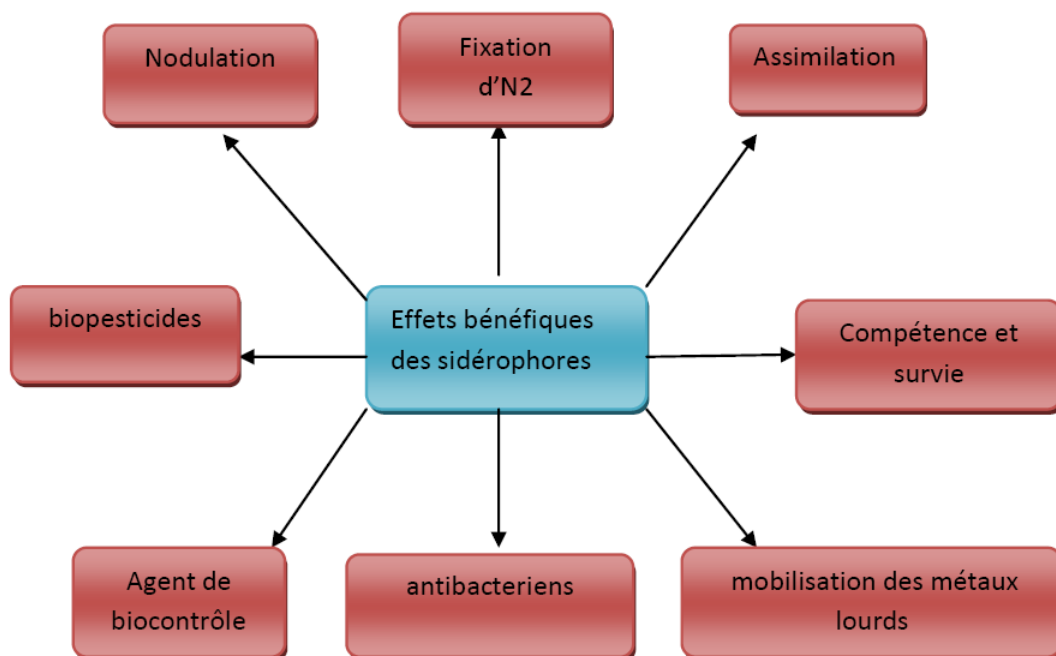


Figure 09. Fonctions biologiques des sidérophores (Khan *et al.*, 2009).

3.2.2. Les enzymes lytiques

Les actinobactéries synthétisent des chitinases, des glucanases, des peroxydases (Tokala *et al.*, 2002) et des glutaminases (DivyaTeja *et al.*, 2014). Des espèces de *Streptomyces* produisent des amylases, des cellulases et des héli-cellulases. D'autres sont capables de dégrader la lignine. *Streptosporangium* sp. isolé à partir des feuilles de maïs produit des glucoamylases exploitées en industrie afin de dégrader l'amidon (Hasegawa *et al.*, 2006).

Les lipases sont aussi produites par certaines souches d'actinobactéries, ces enzymes catalysent l'hydrolyse des triglycérides en diglycérides, en monoglycérides, en glycérol et en acides gras (Sommer *et al.*, 1997). La production d'enzymes chénotiques (chitinases et cellulases) par *Streptomyces albobivaceus*, *S. caviscabies*, *S. griseus*, *S. setonii* et *S. virginiae* est considérée comme l'action antagoniste la plus efficace dans le biocontrôle de certaines maladies fongiques en raison de leur action directe sur les chitines (Macagnan *et al.*, 2008).

Les protéases sont parmi les enzymes les plus importantes, elles constituent plus de 65% des applications industrielles totales comme agents blanchisseurs dans les détergents ou dans la synthèse des peptides. *Nocardiosis* sp. NCIM 5142 et *Streptomyces pactum* DSM 40530 sont parmi les actinomycètes les plus exploitées dans la production des peptidases (Thumar et Singh, 2007).

4. La promotion de la croissance des plantes par les bactéries bénéfiques

4.1. Effet bénéfiques des bactéries PGPR

Outre leur pouvoir de biocontrôle, certaines bactéries rhizosphériques ont la capacité de promouvoir la croissance des plantes cultivées (Welbaum *et al.*, 2004). Ces bactéries regroupées sous le terme «PGPR» (*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* ou *rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes*) (Kloepper et Schroth, 1978), peuvent, à l'instar d'autres bactéries rhizosphériques, rester à la périphérie des racines ou bien être endophytiques, c'est-à-dire, coloniser les racines par des infections asymptomatiques, donc inoffensives pour la plante (Compant *et al.*, 2012).

Actuellement, plusieurs actinobactéries sont utilisées en lutte biologique contre certains agents phytopathogènes et cela en raison de leurs propriétés antagonistes et leurs rôles dans la promotion de la croissance des plantes à travers différents mécanismes (Sadeghi *et al.*, 2009; Pliego *et al.*, 2011). La production de phytohormones et la solubilisation d'éléments minéraux tels que les phosphates sont parmi les principaux mécanismes des bactéries bénéfiques à effet PGPR (El-Tarabily, 2008; Hamdali *et al.*, 2008; Khamna *et al.*, 2010).

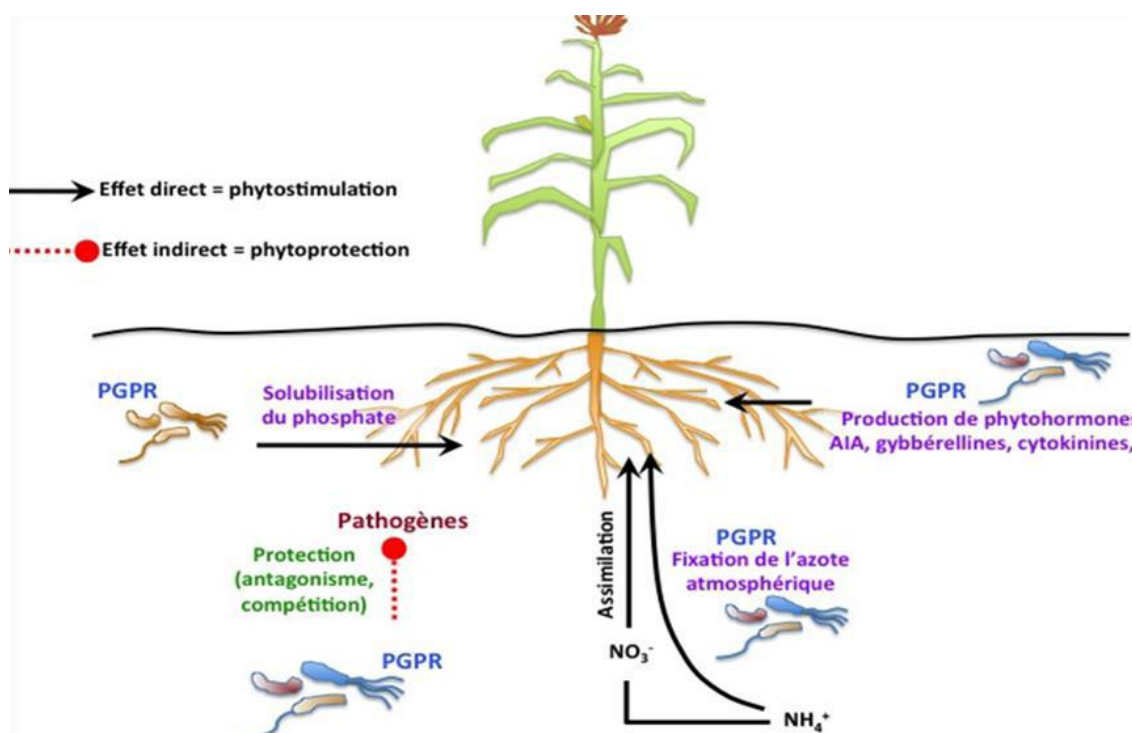


Figure 10. Interactions entre plantes et les bactéries coopératives (PGPR) dans la rhizosphère (Persello-Cartineaux *et al.*, 2003)

4.2. Solubilisation des phosphates inorganiques

Généralement, le contenu de phosphore dans le sol est de 0,05% (m/m), cependant seule une très faible proportion des phosphates est disponible aux plantes et la majeure partie est complexée par l'aluminium, le calcium ou le magnésium (Kumar *et al.*, 1999). Il n'est pas requis en grandes quantités mais peut être un important facteur limitant de la croissance.

Dans les champs, ce substrat est susceptible d'être solubilisé par l'action de microorganismes (Arcand et Schneider, 2006). La littérature décrit ces microorganismes solubilisant les phosphates (PSM) comme appartenant à des genres d' *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Erwinia* aussi que les actinobactéries (Rudresh *et al.*, 2005)

4.3. Production des phytohormones (AIA)

Les phytohormones sont de petites molécules régulatrices de la croissance végétale (Zahir *et al.*, 1996) qui régissent la croissance et le développement en agissant sur la division, l'élongation et la différenciation cellulaires, la régulation de l'activité enzymatique et l'induction de la germination des racines (Archad et Frenkenberger, 1992). Les auxines sont un groupe qui a la capacité d'améliorer la croissance des plantes en stimulant l'élongation des cellules, l'initiation des racines, la germination des graines et la croissance des semis (El-Tarabily, 2008).

L'acide indole-3- acétique (AIA) est une auxine naturelle commune et un produit du métabolisme du L-tryptophan chez les microorganismes (Zahir *et al.*, 1997). Environ 80% des bactéries de la rhizosphère peuvent sécréter de l'AIA (Bhavdishet *et al.*, 2003). Plusieurs espèces de *Streptomyces*, telles que *S.olivaceoviridis*, *S.rimosus*, et *S.rocheide* la rhizosphère de tomate, sont concernées (Tokala *et al.*, 2002; El-Taralily, 2008). Aujourd'hui, certaines actinobactéries de rhizosphériques sont étudiées et mis au point un produit commercial (Mahadevan et Crawford, 1997).

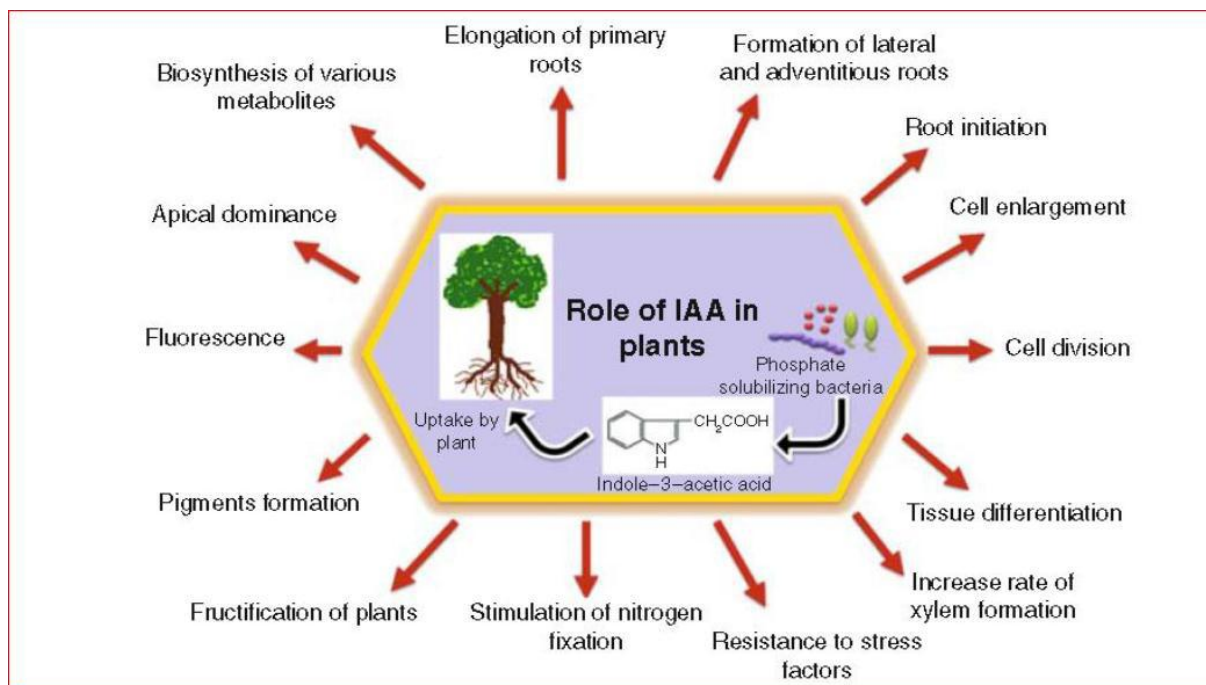


Figure 11.Rôle de l'acide indole-3-acétique dans l'amélioration de la croissance végétale (Khan *et al.*, 2009).

5. Les Actinobactéries

5.1. Définition et principales caractéristiques

Etymologiquement, le mot "actinomycète" a été dérivé des mots grecs « Aktis » qui veut dire rayon et « mykes » qui veut dire champignon. Les actinobactéries ont été considérés comme un groupe intermédiaire entre bactérie et champignons. Maintenant, elles sont reconnues comme des organismes procaryotes (Andriambololona, 2010).

Les Actinobactéries sont des bactéries filamenteuses dont la croissance donne lieu à des colonies constituées d'hyphes, qui irradient par croissance centrifuge tout autour du germe qui leur a donné naissance (Rastogi et Kishore, 1997).

Cela explique leurs dénominations en grec « Champignons à rayons » ou « Champignons rayonnants », expression utilisée pour les désigner en anglais (*Ray fungi*) et aussi en allemand et en russe (Otto, 1998).

5.2. Historiques

L'histoire des actinobactéries peut être divisée en 5 grandes périodes. La première période qui va de 1877 à 1890 environ, a été nommée « période médicale » du fait que l'intérêt porté à ces microorganismes était dû presque exclusivement aux propriétés pathogènes qu'on leur attribuait (Baldacci, 1962).

La seconde période (1900-1940) (Mariat et Sebald, 1990) sera porte à la mise en évidence et à l'étude des actinobactéries du sol, avec les travaux de Rossi-Doria(1891), Gasparini(1894), Krainsky (1914), Waksman(1919), Lieske (1921), Orskov (1925), Jensen (1931-33) et Krassinikov (1938). Elle couvre la découverte des conditions saprophytiques d'habitat des actinobactéries et les premières tentatives pour distinguer deux groupes : les pathogènes et les saprophytes.

L'époque suivante est celle de la découverte des antibiotiques produits par les actinobactéries. Elle commence en 1940 et le nom de Waksman lui est indiscutablement lié avec la découverte, en 1944, de la streptomycine produite par *Streptomyces griseus* (Leminor, 1989 ; Sanglier et Trujillo, 1997). Cette période a résulté en un accroissement brusque du nombre d'espèces décrites (Baldacci, 1962).

Ainsi, la quatrième période (1940-1970) peut être définie comme une période de développement de critères morphologiques et biochimiques pour la classification des actinobactéries, en parallèle avec la meilleure compréhension de la physiologie de ces bactéries de leur intérêt pour la production de métabolites secondaires et leur potentialité de biodégradation de composés organiques.

Enfin, depuis les années 1960, l'essor des méthodes de génétique, initiées par Hopwood (Chater, 1999 ; Hopwood, 1973), puis de génomique (Hopwood, 2003) a révolutionné la classification des espèces (Ventura, 2007) puis les méthodes de découverte de métabolites secondaires (Donadio, 2002) et d'exploration du potentiel biotechnologique de ces microorganismes.

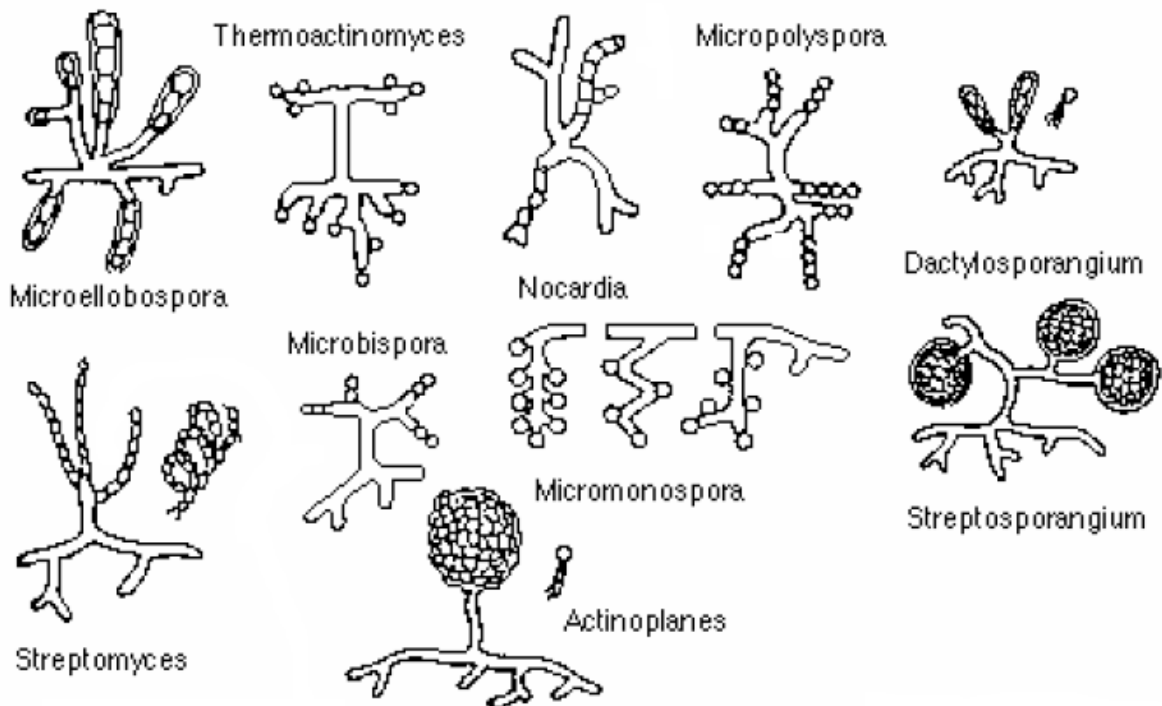


Figure 12. Principaux groupes d'actinobactéries (Stanier, 1966).

5.3. Classification des actinobactéries

Le phylum actinobactéries tel qu'il figure dans le Bergey's Manual (2004) renferme une seule classe : Actinobactéries. Cette classe est subdivisée en 5 sous classes, 6 ordres, 13 sous ordres (dont 9 appartiennent à l'ordre des Actinomycetales), 41 familles, 193 genres et plus de 1711 espèces.

L'ordre des Actinomycetales comprend des genres d'une grande variabilité morphologique, allant de la forme cocci ex. (*Micrococcus*) à un cycle bâtonnet-cocci ex. (*Arthrobacter*) en passant par ceux formant des hyphes qui se fragmentent ex. (*Nocardia*, *Rhodococcus*) et ceux qui possèdent un mycélium persistant et bien différencié (Oskay *et al.*, 2004 ; Srivibool et Sukchotiratana, 2006).

Les actinobactéries sont des bactéries à Gram positif de haut coefficient de Chargaff (G+C 75%) : généralement compris entre 60 et 75 %. Le phylum des Actinobacteria est grand et complexe (Stackebrandt, 1997; Ventura, 2007 ; Zhi, 2009).

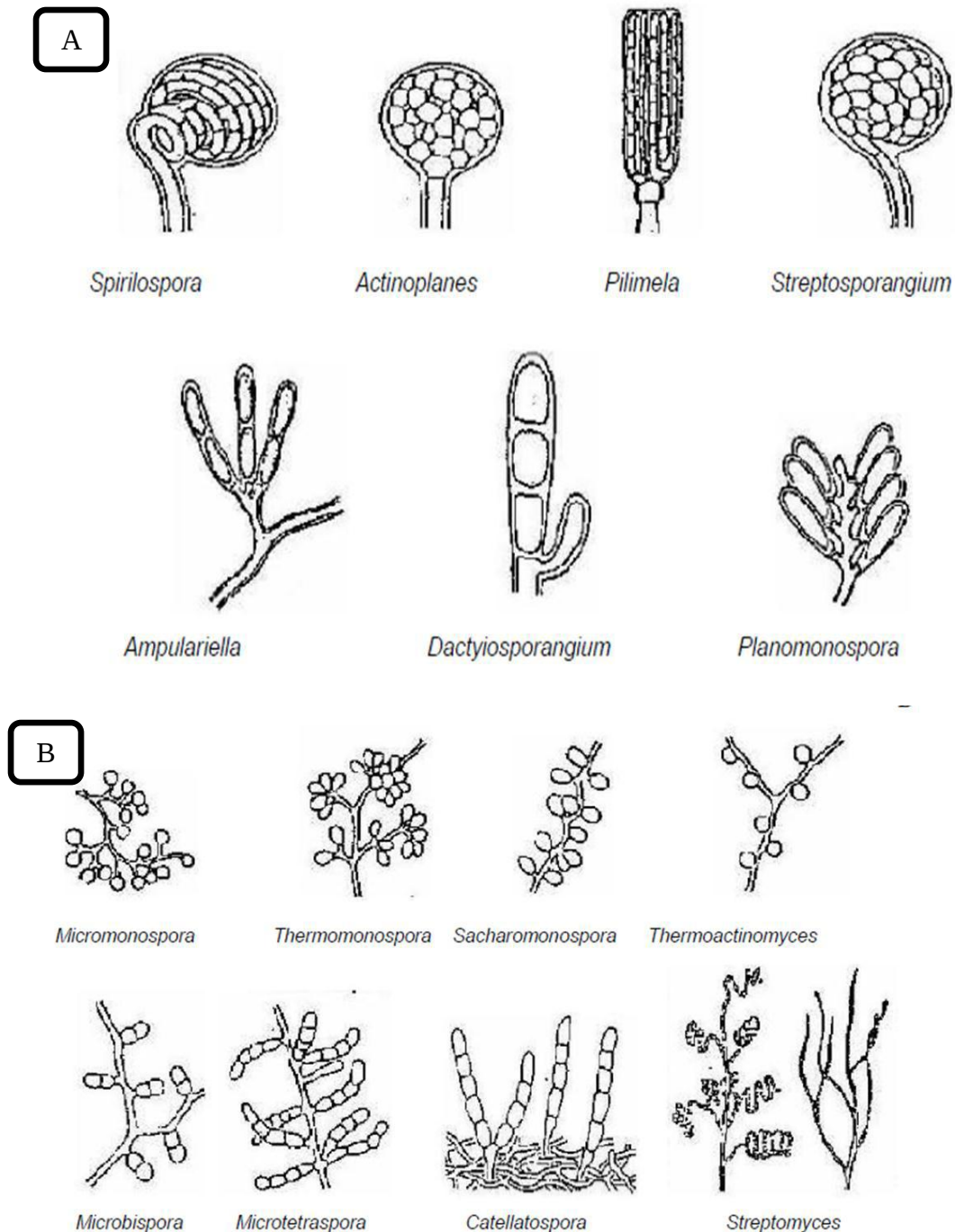


Figure 13. Différentes types de chaînes de spores chez les actinobactéries spores endogènes
(A) spores exogènes, (B) (Breton *et al*, 1989).

Les actinobactéries sont souvent été confondus avec des champignons du fait de leur morphologie fongicoïde (présence de filament ramifiés, sporulation) (Reponen *et al.*, 1998), ainsi que de l'allure mycosique des maladies que certains provoquent (Gazenko *et al.*, 1998).

