

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

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

جامعة عمار ثليجي - الاغواط -
كلية العلوم
قسم العلوم الفلاحية



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Agronomie
Option : Protection Des Végétaux et d'Environnement*

Thème

***Biofertilisation et production des
phytohormones par des
microorganismes rhizosphériques***

Présenté par : **AGOUNE wassila**

Le : 23/06/2014

Encadré par : **Mme Goudjal-zamoum M. (Maître-assistant A)**

JUIN 2014

Résumé:

La biofertilisation est un moyen efficace et plus durable pour une agriculture raisonnée et équilibrée car elle permet de d'avoir un rendement de bonne qualité sans avoir recours à l'utilisation des engrais chimiques.

Ce travail a pour objectif de tester la capacité de 26 souches d'actinomycètes endophytes à solubiliser le phosphore inorganique, à produire des chitinases, des protéases et des sidérophores et pour tester également l'effet de ces souches sur le taux de germination des graines de tomate *in vitro* et *in vivo* ainsi que sur la longueur des tiges, des racines et le poids frais et sec. Les meilleures souches présentant un effet positif sur la longueur racinaire ont été retenues pour un test de production de l'AIA.

17 d'actinomycètes ont présenté la faculté de solubiliser des phosphates inorganiques sur le milieu de culture PVK blanc et 19 souches sur le milieu PVK violet. 18 souches également sont capables de produire des protéases et 21 produisent des chitinases.

Les souches ZL1 et DN19 sont les meilleures qui ont un effet positif sur l'induction de la germination ainsi que sur la promotion de la croissance des plantules. Ces deux souches sont également capables de produire l'AIA qui a un rôle sur la multiplication et la différenciation cellulaire. Ces souches productrices d'AIA ont un effet positif sur la croissance des tiges et des racines, du fait qu'elle assure la meilleure croissance des plants.

Mots clé : Biofertilisation, Actinomycètes endophyte, Tomate, Chitinases, Protéases, Sidérophores, AIA (L'acide indol-3-acétique).

ملخص:

التسميد الحيوى هو وسيلة فعالة ومستدامة لزراعة عقلانية ومتوازنة لأنها تمنحنا مردود ذو نوعية جيدة دون اللجوء إلى استخدام الأسمدة الكيماوية.

هذا العمل يهدف الى اختبار قدرة 26 سلالة من Actinomycètes endophytes على تدوير الفسفور الغير العضوي, وإنتاج chitinases, Protéase و siderophores وأيضا من اجل اختبار تأثير هذه العينات على معدل انتاش بذور الطماطم تحت تأثير عوامل مخبرية في علب بتري وتأثير عوامل طبيعية حيوية وكذلك قدرت تأثيرها على زيادة طول السيقان, الجذور, الوزن الطازج والجاف. أفضل سلالات أظهرت تأثيرها الايجابي على نمو الجذور و قد تم اختبار قدرتها على انتاج AIA .

17 سلالة من Actinomycètes endophytes أظهرت القدرة على تدوير الفسفور غير العضوي في وسط الزرع PVK الأبيض و 19 سلالة في وسط الزرع PVK البنفسجي , 18 سلالة هي أيضا قادرة على إنتاج الأنزيم البروتيني و 21 قادرة على انتاج chitinases.

السلالتان DN19، ZL1 هي الافضل تأثيرا على تحريض الإنتاش وكذلك تعزيز نمو الشتلات .ولها ايضا القدرة على إنتاج هرمون AIA الذي يلعب دور في تكاثر وتمايز الخلايا.

الكلمات الرئيسية : التسميد الحيوي , Actinomycètes endophytes , الطماطم , Protéases, Siderophores , Chitinases, AIA(حمض اندول-3-استيك) .

AGOUNE Wassila

Title: Biofertilization and phytohormones production by rhizosphere microorganisms

Biofertilization is an effective and sustainable way to a reasoned and balanced agriculture because it allows having a good performance without resorting to the use of chemical fertilizers.

ability test of 26 strains of endophytic actinomycetes to solubilize inorganic phosphorus to produce chitinases, proteases and siderophores and also to test the effect of these strains on the germination rate of seeds of this work aims to tomato in vitro and in vivo as well as the length of the stems, roots and the fresh and dry weight. The best strains with a positive effect on root length were selected for production test of the AIA.

17 strains of actinomycetes showed the ability to solubilize inorganic phosphates on white PVK culture media used and 19 strains on purple PVK culture media. 18 strains are also capable of producing protease and 21 produce chitinases.

The ZL1 and DN19 strains are the best that have a positive effect on the induction of germination as well as promoting the growth of seedlings. These two strains are also capable of producing the AIA which has a role in cell proliferation and differentiation.

Keywords: Biofertilization, Endophytic actinomycetes, Tomato, Growth hormone, Chitinases, Proteases, Siderophores, AIA.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

- ❖ En premier lieu à ma mère et mon père « chafia et tayeb » qui ont consenti beaucoup de sacrifices pour me permettre de réaliser mes objectifs qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.
- ❖ A mes chers frères :Rodwan et abd-Errahmane
- ❖ A mes chères sœurs : Imane, Houda, Chiraze, Rania et la petite Ichrak pour leurs tendresse, mes amies Amal, Ikram, Manal et ma charmante Abir AGOUNE
- ❖ A toute la famille Agoune et beladjouz
- ❖ A toutes mes amies de la résidence «sœurs bedj».
- ❖ A mes collègues et ami(e)s de la section 2^{eme} année Master « Protection des végétaux et environnement»
- ❖ A tous mes enseignants depuis le primaire jusqu'à maintenant.
- ❖ A tous ceux qui me sont chers.

Remerciements

C'est avec humilité et gratitude que je reconnais ce que je dois:

Je commencerai par remercier et rendre grâce à Dieu tout puissant pour m'avoir donné le courage et la volonté de mener à bon terme ce travail.

Mes sincères remerciements à ma Promotrice M^{me} GOUDJAL-ZAMOUM Miyada, et Mr GOUDJAL YACINE pour son encadrement de qualité, son aide inestimable et ses précieux conseils.

Tous mes remerciements à tous mes enseignants du Département d'agronomie d'Université Amar THELDJI de Laghouat pour leurs collaborations et leur accueil chaleureux.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici mes sincères reconnaissances.

Sommaire	Page
Résumé.....	I
Dédicaces	IV
Remerciements	V
Sommaire	VI
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	IX
Liste des abréviations	X
Introduction générale.....	1
Données bibliographiques	
CHAPITRE I : La Tomate	3
<u>1. Généralités</u>	<u>3</u>
<u>1.1. Historique et origine de la tomate</u>	<u>3</u>
<u>1.2. Importance de la culture de tomate</u>	<u>3</u>
<u>1.2.1. Production mondiale de tomate</u>	<u>4</u>
<u>1.2.2. La production de la tomate en Algérie</u>	<u>4</u>
<u>1.3. Classification de la tomate</u>	<u>5</u>
<u>1.4. Caractéristiques et description botanique de la tomate</u>	<u>5</u>
<u>1.4.1. Appareil végétatif</u>	<u>6</u>
<u>1.4.1.1. Système racinaire</u>	<u>6</u>
<u>1.4.1.2. La tige</u>	<u>6</u>
<u>1.4.1.3. Le feuillage</u>	<u>6</u>
<u>1.4.2. Appareil reproducteur</u>	<u>6</u>
<u>1.4.2.1. Les fleurs</u>	<u>6</u>
<u>1.4.2.2. Le fruit</u>	<u>6</u>
<u>1.4.2.3. les graines</u>	<u>7</u>
<u>1.5. Cycle de développement de tomate</u>	<u>7</u>
<u>1.6. Principales exigences écologiques de la tomate</u>	<u>9</u>
<u>1.6.1. Température</u>	<u>9</u>
<u>1.6.2. La lumière</u>	<u>9</u>
<u>1.6.3. pH</u>	<u>9</u>
<u>1.6.4. Sol</u>	<u>9</u>
<u>1.6.5. Exigences hydriques</u>	<u>9</u>
<u>1.7. Systèmes de culture de la tomate</u>	<u>10</u>
<u>1.7.1. La culture de plein champ</u>	<u>10</u>
<u>1.7.2. La culture sous abris</u>	<u>10</u>
<u>1.8. Les principales variétés de tomate utilisées en Algérie</u>	<u>10</u>
<u>1.8.1. Les variétés à port indéterminé</u>	<u>10</u>
<u>1.8.1.1. les variétés fixées</u>	<u>11</u>
<u>1.8.1.2. les variétés hybrides</u>	<u>11</u>
<u>1.8.2. Les variétés à port déterminé</u>	<u>11</u>
<u>1.9. Contraintes phytosanitaires</u>	<u>11</u>
<u>1.10. Exigences de la tomate en éléments fertilisants</u>	<u>12</u>

CHAPITRE II : Les Actinomycètes

1. Définition et caractéristiques	13
2. Importance des actinomycètes dans le domaine agronomique	13
3. Taxonomie des actinomycètes	14
3.1. Critères actuels d'identification.....	14
3.2. Les critères morphologiques	14
4. Le cycle de développement des actinomycètes(Exemple type :Streptomyces spp)	17
5. Actinomycètes endophytes	17
6. Le rôle des actinomycètes dans la croissance de la plante	18
7. Hormone de croissance et l'effet PGPR	19
7.1. Nature et fonctions des hormones naturelles	19
7.1.1. Les auxines	19
7.1.1.1 La biosynthèse d'auxine	20
7.1.2. Les cytokinines	20
7.1.3. Les gibbérellines	21
7.1.4. L'éthylène	22
7.1.5. L'acide abscissique	22
Matériel et méthodes	
1. Matériel.....	23
1.1. Matériel végétal	23
1.1.1 La tomate	23
1.2. Matériel biologique.....	23
1.2.1. Les isolats d'actinomycètes	23
2.Méthodes.....	24
2.1. Identification préliminaire des souches d'actinomycètes	23
2.2. Test de solubilisation du phosphate inorganique	25
2.3. Test de production de chitinases	25
2.4. Test de production des protéases	25
2.5. Test de production des sidérophores.....	25
2.6. Contrôle biologique in vitro	26
2.6.1. Désinfection et traitement des semences	26
2.6.2. Préparation de suspensions de spores	27
2.6.3 Dispositif expérimental	28
2.7. Contrôle biologique in vivo	28
2.8. Analyse statistique	29
2.9. Test de production d'AIA	29
II.9.1. Dosage l'acide indole-3-acétique(AIA)	30
Résultats et discussion	
I. Identification préliminaire des actinomycètes endophytes.....	31
II. Test de solubilisation du phosphate inorganique	33
III. Test de production des chitinases	35
IV. Test de Production des protéases	37
V. Test de production des sidérophores	39
VI. Contrôle biologique in vitro	41
VII. Contrôle biologique in vivo	45
VIII. Test de production d'AIA	55
Conclusion	57
Références bibliographiques.....	59

Liste des figures

Figure 1. Diffusion de la tomate dans le monde	03
Figure 2. La production de tomate par pays en milliers de tonnes en 2012	04
Figure 3. Appareil végétatif et Appareil reproducteur de tomate.....	07
Figure 4. Les différentes phases de développement de la tomate	08
Figure 5. Exemples de formes de chaînes de spores des actinomycètes.....	15
Figure 6. Micromorphologie de quelques genres d'actinomycètes.....	16
Figure 7. Cycle de développement de <i>Streptomyces griseus</i>	17
Figure 8. Structure chimique de l'acide indole-3-acétique (AIA)	19
Figure 9. Transport d'auxine dans le système racinaire	20
Figure 10. Structure chimique des cytokinines	21
Figure 11. Structure chimique des gibbérellines (GA).....	21
Figure 12. Structure chimique de l'acide abscissique (ABA).....	22
Figure 13. Les différentes étapes de désinfection et traitement des semences	26
Figure 14. Protocole de préparation de suspension de spore.....	27
Figure 15. Dispositif expérimental <i>in vitro</i>	28
Figure 16. Protocole de test de production de l'AIA	30
Figure 17. Observation macroscopiques des actinomycètes	32
Figure 18. Observation microscopique du type de chaîne de spore (forme spirale)...	33
Figure 19. L'apparition des zones claires autour des souches.	35
Figure 20. Apparition de l'halot clair autour de la colonie d'actinomycète.....	37
Figure 21. Présence d'un halo clair autour des colonies d'actinomycètes.....	39
Figure 22. Résultats du test de production des sidérophores.....	41
Figure 23. Le taux de germination des graines de tomate <i>in vitro</i>	42
Figure 24. Taux de germination des graines de différents traitements <i>in vitro</i>	43
Figure 25. Résultat de la longueur des tiges et des racines des plantules de tomate	45
Figure 26. Comparaison des résultats du témoin et traitement ZL1	46
Figure 27. Résultat du poids frais et poids sec des plantules de tomate	50
Figure 28. Observation de la couleur rouge (résultat de la production d'AIA).....	55
Figure 29. Concentration de la production de l'acide indole-3-acétique (AIA) par les six souches d'actinomycètes.....	56

LISTE DES TABLEAUX	p
Tableau 1. Evolution de la production de tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2010.....	05
Tableau 2. Les principales maladies fongiques de la tomate en Algérie.....	12
Tableau 3. Origines d'isolement des isolats d'actinomycète	24
Tableau 4. Identification préliminaire des actinomycètes endophytes.....	31
Tableau 5. Présence ou absence de l'halo clair sur les deux milieux PVK.....	34
Tableau 6. Résultats du test de production des chitinases sur milieu CCB.....	36
Tableau 7. Présence ou absence d'un halo clair autour des colonies.....	38
Tableau 8. Les résultats de test sur milieu AIM.....	40
Tableau 9 : Taux de germination in vitro.....	42
Tableau 10 : Résultats de l'analyse de variance d'essai in vitro.....	43
Tableau 11 : Comparaison multiple des moyennes de taux de germination.....	44
Tableaux 12 : Résultat de l'analyse de variance de la longueur des tiges.....	46
Tableau 13: Résultats du test LSD à 5% de la longueur des tiges	47
Tableau 14. Résultat de l'analyse de la variance de la longueur des racines	48
Tableau 15. Résultats du test LSD à 5% de la longueur des racines.	49
Tableau 16. Résultat de l'analyse de la variance du poids frais.....	51
Tableau 17. Résultat du test LSD à 5% du poids frais.....	52
Tableau 18. L'analyse de la variance du poids sec des plantules.....	53
Tableau 19. Résultat du test LSD à 5% des moyennes du poids sec.....	54
Tableau 20. Résultats de la production d'AIA par les actinomycètes endophytes (µg/ml).....	55

- ABA: Acide absicissique
- AIA: Acide indole-3-acétique
- AIM : Medal Iron Poor (Milieu pauvre en fer)
- C° : Degré Celsius
- CAS : chrome Azurol S
- CCB : Colloidal Chitin Broth
- CK : Cytokinines
- Cm : Centimètre
- C.M : Carré moyenne
- cv : cultivar
- DAP: Acide 2,6-diaminopimélique
- DSA: Direction des services agricoles.
- FAO: Food and Agriculture Organization.
- g : Gramme
- GA: Gibbérelline
- ha : hectare
- ITCMI : Institut technique de cultures maraichères et industrielles.
- kg : kilo gramme
- MADR : Ministère d'agriculture et du développement rural.
- mm : Millimètre
- p : Probabilités
- PGPB : Plant-Growth-Promoting bacteria
- PGPR : (Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria) ou rhizobactéries stimulant la croissance des plantes.
- pH : Potentiel Hydrogène
- PVK : Pikovskaya
- Qx : quintaux
- S.C.E : La somme des carrés des écarts
- SMA : Skim Milk Agar
- T : Tonne
- UFC : Unité formatrice de colonies.
- YT: Yeast extract-Tryptone

Tableau 12: Résultats d

Tableau 14. Résultat d

Tableau 15. Résultats c

Tableau 16. Résultat d

Tableau 17. Résultat d

Tableau 18. L'analyse

Tableau 19. Résultat d

Tableau 20. Résultats c

Introduction générale

Introduction:

La tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill. Est cultivée sur une superficie d'environ 3 millions d'hectares, soit environ un tiers des surfaces mondiales cultivées consacrées aux légumes (Laterrot et Philouze, 2003), Pourtant, cette culture exige un suivi au cours des différents stades de développement. De ce fait, la prévention contre les maladies et ravageurs ainsi qu'une irrigation et une fertilisation raisonnée sont extrêmement nécessaires pour assurer un rendement satisfaisant de la tomate (Shankara et al., 2005).

Les engrais chimiques sont largement utilisés en agriculture pour toutes les cultures. Malgré cela, ces fertilisants chimiques possèdent des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Face à ces inconvénients, il est nécessaire de trouver une alternative qui permet d'améliorer la production des cultures et qui ne présente pas des effets néfastes sur l'environnement ou sur les êtres vivants. Les biofertilisants ou à base des microorganismes rizosphériques sont considéré comme une efficace alternative en agriculture. Parmi ces microorganisme, nous pouvons citer les *Pseudomonas* sp et les actinomycètes (Benitez et al., 2004 ; Compant et al., 2005).

Les actinomycètes sont des procaryotes très recherchés en biotechnologie grâce à leur rôle important dans la production des composés bioactifs. Ce groupe de bactéries a fourni un nombre considérable d'enzymes, de composés antitumoraux, d'agents immunosuppresseurs, d'insecticides, d'antiparasites, d'herbicides, d'antioxydants et surtout d'antibiotiques (Solanki et al., 2008), certaines espèces d'actinomycètes dégradent des composés organiques de synthèse qui sont en principe non biodégradables (Moody et al., 2001). Les actinomycètes habitent le sol et sont d'importants décomposeurs de la matière organique, ce qui rend le sol fertile (Alzarban et al., 2002 ; Boughachiche et al., 2005 et Kitouni et al., 2005).

Cette fonction de biodégradation des actinomycètes est due à la variété d'enzymes qu'elles peuvent synthétiser. En effet, les enzymes sont après les antibiotiques les plus importants produits des actinomycètes (Lopes et al., 1999). L'action de ces enzymes conduits à la dégradation des nutriments et sources d'énergie plus ou moins complexes. Elles sont utilisées dans la dégradation des biomasses végétales et animales (William et al., 1993).

Les actinomycètes sont connus aussi pour leur pouvoir PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria). Ils solubilisent quelques minéraux insolubles présents

dans la rhizosphère tel que le phosphore et ils sont capables de produire certaines phytohormones (tel que l'acide indole 3-acétique, AIA) et des sidérophores et capables de fixer l'azote atmosphérique (Merckx et *al.*, 1987; Leong 1996; Sturz et Christie, 2003 ; Khamna et *al.*, 2009 et Solans et *al.*, 2011).

Notre travail a pour objectif de tester l'effet de 26 souches d'actinomycètes endophytes de la région de Laghouat sur le taux de germination des graines de tomate ainsi que sur la croissance des plantules. Pour cela, nous avons réalisé des tests de solubilisation des phosphores, production des chitinases, des protéases et des sidérophores pour toutes les souches. En outre, nous avons réalisé des tests *in vitro* et *in vivo* pour évaluer l'effet de ces souches d'actinomycètes vis-à-vis du taux de germination ainsi que la longueur des tiges, des racines et le poids frais et sec des plantules de tomate (variété Marmande).

Donnée bibliographiques

CHAPITRE I : Tomate

1. GENERALITES

1.1. Historique et origine de la tomate

La tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. est une plante très cultivée pour son fruit, elle est originaire des régions andines côtières du Nord-Ouest de l'Amérique du sud, où sa domestication. Elle a été introduite au Mexique puis, l'Espagne, en Europe en 1544 avant même la pomme de terre et le tabac (Naika et al., 2005) (Voir Fig.1).

En Algérie, ce sont les cultivateurs du Sud de l'Espagne (Tomateros), qui l'ont introduite étant donné les conditions qui lui sont propices. Sa consommation a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral Algérois (Latigui,1984). La tomate est une plante des régions chaudes, peut être cultivée dans toutes les régions d'Algérie (ITCMI, 2010).

