



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Microbiologie

قسم : ميكروبيولوجيا

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie Moléculaire des Microorganismes

Intitulé :

Effet PGPR de *Streptomyces* sp. (S2) sur les caractères morpho-biochimiques de la tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. Cultivée dans le sol

Présenté et soutenu par :

SAHOUR Wissem

Le : 27/06/2017

BOURICHE Nour El Houda

Jury d'évaluation :

Président du jury : *BOUDEMAGH A.* (Professeur - UFM Constantine 1),

Rapporteur : *KITOUNI M.* (Professeur - UFM Constantine 1),

Examineur : *CHABBI R.* (MAA - UFM Constantine 1).

Année universitaire
2017 - 2018

Table des matières

Remerciements	i
Dédicaces	i
Résumé.....	i
الملخص	i
Abstract	i
Liste des figures.....	ii
Liste des tableaux.....	iii
Introduction	1

Revue bibliographique

1. Les actinomycètes	3
2. Historique.....	3
3. Morphologie.....	4
4. Critères d'identification	5
5. Physiologie de développement	5
5.1. L'oxygène	5
5.2. Le pH.....	5
5.3. La température	7
5.4. L'activité de l'eau (Aw).....	7
5.5 Tolérance en NaCl	7
6. Cycle de vie.....	7
7. Les actinomycètes dans sol	8
8. Métabolisme des actinomycètes	11
9. les bactéries promotrices de la croissance des plantes	12
9.1. Propriétés générales des PGPR	12
9.2. Quelques bactéries PGPR.....	12
9.2.1. Les bactéries du genre <i>Azospirillum</i>	12
9.2.2. Les bactéries du genre <i>Pseudomonas</i>	12
9.2.3. Les bactéries du genre <i>Rhizobium</i>	13
9.2.4. Les bactéries du genre <i>Bacillus</i>	13
9.2.5. L'actinomycète <i>Frankia</i>	13
10. Mode d'action des PGPR.....	14

10.1. Effets directs.....	14
10.1.1. La fixation de l'azote atmosphérique.....	14
10.1.2. La solubilisation des phosphates	15
10.1.3. La production des sidérophores	15
10.3.4. Stimulation de la croissance végétale	15
10.2. Effets indirects	15
10.2.1. L'antibiose	16
2.2.2. Résistance Systémique Induite (ISR)	16
11. le sol	16
11.1. La rhizosphère	17
11.2. Activité microbiologique de la rhizosphère	17
11.3. Interaction plante-sol.....	18
12. la tomate	19
12.1. Description botanique de la tomate	20
12.1.1. Le système racinaire.....	20
12.1.2. La tige	20
12.1.3. Les feuilles	20
12.1.4. La graine	20
12.1.6. Le fruit	21
12.2. Classification	21
12.3. Conditions à satisfaire pour garantir une bonne culture	22
12.3.1. Le climat	22
12.3.2. Le sol	23

Matériel et Méthodes

1. Origines des actinomycètes	24
2. Revivification des souches d'actinomycètes.....	24
3. Sélection.....	24
4. Etude morphologique	24
4.1. Caractères macroscopique.....	24
4.2. Caractères microscopique.....	24
5. Effets de <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur les graines de tomate	25
5.1. Préparation de la suspension sporale	25
5.2. La stérilisation des graines de tomates.....	25

5.3. La germination des graines de tomates	26
6. Culture des graines dans le sol.....	26
6.1. Prélèvement d'échantillon de sol	26
6.2. Prétraitement d'échantillon de sol	26
6.3. Semis des graines de tomate dans le sol	27
7. Effet PGPR de <i>Streptomyces</i> sp. (S2).....	28
7.1. Analyse des caractères morphologique des plantules.....	28
7.2. Dosage de la chlorophylle	28

Résultats et Discussion

1-Etude morphologique de <i>Streptomyces</i> sp. (S2).....	29
1-1-caractères macroscopique.....	29
1.2. Caractères microscopique.....	37
2. Effet PGPR de <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur la tomate <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	38
3. Taux de chlorophylle après différents traitements.....	41
Conclusion	43
Références Bibliographiques	44

Annexe

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste Travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur de recherches Monsieur KITOUNI M. Professeur au département de microbiologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université des Frères Mentouri Constantine, pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nous voudrions également remercier les membres du jury :

Monsieur BOUDEMAGH A. Professeur au département de microbiologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université des Frères Mentouri Constantine qui a accepté de présider le jury de notre soutenance.

Monsieur CHABBI R. Maitre-assistant A. au département de microbiologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université des Frères Mentouri Constantine pour avoir accepté d'examiner notre mémoire.

Nos remerciements aussi aux doctorantes au niveau de laboratoire de biopol à Chaab Erssas Rihab, Soumia, Karima, Maria et Amina Pour leurs aides.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Un grand merci à nos collègues de promotion ainsi qu'à toute personne qui a aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mes sœurs : Imen et Radia

A mon frère : khallil

A mes nièces : Maissem et Sérine

A khaled

A Yanis et Racim

A mes chères amies et collègues

A ma sœur et mon binôme Houda à qui,

je souhaite toute la réussite et le bonheur dans la vie.

A toute personne qui ma aidé de loin ou de prés pendant ma vie scolaire.

wissem

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices,

leur amour,

leur tendresse,

leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A ma chère sœur Yasmine.

A mes chers frères Mohamed et Mehdi.

A ma deuxième sœur et mon binôme Wissem.

a mes chères amies et a tous les étudiants de la promotion

2018 de la MGBMM.

Nour elhouda

Résumé

Dans le cadre de notre travail, nous avons testées l'effet PGPR d'une souche d'actinomycète sur la croissance des graines de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. inoculées dans deux types de sol (sol naturel et sol stérile). Les caractères morphologiques des plantes (la taille des parties aériennes, la taille des racines et la ramification racinaire) et aussi leur la croissance et le développement est notable aux plantules cultivées dans le sol naturel et le sol stérile arrosé par la suspension sporale de la souche *Streptomyces* et aussi dans le sol naturel. La mesure des poids frais des feuilles des plantules, en plus du dosage des chlorophylle a, b et la chlorophylle totale, a permis de montrer que, les *Streptomyces* peuvent aider les plantes par leur présence dans la rhizosphère.

Mots clés : sol, microflore, *Streptomyces*, actinomycètes, PGPR, tomate *Lycopersicon esculentum* Mill., rhizosphère.

الملخص

كجزء من عملنا قمنا باختبار تأثير PGPR للأكتينومييسيتات على نمو بذور الطماطم *Lycopersicon esculentum* Mill. المزروعة في نوعين التربة (التربة الطبيعية والتربة المعقمة). الميزات المورفولوجية للنباتات (حجم الأطراف الهواء، وحجم الجذور والتفرع الجذري) لوحظ نموها وتطورها بشكل ملحوظ عند الشتلات التي زرعت في التربة الطبيعية و التربة المعقمة التي تم سقيها بماء مقطر معقم يحتوي علي بوع من سلالة *Streptomyces* وكذلك في التربة الطبيعية. إن قياس الوزن الأولي لأوراق النباتات الفتية بالإضافة الى نسبة الكلوروفيل (اليخضور) أ و ب واليخضور الإجمالي مكنتنا من اظهار أن *Streptomyces* تساهم في نمو النباتات وذلك بتواجدها في منطقة الجذور

الكلمات المفتاحية: التربة، ميكروفلور، الأكتينومييسيتات، *streptomyces*، PGPR، الطماطم *Lycopersicon esculentum* Mill.، الجذور.

Abstract

As part of our work, we tested the PGPR effect of an actinomycete strain on the growth of tomato seeds *Lycopersicon esculentum* Mill. inoculated into two soil types (natural soil and sterile soil). the size of the aerial parts, the size of the roots and the root branching and also their growth and development is noticeable at seedlings grown in natural soil and the sterile soil watered by the sporal suspension of the strain *Streptomyces* and also in the soil. The measurement of fresh weights of seedling leaves, in addition to the determination of chlorophyll a, b and total chlorophyll, has shown that *Streptomyces* can help plants by their presence in the rhizosphere.

Keywords: soil, micflora, actinomycetes, *Sreptomyces*. PGPR, *Lycopersicon esculuntum* Mill., rhizosphère.

Liste des figures

Figure 1: Morphologie des hyphes dans le milieu liquide .	4
Figure 2 : Cycle de développement des actinomycètes sur milieu solide.	8
Figure 3 : Promotion de la croissance des plantes par les PGPR	14
Figure 4 : Diagramme d'une racine et structure de la rhizosphère.	17
Figure 5 : les différentes formes de la tomate	19
Figure 6 : cycle de vie de la tomate.	21
Figure 7 : la technique de culture sur lamelles.	25
Figure 8 : la stérilisation des graines de tomate avec l'hypochlorite de sodium (2%).	25
Figure 9 : Prélèvement de sol de Chaab Erssas.	26
Figure 10 : culture des graines de tomate dans les pots.	27
Figure 11 : Photographies de <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur ISP1 à 30°C.	30
Figure 12: Photographies de <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur ISP2 à 30°C.	32
Figure 13: Photographies de <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur ISP4 à 30°C.	34
Figure 14: Photographies de <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur ISP5 après à 30°C.	36
Figure 15: Observation microscopique après 7 jours d'incubation à (Gx100).	37
Figure 16: Observation microscopique après 15 jours d'incubation à (Gx100)	37
Figure 17: Observation microscopique après 21 jours d'incubation à (Gx100)	38
Figure 18: Effet PGPR de S2 sur les graines de tomate.	38
Figure 19: Concentration de la chlorophylle a ,b et totale chez les feuilles traitées.	42

Liste des tableaux

Tableau 1: Principaux critères utilisés pour la taxonomie des actinomycètes	6
Tableau 2: Habitats de certains actinomycètes.	9
Tableau 3: Fréquence des divers genres d'actinomycètes dans le sol.	10
Tableau 4: Température des différentes phases de développement de tomate.....	22
Tableau 5: Les caractères culturaux de <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur le milieu ISP1.....	29
Tableau 6: Les caractères culturaux de la souche <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur le milieu ISP2.....	31
Tableau 7: Les caractères culturaux de la souche <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur le milieu ISP4.....	33
Tableau 8: Les caractères culturaux de la souche <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur le milieu ISP5.....	35
Tableau 9: Effet de <i>Streptomyces</i> sp. (S2) sur les plantules de tomate.....	39

Dans le sol, l'activité microbienne est intense en particulier dans la zone sous l'influence des racines, la rhizosphère, qui contient plus d'un million de microorganismes par gramme de sol. Certains de ces micro-organismes, principalement des bactéries, sont capables de coloniser efficacement les systèmes racinaires et influencent de manière bénéfique la plante en stimulant sa croissance et/ou en la protégeant contre des infections par des agents phytopathogènes. Ces bactéries reprises sous le terme PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria).

Le mot streptomyces regroupe tous les membres du genre *Streptomyces*, c'est le genre d'actinomycètes le plus abondant et surtout le plus performant dans la production de métabolites secondaires importants. Les *Streptomyces* sont donc des organismes procaryotes qui possèdent une structure filamenteuse. Cela explique leur dénomination : du Grec Strepto. myces : Streptos : tordu ou courbé et myces : champignons (**Williams et al., 1984**). Ces bactéries sont principalement retrouvées dans les couches superficielles des sols où leur développement et leur dispersion sont facilités par leur croissance mycélienne et leur capacité de sporulation. Ces souches sont caractérisées aussi par leurs effets PGPR vis-à-vis des plantes.

En effet, l'application des PGPR (plant growth promoting rhizobacteria) constitue une importance majeure dans l'agriculture, elle permet d'améliorer la croissance des plantes par l'emploi des ressources biologiques naturelles. Par ailleurs, l'utilisation des bactéries dans l'agriculture offre bon rendement même dans des conditions sévères comme la salinité, ceci est généralement lié à la stimulation du développement racinaire, la biosynthèse de phytohormones et l'apport de nutriments et de l'eau (**kerbeb souhila, 2010**).

À ce titre, l'objectif de notre travail est l'étude de l'effet PGPR de la souche *Streptomyces* sp. (S2) sur la croissance de tomate *Lycopersicon esculentum*. Mill.

Notre mémoire se présente en quatre parties :

- ✓ le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur les recherches effectuées dans notre domaine de recherche.
- ✓ le deuxième chapitre présente le matériel et les méthodes adoptées pour la réalisation de ce travail ;
- ✓ le troisième chapitre est consacré à la présentation et la discussion des résultats obtenus.

- ✓ Enfin, une conclusion générale pour terminer ce travail.

1. Les actinomycètes

Les actinomycètes filamenteux sont des bactéries dont la croissance donne lieu à des colonies constituées d'hyphes, qui irradient par croissance centrifuge tout autour du germe qui leur a donné naissance (**Rastogi et Kishore, 1997**). Cela explique leurs dénominations en grec «Champignons à rayons » ou « Champignons rayonnants », expression utilisée pour les désigner en anglais (*Ray fungi*) et aussi en allemand et en russe. Les actinomycètes appartiennent à la classe des Actinobacteria. Ce sont des bactéries à Gram positif de haut GC % généralement compris entre 60 et 75%. Le phylum des Actinobacteria est grand et complexe (**Stackebrandt, 1997**). Il regroupe 5 ordres, 13 sous-ordres, 48 familles, et plus de 200 genres bactériens.

2. Historique

Waksman (1959) divise en quatre grandes périodes l'histoire des actinomycètes.

- **La première (1874-1900)**, est celle de la découverte de leurs rôles dans la pathologie : **Cohn en 1875** découvre le premier actinomycète qu'il appela *Streptothrix foeresteri*. **Harz en 1877**, isola l'agent responsable des actinomycoses du bétail et le nomma *Actinomyces bovis*.

- **La seconde période (1900-1919)** se rapporte à la mise en évidence et à l'étude des actinomycètes du sol : avec les travaux d'**Orla Yensen (1909)** qui créa la famille des Actinomycetaceae qui comprend un seul genre *Actinomyces*, par la suite, de nombreuses espèces telluriques furent isolées et décrit, **Buchanan (1917)** créa l'ordre des Actinomycétales. Les espèces qui composent le genre *Actinomyces*, étaient très différentes, certains auteurs ont commencé par scinder ce genre en plusieurs autres.