Toutefois, leurs propriétés chimiques, physiologiques, immunologiques les rangent sans ambiguïté parmi les procaryotes (Becker *et al.*, 1965; Lechevalier et Lechevalier, 1981). Ainsi,

leur paroi cellulaire ne renferme ni chitine ni cellulose mais du peptidoglycane, et leur cytologie est celle des bactéries.

Ces caractères s'ajoutent à d'autres comme la sensibilité à des actinophages et à des antibactériens, qui confirment le bien-fondé de la classification des actinobactéries parmi les bactéries (Larpent, 1989 ; Mariat et Sebald, 1990).

5.4. Cycle de développement

Les actinobactéries possèdent une structure de procaryotes mais un cycle biologique semblable à certains champignons. La germination des spores passe par quatre étapes : l'activation, l'initiation, l'émergence du tube germinatif et enfin la croissance. Le degré hygrométrique joue le rôle prépondérant dans la germination des spores (Kim *et al.*, 2004 ; Smaoui, 2010).

Les actinobactéries ont un cycle de développement complexe (figure 13), il débute par la germination d'une spore, qui donne naissance à un mycélium primaire formé d'hyphes qui se ramifient. Le développement du mycélium du substrat vers la partie superficielle donne le mycélium "secondaire" ou aérien, les extrémités des hyphes aériens se différencient pour former des spores, qui sont des agents de dissémination (Kim *et al.*, 2004 ; Smaoui, 2010)

Les spores permettent la propagation de l'espèce et la survie dans des conditions défavorables à la croissance végétative, certaines spores de *Streptomyces* peuvent survivre plus de 20 ans, elles sont plus ou moins résistantes à la chaleur. La formation et la maturation d'une colonie requière de 3 à 7 jours au laboratoire pour la plupart des espèces du genre *Streptomyces* (Stanier, 1966).

Dans la nature ce cycle est de durée variable parfois très brève. Les espèces des autres groupes d'actinobactéries présentent des différences plus ou moins marquées par rapport au cycle biologique des streptomycètes. Elles vont de la fragmentation du mycélium (*Nocardioformes*) à la formation de sporange (*Actinoplana* et *Streptosporangium*) à des mobiles (*Actinoplana* et *Actinosynemma*) ou au développement d'endospores semblables à celles des bacillacea (*Thermoactinomyces*). Ces caractères morphologiques constituent une des bases de la classification des actinobactéries (Stanier, 1966).

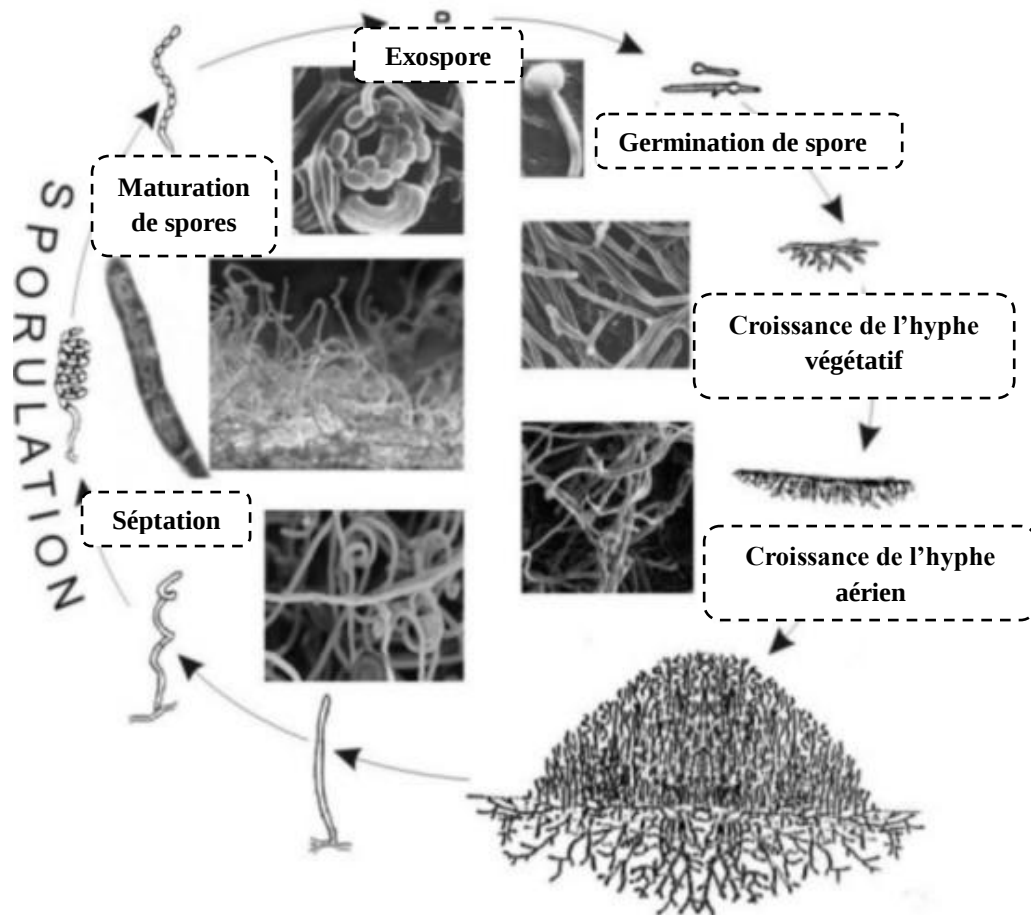


Figure 14. Cycle de développement des *Streptomyces* sur milieu solide (Jakimowicz, 2007).

5.5. Physiologie et écologie

Physiologiquement, les actinobactéries sont des bactéries aérobies mais certaines sont aérobies facultatives. Ces bactéries sont hétérotrophes ou chimiotrophes mais la plupart sont des chimio-hétérotrophes capables d'utiliser une grande variété de source d'énergie y compris les polymères complexes (Lechevalier, 1988 ; Zimmerman, 1990), mais quelques une peuvent être pathogènes ou symbiotes des plantes et des animaux (Suzuki *et al.*,1994). Les actinobactéries sont retrouvées presque partout dans la nature. Elles constituent une part importante de la microflore tellurique : 10 à 20% ou parfois plus (Dommergues et Mangenot, 1970 ; Ishizawa et Araragi, 1976). Le genre *Streptomyces* est celui qui prédomine généralement dans les sols et divers autres substrats. Il représente 80 à 95 % du total des actinobactéries (Lacey, 1973 ; Elwan *et al.*, 1985). Ils produisent des substances spécifiques telles que la géosmine et le 2-méthyl isobornéol qui sont responsables de l'odeur d'humus caractéristique des sols (Omura, 1992 ; Zaitlin *et al.*,2003).

5.6. Importance des actinobactéries

5.6.1. Dans le domaine agronomique

Les actinobactéries représentent un pourcentage élevé de la biomasse microbienne du sol. Ils ont la capacité de produire une large variété d'hydrolases extracellulaires, qui leur confèrent un rôle dans la décomposition de la matière organique dans le sol. En plus de leurs fonction de décomposition très actives, les actinobactéries apparaissent avoir de l'importance parmi la microflore de la rhizosphère. En effet les dernières années les différents aspects des interactions actinobactéries-plantes ont fait l'objet d'études étendues (Valois, 1996).

Leur pouvoir antagoniste prononcé leur confère un rôle dans la distribution écologique des microorganismes et dans la lutte biologique contre certains agents phytopathogènes du sol (Goodfellow et Williams, 1983). Les actinobactéries ont un rôle important dans les processus de recyclage et de biodégradation de la matière organique et des éléments minéraux et contribuent ainsi à la fertilisation des sols (Goodfellow *et al.*, 1984).

Elles ont un grand pouvoir de transformation des substances organiques complexes difficilement ou non dégradables par les autres microorganismes, tels que les polymères complexes, les polysaccharides, les lignocelluloses, la chitine, etc (Lechevalier, 1981; Goodfellow et Williams, 1983). Elles sont aussi capables de dégrader ou de recycler certaines toxines produites par des champignons toxinogènes et réduire aussi leur teneur dans les produits finaux en agro-alimentaire (Holzapfel *et al.*, 2002).

5.6.2. Dans la lutte biologique

Le pouvoir antagoniste des actinobactéries peut être exploité dans le domaine agronomique pour remédier à certaines maladies de plantes. Elles sont efficaces pour la lutte biologique contre les agents phytopathogènes d'origine tellurique ou foliaire (Crawford *et al.*, 1993; El-Tarabily *et al.*, 2010; Toumatia, 2010) et leurs antibiotiques sont intéressants pour la lutte contre les maladies des plantes d'origine microbienne (Merrouche; 2000; Meklat, 2004 et El- Tarabily et Sivasithampar, 2006).

5.7. Biopélicides à base d'actinobactéries

a/ Mycostop®

Le mycostop est un produit commercial synthétisé par *Streptomyces griseovirdis* K61 et *Streptomyces lydicus* WYEC 108. Il est utilisé dans le traitement des maladies causées par *Phytophthora* sp. *Fusarium* sp. *Rhizoctonia* sp. et *Phytophthora* sp. (Rugthaworn *et al.*, 2007). Un outil fiable pour contrôler la fonte des semis, les maladies racinaires et les flétrissements.

Il stimule la croissance de la plante, induit les mécanismes de défense des plantes efficaces dans les milieux de cultures organiques et de synthèse.

Il est autorisé en horticulture biologique compatible avec les programmes de lutte biologique et intégrée. Pas de risque de résistance, a un effet persistant sur l'entièreté de la plante et surtout, sans danger pour l'être humain, l'environnement et les auxiliaires (Verdera, 2009).

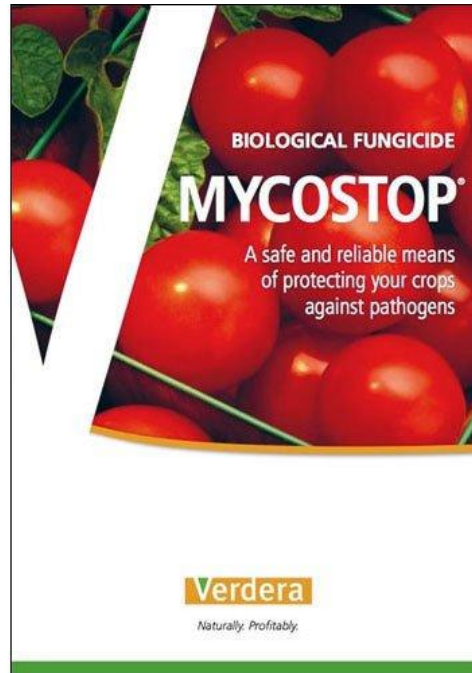


Figure 15. Exemple d'un biofongicide à base de *Streptomyces griseovirdis* K61 et *Streptomyces lydicus* WYEC 108 (Mycostop®) (Verdera, 2009).

b. Actinovate®

C'est un biofongicide à base de *Streptomyces lydicus* (souche WYEC 108), originaire des rhizobactéries isolées des racines d'un plant de lin. Cette bactérie colonise toute les parties pulvérisées et forme une synergie avec la plante en échangeant des molécules protectrices. Avec son mode d'action multiple, Actinovate®, est l'outil idéal contre le développement des résistances (Verdera, 2009).

Il a comme caractéristiques particulières :

- Un puissant colonisateur de la rhizosphère.
- Un Mycoparasite.
- Produit de la chitinase en abondance (antifongique).
- Produit des sidérophores en abondance.
- Stimulation de la croissance des plantes (Verdera, 2009).

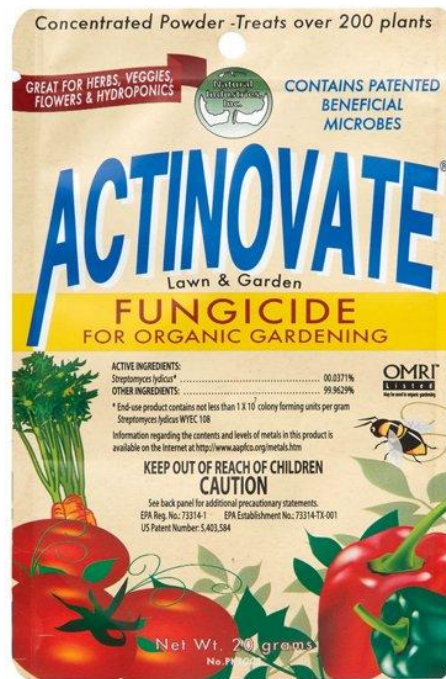


Figure 16. Exemple d'un biofongicide à base de spores de *Streptomyces lydicus* (WYEC 108) (Actinovate®) (Verdera, 2009).

Partie II : Matériel et méthodes

1. Matériel végétal

Dans le but d'étudier l'implication de quelques souches d'actinobactéries endophytes dans la croissance et le développement du blé, un suivi *in vitro* de la culture a été réalisé.

1.1. Le blé

Des semences de blé (*Triticum durum*) de la variété Vitron de l'ITGC de SETIF ont été utilisées pour les tests réalisés durant notre étude.

1.2. Caractéristiques de la variété Vitron

La variété Vitron est sélectionnée au niveau de CIMMYT (Centre international d'Amélioration de Mais et de blé) de Mexique, et largement cultivée en Espagne. Elle a été introduite en Algérie par l'ITGC en 1986 et sélectionnée au niveau de la station expérimentale de Tiaret (Haut Plateaux de l'Ouest). C'est une variété semi-précoce, assez sensible à la rouille brune. Elle est productive (50 à 60 q/ha en sec) et présente un épi fertile (50 à 60 grains/ épi) et un gros grain (ITGC, 1998).

Tableau 04. Quelques caractéristiques agronomiques de la variété Vitron.

Caractéristiques agronomiques	
Rendement	Élevé (~50 à 60Q/ha)
Caractéristiques technologiques	
Qualité semoulière	Bonne
Mitadinage	Résistant
Teneur en protéines	13,5%
Résistance aux maladies	
Oïdium feuille	Résistant
Oïdium Epi	Résistant
Rouille brune	Sensible
Septoriose	Moyennement sensible

Source : Salhi, 1988.

2. Matériel biologique

2.1. Les souches d'actinobactéries

Un total de quatorze souches d'actinobactéries a été utilisé pour la réalisation de notre étude. Les souches ont été préalablement isolées, purifiées sur milieu de culture ISP2, et identifiées au niveau du laboratoire de microbiologie de l'université de Laghouat.

Avant l'utilisation de ces souches d'actinobactéries dans notre étude, qui vise à étudier leur implication sur la croissance de blé dur (variété Vitron). Ces souches ont subi quelques tests d'activité antagoniste, de production de biomolécules et d'enzymes à intérêt de biocontrôle et de solubilisation de quelques éléments minéraux du sol.

Les tests réalisés sont les suivants :

2.1.1. Test du pouvoir colonisateur racinaire

Après 10 jours d'incubation, les plantules de blé ont subi une coupure des extrémités des racines et trempées dans les suspensions de spores des actinobactéries pendant 24h (figure 17 (Originale, 2017)), puis transplantées dans la perlite stérile (figure 18 (Originale, 2017)). Les plantules sont irriguées quotidiennement avec de l'eau de robinet stérile et pour une durée de culture de 21 jours en phytotron ($T^{\circ}= 23^{\circ}\text{C}$ (la nuit) à 25°C (le jour)) et une humidité relative de 70% et une photopériode de 13 h.).

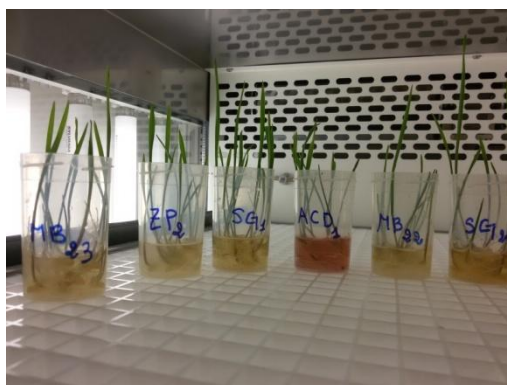


Figure 17. Trempage des plantules dans les suspensions des spores des différents souches d'actinobactéries (Originale, 2017).

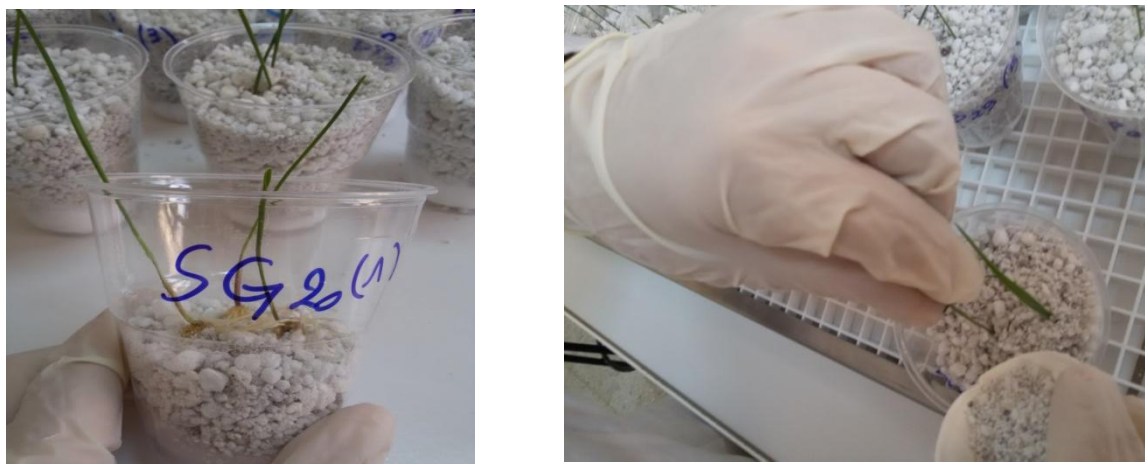


Figure 18. Transplantation des plantules dans la perlite blanche stérile (Originale, 2017).

Les plantules sont ensuite débarrassées de la perlite et ont subi une désinfection superficielle dans l'hypochlorite de sodium dilué à 2% pendant 10 min, suivis d'un trempage dans une solution d'éthanol à 70% pendant 5 min, avant de terminer avec trois rinçages successifs avec l'eau distillée stérile pendant 5 min pour chacun (Goudjal *et al*, 2013), les racines sont ensuite coupées et déposées dans des boîtes de Pétri contenant le milieu ISP2 (figure 19, Originale, 2017) et portées à incubation dans une étuve à 30°C pour le ré-isolement d'éventuels actinobactéries endophytes.

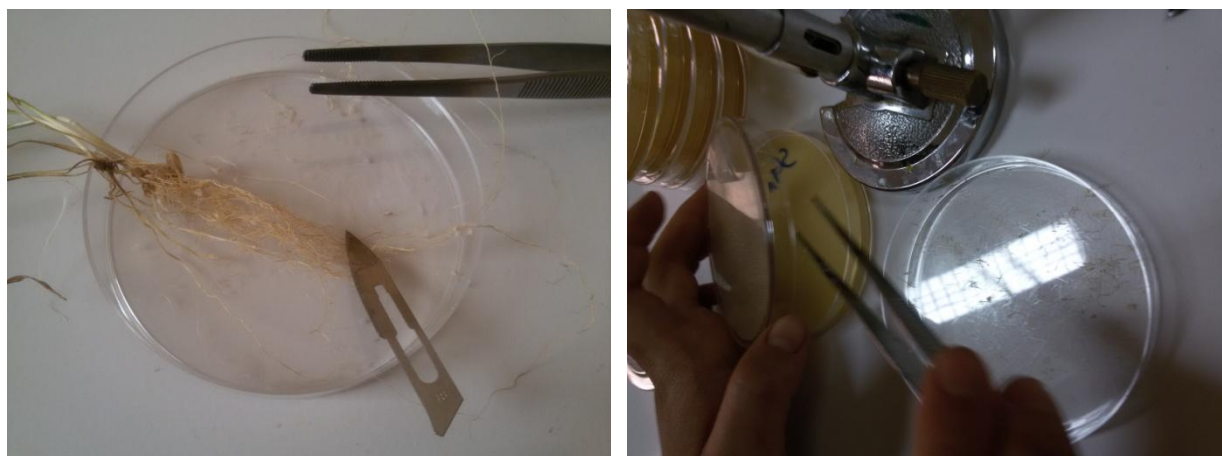


Figure 19. Coupure et dépôt de racines de blé dans des boîtes de Pétris contenant le milieu ISP2 (Originale, 2017).

2.1.2. Test d'antibiose

La méthode des stries croisées décrite par (Zitouni *et al.*, 2005), était utilisée dans le but d'étudier l'activité antifongique des souches d'actinobactéries endophytes vis-à-vis de *Bipolaris sorokiniana*. Le principe de la méthode consiste à inoculer l'actinobactérie dans une boîte de Pétri contenant le milieu ISP2 sur une seule ligne horizontale.

Après une incubation à 30°C pendant 5 jours, le champignon phytopathogène est inoculé en strie perpendiculaire à celle de l'actinobactérie (figure 20, (Originale, 2017)). Les boîtes ont été ensuite incubées à 30°C et les zones d'inhibition ont été mesurées après 3 jours, exprimée en millimètre(en mm), est mesurée à l'aide d'un pied à coulisse, entre les limites de la croissance de l'actinobactérie et la croissance du mycélium de *Bipolaris sorokiniana*.

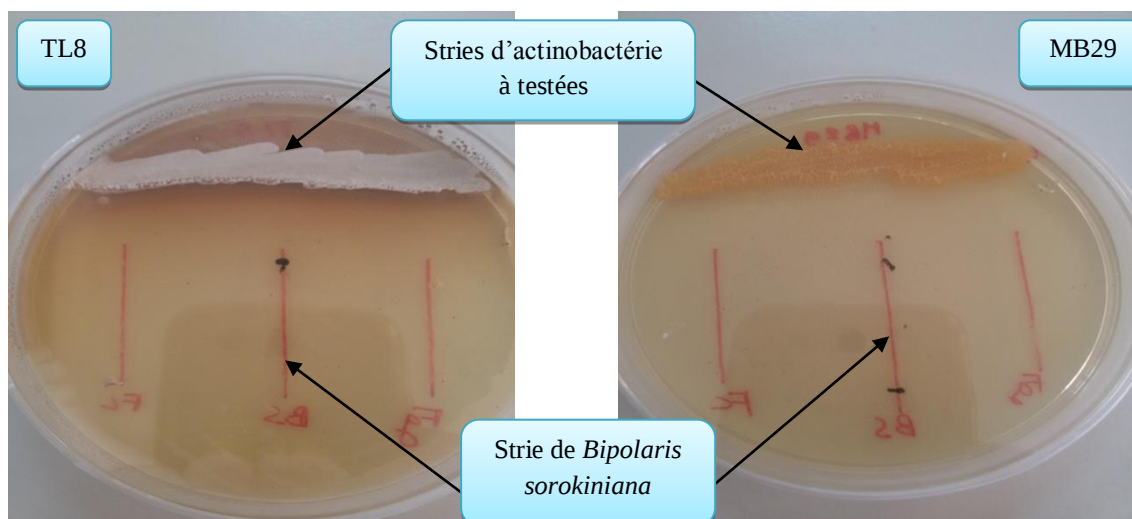


Figure 20. La méthode des stries croisées pour le test d'antibiose (Originale, 2017).