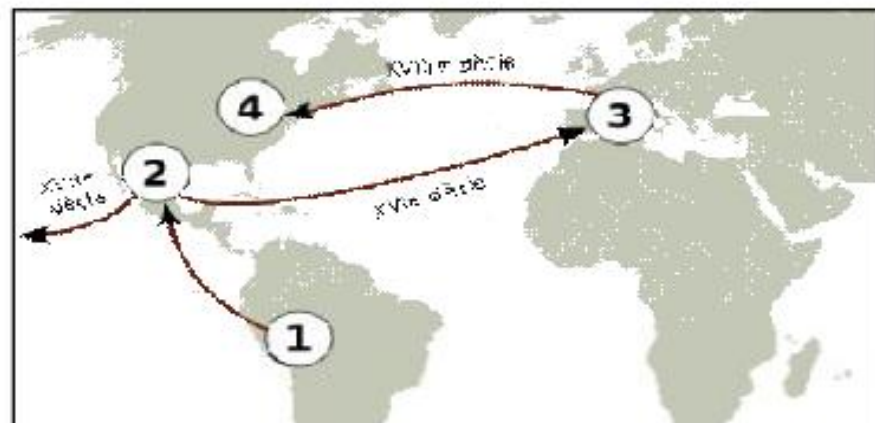


Figure.

1 : Diffusion de la tomate dans le monde (Gallais et Bannerot, 1992).

- (1) Pérou : Centre de diversification
- (2) Mexique : Premier centre de domestication
- (3) Europe : Deuxième centre de domestication
- (4) Etats unis : Troisième centre de domestication

1.2. Importance de la culture de tomate

La tomate tient une place importante dans l'alimentation humaine, elle est consommée soit crue, soit cuite, ou comme un produit transformé tels que les jus de fruits, les sauces, le Ketchup et de les conserves. Dans les dernières

décennies, la consommation de tomate a été associée à la prévention de plusieurs maladies comme le cancer ou les maladies cardiovasculaires (Sharoni et Levi, 2006 et Wilcox et *al.*, 2003). Cet effet protecteur a été principalement attribué à ses précieux composants bioactifs avec les propriétés antioxydants (Borguini et Torres, 2009).

1.2.1. Production mondiale de tomate

La production mondiale de la tomate a progressé régulièrement au cours du XXe siècle et s'est accrue considérablement durant les trois dernières décennies. Elle est passée de 74 millions de tonnes en 1978 à 89 millions en 1998 et atteint 124 millions en 2006. La production mondiale de tomate a atteint, en 2008, près de 130 millions de tonnes. Les deux premiers pays producteurs mondiaux, la Chine qui se classe en premier avec une production de 41879684 tonne/ans, suivie par les USA, avec un total produit de 12902000 tonnes (Voir Fig.2) (FAO, 2012).

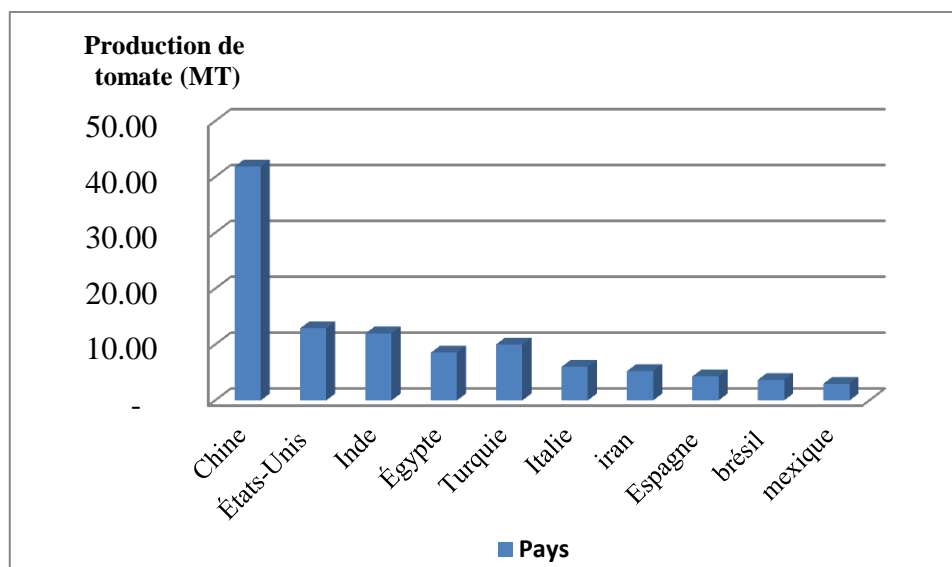


Figure 2 : La production de tomate par pays en milliers de tonnes en 2012 (FAO, 2012).

1.2.2. La production de la tomate en Algérie

La tomate occupe une place privilégiée dans le secteur maraîcher en Algérie. Elle représente 51% de la production totale en produits maraîchers. Sa superficie est de l'ordre de 1737 ha, soit 40% de la superficie sous serre (4350ha)

(Nechadi et *al.*, 2002). Sa production est en plein expansion, à la faveur de nombreux programmes mis en place par le Ministère de l'agriculture et du développement rural. A cet effet, de nouvelles techniques de productions sont introduites ces dernières années permettant plus de rendement à l'hectare (Tab. 1) (FAO, 2009).

Tableau 1 : Evolution de production de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2010 (MADR ,2012).

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Superficie Ha	18650	19432	21089	20436	20079	19655	20789	17387
Production Qx	4569330	5121950	5137280.4	5489336	5673134	5592491	6410341	7619420
Rendement Qx/Ha	245.00	263.60	243.60	268.60	282.50	284.50	308.40	438,2

1.3. Classification de tomate

La tomate dont l'appartenance à la famille des solanacées, les botanistes modifièrent à plusieurs reprises les noms de genre et d'espèce attribués à la tomate. Elle a été classée par Linné en 1753, comme *Solanum lycopersicon*, d'autre botanistes lui ont attribué différents noms: *Solanum lycopersicon*, *Solanum esculentum*, *Lycopersicon lycopersicum* ; c'est finalement *Lycopersicon esculentum* attribué par Philippe Mille en 1754, qui a été retenu (Munroe et Small, 1997). Le nom de genre « *Lycopersicon* » est gréco-latin, il signifie « pêche de loup » et la partie « *esculentum* » complétant le nom de l'espèce *Lycopersicon esculentum* Mill. Vient du latin et qui signifie

« comestible ». Cette comestibilité ne concerne ni le feuillage, ni les jeunes fruits verts car ils contiennent des alcaloïdes toxiques (tomatine, solanine). Ces derniers disparaissent des fruits au cours du mûrissement (Blancard et *al.*, 2009).

1.4. Caractéristiques et description botanique de la tomate

La tomate est une plante herbacée appartenant à la famille des *Solanacées*. Elle est généralement cultivée comme plante annuelle, elle peut atteindre une hauteur de plus de deux mètres (Chaux et Foury, 1994).

1.4.1. Appareil végétatif

1.4.1.1. Le système racinaire

La tomate est constituée d'une forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices (Voire Fig.3 A) (Naika *et al.*, 2005).

1.4.1.2. La tige

Le port de croissance varie entre érigé et prostré. La tige pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m, pleine, fortement poilue et glandulaire, se ramifie souvent pour donner un arbuste large et empli. Ces derniers contenant une huile essentielle qui donne son odeur caractéristique à la plante (Voire Fig.3 B) (Shankara, 2005).

1.4.1.3. Le feuillage

Selon Naika *et al.* (2005), les feuilles disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Les grandes folioles sont parfois pennatifides à la base. L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm (Voire Fig.3 C).

1.4.2. Appareil reproducteur

1.4.2.1. Les fleurs

Les fleurs sont bisexuées, régulières et entre 1.5 et 2 cm de diamètre. Le tube du calice est court et velu, les sépales sont persistants. En générale, il y a six pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm, jaunes et courbées lorsqu'elles sont mûres et six étamines et les anthères ont une couleur jaune vif entourant le style qui a une extrémité stérile allongée. L'ovaire est supère doté de deux à neuf carpelles. Souvent, la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu où les abeilles et les bourdons sont les principaux pollinisateurs (Voire Fig.3 D) (Polese, 2007).

1.4.2.2. Le fruit

Ils sont des baies charnues, de formes globulaires ou aplaties avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu, en revanche, la couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. Le fruit à

maturité peut se présenter soit, rond et régulier ou côtelés, selon les variétés (Voire Fig.3 E) (Polese, 2007).

1.4.2.3. Les graine

Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire, poilues, beiges, de 3 à 5 mm de long et de 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. Le poids de mille graines est en moyenne de 3 g (Shankara, 2005). Selon Chauv et Foury (1994), chaque fruit contient un nombre important de graines qui varie de 80 à 500 graines par fruit (Voire Fig.3 F).

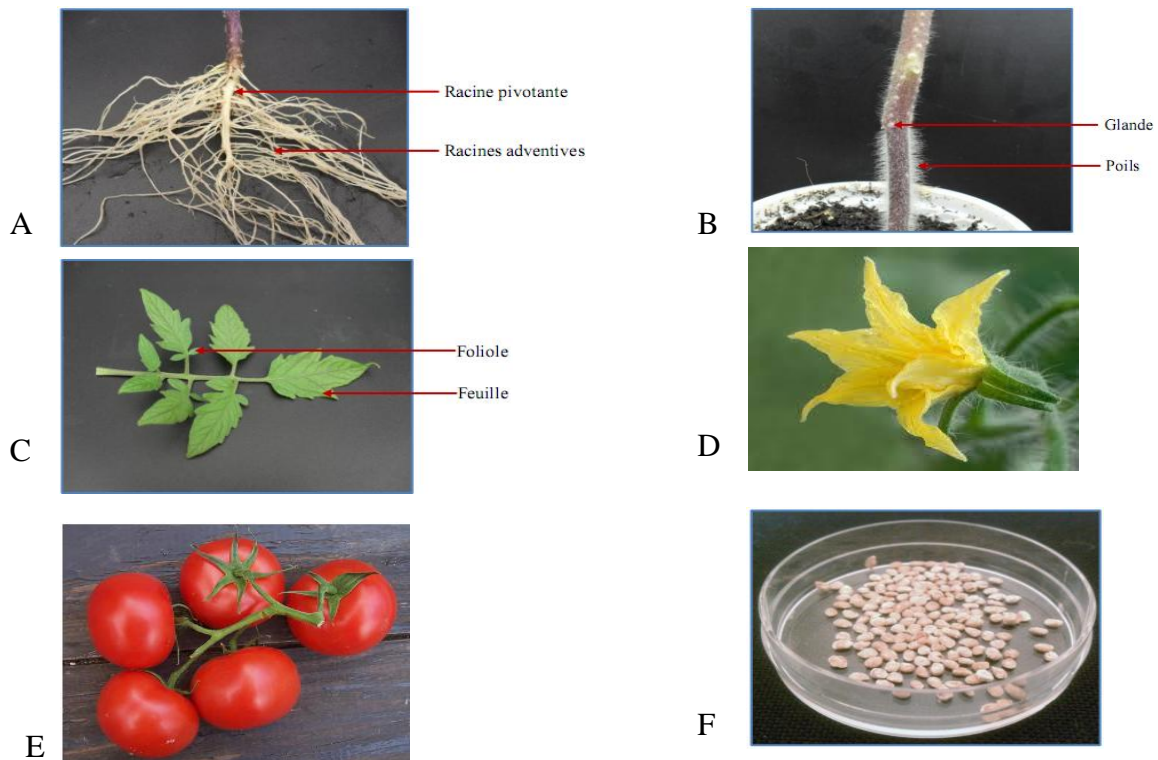


Figure 3 : Appareil végétatif et Appareil reproducteur de tomate : A) Système racinaire, B) Tige, C) Feuille, D) Fleur, E) Fruit, F) Graine (Courchinoux, 2008).

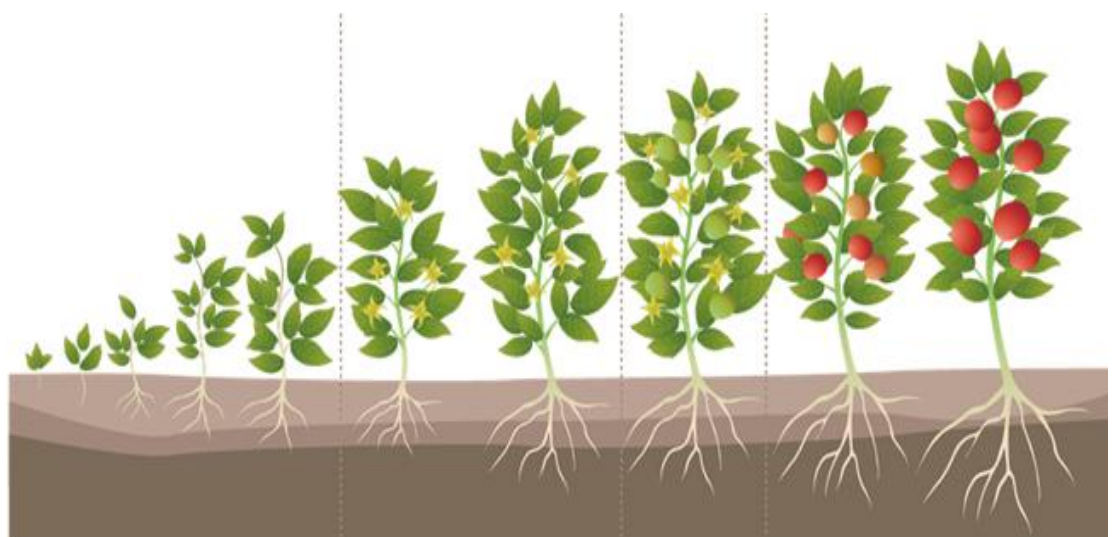
1.5. Cycle de développement de tomate

Le cycle de la graine à la graine, est variable selon les variétés et les conditions de culture, il est en moyenne de 3.5 à 4 mois (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit) (Gallais et Bannerot, 1992).

Le cycle de développement de la tomate comprend cinq phases, premièrement, la germination, c'est le passage de la graine de la vie ralentie à la vie active qui se traduit par la sortie des racines séminales et la coléoptile qui émerge en surface puis devient fonctionnel (Laumonnier, 1979).

Deuxièmement la croissance, dure de la levée jusqu'au stade 6 feuilles, où la plante assure la formation de racines fonctionnelles qui vont assurer l'alimentation à la plante. A partir du stade six feuilles la plante est transférée de la pépinière pour être repiquée en plein champ pour continuer ainsi sa croissance. Puis la floraison qui dure environ un moi. La tomate entre en parallèle avec la mise à fleur, ces fleurs étaient au paravent des boutons floraux. Aussi la phase de fécondation, quand les étamines arrivent à maturité, le pollen est libéré et féconde l'ovule ; la fécondation se traduit par l'apparition de petites fruits verts. En fin, la fructification et la maturité des fruits (Naika et *al.*, 2005) qui est représentée par les cinq stades :

- stade noisette : le plus proche de la nouaison ;
- stade noix : environ 03cm de diamètre ;
- stade vert : grossissement maximal, avec une coloration verte ;
- stade tournant : grosseur maximale, coloration rose à jaune, c'est le début de la maturation ;
- stade rouge: fruit mur et fermé (Voir Fig.4).



Germination → Croissance et Floraison → Formation des fruits

Figure 4 : Les différentes phases de développement de la tomate (Polese, 2007).

1.6. Principales exigences écologiques de la plante

Parmi les principales exigences écologiques de la tomate nous pouvons citer :

1.6.1. La température

La tomate demande un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité. Les températures optimales pour la plupart des variétés se situent entre 21 et 24°C. Les plantes peuvent surmonter un certain intervalle de températures, mais en dessous de 10 °C et au dessus de 38°C les tissus végétaux sont endommagés. L'équilibre et l'écart entre température diurne et nocturne, semblent nécessaire pour obtenir une bonne croissance et une bonne nouaison de la tomate (Chougar, 2011).

1.6.2. La lumière

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

1.6.3. pH

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

1.6.4. Sol

La tomate pousse bien sur la plupart des sols légers qui ont une bonne capacité de rétention de l'eau et une bonne aération. Elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées (Shankara, 2005).

1.6.5. Exigences hydriques

La tomate paraît être l'une des cultures le plus exigeantes en eau. Les besoins de tomate en plein champ se situent entre 4000 et 5000 m³/ha. Celles d'un cycle de 90 à 120 jours sont de 400 à 600 m³/ha. L'évolution des besoins en eau de la tomate est fonction d'environnement de la plante, mais aussi des stades de développement de celle-ci (Bentvelsen, 1980).

1.7. Systèmes de cultures de la tomate

La tomate est cultivée selon deux systèmes principaux qui sont:

1.7.1. La culture de plein champ

Ce système de culture est le plus répandu, si l'irrigation est disponible, les plantations peuvent être faites en saison sèche. La mécanisation est souvent réduite à la préparation du sol (Cirad et Gret, 2002).

1.7.2. La culture sous abris

Ce système de culture vise à produire les tomates au long de l'année. Il permet de développer des productions hydroponiques, supprimant ainsi certaines contraintes liées au sol (Cirad et Gret, 2002). La culture sous abri fournit aujourd'hui une part essentielle du marché de frais pour les légumes-fruits tels que la tomate (Jeannequin et *al.*, 2005).

1.8. Les principales variétés de tomate utilisées en Algérie

Les tomates peuvent être classées d'après leurs caractères morphologiques et botaniques. Les variétés sont très nombreuses. A cet effet, ces dernières peuvent être classées selon leur croissance qui peut être du type indéterminé ou du type déterminé (Polese, 2007).

1.8.1. Les variétés à port indéterminé

Ces variétés sont les plus nombreuses. Elles continuent de pousser et de produire des bouquets de fleurs tant que les conditions leur conviennent. Comme leur développement est exubérant, leur tige doit être attachée à un tuteur sous peine de s'affaisser au sol. Elles sont plus productives, en général, que les tomates à port déterminé. Parmi les variétés de ce type de croissance, nous pouvons citer :

1.8.1.1. Les variétés fixées

Elles sont sensibles aux maladies, mais donnent des fruits d'excellente qualité gustative (Polese, 2007). Les variétés les plus utilisées en Algérie sont la variété Marmande et la Saint Pierre (Snoussi, 2010).

1.8.1.2. Les variétés hybrides

Elles présentent une bonne précocité, qualité de résistance aux maladies et aux attaques parasitaires et donc un bon rendement. Les plus utilisées en Algérie sont ACTANA, AGORA, BOND, NEDJMA, TAFNA, TAVIRA, TOUFAN, TYERNO et SAHRA (Snoussi, 2010).

1.8.2. Les variétés à port déterminé

Le développement est de type buissonnant qui ne nécessitent ni taille ni bouturage. Il est évidemment plus simple. Elles sont des variétés naines. Leur croissance s'arrête une fois la plante a produit un nombre déterminé de bouquets de fleurs . C'est dans ce type de tomate que l'on trouve, les variétés industrielles de conserverie, cultivées en plein champ. Pour ce type de croissance également, nous trouvons des variétés fixées et des hybrides (Polese, 2007). Les hybrides suivants, sont les plus utilisés en Algérie : FAROUNA, JOKER, LUXOR, SUPER RED, TOMALAND, TOP 48, SUZANA, ZIGANA et ZERALDA. Tandis que les variétés fixées : la variété AICHA (Snoussi, 2010).

1.9. Contraintes phytosanitaires

De la levée et pratiquement jusqu'à la récolte, les cultures de la tomate sont sujettes à de nombreuses maladies causées par divers agents pathogènes. Les principaux ennemis de la culture de tomates sont:

- **Des ravageurs** : pucerons, aleurodes, mineuses, noctuelle de la tomate, doryphore, nématodes (ITCMI, 2012).
- **Des maladies cryptogamiques:** fonte des semis, anthracnose, alternariose, cladosporiose, pied noir de la tomate, mildiou de la tomate, pourriture grise, fusariose de la tomate, septoriose,...etc (Courchinoux, 2008).

- **Des maladies bactériennes** : chancre bactérien, Gale bactérienne, Moucheture bactérienne,...etc (Benchaabane et *al.*, 2008).
- **Des maladies virales** : bronze de la tomate, mosaïque du tabac, maladie filiforme. Cependant les maladies fongiques (causées par les champignons) sont les plus fréquentes (voir Tab.2).

Tableau 2 : Les principales maladies fongiques de la tomate en Algérie (Cause, 2000 et Naika et *al.*, 2005).

Maladies	Agent causal
Anthracnose	<i>Colletotrichum coccodes</i>
Mildiou	<i>Phytophthora infestans</i>
Verticilliose	<i>Verticillium albo-atrum</i>
Alternariose	<i>Alternaria solani</i>
Flétrissure fusarienne	<i>Fusarium oxysporum f.sp lycopersici</i>
Pourriture des racines et du collet	<i>Fusarium oxysporum f.sp radidis-lycopersici</i>

1.10. Exigences de la tomate en éléments fertilisants

La quantité d'engrais à fournir varie d'une région à une autre, en fonction notamment de la richesse du sol, du climat et de la technique d'irrigation. En générale, nous estimons les exigences en fumure des plantes en fonction de l'exportation globale de la culture. Selon MADR (2009), en dépit des différences régionales, on admet qu'une production d'une tonne demander est le suivent : 2,2 à 2,7 kg de P₂O₅ ; 3 à 3,9 kg de K₂O ; 5 à 6 kg de CaO et 0,5 à 1 kg de MgO et 4 à 5 kg de N.