- **La troisième période (1919-1940)**: au cours de laquelle une meilleure connaissance des germes a été acquise, grâce aux recherches d'**Orskov (1923)** qui créa le genre *Micromonospora*. Ce genre regroupe les actinomycètes qui ne produisent pas de mycélium aérien. **Jensen (1932)** regroupe dans le genre *Paraactinomyces* (actuellement *Nocardia*) les actinomycètes dont le mycélium de substrat se fragmente.

- **La quatrième période** : commence en **1940**, et correspond à l'époque des antibiotiques produits par les actinomycètes, avec la création du genre *Streptomyces* (en combinant les noms des genres *Streptothrix* et *Actinomyces*) par **Waksman et Henrici en 1943** qui

regroupe les actinomycètes dont le mycélium aérien produit des chaînes de spores portées par des sporophores. En 1958 Pridham *et al.*, proposa un système de classification des *Streptomyces* basé sur la morphologie des chaînes de spores et la couleur du mycélium aérien; Ettlign *et al.*, (1958) introduit un critère important dans la différenciation des espèces : la production des pigments mélanoides.

3. Morphologie

Morphologiquement on peut rencontrer, en plus des filaments ramifiés, des bacilles et aussi des coccobacilles comme *Rhodococcus* et *Mycobactérium* (Avril *et al.*, 1992). Dans certains cas, seul le mycélium de substrat est formé, tandis que dans le cas le plus extrême il y'a formation uniquement de mycélium aérien, comme chez les *Sporichthya* (Falkow, 2006). Les filaments mycéliens peuvent produire des spores, soit uniques (exp. *Micromonospora*), soit en chaînes (exp. *Streptomyces*), soit groupées dans des sporanges (exp. *Actinoplane*).

D'autres structures morphologiques sont observées chez certaines espèces d'actinomycètes à savoir : des sclérotes sont formés dans le genre *Chainia*, des synnemas (ou corémies) par les *Actinosynnema* et des vésicules, différentes des sporanges, chez les *Frankia* et les *Dactylosporangium* (Neyra, 1992). L'analyse des hyphes des actinomycètes par imagerie révèle la présence de deux catégories de filaments (figure 1), des pellet et des hyphes dispersés. Les hyphes dispersés sont divisés en deux formes « freely dispersed » et « mycélium clumps ou aggrégate » (Cox *et al.*, 1998).

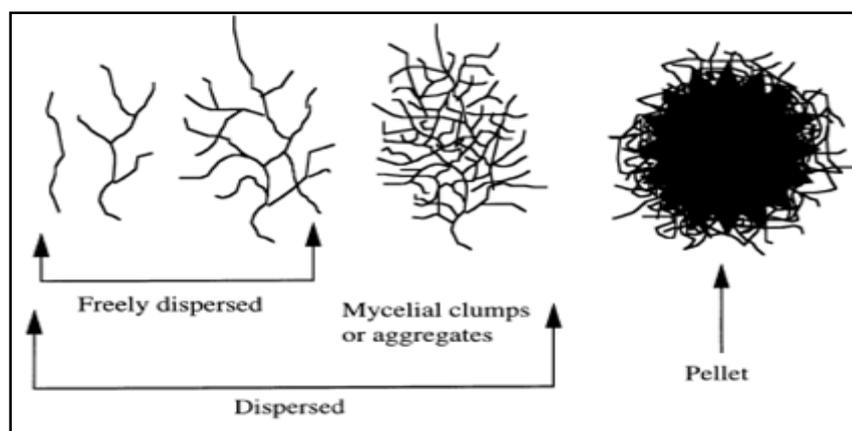


Figure 1: Morphologie des hyphes en croissance dans le milieu liquide (Almaris, 2007).

La première forme (pellet), est un agrégat de plusieurs hyphes enchevêtrés, leurs diamètres peuvent varier de plusieurs micromètres à plusieurs millimètres ; la seconde forme c'est des hyphes indépendants dispersés (**Cox et al., 1998**). Au cours d'un processus de fermentation, la forme pellet pose problème, à cause de limitation de diffusion des nutriments et de l'oxygène à traverses les hyphes, ce qui conduit à une autolyse, mais heureusement au cours de la fermentation industrielle, c'est la forme des hyphes indépendant dispersés qui dominant (90% des cas) (**Cox et al., 1998**).

4. Critères d'identification

La définition des genres et des espèces se fonde sur un ensemble de caractères morphologiques, fonctionnels, chimio-taxonomiques et génomiques, rassemblés dans le (**tableau 1**). L'ensemble des caractéristiques de chaque taxon bactérien est répertorié dans le manuel Bergey, un ouvrage de référence pour la taxonomie des bactéries, qui comprend un volume en deux parties dédié aux Actinobacteria (**Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 2012**).

5. Physiologie de développement

La croissance des actinomycètes est influencée par plusieurs facteurs physiologiques en particulier : l'oxygène, le pH, la température etc.

5.1. L'oxygène

On peut deviser les actinomycètes selon leurs types respiratoires en deux groupes.

Les formes fermentatives anaérobies, représentées par le genre type *Actinomyces*, qui sont des commensales obligatoires des cavités naturelles de l'homme et des animaux supérieurs, Ils font partie de la flore de Veillons (**Avril et al., 1992**).

Les formes oxydatives aérobies, telles que les *Streptomyces*, sont abondantes dans la nature en particulier sur le sol (**Avril et al., 1992**).

5.2. Le pH

Pour le pH, la plupart des actinomycètes se comportent comme des bactéries neutrophiles, et font une croissance optimale dans un intervalle de pH compris entre 7 et 8, mais on peut observer une croissance à des valeurs de pH inférieurs à 4 (**McKinney, 2004**),

telle est le cas pour les souches acidophile comme le genre *Streptacidiphilus* (Wang *et al.*, 2006).

Tableau 1: Principaux critères utilisés pour la taxonomie des actinomycètes (Belyagoubi, 2014).

Critères taxonomiques	
Critères morphologiques et fonctionnels	<p>Hyphes : présence, abondance et disposition des hyphes du mycélium</p> <p>végétatif ou du mycélium aérien.</p> <p>Spores : nombre, mobilité, forme, position sur les hyphes</p> <p>Présence de sporanges</p> <p>Présence de sclérotés ou de synnématas</p> <p>Résistance des spores à la chaleur.</p> <p>Résistance aux traitements acides.</p>
Critères chimiotaxonomiques	<p>Composition du peptidoglycane</p> <p>Composition en sucres cellulaires</p> <p>Composition phospholipidique des membranes</p> <p>Production d'antibiotiques</p> <p>Tests biochimiques :</p> <p>Réduction du nitrate</p> <p>Hydrolyse de l'urée</p> <p>Hydrolyse de l'acide hippurique</p> <p>Synthèse de mélanine (<i>Streptomyces</i>)</p>

Critères génomiques	%GC de l'ADN Digestions de l'ADN et analyse par électrophorèse en champ pulsé (DGGE) Séquence de l'ADNr 16S
----------------------------	---

5.3. La température

La température optimale de croissance est entre 25 à 30°C, mais les espèces thermophiles peuvent croître à des températures entre 55 et 65°C (**Rangaswami et al., 2004**).

5.4. L'activité de l'eau (Aw)

La germination des spores de la pluparts des actinomycètes, peut-être observée à des valeurs d'activité d'eaux supérieures ou égales à 0,67, l'activité d'eau optimale pour la croissance et le développement des actinomycètes est égal à 0,98 (**Zvyagintsev et al., 2005**).

5.5 Tolérance en NaCl

Selon leurs exigences en NaCl, les microorganismes ainsi que les actinomycètes sont divisés en deux groupes :

- Les halophiles : ont besoin de sel (NaCl) pour leurs croissances, cette concentration peut varier de 1 à 6 % (P/V) pour les faiblement halophiles, jusqu'à 15 à 30 % pour les bactéries halophiles extrêmes.
- Les halotolérants acceptent des concentrations modérées de sels mais non obligatoires pour leurs croissances. On distingue, les légèrement tolérants (tolère de 6 à 8 % de NaCl (P/V)) ; les modérément tolérants (tolère de 18 à 20 % de NaCl (P/V)) ; et les extrêmement tolérants (se développe de 0 % jusqu'à saturation en NaCl) (**Nanjani, 2011**).

6. Cycle de vie

Le cycle de vie de nombreux actinomycètes commence par la germination des spores (**Figure2**), processus qui nécessite la présence des ions de calcium. Cette germination donne naissance à un mycélium primaire ramifié (**O 'Gara et al., 2008**).

Un mycélium aérien vient de se dresser au-dessus du mycélium de substrat. En effet ce dernier s'autolyse et les produits de la lyse sont utilisés par le mycélium aérien, c'est à ce

moment-là que les composés médicalement utiles sont synthétisés, et on les appelle métabolites secondaires (Smaoui, 2010).

A l'extrémité du mycélium aérien se forme des spores asexuées à paroi fine appelées conidies ou conidiospores, ces spores naissent par séparation du mycélium primaire habituellement en réponse à un stress de l'environnement (manque de nutriment). Si les spores sont localisées dans des sporanges, on les appelle des sporangiospores. Généralement ces spores ne sont pas résistantes à la chaleur, mais résistent bien à la dessiccation et ont de ce fait une importante valeur adaptative. Les actinomycètes sont immobiles, excepté pour les spores de certains genres (*Actinoplan*, *Spirillospora* etc) (Prescott *et al.*, 2010).

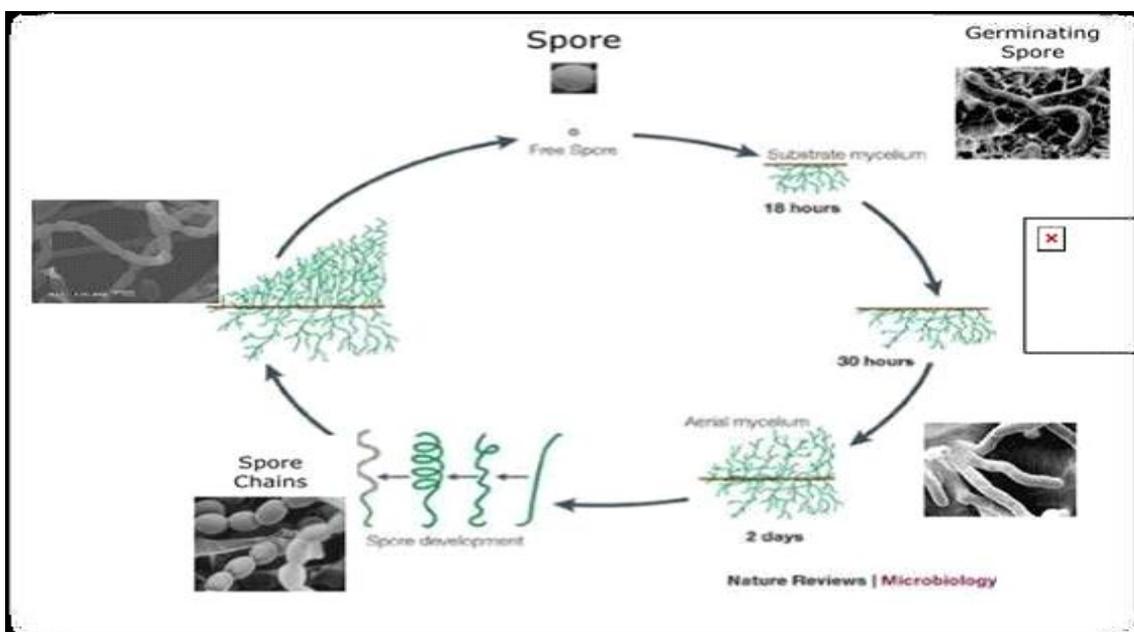


Figure 2 : Cycle de développement des actinomycètes sur milieu solide (Breton *et al.*, 1989).

7. Les actinomycètes dans sol

Ecologie des actinomycètes Les actinomycètes colonisent une large variété d'habitats naturels comme le montre le tableau N°02, elles sont capables de se développer sur une large gamme de substrats. Elles sont présentes dans des sols polaires gelés en permanence tout comme dans les sols désertiques chauds Revue bibliographique 16 et secs, dans le pétrole brut, les sols hautement contaminés avec les métaux lourds, les lacs extrêmement alcalins et les lacs salés. (kitouni, 2007). Le genre *Streptomyces* est celui qui prédomine généralement dans les sols et divers autres substrats. Ils représentent 80 à 95% du total des actinomycètes après *Streptomyces*, les genres les plus fréquents sont *Nocardia* et *Micromonospora*. Les

autres genres ne constituent qu'une fraction minime et sont parfois peu fréquents ou même assez rares (**Boucheffa, 2011**).

Tableau 2: Habitats de certains actinomycètes (**Grigorova et Norris, 1990**).

Actinomycètes	Habitats
<i>Actinoplanes</i>	L'eau douce, la litière végétale, le sol.
<i>Frankia</i>	Les nodules racinaires des non légumineux.
<i>Micromonospora</i>	L'eau douce, les sédiments, les sols humides.
<i>Nocardiaamarae</i>	Les boues activées.
<i>Rhodococcuscoprophilus</i>	déjections animales, l'eau, le sol.
<i>Saccharopolysporarectivirgula</i>	Moisi du foin.
<i>Streptomyces</i>	Le sol, la litière végétale, l'eau.
<i>Thermoactinomyces</i>	Le compost.

Dans le sol, la densité des actinomycètes, essentiellement représentés par les genres *Nocardia* et *Streptomyces*, est en général 3 à 15 fois plus faible que celle des bactéries et varie entre 10^5 et 10^8 unités/g de sol. Leur densité augmente dans les sols alcalins et décroît dans les sols submergés (**Goodfellow et Williams, 1983**). Leur rôle dans le sol est important en raison de leur aptitude à dégrader les substances organiques non biodégradables par les champignons et les bactéries (**Crawford, 1993**), et à produire des substances probiotiques et antibiotiques (**Kieser et al., 2000**). Les premiers stades de la dégradation de la matière organique sont le fait de bactéries et de champignons. Les actinomycètes ne se développent pas durant ces premiers stades en raison de leur inaptitude à la compétition, par contre, ils se développent relativement bien sur une matière organique partiellement dégradée et inapte à porter une microflore fongique et bactérienne (**Crawford, 1993**).