2.1.3. Production d'HCN

La capacité des souches d'actinobactéries à produire de l'acide cyanhydrique est effectuée selon la méthode de Lorck (1948) sur milieu Benett+Glycine,ensemencé par une anse de la culture. Du papier Whatman stérile, imprégné d'une solution de picrate de sodium, est déposé à l'intérieur du couvercle d'une boîte de pétri de 90 mm de diamètre. Celle-ci est scellée avec du papier parafilm et incubée dans une étuve à 30°C pendant 4 jours. Le développement d'une couleur orange à rouge indique la présence d'HCN : substance volatile sécrétée par la souche d'actinobactérie testée et donc la production d'HCN. Quelques étapes expérimentales sont représentées par les photographies de la figure 21 (Originale, 2017).

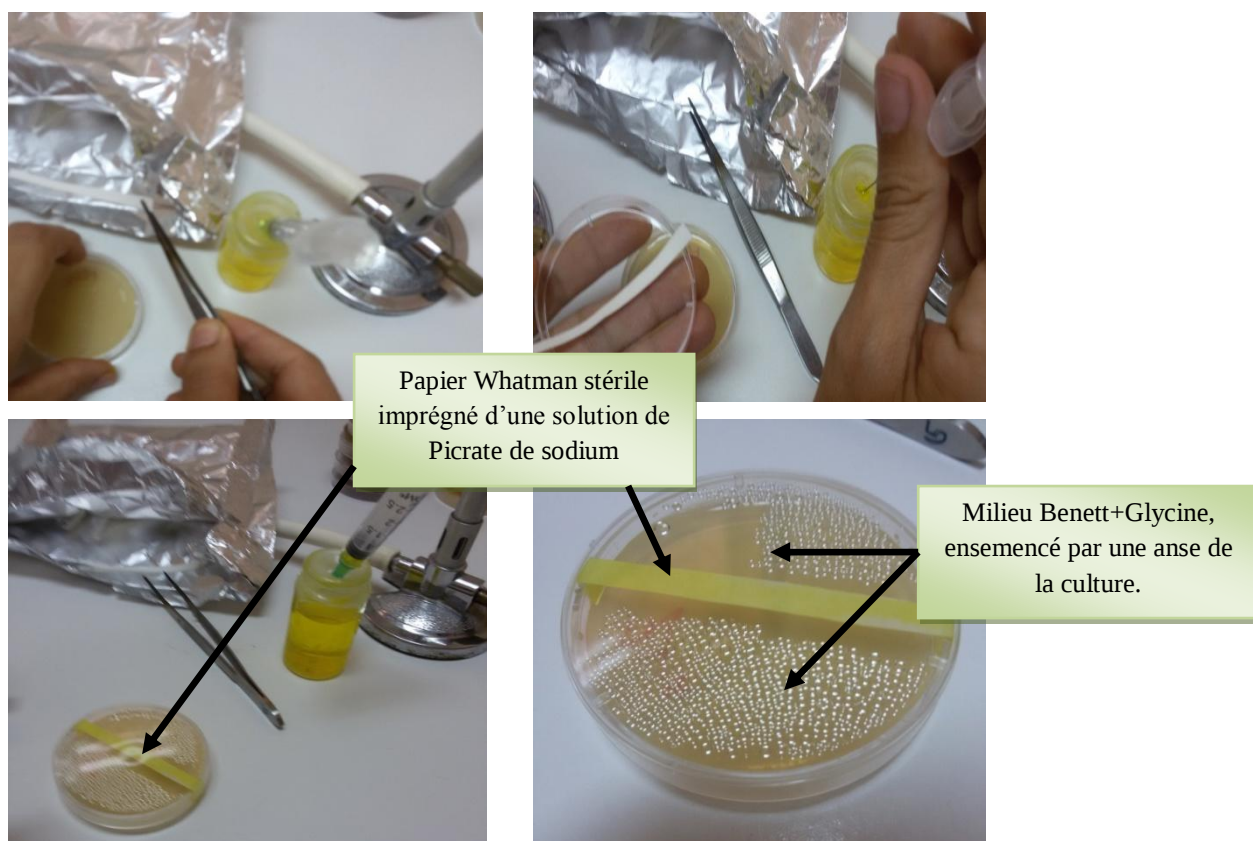


Figure 21. Photographies montrant quelques étapes expérimentales des tests de production d'HCN (Originale, 2017).

2.1.4. Test de production des sidérophores

Selon la technique décrite par Schwyn et Neilands (1997), deux milieux de culture ont été utilisés : AIM (sans fer) et le milieu CAS-bleu agar (Chrome Azurol S) pour tester la production des sidérophores par les actinobactéries. Cette technique consiste à déposer des disques fins (6 mm de diamètre) d'une culture active de chacune des souches étudiées à la surface du milieu de culture. Les boîtes ont été ensuite incubées dans l'étuve à 30°C pendant 7 jours. Après observation, on note la présence ou l'absence d'un halo clair autour des colonies sur milieu CAS-bleu agar et la croissance sur milieu AIM sans fer, qui indique la production ou non des sidérophores.

2.1.5. Solubilisation des phosphates inorganiques

La méthode décrite par Gaur (1990) permet d'évaluer la capacité de solubilisation des phosphates sur milieu Pikovskaya (PVK), contenant du $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, AlPO_4 ou FePO_4 comme trois sources différentes de phosphate inorganique (Pikovskaya, 1948). Cette étude a été effectuée en deux étapes :

a). Solubilisation des phosphates en milieu solide

Un explant de 6 mm de diamètre d'une culture active de l'actinobactérie testée, est déposé à la surface du milieu PVK puis incubé à 30°C pendant 7 jours. Le diamètre du halo autour de la colonie indique l'utilisation de la source de phosphate du milieu par la souche d'actinobactérie

b). Solubilisation des phosphates en milieu liquide

Le milieu PVK liquide estensemencé par un disque prélevé de chaque culture d'actinobactérie. L'incubation est effectuée en shaker (200 rpm à 30°C) pendant 4 jours et la disparition de l'opacité du milieu a été notée. Les cultures sont ensuite centrifugées à 3000 rpm pendant 15 min.

2.1.6. Production de l'acide indole-3-acétique (AIA)

La production de l'acide indole-3-acétique est testée sur milieu YT (*yeast extract tryptone agar*) auquel est ajouté du tryptophane (1g /l) pour la production de l'AIA (Penrose et Glick, 2003). Le milieu estensemencé par les cultures d'actinobactéries, et incubé en shaker (200 rpm à 30°C) pendant 3 jours (figure 22 (Originale, 2017)). Le dosage colorimétrique est réalisé selon la méthode de Loper et Scroth (1986). Les cultures sont centrifugées à 3000 rpm/ 20 min, un ml de surnageant est mélangé ensuite à 2 ml du réactif de Salkowski. L'apparition de la couleur rouge indique la production du groupe indole par la souche. La Densité Optique (DO) est mesurée à 530 nm à l'aide du Spectrophotomètre. Quelques étapes expérimentales sont représentées par les photographies de la figure 23.



Figure 22. Photographies montrant quelques étapes expérimentales de test de production de l'acide indole-3-acétique (AIA), (Originale, 2017).

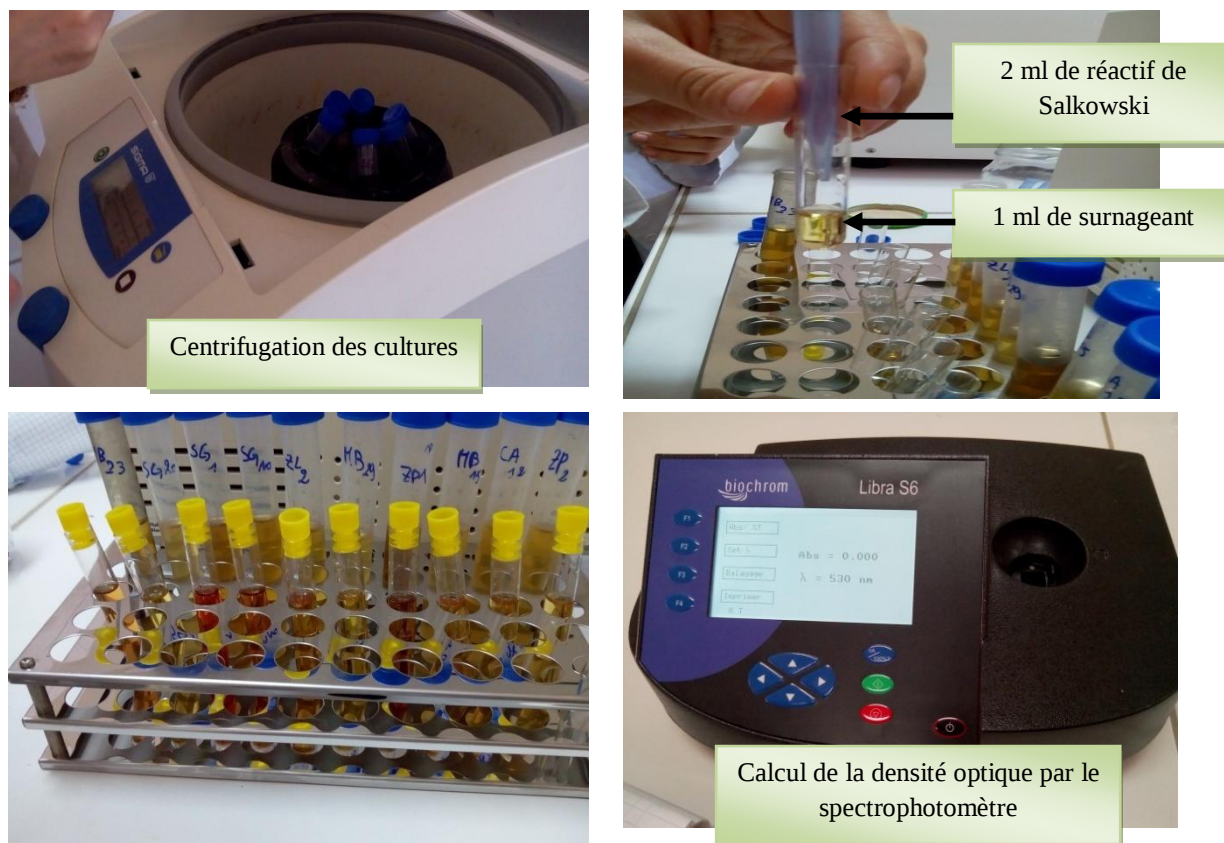


Figure 23. Photographies montrant quelques étapes expérimentales représentant la centrifugation et la mesure de la Densité Optique (DO) à l'aide du Spectrophotomètre (Originale, 2017).

2.1.6.1. Chromatographie sur couche mince (CCM)

En vue de confirmer la production de l'acide indole-3-acétique (AIA) par les souches d'actinobactéries, une chromatographie sur couche mince a été effectuée. L'AIA produit par la souche ML2 testée (surnageant des cultures) a été récupéré dans l'acétate d'éthyle et déposé sur la ligne de base d'une plaque chromatographique (Silica Gel GF254, thickness 0.25 mm, Merck, Germany) puis développé en présence d'un témoin (AIA pure) dans un système de solvant composé d'acétate d'éthyle / chloroforme / acide formique (55/35/10, v/v/v). Les R_f ont été calculés pour ces taches par la formule suivante :

$$R_f = \text{Hauteur de la tache} / \text{Hauteur du front du solvant}.$$

Les taches de même R_f avec l'AIA pure qui apparaissent sous lumière UV (254 nm) après pulvérisation par le réactif d'Ehmann ont été considérées comme AIA (Choueb et Nia, 2012).

2.1.7. Test de production des protéases

Les quatorze souches d'actinobactéries ont été testées pour leurs capacités à produire des protéases sur le milieu SMA (*SkimMilkAgar*), en suivant la méthode décrite par Hariprasad et Niranjana, (2009). Le test consiste à déposer un disque gélosé (6 mm de diamètre) d'une culture active de chacune des souches étudiées à la surface du milieu de culture, les boîtes ont été ensuite incubées à 30°C pendant 7 jours. La présence ou l'absence d'un halo claire autour des colonies indique la production des protéases.

2.1.8. Test de production des chitinases

La capacité des souches d'actinobactéries à produire des chitinases est réalisée selon la méthode décrite par Hamdali *et al.*, (2008), tout en utilisant le milieu CCB (*Colloidal Chitin Broth*). Cette méthode consiste à déposer un disque de 6 mm de diamètre d'une culture active de chacune des souches étudiées à la surface du milieu de culture. Les boîtes ont été ensuite portées à incubation dans une étuve à 30°C pendant 7 jours. La présence ou l'absence d'un halo claire autour des colonies est le résultat à enregistrer, et c'est l'indicateur de production des chitinases.

2.1.9. Production des cellulases

La méthode modifiée de Nirmala et Sindhu (2011), a été utilisé pour déterminer la production des cellulases par les souches d'actinobactéries qui ont été ensemencés sur milieu ISP9 additionné de Carboxyméthyl cellulose (CMC) comme seule source de carbone. Les boîtes sont ensuite incubées à 30 °C pendant 7 jours. La production de celluloses est indiquée par l'apparition d'un halo autour des colonies.

2.2. L'agent phytopathogène *Bipolaris sorokinia*

2.2.1. Isolement et purification du champignon

Des échantillons de plants de blé infectés (présentant les symptômes typiques de *Bipolaris sorokinia*) des champs de la région d'EL-khneg de la wilaya de Laghouat, ont été prélevés en Avril 2017, pour être analysés ensuite au laboratoire.

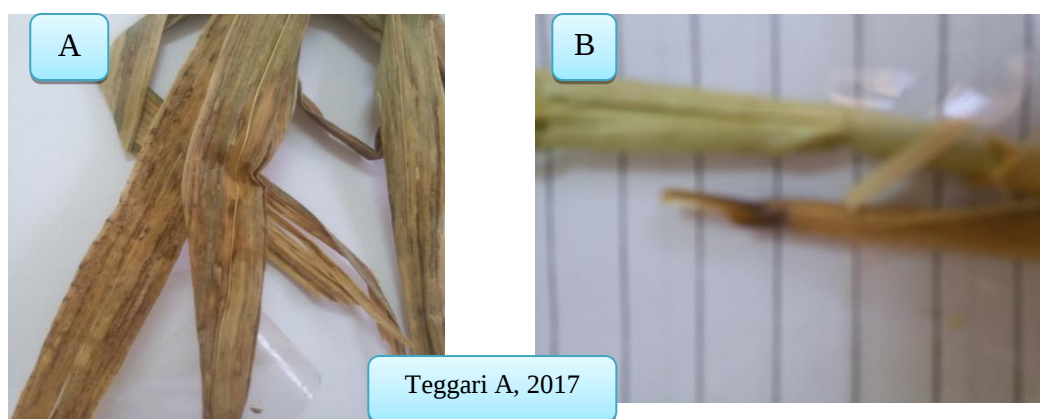


Figure 24. Symptômes de *Bipolaris sorokinia* sur la feuille (A) et sur le collet respectivement (B) de plant de blé (Originale, 2017).

Pour les étapes d'isolement, les échantillons qui présentent les symptômes typiques de la maladie sont découpés à l'aide d'un scalpel, ensuite désinfecter pendant 10 min dans l'hypochlorite de sodium dilué à 2%, suivis d'un trempage dans une solution d'éthanol à 70% pendant 5 min avant de terminer avec trois rinçages successifs avec l'eau distillée stérile pendant 3 min pour chacun (LNPV, 2002). Les échantillons désinfectés ont été ensuite sécher à l'aide du papier buvard stérilisé. Les photographies de la figure 25 (Originale, 2017), montrent quelques étapes expérimentales de l'isolement de *Bipolaris sorokinia*.

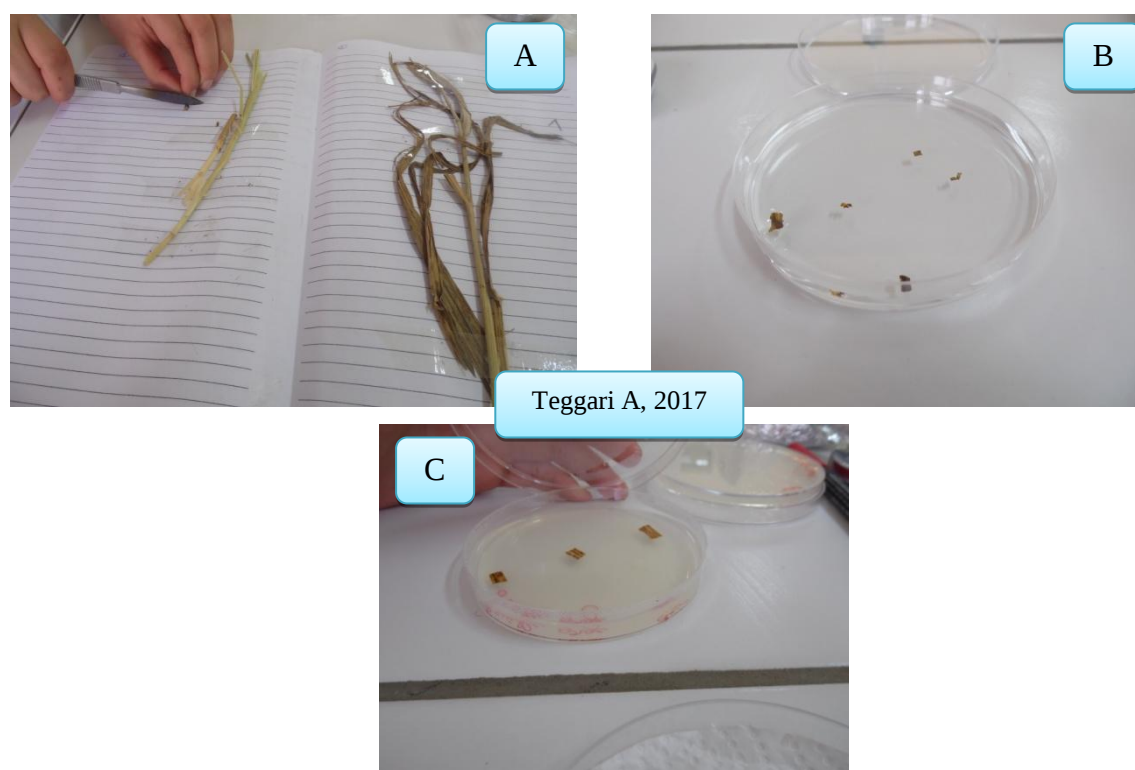


Figure 25. Etapes de d'isolement des échantillons (feuille et collet) présentant des symptômes typiques de *Bipolaris sorokinia*. (A : découpage de l'échantillon, B : désinfection des échantillons, C : dépôts sur milieu PDA), (Originale, 2017).

Les fragments sont déposés à la surface de boîtes de Pétri contenant le milieu PDA, puis incubés dans une étuve à 25°C (Bouregghda, 2005).

Après 7 jours d'incubation, on observe l'apparition et le développement des mycéliums (colonie de *Bipolaris sorokinia*) de couleur gris noirâtre, et d'aspects qui diffèrent d'un échantillon à un autre des feuilles ou du collet. Une observation microscopique d'une préparation d'un fragment de mycélium, prélevé à partir des colonies caractéristiques de *Bipolaris sorokinia* a été effectuée. La purification du champignon, se fait après un repiquage successif du mycélium sur le milieu PDA.

2.2.2. Test de pathogénéicité des isolats de *Bipolaris sorokinia*

Dans le but de tester la virulence des souches de *Bipolaris sorokiniana* isolées, des feuilles saines stérilisées superficiellement, ont été déposées dans des boîtes de Pétri contenant l'eau gélosée et infectées avec quelques gouttes de suspension des spores des deux isolats de *Bipolaris sorokinia* (de feuille, et du collet). Les boîtes ont été ensuite portées à incubation dans une étuve à 30°C, la lecture des résultats a été réalisée après 24h (figure 26, (Originale, 2017)).



Figure 26. Feuille saine de blé incubée dans l'eau gélosé (Originale, 2017).

Des feuilles seines stérilisées superficiellement, ont été déposées dans une chambre humide (une boîte de Pétri contenant un papier filtre stérilisé imbibé avec de l'eau distillée stérile). Les feuilles ont été infectées avec quelques gouttes de suspension des spores des deux isolats du champignon (de feuille, et du collet), et portées à incubation dans une étuve à 30°C, la lecture des résultats est réalisée après 24h (figure 27(Originale, 2017)).

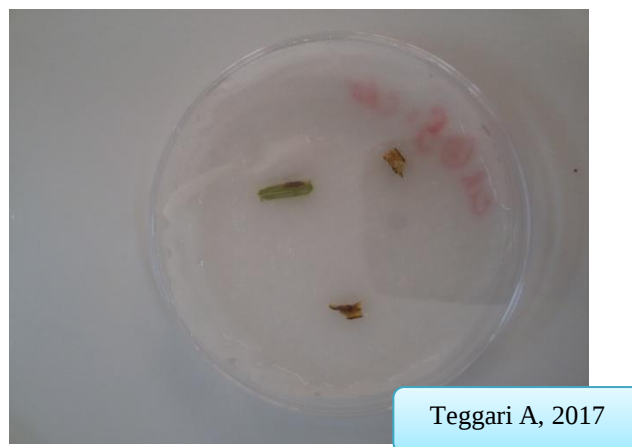


Figure 27. Fragments de feuille de blé incubées dans la chambre humide en présence des colonies de *Bipolaris sorokinia* (Originale, 2017).

Dans des tubes à essai contenant du coton imbibé avec de l'eau distillée stérile, nous avons déposés 5 graines de blé désinfectées superficiellement (LNPV, 2002), et un disque de culture active des deux isolats du champignon (de feuille, et du collet) à raison de cinq répétitions pour chacun. Les tubes ont été ensuite incubés dans le phytotron réglé précédemment pendant 7 jours (figure 28, (Originale, 2017)) et irrigués si nécessaire, le suivi du taux de la germination des graines ainsi que le développement du mycélium ont été notés quotidiennement.



Figure 28. Graines de blé déposées sur coton imbibé en tube à essai (Originale, 2017).

2.3. Biocontrôle *in vitro* de *Bipolaris sorokinia*

2.3.1. Désinfection superficielle et traitement des semences

L'objectif de la désinfection superficielle des grains est d'éliminer toutes les pollutions externes d'origine fongique ou bactérienne (LNPV, 2002).

Les grains sont placés dans une passoire et désinfecter superficiellement selon le protocole suivant :

- Trempage des graines pendant 10 min dans un cristallisoir contenant une solution d'hypochlorite de sodium diluée à 2%.
- 5 min dans un cristallisoir contenant de l'éthanol à 70%.
- Un rinçage pendant 3min dans un cristallisoir contenant de l'eau distillée stérile (opération effectuée 3 fois de suite).
- Les grains sont ensuite égouttés et placés à sécher sur du papier filtre stérile.

Quelques étapes expérimentales sont données par la figure 29 (Originale, 2017).