CHAPITRE II : Les Actinomycètes

1. Définition et caractéristiques

Les actinomycètes sont des bactéries filamenteuses, à Gram positive (Arifuzzaman et *al.*, 2010; Ningthoujam et *al.*, 2009; Pandey et *al.*, 2003; Lo et *al.*, 2002) avec un ADN riche en G + C (57% -75%) (Pandey et *al.*, 2003; Lo et *al.*, 2002). 70% de ces microorganismes sont producteurs de métabolites secondaires, parmi eux 95% appartiennent au genre *Streptomyces sp* (Bastide et *al.*, 1986).

Les actinomycètes sont des microorganismes ubiquitaires que l'on rencontre sur tous les substrats naturels. La grande majorité est d'origine tellurique et c'est à partir du sol que ces bactéries peuvent coloniser de nombreux biotopes (air, composts, eaux, fourrages, fumiers, grains, etc.). La plupart d'entre eux sont saprophytes mais quelques-uns peuvent être pathogènes ou symbiotes de plantes ou d'animaux (Williams et *al.*, 1984 et Suzuki et *al.*, 1994).

Ils sont présents en surface jusqu'à plus de 2 mètres de profondeur, la zone optimale étant comprise entre 2 et 15 cm (Breton et *al.*, 1989). Ils préfèrent un pH compris entre 7 et 8 et un taux d'humidité peu élevé, de l'ordre de 5 à 25%. Comme les autres bactéries du sol, la plupart des actinomycètes sont mésophiles et neutrophiles. Cependant, quelques espèces de *Streptomyces* sont acidophiles (Hagedorn, 1976).

Les propriétés les plus significatives des actinomycètes sont leur capacité à se développer sur les substrats les plus divers et leur aptitude à synthétiser de très nombreux métabolites bioactifs, parmi lesquels les enzymes, qui après les antibiotiques sont les produits les plus importants des actinomycètes (Lopes et *al.*, 1999). L'action des enzymes du catabolisme conduit à la dégradation des nutriments et sources d'énergie plus ou moins complexes.

2. Importance des actinomycètes dans le domaine agronomique

Les actinomycètes jouent un rôle important dans l'amélioration de la qualité du sol agricole (fertilisation des sols) (Aouar, 2012). Le genre *Frankia* est capable de fixer l'azote atmosphérique chez plusieurs plantes dicotylédones autres que les légumineuses (Goodfellow et Williams, 1983) et jouent un rôle dans la fertilisation de sol (Becking, 1974; Lechevalier, 1981; Sarma et *al.*, 2003) et (Prescott et *al.*, 2007).

Les actinomycètes sont capables de produire des substances insecticides, herbicides (Zhang *et al.*, 1998) et antiprotozoaires très puissantes telles que les avermectines et les milbémycines (Nolan et Cross, 1988). Ils interviennent dans la biodégradation des composés organiques récalcitrants et difficilement ou non dégradables par les autres microorganismes comme les polymères complexes, les polysaccharides, les lignocelluloses et la chitine (Lechevalier, 1981; Goodfellow et Williams, 1983). Les actinomycètes sont connus aussi pour leur pouvoir PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria). Ils solubilisent quelques minéraux insolubles présents dans la rhizosphère tel que le phosphore et ils sont capables de produire certaines phytohormones (tel que l'acide indole 3-acétique, AIA). et des sidérophores (Khamna *et al.*, 2009; Solans *et al.*, 2011).

Le pouvoir antagonisme des actinomycètes peut être exploité dans le domaine agronomique pour remédier à certaines maladies de plantes. Ils 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 (Misato, 1982; Merrouche; 2000; Meklat, 2004 et El- Tarabily et Sivasithampar, 2006).

3. Taxonomie des actinomycètes

Les actinomycètes appartiennent au règne des Procaryotes, à la division des Firmicutes et à la classe des Thalobacteria, contenant l'ordre des Actinomycetales (Larpen, 2000). La classe des Actinobacteria.

3.1. Critères actuels d'identification

La systématique des actinomycètes est basée actuellement sur les critères morphologiques, chimiques, physiologiques et moléculaires.

3.2. Les critères morphologiques

Les caractères morphologiques principalement utilisés dans la classification des actinomycètes sont:

- La présence, l'importance et la disposition des hyphes du mycélium du substrat ou du mycélium aérien ;
- La présence de spores (Voir Fig.5), leur mobilité, leur disposition sur les hyphes et leurs formes (Voir Fig. 6) ;
- La présence de structures particulières comme les sporanges, les sclérotés ou synnemata ;
- la production et la couleur des pigments solubles sécrétés (Schofield et Schaal, 1981 ; Demain et Solomon, 1985).

Mais bien qu'il soit parfois possible de classer une souche sur la base de critères morphologiques tout à fait évident, ceux-ci ne suffisent pas pour établir une détermination correcte et il est indispensable de considérer d'autres caractères (Lechevalier et Lechevalier, 1980).

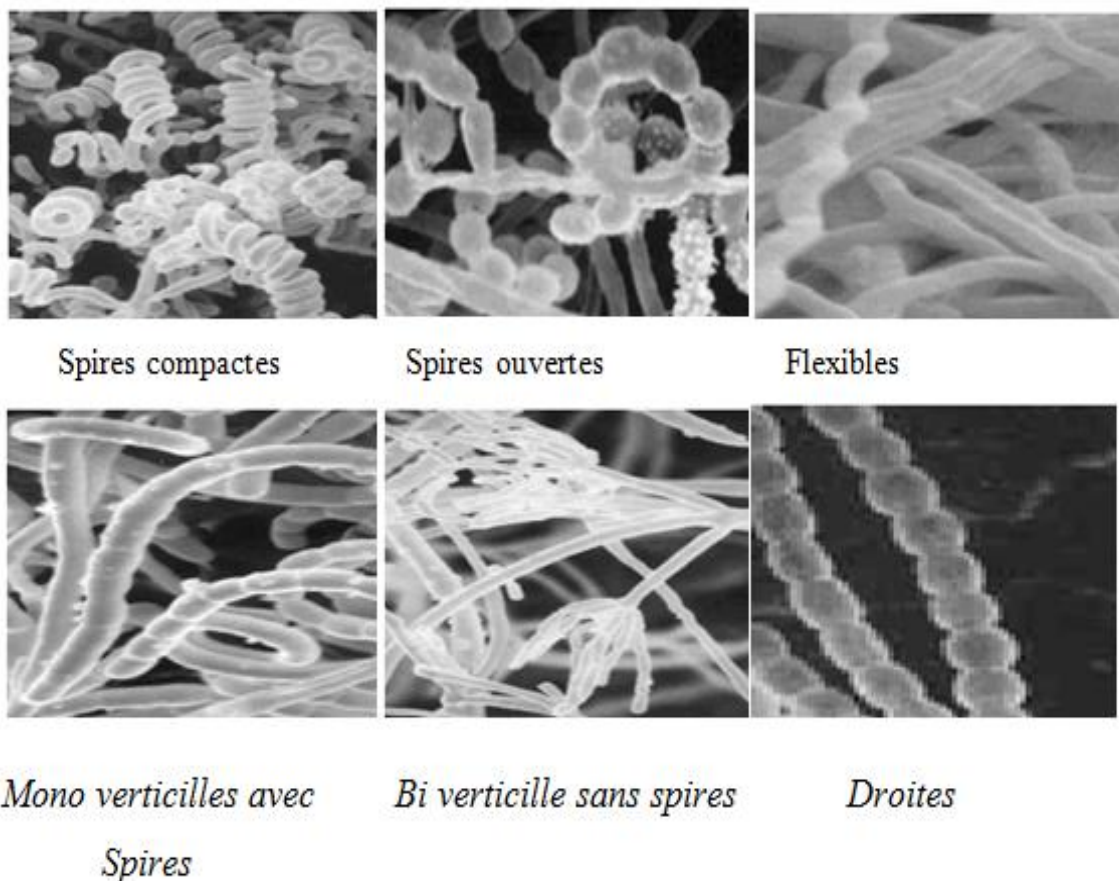


Figure 5 : Exemples de formes de chaînes de spores des actinomycètes ; Photos dans l'Atlas des actinomycètes 1997 (Jochin, 2002).

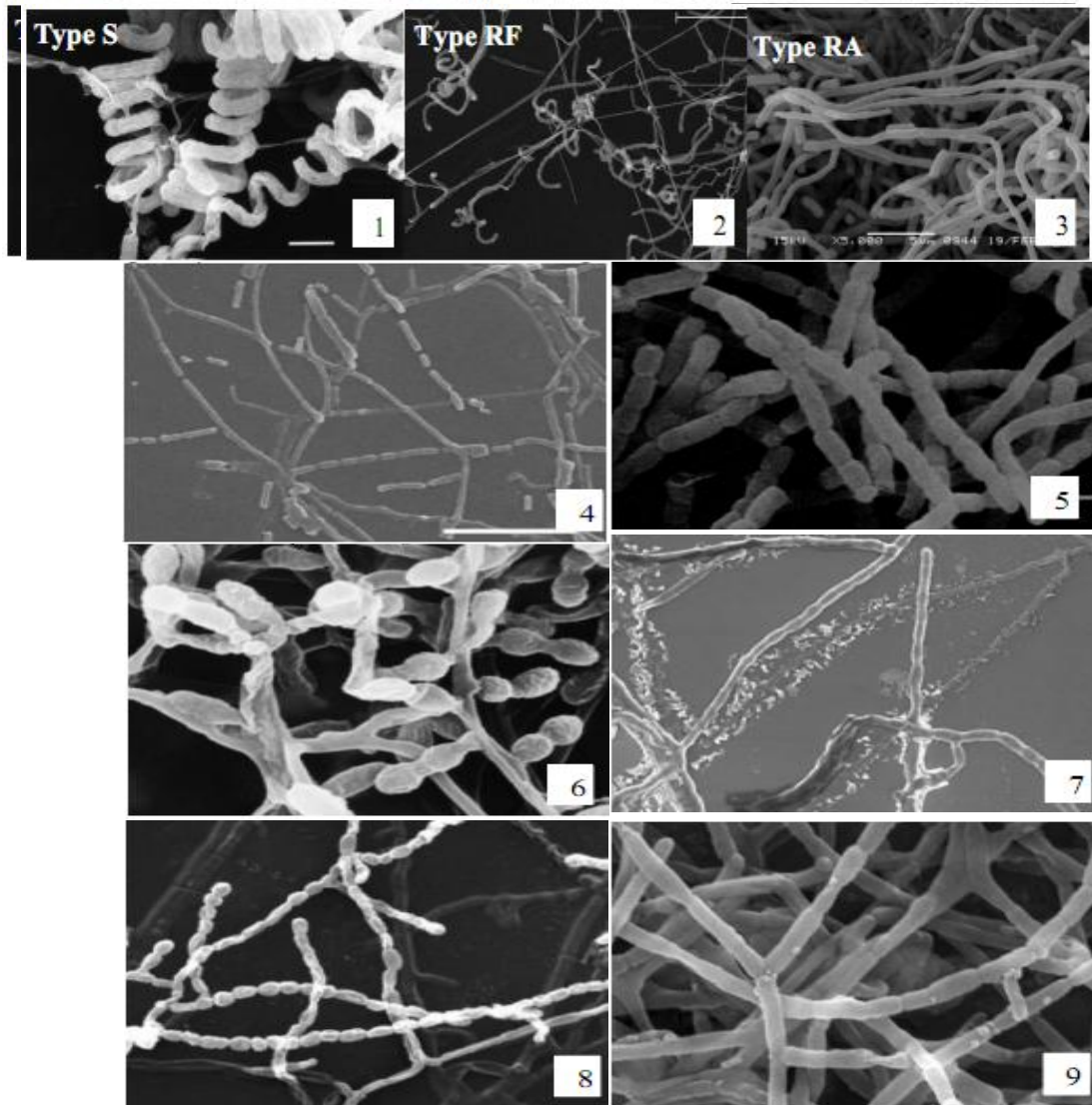


Figure 6 : Micromorphologie de quelques genres d'actinomycètes photographiés en Microscope électronique.

1)*Streptomyces avermectiniu* 2)*Streptomyces aomiensis* ,3)*Streptomyces xiamenensis*,4)*Nocardiopsis valliformis* 5) *Actinopolyspora mortivallis*, 6) *Saccharomonospora halophila*, 7) *Streptomonospora alba*

8) *Saccharopolyspora qijiaojingensis*,9) *Prauserella halophila* Micrographies selon Takahashi et al., 2002 (1), Nagai et al., 2010 (2), Xu et al., 2009 (3), Yang et al., 2008 (4), Yoshida et al., 1991 (5), Al-Zarban et al., 2002 (6), Li et al., 2003a (7), Tang et al., 2009 (8) et Li et al., 2003b (9).

1: chaînes de spores spiralées; 2: chaînes en crochets ou en boucles; 3: chaînes de spores droites à flexueuses; 4: spores en bâtonnets et espacées formant des chaînes droites; 5: spores en bâtonnets formant de longues chaînes droites à flexueuses; 6: spores agencées par paires sur le MA; 7: spores ovales à bâtonnets formant des chaînes courtes; 8: spores rondes à ovales arrangées en chaînes; 9: spores en bâtonnets formant de longues chaînes.

4. Le cycle de développement des actinomycètes (Exemple type : *Streptomyces spp*)

Le cycle de développement des *Streptomyces* débute par la germination d'une spore donnant naissance à un mycélium primaire, formé d'hyphes non séptées et plurinucléés, ramifié et ancré dans le milieu solide. Sur ce mycélium primaire, se développera ensuite un mycélium aérien. Les extrémités des hyphes aériens se cloisonnent et se différencient pour former des chaînes de spores uninucléées comme le montre la figure 7 (Flärdh et Bruttner, 2009). Il a été estimé qu'environ 60 % des *Streptomyces* produisent, pendant la phase de limitations nutritionnelles, une famille de protéines du type γ - butyrolactone (Saffroy, 2006). Ces protéines constituent des intermédiaires entre les modifications du milieu de culture et la synthèse des antibiotiques (Demain et Dijkhuizen, 2006).

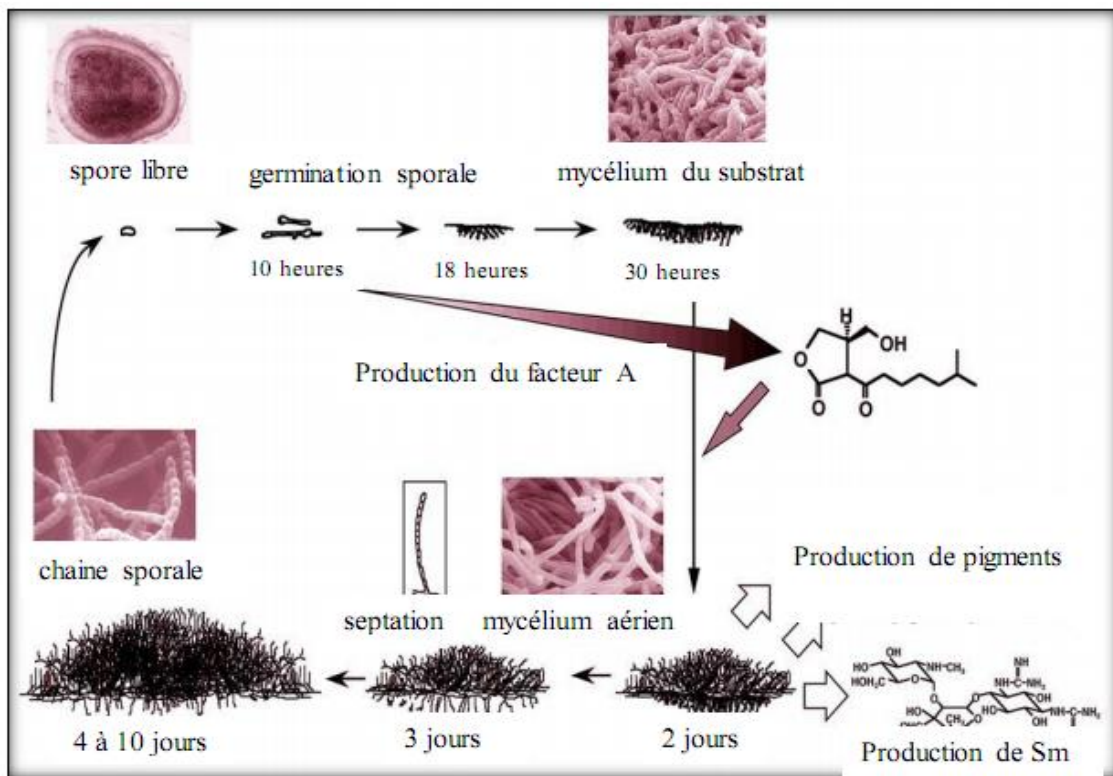


Figure 7 : Cycle de développement de *Streptomyces griseus* (Horinouchi, 2002).

5. Actinomycètes endophytes

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

microorganismes de nature fongique. Certains effets dans la promotion de la croissance des plantes de ces endophytes peuvent même former des symbioses remarquables avec les plantes comme c'est le cas avec les genres *Rhizobium* (Sessitsch et al., 2002), et *Burkholderia* dans les nodules des *Fabacées* (Moulin et al., 2001 ; Chen et al., 2003 ; 2005 ; 2006). Les actinomycètes libèrent les cytokinines (Kraigher et al., 1991), des gibbérellines (Gogala, 1971) ou de l'éthylène (De Vries et al., 1987) mais la production de ces phytohormones est beaucoup moins fréquente parmi les actinomycétales que celle de l'auxine. De nombreux auteurs ont montré que les actinomycétales étaient capables de synthétiser l'AIA lorsqu'ils sont cultivés sur un milieu contenant du tryptophane (Gay et al., 1989).

6. Le rôle des actinomycètes dans la croissance du plant

Les actinomycètes sont des micro-organismes PGPR, capables de coloniser la rhizosphère grâce à leurs caractères antagonistes et compétitifs vis-à-vis des autres microorganismes du sol. Certains sont connus pour leur production de sidérophores qui permettent de chélater le fer ainsi privant le fer des autres microorganismes (Cao et al., 2005 ; Getha et al., 2005). La production de sidérophores par *S. griseorubiginouse* est efficace (Gamalero et Glick, 2011).

Certains actinomycètes stimulent la croissance des plantes de différentes manières. Elles sont capables de coloniser la rhizosphère, en utilisant les exsudats racinaires comme substrats nutritifs, et ont, en retour, un effet bénéfique sur la plante. Cet effet bénéfique peut être direct, lorsque la bactérie stimule la croissance racinaire via la production de phytohormones, la solubilisation du phosphate inorganique, la fixation symbiotique ou non de l'azote (Sujatha et al., 2005). soit indirect, lorsqu'elle inhibe la croissance des organismes phytoparasitaires (antagonisme via production d'antibiotiques, d'antibactériens et/ou d'antifongiques, de chitinases, protéase, glucanase de sidérophores etc...). Par ailleurs, la symbiose associative (aptitude endophytique) entre la bactérie PGPB et sa plante hôte améliore grandement l'efficacité du transfert de nutriments ou autres substances bénéfiques de la bactérie à la plante (Gamalero et Glick, 2011).

7. Hormone de croissance et l'effet PGPR

7. 1. Nature et fonctions des hormones naturelles

Il existe cinq principaux groupes d'hormones naturelles :

- 1- au moins une auxine, ou acide indol-3-acétique (IAA) ;
- 2- plusieurs gibbérellines (GA1, GA2,..., GAn) ;
- 3- plusieurs cytokinines (CK) ;
- 5- acide abscissique (ABA) et composés inhibiteurs ;
- 6- éthylène.

7.1.1. Les auxines

Elles se trouvent dans la plupart des tissus de la plante y compris dans les feuilles en sénescence. Le transport des auxines se fait dans le phloème, des parties aériennes vers les parties racinaires, mais également de cellule à cellule (transport orienté), les auxines activent l'élongation des coléoptiles et des tiges et favorisent le phototropisme et le géotropisme. Elles jouent un rôle important dans l'initiation et la formation des racines adventives et dans la différenciation du xylème. Par contre, elles inhibent l'élongation racinaire. La croissance des bourgeons axillaires est également inhibée par le maintien de la dominance apicale, qui est sous le contrôle des auxines (Cohen et *al.* 2003).