Tableau 3: Fréquence des divers genres d'actinomycètes dans le sol. (**Harouna.M , Alkama. M, 2014**)

Genre	Habitats
<i>Actinomodura</i>	Sol
<i>Actinoplanes</i>	Sol , eau ,litière
<i>Frankia</i>	Nodule de racine
<i>Microbispora</i>	Sol
<i>Micromonospora</i>	Sol , eau
<i>Nocardia</i>	Sol , eau
<i>Rhodococcus</i>	Sol , eau , fumier , litière
<i>Sacharomonospora</i>	Matière en décomposition
<i>Streptomyces</i>	Sol , eau ; litière
<i>Streptosporangium</i>	Sol
<i>Thermomonospora</i>	Matière en décomposition et fermentation

La majorité des actinomycètes sont trouvés dans divers types de sols tels que les champs agricoles, les forêts tropicales et les grottes naturelles (**Gomes et al., 2000 ; Nakaew et al., 2009**). Certains des actinomycètes sont distribués dans les parties rhizosphériques du sol. Le terme de rhizosphère, tout d'abord utilisé par Martin et Kemp (**Hiltner, 1904**) et défini comme une zone du sol qui entoure les racines des plants. La densité de ces derniers est plus élevée dans cette zone que dans les sols dépourvus de racines (**Lynch, 1990**). Cette différence est liée à la sécrétion des petits composés organiques par les racines sous forme d'exsudats qui fournissent la nutrition et les sources d'énergie pour la croissance microbienne (**Soderberg et Baath, 1998**). On sait depuis longtemps que les exsudats contiennent des acides organiques, des acides aminés, des acides gras, des vitamines et des monomères des glucides. La composition et la quantité des exsudats racinaires varient selon les espèces végétales et les conditions abiotiques telles que la

température et l'humidité de sol (**Martin et Kemp, 1980**). Cette flore microbienne de la rhizosphère comprend principalement les bactéries, les champignons et les actinomycètes. Les interactions entre les microorganismes procaryotes et les racines des plantes peuvent avoir des effets bénéfiques, nuisibles ou neutres sur la plante en fonction du type d'interaction symbiote et les conditions de sol (**Smith et Read, 1997**).

8. Métabolisme des actinomycètes

La croissance des actinomycètes est plus lente que celle des autres bactéries ; le temps de génération moyen est d'environ 2 à 3 heures (**Larpen et Sanglier, 1989**).

Les actinomycètes se séparent en deux groupes physiologiques. Le plus important est composé de germes ayant un métabolisme oxydatif et habitant surtout le sol. Le second rassemble des bactéries fermentatives, hôtes des cavités naturelles de l'homme et des animaux (**Le minor, 1989**).

Les formes oxydatives, aérobies, sont localisées principalement dans le sol à partir duquel elles sont disséminées. L'archétype de cette catégorie est le genre *Streptomyces* (**Reponen et al., 1998**).

Les formes fermentatives, anaérobies strictes ou facultatives, sont illustrées par le genre *Actinomyces*. Ces organismes sont des saprophytes obligatoires des cavités naturelles de l'homme et des animaux supérieurs et ils ne sont jamais retrouvés dans le sol (**Mariat et Sebald, 1990**).

En général, les actinomycètes sont des bactéries chimoorganotrophes utilisant une grande variété de sources de carbone et d'énergie, y compris les bios polymères complexes (chitine, cellulose, lignine), mais plusieurs espèces sont capables aussi de croissance chimioautotrophe utilisant l'oxydation de l'hydrogène comme source d'énergie et le gaz carbonique comme source de carbone (**Mariat et Sebald, 1990**).

9. les bactéries promotrices de la croissance des plantes

9.1. Propriétés générales des PGPR

D'après **Kloepper *et al.*, (1989)**, les rhizobactéries stimulatrices de la croissance végétale ou en anglais (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR) sont des rhizobactéries bénéfiques pour les plantes. Elles doivent être compétitives aux autres communautés microbiennes rhizosphériques (**Antoun et Prévost, 2005**).

Ces rhizobactéries colonisent la rhizosphère en utilisant les exsudats racinaires comme substrats nutritifs. A la différence des autres bactéries rhizosphériques, elles ont, en retour, un effet bénéfique sur la plante *via* une multitude de mécanismes (**Vacheron *et al.*, 2013**).

Par leur action enzymatique, elles solubilisent les éléments nutritifs présents dans les réserves organiques et minérales du sol tels que : le phosphate, l'azote et le fer, et les mettent à la disposition de la plante sous forme d'ions minéraux assimilables, à des taux qui correspondent à ses besoins, et ce, aux différents stades de sa croissance.

9.2. Quelques bactéries PGPR

9.2.1. Les bactéries du genre *Azospirillum*.

Plusieurs souches d'*Azospirillum* ont montré des effets bénéfiques sur la croissance des plantes et sur le rendement des cultures, en serre ou dans des essais au champ, sous divers sols et diverses conditions climatiques, et sont donc qualifiées de Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR). Elles peuvent établir une symbiose associative avec les céréales (**Bashan *et al.*, 2004**).

Les espèces du genre *Azospirillum* décrites dans la famille de Rhodospirillaceae sont considérées comme promoteurs de la croissance des plantes, en plus elles se reproduisent sous forme de cellules libres dans le sol ou associées aux racines, tiges, feuilles et graines principalement des céréales et des graminées fourragères (**Baldani *et al.*, 2005**).

9.2.2. Les bactéries du genre *Pseudomonas*

Les *Pseudomonas* appartiennent au phylum des *Proteobacteria*, classe des Gamma proteobacteria, ordre des Pseudomonales. Ce sont des bacilles à Gram négatif, droits et fins, aux extrémités arrondies, d'une taille moyenne de 2 sur 0,5 μm (**Palleroni, 1984**).

Ces bactéries sont mobiles grâce à une ciliature polaire monotriche, lophotriche ou multitriche, elles sont capables d'utiliser de nombreux substrats hydrocarbonés comme

sources de carbone et d'énergie. Les *Pseudomonas* ont une capacité élevée à coloniser la rhizosphère ainsi que les racines des plantes, elles sont capables de former des associations intimes avec leurs hôtes (**Höfte et de Vos, 2006**), ce qui réduit le nombre de sites habitables pour les microorganismes pathogènes et par conséquent, leur croissance (**Reyes et al., 2004**).

9.2.3. Les bactéries du genre *Rhizobium*

Les rhizobiums, ou rhizobia, sont des bactéries aérobies du sol appartenant à la famille des Rhizobiaceae (**Sahgal et Johri, 2006**).

Ces bactéries sont capables d'établir une symbiose fixatrice d'azote avec des plantes de la famille des légumineuses. Cette symbiose se traduit par la formation sur les racines de la plante hôte des nodules (nodosités). Les nodosités sont le lieu d'une activité symbiotique : la plante fournit les substances carbonées aux bactéries, et les bactéries fournissent à la plante les substances azotées synthétisées à partir de l'azote atmosphérique (**Downie, 2005**).

Le processus de la fixation symbiotique d'azote aide la plante à survivre et à rivaliser efficacement sur les sols pauvres en azote.

Akhtar et Siddiqui, (2009) ont montré que l'inoculation par *Rhizobium* sp. entraîne une augmentation dans la croissance, le rendement et le nombre de nodules formé au niveau des racines par rapport aux plantes sans inoculation. En plus de leur activité bénéfique de fixation d'azote avec les légumineuses, les *Rhizobium* peuvent améliorer la nutrition des plantes par la mobilisation du phosphate organiques et inorganiques (**Benmati, 2014**).

9.2.4. Les bactéries du genre *Bacillus*

C'est le genre le plus abondant dans la rhizosphère, l'activité PGPR de certaines de ces souches a été connue depuis plusieurs années (**Probanza et al., 2002**). Elles sont potentiellement utiles comme agents de lutte biologique (**Nagórska et al., 2007**) et capables de solubiliser le phosphate, produire de l'AIA, sidérophore et antifongique (**Charest et al., 2005**).

9.2.5. L'actinomycète *Frankia*

Le microsymbiote *Frankia* est une bactérie Gram-positive filamenteuse, et non un champignon comme le pensaient les microscopistes du XIXe siècle. Il s'agit plus précisément d'un actinomycète en raison de ses caractéristiques morphologiques et biochimique (**Duhoux**

et Nicole, 2004). Contrairement aux bactéries fixatrices d'azote comme les *Rhizobium*, *Frankia* peut fixer l'azote atmosphérique à l'état libre (Pawlowski et Sprent, 2008). Elle a été détectée dans des sols dépourvus de plantes actinorhizienne (Wall, 2000).

Les plantes susceptibles d'établir une symbiose fixatrice d'azote avec l'actinomycète du sol *Frankia* sont appelées plantes actinorhizienne, non légumineuses (Hoher *et al.*, 2010). La symbiose actinorhizienne est comparable à la symbiose rhizobienne sur un certain nombre de niveaux, notamment dans la fixation de l'azote (Bélanger *et al.*, 2011).

10. Mode d'action des PGPR

Les PGPR sont divisées en deux groupes, pouvant améliorer la croissance de la plante de façon directe en stimulant sa croissance et/ou indirecte en la protégeant contre des infections causées par des agents phytopathogènes (Hamoum, 2017).

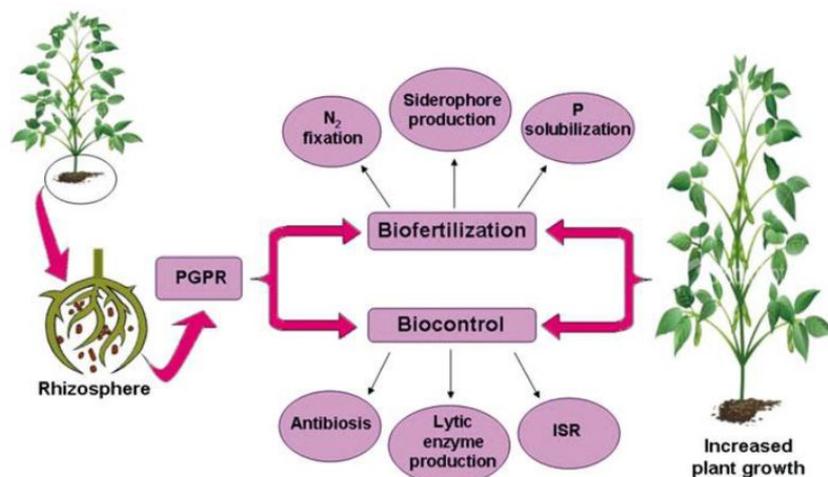


Figure 3 : Promotion de la croissance des plantes par les PGPR (Khan *et al.*, 2009).

10.1. Effets directs

10.1.1. La fixation de l'azote atmosphérique

La majeure partie de cet élément se trouve sous forme d'azote gazeux (N₂) inaccessible aux animaux et aux plantes (Pujic et Normand, 2009). Les PGPR qui ont la capacité de fixer l'azote peuvent, à l'aide de la nitrogénase, catalyser la réduction enzymatique de l'azote atmosphérique en ammoniac (Pedraza, 2008). Cette fixation biologique, relève uniquement du domaine des procaryotes. Elle offre une source non polluante d'azote et pourrait améliorer la production agricole tout en diminuant l'utilisation des fertilisants chimiques (Roesch *et al.*, 2008).

10.1.2. La solubilisation des phosphates

Après l'azote, le phosphore est l'élément le plus limitant pour les plantes. Les plantes sont capables d'absorber uniquement les formes solubles mono et dibasiques (H_2PO_4^- et HPO_4^{2-}) (Keneni *et al.*, 2010). Le phosphore joue un rôle essentiel dans le transfert de l'énergie nécessaire à la croissance et à l'amélioration de la productivité des plantes. C'est un élément indispensable et irremplaçable pour les besoins vitaux des plantes (Keneni *et al.*, 2010).

Plusieurs rhizobactéries promotrices de la croissance telles que les *Rhizobia*, les *Pseudomonas* et les *Bacillus*, ont été décrites comme étant des bactéries solubilisatrices du phosphate (BSP) (Igual *et al.*, 2001).

10.1.3. La production des sidérophores

Pour assurer la croissance microbienne, les microorganismes du sol sécrètent des molécules de faible poids moléculaire (400 à 1000 Daltons) appelés sidérophores qui se lient avec le Fe^{+3} avec une très forte affinité (Castignetti et Smarrelli, 1986). Ils transportent ensuite ces complexes vers la cellule microbienne où il est reconnu par des récepteurs membranaires situés sur la membrane externe de la bactérie qui seront utilisés durant la croissance microbienne (Neilands et Leong, 1986).

Les sidérophores de bactéries rhizosphériques peuvent influencer directement l'alimentation de la plante en fer, comme ils peuvent le rendre ainsi non disponible pour les champignons phytopathogènes (O'sullivan et O'gara, 1992). Un certain nombre de plantes ont des mécanismes pour lier le complexe fer-Sidérophore bactérien, le transporter à travers la plante puis le libérer sous sa forme réduite utilisable (Bar-Ness *et al.*, 1992 ; Wang *et al.*, 1993).

10.3.4. Stimulation de la croissance végétale

Les PGPR peuvent stimuler la croissance végétale par le biais de la production de signaux chimiques ou de phytohormones telles que les auxines, cytokinines et gibbérellines (Lambrecht *et al.*, 2000 ; Shishido *et al.*, 1996).

10.2. Effets indirects

Les PGPR du deuxième groupe ont un effet de biocontrôle, où elles ne stimulent pas directement le métabolisme de la plante. Par contre, elles influencent indirectement la croissance de celle-ci par la prévention des effets causés par des phytopathogènes tels des

bactéries, des mycètes, des nématodes et des virus (**De-Bashan *et al.*, 2008**), il comprend plusieurs stratégies.

10.2.1. L'antibiose

L'antibiose est une activité antagoniste provoquée par des antibiotiques. Elle résulte de l'activité de composants toxiques pour le pathogène (tel les phénazines ou le 2,4-diacetyl phloroglucinol) synthétisés par les populations microbiennes antagonistes. En outre, certaines souches de PGPR ont la capacité à dégrader les parois cellulaires fongiques à travers la production d'enzymes hydrolytiques tels exo- et endo-polygalacturonases, pectinolyases, cellulases et chitinases (**Whipps, 2001**). D'autre part, certains composés volatils (comme l'HCN) émis par les PGPR ont des effets antibiotiques et jouent un rôle dans la protection de la plante hôte (**Voisard *et al.*, 1989**).