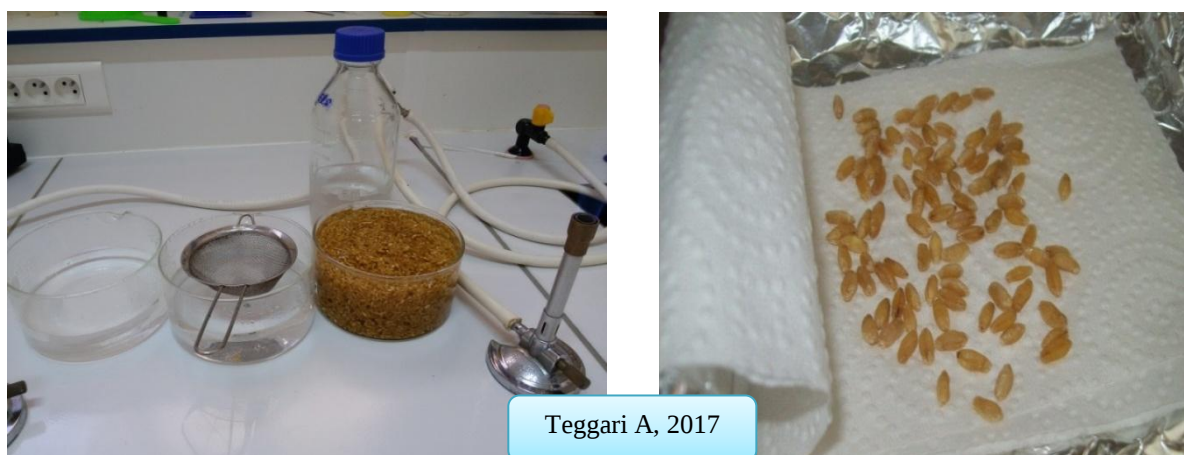


Figure 29. Photographie montrant quelques étapes de la désinfection superficielle des graines de blé (Originale, 2017).

2.3.2. Préparation des suspensions de spores

Les suspensions de spores ont été préparées par un raclage de la surface de la culture des actinobactéries et celle de *Bipolaris sorokiniana*. Une solution stérile de Twin 80 à 0,05% a été ajoutée à la surface des cultures en boîte de Pétri. Les suspensions des spores étaient

ensuite ajustées à 10^6 UFC/ml pour les agents de lutte (actinobactéries), et à 10^4 UFC/ml pour les agents phytopathogènes et cela à l'aide d'une cellule de Thomas. Quelques étapes expérimentales sont données par la figure 30 (Originale, 2017).

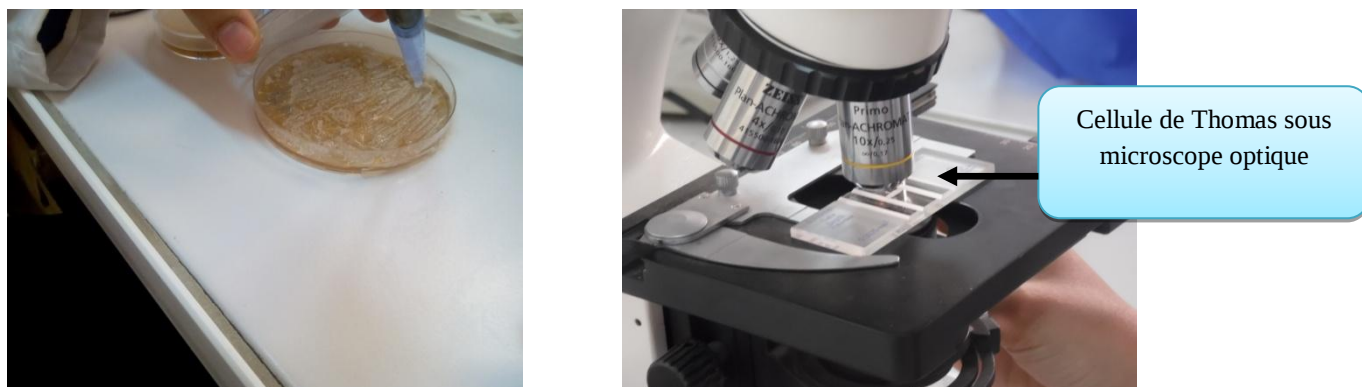


Figure 30. Photographie montrant quelques étapes de la préparation et l'ajustement des suspensions des spores à l'aide de la cellule de Thomas (Originale, 2017).

2.3.3. Sérénade : agent de lutte biologique

Le sérénade (*Bacillus subtilis* souche QST713) est un agent de lutte biologique homologué et commercialisé au Canada. Il est utilisé contre plusieurs agents phytopathogènes notamment ceux responsables de la fonte des semis. Pour notre travail, le sérénade a été utilisé entant que traitement témoin en vue de comparer son effet de biocontrôle de *Bipolaris sorokinina* avec ceux des souches d'actinobactéries (Goudjal Y).

Le sérénade utilisé durant notre travail est sous forme d'une poudre mouillable conditionnée en sachet de 500g et orienté pour le traitement des semences et des sols contaminés par des microorganismes provoquant la fonte des semis (Figure 31).

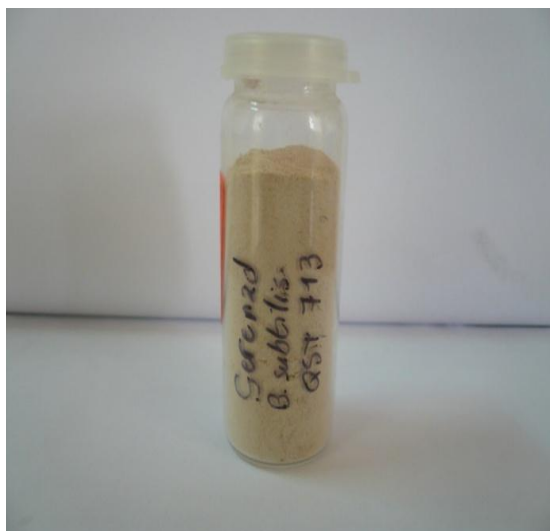


Figure 31. Sérénade® (*Bacillus subtilis* souche QST73).

2.3.4. Agent de lutte chimique

Un agent de lutte chimique, représenté par le Dévadant, de très large utilisation pour le traitement des semences tant que fongicide de contact a été utilisé comme un deuxième témoin pour comparer son effet protecteur avec celui des souches actinobactéries. Ce fongicide chimique de contact est sous forme d'un liquide rouge.

2.4. Traitements des graines du blé

Les graines préalablement désinfectées et séchées, sont trempées dans les suspensions de spores des actinobactéries et celle des agents de lutte. Elles sont ensuite déposées à raison de 10 graines par boîte de Pétri contenant un papier buvard stérile et imbibé à l'eau distillée stérile (cinq répétitions pour chaque traitement). L'incubation des boîtes est effectuée dans le phytotron réglé précédemment (figure 32, (Originale, 2017)). Après l'émergence des plantules, nous avons pulvérisé le collet et la racine par la suspension des spores de *Bipolaris sorokinina*.

L'incidence de maladie est évaluée par l'échelle de notation, de 5 classes, décrite par Dhanasekaran *et al.* (2005) : **0**: pas de symptômes, **1**: 0-25 % des racines brunies, **2**: 25-50 % des racines brunies, **3**: 50-75 % des racines brunies, **4**: 75-100 % des racines brunies, **5**: Plante morte. Les résultats obtenus de la lecture, sont converties en DI% (Disease Index) en utilisant la formule suivante : **DI= $[\sum (R*N)] * 100/H*T$.**

où : **R** : Classe correspondante, **N** : Nombre de plans de cette classe, **H** : Catégorie de la classe la plus élevée, **T** : Nombre total de plantes comptées.

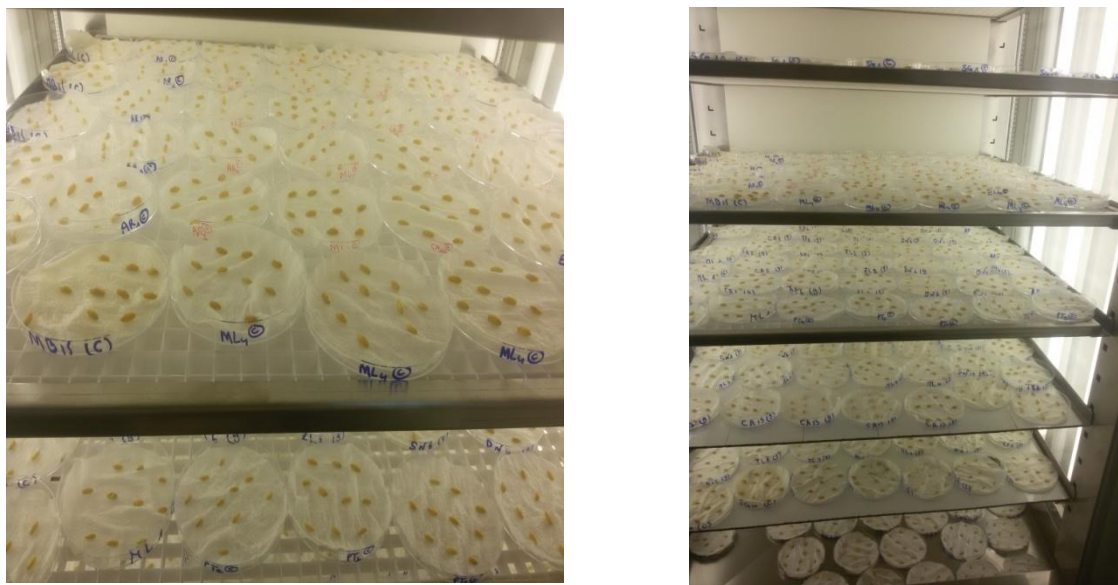


Figure 32. Incubation des graines de blé dans le phytotron (Originale, 2017).

2.5. Analyses statistiques

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA) réalisée à l'aide d'un logiciel appelé Statbox. Les différences entre les moyennes sont considérées significatives lorsque $P < 0,05$.

Partie III. Résultats et discussions

1. Identification préliminaire des genres des souches d'actinobactéries endophytes

Un total de quatorze souches d'actinobactéries endophytes a été préalablement obtenu à partir des plantes spontanées (*Astragalus armatus*, *phanix dactilefera*, *Aristida pungens*, *Solanum nigrum*, *Medicago laciniata* et *Cleome arabica*) (Azouaou et Kiboub, 2012). Les souches purifiées au niveau du laboratoire de microbiologie, ont fait l'objet d'une détermination préliminaire du genre selon la méthode utilisée par (Sabaou *et al.*, 1992). Les résultats de cette identification sont donnés par le tableau 05.

Tableau 05. Caractéristiques morphologiques des actinobactéries endophytes et détermination préliminaire des genres.

souches	Couleur du			Chaîne de spores	Genre
	MS	MA	PS		
AP4	Beige Claire à grisâtre	Gris foncé	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
AR1	Non coloré	Blanchâtre	Absent	RF	<i>Streptomyces</i>
AR2	Olive moyen	Blanchâtre	Absent	RF	<i>Streptomyces</i>
CA12	Brunâtre claire	Gris brunâtre claire	Absent	S	<i>nonStreptomyces</i>
DN19	Non coloré	Gris	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
EH3	Beige clair	Gris jaunâtre	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
MB29	Non coloré	Beige clair	Absent	/	<i>Saccharothrix</i>
ML2	Beige	Jaune grisâtre	Brunâtre	RF	<i>Streptomyces</i>
ML3	Beige	Jaune grisâtre	Brunâtre	RF	<i>Streptomyces</i>
ML4	Beige	Jaune grisâtre	Absent	RF	<i>Streptomyces</i>
SN2	Non coloré	Gris moyen	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
TL3	Brun clair	Gris	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
TL4	Brun foncé	Gris	Brunâtre	S	<i>Streptomyces</i>
TL8	Brun foncé	Gris	Brunâtre	S	<i>Streptomyces</i>

(Source : Azouaou et Kiboub, 2012)

MA : mycelium aérien ; **MS** : mycelium du substrat ; **S** : Spiralis ; **RF** : Rectis flexibilis ; **PS** : Pigments du substrat.

L'analyse des caractéristiques morphologiques données par la couleur du mycélium du substrat, mycélium aérien et pigments diffusibles et du type des chaînes de spores, ont permis de classer la majorité des actinobactéries endophytes parmi le genre *Streptomyces*. Deux souches seulement CA12 et MB29 ont été classés en dehors du genre *Streptomyces* voir tableau 05. La figure 33 (Originale, 2017), représente l'aspect macroscopique de quelques souches d'actinobactéries sur milieu de culture ISP2.

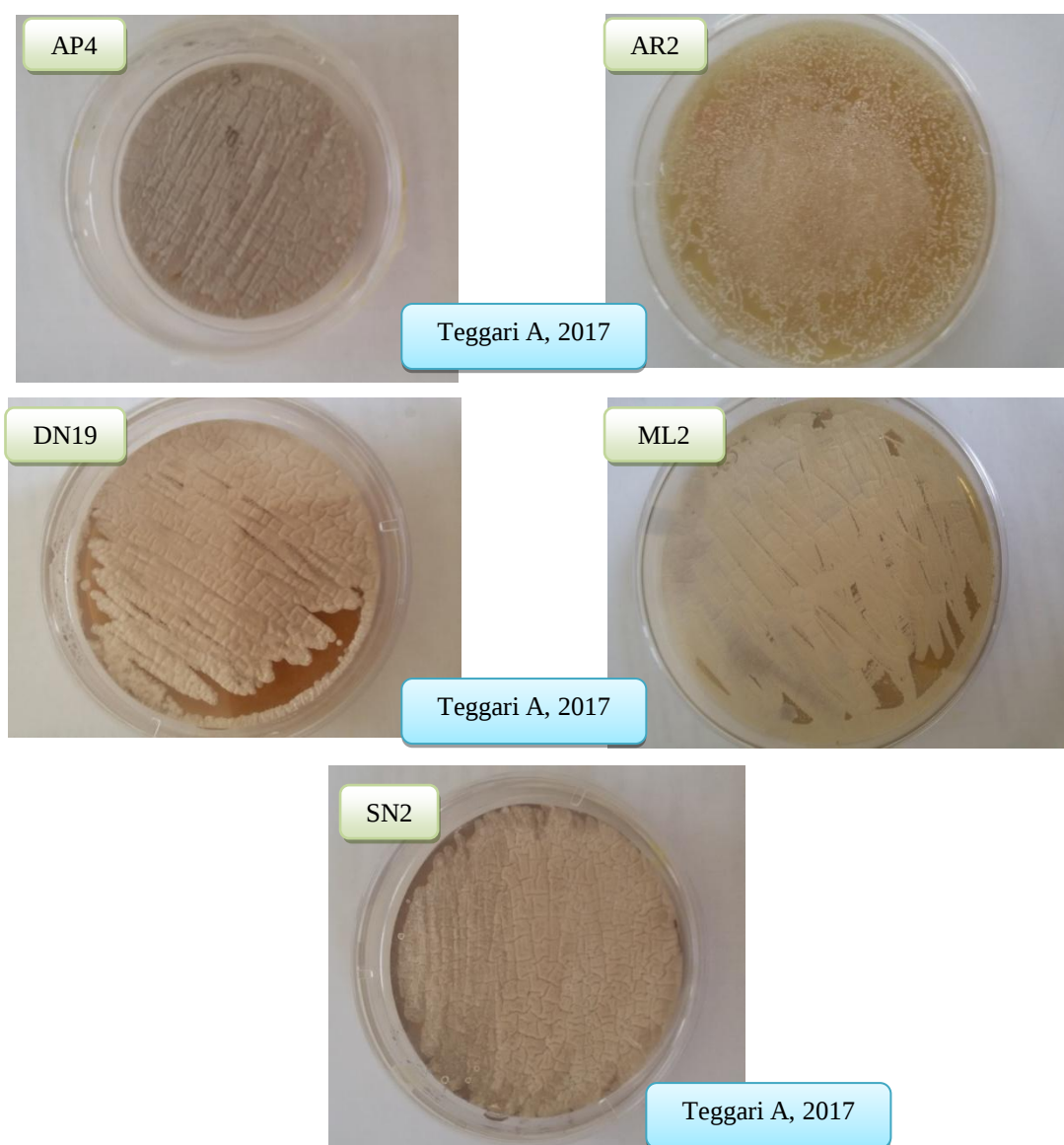


Figure 33.Aspect macroscopique de quelques souches d'actinobactéries du genre *Streptomyces* (Originale, 2017).

2. Test du pouvoir colonisateur racinaire

Après 7 jours d'incubation à 30°C, les quatorze souches d'actinobactéries ont été ré-isolées à partir des racines de blé inoculées artificiellement (figure 34a(Originale, 2017)). Nous avons observé la croissance des actinobactéries ré-isolées des racines des plantules du blé sur milieu ISP2 (figure 34c (Originale, 2017)), ce qui s'explique par le pouvoir des souches d'actinobactéries endophytes de coloniser le système racinaire et à favoriser la croissance des plantules de blé (figure 34b(Originale, 2017)).

De plus les plantules de blé artificiellement inoculées n'ont présenté aucun symptôme pathologique.



Teggari A, 2017

Figure 34a. Ré-isolément des actinobactéries endophytes à partir des racines de blé (Originale, 2017).



Figure 34b. Plantule de blé saine, inoculée artificiellement par l'actinobactérie endophyte SN2 (Originale, 2017).



Teggari A, 2017

Figure 34 c. La croissance des actinobactéries ré-isolées des racines des plantules du blé sur milieu ISP2 (Originale, 2017).

3. Mécanismes de biocontrôle et de l'effet PGPB

3.1. Mécanismes liés au biocontrôle

3.1.1. Test d'antibiose

Les résultats obtenus d'après ce test sont marqués par la présence de zones d'inhibition de la croissance de l'agent phytopathogène *Bipolaris sorokiniana* par la souche d'actinobactérie testée sur cet agent. Seulement les souche MB29 et TL8 ont montré une forte activité antagoniste. La souche MB29 est considérée comme la meilleure souche avec une zone d'inhibition de 10.07 mm. La figure 35(Originale, 2017), montre la mesure de la zone d'inhibition de *Bipolaris sorokiniana* en présence de quelques souches d'actinobactéries.

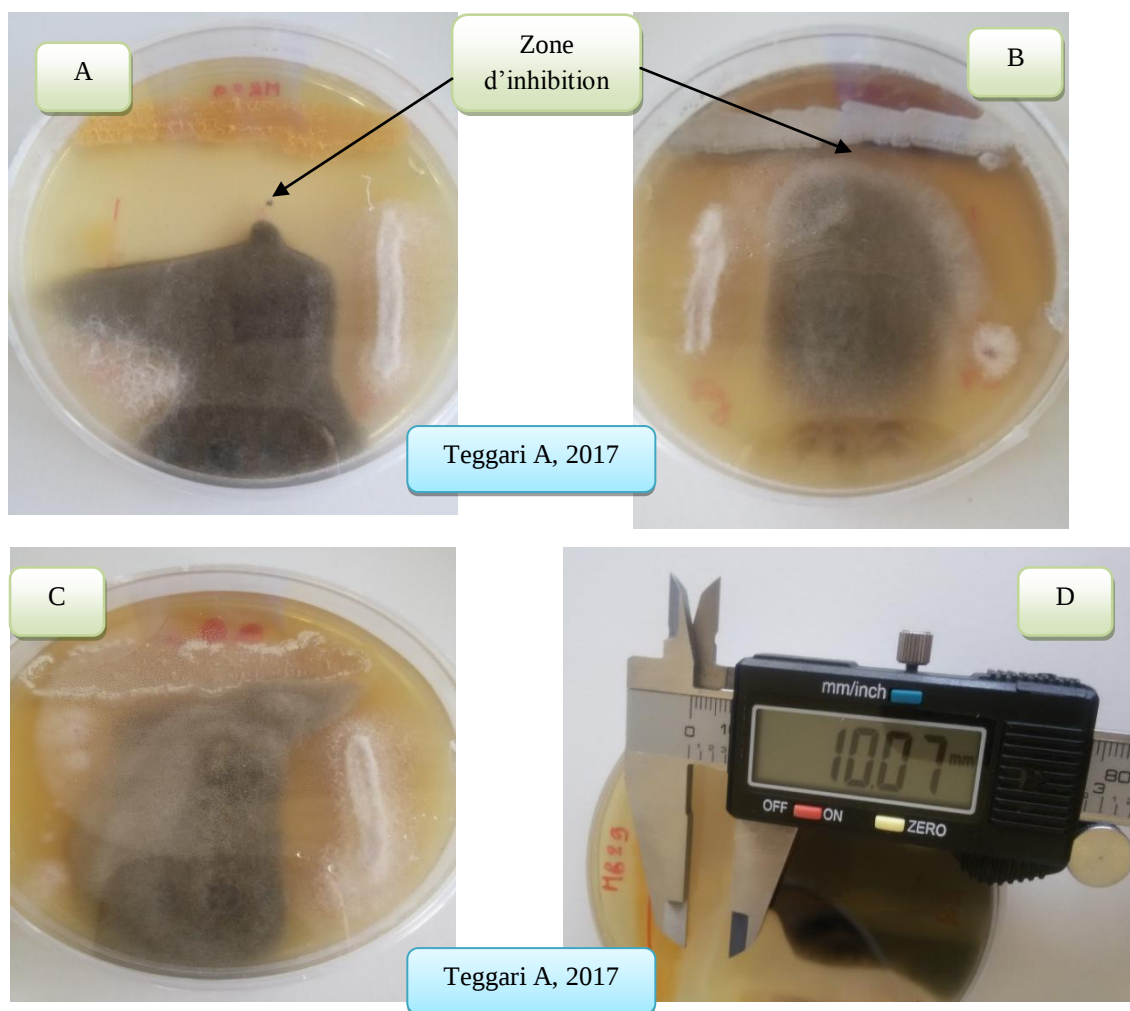


Figure 35. Photographies montrant les souches présentant un effet d'antibiose sur *Bipolaris sorokiniana* (A : MB29, B : TL8), et l'effet de la souche AR1 qui ne présente aucune activité sur *Bipolaris sorokiniana*(C)et D : la mesure de la zone d'inhibition et illustré par la photographie D (Originale, 2017).

3.1.2. Production d'HCN

Les résultats obtenus pour le test de production d'HCN par les souches d'actinobactéries testées sont présentés dans le tableau 06.

Tableau 06. Production d'HCN par les souches d'actinobactéries (Originale, 2017).

Souches d'actinobactéries	Production de l'HCN
SN2	++
TL3	+
CA12	+
ML2	-
ML3	+
ML4	-
AR2	-
EH3	-
MB29	-
DN19	+
TL4	-
AP4	+
TL8	-
AR1	+

(-) Pas de production, (+) Production modérée, (++) Bonne production.

L'apparition de couleur orange à rouge sur papier Whatman indique la présence de substances volatiles produites par la souche testée (HCN). D'après les résultats présentés dans le tableau 06, sept souches ont le pouvoir de produire l'HCN. Pour le reste des souches, nous avons remarqué qu'il n'y a pas de changement de couleur du papier Whatman ce qui se traduit par l'absence de la production d'HCN. Nous avons remarqué aussi que la couleur orange sur la bande de papier était plus foncée et plus abondante avec la souche SN2 (figure 36 (Originale, 2017), comparativement aux autres souches. La couleur orange à rouge du papier Whatman varie d'une souche à une autre, et dépend de la capacité de la souche d'actinobactérie à produire l'HCN.