Elles retardent la sénescence des feuilles et la chute des fruits. La production des auxines est inhibée par la déficience en zinc et en phosphore, elle est favorisée par les gibbérellines et les cytokinines, qui en stimulent le transport. L'effet des auxines peut varier selon leurs concentrations, le type de cellules et le stade de développement de la plante (Ameziane, 1986) et (Nassar et *al.*, 2005) (Voir Fig.8).

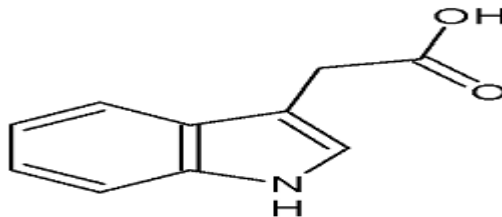


Figure 8 : Structure chimique de l'acide indole-3-acétique (AIA) (Antonio et *al.*, 1996).

7.1.1.1. La biosynthèse d'auxine

Des études ont montré que cette molécule est synthétisée par la plante principalement à partir du tryptophane. Il a été envisagé une voie secondaire de biosynthèse à partir d'indole. Le tryptophane est tout d'abord transformé en indole-3-acétal oxime sous l'action d'enzymes à cytochromes P 450 (Cheng et *al.*, 2006). L'acide indole-3-acétique est alors obtenu via des réactions d'oxydation de l'indole-3-acétald (Voir Fig.9).

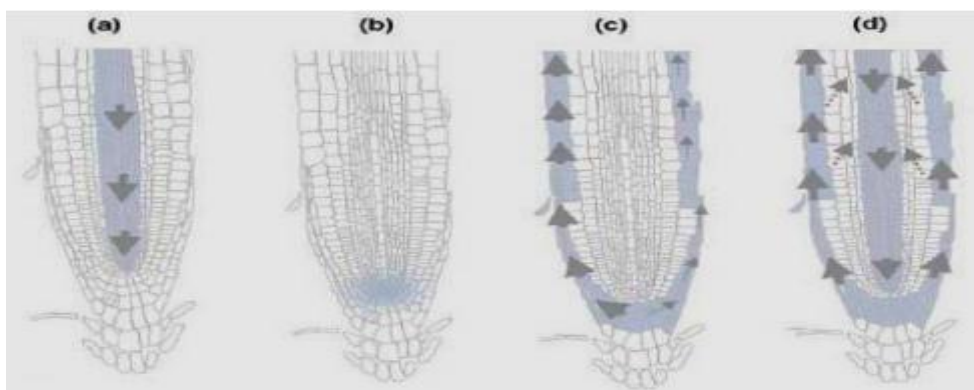


Figure 9 : Transport d'auxine dans le système racinaire (Cheng et *al.*, 2006).

- a) Le transport polaire amène l'auxine en bas de la racine, b) L'auxine se concentre en bas de la racine et diffuse dans les cellules adjacentes, c) Le transport apolaire ramène l'auxine dans la partie supérieure de la plante, d) Schéma général du transport de l'auxine (Kramer et *al.*, 2006).

7.1.2. Les cytokinines

Les cytokinines synthétisées dans les apex des racines, mais on les trouve aussi dans les parties aériennes, les semences et les fruits, jouent un rôle important dans la germination et favorisent la division cellulaire. Elles activent l'initiation des feuilles, des tiges et des stolons, et favorisent l'extension des feuilles et des cotylédons. Leur rôle dans la transpiration est également rapporté. Les cytokinines inhibent la sénescence des feuilles et permettent la levée de la dormance des graines ainsi que celle de la dominance apicale des bourgeons axillaires chez certaines plantes (Mok et Mok, 2001) (Voir Fig.10).

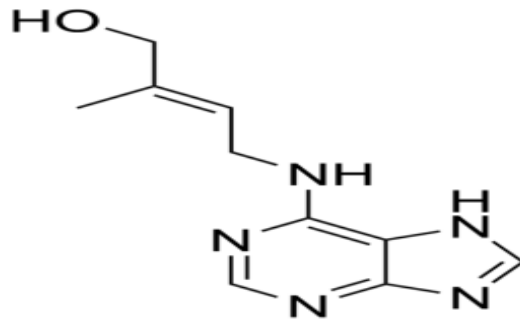


Figure 10 : Structure chimique des cytokinines (Antonio et *al.*, 1996).

7.1.3. Les gibbérellines

Les gibbérellines synthétisées dans les apex racinaires. On les trouve aussi dans les semences, les jeunes feuilles et les tiges. Leur transport des racines aux parties aériennes se fait dans le xylème. Plusieurs processus physiologiques sont activés par les gibbérellines : La germination des semences, l'élongation des tiges, l'expansion des feuilles, la floraison des plantes de jours longs et la croissance des fruits. Elles lèvent la dormance des semences et la dominance apicale. Mais elles inhibent la sénescence des feuilles et la maturation des fruits. La synthèse des gibbérellines dans les racines et leur transport vers les parties aériennes sont inhibés par l'excès d'eau et par l'effet des jours courts (Kaneko et *al.*, 2003).

Chez la tomate, les gibbérellines induisent la sortie de la radicule à travers la graine et induisent l'expression des expansions et des gènes de modification de la paroi cellulaire (Peng et *al.*, 2002) (Voir Fig.11).

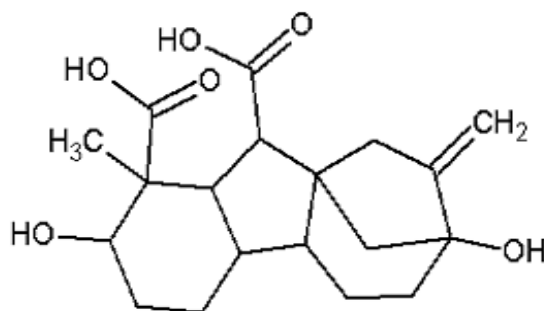


Figure 11 : Structure chimique des gibbérellines (GA) (Antonio et *al.*, 1996).

7.1.4. L'éthylène

L'éthylène produit par toutes les parties de la plante, plus particulièrement, dans les régions apicales en croissance active et au cours de la maturation des fruits, étant donné sa nature volatile, son transport est peu connu, mais il circule des racines vers les parties aériennes.

Les effets produits par l'éthylène sont : La maturation des fruits, la sénescence des feuilles et la chute des organes ainsi que la levée de la dominance apicale des bourgeons axillaires sont les principaux. Cette hormone inhibe la division cellulaire ainsi que le géotropisme des tiges et des racines. La production de l'éthylène est stimulée par la maturation des fruits, la sénescence des feuilles et des fleurs, le stress hydrique et l'effet des autres hormones. Sa production est inhibée par la lumière et par des conditions d'anaérobiose (Ameziane, 1986).

7.1.5. L'acide abscissique

La synthèse de l'acide abscissique se fait essentiellement dans la partie terminale des racines. On le trouve aussi dans les feuilles, les bourgeons, les semences, les fruits et tubercules. Cette hormone circule facilement au niveau des cotylédons, des feuilles et des racines. La fermeture des stomates, la sénescence des feuilles, l'abscission, la dormance des bourgeons, et la formation des tubercules et des racines adventives sont des effets bien connus de l'acide abscissique. Son rôle dans la régulation stomatique en relation avec les réponses adaptatives des plantes au stress hydrique est essentiel (Ameziane, 1986).

L'acide abscissique inhibe la germination des semences, la croissance des bourgeons axillaires, l'élongation des tiges et des racines, et l'initiation florale. Le stress hydrique, l'excès d'eau, la déficience en éléments minéraux et la salinité augmentent la production de l'acide abscissique (Wilkins, 1984 ; Salisbury et Ross, 1985) (Voir fig.12).

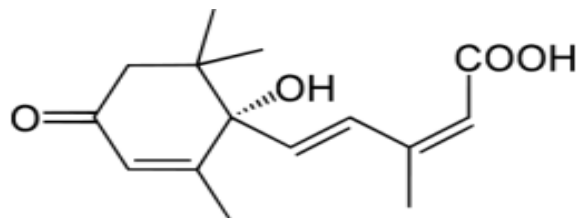


Figure 12 : Structure chimique de l'acide abscissique (ABA) (Antonio et *al.*, 1996).

Matériel et méthodes

1. Matériel

1.1 Matériel végétal

1.1.1 La tomate

Les semences de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Utilisées dans cette étude sont représentées par le cv. Marmande qui est utilisé pour tester l'efficacité des isolats d'actinomycètes endophytiques dans la promotion du taux de germination et de la croissance des plantules. Le choix de la variété de tomate est basé sur sa très large utilisation en culture sous serre en Algérie (Snoussi, 2010). Ces semences sont originaires d'une récolte de l'année 2012 (Alger). Les caractéristiques principales de cette variété sont : semence fixée, leur croissance semi déterminée, rendement très précoce et élevé, peut être cultivé sous abris plastique et en plein champ.

1.2. Matériel biologique

1.2.1. Les isolats d'actinomycètes










Un total de 26 isolats d'actinomycètes endophytes ont été isolés et purifiés à partir des racines des plantes prélevées de la région d'EL-khneg Laghouat (33°44' N, 2°47' E), L'isolement des ces souches été réalisé par (Taibi H et Guenfoud F, 2013) à partir des racines de palmiers dattiers (*Phoenix dactilefera*) et par (Chouyeb S et Nia M, 2012) ont été isolés de trois plantes spontanées du Sahara algérien (*Aristida pungens*, *Panicum turgidum* et *Solanum nigrum*) et un isolement été effectuer par Azouaou K et Kiboub I, 2012) à partir (*Cleom arabica*, *Zyziphus lotus*), sont représenté dans le tableau 3.

2. Méthodes

2.1. Identification préliminaire des souches d'actinomycètes

Selon la méthode utilisée par Sabaou et *al.*, (1998), les caractéristiques morphologiques et culturales (couleur du mycélium du substrat, mycélium aérien, type de chaînes de spores, pigments diffusibles, type de la chaîne de spores), la détermination des isolats d'actinomycètes appartenant au genre *Streptomyces* a été effectuée.

Tableau 3 : Origines d'isolement des isolats d'actinomycète.

Souches d'actinomycètes	Plante d'origine	Souches d'actinomycètes	Plante d'origine
AR1, AR2	 <i>Astragalus armatus</i>	TL1, TL2, TL3 TL4, TL5, TL8	 <i>Terfezia leonis</i>
DN4, DN19	 <i>Phoenix dactylefera</i>	AP4	 <i>Aristida pungens</i>
ZL1	 <i>Zizyphus lotus</i>	SN2, SN6, SN10, SN3	 <i>Solanum nigrum</i>
PT1, PT2	 <i>Panicum turgidum</i>	ML1, ML2, ML3, ML4	 <i>Medicago laciniata</i>
CA2, CA7 CA11, CA13	 <i>Cleome arabica</i>		

2.2. Test de solubilisation du phosphate inorganique

Afin de tester le pouvoir de dissolution des phosphates inorganiques ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) par les 26 souches d'actinomycètes le milieu PVK blanc et violet a été utilisé selon la méthode décrite par Hariprasad et Niranjana (2009). 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 incubées à 30°C pendant 7 jours. La présence ou l'absence d'un halo clair autour des colonies a été notée.

2.3. Test de production de chitinases

Afin d'évaluer la capacité d'actinomycètes à produire des chitinases le milieu CCB (Colloidal Chitin Broth) a été utilisé selon la méthode de Hamdali et al., (2008). 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 incubées à 30°C pendant 7 jours. La présence ou l'absence d'un halo clair autour des colonies a été notée.

2.4. Test de production protéases

Pour tester la capacité des 26 souches d'actinomycètes à produire des protéases, le milieu SMA (Skim Milk Agar) a été utilisé selon la méthode de Hariprasad et Niranjana (2009). Le test consiste à déposer un disque gélosé de 6 mm de diamètre d'une culture active de chacune des souches étudiées à la surface du milieu de culture. Ensuite, les boîtes ont été incubées à 30°C pendant 7 jours. La présence ou l'absence d'un halo clair autour des colonies a été notée.

2.5. Test des sidérophores

En vue de tester la production des sidérophores par les isolats d'actinomycètes, deux milieux de culture ont été utilisés : AIM (sans fer) et le milieu CAS bleu (Chrome Azurol S) selon la technique décrite par Schwyn et Neilands (1997). Cette technique consiste à déposer des disques fins de 6 mm de diamètre d'une culture active de chacune des souches étudiées à la surface du milieu de culture. Ensuite, les boîtes ont été incubées à 30°C pendant 7 jours. La présence ou

l'absence d'un halo clair autour des colonies sur milieu CAS et la croissance sur milieu AIM a été notée.

2.6. Contrôle biologique *in vitro*

Trois traitements des semences ont été réalisés afin de déterminer l'effet des actinomycètes endophytes, sur le taux de germination, la croissance et le développement des graines de tomate :

- Traitement par les 26 souches d'actinomycètes ;
- Un témoin négatif (graine désinfecté) ;
- Traitement sérénade ;

Pour ce la un test *in vitro* a été effectué selon les étapes suivantes :

2.6.1. Désinfection et traitement des semences

Une désinfection des semences a été effectuée par trempage dans l'éthanol à 70% pendant 5 min, suivie de 2 rinçages successifs à l'eau distillée stérile pour éliminer le reste de l'agent désinfectant. La bacterisation est réalisé par un trempage des semences dans les eppendorfs contenant la suspension de spores pendant 30 min suivi d'un séchage sous hotte à température ambiante (Voire Fig.13).

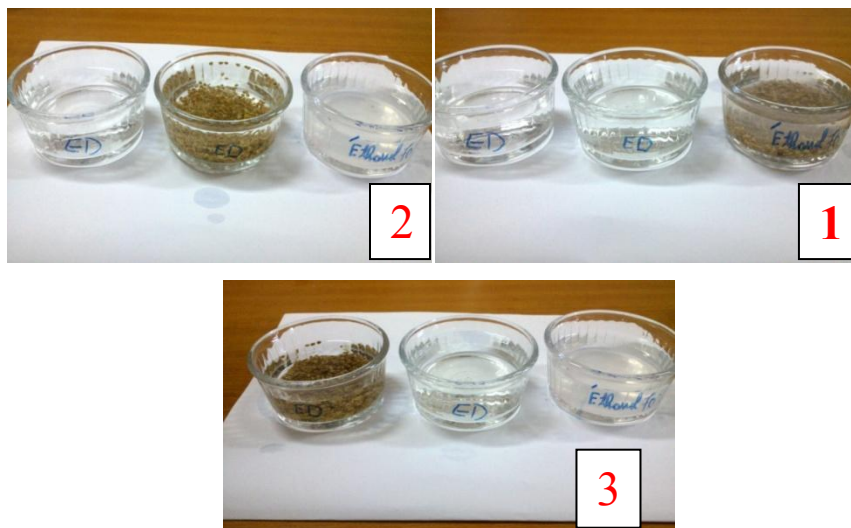
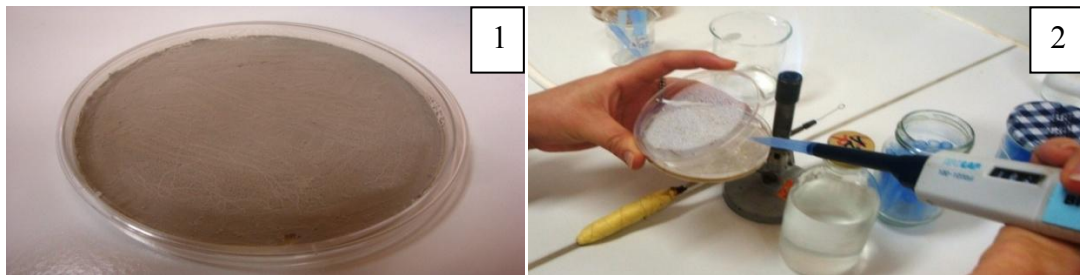


Figure 13 : Les différentes étapes de désinfection et traitement des semences.

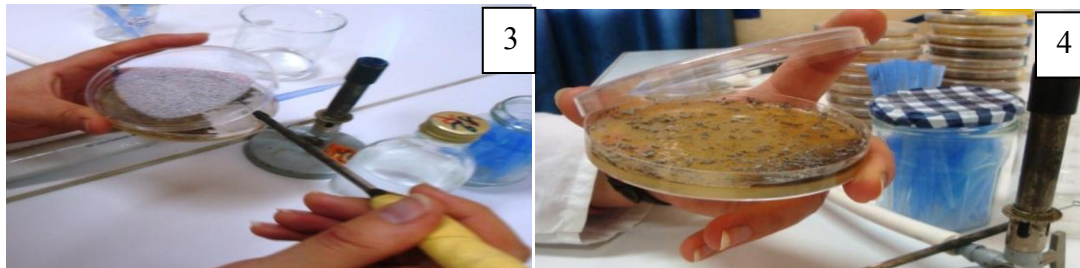
2.6.2. Préparation de suspensions de spores

Les suspensions de spores ont été préparées par un raclage de la surface de la culture des actinomycètes. Une solution stérile de twin 80 à 0,005% a été ajoutée à la surface des cultures en boîte de Pétri. Les suspensions de spores étaient ensuite ajustées à 10^6 ufc/ml et cela à l'aide d'une cellule de Thomas (Voir Fig.14).



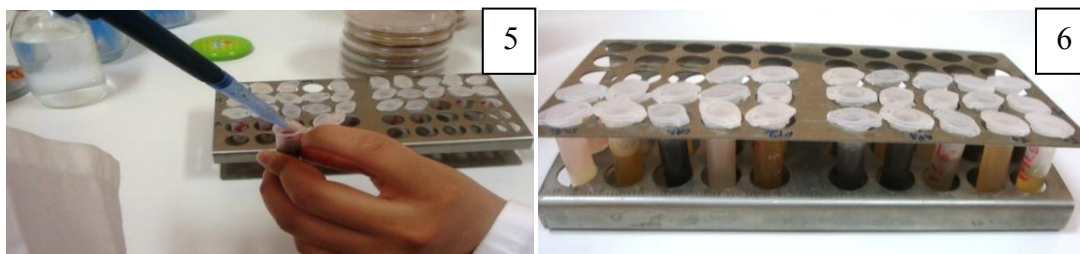
Tapi de spore d'actinomycètes

L'ajout de la solution stérile de twin 80

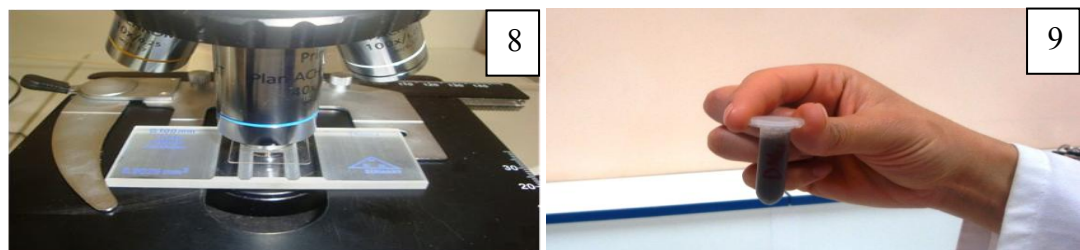


Raclage de la surface de culture

Suspension des spores



Récupération des suspensions dans les eppendorfs



Cellule de Thomas

Trempage des semences dans les eppendorfs

Figure14 : Protocol de préparation de suspension de spore.

2.6.3. Dispositif expérimental

La germination des graines était effectuée dans des boîtes de Pétri contenant du papier buvard imbibé d'eau distillée stérile. Dix semences traitées ont été déposées à la surface du papier buvard avec 3 répétitions pour chaque traitement, dans une chambre de culture à température ambiante (environ 25°C) et sous un éclairage naturel (environ 14h de lumière par jour).

Les boîtes ont été maintenues humides par addition de 3 ml d'eau distillée quotidiennement, afin d'éviter le dessèchement des graines un dispositif expérimentale a été réalisé. Après 10 jours de culture, le taux de germination final était évalué et le matériel végétal était récupéré dans le but de déterminer le taux des plantules (Voir Fig.15).