2.2.2. Résistance Systémique Induite (ISR)

La reconnaissance par la plante de certaines bactéries de la rhizosphère peut conduire à une réaction d'immunisation lui permettant de mieux se défendre vis-à-vis d'une attaque ultérieure par un organisme pathogène. Utilisé en combinaison avec d'autres approches phytosanitaires, ce phénomène d'induction de résistance systémique (ISR) par les rhizobactéries est considéré comme une stratégie prometteuse dans la lutte biologique contre les maladies des cultures (**Emmanuel *et al.*, 2008**).

11. le sol

Le sol est le milieu meuble où s'ancrent les racines et dans lequel puisent l'eau et les éléments minéraux nécessaires à la croissance et au développement des végétaux. Ce n'est qu'une infime pellicule à la surface de la croûte terrestre, former au cours des temps géologiques par une lente transformation des roches mères initiales sous l'effet de phénomènes physiques, chimiques et biologiques dont l'action se poursuit de nos jours (**Le Clech, 2000**).

Le sol est un complexe dynamique, caractérisé par une atmosphère interne, une économie de l'eau particulière, une flore et une faune déterminées, des éléments minéraux. Mais le sol est aussi un milieu dynamique car ses propriétés s'acquièrent progressivement sous l'action combinée des facteurs du milieu (**Dechaufour, 1979**). Le sol est un milieu minéral poreux, gaz et liquide peuvent y circuler. On y distinguera donc, trois compartiments physiques : un compartiment solide, un compartiment liquide et un compartiment gazeux.

Mais le sol n'est pas seulement un substrat physico-chimique, c'est aussi un support de vie, créatrice de matière organique. Aux tris fractions précédentes il nous faudra donc ajouter pour décrire le sol un compartiment organique vivant, métabolique actif, de la matière organique morte (Davet, 1996)

11.1. La rhizosphère

Le terme rhizosphère a été décrit pour la première fois en 1904 par un chercheur allemand Lorenz Hiltner, est le volume de sol entourant les racines et influencé par les matériaux libérés par ces mêmes racines (figure 4). La surface des racines des plantes, ce qu'on appelle le rhizoplane (Prescott, 2007). Elle est caractérisée par une forte activité microbienne due au renouvellement des composés organiques assimilables issus des exsudats racinaires, des mucilages et des cellules épidermiques mortes.

L'interaction plante-microorganismes dans la rhizosphère est un processus clé qui joue un rôle primordial dans le recyclage du carbone dans la rhizosphère et notamment dans la croissance et la santé des plantes (Govaert *et al.*, 2010).

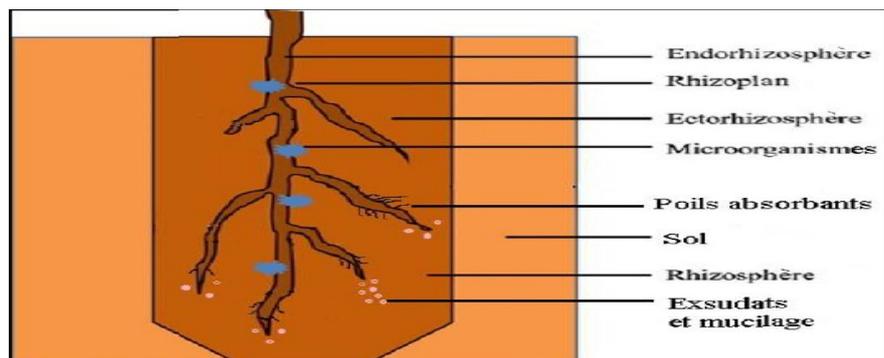


Figure 4 : Diagramme d'une racine et structure de la rhizosphère (D'après Seshadri *et al.*, 2015).

11.2. Activité microbiologique de la rhizosphère

La rhizosphère est la zone du sol située près des racines et caractérisée par une activité microbiologique intense. C'est un environnement écologique dynamique où les microorganismes et les plantes interagissent pour l'exploitation des micronutriments et macronutriments du sol présent en quantité limitée (Gholami *et al.*, 2012). C'est également un environnement caractérisé par un volume très élevé de substances racinaires favorisant une grande population microbienne (Miransari, 2011). Cette population originaire des grains et du sol environnant est habituellement distribuée à une distance de 50 μm des racines de la plante, dont une concentration de plus de 10^9 à 10^{12} microorganismes par gramme de sol niche dans les 10 premiers μm (Miransari, 2011). La microflore du sol est composée de différents

types de microorganismes tels plusieurs genres bactériens fixateurs d'azote et des mycorhizes. Ceux-ci peuvent stimuler la croissance par l'apport d'éléments nutritifs et de protection des pathogènes environnants (**Amarger, 2002**).

Plus précisément, la rhizosphère est compartimentée en trois grandes composantes qui interagissent ensemble : la rhizosphère sol, la rhizoplane et les racines (**Barea et al., 2005**). La rhizosphère sol est la zone du sol influencée par les racines due à la libération de substrats qui influence l'activité microbiologique (**Barea et al., 2005**).

11.3. Interaction plante-sol

Le sol est le biomatériau le plus complexe de la planète (**Young et Crawford, 2004**). Il est le support de la vie terrestre et un réservoir de matières organiques et minérales, et représente un carrefour multifonctionnel, contrôleur et révélateur de nombreux processus écologiques. Il renferme un habitat à diversité très élevée, conditionnées par ses propriétés tels que : la texture, la structure, la micromorphologie, la porosité, le régime hydrique et la température. Avec son organisation systémique interne, le sol régule les échanges et les flux des écosystèmes et met en place des systèmes d'épuration et de transformation de matières (**Gobat et al., 2010**).

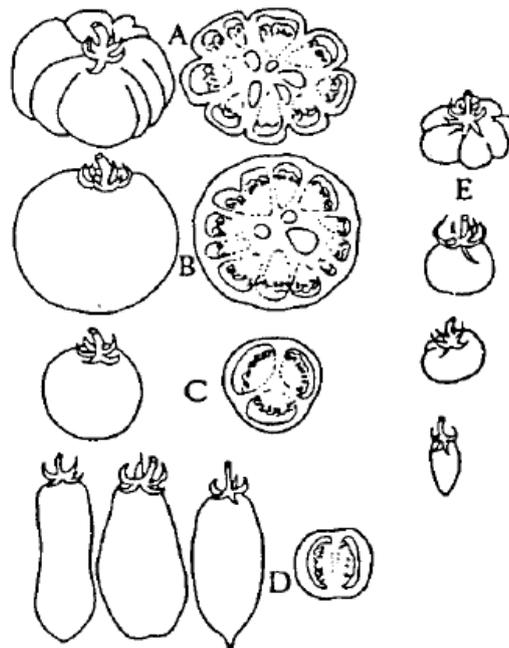
Pour les végétaux, le sol joue le rôle d'un « berceau » où ils puisent les ressources indispensables à leur croissance et leur prospérité (**Balesdente et al., 2015**). Il y a 2000 ans, **Aristote** croyait que les plantes ne se formaient qu'à partir des éléments du sol : quand une plante pousse, c'est la terre, en quelque sorte, qui se transforme en matière végétale. Son hypothèse a été réfutée par **Vont Helmont** puis par **Hales** et **Theodore de Saussure** qui ont démontré les rôles que jouent les facteurs essentiels comme ; l'eau et le gaz carbonique (**Bourbonnais, 2010**). Mais l'hypothèse d'**Aristote** reste proche de la réalité ; même si l'homme a appris à développer des plantes hors sol malgré l'organisation trophique double des végétaux : la partie aérienne renferme les organes autotrophes alors que la souterraine est entièrement hétérotrophes, il faut insister sur le fait que les associations « sol-plante » constituent le fondement de tous nos écosystèmes fonctionnels. Ainsi, pour une plante, l'ensemble des constituants minéraux et organiques des sols, ainsi que les organismes morts et vivants qu'il recèle, permet, grâce à sa structure meuble et ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, un développement normal des racines des végétaux.

12. la tomate

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est devenue un des légumes les plus importants du monde. La tomate est originaire des Andes d'Amérique du Sud. Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe en 1544. De là, sa culture s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et en Moyen Orient. Plus récemment, la tomate sauvage a été introduite dans d'autres régions de l'Amérique du Sud et au Mexique (**Barbara Van Dam *et al.*, 1989**).

La tomate appartient à la famille des Solanaceae. Cette famille regroupe d'autres espèces qui sont également bien connues, telles que la pomme de terre, le tabac, le poivron et l'aubergine.

La tomate (**figure 5**) est une plante annuelle, qui peut atteindre une hauteur de plus de deux mètres. Cependant, en Amérique du Sud, il est possible de récolter d'une même plante pendant plusieurs années d'affilée (**Barbara Van Dam *et al.*, 1989**).



A : cultivar hâtif aux fruits aplatis et côtelés
B : cultivar tardif aux grands fruits
C : cultivar anglo-néerlandais
D : cultivar aux fruits allongés
E : différents cultivars de la tomate cerise

Figure 5 : les différentes formes de la tomate (Barbara Van Dam *et al.*, 1989).

12.1. Description botanique de la tomate

12.1.1. Le système racinaire

Chez la tomate, le système racinaire est très puissant. Il est ramifié sur les trente premiers centimètres. Les racines sont très nombreuses. On dit que ce système racinaire est pivotant (<http://culture.tomate.free.fr/description.php>).

12.1.2. La tige

Elle est poilue, épaisse aux entre-nœuds. On trouve deux sortes de poils sur la tige et les feuilles : des poils simples et des poils glanduleux qui contiennent une huile essentielle, qui donne l'odeur de la tomate et la coloration verte.

12.1.3. Les feuilles

Indispensables pour la photosynthèse. Elles sont persistantes. Les vieilles feuilles perdent leur pouvoir photosynthétique et deviennent même nuisibles pour la plante, responsables du retard de croissance des fruits. Les professionnels les coupent, ce qui est problématique en main-d'œuvre puisque cette opération doit se renouveler toutes les semaines (feuilles au-dessus des prochains fruits à récolter). Les feuilles sont composées, de 5 à 7 folioles et sont alternes sur la tige.

12.1.4. La graine

La graine est petite (250 à 350 graines par gramme) et poilue ; sa germination est épigée. Après le stade cotylédonaire, la plante produit 7 à 14 feuilles composées avant de fleurir.

12.1.5. La fleur

La fleur est hermaphrodite. Le pistil est entouré d'un cône de 5 à 7 étamines à déhiscence introrse et longitudinale. Les fleurs, à corolles soudées en forme d'étoile à cinq pointes sont jaune vif. Elles sont réunies en cymes et s'épanouissent de fin mai à septembre.

- Chez les variétés à port indéterminé, chaque bouquet floral est séparé par 3 feuilles et la plante peut croître ainsi indéfiniment.

- Chez les variétés à port déterminé, les inflorescences sont séparées par deux feuilles, puis une feuille, avant de se retrouver en position terminale sur la tige.

D'un point de vue anatomique, la fleur de la tomate comprend 5 sépales, 5 pétales, 5 étamines et 2 carpelles.

12.1.6. Le fruit

Les fruits charnus sont des baies à 2 ou 3 loges, à graines très nombreuses, de taille, de forme et de couleur très variées :

- le poids va de quelques grammes (tomate groseille) à près de 2 kg ;
- la forme est généralement sphérique, plus ou moins aplatie, plus ou moins côtelée, mais il en existe en forme de cœur ou de poire ;
- la couleur, d'abord verte, vire généralement au rouge à maturité, mais il en existe des blanches, des jaunes, des noires, des roses, des vertes, des violettes, des oranges et des bicolors

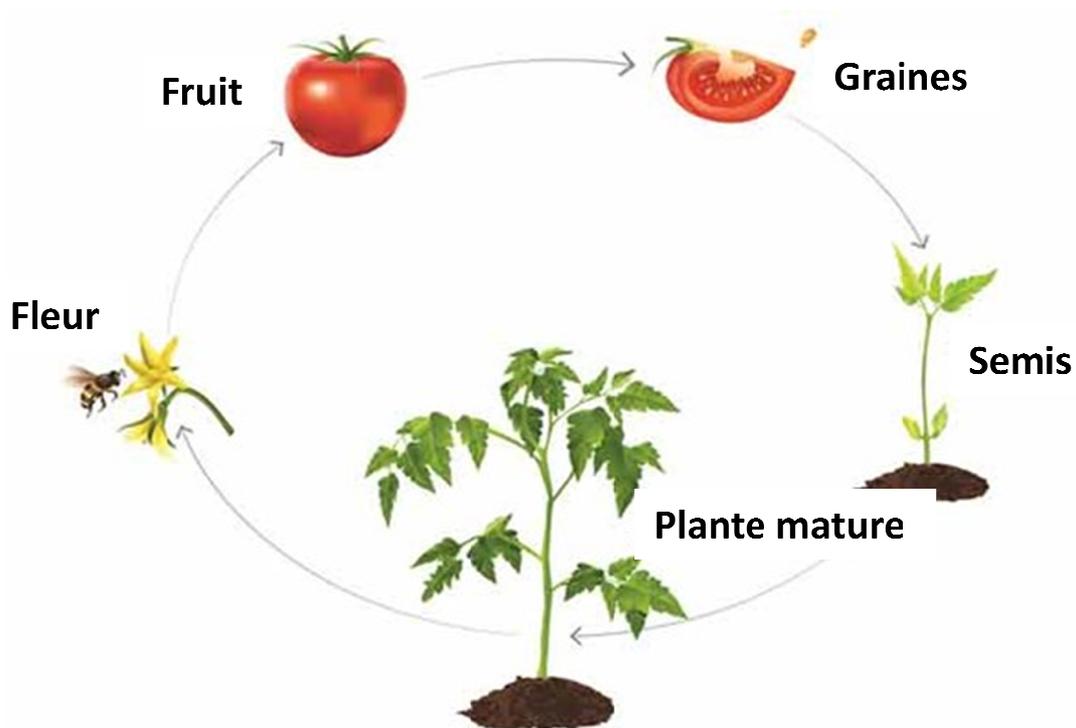


Figure 6 : cycle de vie de la tomate.

12.2. Classification

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : *Lycopersicon*

Espèce : *Lycopersicon esculentum* Mill.

12.3. Conditions à satisfaire pour garantir une bonne culture

12.3.1. Le climat

12.3.1.1. La température et la lumière

La tomate demande un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité. Cependant, la plante s'est adaptée à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide. La température optimale pour la plupart des variétés se situe 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 des plantes seront endommagés.