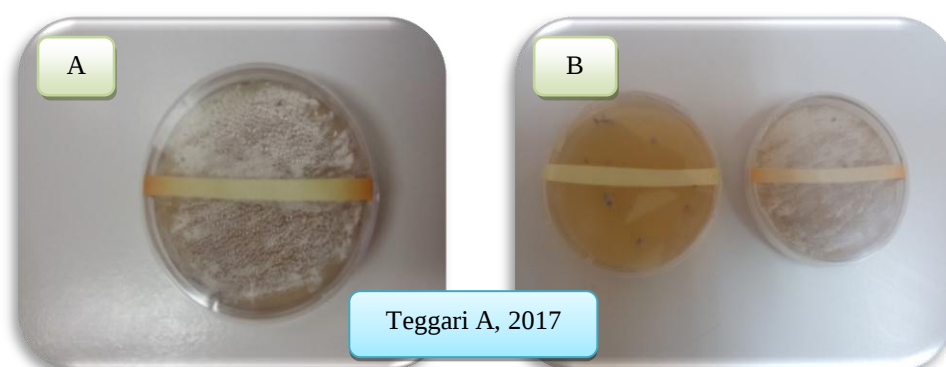


Figure 36. Production d'HCN par les souches d'actinobactéries. A : apparition d'une couleur rouge orange sur les extrémités de la bande indique une production d'HCN. B : Absence de la production d'HCN (Originale, 2017).

3.1.3. Production des sidérophores

Notre étude a montré que cinq souches (TL8, AR1, TL4, CA12, ML4) ne produisent pas les sidérophores sur milieu CAS (Hrome Azurol S) (tableau 07), le reste des souches étudiées sont capables de produire cette molécule. Les résultats négatifs de croissance présentés par toutes les souches sur milieu AIM sans fer montrent que le fer est indispensable pour leur croissance. La figure 37 (Originale, 2017), montre l'halo autour de la culture qui indique la production des sidérophores.

Une fois présentes dans la rhizosphère des plantules de blé, ces souches pourront avoir un rôle antagoniste, par compétition pour le fer, qui s'exprime par la synthèse des sidérophores. Ces composés ont une grande affinité pour le Fe^{3+} qui est un élément essentiel pour la croissance de la plupart des champignons phytopathogènes. En s'emparant des ions ferriques présents dans la rhizosphère, les actinobactéries rendront ainsi le fer non disponibles pour le champignon phytopathogène, d'où son inhibition (Kurek et Jaroszuk-Scisel, 2003; Gopalakrishnan *et al.*, 2011; Patil *et al.*, 2011). Les résultats obtenus sont présentés par le tableau 07.

Tableau 07. Résultats du test de production des sidérophores par les actinobactéries et de leur croissance sur milieu AIM (Originale, 2017).

Souches d'actinobactéries	Production des sidérophores	
	CAS-Bleu Agar	AIM sans Fer
SN2	+	-
TL3	+	-
CA12	-	-
ML2	+	-
ML3	+	-
ML4	-	-
AR2	+	-
EH3	+	-
MB29	+	-
DN19	+	-
TL4	-	-
AP4	+	-
TL8	-	-
AR1	-	-

(-) Pas de production, (+) Présence de production

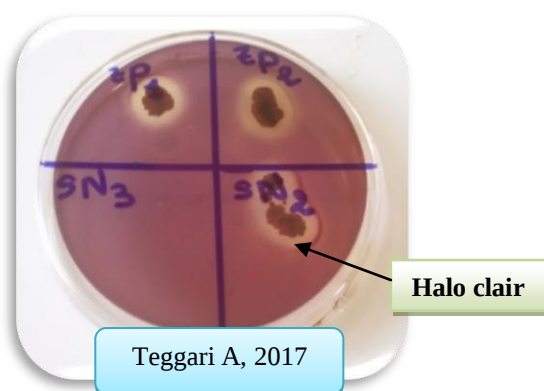


Figure 37. L'apparition de zone claire (halo) autour des colonies d'actinobactéries cultivées sur milieu CAS bleu agar (Originale, 2017).

3.2. Mécanismes liés à l'effet PGPB

3.2.1. Solubilisation des phosphates inorganiques

La solubilisation des phosphates inorganiques, sur gélose PVK solide, est indiquée par la présence d'un halo clair autour des colonies des actinobactéries qui solubilisent les phosphates inorganiques. Les résultats sont représentés dans le tableau 08.

Tableau 08. Résultats de la solubilisation de différentes sources des phosphates inorganiques par les souches d'actinobactéries sur milieu solide (Originale, 2017).

Souches d'actinobactéries	Solubilisation des phosphates inorganiques					
	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$		AlPO_4		FePO_4	
	Croissance	Activité	Croissance	Activité	Croissance	Activité
SN2	+++	++	±	±	-	-
TL3	+++	++	+	+	-	-
CA12	+à+++	+	+	+	-	-
ML2	++	+++	+	++	-	-
ML3	++	+++	±à+	+à+++	±à+	+
ML4	++	++	+	+	-	-
AR2	±à+	±	+	+	-	-
EH3	-	-	++	++	-	-
MB29	++	±à+	-	-	-	-
DN19	++	+++	±	±	-	-
TL4	++	++	++	+	-	-
AP4	+	+	+	+	-	-
TL8	+++	+++	+	+	+	+
AR1	±à+	+	-	-	-	-

(-) Pas de croissance, (±) Très faible croissance, (+) Croissance modérée, (++) Bonne croissance, (+++) Très bonne croissance avec disparition de l'opacité du milieu de culture

L'analyse de résultats du tableau 08 montre qu'à l'exception de la souche EH3, toutes les souches sont capables de se développer sur milieu PVK contenant le phosphate tricalcique comme source de phosphore. Les souches SN2, CA12 et TL8 présentent une très bonne croissance par le développement de colonie des souches sur milieu de culture et par la formation d'un halo tout autour de la colonie. Cette solubilisation est caractérisée aussi par la disparition de l'opacité du milieu PVK.

Par contre, l'utilisation des autres sources de phosphate par les souches d'actinobactéries est variable d'une souche à une autre ou on a pu remarquer que la souche TL4 qui utilise plus le phosphate d'aluminium par rapport aux autres souches d'actinobactérie. Pour la troisième source de phosphate (le phosphate Ferrique), on a remarqué qu'à part la TL8 et la ML3 toutes les souches n'utilisent pas cette source de phosphore.

Les résultats de la solubilisation des phosphates inorganiques, sur milieu de culture PVK liquide, sont représentés dans le tableau 09.

Tableau 09. Résultats de la solubilisation de différentes sources des phosphates inorganiques par les souches d'actinobactéries sur milieu liquide (Originale, 2017).

Souches d'actinobactéries	Solubilisation des phosphates inorganiques					
	Ca ₃ (PO ₄) ₂		AlPO ₄		Fe PO ₄	
	Croissance	Activité	Croissance	Activité	Croissance	Activité
SN2	++++	++++	+	+	+à++	+
TL3	-	-	+	+	++	+
CA12	++++	++	-	-	+à++	+
ML2	++++	+++	++	+	+	+
ML3	+++	++	+++	++	++	+
ML4	++++	++++	++	++	±à+	+
AR2	++++	++++	++	+	+	++
EH3	++	+	+++	++	++	+
MB29	+++	++	++	+	+++	+à++
DN19	++++	++++	±à+	+	++	+
TL4	++	++	++	+	-	-
AP4	± à+	-	±à+	+	-	-
TL8	++	+	++	-	+	±à+
AR1	+	+	-	-	-	-

(-) Pas de croissance, (±) Très faible croissance, (+) Croissance modérée, (++) Bonne croissance, (+++) Très bonne croissance avec disparition de l'opacité du milieu de culture.

L'analyse de résultats du tableau 09, montre qu'à l'exception de la souche TL3, toutes les souches sont capables de se développer sur milieu PVKliquidecontenant le phosphate tricalcique comme source de phosphate. Les souches SN2, CA12, ML2, ML4, AR2, ainsi que la DN19, présentent une très bonne croissance exprimée par la formation de pellettes formés au fond des Erlenmeyers.

Cette solubilisation est caractérisée aussi par la disparition de l'opacité du milieu PVK. Par contre l'utilisation des autres sources de phosphate par les actinobactéries, est variable d'une souche à une autre. En plus, on a pu remarquer que les souches qui utilisent le plus le phosphate d'aluminium sont la ML3 et la EH3.

Pour le phosphate Ferique, on a remarqué que trois souches (TL4, AP4, AR1) n'utilisent pas cette source de phosphore. Les autres souches ont montré de très faibles croissances à croissances modérées. Seule la MB29 a présenté une très bonne croissance.

Plusieurs travaux ont illustré le rôle des actinobactéries dans la solubilisation des sels de phosphate insolubles en phosphate assimilable par les plantes (Rudresh *et al.*, 2005; Hamdali *et al.*, 2008; Xiao *et al.*, 2008). En outre, une large gamme d'espèces du genre *Streptomyces* a été rapportée pour leur faculté d'améliorer l'absorption racinaire du phosphate et dans la promotion de la croissance des plantes (Rodriguez et Fraga, 1999; Rodriguez *et al.*, 2006; Franco-Correa *et al.*, 2010).

Les actinobactéries actives dans la solubilisation des phosphates inorganiques peuvent être une excellente solution pour la remédiasson de l'utilisation intensive d'engrais chimiques et à l'accumulation des phosphates insolubles dans le sol qui entraîne par la suite une eutrophisation de l'écosystème (Rodriguez *et al.*, 2006; Hamdali *et al.*, 2008).

3.2.2. Production de l'acide indole-3-acétique (AIA)

La vérification de la production des composés à noyau indole (Indole-Likes) a été faite avec les souches d'actinobactéries dans le milieu YT. Les souches productrices des métabolites avec un noyau indole (indole-likes) développent une coloration rose vive à rouge à la suite de l'addition du révélateur de Salkowski après 20 à 60 min d'incubation à l'obscurité. Les résultats de ces tests sont mentionnés dans le tableau 10.

Tableau 10. Résultats du test de production de l'AIA sur milieu YT et réaction des souches d'actinobactéries en contact avec le réactif de Salkowski (Originale, 2017).

Souches d'actinobactéries	Croissance	Réactif de Salkowski	Densité optique (DO)
SN2	+	+	0.255
TL3	++	++	<-0.3
CA12	+++	+	0.428
ML2	+	-	/
ML3	+	+	0.235
ML4	+	-	0.524
AR2	+	±	0.514
EH3	+	+	-0.133
MB29	±à+	-	/
DN19	+	±	0.312
TL4	+	-	0.524
AP4	+	±	0.465
TL8	±à+	-	/

(-) Pas de croissance, (±) Très faible croissance, (+) Croissance modérée, (++) Bonne croissance, (+++) Très bonne croissance .

D'après le tableau 10, la majorité des souches d'actinobactéries testées présente une réaction positive exprimé par l'apparition de la couleur rouge de surnageant en contact avec le réactif de Salkowski. La souche TL3, présente une bonne réaction représentée par une couleur rouge (figure 38, Originale, 2017) suivie par la SN2, CA12, ML3 et la EH3 par une réaction modérée, et cinq souches qui ne présentent aucune réaction (ML2, ML4, MB29, TL4, TL8).

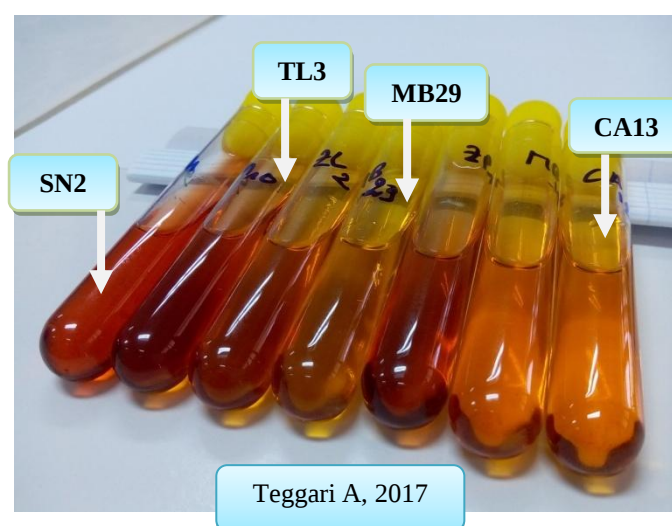


Figure 38. Couleur de surnageant des souches après l'ajout de réactif de Salkowski (Originale, 2017).

3.2.2.1. Chromatographie sur couche mince (CCM)

La chromatographie sur couche mince (CCM) nous a permis de confirmer la production d'AIA par la souche *Streptomyces* ML2. L'AIA produit par la souche endophyte ML2 avait un effet prometteur sur le taux de germination et la croissance racinaire des plantules du blé. La figure 39 (Originale, 2017), montre le résultat obtenu du test de la chromatographie sur couche mince (CCM).

$R_f = \text{Hauteur de la tache} / \text{Hauteur du front du solvant.}$

$R_f = 8/9 = 0.88$

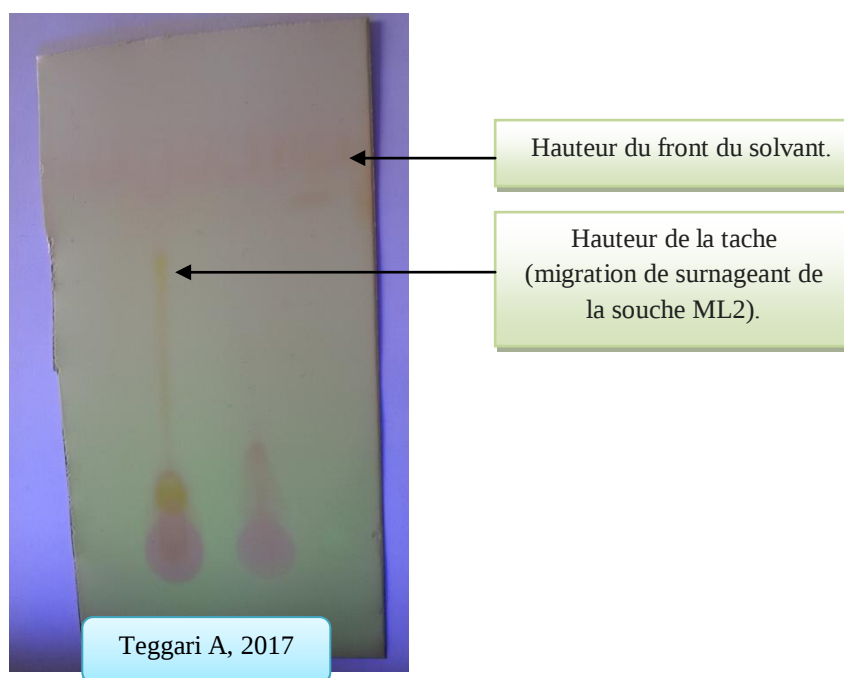


Figure 40. Résultat obtenu du test de la Chromatographie sur couche mince de l'AIA produit par la souche ML2 (Originale, 2017).

3.3. Production des enzymes lytiques

3.3.1. Production des protéases

Les quatorze souches d'actinobactéries sont testées sur un milieu SMA riche en protéines pour sélectionner les meilleures souches productrices des protéases. Les résultats obtenus après incubation à 30 °C pendant 7 jours (présence ou absence d'un halo clair autour des colonies figure 40, Originale, 2017), sont mentionnés dans le tableau 11.

Tableau 11. Résultats de production des protéases (Originale , 2017).

Souches d'actinobactéries	Croissance	Présence du halo claire
SN2	++++	+
TL3	-	-
CA12	++++	+
ML2	++++	+
ML3	-	-
ML4	+++	+
AR2	++++	+
EH3	-	-
MB29	++	+
DN19	+++	+
TL4	+++	2+
AP4	++++	+
TL8	++++	+
AR1	+++	+

(-) Pas de croissance, (++) Bonne croissance, (++++) Très bonne croissance.

(-) Absence d'halo, (+) Présence d'halo.

D'après le tableau 11, trois souches seulement sont incapables de dégrader les protéines. Les autres souches ont marqué une très bonne production de protéase.

Plusieurs travaux ont montré que différentes espèces du genre *Streptomyces* sont capables de produire des protéases (Savijoki *et al.*, 2006 ; Yen *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007). Plusieurs résultats assurent que les protéases catalysent l'hydrolyse des protéines en acides aminés.

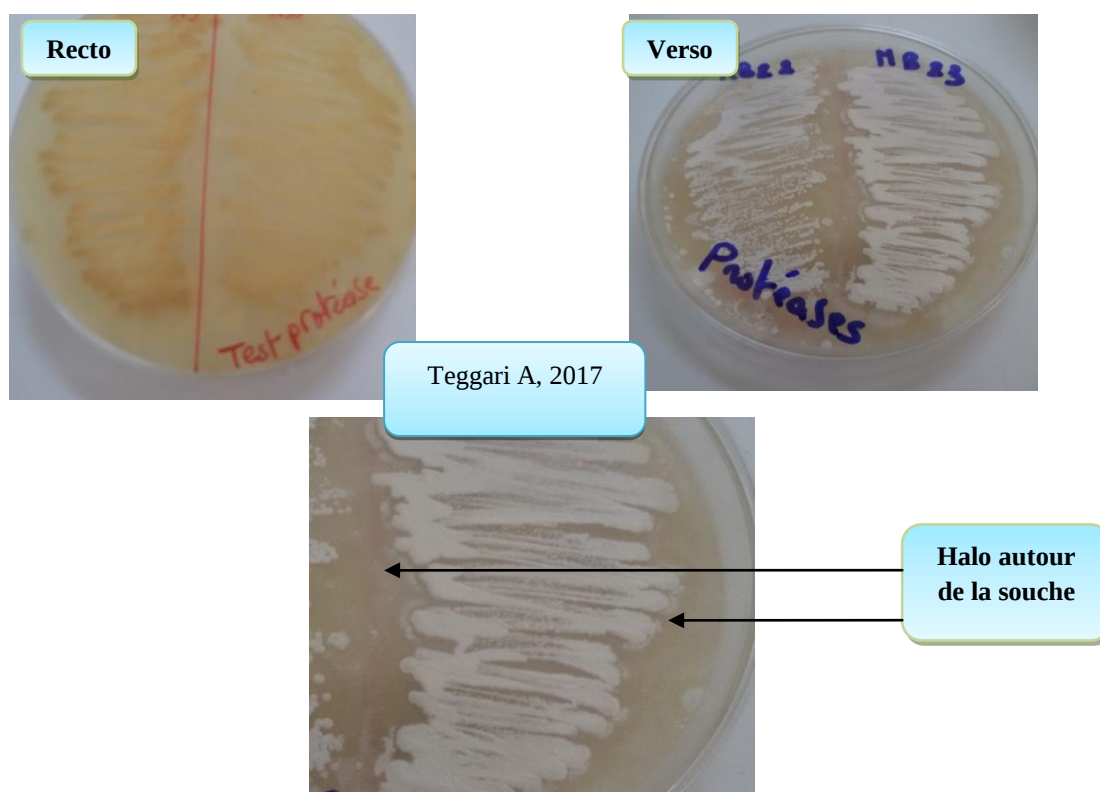


Figure 40. Photographie représentant la présence d'un halo clair autour des colonies d'actinobactéries cultivées sur milieu SMA (Originale, 2017).

3.3.2. Production des chitinases

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12. Résultats du test de production des chitinases sur milieu CC (Originale, 2017).

Souches d'actinobactéries	Croissance	Présence du halo clair
SN2	+	+
TL3	-	-
CA12	+	+
ML2	+	+
ML3	+	+
ML4	+	+
AR2	+	+
EH3	+	+
MB29	+	+
DN19	+	+
TL4	-	-
AP4	+	+
TL8	-	-
AR1	+	+

(-) Pas de croissance, (+) Croissance modérée, (-) Absence d'halo, (+) Présence d'halo.

Après 7 jours d'incubation sur le milieu CC, nous avons observés l'apparition d'un halo clair autour de quelques colonies de souches d'actinobactéries.

Onze souches d'actinobactéries parmi les quatorze sont capables de produire la chitinase. De ce fait, ces souches sont capables de dégrader la chitine qui est le constituant principal de la paroi des champignons phytopathogènes. On déduit donc que ces souches peuvent avoir un effet antifongique contre certains champignons.

Les résultats de plusieurs travaux confirment que certaines actinobactéries produisent des chitinases (Sabaou *et al.*, 1998 ; Schottel *et al.*, 2001 ; El-Tarabily *et al.*, 2006). D'autres résultats confirment que la présence dans le milieu d'isolement, de la chitine, de l'amidon, du glycérol, de l'arginine, de l'asparagine, de la caséine et des nitrates conduit à un isolement sélectif des actinobactéries alors que les bactéries et les champignons poussent faiblement (Williams et Davies, 1965).

3.3.3. Production des cellulases

La production des cellulases par les souches d'actinobactéries testées était plus remarquable dans le milieu carboxyméthyl cellulose. La moitié des souches testées (AR2, TL3, TL8, AP4, DN19, AR1) n'ont pas produit la cellulase sur ce milieu. Cette méthode apprécie l'utilisation de la cellulose comme seule source de carbone et d'énergie par les souches (tableau 13).

L'efficacité de cette méthode dans la mise en évidence de la biodégradation de la cellulose, repose sur l'utilisation de cette dernière comme unique source de carbone et d'énergie dans le milieu, ainsi, si les souches sont incapables d'utiliser ce substrat, leur croissance est faible ou absente, qui est un indice d'absence d'enzymes cellulolytiques chez ces souches. Dans le cas contraire, les souches présentant une bonne croissance sont donc capables de dégrader la cellulose et produisent ainsi des enzymes cellulolytiques.

Comparativement au milieu sans source de carbone, où la croissance de toutes les souches était négative, ce qui se traduit par l'utilisation indispensable des souches d'actinobactéries de la source de carbone.

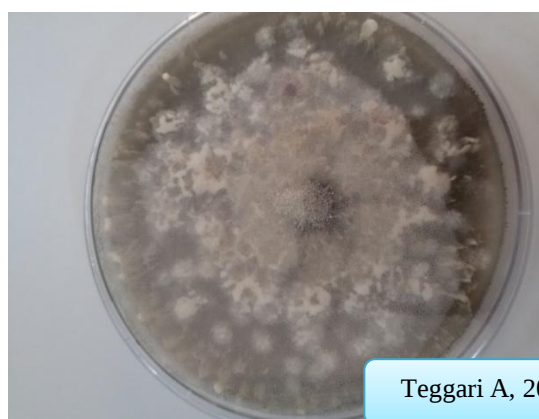
Tableau 13. Résultats de la production des cellulases par les souches d'actinobactéries (Originale, 2017).

Souches d'actinobactéries	Croissance sur milieu carboxyméthyl cellulose	Croissance sur milieu sans sucre
SN2	+	-
TL3	-	-
CA12	± à +	-
ML2	± à +	-
ML3	± à +	-
ML4	± à +	-
AR2	-	-
EH3	+	-
MB29	-	-
DN19	-	-
TL4	-	-
AP4	-	-
TL8	-	-
AR1	-	-

(-) Pas de croissance, (±) Très faible croissance, (+) Croissance modérée

4. Purification de l'agent phytopathogène *Bipolaris sorokiniana*

Après avoir isolé le champignon phytopathogène des feuilles et du collet de plantules de blé présentant les symptômes typiques de l'agent phytopathogène, nous avons procédé à la purification par la technique de repiquages successifs sur le milieu de culture PDA (figure 41, Originale, 2017).