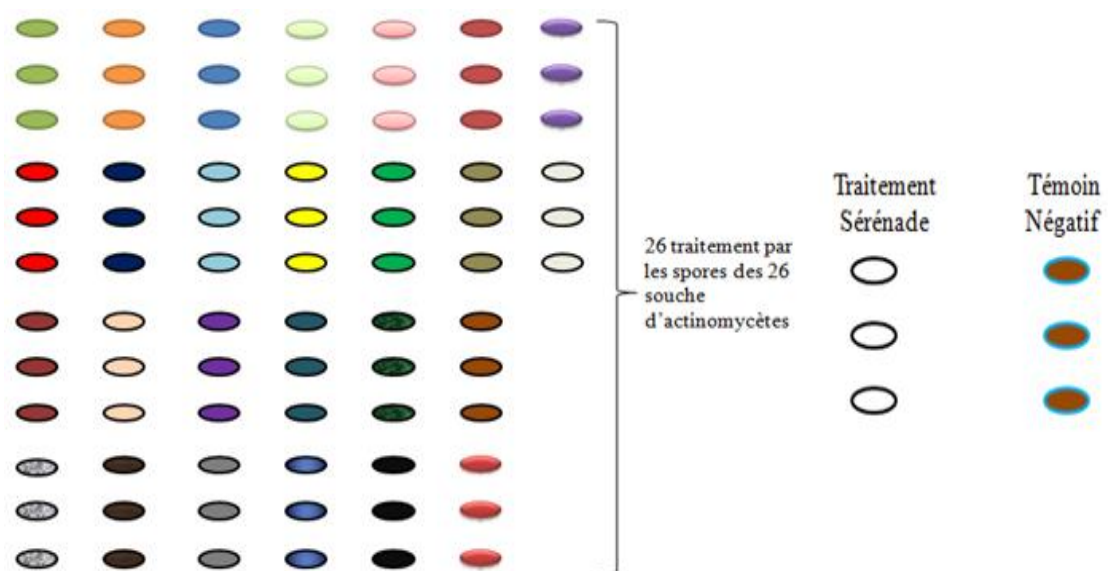


Figure15 : Dispositif expérimental *in vitro*. (Ou chaque couleur représenter un traitement par les souches d'actinomycètes)

2.7. Contrôle biologique *in vivo*

Dans le but de confirmer l'effet des actinomycètes endophytes sur le taux de germination, croissance et développement un test *in vivo* a été réalisé.

Le protocole de la désinfection et de la préparation des suspensions des spores sont similaires à ceux réalisés pour le biocontrôle *in vitro*.

Le semis est effectué en sol sableux prélevé de la région d'El-Bordj à Laghouat (33°47'N, 2° 52'E). Le sol utilisé a subi une stérilisation par autoclavage à 120°C pendant 20 mn afin d'éliminer toute forme de vie pouvant affecter la germination et la croissance des plantules.

Des pots en polyéthylène ont été conditionnés en sol stérile pour être semés ensuite à raison de six graines par pots avec cinq répétitions par traitement, le dispositif expérimental *in vivo* été réaliser le même que le dispositif *in vitro*.

Les pots sont ensuite déposés selon un dispositif dans une chambre de culture à température ambiante (environ 25°C) et sous un éclairage naturel (environ 14h de lumière par jour). L'irrigation des cultures a été effectuée régulièrement dans le but de maintenir une certaine humidité du sol. Après 4 semaines de culture, le taux de germination des plantules, la longueur des racines et des tiges (tige racine), le poids frais et le poids sec des plantules ont été évalués.

2.8. Analyse statistique

Les résultats des tests de biocontrôle *in vitro* et *in vivo* ont subis une analyse de l'ANOVA à l'aide du logiciel StatBox. Les différences sont considérées significatives lorsque la probabilité "P" est inférieure ou égale à 5%.

2.9. Test de production d'AIA

Les six meilleures souches d'actinomycètes qui ont un effet positif sur la longueur des racines dans le test de biocontrôle *in vivo* le pouvoir de ces dernières à produire l'AIA (Bano et Musarrat, 2003). Des disques gélosés (6 mm de diamètre) de culture active des isolats testés ont été ensemencés dans un erlenmeyer de 250 ml contenant 25 ml de bouillon YT (Ahmad et *al.*, 2004). Ensuite ont été incubée en shaker à (30 °C, 200 rpm) pendant 5 jours. Les cultures étaient ensuite centrifugées (4000 rpm pendant 30 mn) (voir Fig.16), la présence d'AIA était révélées par le réactif de Salkowski.

2.9.1. Dosage l'acide indole-3-acétique(AIA)

En vue de quantifier l'AIA produit par les souches, 1 ml de surnageant été récupéré et révélé par 2 ml du réactif de Salkowski. Dans un tube à hémolyse. Le

mélange était ensuite incubé dans une chambre noire pendant 1 heure pour développer la couleur rose (indiquant la présence d'un indole). Le dosage était ensuite effectué par spectrophotométrie à 530 nm et la quantité d'indole, exprimée en $\mu\text{g/ml}$, était déduite d'une courbe d'étalonnage par l'AIA (Voir Fig.16).



-L'ensemencement dans bouillon YT



- Incubation à 30°C sous agitation



- Bouillon YT +Actino après incubation



-Centrifugation

1- Production l'Acide indole-3-acétique (AIA).



5



6



7

2- Dosage l'acide indole-3-acétique(AIA) à l'obscurité.

Figure 16 : Protocole de test de production de l'AIA.

Résultats et discussion

1. Identification préliminaire des actinomycètes endophytes

La description de la couleur du mycélium aérien, mycélium du substrat et les pigments diffusibles des souches d'actinomycètes est représentée dans le tableau.4 (voir Fig.17).

Tableau 4 : Identification préliminaire des actinomycètes endophytes.

Isolats	Couleur du			Type de chaîne de spores	Genre
	Mycélium aérien	Mycélium de substrat	Pigment diffusable		
AA1, AA2	Jaune claire	Jaune claire	Jaune	S	<i>Streptomyces</i>
DN4	Gris	Jaune	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
DN19	Gris	Gris	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
ZL1	Blanc	Gris	Marron foncé	RF	<i>Streptomyces</i>
PT1,	Gris	Gris	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
PT2	Gris rosâtre	Non coloré	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
CA2	Gris brunâtre	Beige	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
CA7	claire	brunâtre	Marron claire	/	Non-
CA11, CA13	Blanc	Orange claire	Absent	/	<i>Streptomyces</i>
TL1,TL2, TL3	Beige claire	Beige claire	Jaune	S	Non-
TL8,TL4	Blanc	Blanc	Marron foncé	S	<i>Streptomyces</i>
TL5	Gris	Gris	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
AP4	Gris foncé	Gris	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
		Beige Claire			<i>Streptomyces</i>
SN2, SN3	Gris	à grisâtre	Absent	S	<i>Streptomyces</i>
SN6	Jaune	Blanc	Jaune	RF	
SN10	Blanc	Jaune claire	Absent	/	<i>Streptomyces</i>
ML1,ML2,ML	Jaune	Blanc	Marron claire	S	<i>Streptomyces</i>
3	verdâtre	Jaune	Jaune	S	<i>Streptomyces</i>
ML4	Jaune claire	Jaunâtre			<i>Streptomyces</i>

S : *Spiralis*.

RF : *Rectus flexibilis*.

Les caractéristiques morphologiques de la couleur du mycélium du substrat, mycélium aérien, pigments diffusibles et du type de chaînes de spores (Voir Fig.18) ont permis de classer la majorité des actinomycètes endophytes parmi le genre *Streptomyces*. Les deux isolats restants ont été classés en dehors du genre

Streptomyces. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Goodfellow et Simpson, (1987) qui confirment que la majorité des actinomycètes endophytes appartiennent au genre *Streptomyces*.

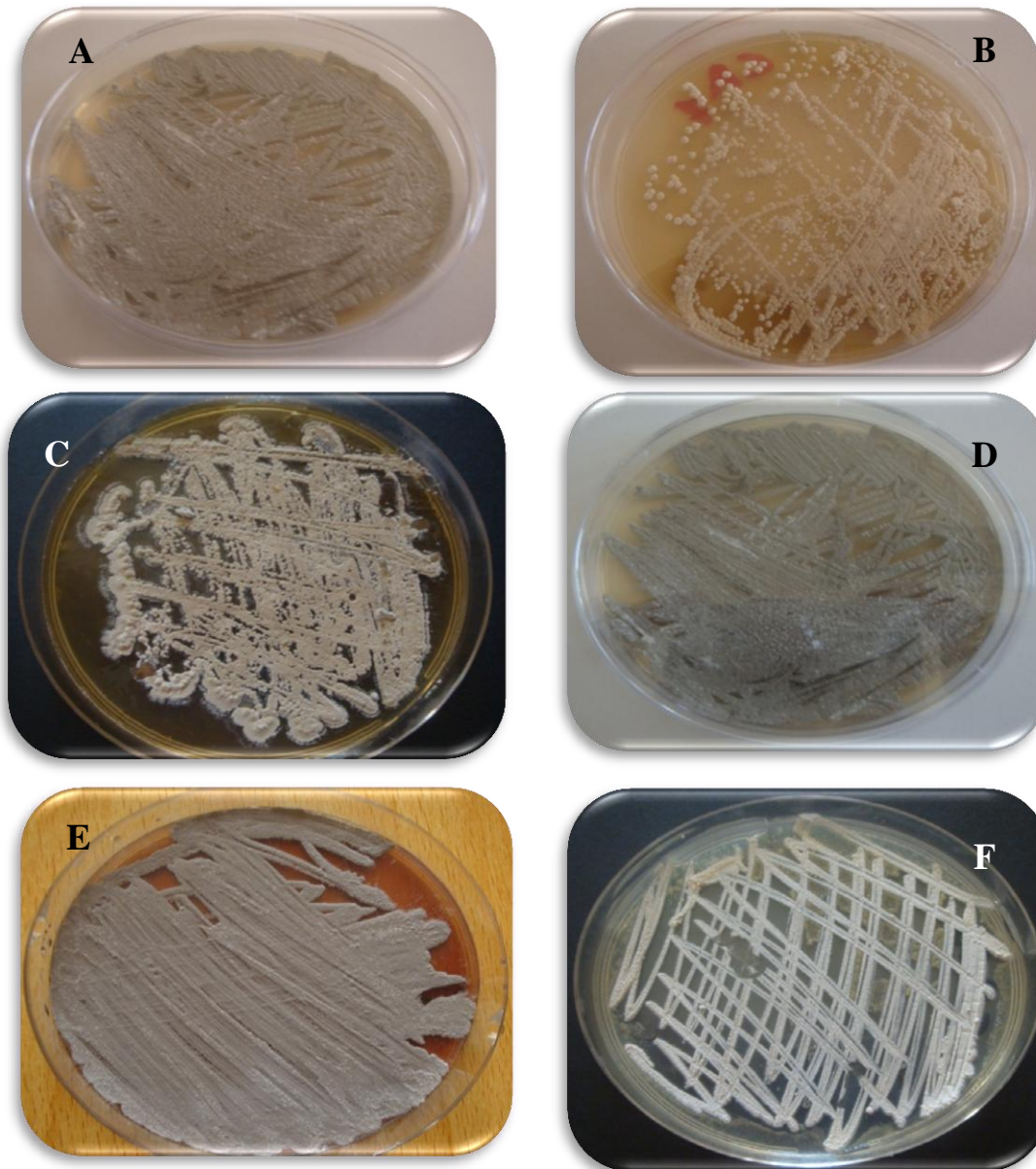
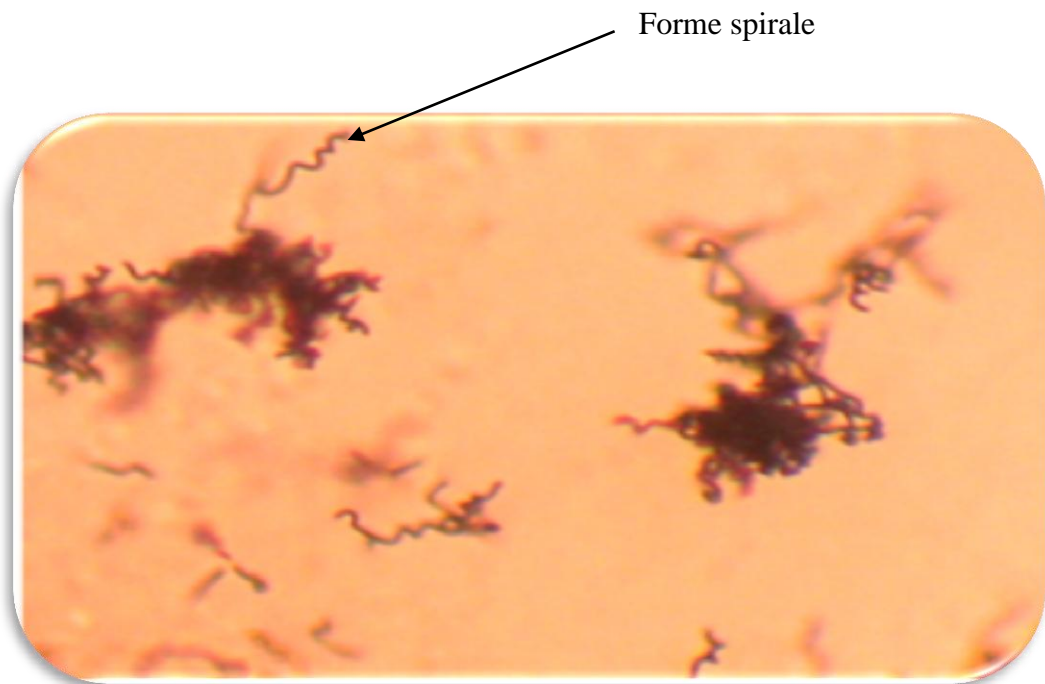


Figure 17 : Observation macroscopiques des actinomycètes.

- A) Mycélium aérien gris sombre et absence des pigments ;
- B) Mycélium aérien blanc avec des pigments jaunâtre ;
- C) Mycélium aérien gris blanchâtre avec des pigments marron clairs ;
- D) Mycélium aérien gris clair gris verdâtre et absence des pigments ;
- E) Mycélium aérien gris avec des pigments marron ;
- F) Mycélium aérien blanc sans pigment ;



(Gr : 10 X 3.2).

Figure18 : Observation microscopique du type de chaîne de spore (forme spirale)

2. Test de solubilisation du phosphate inorganique

Les résultats du test de solubilisation des phosphates inorganiques sur les deux milieux de culture (PVK Blanc et PVK violet) sont représentés par un halo clair autour des colonies des actinomycètes qui solubilise le phosphate. La présence ou l'absence de l'halo clair autour des colonies ainsi que de diamètre de ce dernier sont représentées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Présence ou absence de l'halo clair sur les deux milieux PVK.

Milieu PVK violet				Milieu PVK blanc			
souches	Croissance (mm)	Halo	diamètre d'halo (mm)	souches	Croissance (mm)	Halo	diamètre d'halo (mm)
CA2	-	-	/	CA2	-	+	4
CA7	-	-	/	CA7	3	-	/
CA11	2	-	/	CA11	-	+	3
CA13	-	+	1	CA13	-	+	4
SN2	2	+	3	SN2	2	-	/
SN3	2	+	4	SN3	24	+	10
SN6	2	+	3	SN6	-	-	/
SN10	-	+	2	SN10	2	-	/
AP4	6	+	3	AP4	-	+	2
TL1	-	+	2	TL1	2	+	2
TL2	-	-	/	TL2	-	+	3
TL3	2	-	/	TL3	11	+	10
TL4	2	-	/	TL4	5	+	3
TL5	2	-	/	TL5	1	+	12
TL8	3	+	2	TL8	2	+	2
ZL1	5	+	2	ZL1	1	-	/
DN4	2	+	2	DN4	-	+	1
DN19	6	+	3	DN19	-	+	3
ML1	-	+	2	ML1	2	+	2
ML2	2	+	1	ML2	2	-	/
ML3	2	+	2	ML3	1	-	/
ML4	2	+	2	ML4	-	-	/
AA1	2	+	1	AA1	-	+	2
AA2	2	+	1	AA2	1	-	/
PT1	4	+	2	PT1	-	+	1
PT2	2	+	1	PT2	2	+	1

(-) : absenced'halo ;(+) : présence d'halo

Parmi les 26 souches d'actinomycètes endophytes, 17 souches, dans le milieu PVK blanc et 19 souches dans milieu PVK violet, sont capables de solubiliser le complexe $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ et produire des zones claires autour des colonies. Le diamètre de l'halo clair varie entre 1 et 4 mm dans le milieu PVK violet (Voir Fig.19 A) et 1 à 12 mm PVK blanc (Voir Fig.19 B). Les zones claires sont dues à la production des acides organiques dans le milieu entourant les colonies. Le changement de pH autour des colonies dans le milieu PVK violet est un indicateur de solubilisation de phosphore (Hariprasad et Niranjana, 2009 et Hamdali et al., 2008)(Voir Fig.19 A). Ceci peut impliquer une stimulation directe de la croissance par le biais d'une biofertilisation (Moody et al., 2001).

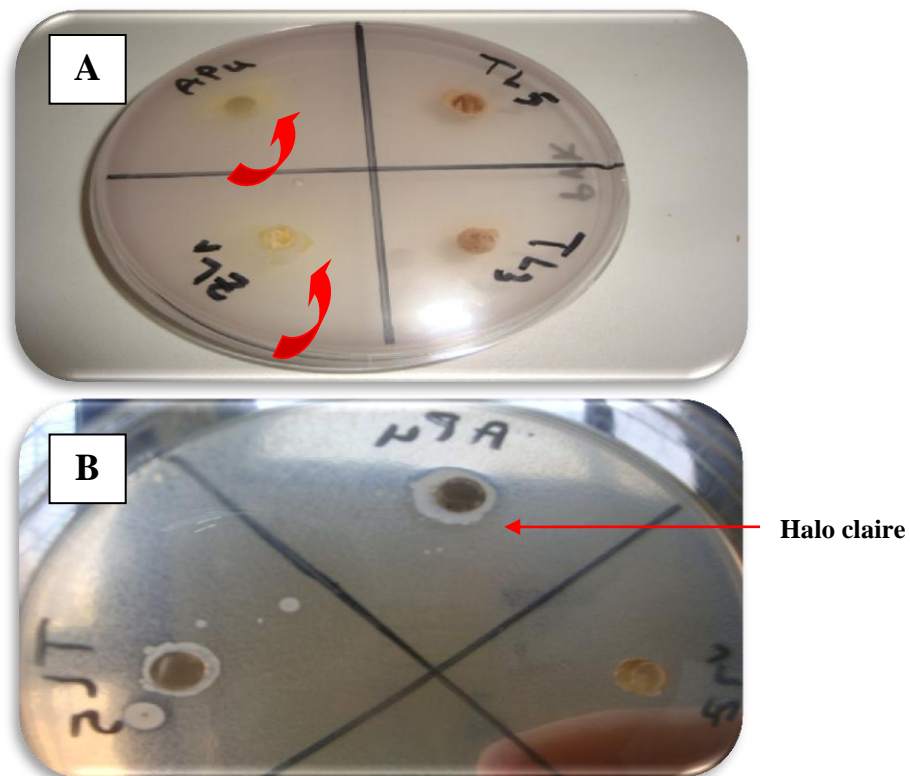


Figure 19 : Apparition des zones claires autour des souches
(A. PVK violet ; B. PVK Blanc)

3. Test de production des chitinases

Après 7 jours d'incubation sur milieu CCB (Colloidal Chitin Broth), nous avons observés l'apparition d'un halot clair autour de quelques colonies d'actinomycètes. Les résultats obtenus sont montrées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Résultats du test de production des chitinases sur milieu CCB.

Souches	Croissance (mm)	Halo	Diamètre d'halo (mm)
CA2	15	+	2
CA7	18	-	-
CA11	13	-	-
CA13	10	+	2
SN2	7	+	0,5
SN3	10	+	1
SN6	12	+	1
SN10	-	-	-
AP4	11	+	1
TL1	-	-	-
TL2	8	-	-
TL3	7	+	0,5
TL4	14	-	-
TL5	9	+	1
TL8	12	-	-
ZL1	-	-	-
DN4	16	+	1
DN19	15	+	1
ML1	10	+	1
ML2	11	+	1
ML3	12	+	1
ML4	10	+	1
AA1	10	+	1
AA2	9	+	1
PT1	10	+	0,5
PT2	13	+	1

(-) : absence d'halo ; (+) : présence d'halo

18 souches d'actinomycètes parmi les 26 sont capables de produire des chitinases. Ces souches sont capables de dégrader la chitine qui est le constituant principal de la paroi des champignons phytopathogènes. De ce fait, les souches qui

produisent des chitinases peuvent avoir un effet inhibiteur de la croissance des champignons phytopathogènes notamment ceux qui appartiennent à la classe des *Ascomycètes* et les *Deutéromycètes* où la chitine est le constituant principal de la paroi fongique. Les résultats de plusieurs travaux confirment que certains actinomycètes notamment le genre *Streptomyces* produisent des chitinases (El-Tarabily et al., 2006; Sabaou et al., 1998 et Schottel et al., 2001) (Voir Fig.20).