La tomate réagit aux variations de température qui ont lieu pendant le cycle de croissance (**tableau 4**). Pour donner quelques exemples, cela affecte la germination des graines, la croissance des semis, la floraison, la mise à fruits ainsi que la qualité des fruits. L'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles, la mise à fruits et la couleur des fruits.

Tableau 4: Température requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate.

Phases	Intervalle de température (°C)		
	Minimale	Optimale	Maximale
Germination des graines	11	16-29	34
Croissance des semis	18	21-24	32
Mise à fruits	18	20-24	30
Développement de la couleur rouge	10	20-24	30

12.3.1.2. L'humidité

L'humidité de l'air est exprimée le plus souvent en humidité relative ou en déficit de saturation. L'humidité de l'air conditionne la transpiration et l'ensemble des échanges gazeux de la plante (**Wacquant, 1995**).

Une humidité relative de l'air de 60% convient à tous les stades de développement. Elle doit être surtout respectée au moment de la floraison où l'on peut craindre, par temps sec, une mauvaise réceptivité des stigmates et par hygrométrie excessive, une dissémination insuffisante du pollen (**Chaux, 1971**).

12.3.2. Le sol

La tomate est une culture modérément tolérante à une grande variation de pH de 6,5-7 est préféré bien que les plantes de tomate poussent biens dans des sols plus acides avec un apport nutritif en proportions équilibrées. La culture tolère des salinités jusqu'à 2-3 milli mho per centimètre (mmho/cm). La tomate est sensible au froid, exigeante en températures, et redoute les gelées et les vents chauds. Pour minimiser les dégâts liés aux gelées accidentelles, il est conseillé de faire une irrigation le soir. Les températures optimales de la croissance sont de 20-25°C le jour, 13-17°C la nuit et 14-18 °C au niveau du sol. Le système racinaire de la tomate est relativement superficiel environ 70% du volume racinaire est situé dans les premiers 20cm du profil du sol.

1. Origines des actinomycètes

Les huit souches d'actinomycètes faisant l'objectif de cette étude ont été aimablement fournies par la Docteur Gasmi Meriem. Ces souches ont été isolées à partir du sol de la région de Laghouat.

2. Revivification des souches d'actinomycètes

Les actinomycètes conservés dans des tubes Eppendorf à -18 °C ont été cultivées sur le milieu ISP2 à 30°C pendant 7 jours, en utilisant la technique des stries serrés dans des conditions d'asepsie.

3. Sélection

Parmi les huit souches d'actinomycètes revivifiées on a sélectionné une seule souche où on a observé une forte abondance de colonies. La souche choisie a été repiquée et ensemencée sur différents milieux de cultures (ISP1, ISP4 et ISP5) par la méthode des stries serrés puis les boîtes sont incubées à 30°C pendant 21 jours.

4. Etude morphologique

4.1. Caractères macroscopique

L'étude des caractères macroscopiques consiste en l'observation des colonies bactériennes, à l'œil nu.

Cette étude consiste à déterminer la forme, la taille, l'aspect des colonies, la couleur des mycéliums aériens (MA) et de substrat (MS), la sporulation et l'abondance de la croissance sur les milieux ISP1, ISP2, ISP4, ISP5 (**annexe n° 1**). Les observations sont effectuées après 7, 15 et 21 jours d'incubation.

4.2. Caractères microscopique

La culture sur lamelle permet une observation de mycélium aérien et de substrat des isolats sans altérer leurs structures et leurs morphologies. Elle consiste à insérer délicatement une lamelle stérile dans le milieu ISP4 et ISP5, de manière à former un angle de 45° avec la surface de la gélose. Une goutte d'inoculum est déposée contre la lamelle en contact avec le milieu (**Figure 7**). Après 7,15 et 21 jours d'incubation à 30 °C, les lamelles sont retirées délicatement, pour éviter la dénaturation de mycélium aérien et de substrat. Elles sont ensuite placées sur une lame contenant une goutte de lactophénole. L'observation microscopique est réalisée à l'aide d'un microscope optique GX40 et G X100, avec l'utilisation de quelques gouttes d'huile d'immersion (**Shirling et Gottlieb, 1966 ; Williams et Cross, 1971**)

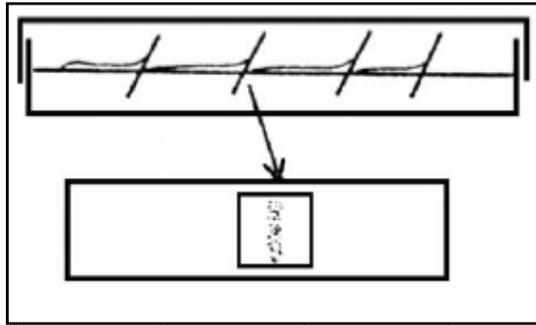


Figure 7 : la technique de culture sur lamelles.

5. Effets de *Streptomyces* sp. (S2) sur les graines de tomate

5.1. Préparation de la suspension sporale

La souche actinomycète est cultivée à 30°C jusqu'à sporulation sur le milieu de culture ISP 4. Les spores sont récupérées dans de l'eau distillée à l'aide d'une seringue stérile et éliminer les filaments et ajustées à un DO de 0,8 à une longueur d'onde de 620 nm.

5.2. La stérilisation des graines de tomates

Pour avoir une germination maximale des graines, ces derniers ont été mis dans de l'eau de robinet pendant 24 heures, ensuite elles ont subis une stérilisation. Les graines de tomates sont stérilisées en surface avec une solution d'hypochlorite de sodium (2%) pendant 30min et rincées plusieurs fois à l'eau distillée stérile pour éliminer les traces d'hypochlorite de sodium.



Figure 8 : la stérilisation des graines de tomate avec l'hypochlorite de sodium (2%).

5.3. La germination des graines de tomates

Pour démontrer l'action directe et l'effet PGPR de l'isolat *Streptomyces* sp. (S2) dans l'incitation et l'accélération de la croissance des plantes, un traitement des graines de tomate est réalisé, ce dernier consiste à mettre les graines dans des boîtes de Pétri contenant 4 ml d'eau distillée stérile et d'autres contenant 4 ml de suspension sporale pendant 48 h à l'obscurité.

6. Culture des graines dans le sol

6.1. Prélèvement d'échantillon de sol

Le prélèvement du sol a été effectué le 12-04-2018 à partir de sol de la région de **Constantine à Chaab Erssas**. Le prélèvement de sol a été effectué à l'aide d'une grande spatule, les cinq premiers centimètres de la couche superficielle du sol sont écartés, nous avons prélevé alors avec une petite spatule dans la couche sous-jacente (entre 5 à 20cm de profondeur) entre 500g et 1000 g de sol qui sont placés dans une boîte soigneusement fermée et transporté au laboratoire (**Kitouni, 2007**).



Figure 9 : Prélèvement de sol de Chaab Erssas.

6.2. Prétraitement d'échantillon de sol

Les gros débris sont écartés (pierre, racine, etc.) et environ 123 grammes sont placés dans chaque flacon stérile. Tous les échantillons de sol sont alors stérilisés par autoclavage pendant 20 minutes à 120 °C.

6.3. Semis des graines de tomate dans le sol

Dans des pots en plastique ($\Phi=10\text{cm}$) dont la surface interne est désinfectée avec de l'éthanol à 70% sont remplis de 123g de sol stérile par autoclavage et aussi des pots remplis par le sol naturel.

Les pots sont ensuite divisés en 2 groupes et chaque groupe est subdivisé en 2 sous-groupes. Les 2 sous-groupes indiquent le type de traitement :

- **Témoin (Contrôle) : sol naturel + graines non inoculées.**

Sol stérile + graines non inoculées.

- **S2 (Contrôle) : sol naturel + graines inoculées par la souche d'actinomycètes.**

Sol stérile + graines inoculées par la souche d'actinomycètes.

Les graines de tomate sont semées (quatre graine par pot) à une profondeur de 1cm de la surface. L'expérience est répétée 3 fois. Les pots sont recouverts par un papier film percé (pour l'aération) et placés près de la fenêtre. Elle a été conduite pendant 30 jours.



Figure 10 : culture des graines de tomate dans les pots.

L'humidité du sol est ajustée et maintenue constante durant l'expérience par arrosage avec de l'eau distillée stérile et la suspension sporale trois fois par semaine.

7. Effet PGPR de *Streptomyces* sp. (S2)

7.1. Analyse des caractères morphologique des plantules

Après 30 jours les longueurs des parties aériennes et racinaires sont mesurées, ainsi que le développement des ramifications racinaires. Le poids frais et sec des feuilles est déterminé.

7.2. Dosage de la chlorophylle

Les chlorophylles a et b sont déterminées selon la méthode de Arnon (**Arnon, 1949**). 0,5g des feuilles de chaque échantillon sont découpées en petits segments (0,5cm) et homogénéisés dans 10ml d'acétone à 80% et conservés à -10°C pendant une nuit. L'extrait organique est centrifugé à 14000rpm/ 5mn et l'absorbance du surnageant est mesurée à 663 et 645 nm pour déterminer la chlorophylle a et la chlorophylle b respectivement.

$$\text{CH a (mg/l)} = 12,41 \text{ DO (663)} - 2,59 \text{ DO(645)}.$$

$$\text{CH b (mg/l)} = 22,9 \text{ DO(645)} - 4,68 \text{ DO(663)}.$$

$$\text{CH t} = \text{CH a} + \text{CH b} .$$

CH a: concentration en chlorophylle a.

CH b: concentration en chlorophylle b.

CH t: concentration en chlorophylle totale.

1-Etude morphologique de *Streptomyces* sp. (S2)

1-1-caractères macroscopique

Les caractéristiques culturales de l'isolat *Streptomyces* sp. (S2) sont déterminées sur différents milieux de culture : ISP1, ISP2, ISP4 et ISP5. En se basant sur l'aspect et la couleur des colonies, la croissance et la sporulation.

Les colonies de la souche S2 (**figure 11**) apparaissent après 7 jours d'incubation à 30°C sur le milieu ISP1. Elles sont rondes de petite taille à contour régulier, et de couleur blanche à surface lisse et sèche avec une croissance moyenne.

Après 15 et 21 jours d'incubation, les colonies sont bien développées, d'une couleur blanche entourées par un halo beige avec une production d'une masse sporale de couleur blanche (**tableau 5**).

Tableau 5: Les caractères culturaux de *Streptomyces* sp. (S2) sur le milieu ISP1 après 7, 15 et 21 jours d'incubation.

Durée d'incubation	Aspect	Couleur	Sporulation	Abondance
7 jours	Lisse et sèche	Blanche	+	++
15 jours	Lisse et sèche	Blanche entourées par un halo beige	-	+++
21 jours	Lisse et sèche	Blanche entourées par un halo beige	+	+++

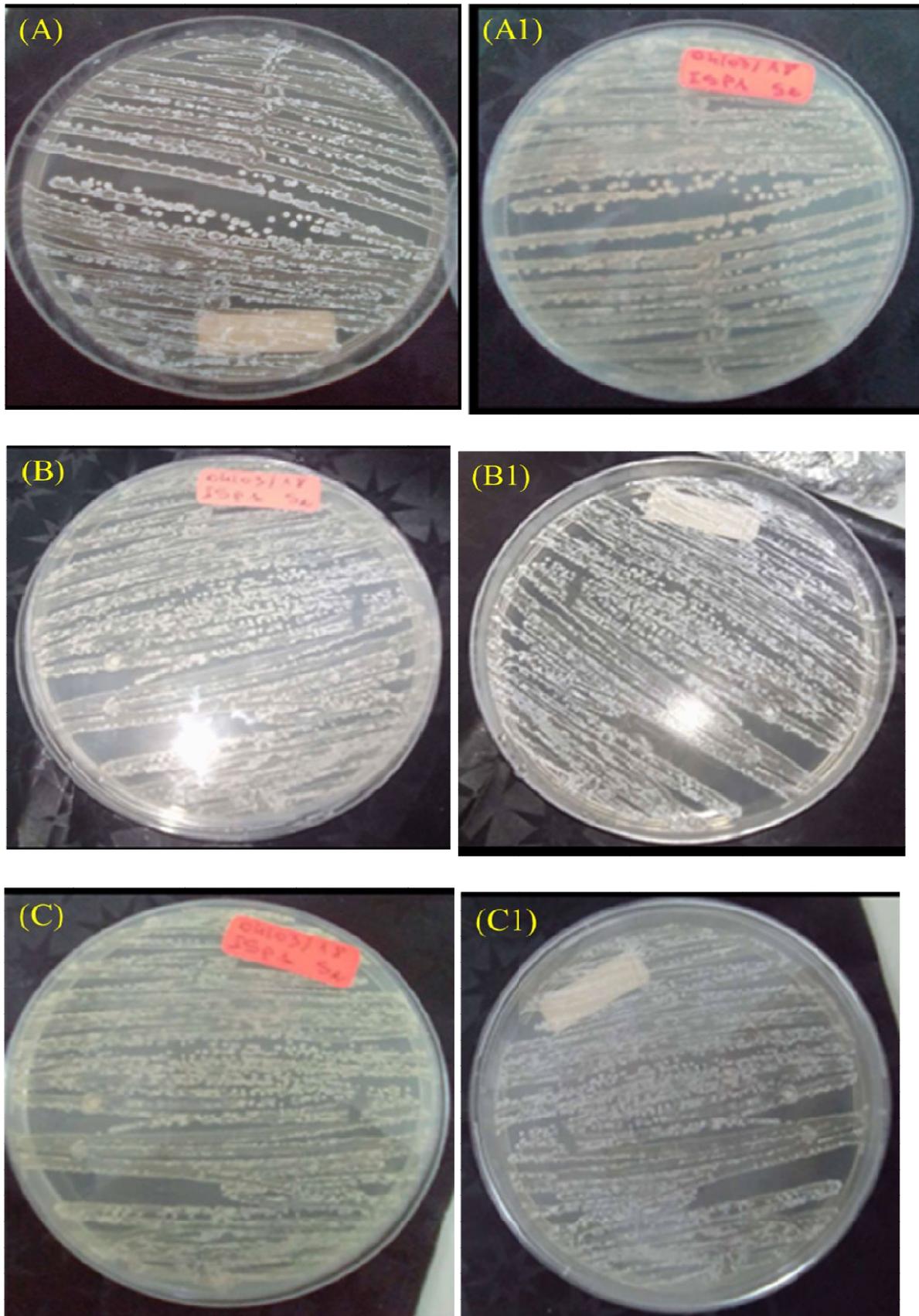


Figure 11 : Photographies des cultures de la souche *Streptomyces* sp. (S2) sur le milieu ISP1 après 7 jours (A, A1) 15 jours (B, B2) et 21 jours (C, C1) d'incubation à 30°C.