Teggari A, 2017

Figure 41. Aspect cultural d'une colonie purifiée de *Bipolaris sorokiniana* sur milieu PDA (Originale, 2017).

4.1. Caractérisation de *Bipolaris sorokiniana*

La colonie de *Bipolaris sorokiniana* est d'une couleur noire olive avec velours, le mycélium est pratiquement absent. L'observation microscopique du champignon, représenté par la figure 42 (Originale, 2017) qui montre la présence des conidies ellipsoïdes, avec des bords arrondis, et une germination bipolaire caractéristique de l'espèce *Bipolaris sorokiniana*.

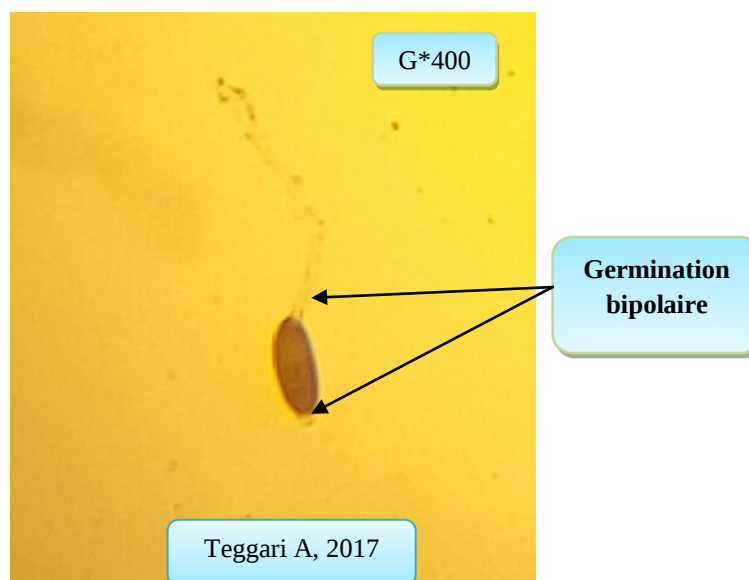


Figure 42. Photographie représentant la germination bipolaire d'une spore de *Bipolaris sorokiniana* observée au microscope optique (G*400).

4.2. Résultats du test de pathogénéicité

Après seulement 24 h d'incubation nous avons remarqué le développement du mycélium ainsi que l'apparition des tâches noirâtres sur les feuilles inoculées par la suspension de spores de l'isolat obtenu à partir du collet. Ces symptômes ont été observés sur les feuilles incubées dans la chambre humide et sur l'eau gélosée (figure 43, (Originale, 2017)).



Figure 43. Résultats de test de pathogénéicité sur feuilles de blé saines (Originale, 2017).

Quant aux graines de blé semées dans les tubes à essais et inoculées par la suspension de spores des deux isolats (feuille et collet) de *B. sorokiniana*, nous avons remarqué que le champignon a envahi les graines en inhibant leur germination (figure44).

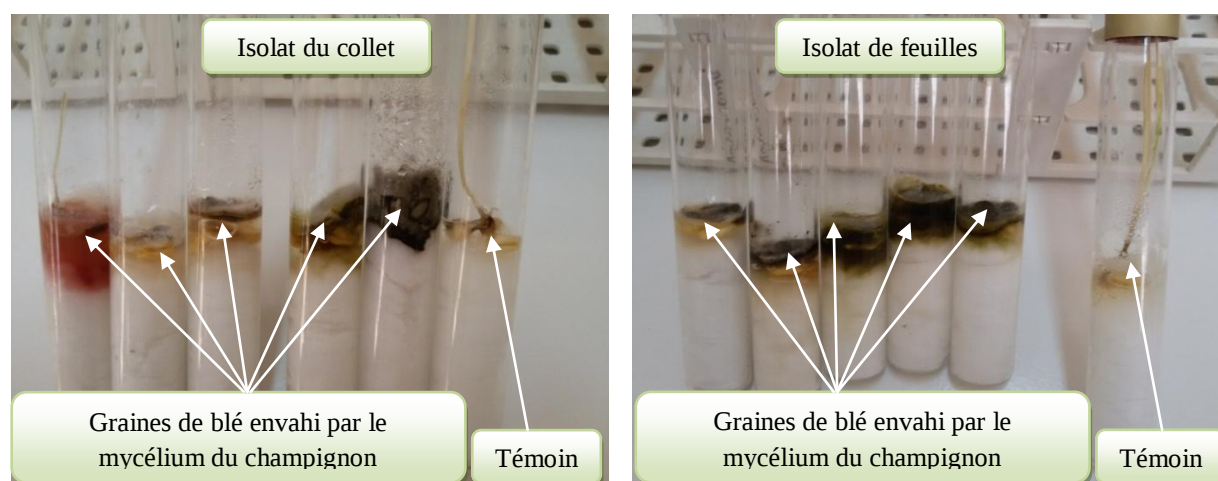


Figure 44. Résultats de test de pathogénicité des graines (Originale, 2017).

D'après les résultats du test de pathogénicité, selon les trois méthodes, nous pouvons conclure que l'isolat de *B. sorokiniana* obtenu à partir d'un fragment du collet est le plus virulent par rapport à celui isolé à partir des feuilles du blé infectées. La virulence de la souche se traduit par l'apparition rapide (après 24 h) des symptômes sur les feuilles saines ou sur les grains de blé inoculés par la suspension de spores. Sur la base de ces résultats, la souche isolée à partir du collet a été retenue pour faire l'objet d'un test de biocontrôle *in vitro* par l'utilisation des actinobactéries endophytes.

4.3. Résultats du test de biocontrôle *in vitro* de *Bipolaris sorokinia*

La recherche de microorganismes antagonistes dotés d'une application efficace en biocontrôle nécessite une bonne connaissance des mécanismes qu'ils utilisent et des molécules qu'ils synthétisent pour inhiber la croissance des agents pathogènes (Alabouvette *et al.*, 2001; Shimizu, 2011). Différents mécanismes de lutte sont observés chez les actinobactéries antagonistes des champignons phytopathogènes du sol. La compétition, le parasitisme et l'antibiose, restent les mécanismes les plus observés (Bouizgarne *et al.*, 2006; Prévost *et al.*, 2006; Lehr *et al.*, 2008).

Concernant la compétition comme mécanisme de biocontrôle, de nombreuses études ont montré le rôle combiné de *Streptomyces* spp. en lutte biologique contre les agents phytopathogènes du sol et leur faculté de chélater le fer par synthèse de sidérophores qui font une compétition pour le fer (Cao *et al.*, 2005; Ramos-Solano *et al.*, 2010; Sadeghi *et al.*, 2012; 2012; Gopalakrishnan *et al.*, 2011b;).

4.3.1. Taux de germination *in vitro* des graines du blé

Quatorze souches d'actinobactéries endophytes ont été étudiées pour tester leur influence sur la croissance des plantules de blé *in vitro*. Les résultats du taux de germination des graines du blé ont été représentés dans la figure 45 (Originale, 2017).

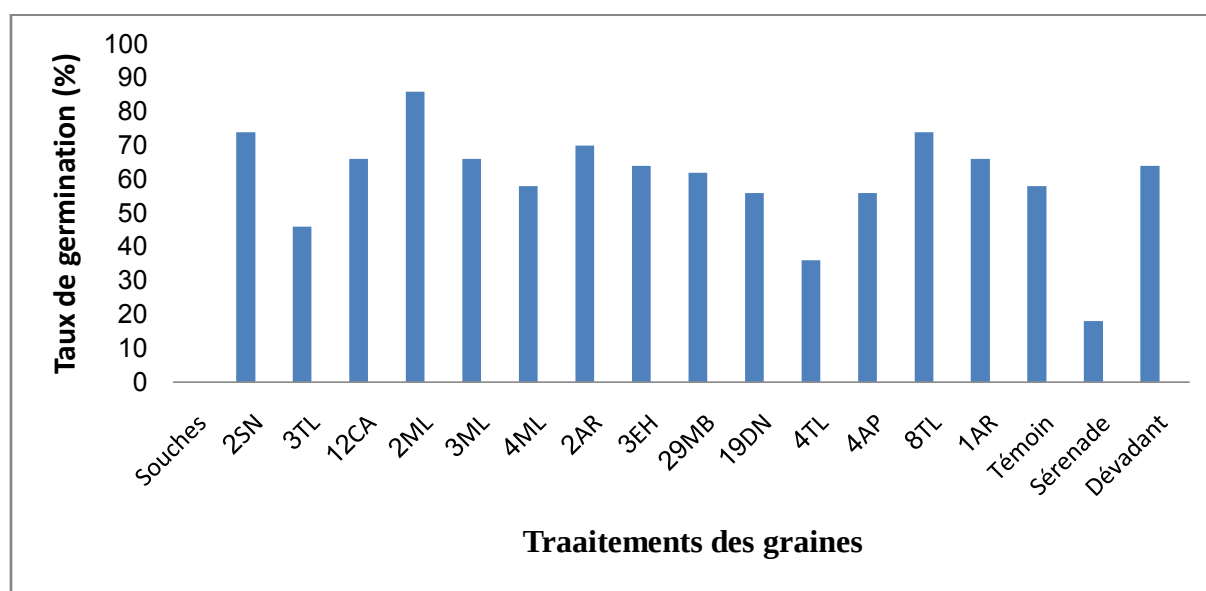


Figure 45. Histogramme représentant l'effet de différents traitement des graines sur le taux de germination en culture *in vitro* (Originale, 2017).

A la lumière des histogrammes donnés par la figure 45, nous remarquons clairement que neuf souches avaient une influence élevée par rapport au témoin et toutes les souches par

rapport au Sérénade sur le taux de germination. Le taux le plus élevé (86%) donné par la souche ML2 suivie par SN2, AR2, TL8 avec un taux de germination allant de 70 à 74%. Donc nous constatons que ces derniers s'avèrent les souches les plus intéressantes dans la promotion de la germination des graines de blé dur en culture *in vitro*.

4.3.2. Incidence de la pourriture racinaire du blé

D'après les résultats de l'incidence de la maladie obtenu (figure 46 (Originale, 2017))(pourriture racinaire causée par *Bipolaris sorokiniana*) , on a remarqué que seulement trois souches SN2, ML2, TL8 parmi les quatorze souches d'actinobactéries testées, ont présentées une faible incidence de maladie sur plantules de blé dur, par rapport au traitement chimique Dévadant, au témoin positif, et au Sérénade, avec un pourcentage allant de 35,6 % pour la ML2 et de 42,4% pour les deux autres souches SN2 et TL8. L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($p < 0,0001$) entre les différents traitements.

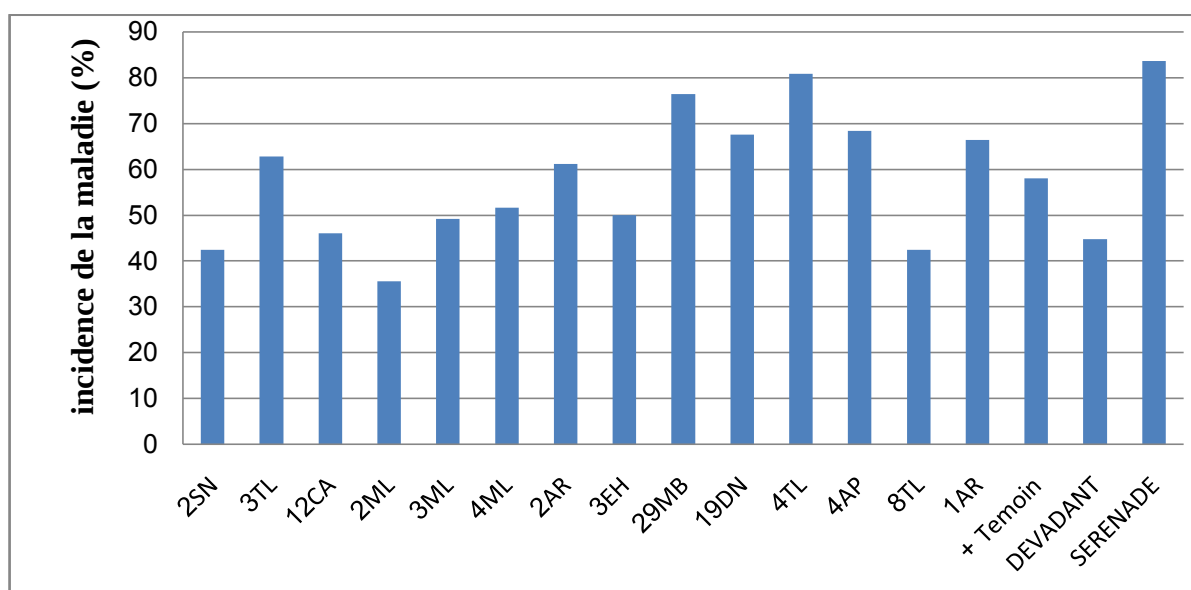


Figure46. Histogramme représente l'incidence de la pourriture racinaire du blé causée par *Bipolaris sorokiniana* (Originale, 2017).

D'après ces résultats, nous remarquons que la variété Vitron est moyennement sensible à la pourriture racinaire causée par *B. sorokiniana*. Ce résultat est confirmé par le taux de plantules saines (42%) obtenu dans le cas du témoin positif traité uniquement par l'agent phytopathogène. Les résultats montrent également que la bactérisation des graines du blé par les suspensions des spores des différents souches d'actinobactéries a permis de diminuer l'incidence de la maladie avec un taux de plantules saines variable d'une souche à une autre.

Cependant, la souche *Streptomyces* sp. ML2 a permis d'arriver au meilleur taux de protection (64,4%), comparativement avec le Sérénade® et le Dévadant qui ont donné un taux

de plantules saines de 16.4% et 55.2% respectivement. Selon ces résultats, le traitement par les actinobactéries endophytes s'avère intéressant pour le biocontrôle *in vitro* de *B. sorokiniana*.

5. Effet PGPB des actinobactéries

5.1. Effet PGPB sur des plantules de blé non infectées par *B. sorokiniana*

Comparativement au Sérénade et au témoin négatif, les quatorze souches ont été étudiées pour leur effet sur la promotion de la croissance des plantules du blé (Poids frais et le poids sec des plantules, la longueur des racines et des tiges). Les résultats de ces tests sont présentés par les histogrammes des figures 47 et 48 (Originale, 2017).

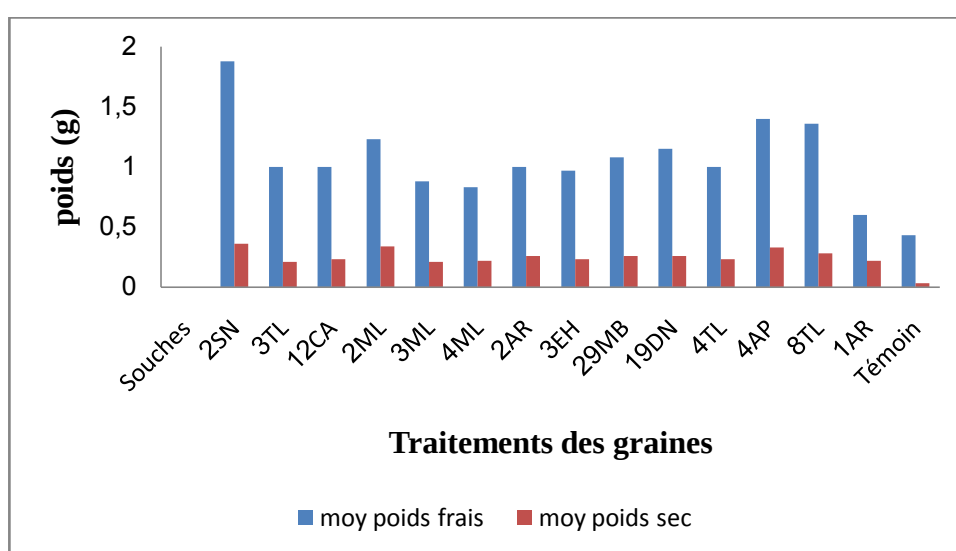


Figure 47. Histogramme représentant le poids frais et le poids sec des plantules de blé (Originale, 2017).

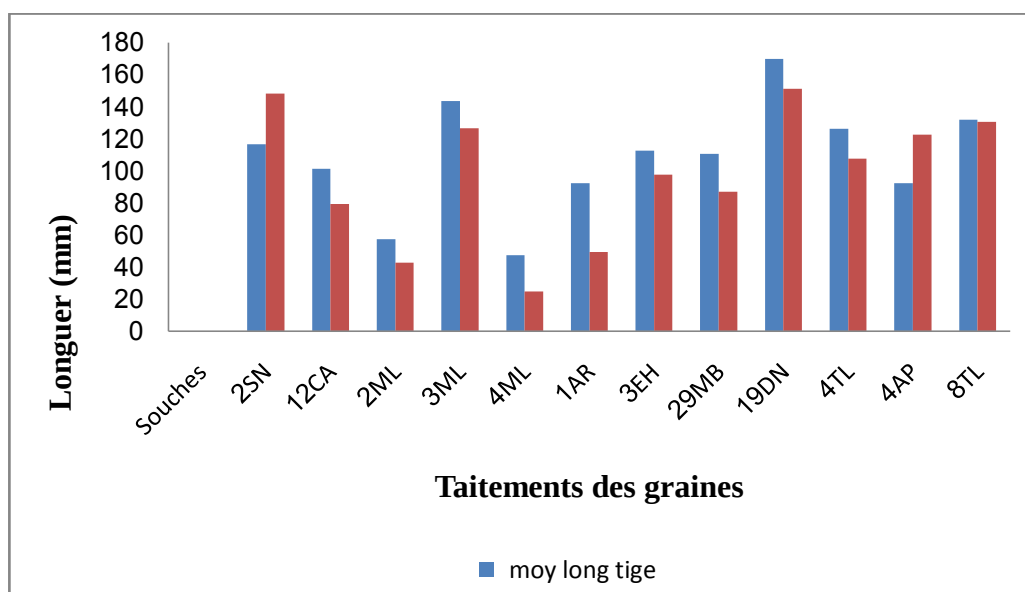


Figure 48. Histogramme représentant la longueur des tiges et des racines des plantules de blé (Originale, 2017).

5.2. Effet PGPB sur des plantules de blé infectées par *B. sorokiniana*

Comparativement au Sérénade et au témoin positif, les quatorze souches ont été étudiées pour leur effet sur la promotion de la croissance des plantules du blé inoculées par la suspension de spores de *Bipolaris sorokiniana*, le poids frais et le poids sec des plantules ont été évalués. Les résultats sont présentés par la figure 49 (Originale, 2017).

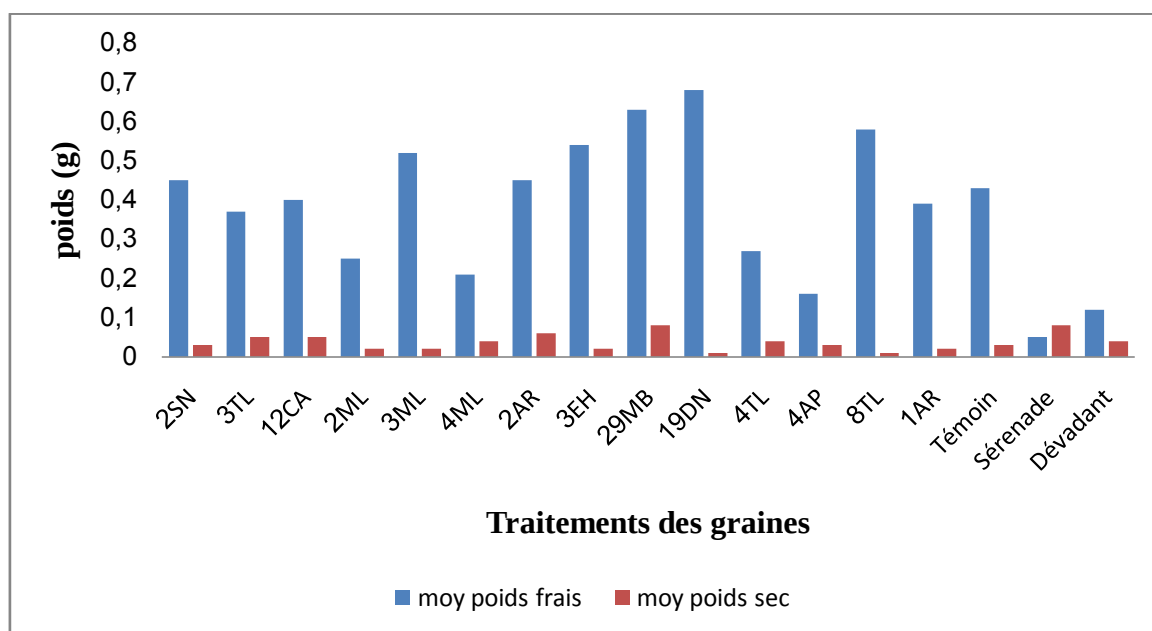


Figure 49. Histogrammes représentant le poids frais et le poids sec des plantules de blé traitées par les actinobactéries et infectées par *Bipolaris sorokiniana* (Originale, 2017).

Les mécanismes de l'effet de promotion de la croissance (PGPB) des quatorze souches d'actinobactéries testées dans notre travail, ont porté sur l'étude de leur potentiel de production de phytohormones (AIA), production des enzymes lytiques et de solubilisation et production de quelques éléments minéraux.

Ces dernières années, plusieurs études se sont orientées vers la recherche de biopesticides, non seulement actifs contre les microorganismes phytopathogènes, mais aussi dotés d'effets dans la promotion de la croissance des plantes cultivées (Shimizu, 2011). En plus de leur efficacité dans le biocontrôle de divers agents phytopathogènes, des études ont montré l'effet PGPB des *Streptomyces* spp. sur plusieurs plantes cultivées.

Conclusion

Les résultats obtenus des tests appliqués sur les souches d'actinobactéries utilisées pour la réalisation de notre étude, soit production ou de solubilisation de quelques éléments minéraux du sol, étaient variable d'une souche à une autre et d'un test à un autre.

D'après les résultats obtenu à la fin de notre travail pour le test *in vitro*, on a remarqué que seulement trois souches SN2, ML2, TL8 parmi les quatorze souches d'actinobactéries testées qui ont présentées une incidence de maladie sur plantule de blé dur, les plus faible par rapport au traitement chimique Dévadant, témoin positif, et au Sérénade, avec un pourcentage allant de 35,6 % pour la ML2 et de 42,4% pour les deux autres souches SN2 et TL8.

Les mêmes remarques pour les résultats de taux de germination des graines du blé, on a remarqué que la souche ML2 avait le taux le plus élevé de 86%, par rapport aux autres souches d'actinobactéries testées suivie par SN2, TL8 avec un taux de 74% tout on comparant ces résultats avec le taux de germination pour le témoin positif qui est de 58% et de 64% pour le Dévadant et seulement 18% pour le Sérénade.

Pour la promotion de la croissance de la partie aérienne et racinaire, la meilleure souche est *Streptomyces* sp. DN19 avec 170 mm pour la tige et 151.38 mm pour la racine. La mise en évidence de la production de l'AIA pourrait expliquer l'effet phytostimulateur observé.

La production de l'AIA paraît principalement le responsable de l'effet PGPB. Les *Streptomyces* endophytes produisant l'acide indole-3-acétique (AIA) peuvent fortement favoriser la croissance du végétale en augmentant l'allongement de son système racinaire et par plusieurs autres effets bénéfiques.