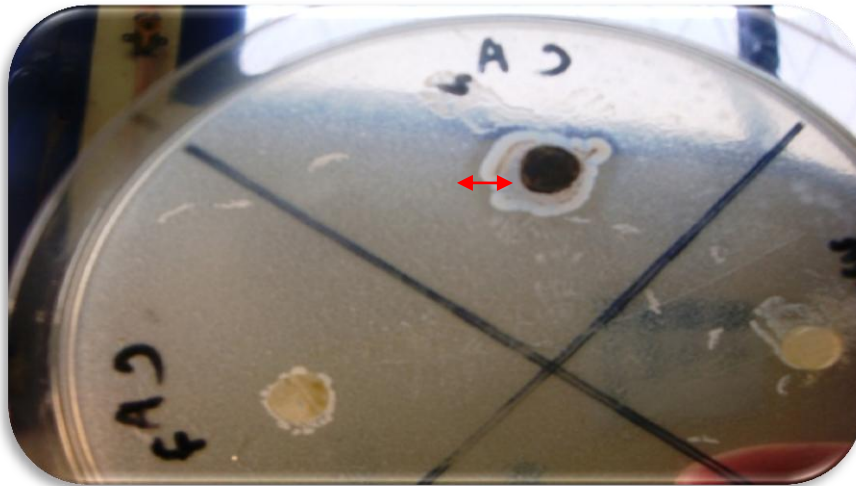


Figure 20 : Apparition de l'halo clair autour de la colonie d'actinomycète

4. Test de production des protéases

Les 26 souches d'actinomycètes 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), sont mentionnés dans le tableau 7.

D'après le tableau 7, 21 souches d'actinomycètes sont capables de dégrader les protéines. Le diamètre de l'halo clair varie entre 0,5 mm et 5 mm (Voir Fig.21). Plusieurs travaux ont montré que différentes espèces du genre *Streptomyces* sont capables de produire des protéases (Savijoki et al., 2006 ;Wang et al., 2007). Ces dernières catalysent l'hydrolyse des protéines en acides aminés. Nous pouvons conclure que les souches productrices des protéases sont capables d'une part de dégrader la matière organique donc donnent une meilleur fertilité au sol et d'autre part, sont capables d'avoir une activité antifongique contre les champignons

phytopathogènes en dégradant les protéines de la paroi fongique (Dierckx et Dewettink, 2002 et Ralet et *al.*, 2002).

Tableau 7 : Présence ou absence d'halo clair autour des colonies.

Souches	Croissance (mm)	Halo	Diamètre d'halo(mm)
CA2	20	+	2
CA7	17	+	2
CA11	10	+	1
CA13	12	+	2
SN2	25	+	4
SN3	25	+	2
SN6	25	+	3
SN10	8	-	-
AP4	17	+	2
TL1	18	-	-
TL2	16	+	1
TL3	22	+	0,5
TL4	-	-	-
TL5	25	+	3
TL8	25	+	2
ZL1	7	-	-
DN4	25	+	4
DN19	20	+	2
ML1	15	+	1
ML2	18	+	1
ML3	25	-	-
ML4	15	+	1
AA1	16	+	1
AA2	14	+	1
PT1	3	+	3
PT2	25	+	5

(-) : absence d'halo ; (+) : présence d'halo.

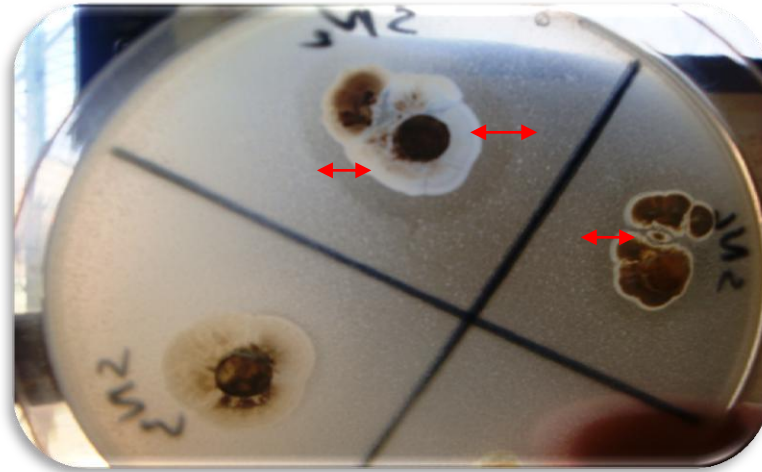


Figure 21 : Présence d'un halo clair autour des colonies d'actinomycètes.

5. Test de production des siderophores

Après incubation des actinomycètes pendant 7 jours à 30°C sur milieu AIM (milieu sans fer), les souches qui ont montré une croissance négative (voir. Fig. 22A) (nécessite le fer pour la croissance) ont été retenus pour le test sur milieu CAS (riche en fer).

Les résultats de la croissance des souches sur milieu AIM sont représentés dans le tableau.8.

D'après ce tableau, 4 souches (AA2, ZL1, SN10 et TL2) sont caractérisées par une croissance négative. Ces dernières ont été testées sur le milieu CAS bleu. Les résultats de ce test sont montrés dans la figure 22 B. Ces 4 souches ont montré un halo jaune autour des colonies. Cela est un indicateur de la production des sidérophores qui permettent de chélater le fer et le priver des autres microorganismes (Coa et *al.*, 2005 et Getha et *al.*, 2005). L'aptitude à produire des sidérophores est une caractéristique très intéressante surtout dans les sols pauvres en fer ou bien pour les cultures qui sont sensibles à la carence en fer.

Les résultats des tests pour les 26 souches d'actinomycètes montrent que la souche AA2 produit des chitinases, des protéases, elle est capable de solubiliser le phosphore inorganique et de produire des sidérophores. De ce fait, cette souche est très intéressante dans le domaine de la biofertilisation des cultures.

Tableau 8 : Les résultats du test sur milieu AIM.

Souches	Croissance
CA2	+
CA7	+
CA11	+
CA13	+
SN2	+
SN3	+
SN6	+
SN10	-
AP4	+
TL1	+
TL2	-
TL3	+
TL4	+
TL5	+
TL8	+
ZL1	-
DN4	+
DN19	+
ML1	+
ML2	+
ML3	+
ML4	+
AA1	+
AA2	-
PT1	+
PT2	+

(-) : absence d'halo ; (+) : présence d'halo

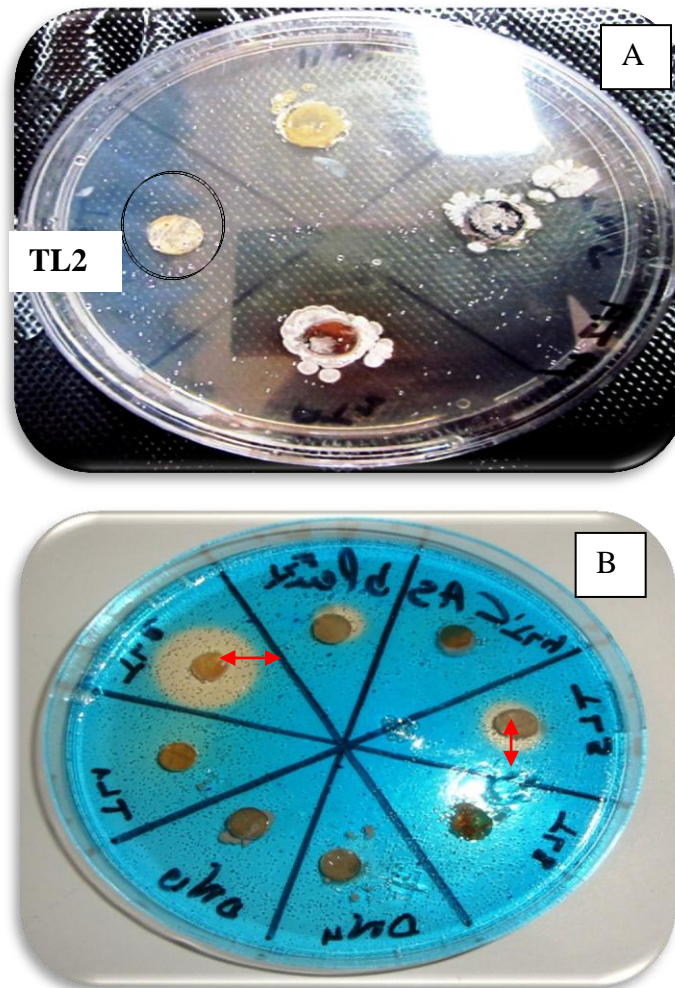


Figure 22 : Résultats du test de production des sidérophores (A : milieu AIM ; B : milieu CAS)

6. Contrôle biologique *in vitro*

Vingt-six souches d'actinomycètes endophytes ont été utilisées pour tester leur influence sur la croissance des plantules de tomate *in vitro*.

Les résultats du taux de germination des graines sont représentés par les histogrammes de la figure 23 et le tableau 9.

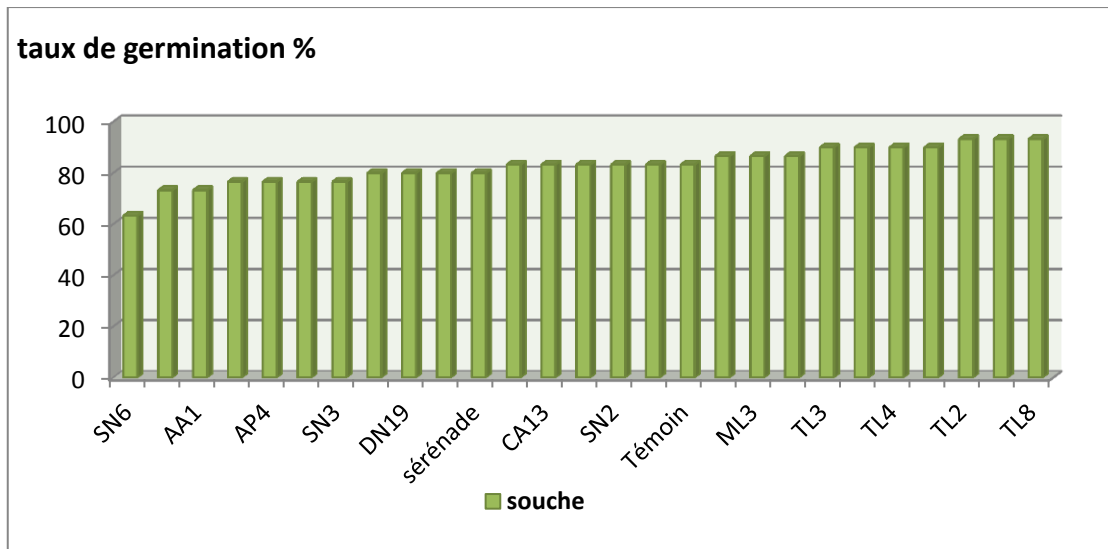


Figure 23 : Le taux de germination des graines de tomate *in vitro*.

Tableau 9 : Taux de germination *in vitro*.

Souches	Taux de germination%
SN6	63,3
ML4	73,3
AA1	73,3
ML1	76,6
AP4	76,6
PT1	76,6
SN3	76,6
DN4	80
DN19	80
TL1	80
sérénade	80
TL5	83,3
CA13	83,3
CA11	83,3
SN2	83,3
CA7	83,3
Témoin	83,3
CA2	86,6
ML3	86,6
ZL1	86,6
TL3	90
AR2	90
TL4	90
SN10	90
TL2	93,3
PT2	93,3
TL8	93,3

A la lumière de ces résultats nous remarquons clairement que uniquement dix souches avaient une influence élevée sur le taux de germination par rapport au témoin et 15 souches par rapport au sérénade®. Le taux le plus élevé arrive à 93,33% par certains isolats d'actinomycètes endophytes : TL2, PT2, TL8. Donc, nous constatons que ces derniers s'avèrent intéressants dans l'induction de la germination des graines de tomate de la variété Marmande (Voir Fig.24).

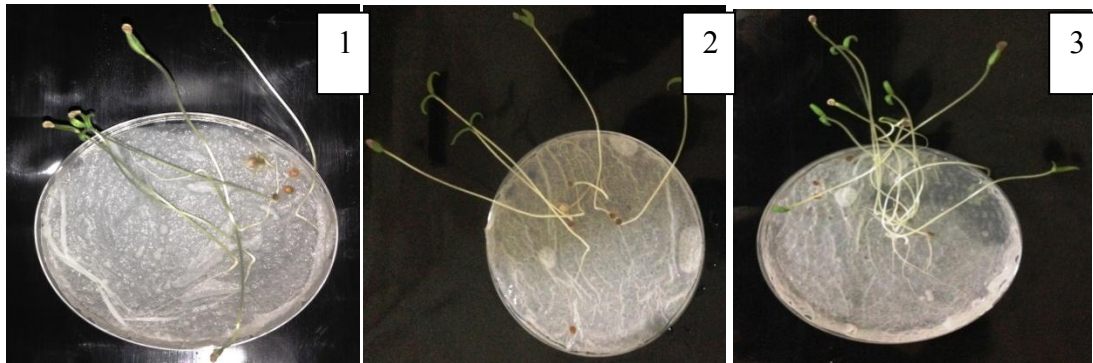


Figure 24 : Taux de germination des graines de différents traitements *in vitro* :

1) Témoin, 2) Traitement sérénade®, 3) Semence bactériesées avec les spores de la souche TL2.

Le traitement statistique de ces résultats montrent une différence très hautement significative (Tab.10) et cela indique qu'il ya une variabilité de l'effet des actinomycètes sur le taux de germination.

Tableau 10 : Résultats de l'analyse de variance d'essai *in vitro*.

Source de variabilité	S.C.E	ddL	C.M.	F	P
Var. TOTALE	4606,160	83	55,496		
Var. FACTEUR 1	4539,433	27	168,127	141,100	0,000
VAR.RESIDUELLE 1	66,727	56	1,192		
Coef. variation % 1,320					

Le test LSD à 5% classe nos souches en 08 groupes homogènes. Les résultats sont représentés par le tableau 11.

Tableau 11 : Comparaison multiple des moyennes de taux de germination.

Souches	Modalité	Moyenne%	Groupes homogènes								
TL2	F1n25	93,300	A								
TL8	F1n21	93,300	A								
PT2	F1n7	93,300	A								
CA2	F1n17	93,267	A								
SN10	F1n20	90,000		B							
AA2	F1n6	90,000		B							
TL3	F1n26	90,000		B							
TL4	F1n23	90,000		B							
ML3	F1n18	86,600			C						
ZL1	F1n10	86,500			C						
CA11	F1n13	83,300				D					
CA7	F1n12	83,300				D					
Témoin	F1n27	83,300				D					
SN2	F1n15	83,300				D					
TL5	F1n24	83,300				D					
CA13	F1n1	83,300				D					
DN4	F1n8	80,000					E				
Sérénade	F1n28	80,000					E				
DN19	F1n5	80,000					E				
TL1	F1n22	80,000					E				
AP4	F1n3	76,600						F			
PT1	F1n14	76,600						F			
SN3	F1n11	76,600						F			
ML1	F1n19	76,600						F			
ML4	F1n2	73,300							G		
ML2	F1n9	73,300							G		
AA1	F1n4	73,300							G		
SN6	F1n16	63,300									H

D'après le tableau 11, nous ne constatons que le groupe À est représenté par les meilleures souches (TL8, PT2, TL2) qui augmentent le taux de germination des graines de tomate (93,3%). Par contre, le dernier groupe H est représenté par la souche SN6 qui a diminué nettement le taux de germination des graines (63.3%) par

rapport au témoin et au sérénade. Ce dernier est un biofongicide largement utilisé en lutte biologique contre les fusarioses.

Ces résultats sont confirmés par plusieurs travaux où ils ont constaté que certaines espèces d'actinomycètes notamment ceux qui appartiennent au genre *Streptomyces* ont un effet dans l'induction de la germination des graines et cela semble être du à la production des gibbérellines par ces actinomycètes. Les gibbérellines sont des hormones de croissance végétale qui ont un rôle important dans la stimulation de la synthèse des enzymes hydrolytiques comme les alpha-amylases qui hydrolysent les réserves à l'intérieur de la graine pour quelles soient utilisées par l'embryon (Salamone et al. 2005, Harman et al., 2004 et Haas et Defago, 2005).

7. Controle biologique *in vivo*

Les résultats du taux de germination *in vivo* sont identiques à ceux observés dans le test *in vitro* où les souches TL8, PT2 et TL2 sont les meilleures souches qui ont un effet positif sur le taux de germination des graines de tomate.

Les différents traitements des semences par des actinomycètes endophytes ont été également menés pour étudier l'effet PGPR. Les résultats de la longueur des tiges et des racines sont représentés par les figures (25, 26).

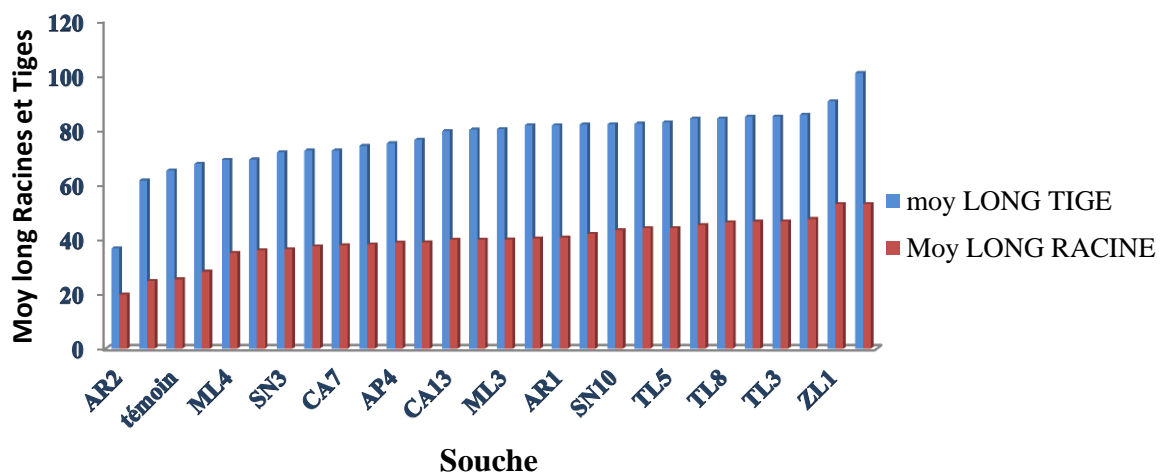


Figure 25 : Résultat de la longueur des tiges et des racines des plantules de tomate.

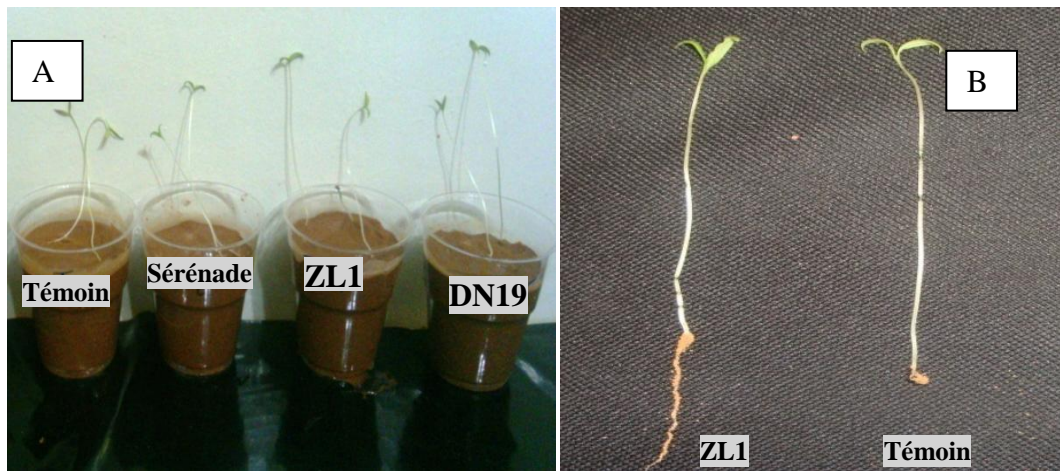


Figure 26 : Comparaison des résultats du témoin et traitement ZL1. (A-longueur des tiges, B- longueur des racines)

D'après ces résultats obtenus nous constatons que les souches ZL1, DN19 sont les meilleures souches qui ont un effet positif sur la croissance des tiges et des racines, du fait qu'elle assure la meilleure croissance des plantules.

Les traitements statistiques des résultats de la longueur des tiges ont montré une différence hautement significative. Cela confirme que les souches d'actinomycètes exercent une action différente (Voir Tab.12).

Tableau 12 : Résultat de l'analyse de variance de la longueur des tiges.