Sur le milieu ISP 2 et après 7 jours d'incubation les colonies de *Streptomyces* sp. (S2) apparaissent sous forme ronde bombée et lisse, elles sont sporulées et présentent deux couleurs : le centre est de couleur beige et le périphérique de couleur blanche avec une abondance moyenne (**figure 12**).

Après 15 et 21 jours d'incubation, les colonies deviennent crémeuses, incrustées dans la gélose. De taille moyenne et de contour régulier. La croissance est moyenne avec un virage de couleur de beige entouré d'un halo blanc à différentes couleur (blanche, jaune, beige) sans halo (**tableau 6**).

Tableau 6: Les caractères cultureux de la souche *Streptomyces* sp. (S2) sur le milieu ISP2 après 7, 15 et 21 jours d'incubation.

Durée d'incubation	Aspect	Couleur	Sporulation	Abondance
7 jours	Lisse bombé	Beige entourées par un halo blanc	+	++
15 jours	Crémeuse et incrustante dans la gélose	Blanche, jaune, beige	+	++
21 jours	Crémeuse et incrustante dans la gélose	Blanche, jaune, beige	+	++

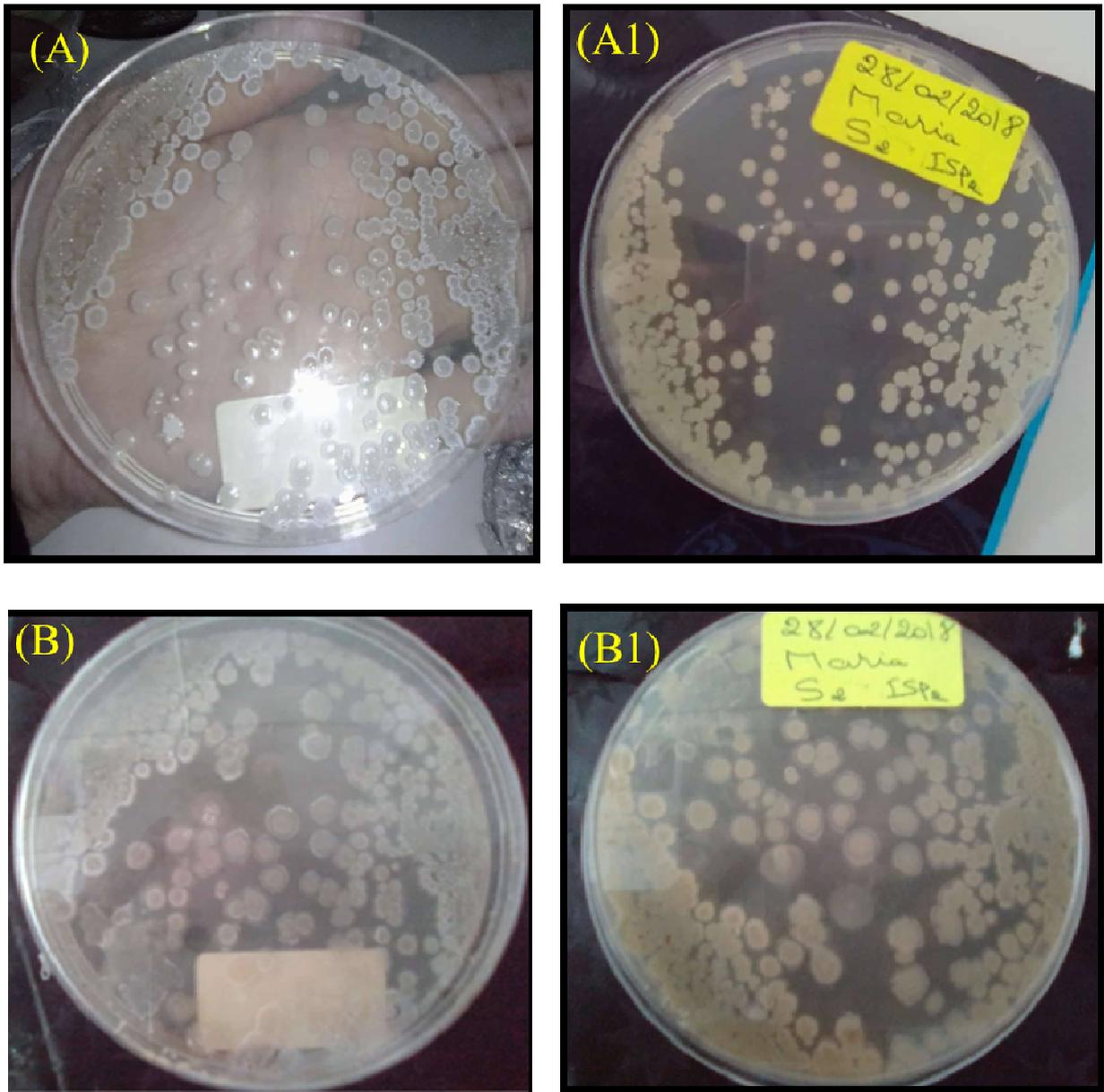


Figure 12: Photographies des cultures de la souche *Streptomyces* sp. (S2) sur le milieu ISP2 après 7 jours (A, A1), 15 et 21 jours (B, B2) d'incubation à 30°C.

Sur le milieu ISP 4, après 7 jours d'incubation les colonies obtenues sont poudreuses et sporulées, de petites tailles, rondes, bien définies, de couleur blanche et vert d'olive avec une forte abondance (**figure 13**).

Après 15 et 21 jours d'incubation on a obtenu les mêmes résultats qu'après 7 jours, mais on a observées une production d'un pigment soluble qui diffuse et colore le milieu de blanc vers le vert d'olive (**tableau 7**).

Tableau 7: Les caractères cultureux de la souche *Streptomyces* sp. (S2) sur le milieu ISP4 après 7, 15 et 21 jours d'incubation .

Durée d'incubation	Aspect	Couleur	Sporulation	Abondance
7 jours	poudreuse	Blanche, vert d'olive	+	+++
15 jours	Poudreuse	Vert d'olive avec production d'un pigment diffusible	+	++
21 jours	Poudreuse	Vert d'olive avec production d'un pigment diffusible	+	++

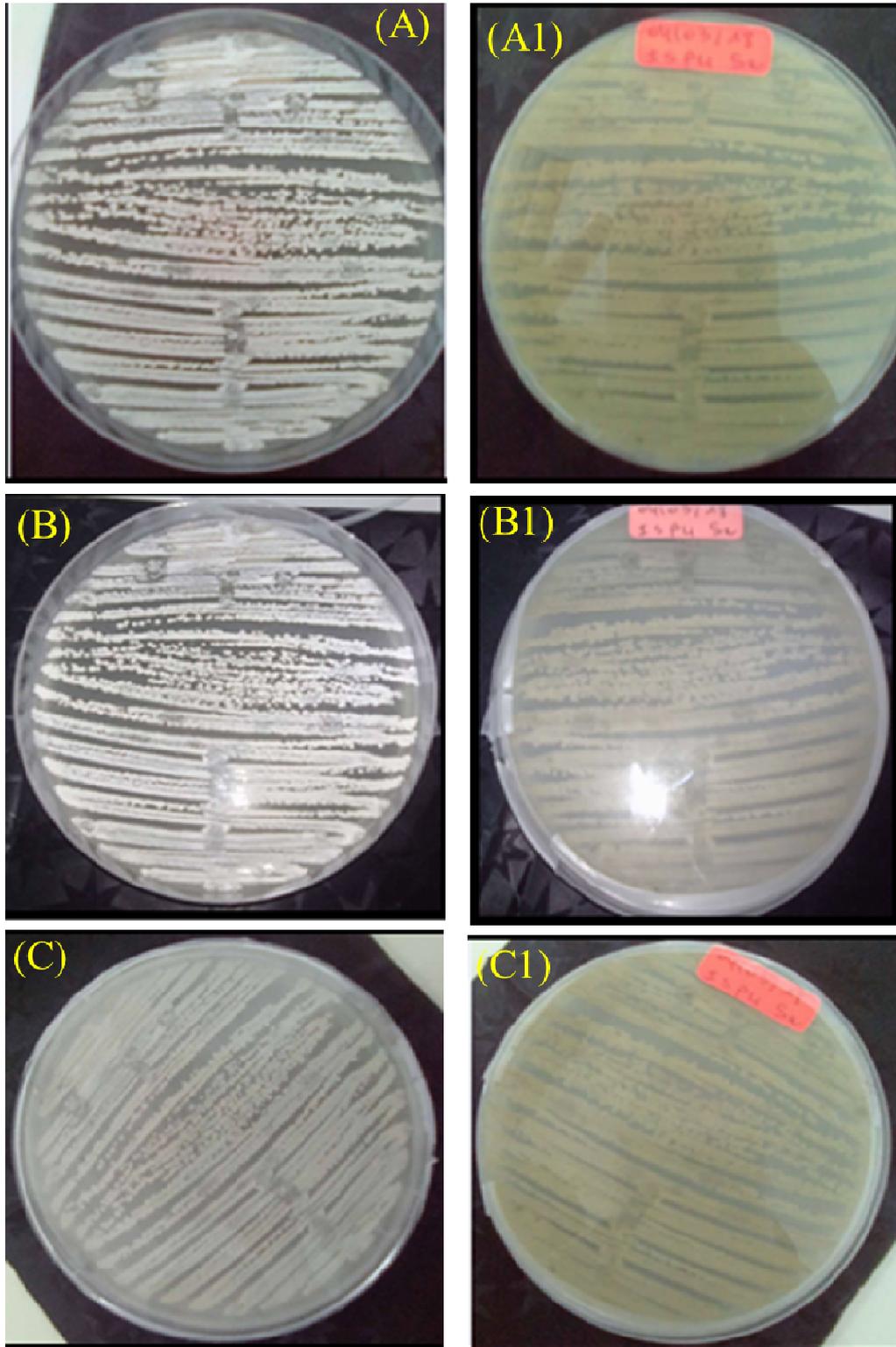


Figure 13: Photographies des cultures de la souche *Streptomyces* sp. (S2) sur le milieu ISP4 après 7 jours (A, A1) 15 jours (B, B2) et 21 jours (C ,C1) d'incubation à 30°C.

Après 7 jours d'incubation sur le milieu ISP5, les colonies de la souche *Streptomyces* sp. (S2) sont poudreuses et sporulées, de petites tailles et de couleur vert jaunâtre avec une forte abondance (**figure 14**).

Les résultats obtenus après 15 et 21 jours sont semblables aux résultats de 7 jours d'incubation, mais avec un changement de couleur de vert jaunâtre vers le vert d'olive donc il y'a une production d'un pigment soluble qui diffuse et colore le milieu (**tableau 8**).

Tableau 8: Les caractères culturaux de la souche *Streptomyces* sp. (S2) sur le milieu ISP5 après 7, 15 et 21 jours d'incubation.

Durée d'incubation	Aspect	Couleur	Sporulation	Abondance
7 jours	poudreuse	Vert jaunâtre	+	+++
15 jours	Poudreuse	Vert d'olive avec production d'un pigment diffusible	+	++
21 jours	Poudreuse	Vert d'olive avec production d'un pigment diffusible	+	++

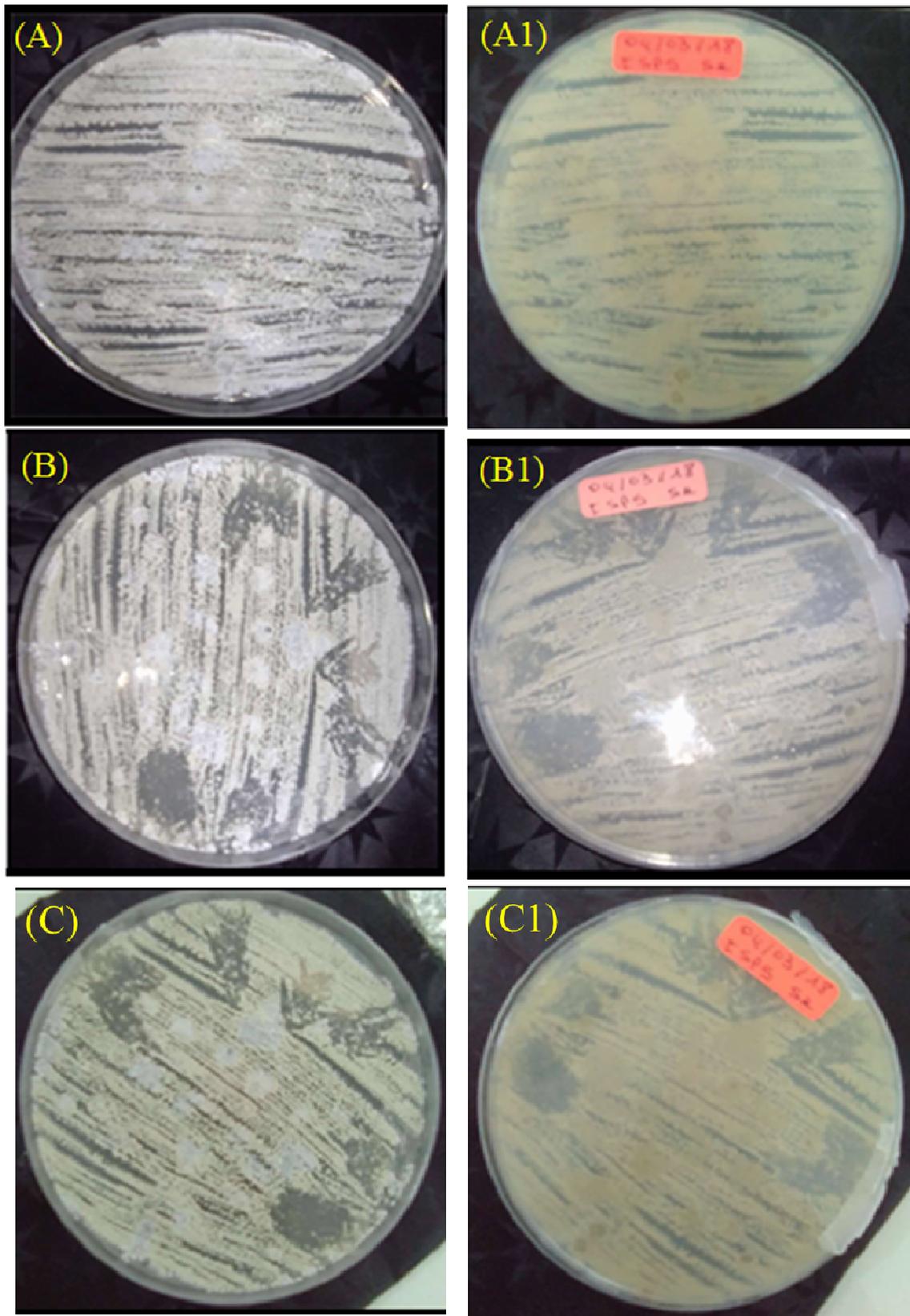


Figure 14: Photographies des cultures de la souche *Streptomyces* sp. (S2) sur le milieu ISP5 après 7 jours (A, A1) 15 jours (B, B2) et 21 jours (C, C1) d'incubation à 30°C.