La souche *Streptomyces* sp. MB29 a enregistré le meilleur résultat pour la promotion du poids frais et sec des plantules du blé en culture *in vitro*, tandis que *Streptomyces* sp. DN19 représente une valeur supérieure en poids frais.

Sur la base de ces résultats, nous pouvons conclure que la souche ML2 est la plus intéressante pour la promotion du taux de germination, et aussi de l'incidence de maladie vis à vis l'agent phytopathogène testé *Bipolaris sorokiniana*, de ce fait nous pouvons la considérée comme la plus prometteuse pour les travaux futurs.

La souche ML2 pourrait éventuellement trouver sa place dans les applications de biocontrôle visant une amélioration des rendements et l'utiliser dans la lutte biologique et être éventuellement à la base de plusieurs biopesticides (Originale, 2017).

A la fin de ce mémoire de fin d'étude, nous recommandant la continuité intéressante pour la souche ML2 qui s'est avérée efficace dans la promotion de la croissance des plantules du blé *in vitro*, et d'étudier sa faculté *in vivo*, et aussi sa faculté de produire d'autres composés stimulantes pour la croissance des plantules du blé (Originale, 2017).

Références bibliographiques

- Abdi Y. 2015.** Distribution spatiale des maladies fongiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et effet de la fusariose sur le rendement et ses composantes en zone semi aride de Sétif. Mémoire de Magistère en Agronomie : Université de Sétif. 101p.
- Aboukhaddour R. T., Kelly T. et Stephen E., Strelkov., 2013.** Race structure of *Yrenophora tritici-repentis* (tan spot of wheat) in Alberta, Canada Canadian Journal of Plant Pathology. (35). 256-268.
- Aggarwal, R. 2008.** Toxin and DNA based variability among the isolates of *Bipolaris sorokiniana* causing spot blotch of wheat and induction of defense genes involved in host pathogen interaction. Final report submitted to Department of Biotechnology, Govt. of India, pp. 1-40.
- Aggarwal, R., Singh, V.B., Renu and Gurjar, Singh, Malkhan 2009a.** URP-based fingerprinting of Indian isolates of *Bipolaris sorokiniana* causing spot blotch of wheat. *J. Phytopath.* (In press). agricultural and environmental management. Washington. (*Cicer arietinum* L.). Can. J. Microbiol. **51**: 217-222. **38**: 766-772. 807.
- Ahmad, F., I. Ahmad et M.S. Khan (2008).** Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbial Research*, **163** : 173-81.
- Alabouvette C., Edel V., Lemanceau P., Olivian C., Robert G. and Steinberg C. 2001.** Diversity and interactions among strains of *Fusarium oxysporum*: Application to biocontrôle. In: Biotic interactions in plant-pathogen associations, Jeger M.J., and Spence N.J. (eds.). CAB International. Pp. 131-158.
- Aldesuquy, H. F. Mansour et S. Abo-hamed. 1998.** Effect of the culture filtrates of
- Ameur H. 2014.** Effet d'osmoprotecteurs naturels sur la restauration de croissance
- Andriambololona T. 2010.** Étude bibliographiques et chimiques des métabolites secondaires des actinomycètes telluriques cas de la forêt d'ANKAFOBE. Mémoire de recherche pour l'obtention du Diplôme d'études approfondies de biochimie. Université d'ANTANANARIVO, Madagascar : 5p.
- Aouali S. et Douici-Khalfi A. 2009.** Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte ; ITGC, EL Harrach, Alger. 56p.
- Arcand, M. M. et Schneider, K.D. 2006.** Plant and microbial-based mechanisms to improve
- Arshad, M. et W. T. Frenkenberger, Jr. 1992.** Microbial production of plant growth
- Ashworth, L.J., Lahr, K.A and Coling, R.J. 1960.** Pathogenic specialization of *Helminthosporium sativum*. *Phytopathology* **50**: 627.

- Azouaou K et Kiboub I. 2012.** Contribution à la mise en évidence d'actinomycètes en lutte biologique contre la fonte du semis de la tomate (*Lycopersicon esculentum*) (cv.Marmande) causée par *fusarium oxysporum f.sp radicis lycopersici*. Mémoire d'ingénieur d'état en Agronomie : Université de Laghouat. 60 p.
- Bacon C.W. and White J.F. 2000.** Microbial endophyte. Marcel Dekker Incorporated, New York, United
- Baldacci, E. 1962.** Tendances actuelles de la classification des actinomycètes. *Ann Soc Belge Méd Trop*, 4 : 633–646.
- Bar-Ness, E., Y. Hadar, Y. Chen, V. Romheld et H. Marschner (1992).** Short-term effects of rhizosphere microorganisms on Fe uptake from microbial siderophores by maize and oat. *Plant Physiol.* **100**: 451-456.
- Becker B., Lechevalier M.P. and Lechevalier H.A. 1965.** Chemical composition of cell-wall preparations from strains of various form genera of aerobic actinomycetes. *Appl. Microbiol.*, **13**, 236-242.
- Belge Méd Trop*, 4 : 633–646.
- Belyagoubi L. 2014.** Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens.Mémoire de Doctorat en Biologie : Université de Tlemcen. 209 p.
- Benslimane H., Lamari L., Benbelkacem A., Sayoud R. et Bouznad Z., 2011.** Distribution of races of *Pyrenophora tritici-repentis* in Algeria and identification of a new virulence type. *Phytopathol. Mediter.* 1-9.
- Bergey's Manual, 2004.** Systematic of bacteriology, Taxonomic outline of the prokaryotes. Second edition. Garrity. G.M; Bell. J. A; Lilburn.T.G, Springer, NewYork Berlin Heidelberg.
- Bhavdish, N., A. Johri, J. Sharma , S. Viridi. 2003.** Rhizobacterial diversity in India and its
- Bidari, V.B and Govindu, H.C. 1975.** Studies on the pathogenicity of the isolates of *Helminthosporium sativum* Pam., King and Bake on wheat at different stages of growth in Karnataka state. *Mysore J. Agric. Sci.* **9**: 87-94.
- Bidi A, Ouamekh M. 2015.** Criblage de souches d'actinomycètes solubilisant le phosphate Identification moléculaire de deux souches du genre *Streptomyces*. Thèse de Master en Biologie : Université de Costantine. 78 p.
- biocontrol agent *Streptomyces lydicus* WYEC108. *Enzy. Microb. Technol.* **20**: 489-493.
- Bouchaffa K. 2011.** Criblage de souches d'actinomycètes productrices d'antifongiques non polyéniques : Identification des souches productrices et Essai de caractérisation des

antifongiques produits. Mémoire de Magistère en Microbiologie appliquée : Université de Béjaia. 114 p.

Bouizgarne B., El-Maarouf-Bouteau H., Frankart C., Reboutier D., Masiona K., Pennarun A., Monestiez M., Trouverie J., Amiar Z., Briand J., Brault M., Rona J. P., Ouhdouch Y., El Hadrami I. and Bouteau F. 2006. Early physiological responses of *Arabidopsis thaliana* cells to fusaric acid: toxic and signaling effects. *New Phytologist* 169, 209–18.

Boulif M. 2016. Maladies du blé liées au sol. Fiche technique. CECAMA : Centre de Conseil Agricole Maroc-Allemend.

Bozzini A. 1988. Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In **Fabiani G. & Lintas C. (éd).** *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota). Etats-Unis : 1-16 p.

Breton A., Theilleux J., Sanglier J. J. & Vobis G. 1989. Organismes producteurs : biologie, taxonomie et écologie. In biotechnologie des antibiotiques. Larpent J. P. et Sanglier J. J. Masson, Paris. P. 32-70.

Briat, J.F. (1992). Iron assimilation and storage in prokaryotes. *J. Gen. Microbiol.*, **138**: 2475-2483.

Burgers, L.W. and Griffin, D.M. 1968. The relationship between the spore density of *Cochliobolus sativus* in soil and its activity and parasitism. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* **8**: 371-373.

Cao L., Qiu Z., You J., Tan H. and Zhou S. 2005. Isolation and characterization of endophytic streptomycetes antagonists of *Fusarium* pathogen from surface-sterilized banana roots. *FEMS Microbiol. Lett.*, 247: 147- 152.

Castignetti, D. et J.Jr. Smarrelli (1986). Siderophores, the iron nutrition of plants, and nitrate reductase. *FEBS Lett.* **209**:147-151.

Chater, K. 1999. David Hopwood and the emergence of *Streptomyces* genetics. *Int Microbiol*, 2(2): 61–68.

Chaurasia, S., Chand, R. and Joshi A.K. 2000. Relative dominance of *Alternaria triticina* Pras. et Prab and *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker, in different growth stages of wheat (*T. aestivum* L). *J Plant Dis Protec* **107**:176–181.

Chellali B. 2007. Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>. (31.01.2017).

Cherif H.2014. Amélioration de la croissance du blé dur en milieu salin par inoculation avec *Bacillus.sp.* et *Pantoea agglomerans* isolées de sols arides.Thèse de doctorat en Microbiologie : Université de Sétif. 177 p.

Chetmi D. (2009). Etude comparative de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) et analyse diallèle de leurs hybrides F1.Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. Institut National D'Agronomie –EL HARRACH – ALGER. 123p.

Christensen, J.J. 1922. Studies on parasitism of *Helminthosporium sativum*. *Minn. Agric. Expt. Sta. Tech. Bull.* **11**: 39.

CIC. Conseil International des Céréales. 2016.
<http://www.igc.int/downloads/gmrsummary/gmrsummf.pdf>.

Clark J.M., Norvell W.A., Clark F.R. & Buckley T.W. 2002. Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie.* **82** : 27-33 p.

Compant S., Sessitsch A. and Mathieu F. 2012. The 125th anniversary for the first postulation of soil derived endophytic bacteria – a tribute to MLV Galippe. *Plant Soil*, 356, 299–301.

Crawford D-L .Trejo-Estrada, S-R., Paszczynski, A. 1993. Antibiotics and enzymes produced by the biocontrol agent *Streptomyces violaceusniger* YCED-9. *J. Industr. Microbiol. Biotech.* **21** : 81–90.

Dastur, J.F. 1942. Notes on some fungi isolated from black point affected kernels in the Central Province. *Indian Journal of Agricultural Sciences* **12** 731-742.

de *Streptomyces* et de plantes d'intérêt agricole sur sol salé ou aride. Thèse de Doctorat en Microbiologie : Université de Sétif. 200p.

Dehne, H.W. and Oerke, E.C. 1985. Investigations on the occurrence of the *Cochliobolus sativus* on barley and wheat Vol. 2.Infection, colonization and damage of stem and leaves. *J. Plant Dis. Prot.* **92**: 606-617.

Divya Teja, D., N. Harsha, S. Satya Vishala, P. K et Santhosha Lakshmi. 2014. Production od L-glutaminase from marine ecosystems and optimal conditions for maximal production by actinomycetes. *Int. J. Adv. Res.* **2** (1): 485-491.

Djermoun, A. 2009. La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nat. Techn.,(01)*, 45-53.

Dommergues Y., et Mangenot F. 1970. Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie (Eds.), Paris.

Don Mathre.2002. Phytopathological diseases of wheat. Montana State University.

- Donadio, S., Sosio, M., Lancini, G. 2002.** Impact of the first *Streptomyces* genome sequence on the discovery and production of bioactive substances. *Appl Microbiol Biotechnol*, 60(4) : 377–80.
- Dours O. 2017.** Réseau d'épidémiologie-surveillance. Bulletin d'alerte n° 1 au 10 mars 2017.
- Duffy, B.K. et G. Defago 1999.** Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strains. *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**: 2429–2438.
- Duveiller, E. and Garcia, Altamirano, I. 2000.** Pathogenicity of *Bipolaris sorokiniana* isolates from wheat roots, leaves and grains in Mexico. *Plant Pathology*. **49**: 235-242. Edition Médecine-Science. Flammarion. France.
- El-Tarabily K. A. 2008.** Promotion of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plant growth by rhizosphere competent 1 aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-producing streptomycete actinomycetes. *Plant Soil*, 308: 161-174.
- El-Tarabily K.A. and Sivasithamparam K. 2006.** Non-streptomycete actinomycetes as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1 16.
- El-Tarabily, K-A. Nasser, A-H. Hardy, J. Sivaithamparam, K. 2010.** Plant growth promotion and biological control of *Pythium aphanidermatum*, a pathogen of cucumber, by endophytic actinomycetes. *Journal of Applied Microbiology*, 106: 13-26 p. El-Tarabily, K-A., **Sivasithamparam, K. 2006.** Non-streptomycete actinomycetes as biocontrol agents of soil borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. *Soil Biol. Biochem.* 38: 1505 1520 p.
- Elwan S.H., Dab A. and Al-Gounaim Y. 1985.** Ecology of the *Streptomyces* flora in the desert soil of Kuwait. *Syst. Appl. Microbiol.*, **6**, 99-104.
- Erroux J. et Laumont P., 1961.** Mémoire de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du nord, 5, 95 p.
- Erroux J., 1974.** Agronomie méditerranéenne. Tome I. Le milieu méditerranéen et ses problèmes. Les cultures vivrières en Algérie. 387 p.
- Ezzahiri B., 2001.** Les maladies du blé Identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. Transfert de technologie en Agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA 77, 4p.
- FAO. Food and Agriculture Organisation 2012.** Importance de la culture des céréales. <http://www.fao.org/docrep/017/al993f/al993f00.pdf>

- Feillet P. 2000.** Le grain de blé : composition et utilisation. *INRA*. Paris.
- fertilized conditions. *J. plant. Nutr.* **20**: 475-752.
- Franco-Correa M., Quintana A., Duque C., Suarez C., Rodriguez M. and Barea J. M. 2010.** Evaluation of actinomycete strains for key traits related with plant growth promotion and mycorrhiza helping activities. *Appl. Soil Ecol.*, 45, 209-217.
- Gasperini, G. 1892.** Ann. Igiene Sper. Roma, 1 (n.s.), 339–428.
- Gasperini, G. 1894.** Centralbl. f. Bakt. Parasitenk. II. Abt. 15, 684.
- Gayed, S.K. 1962.** The pathogenicity of six strains of *Helminthosporium sativum* to three cereals with special reference to barley. *Mycopath. Appl.* **18**: 271-279.
- Gopalakrishnan S, Pande S, Sharma M, Humayun P., Kiran B.K., Sandeep D., Sree Vidya M., Deepthi K. and Rupela O. 2011.** Evaluation of actinomycete isolates obtained from herbal vermicompost for the biological control of *Fusarium* wilt of chickpea. *Crop Prot.*, 30, 1070–1078.
- Gopalakrishnan S, Pande S, Sharma M, Humayun P., Kiran B.K., Sandeep D., Sree Vidya M., Deepthi K. and Rupela O. (2011).** Evaluation of actinomycete isolates obtained from herbal vermicompost for the biological control of *Fusarium* wilt of chickpea. *Crop Prot.*, 30, 1070–1078.
- Grignac P., 1977.** Le blé dur : monographie succincte. Annales de l'INA 1978. 15p.
- Haas, D., et G. Défago (2005).** Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Natra. Rev. Microb.* 1129.
- Hamdali H., Hafidi M., Virolle M. J. and Ouhdouch Y. 2008 .** Rock phosphate-solubilizing actinomycetes: screening for plant growth-promoting activities. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 24, 2565-2575.
- Hamdali H., Hafidi M., Virolle M. J. and Ouhdouch Y. 2008.** Rock phosphate-solubilizing actinomycetes: screening for plant growth-promoting activities. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 24, 2565-2575.
- Hamilton, D.G., Clark, R.V., Itannah, A.E and Loiselle, R. 1960.** Reaction barley varieties and selection to root rot and seedling blight incited by *Helminthosporium sativum*. P.K. & B. *Canad. J. Plant Sci.* **40**: 713-720.
- Hasegawa, S., A. Meguro, M. Shimizu, T. Nishimura et H. Kunoh. 2006.** Endophytic actinomycetes and their interactions with host plants. *Actinomycetol.* **20** (2): 72-81.
- Hetzler, J., Eyal, A., Mehta, Y.R., Fehrmann, H., Kushnir, U and Zekaria, J. 1991.** Interactions between spot blotch (*Cochliobolus sativus*) and Wheat cultivars, In : *Wheat for*

The Non traditional Warm Areas (Ed. Saunder, D.A), pp 146- 164, CIMMYT, Mexico, 549 pp.

Hopwood, D.A. 1973. Genetics of the Actinomycetales. *Soc Appl Bacteriol Symp Ser*, 2: 131–53.

Hopwood, D.A. 2003. *Streptomyces* genes: from Waksman to Sanger. *J Ind Microbiol Biotechnol*, 30(8): 468–471.

influence on soil and plant health. *Advan. Bioche. Engin. Biotech.* **84**: 49-89.

Ishizawa S. and Araragi M. 1976. Composition of actinomycetes population in soil. *In: Actinomycetes, the boundary microorganisms.* Arai T. (Eds.) Toppan Co. Ltd, Tokyo, 97-107.

Jakimowicz D. 2007. Chromosome segregation and cell division during the growth and differentiation of *Streptomyces*. *Postepy Hig.Med.Dosw.* **61**: 565-575.

Jensen, H.L. 1931. Proc. Linnean Soc. N. S. Wales, 56, 334–370.

Jensen, H.L. 1933. Idem, 57, 364–376.

Khamna S., Yokota A., Peberdy J.F. and Lumyong S. 2010. Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces* sp. isolated from some Thai medicinal plant rhizosphere soils. *EurAsia. J. BioSci.*, 4, 23-32.

Khan, M. S ., A. Zaidi., et M. Javed 2009. Microbial Strategies for Crop Improvement. pp: 1-371. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Kim S.B., Seong C.N., Jeon S.J., Bae K.S., et Goodfellow M. 2004. Taxonomic study of neurotolerant acidophilic actinomycetes isolated from soil and description of *Streptomyces yeochonensis* sp.nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, **54**, 211-214.

Kline, D.M. and Nelson, K.R. 1963. Pathogenicity of isolates of *Cochliobolus sativus* from cultivated and wild gramineous hosts from the western hemisphere to species of the Gramineae. *Plant Dis. Repr.* **47**: 890-894.

Krainsky, A. 1944. Centralbl. f. Bakt. Parasitenk. II Abt, 4 1 , 649-688.

Krassilnikov, N. A. 1938. Microbiologia (U.S.S.R.), 7, 335.

Kulkarni, G.S. 1924. Annual Rept.Deptt.Agric.Bombay presidency for the year 1922-23, pp167-171.

Kumar, V., S. S. Punia, K. Lakshminarayana et N. Narula. 1999. Effect of phosphate

Kurek E. and Jaroszuk-Scisel J. 2003. Rye (*Secale cereale*) growth promotion by *Pseudomonas fluorescens* strains and their interactions with *Fusarium culmorum* under various soil conditions. *Biol Control*, 26, 48– 56.

Lacey J. 1973. Actinomycetes in soils, composts and fodders. Soc. Appl. Bacteriol. Symp. Ser., **2**, 231-51.

- Lacroix M.2002.** Maladies des céréales et de la luzerne. pdf
- Ladraa N.(2012).** Aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur Algérien. Mémoire de Magister en Agronomie Ecole Nationale Supérieure d'AgronomieEl-Harrach Alger (ENSA).103p.
- Lamari L., Bernier CC. et Smith RB., 1991.** Wheat genotypes that develop both tan Necrosis and extensive chlorosis in response to isolates of *Pyrenophora tritici-repentis*.
- Lamari L., Strelkov SE., Yahyauoi A., Amedov M., Saidov M., Djunusova M. and Koichibayev M., 2005.** Virulence of *Pyrenophora tritici-repentis* in the countries of the Silk Road, Canadian journal of plant pathologie. 27 (3), 383-388.
- Lapis, D.B. 1985.** Insect pest and diseases of wheat in the Phillipines. In : Wheat for More Tropical Environments. (Eds. Villareal, B.L. and Klatt, A.R.) pp. 152-153. CIMMYT. Mexico, 354 pp.
- Larpent JP, Sanglier JJ. 1989.** In: Biotechnologie des antibiotiques. Paris: Ed. Masson. p. 481.
- Le Minor, L., Veron, M. 1989.** Bacteriologie medicale. 2ème édition. *Medecine. Sciences Flammarion*.
- Lechevalier M. P. 1988.** Actinomycetes in agriculture and forestry.In “Actinomycetes in Biotechnology”. Goodfellow M. G., Williams S. T. and Modarski M. Ed, Academic Press London, New-York. 327-358.
- Lechevalier M.P. and Lechevalier H.A. (1970a).** Composition of whole-cell hydrolysates as a criterion in the classification of aerobic actinomycetes. In: « The *Actinomycetales* » Prauser H. (Eds.) Fisher Verlag, Jena, pp. 311-316.
- Lehr N.A. Schrey S.D. Hampp R. and Tarkka M.T. 2008.** Root inoculation with a forest soil Streptomycete leads to locally and systemically increased resistance against phytopathogens in Norway spruce. *New Phytologist*, 177, 965–976.
- Lieske, R. 1921.** Morphologie and Biologie der Strahlenpilze, Lipsia.
- Macagnan, D., R. da S. Romeiro, A. W.V Pomella et T. de Souza. 2008.** Production of lytic enzymes and siderophores, and inhibition of germination of basidiospores of *Moniliophthora (ex Crinipellis) perniciosa* by phylloplane actinomycetes. *Biol. Control*. **47**: 309-314.

- MADR, 2010 in Lounes et Guerfi, 2011.** Contribution à l'étude du comportement de 27 variétés de blé dur en zone sub humide en vue de leur inscription au catalogue officiel national. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie : Université de Tizi ousou. p
- MADR. Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural. 2015. In ONFAA. Observation national des Filières Agricoles et Agroalimentaire. 2015.** Bilan de la campagne céréalière 2014/2015.
- Mahadevan, B et D. L. Crawford. 1997.** Properties of the chitinase of the antifungal
- Maraite, H., Di Zinno, T., Longree, H., Daumerie, V. and Duveiller, E. 1998.** Fungus associated with the foliar blight of wheat in warmer areas .In: *Proceedings of the international workshop on Helminthosporium disease of wheat: spot blotch and tan spot*. Duveiller, E., Dubin, H.J., Reeves, H.J., McNab. CIMMYT, El Batan Mexico Feb 9-14. 1997, 293-300.
- Mariat, F., Sebald M. 1990.** Les actinomycetes. Dans : Bactériologie médicale. Le Minor.
- Martens, J.W., W.L. Seaman et T.G. Atkinson. 1984.** Diseases of field crop in Canada. The Canadian phytopathological society. 160 p.
- Mba, C. C. 1997.** Rock phosphate solubilizing Streptosporangium isolates from casts of
- Mc Rae, W. 1924.** Economic Botany III: Mycology. Annual Rept .Board Scientific Advice, India.1922-23 pp. 31-35.
- Mehta, Y.R. (1981a).** Conidial production, sporulation and extension of lesion of *Helminthosporium sativum* on flag leaves of wheat. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* (Brasilla) 16: 79-99.
- Mehta, Y.R. (1981b).** Identification of races of *Helminthosporium sativum* of wheat in Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* (Brasilla) 16: 331-336.
- Mehta, Y.R. 1998.** Constraints on the integrated management of spot blotch of wheat. In: *Helminthosporium blights of wheat. Spot blotch and tan spot* (Duveiller, E., Dubin, H.J., Reeves, H.J., McNab, A.) El Batan, Mexico, CIMMYT pp. 18-27.
- Mehta, Y.R. and Igarshi, S. 1985.** Chemical control measures of major diseases of wheat with special attention to spot blotch. In: *Wheat for more Tropical Environment* (Villareal, R.L., Klatt, A.R. eds). pp. 196-200. *Proceedings of the International Symposium*, CIMMYT, Mexico, 354 p.
- Mekhlouf A., 1998.** Etude de transmission héréditaire des caractères associés au rendement en grain, et de leur efficacité en sélection chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf).Thèse de Magister. INA. El Harrach. 63 p.