Source de variabilité	S.C.E	ddL	C.M.	F	P
Var TOTALE	41602,962	111	374,801	1,723	0,031
Var. FACTEUR 1	14830,408	27	549,274		
VAR.RESIDUELLE 1	26772,554	84	318,721		
Coef.variation%22,941					

Les résultats du test LSD à 5% sont mentionnés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Résultats du test LSD à 5% de la longueur des tiges.

Souches	Modalité	Moyennes (mm)	Groupes homogènes	
DN19	F1n5	103,250	A	
ZL1	F1n18	91,875	A	
ML3	F1n10	90,563	A	B
PT2	F1n7	87,330	A	B
ML2	F1n9	85,775	A	B
TL1	F1n22	85,475	A	B
TL8	F1n21	85,250	A	B
ML1	F1n19	85,000	A	B
TL3	F1n26	83,875	A	B
CA7	F1n12	83,833	A	B
TL5	F1n24	82,950	A	B
CA2	F1n17	82,178	A	B
SN10	F1n20	82,165	A	B
AA1	F1n4	81,830	A	B
TL4	F1n23	80,225	A	B
CA13	F1n1	79,625	A	B
SN2	F1n15	78,250	A	B
PT1	F1n14	74,703	A	B
SN3	F1n11	72,768	A	B
DN4	F1n8	72,553	A	B
TL2	F1n25	70,375	A	B
AP4	F1n3	69,938	A	B
SN6	F1n16	67,665	A	B
ML4	F1n2	66,563	A	B
Sérénade	F1n28	65,415	A	B
Témoin	F1n27	65,275	A	B
CA11	F1n13	61,583	A	B
AA2	F1n6	42,688		B

Le test LSD à 5%, classe nos souches en 3 groupes homogènes. Le groupe A est représenté par les souches : DN19 et ZL1 où la croissance des tiges est la meilleure (103,25 mm, 91,87mm) . Le groupe AB regroupe 23 souches et en fin le groupe B qui est représenté par la souche AA2 où la longueur de tige est la plus faible (42,63mm) (Voir tableau.13).

Le traitement statistique des résultats de la longueur des racines montre une différence très hautement significative (tab.14).

Tableau 14 : Résultat de l'analyse de la variance de la longueur des racines.

Source de variabilité	S.C.E	ddl	C.M.	F	P
Var.TOTALE	15986,276	139	115,009	4,379	0,000
Var.FACTEUR 1	8209,202	27	304,045		
VAR.RESIDUELLE 1	7777,073	112	69,438		
Coef. variation %20,827					

Le test LSD à 5% classe nos souches en 9 groupes homogènes. Le groupe A est représenté par les souches DN19, ML1, CA2 où le longueur des racines est la plus élevée. Par contre, le dernier groupe E regroupe la souche AA2 où la longueur des racines est la plus faible (tabl.15).

Tableau15. Résultats du test LSD à 5% de la longueur des racines.

Souches	Modalité	Moyennes (mm)	Groupes homogènes				
DN19	F1n5	53,000	A				
ML1	F1n19	53,000	A				
CA2	F1n17	49,764	A				
ML3	F1n18	47,500	A	B			
ZL1	F1n10	46,624	A	B			
TL4	F1n23	46,500	A	B			
AP4	F1n3	45,350	A	B			
SN10	F1n20	44,164	A	B	C		
Sérénade	F1n28	44,066	A	B	C		
CA7	F1n12	43,580	A	B	C		
PT1	F1n14	43,324	A	B	C	D	
ML2	F1n9	42,000	A	B	C	D	
PT2	F1n7	40,750	A	B	C	D	
CA11	F1n13	40,414	A	B	C	D	
SN2	F1n15	40,066	A	B	C	D	E
AA1	F1n4	39,912	A	B	C	D	E
SN3	F1n11	39,894	A	B	C	D	E
SN6	F1n16	39,000	A	B	C	D	E
TL5	F1n24	38,074	A	B	C	D	E
TL3	F1n26	37,950	A	B	C	D	E
CA13	F1n1	37,374	A	B	C	D	E
TL8	F1n21	36,340	A	B	C	D	E
DN4	F1n8	36,110	A	B	C	D	E
TL1	F1n22	35,120	A	B	C	D	E
TL2	F1n25	28,174		B	C	D	E
Témoin	F1n27	25,370			C	D	E
ML4	F1n2	24,750				D	E
AA2	F1n6	22,100					E

D'après ces résultats, nous constatons que la souche DN19 est la meilleure souche qui stimule la croissance des tiges et des racines. Cependant, les graines de tomate traitées par la souche AA2 ont montré la plus faible croissance des racines et des tiges.

Plusieurs travaux ont montré l'effet positif ou négatif de certaines souches d'actinomycètes sur la promotion de la croissance des plantules (Loqman, 2009 ; Adjanohoun et *al.*, 2012). Cela semble être due à la production des hormones de croissance (Gibbérellines, Cytokinine, Auxines...etc.) par ces souches. Ces hormones de croissance ont une action directe sur la différenciation et la multiplication cellulaire (Loqman, 2009).

Les résultats du poids frais et poids sec pour le test *in vivo* sont représentés par la figure 27.

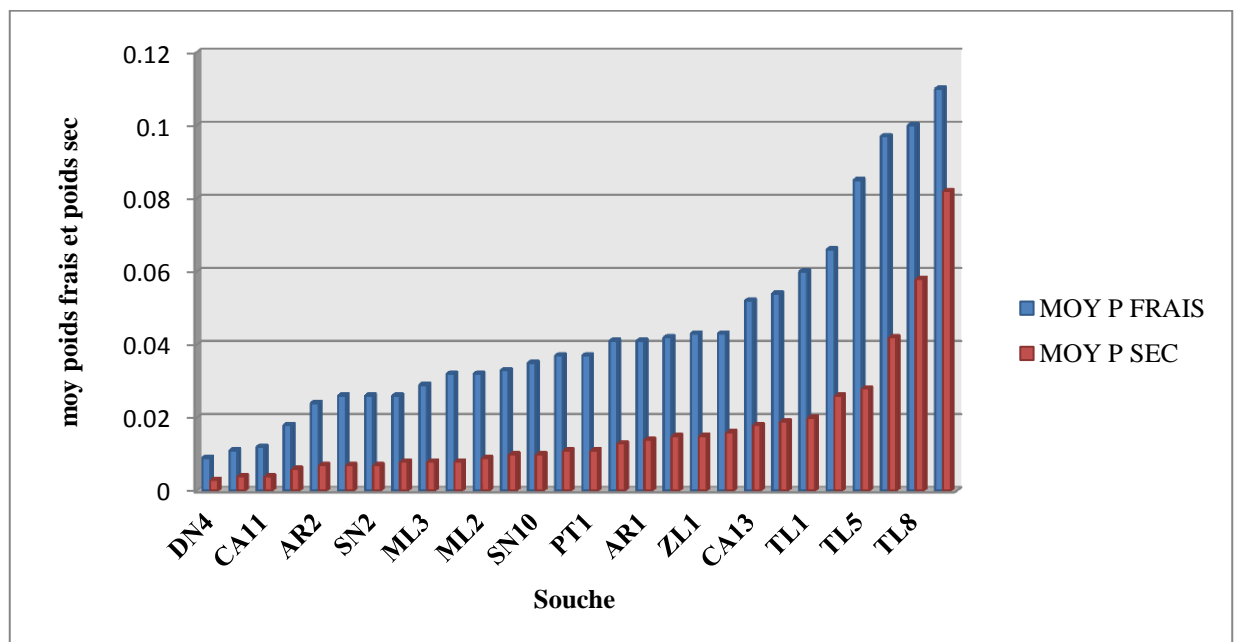


Figure 27 : Résultat du poids frais et poids sec des plantules de tomate.

Pour la promotion de la croissance des plantules exprimées en poids frais et poids sec, nous constatons que le meilleur traitement pour la variété Marmande était observé par les souches TL5, TL4, TL8, DN19.

Les traitements statistiques des résultats du poids frais ont montré une différence très hautement significative (Tab.16).

Tableau 16 : Résultat de l'analyse de la variance du pois frais.

Source de variabilité	S.C.E	ddl	C.M.	F	P
Var TOTALE	0,235	139	0,002	3,416	0,000
Var. FACTEUR 1	0,106	27	0,004		
VAR.RESIDUELLE 1	0,129	112	0,001		
Coef. variation %				75,596	

Le test LSD à 5% classe nos souches en 7 groupements homogènes. Le groupe A est représenté par la souche DN19 avec le meilleur poids frais des plantules. Le dernier groupe D regroupe les souches CA11, ML4, DN4 (Voir Tab.17).

Tableau 17 : Résultat du test LSD à 5% du poids frais.

Souches	Modalité	Moyennes (mm)	Groupes homogènes			
DN19	F1n5	0,112	A			
TL8	F1n21	0,101	A	B		
TL4	F1n23	0,097	A	B	C	
TL5	F1n24	0,086	A	B	C	D
CA2	F1n17	0,080	A	B	C	D
TL3	F1n26	0,066	A	B	C	D
TL1	F1n22	0,065	A	B	C	D
SN10	F1n20	0,057	A	B	C	D
ZL1	F1n10	0,047	A	B	C	D
ML1	F1n19	0,043	A	B	C	D
Témoin	F1n27	0,042	A	B	C	D
AP4	F1n3	0,042	A	B	C	D
AA1	F1n4	0,041	A	B	C	D
SN3	F1n11	0,037		B	C	D
PT1	F1n14	0,037		B	C	D
TL2	F1n25	0,033		B	C	D
PT2	F1n7	0,033		B	C	D
ML2	F1n9	0,032		B	C	D
ML3	F1n18	0,029		B	C	D
SN2	F1n15	0,027		B	C	D
Sérénade	F1n28	0,026		B	C	D
CA7	F1n12	0,026		B	C	D
AA2	F1n6	0,024		B	C	D
CA13	F1n1	0,022		B	C	D
SN6	F1n16	0,018			C	D
CA11	F1n13	0,012				D
ML4	F1n2	0,011				D
DN4	F1n8	0,009				D

Les traitements statistiques des résultats du poids sec des plantules de tomate montre une différence significative (Tab.18).

Tableau18 : L'analyse de la variance du poids sec des plantules.

Source de variabilité	S.C.E	ddl	C.M.	F	P
Var TOTALE	0,080	139	0,001	2,066	0,005
Var. FACTEUR 1	0,026	27	0,001		
VAR.RESIDUELLE 1	0,053	112	0,000		
				Coef. variation %	133,213

Les résultats du test LSD à 5% classe nos souches en 03 groupes homogènes. Le groupe A est représenté par la souche TL4 avec un meilleur poids sec des plantules. Le groupe AB regroupe les souches par TL8, CA2, DN19, TL1 et le groupe B qui est représenté par les 21 souches restantes (Tableau 19).

L'enrobage des semences par les spores des souches DN19, ZL1, CA2, TL8, TL4 montre clairement l'effet positif sur la promotion de la croissance des plantules (longueur des racines et des tiges et poids frais sec et poids frais) comparativement au sérénade et au témoin.

Ces résultats sont conformes avec les résultats obtenus par plusieurs travaux qui confirment que certaines espèces du genre *Streptomyces* ont un effet positif sur la longueur des tiges et des racines ainsi que le poids frais et le poids sec des plantules (Loqman, 2009 ; Azouaou et kiboub, 2013 et Nia et chouyb, 2013).

Tablea 19 : Résultat du test LSD à 5% des moyennes du poids sec.

Souches	Modalité	Moyenne	Groupes homogènes	
TL4	F1n23	0,066	A	
TL8	F1n21	0,047	A	B
CA2	F1n17	0,039	A	B
DN19	F1n5	0,029	A	B
TL1	F1n22	0,028	A	B
Témoin	F1n27	0,020		B
TL2	F1n25	0,017		B
ZL1	F1n10	0,015		B
TL3	F1n26	0,015		B
AA1	F1n4	0,015		B
PT1	F1n14	0,014		B
ML2	F1n9	0,013		B
TL5	F1n24	0,013		B
PT2	F1n7	0,012		B
CA13	F1n1	0,012		B
SN3	F1n11	0,011		B
CA7	F1n12	0,010		B
ML1	F1n19	0,010		B
AA2	F1n6	0,010		B
Sérénade	F1n28	0,010		B
SN6	F1n16	0,008		B
AP4	F1n3	0,008		B
CA11	F1n13	0,007		B
SN10	F1n20	0,007		B
ML3	F1n18	0,007		B
SN2	F1n15	0,006		B
ML4	F1n2	0,004		B
DN4	F1n8	0,003		B

8. Test de production d'AIA

La méthode décrite par Bano et musarrat (2003) qui a été utilisée pour tester la production de l'AIA, nous a indiqué que parmi les six souches utilisées dans ce test, la souche ZL1 a montré une couleur rouge foncé indiquant la production de l'AIA (Fig. 28).

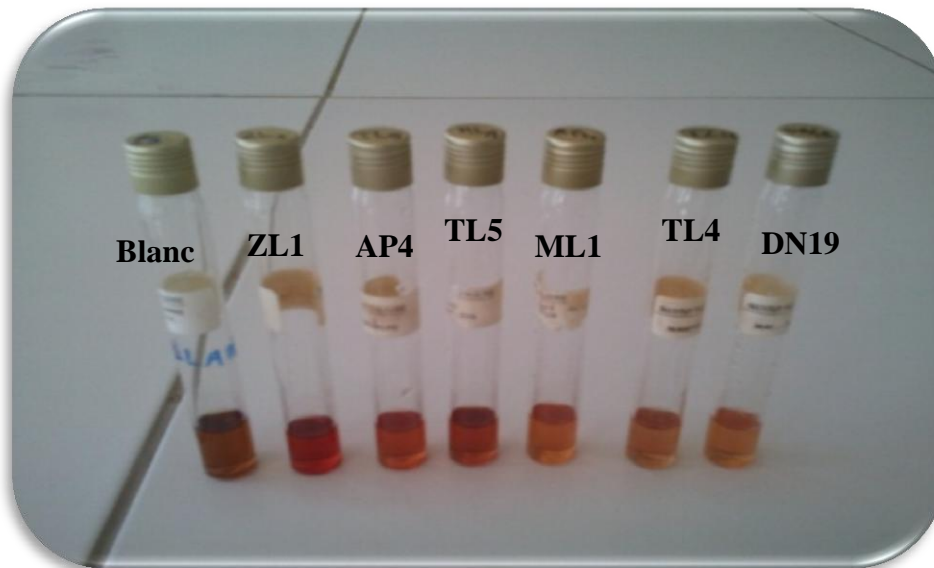


Figure 28 : Observation de la couleur rouge (résultat de la production d'AIA).

Les résultats du dosage de l'AIA par spectrophotométrie pour les 6 souches étudiées sont mentionnés dans le tableau 20.

Tableau 20 : Résultats de la production d'AIA par les actinomycètes endophytes ($\mu\text{g/ml}$).

Souches	DO	d'AIA (μg /ml)
ZL1	1,45	103,6
AP4	0,511	36,5
TL5	0,228	16,3
ML1	0,209	14,9
TL4	0	0,0
DN19	0	0
Témoin	0	0,0

A l'issus de ces résultats, nous constatons clairement que parmi les 6 souches étudiées, 4 souches (ZL1, AP4, TL5, ML1) sont capables de produire l'acide indole-3-acétique (AIA), sur bouillon(YT) Yeastextract- additionnée de L-Tryptophane. Le maximum de production était observé avec la souche ZL1 avec 103,6 µg/ml (voir fig.29) confirmant ainsi la couleur rouge foncé observé dans la figure (28).

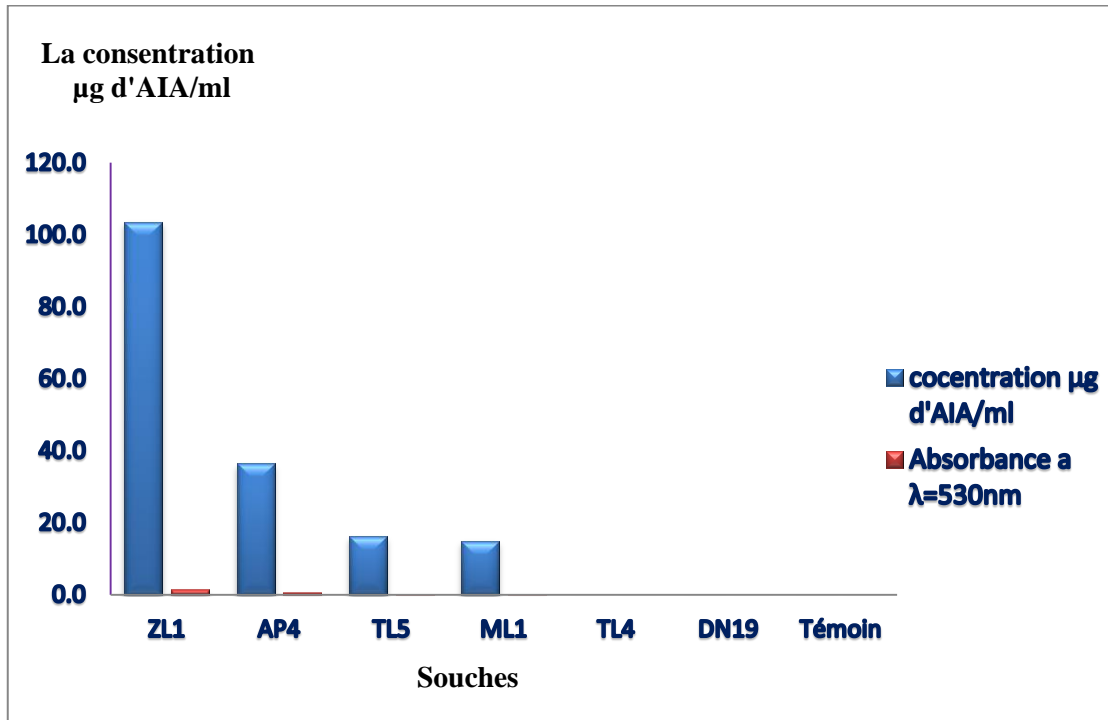


Figure 29 : Concentration de la production de l'acide indole-3-acétique (AIA) par les six souches d'actinomycètes.

Comparativement aux résultats donnés par (Khamna et al., 2010), nous remarquons que la souche ZL1 à une production d'AIA légèrement inférieure à celle de *Streptomyces viridis* CMU-H009 où sa production était de 127 µg/ml.

D'après les résultats du test *in vitro* et *in vivo*, la souche ZL1 est parmi les meilleures souches. Elle a un effet positif sur la promotion de la croissance des plantules ainsi que sur le taux de germination.

Des résultats assimilables confirment le rôle d'AIA dans la promotion de la croissance des racines ainsi que sur le taux de germination des graines de tomate (Zeevaart, 2003 et Nia et Chouyeb, 2013).

Conclusion

Conclusion

La tomate est une espèce largement cultivée à travers le monde. Cependant, le suivi de cette culture est indispensable afin d'avoir un bon rendement. Une fertilisation raisonnée est un facteur qui peut augmenter la quantité et la qualité des fruits de tomate d'une manière remarquable. Pour cela, le choix de l'engrais doit être basé sur plusieurs critères : l'efficacité, la disponibilité du produit ainsi que le respect de l'environnement. Malgré l'effet positif des fertilisants d'origine synthétique, ces derniers présentent un effet néfaste conduisant à des conséquences indésirables sur les cultures ainsi que sur l'environnement. Pour cette raison, les travaux de recherches actuels visent à sélectionner des biofertilisants, à base des microorganismes et cela afin d'éviter les inconvénients des engrais chimiques. Pour cette raison, nous avons testés l'effet de 26 souches d'actinomycètes endophytes sur l'induction de la germination des graines de tomate ainsi que sur la promotion de la croissance des plantules.

L'étude morphologique des 26 souches d'actinomycètes montre que la majorité des isolats appartiennent au genre *Streptomyces*.

Parmi les 26 souches d'actinomycètes, 17 souches sur PVK blanc et 19 souches sur PVK violet sont capables de solubiliser le phosphate inorganique. 18 souches sont capables de produire des chitinases et 21 souches produisent des protéases. Le test de production des sidérophores a montré que 4 souches seulement ont l'aptitude de synthétiser des sidérophores.

Les souches ZL1, TL8, DN19, TL4, CA2 induisent la germination des graines de tomate et stimulent la croissance des plantules. De ce fait, ces souches sont intéressantes dans le cas où elles sont utilisées comme un biofertilisant. En outre, la capacité de production des chitinases et des protéases peut donner à ces souches l'aptitude à inhiber la croissance de certains champignons phytopathogènes notamment ceux qui appartiennent à la classe des *Ascomycètes* et des *Deutéromycètes* car la chitine est le constituant principal de la paroi fongique. Donc, elles peuvent être utiliser comme des biofertilisants et des biofongicides au même temps.