1.2. Caractères microscopique

L'observation sous microscope optique de la souche *Streptomyces* sp. (S2) après 7 jours d'incubation montre que le mycélium aérien est formé de petits filaments non fragmentés et non enchevêtrés, mais il y'a quelques filaments qui se présentent sous forme sporulés.

Le mycélium de substrat apparaît sous forme d'un réseau ramifié d'hyphes fragmentés et sporulés. (**figure 5**).

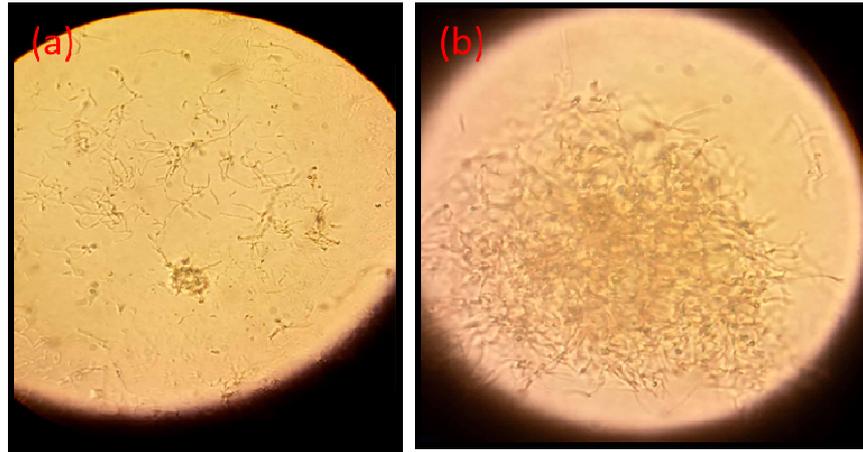


Figure 15: Observation microscopique de la souche d'actinomycètes après 7 jours d'incubation au grossissement (Gx100) (a) : mycélium aérien, (b) : mycélium se substrat.

Après 15 jours d'incubation l'aspect microscopique se caractérise par un mycélium aérien fragmenté avec une faible abondance les spores ont une forme bâtonnet, ovoïdes, en chaînette et isolées. Il supporte un mycélium secondaire abondant, sporulé, très ramifié et enchevêtré. (**Figure 16**).

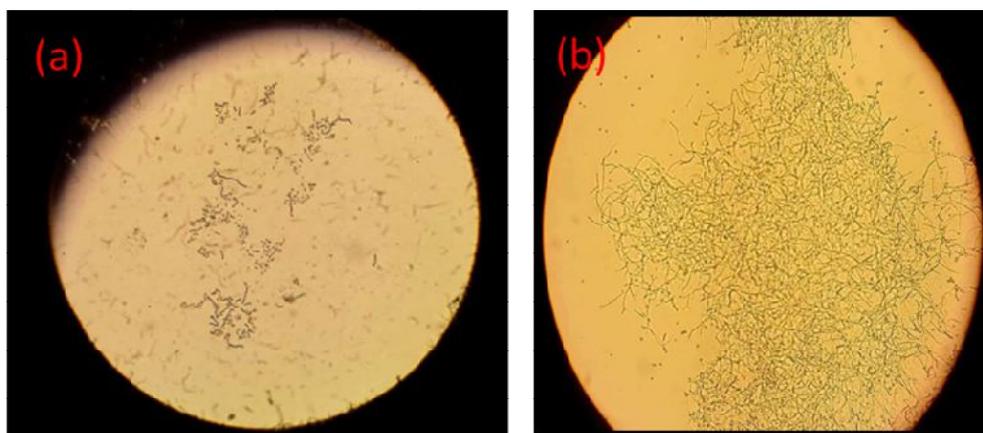


Figure 16: Observation microscopique de la souche d'actinomycète après 15 jours d'incubation au grossissement (Gx100) (a) : mycélium aérien, (b) : mycélium se substrat.

Après 21 jours d'incubation, le mycélium aérien porte des filaments fragmentés. Les spores ont une forme en bâtonnets droits ou incurvés. Le mycélium de substrat abondant, sporulé, très ramifié et enchevêtré. (**Figure 17**).

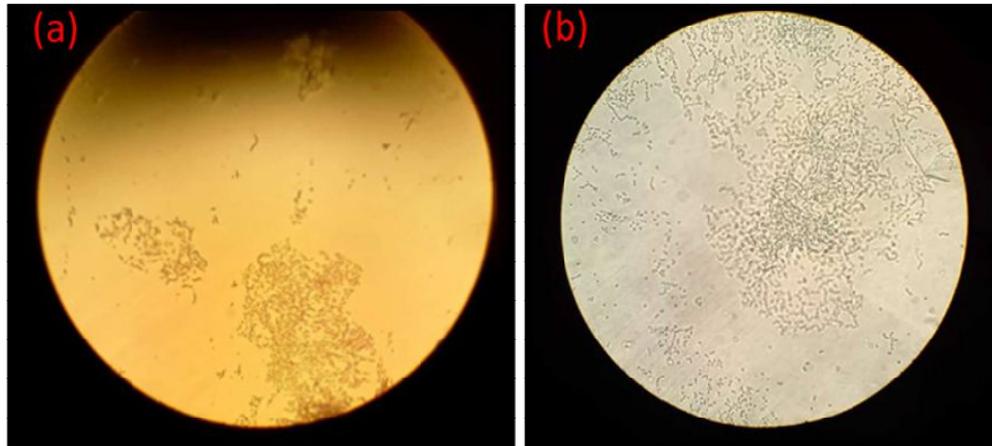


Figure 17: Observation microscopique de la souche d'actinomycète après 21 jours d'incubation au grossissement (Gx100) (a) : mycélium aérien, (b) : mycélium de substrat.

2. Effet PGPR de *Streptomyces* sp. (S2) sur la tomate *Lycopersicon esculentum* Mill.

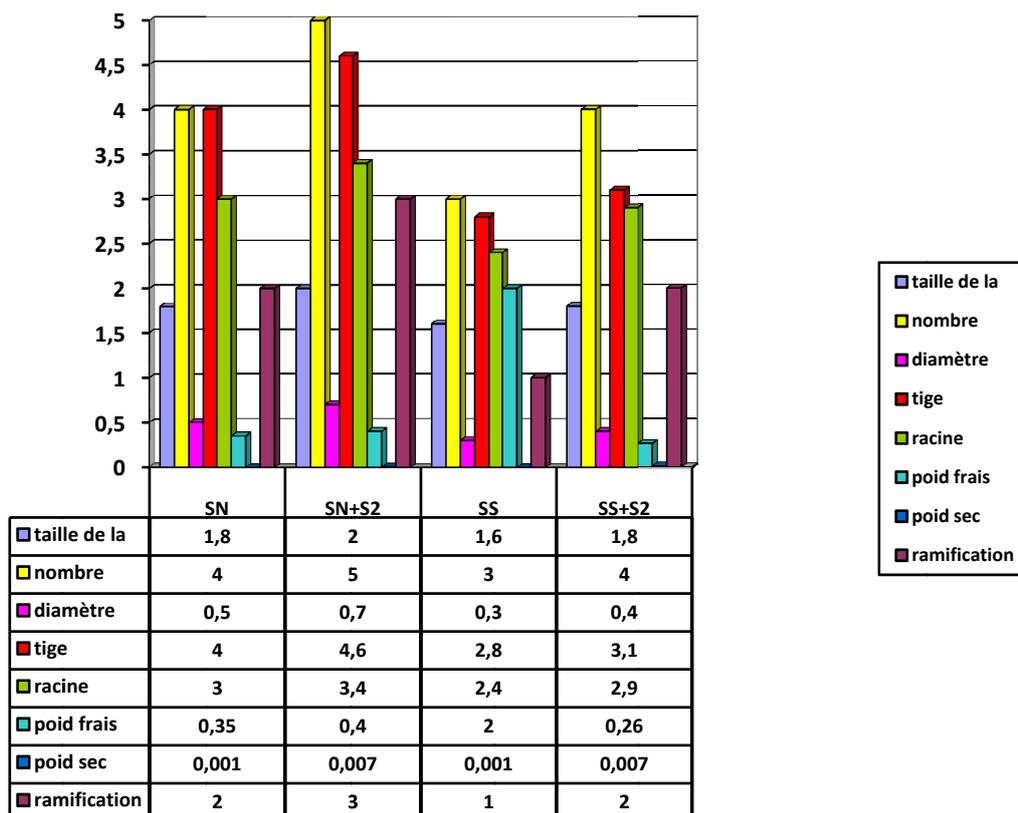
Après 30 jours de culture dans les pots contenant le sol, la croissance des plantes est notable et saines (**Figure 18**). Les feuilles sont en bonne santé, avec de longues tiges et racines remarquables. Ces dernières sont plus au moins ramifiées.



Figure 18: Effet PGPR de la souche S2 sur les graines de tomate traitées par différents traitements. (SN : sol naturel, SN+S₂ : sol naturel+souche *Streptomyces* sp. , SS : sol stérile, SS+S₂ : Sol stérile +souche *Streptomyces* sp.).

Les résultats présentés dans le tableau 9 nous permettent d'évaluer les caractères morphologiques des plantes, exprimés par la taille des parties aériennes, la taille des racines et la ramification racinaire.

Tableau 9: Effet de la souche *Streptomyces* sp. (S2) sur la croissance et les caractères morphologiques des plantules de tomate.



SN : sol naturel +eau distillée stérile ; SN+S2 : sol naturel + *Streptomyces* sp ; SS : sol stérile + eau distillée stérile ; SS+S2 : sol stérile + *Streptomyces* sp. (1) :+,(2) :++,(3) :+++.

D'après les résultats présentés dans le tableau 9, nous voyons que les valeurs de la taille, le nombre et le diamètre des feuilles (2 cm ,5 et 0,7cm) des plantules cultivées dans le sol naturel et traitées par la souche *Streptomyces* sp. (S2) sont plus élevées que celles des autres plantules. Dans le cas de plantules cultivées dans le sol naturel (SN) et le sol naturel stérile traité par la souche *Streptomyces* sp. (S2) (SS+S2) les valeurs sont presque identiques. Les plantules cultivées dans le sol naturel stérile (SS) présentent les valeurs les plus faibles.

La taille des tiges, des racines et le poids frais des feuilles des plantules cultivées dans le sol naturel traité par la souche *Streptomyces* sp. (S2) restent dominantes comparativement à celles

des plantules cultivées dans le sol naturel sans traitement, ainsi que celles cultivées dans le sol naturel stérile traitées avec *Streptomyces* sp. (S2) et les plantules cultivées dans le sol naturel stérile.

Le sol naturel est le milieu meuble où s'ancrent les racines et dans lequel puisent l'eau et les éléments minéraux nécessaires à la croissance et le développement des végétaux (**Le clech, 2000**). Le sol naturel présente une diversité des microorganismes tel que les PGPR qui peuvent améliorer la croissance de la plante de façon directe en stimulant sa croissance par la fixation de l'azote atmosphérique, la solubilisation des phosphates ...etc ou indirecte en la protégeant contre les infections causées par des agents phytopathogènes (**Hamoum, 2017**).

Les rhizobactéries colonisent le rhizosphère en utilisant les exsudats racinaires comme substrats nutritifs (**Vacheron et al., 2013**). Les PGPR par leur activité enzymatique, elles solubilisent les éléments nutritifs présents dans les réserves organique et minérale du sol tel que le phosphore, l'azote, le fer et les mettent à la disposition de la plante sous forme d'ions minéraux assimilables.

Les échanges entre la plante et le sol sont influencés par les rhizobactéries et ce d'autant plus que leur densité et leur activité sont élevées. Cette influence se manifeste par une modification de la croissance de la plante.

Les plantes cultivées dans le sol stérile présentent les valeurs les plus faibles, ces valeurs résultent de la stérilisation de sol qui a éliminé tous les microorganismes bénéfiques ou nuisibles pour la plante.

L'arrosage des plantes est effectué en 2 manières différentes. Celles qui sont arrosées par l'eau distillée et d'autres par la suspension sporale de notre souche *Streptomyces* sp. Ainsi qu'avant la plantation on a traité la moitié des graines de tomate par l'eau distillée et le reste des graines par la suspension sporale.

Les plantes traitées et germées par l'eau distillée présentent un résultat moins important par rapport aux plantes traitées par la suspension sporale. Ceci peut être expliquée par le fait que l'eau distillée est dépourvue de tous les minéraux entre autres le calcium, le sodium et le magnésium qui sont nécessaires aux plantes ainsi que les microorganismes, ces derniers sont nécessaires pour la bonne croissance de la plante et donc l'absence de ces éléments ralentit leurs croissance.

La croissance des plantes traitées et germées par la suspension sporale est remarquable, l'utilisation de la souche de *Streptomyces* sp. Apte à se maintenir et à se développer sur le système racinaire s'accompagne d'effets bénéfiques significatifs pour les plantes inoculées.

Les valeurs obtenues lors de ce travail (caractères morphologiques des plantules) sont inférieurs à ceux obtenus par **Kias et Ouadi en 2017**, ceci peut s'expliquer par la nature du milieu de plantation des graines. Au fait les auteurs ont utilisé le milieu de Farhaeus riche en éléments minéraux : le CaCl_2 , le $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, le K_2HPO_4 , le $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, le Citrate de fer, ces éléments minéraux jouent un rôle très important dans la croissance de la plante. Au contraire, dans notre cas nous avons utilisé le sol naturel qui est riche en matière organique. Cette dernière est riche en éléments minéraux, mais le fait qu'on a stérilisé ce sol, donc les microorganismes susceptibles de minéraliser la matière organique sont éliminés, ce qui entraîne une pauvreté des éléments nécessaires à la croissance des plantes. D'ailleurs c'est ce qu'a été confirmé dans le cas du sol et des graines traitées par la souche *Streptomyces* sp. (S2) où les résultats sont plus ou moins bons.