- Melouah R. 2015.** Production et extraction de quelques principes actifs isolés à partir des actinomycètes. Mémoire de Master Académique en Microbiologie appliquée : Université de Ouaregla. 65p.
- Messoudi O. 2013.** Contribution à la caractérisation des souches d'actinomycètes productrices de métabolites antibactériens isolées de sébkha Kenadsa (Bechar). Mémoire de magister en Microbiologie appliquée : Université de Tlemcen. 106 p.
- Meziane, H., I. van der Sluis, LC. van Loon, M. Höfte et PAHM. Bakker (2005).** Determinants of *Pseudomonas putida* WCS358 involved in inducing systemic resistance in plants. *Mol. Plant Pathol.* **6**:177-185.
- Microbiol.** **63**(9): 3553-3560.
- Minuto, A., Spadaro, D., Garibaldi, A. et Gullino M.L. 2006.** Control of soilborne pathogens of tomato using a commercial formulation of *Streptomyces griseoviridis* and solarization. *Crop Protect.* **25**(5): 468-475.
- Misra, A.P., Pandey, S.P., Misra, A.K. and Jha, J. 1981.** Pathogenic difference in isolates of *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker (*H. sativum* P.K. & B.) from wheat, barley and triticales from different geographical regions. 3rd Inter. Symp. Plant Path., IARI, New Delhi, pp. 131-132.
- Mondal, H. 2000.** Effect of seed and soil borne inocula of *Bipolaris sorokiniana* on seedling mortality and spot blotch of wheat. *M.Sc. Thesis.* Department of Plant Pathology, Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University, Gazipur, Bangladesh, pp. 32.
- Moule C., 1980.** Les céréales. Ed. La maison rustique. Paris. 318 p.
- Neilands, JB. et SA. Leong (1986).** Siderophores in relation to plant growth and disease. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, **37**: 187-208.
- Neilands, JB., K. Konopka, B. Schwyn, M. Coy, , RT. Francis, BH. Paw (1987).** Comparative biochemistry of microbial iron assimilation. *In: Iron Transport in Microbes, Plants and Animals.* Winkelmann, G., van der Helm, D., and Neilands, J.B. (eds). Weinheim: VCH-Verlagsgesellschaft, pp. 3-33.
- Nelson, K.R. and Kline, D.M. 1966.** The pathogenicity of 91 morphologically similar isolates of 19 *Helminthosporium* to 30 gramineous species. *Plant Dis. Repr.* **50**: 382-384.
- Nia M et Choueb S. (2012).** Actinomycètes endophytes et hormone de croissance végétale acide indol-3-acétique: production, partielle purification et promotion de la croissance des plantules de tomate. Mémoire d'ingénieur d'Etat en Agronomie : Université de Laghouat. 71p.

Nirmala. P and Sindhu. A. (2011). Production of endoglucanase by optimizing the environmental conditions of *Bacillus circulans* on submerged fermentation. *Inter. J. Appl. Engin. Res.*, 2: 472-481.

of a new extracellular lipase from *Streptomyces cinnamomeus*. *Appl. Environ.*

of *Trichoderma* sp. in relation to P uptake and growth and yield parameters of chickpea

Office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC). 2013. Note de Conjoncture 3^{ème} Trimestre 2013, 11 p.

Omura S. 1992. The search for bioactive compounds from microorganisms. Ed: Springer Verlag: New York. Inc. 281-303. actinomycetes. *Biotechnology and Applied Biochemistry* 42: 161-179.

ONFAA. Observation national des Filières Agricoles et Agroalimentaire. 2015. Bilan de la campagne céréalière 2014/2015.

Ongena, M., A. Giger, P. Jacques, J. Dommes et P. Thonart 2002. Study of bacterial determinants involved in the induction of systemic resistance in bean by *Pseudomonas putida* BTP1. *Euro. J. Plant Pathol.*, 108: 187-196.

Ongena, M., F. Daayf, P. Jacques, P. Thonart, N. Benhamou, , TC. Paulitz, et RR. Bélanger (2000). Systemic induction of phytoalexins in cucumber in response to treatments with fluorescent *Pseudomonads*. *Plant Pathol.* 49(4):523-530.

Orskov, J. 1925. Investigations into the morphology of the ray-fungi. Copenhagen.

Oskay M., Tamer A. and Azeri C. 2004. Antibacterial activity of some actinomycetes isolated from farming soils of Turkey. *Afr J Biotechnol.*, 3(9), 441–446.

O'Sullivan, D. J., & O'Gara, F. (1991). Regulation of iron assimilation: nucleotide sequence analysis of an iron-regulated promoter from a fluorescent pseudomonad. *Mol. Gen. Genet.* 228: 1-8.

Otto. H. J. 1998. Écologie forestière. Institut pour le développement forestier : Paris. Pp : 397.

Patil H.J., Srivastava A.K., Singh D.P., Chaudhari B.L. and Arora D.K. (2011). Actinomycetes mediated biochemical responses in tomato (*Solanum lycopersicum*) enhances bioprotection against *Rhizoctonia solani*. *Crop Protection*, 30, 1269–1273.

Perseilo C., Nussaume F.L. et Robaglia C. 2003. Tales from the underground : Molecular plant-rhizobacteria interaction. *Plant Cell et Environnement.*, 26: 189-199.

Plant Diseases. vol 75. 121–122.

- Pliego C., Cayo R., de Vicente A. and Francisco M. 2011.** Cazorla Screening for candidate bacterial biocontrôle agents against soil borne fungal plant pathogens. *Plant Soil*, 340, 505-520.
- Prévost K., Couture G., Shipley B., Brzezinski R. and Beaulieu C. 2006.** Effect of chitosane and a biocontrôle streptomycete on field and potato tuber bacterial communities. *Biocontrol*, 51, 533-546.
- productivity of agro-ecosystems. *Crit. Rev. Plant. Sci.*, 23, 175-193.
- Raaijmakers, J.M., M.Vlami et J.T. de Souza (2002).**Antibiotic production by bacterial biocontrol agents. *Antonie Van Leeuwenhoek*, **81**: 537-547.
- Raemaekers, R.H. 1988.** *Helminthosporium sativum*: disease complex on wheat and sources of resistance in Zambia. In: *Wheat Production Constraints in Tropical Environments* (A.R. Klatt Ed.), pp. 175-185. CIMMYT, Mexico, D.F.
- Raemaekers, R.H. 1991.** Contribution to the epidemiology of *Bipolaris sorokiniana* disease and the development of rainfed wheat, a new crop in Zambia. Diss. Land bouwwetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- Ramos-Solano B., Jose Antonio Lucas García J. A. L., Garcia-Villaraco A., Algar E., Garcia-Cristobal J. and Mañero F. J. G 2010.** Siderophore and chitinase producing isolates from the rhizosphere of *Nicotiana glauca* Graham enhance growth and induce systemic resistance in *Solanum lycopersicum* L. *Plant Soil*, 334, 189-197.
- Rastogi. B. V, Kishore. B. 1997.** A Complete Course in ISC Biology. Pitambar Publishing: New Delhi. Pp: 592. regulators, p. 307-347. In F. Blaine Metting, Jr (ed), *Soil Microbiol Ecology. Application in*
- Reis, E.M. 1991.** Integrated disease management-The changing concepts of controlling head blight and spot blotch. In: *Wheat for the Non traditional Warm Areas* (D.A. Saunders Ed.), pp. 165-177. CIMMYT, Mexico, D.F.
- Reis, E.M. and W.A., Wunsche 1984.** Sporulation of *Cochliobolus sativus* on residues of winter crops and its relationship to the increase of inoculums density in soil. *Plant Dis.* **68**: 411-412.
- Reis, E.M., Medeiros, C.A. and R.T., Casa. 1998.** Control of leaf blights of wheat by elimination of the inoculum source. In: *Helminthosporium Blights of Wheat: Spot Blotch and Tan Spot* (E. Duveiller, H.J. Dubin and A. McNab Eds.), pp. 327-332. IMMYT, Mexico, D.F.
- Ribbe M., Gadkari D. and Meyer O. 1997.** N₂ fixation by *Streptomyces thermoautotrophicus* involves a molybdenum-dinitrogenase and a manganese-superoxide

oxidoreductase that couple N₂ reduction to the oxidation of superoxide produced from O₂ by a molybdenum-CO dehydrogenase. *J. Biol. Chem.*, 272, 26627-26633.

Rodríguez H. and Fraga R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol Adv.*, 17, 319-339.

Rodríguez H., Fraga R., Gonzalez T. and Bashan Y. 2006. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. *Plant Soil*, 287, 15-21.

Rossi-Doria, T. 1891. Ann. Igiene Sper. Roma, 1 (n.s.), 339–428.

Rudresh D.L., Shivaprakash M.K. and Prasad R.D. 2005. Tricalcium phosphate solubilizing abilities of *Trichoderma* sp. in relation of P uptake and growth and yield parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Can. J. Microbiol.*, 51, 217-222.

Rudresh, D. I., Shanmugam, V. et Prasad, 2005. Tricalcium phosphate solubilising abilities
Saari, E.E. 1998. Leaf blight diseases and associated soil borne fungal pathogens of wheat in North and South East Asia. In: *Helminthosporium Blights of wheat: spot blotch and tan spot* (Duveiller E, Dubin HJ, Reeves J, Mc Nab A eds). CIMMYT, Mexico, pp 37–51.

Sabaou N., Hacène H., Bennadji A., Bennadji H. et Bounaga N. (1992). – Distribution quantitative et qualitative des actinomycètes dans les horizons de sol de surface et profonds d'une palmeraie algérienne. *Can. J. Microbiol.*, 38 (10): 1066-1073.

Sabaou, N., Boudjella, H., Bennadji, A., Mostefaoui, A. 1998. Les sols des oasis du Sahara algérien, source d'actinomycètes rares producteurs d'antibiotiques. *Sécheresse*, 9, 147–153.

Saci K et Safane A. 2015. Isolement des souches d'actinomycètes d'un sol agricole contaminé par l'herbicide Apyros et étude de leur capacité à le dégrader. Mémoire de Master en Science Biologique : Université de Constantine. 111 p.

Sadeghi A., Hesani A.R., Askari H., Qomi D.N., Farsi M. and Hervan E.M. 2009. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off of sugar beet with native *Streptomyces* strains under field conditions. *Biocontrol Sci. Technol.*, 19, 985-991.

Sadeghi A., Karimi J., Abaszadeh D., Javid M.G., Dalvand Y. and Askari H. 2012. Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil conditions. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 28, 1503-1509.

Salhi A., 1988 : Essai de comportement de certains variétés de blé tendre et de blé dur conduit sous pivot à Gassi Touil, Thèse, Ing, gro, sah. ITAS. Ouargla, 66p.

Sanglier, J.J., Trujill M. 1997. Substances bioactives produites par les actinomycètes, stratégie de sélection de souches. *Bull Soc Fr Microbiol*, 12(3): 269–276.

- Saoud H.**, 1994. La maladie de la tache bronzée du blé : Etude de la variation pathogénique de l'agent causal (*Pyrenophora tritici repentis*) et identification des sources de résistance. Mémoire de 3ème cycle ENA, Ecole Nationale d'Agriculture, Meknes Maroc.
- Sayoud R., Ezzahiri B. et Bouznad Z.**, 1999. Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb, Guide Pratique. Projet Maghrébin sur la Surveillance des Maladies et le Développement de Germoplasme Résistant des céréales et des Légumineuses Alimentaires. PNUD RAB/91/007 Maroc-Algérie -Tunisie. Trames Ed, Algérie. 64p.
- Sayoud, R., Ezzahiri, B., Bouznad, Z.** 1999. Les maladies des céréales et des légumineuses Alimentaire au Maghreb. ITGC. Alger, 63 p.
- Schippers ,B., AW. Bakker et PAHM. Bakker (1987).** Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Ann. Rev. Phytopathol.* 25:339-358.
- Schottel J.L., Shimizu K. and Kinkel L.L.** 2001. Relationships of *in vitro* pathogen inhibition and soil colonization to potato scab biocontrol by antagonistic *Streptomyces* spp. *Biological Control*, 20, 102–112.
- Sci. 69: 198-200.
- Sharma, R.C., Dubin, H.J., Bhatta, M.R. and Devkota, R.N.** 1997. Selection for spot blotch resistance in four spring wheat populations. *Crop Science.* 37:432-435.
- Sharma, R.C., Duveiller, E., Ahmed, F., Arun, B., Bhandari, D., Bhatta, M. R., Chand, R., Churasia, P.C.P., Gharti, D. B., Hossain, M.H., Joshi, A.K., Mahto, B.N., Malaker, P. K., Reza, M.A., Rahman, M.H., Samad, M.A., Shaheed, M. A., Siddique, A.B., Singh, A.K., Singh, K.P., Singh, R.N and Singh, S.P.** (2004). *Helminthosporium* leaf blight resistance and agronomic performance of wheat genotypes across warm regions of south Asia. *Plant Breeding* 123(6): 520-524.
- Shimizu M.** 2011. Endophytic actinomycetes: biocontrol agents and growth promoters (Chap. 10). In *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Growth Responses* (Maheshwari D. K. ed.). pp. 201-220 Springer Heidelberg Dordrecht. London New York.
- Shimizu M.** 2011. Endophytic actinomycetes: biocontrol agents and growth promoters (Chap. 10). In *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Growth Responses* (Maheshwari D. K. ed.). pp. 201-220 Springer Heidelberg Dordrecht. London New York.
- Shoemaker, R.A.** 1959. Nomenclature of *Drechslera* and *Bipolaris* ,grass parasites segregated from *Helminthosporium*. *Can Journal Bot.* 37: 879-887.
- Sinderen, D.** 2007. Genomics of *Actinobacteria*: tracing the evolutionary history of an ancient phylum. *Microbiol Mol Biol Rev*, 71(3): 495–548.

- Sinderen, D. 2007.** Genomics of *Actinobacteria*: tracing the evolutionary history of an ancient phylum. *Microbiol Mol Biol Rev*, 71(3): 495–548.
- Singh, D.P., Sharma, A.K., Tewari, A.N., Singh, K.P., Singh, A.K., Singh, R.N., Singh, S.P., Kalappanawar, I.K., Dodan, D.S. and Singh, V.K. (2004a).** Assessment of losses due to leaf blight in popular varieties of wheat under different sowing conditions and agro climatic zones in India. *Indian J. Agric. Sci.* **74(2)**: 110-113.
- Singh, D.V. and Srivastava, K.D. 1997.** Foliar blights and *Fusarium* scab of wheat. Present status and strategies for management. In : *Management of Threatening Plant Diseases of National Importance*. Malhotra Publishing House, New Delhi, pp. 1-6.
- Singh, Dinesh, Singh, R.V., Singh, A.K. and Singh, R.N. 2005.** Sources of resistance against foliar blight of wheat caused by *Helminthosporium sativum*. *Indian Phytopath.* **58 (1)**:111-113.
- Singh, R.N., Chauhan, A. and Singh, A.K. (2004b)** .Foliar blight of wheat under rice wheat system in eastern India. *J. Mycol. Plant Pathol.* **31 (3)**: 339-342.
- Singh, R.N., Singh, A.K., Singh, S.P. and Singh, B.N. (2001a).** Occurrence and predominance of wheat foliar blight pathogens in India. *J. Mycol. Plant Pathol.* **31 (3)**:339-342.
- Singh, R.N., Singh, A.K., Singh, S.P. and Singh, B.N. (2001b).** Prevalence and distribution of foliar blight pathogens attacking wheat in India. *Indian Phytopath.* **54(2)**: 175-178.
- Singh, R.V., Singh, A.K. and Singh, S.P. 1995.** Progress of work under National Centre on Foliar Diseases during 1994-95. In: 34th All India Wheat Research Worker's Workshop, AICWIP, ICAR at UAS, Dharwad, August 1985.
- Singh, R.V., Singh, A.K., Singh, D., Singh, V.B. (1994).** Screening of wheat genotypes against foliar blight caused by *Helminthosporium sativum*. *Pl. Dis. Res.* **19(1)**: 88-90.
- Sivanesan, A. and Holliday, P. 1981.** CMI descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria Sheet--No 701. Kew CAB International Mycological Institute.
- Smaoui S. (2010).** Purification et Caractérisation de Biomolécules à partir de microorganismes nouvellement isolés et identifiés. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, (France). 251 p.
- Soltner D. 1998.** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.
- solubilising analogue resistant mutants of *Azotobacter chroococcum* on sorghum. *Ind. J. Agric.*
- Sommer, P., C. Bormann et F. Cötzt. 1997.** Genetic and biochemical characterization

- Srivibool R. and Sukchotiratana M., (2006).** Bioperspective of actinomycetes isolates from coastal soils: A new source of antimicrobial producers. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, **28**, 493-499.
- Stackebrandt, E., Rainey, F.A., Ward-Rainey, N.L. 1997.** Proposal for a new hierarchical classification system, *Actinobacteria* classis nov. *Int J Syst Evol Microbiol*, 47(2): 479–491.
- Staneck, J.L. and G.D. Robert. 1974 .** Simplified approach to identification of aerobic actinomycetes by thin layer chromatography. *Appl. Microbiol.*, **28**: 226-231.
- States of America, pp. 487.
- Streptomyces* on growth and productivity of wheat plants. *Folia. Microbiol.* **43**: 324-328.
- Subramanian, C.V. 1971.** *Bipolaris* Shoemaker. In: Hyphomycetes: An account of Indian species, except Cercosporae. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi.
- Suzuki K., Nagai K., Shimizu Y. and Suzuki Y. 1994.** Search for actinomycetes in screening for new bioactive compounds. *Actinomycetologica*, **8**, 122–127.
- the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. *Ann. Acad. Bras. Cienc.* **78**: 791-
- Thumar, J. T. et S. P. Singh. 2007.** Secretion of an alkaline protease from a salt-tolerant and alkaliphilic *Streptomyces clavuligerus* Strain MIT-1. *Braz. J. Microbiol.*
- Tinline, R.D., G.B. Wildermuth and D.T. Spurr. 1988.** Inoculum density of *Cochliobolus sativus* in soil and common root rot of wheat cultivars in Queensland. *Aust. J. Agric. Res.* 39(4): 569-577.
- to *Azotobacter* inoculation under fertilized conditions. *Sarhad. J. Agri.* **12**: 133-140.
- Tokala, R. K., J. I. Strap, C. M. Jung, D. L. Crawford, M. H. S. Love, L. A. Deoblad, J. F. Bailey et M. J. Morra. 2002.** Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Appl. Environ. Microbiol.* **68**: 2161-2171.
- Toumatia O. 2015.** Etude de quelques souches de *Streptomyces* des sols arides d'Algérie antagonistes de *Fusarium culmorum*: taxonomie, caractérisation des antibiotiques et essais de lutte contre la fusariose du blé. Thèse de Doctorat en Microbiologie Appliquée : l'Ecole Normale Supérieure de Kouba-Alger. 266 p.
- tropical earthworms. *Soil. Biol. Biochem.* **29**: 381-385.
- tryptophan and *Azotobacter* inoculation on yield and chemical composition of potato under
- Vanachter A., Van Wembeke E., Van Assche C., 1983.** Potential danger for infection and spread of root disease of tomatoes in hydroponics. *Acta Hort.*, 133:119-127.
- Ventura, M., Canchaya, C., Tauch, A., Chandra, G., Fitzgerald, G.F., Chater, K.F., van Ventura, M., Canchaya, C., Tauch, A., Chandra, G., Fitzgerald, G.F., Chater, K.F., van**

- Verdera .2009.** Mycostop® fongicide biologique, un moyen de protection fiable et sans danger contre les pathogènes de vos cultures. Brochure.
- Verdera .2009.** Prestop® fongicide biologique, Un moyen de protection fiable et sans danger contre les pathogènes de vos cultures. Brochure.
- Verma , 2009.** Ecology of actinomycetes, *Annu. Rev. Microbiol.*, 37: 189-216.
- Waksman, S.A. 1919.** *Soil Sci*, 8: 71–215.
- Wang Y, HN. Brown, DE. Crowley et PJ. Szaniszlo (1993).** Evidence for direct utilization of a siderophore, ferroxamine B, in axenically grown cucumber. *Plant Cell. Environ.* **16**(5): 579–585.
- Wang, L., Yun, B.S., George, N.P., Wendt-Pienkowski, E. 2007.** Glycopeptide antitumor antibiotic zorbamycin from *Streptomyces flavoviridis* ATCC 21892: strain improvement and structure elucidation. *J. Nat. Prod.*, 70, 402–406.
- Welbaum G.E., Sturz A.V., Dong Z. and Nowak J. 2004.** Managing soil microorganisms to improve
- Wilson D. 1995.** Endophyte-the evolution of a term, and clarification of its use and definition. *Oikos* 73, 274– 276.
- Xiao C. Q., Chi R., Huang X., Zhangc W., Qiu Z. and Wang D. 2008.** Optimization for rock phosphate solubilization by phosphate-solubilizing fungi isolated from phosphate mines. *Ecological engineering.*, 33, 187-193.
- Zahir, A. Z., M. Archad et A. Hussain. 1996 (a).** Response of wheat (*Triticum aestivum*)
- Zahir, A. Z., M. Archad, M. Azam et A. Hussain. 1997 (a).** Effect of an auxin precursor
- Zahri S., Farih A., Badoc A. et Douira A., 2014.** Statut des principales maladies, cryptogamiques foliaires du blé au Maroc en 2013. *Journal of Applied Biosciences* 77, 6543–6549.
- Zaitlin B., Watson S.b., Ridal J., Satchwill T. & Parkinson D. 2003.** Actinomycetes in lake Ontario: Habitats and geosmin and MIB production. *Res. J. Can.* **95 (2)**, 113-118.
- Zhi, X.Y., Li, W.J., Stackebrandt E. 2009.** An update of the structure and 16S rRNA gene sequence-based definition of higher ranks of the class Actinobacteria, with the proposal of two new suborders and four new families and emended descriptions of the existing higher taxa. *Int J Syst Evol Microbiol*, 59 (Pt 3): 589–608.
- Zillinsky, F.J. 1983.** *Common diseases of small grain cereals.* A guide to Identification. Mexico DF, Mexico, CIMMYT.
- Zimmerman W. 1990.** Degradation of lignin by bacteria. *J. Biotechnol.* **13**: 129- 130.

Zitouni A., Bennadji H., Lamari L., Badji B., Mathieu F., Lebrihi A. and Sabaou N. (2005). Nocardiosis and Saccharothrix genera in Saharan soils in Algeria: isolation, biological activities and partial characterization of antibiotics. *Res. Microbiol.* 156, 984-993.