Quatre souches étaient capables de produire l'acide indole-3-acétique (AIA), sur bouillon Yeast extract-Tryptone (YT) additionnée de L-Tryptophane. La meilleure production d'AIA était observée avec la souche ZL1 (103,06 µg/ml).

En perspectives, nous envisageons de continuer à étudier les souches ZL1, DN19, TL8, CA2 et confirmer l'identification des espèces par des techniques plus développés. Il serait intéressant également de tester la combinaison de ces souches pour évaluer leur effet sur la croissance des plants. En outre, il est important d'évaluer leurs aptitude à produire des enzymes de dégradation, tel que les glucanases et les cellulases, et de tester leur aptitude à fixer l'azote atmosphérique. Enfin, il serait nécessaire d'évaluer leurs effets en plein champ afin de les utiliser comme des biofertilisants ou comme des stimulateurs de la croissance des plantes et d'étudier leurs potentiels protecteurs vis-à-vis des maladies fongiques de la culture de tomate.

Références bibliographiques

- AgraQuest. 2003. *Séréenade biofungicide*. [en ligne]. [consulté le 22 avril 2012].
<http://www.agraquest.com/serenade/sermain.html>
- ARLASC. 2007. Rapport d'évaluation : Souche QST713 *Bacillus subtilis*. 11p.
- Asaka, O. et Shoda, M. 1996. *Biocontrol of Rhizoctonia solani damping-off of tomato with Bacillus subtilis RB14, Appl. Environ. In* Antoun, H. et Prévost, D. 2005. *Ecology of plant growth promoting rhizobacteria*. Canada: Springer. 36-38 p.
- Baniasadi, F. Shahidi Bonjar, A. Baghizadeh, A. Karimi, N. et Jorjandi M. 2009. *Biological control of Sclerotinia sclerotiorum, causal agent of sunflower head and stem rot disease, by use of soil borne actinomycetes isolates. Am. J. Agric. Biol. Sci.* 4: 146-151p.
- Becker, B. Lechevalier, M-P. Gordon, R-E. Lechevalier, H-A. 1964. *Rapid differentiation between Nocardia and Streptomyces by paper chromatography of whole-cell hydrolysates. Applied Microbiology* 12: 421- 423 p.
- Berdy, J. 2005. *Bioactive microbial metabolites. Journal of antibiotics.* 58: 1-26 p.
- Benitez, T. Rincón, A-M. Limón, M-C. Codón, A-C. 2004. *Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains. International Microbiology.* 7: 249-260 p.
- Benizri, E. Baudoin, E. et Guckert, A. 2001. *Root colonization by inoculated plant growth rhizobacteria. Biocontrol Science and Technology.* 11: 557-574 p.
- Bhattacharjee, R-B. Singh, A. et Mukhopadhyay, S-N. 2008. *Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. Applied Microbiology and Biotechnology.* 80: 199-209 p.
- Boudemagh, A. 2007. Isolement, à partir des sols Sahariens de bactéries actinomycétales productrices de molécules antifongiques, identification moléculaire de souches actives. Thèse de doctorat : Université Mentouri Constantine. 144 p.
- Bouizgarne, B. El-Maarouf-Bouteau, H. Madiona, K. Biligui, B. Monestiez, M. Pennarun A-M. Amiar, Z. Rona, J-P. Ouhdouch, Y. El Hadrami, I. Bouteau, F. 2006. *A putative role for fusaric acid in biocontrol of the parasitic angiosperm Orobanche ramosa.* 550-556 p.
- Bussières, P. 2002. *Water import in the young tomato fruit limited by pedicel resistance and calyx transpiration. Functional plant biology.* 29: 631-645p.
- Caron, J. 2002. *Le pouvoir antagoniste de Trichoderma.* 3p.
- Cardon, Z-J. et Gage, D-J. 2006. *Resource exchange in the rhizosphere: molecular tools and the microbial perspective. Annual Review of Ecology. Evolution and Systematics,* 37: 459-488 p.

- Chaux, C-L. et Foury C-L. 1994. *Cultures légumières et maraichères*. Tome III : légumineuses potagères, légumes fruit. Paris : Tec & Doc Lavoisier. 563 p.
- Champion, R. 1997. Identifier les champignons transmis par les semences. Ed : INRA. Paris.181-182 p.
- Chebasse, D., Cimon, B., Brun, S. et al. 2002. *Cahier de formation biologie médicinale : Les moisissures d'intérêt médical*. Paris.78 p.
- Chehma. 2002. Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien. Ed: Dar Elhouda Ain M'lila, Alger.
- Chibane, A. 1999. *Tomate sous serre*. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. MADRPM/ DERD N° 57.
- Coa, L., Qiu, Z., You, J., Tan, H., Zhou, S. 2004. *Isolation and characterization of endophytic Streptomyces from surface-sterilized tomato (Lycopersicon esculentum) roots*. *Lett Appl Microbiol.* 39: 425-430 p.
- Coa, L., Qiu, Z., You, J., Tan, H., Zhou, S. 2005. *Isolation and characterization of endophytic streptomycetes antagonists of fusarium wilt pathogen from surface-sterilized banana roots*. *FEMS Microbiology Letters.* 247: 147-152 p.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C. et Barka, E-A. 2005a. *Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects*. *Applied and Environmental Microbiology.*71: 4951-4959 p.
- Cook, R-J. et Baker K-F. 1983. *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. Americ. Phytopathol. Society. 530 p.
- Cronquist, F. 1981. *AN integrated system of classification of following plantes*. Colombia University. 125 p.
- De-Broglie et Guérault, 2005. *Tomate d'hier et d'aujourd'hui*. Paris. 134 p.
- Doré, C. et Varoqaux, F. 2006. *Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées*. Ed INRA. Paris. 698 p.
- DSA. 2012. *Service des statistiques : bilan de la production de la tomate maraichère dans la wilaya de Laghouat 2000-2011*.
- Dunne, C. Delany, I. Fenton A. et O'gara, F. 1996. *Mécanismes involoved in biocontrol by microbial inoculants*. *Agronomie*, 16 : 721-729 p.
- Elhassan, G-A. Abdelgani, M-E. Osman, A-G. Mohamed, S-S. et Abdelgadir, B-S. 2010. *Potential production and application of biofertilizers in Sudan Pakistan*. *Journal of Nutrition*, 9: 926-934 p.

- El-Tarabily, K-A. Soliman, M-H. Nassar, A-H. Al-Hassani, H-A., Sivasithamparam, K. McKenna, F. Hardy, G-E. 2000. *Biological control of Sclerotinia minor using a chitinolytic bacterium and actinomycetes*. Plant Pathology. 49: 573–583 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.

- 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 and Soil, 308: 161-174 p.

- El-Tarabily, K-A. Nasser, A-H. Hardy, J. Sivaithamparam, K. 2009. *Plant growth promotion and biological control of Pythium aphanidermatum, a pathogen of cucumber, by endophytic actinomycetes*. Journal of Applied Microbiology, 106: 13-26 p.

- EPA, 2003. Bacillus subtilis strain QST 713 [en ligne]. [consulte en avril 2012]. http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/ingredients/tech_docs/tech_006479.htm.

- Errakhi, R. Bouteau, F. Lebrihi, A. Barakate, M. 2007. *Evidences of biological control capacities of Streptomyces spp. against Sclerotium rolfsii responsible for damping-off disease. In sugar beet (Beta vulgaris L.)*. World J. Microbiol. Biotechnol. 23 : 1503-1509 p.

- FAO. 2008. *L'actualité agricole en Méditerranée*. Ed CIHEAM .33 p.

- FAO. 2012. Rapport de la production mondiale de tomate 2010 [en ligne]. [Consulté le 14 mars 2012]. <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=fr>.

- Fravel, D-R. 2005. *Commercialization and implementation of biocontrol*. Phytopathol. 43:337-359 p.

- Gallais, A et Bannerot, H. (1992). *Amélioration des espèces végétales cultivées objectif et critères sélection*. Paris : INRA. 765 p.

- Gausсен, H. Lefoy, J et Ozenda, P. 1982. *Précis de botanique*. 2^{ème} éd. Paris: Masson. 172 p.

- Getha, K. Vikineswary, S. Wong, W-H. Seki, T. Ward, A. Goodfellow, M. 2005. *Evaluation of Streptomyces sp. strain g10 for suppression of Fusarium wilt and rhizosphere colonization in pot-grown banana plantlets*. J. Ind. Microbiol. Biotechnol, 32 : 24-32 p.

- Gianinazzi, S. Gollotte, A. Binet, M-N. van Tuinen, D. Redecker, D. et Wipf, D. 2010. *Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services*. Mycorrhiza.

- Goodfellow, M. Minnikin, D-E. 1985. *Chemical methods in bacterial systematics*. Academic Press. London. 173-199 p.
- Helluy, S. et Holmes J-C. 2005. *Parasitic manipulation: further considerations*. Behavioural Processes, 68: 205–210 p.
- Hibar , k . Daami-Remadi , M. Khiareddine, H. El Mahjoub, M. 2005. *Effet inhibiteur in vitro et in vivo du Trichoderma harzianum sur Fusarium oxysporum f.sp radialis lycopersici*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 9 (3) : 163–171 p.
- Hmouni, A., Hajlaoui, M-R., Mlaiki, A. 1996. *Résistance de Botrytis cinere a aux benzimidazoles et aux dicarboximides dans les cultures abritées de tomate en Tunisie*. OEPP/EPPO Bull. 26. 697–705 p.
- Horinouchi, S. 2002. *Antimicrobial hormone, A-factor, as a master switch for morphological differentiation and secondary metabolism. In Streptomyces griseus*. Frontiers in Biosciences. 7 : 2045-2057 p.
- ID- EL Mouden, O. 2010. *Quantification des résidus de pesticide sur la tomate et le poivron et l'étude de la dégradation de difenoconazole sous l'effet de photo-oxydants atmosphériques à l'interface solide /gaz*. Université de Reims Champagne-Ardenne (agadir). 160 p.
- ITCMI. 2012. *Principaux désordres physiologiques, maladies et ravageurs présents en Algérie: les tomates*. 64 p.
- Jarvis, W-R., Shoemaker, R-A. 1979. *Taxonomy status of Fusarium oxysporum causing foot and root rot of tomato*. Phytopath. 68: 1679- 1680 p.
- Jung, H-K. et Kim, S-D. 2003. *Purification and characterization of an antifungal antibiotic from Bacillus megaterium KL 39, a biocontrol agent of red-pepper phytophthora blight disease, Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* 31: 235-241p.
- Khan, M-R., Saha, M-L., Zuha S-B. 2008. *Bacteria and actinomycetes growing on floppy and compact discs under ambient conditions*. Bangladesh Journal of antibiotics. 37: 7-14p.
- Kennedy, G-G. 2003. *Tomato, pests, parasitoids, and predators: tritrophic interactions involving the geis Lycopersicon*. Annual Review of Entomology, 48.: 51-72 p.
- Kent, A-D. et Triplett, E-W. 2002. *Microbial communities and their interactions in soil land rhizosphere ecosystems*. Annual Review of Microbiology, 56: 211-236 p.
- Kokalis-Burelle, N., Vavrina, C-S., Roskopf, E-N. et Shelby, R-A. 2002. *Field evaluation of plant growth-promoting Rhizobacteria amended transplant mixes and soil solarization for tomato and pepper production in Florida*. Plant Soil, 238: 257-266 p.

- Kouassi, M. 2001. *La lutte biologique: une alternative viable à l'utilisation des pesticides*. Vertigo. 2 : 2 p.
- Kumar, B-S-D. 1999. *Fusarial wilt suppression and crop improvement through two rhizobacterial strains in chick pea growing in soils infested with Fusarium oxysporum f.sp. ciceris*, Biol. Fert. Soils. 29: 87-91 p.
- Landreau, A. 2001. *Métabolites d'une souche de Trichoderma koningii Oudemans isolée du milieu marin : Etude chimique, biologique et risques pour les coquillages en culture*. 201 p.
- Latigui, A. 1984. *Effet des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée*. In Chougar, S. 2011. *Bioécologie de la tomate Tuta absoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera : Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Zahra, Dawson et Tavira) dans la wilaya de Tizi-Ouzou*. Mémoire de magister : université Mouloud Mameri Tizi-Ouzou. 122 p.
- Laumonier, R. 1979. *Cultures légumiers et maraichère*. Tome III. Paris : Ed. Bailliere. 279 p.
- Lechevalier, M-P. Lechevalier, H-A. 1980. *The chemotaxonomy of actinomycetes*. In *Actinomycetes Taxonomy: Society for Industrial Microbiology Special Publication Number A6*, eds Dietz, A. & Thayer, D.W. 225-292 p.
- Lee, J-P. Lee, S-W. Kim, C-S. Son, J-H. Song, J-H. Lee, K-Y. Kim H-J. Jung, S-J. et Moon B-J. 2006. *Evaluation of formulations of Bacillus licheniformis for the biological control of tomato gray mold caused by Botrytis cinerea*. Biol. Control. 37(3): 329-337 p.
- Lehr, N-A. Schrey, S-D. Hampp, R. Tarkka M-T. 2008. *Root inoculation with a forest soil streptomycete leads to locally and systemically increased resistance against phytopathogens in Norway spruce*. New Phytol. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02322.x.
- Lemanceau, P. Offre, P., Mougel, C. Gamalero, E. Dessaux, Y. Moenne-Loccoz, Y. et Berta, G. 2006. *Microbial ecology of the rhizosphere*. Dans "*Microbiological methods for assessing soil quality*". Ed : Bloem, J. Hopkins, D.W. et Benedetti, A. CABI publishing, Massachusetts, Cambridge, MA, Etats-Unis. p. 228-230 p.
- Lepoivre, P. 2003. *Phytopathologie: bases moléculaires de biologiques des pathosystèmes et fondement des stratégies de lutte*. De Boeck & Presses Agronomiques de Gembloux, Brussels, Belgium. 275-309 p.
- Lourenco Junior, V. Maffia, L-A., Romeiro R-d-S. et Mizubuti, E-S-G. 2006. *Biocontrol of tomato late blight with the combination of epiphytic antagonists and rhizobacteria*. Biol. Control. 38(3):331-340.
- Lugtenberg, B., Chin-A-Woeng T., Bloemberg, G. 2002. *Microbe-plant interactions: principles and mechanisms*. Antonie van Leeuwenhoek. 81:373-383.

- Marrone, P-G. 2002. *An effective biofungicide with novel modes of action*. Pesticide-Outlook. 13 : 193-194.

- MADR.2009. *Service des statistiques*.

- MADR. 2012. *Service des Statistiques : données statistiques sur la production de la tomate maraichère et industriel en Algérie (2000-2010)*.

- 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.

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

- Munroe, B. et Small, E. 1997. *Les légumes de canada*. Canada : Val Morin Québec. 436p.

- Nanjwad, B., Chandrashehara, S., Goudanavar, P-S., Shamarez, A-M., Manvi, F. 2010. *Production of antibiotics from soil isolated actinomycetes and evaluation of their antimicrobial activities*. Tropical Journal of Pharmaceutical Research. 9, p. 373-377.

- O'donnelle, 1982. *The analysis of actinomycetes wall aminocids by gas chromatography*. In Loqman, S. 2008. *La lutte biologique contre la pourriture grise de la vigne: isolement, caractérisation de souches de bactéries actinomycétales antagonistes à partir des sols rhizosphériques de vignes saines sauvages d'origine marocaine*. Thèse de doctorat : Université de reims champagne-ardenne (France). 253p.

- O'donnel, A-G., Minnikin, D-E. et Goodfellow. 1985. *Integrated lipid and wall analysis of actinomycetes*. In Loqman, S. 2008. *La lutte biologique contre la pourriture grise de la vigne: isolement, caractérisation de souches de bactéries actinomycétales antagonistes à partir des sols rhizosphériques de vignes saines sauvages d'origine marocaine*. Thèse de doctorat : Université de reims champagne-ardenne (France). 253p.

- Paulitz, T-C. et Bélanger, R-R. 2001. *Biological control in greenhouse systems*. Phytopathol. 39, p. 103-133.

- Péron, J-Y. 2002. *Production légumes*. Ed : Lavoisier. Paris. 613p.

- Pesson, P et Louveaux, J. (1984). *Pollinisation et production végétales*. Ed. INRA. 663 p.
- Polese, J-M. 2007. *La culture de la tomate*. Ed Artémis. 95p.
- Prévost. K., Couture, G., Shipley, B., Brzezinski, R., Beaulieu, C. 2006. *Effect of chitosan and a biocontrol streptomycete on field and potato tuber bacterial communities*. *Biocontrol*. 51 : 533-546.
- Quézel, P., Santa, S. 1962. *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales tomes2*. Paris : CNRS. 1170 p.
- Raemaekers, R. 2001. *Agriculture en Afrique tropicale*. Direction générale de la coopération internationale 2001.
- Rahman, M-S., Ano, T. et Shoda, M. 2007. *Biofilm fermentation of iturin A by a recombinant strain of Bacillus subtilis 168*. *J. Biotechnol.* 127(3), p. 503-507.
- Rey, Y. et Costes, C. 1965. *La physiologie de la tomate : étude bibliographique*. INRA. 111p.
- Rocher, F. 2004. *Lutte chimique contre les champignons pathogènes des plantes : évaluation de la systémie phléomienne de nouvelles molécules à effet fongicide et d'activateurs de réaction de défense*. Thèse de doctorat : université de poitiers (France).163p.
- Roquebert, M-F. 1998. *Taxonomie des moisissures ; Méthodes de culture et techniques d'observation ; Identification*. In *Moisissures des aliments peu hydratés*. Ed : Tec & Doc. P. 39-95.
- Sabaou, N., Hacène, H., Bennadji, A., Bennadji, H. et Bounaga, N. 1992. *Distribution quantitative et qualitative des actinomycètes dans les horizons de sol de surface et profonds d'une palmeraie algérienne*. *Can. J. Microbiol.* 38: 1066–1073.
- Sabaou, N., Boudjella, H., Bennadji, A., Mostefaoui, A., Zitouni, A., Lamari, L., Bennadji, H., Lefebvre, G. et Germain, P. 1998. *Les sols du Sahara algérien, source d'actinomycètes rares producteurs d'antibiotiques*. *Sécheresse*, 9, p. 147–153.
- Saravanakumar, D., Vijayakumar, C., Kumar, N. et Samiyappan, R. 2007. *PGPR induced defense responses in the tea plant against blister blight disease*. *Crop Protect.* 26(4): 556-565.
- Shankara, N., De jeud, J-V-L., De Jeffau, M., Hilmi, M. et Vandam, B. 2005. *La culture de tomate production, transformation et commercialisation*. Pays-Bas : Ed. Wageningen. 105p.
- Smaoui, S. 2010. *Purification et caractérisation de biomolécules à partir de microorganismes nouvellement isolés et identifiés*. Thèse de Doctorat en Génie de Procédés et Environnement : Université de Toulouse (France). 251p.

- Snoussi, S-A. 2010. *Programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient (Projet GTFS/REM/070/ITA) : Rapport de mission : Etude de base sur la Tomate en Algérie*. Ed. Rome : FAO.

- Spadaro, D. et Gullino, M-L. 2004. *Improving the efficacy of biocontrol agents against soilborne pathogens*. Crop Prot. 23, p. 1-13.

- Suzuki, S., Yamamoto, K., Okuda, T., Nishio, M., Nakanishi, N., Komatsubara, S. 2000. *Selective isolation and distribution of Actinomadura rugatobispora strains in soil*. Actinomycetologica. 14: 27-33.

- Thakore, Y. 2006. *The biopesticide market for global agricultural use*. Industrial Biotechnology. 2(3): 294-208.

- Trejo-Estrada, S-R., Paszczynski, A., Crawford D-L. 1998. *Antibiotics and enzymes produced by the biocontrol agent Streptomyces violaceusniger YCED-9*. J. Industr. Microbiol. Biotech. 21 : 81-90.

- Trottin-Caudal, Y., Grassely, D. et Millot, P. 1995. *Maîtrise de la protection sanitaire – Tomate sous serre et abris*. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, France.

- Verolet, J-F. 2001. *Tomate : Fiche technique en agriculture biologique*. Ed. ADAB. 9 p.

- Zitouni A., Lamari, H., Boudjella, B., Badji, N., Sabaou, A., Gaouar, F., Mathieu, A., Lebrihi, L. et Labeda, D-P. 2004. *Saccharothrix algeriensis sp. nov.*, isolated from Saharan soil. Int. J. Syst. Evol. Microbio. 54 : 1377.