3. Taux de chlorophylle après différents traitements

Il existe plusieurs sortes de chlorophylles qui diffèrent par leur structure moléculaire et leur mode d'absorption des ondes lumineuses.

Nous étudierons ici les deux principales sortes de chlorophylles :

- La chlorophylle (a) est le pigment photosynthétique le plus commun chez les végétaux (~75% des plantes vertes). On la trouve donc chez les végétaux terrestres mais aussi chez les végétaux aquatiques comme les algues bleu-vert avec ~3mg/l de feuilles fraîches. La chlorophylle (a) a pour formule brute : $\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4\text{Mg}$.
- La chlorophylle (b) est un pigment moins important chez les plantes vertes, on la retrouve en quantité moindre que la chlorophylle (a), néanmoins elle est présente chez les plantes vertes et d'autres organismes photosynthétiques. Son pic d'absorbance diffère de celui de la chlorophylle (a) ; de plus elle transfère l'énergie lumineuse reçue vers la chlorophylle (a). Sa formule brute est : $\text{C}_{55}\text{H}_{70}\text{O}_6\text{N}_4\text{Mg}$ (on observe une variance du nombre d'atome d'hydrogène et d'oxygène entre les deux sortes de chlorophylles).

Après centrifugation de l'extrait organique, la détermination de la concentration de chlorophylle (a, b et la chlorophylle total) est réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre

(SIGMA 3-16 KL) et l'absorbance de surnageant est mesurée à deux longueurs d'ondes différentes à 663 nm et 645 nm.

Les différentes absorbances sont récapitulées dans le tableau (**Annexe 2**) et exprimées par la figure 19.

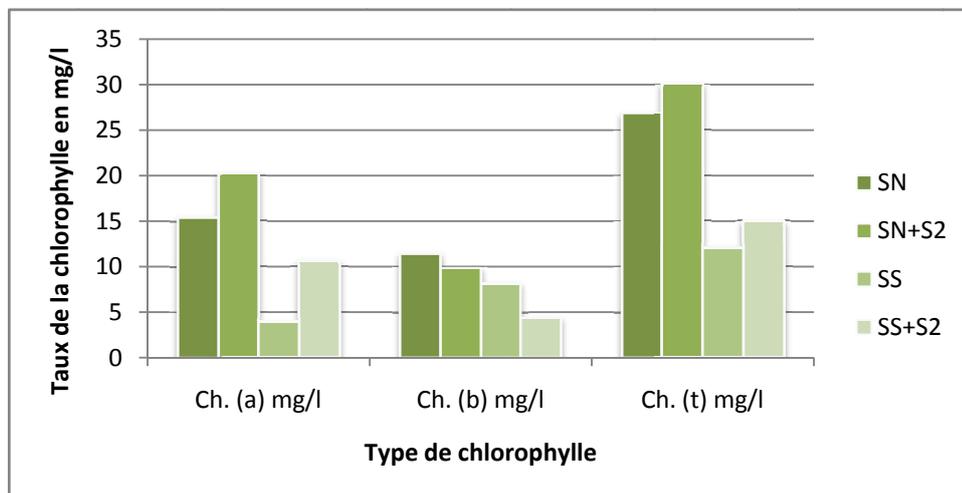


Figure 19: Concentration de la chlorophylle a ,b et totale chez les feuilles traitées par différents traitements. SN : sol naturel +eau distillée stérile ; SN+S2 : sol naturel + *Sreptomycetes* sp ; SS : sol stérile + eau distillée stérile ; SS+S2 : sol stérile + *Sreptomycetes* sp.

D'après les résultats de la figure 19 nous montrons que les meilleures concentrations de chlorophylle (a) est de 20,23mg/l et 15,44 mg/l obtenus aux plantes traitées par le SN+S2 et SN respectivement. Néanmoins la concentration de chlorophylle (b) de 11,45 mg/l chez les plantes traitées par SN est plus élevée que chez les plantes qui avaient le SN+S2 avec 9,82 mg/l.

Tandis que les plantes traités par le SS+S2 la concentration de chlorophylle (a) de 10,63 mg/l est plus élevée que les plantes traitées par le SS avec 3,89 mg/l mais avec une concentration élevée de chlorophylle (b) de 8,18 mg/l comparativement avec les plantes traitées par le SS+S2.

En ce qui concerne la concentration de chlorophylle totale chez les plantes traitées par le SS+S2, SN, SS+S2, SS avec des concentrations de 30,05 mg/l, 26,89 mg/l, 14,97 mg/l, 12,07 mg/l respectivement.

Ce travail visait à évaluer l'effet PGPR d'une souche d'actinomycètes du genre *Streptomyces* sur la croissance de tomate qui stimule le développement du système racinaire et favorise la nutrition minérale de la plante notamment par la fixation biologique d'azote atmosphérique, la solubilisation du phosphore ... etc.

La première partie de notre travail expérimental qui s'est orientée vers l'étude morphologique de la souche actinomycétale sur différents milieux de culture solide ISP1, ISP2, ISP4, ISP5 montre que la souche *Streptomyces* sp. (S2) présente un aspect filamenteux, il s'agit de mycélium végétatif et mycélium aérien. Ainsi l'examen microscopique par la technique des lamelles donne une information sur la forme filamenteuse de la souche étudiée.

La seconde partie nous avons affirmé que les *Streptomyces* ont des effets bénéfiques sur la croissance de la partie racinaire, la partie aérienne des plantules de tomate ce qui s'explique par l'augmentation de taux de croissance et développement des plantes.

Les PGPR sont considérées l'outil clé pour la résolution des contraintes à l'agriculture moderne la rendant écologiquement saine (**Fok *et al.*, 2015**).

- Ashwathi, P. (2016). Rhizosphere: Origin and Effects. [En ligne]. (Consultée le : 01-03-2018). <http://www.biologydiscussion.com/soil-microbiology/rhizosphere-origin-and-effects-microbiology/66666> .
- Agrios G.N, (1988). Plant Pathology. Academic press. San Diego. California. 801p.
- Agronomie info.fruit processing plants [en ligne] (consultée le : 15/03/2018).<https://agronomie.info/fr/les-exigences-pedoclimatiques-de-la-plante-de-tomate/>
- Agroculture.la conduite technique de la culture de tomate [en ligne] (page consultée le 15/03/2018). <http://bacterieschampignons.blogspot.com/2011/11/normal-0-21-false-false-false-fr-x-none.html>
- Antoun, H., Prévost, D, 2005. Ecology of plant growth promoting rhizobacteria: PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Siddiqui, Z.A. (Ed.). Springer, the Netherlands. p: 16-39.
- Avril, J, L., &al. 1992. Bactériologie clinique.2 éd. Paris : ellipses. P :511.
- Almaris N. Alonso. 2007. Cellulose Degradation and Biofilm Formation in the Developmental Life Cycle of the cellulolytique actinomycetes *Thermobifida fusca*. UMI. Pp: 134
- Baldani, J.I., N.R. Krieg, V.L. Divan-Baldani, A. Hartmann et J. Döbereiner, (2005) : In Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 2nd edn, vol. 2, Springer- Verlag, Garrity, New York, Berlin, Heidelberg, p. 7–26.
- Barbara ,V , Shankara ,N , Joep van Lidt de Jeude , Marja de Goffau , Martin ,H(2005) .la culture de la tomate :production, transformation et commercialisation. Digigrafi, Wageningen, Pays-Bas : Barbara van dam. p :104.
- Bar-Ness, E, Hadar, Y, Chen, Y, Römheld, V, Marschner, H. (1992). Short-term effects of rhizosphere microorganisms on Fe uptake from microbial siderophores by maize and oat. *Plant Physiology*, 100(1), 451-456.
- Bashan Y., Holguin G. and de-Bashan L. E (2004). Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). *Can J Microbiol.* 50, 521-577.

- Bélanger P.A., Bissonnette C., Bernèche-D'Amours A., Bellenger J.P. and Roy S (2011). Assessing the adaptability of the actinorhizal symbiosis in the face of environmental change. *Environmental and Experimental Botany*.74: 98– 105.
- Belyagoubi, L (2014). Antibiotiques produits par des bactéries (Actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens. Thèse de doctorat. Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, 90 p.
- Balzergue, C. (2012). Régulation de la symbiose endomycorhizienne par le phosphate. Thèse de doctorat : Biologie végétale. Université Paul Sabatier-Toulouse III, 838p.
- Boucheffa K., (2011). Criblage de souches d'actinomycètes productrices d'antifongiques nonpolyéniques : Identification des souches productrices et Essai de caractérisation des antifongiques produits. Thèse Magister En microbiologie appliquée aux substances antimicrobiennes. Université Abderrahmane Mira Bejaia.90p.
- Breton A., Theilleux J., Sanglier J.J., Viobis G. (1989). Organismes producteurs: biologie, taxonomie et écologie. In "Biotechnologie des Antibiotiques". Larpent J.P. et Sanglier J.J., Masson : Paris. Pp: 33-70.
- Castignetti, D., Smarrelli, J. (1986). Siderophores, the iron nutrition of plants, and nitrate reductase. *FEBS letters*, 209(2), 147-151.
- Charest. MH, Beauchamp. CJ, Antoun.H(2005). Effects of the humic substances of deinking paper sludge on the antagonism between two compost bacteria and *Pythium ultimum*. *FEMS Microbiology Ecology*.52: 219-227.
- Crawford,D.L.J.M. Lynch,J. M. Whipps, M. A. Ousley (1993). Isolation of actinomycetes antagonists of a fungal root pathogen. *Appl. Environ. Microbiol.* 59: 3899-3905.
- Cox.P. W, Paul. G. C & Thomas. C. R. (1998). Image analysis of the morphology of filamentous micro-organisms. *Microbiology*. Vol 144, 817–827.
- Davet P. (1996). Vie microbienne du sol et production végétales, (edn) INRA.Paris.
- De-Bashan,L.E.,Antoun, H., Bashan, Y. (2008). Involvement of indole-3-acetic acid produced by the growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. : promoting growth of *Chlorella vulgaris*. *Journal of Phycology*, 44(4),938-947.
- Dechauffour P. (1979). Pédologie T1 & T2, (edn) Masson. Paris. N1°. (B.U).

- Downie, JA (2005). Legume haemoglobins: symbiotic nitrogen fixation needs bloody nodules. *Curr Biol*. 15(6).
- Duhoux E. and Nicole M (2004). Atlas de Biologie végétale : associations et interactions chez les plantes. Paris : Dunod. 166p
- Emmanuel .J, Marc. O, Philippe .T (2008). Caractéristiques moléculaires de l'immunité des plantes induite par les rhizobactéries non pathogènes[en ligne], vol.(12), (page consultée le 21/03/2018) <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=3304>.
- Encyclopædia Universalis, le portail de la connaissance. sols microbiologie [en ligne]. (consulté le 20 /05/2018). http://permabox.ressources-permaculture.fr/2-CONNAISSANCES-ET-COMPREHENSION-DE-LNATURE/SOL/ARTICLE_Sols--Microbiologie_Encyclopedie-Universalis.pdf
- Falkow. S, Rosenberg. E, Schleifer. K. H, Stackebrandt. E. (2006). The Prokaryotes: Archaea. Bacteria: Firmicutes, Actinomycetes . Springer. Pp: 1146.
- Gagnon, Y. (2015). Le sol et les processus naturels de nutrition des plantes. Association Manger Santé Bio. [En ligne]. [consultée le 16-02-2018]. <http://www.mangersantebio.org/18623/le-sol-et-les-processus-naturelsde-nutrition-des-plantes>
- Goodfellow, M. et S. T. Williams (1983). Ecology of the actinomycetes. *Annu. Rev. Microbiol.* 37: 189-216.
- Gomes, RC, Semêdo LTAS, Soares RMA, Alviano CS, Linhares LF and Coelho RR (2000) Chitinolytic actinomycetes from a Brazilian tropical soil active.
- Gray, E. J., Smith, D. L. (2005). Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(3), 395-412.
- Grigorova, R., Norris, J.R. (Editors) (1990). Techniques in microbial ecology. *Methods in Microbiology*, Vol. 22. Academic Press, London, pp. 627.
- Hamoum, H (2017): Screening des diazotrophes non symbiotiques associés aux plantes des zones salines de l'ouest algérien : effet phyto-stimulateur sur la croissance du blé dur : thèse de doctorat : microbiologie appliquée .mostaganem :université'abdelhamid benbadis,92p.

- Harouna.M , Alkama. M (2014). Etude de quelques activités enzymatiques des actinomycètes isolés de deux écosystèmes extrêmes dans le sud Algérien. Mémoire Master : Microbiologie Générale. Constantine : université frères Mentouri Constantine 1, 39p.
- Hiltner,L.(1904).UberneueErfahrungen und Probleme auf demGebiet der Bodenbakteriologie und unterbesonderesBerucksichtigung der Grundugungen und Brauche. ArbDtschLandwirtGesBerl 98:59–78.
- Hinsinger, P. (2010). Les racines au coeur du fonctionnement de la rhizosphère, Des connaissances pointues issues de la recherche aux applications possibles en AB (Montpellier SUPAGRO - CIRAD - INRA - IRD), Alter Agri 101: 8-20.
- Hocher V., Gherbi H. and Svistoonoff S (2010). Les arbres actinorhiziens de la famille des Casuarinaceae : utilisations et étude de la plasticité racinaire face aux contraintes abiotiques.73-78.
- Hoft.M et Vos.P (2006). Plant pathogenic Peusomonas species.Dans Plant Association Bacteria PART 3. Pays-Bas : Springer. 507-533.
- Igual, J., Valverde, A., Cervantes, E., Velázquez, E. (2001). Phosphate-solubilizing bacteria as inoculants for agriculture: use of updated molecular techniques in their study. *Agronomie*, 21(6-7),561-568.
- Khan, M.S, Ziadi,A, Javed,M(2009). Microbial Strategies for Crop Improvement. Springer-VerlagBerlin Heidelberg. pp: 1-371
- Keneni, A., Assefa, F., Prabu, P. C. (2010). Isolation of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of *faba bean* of Ethiopia and their abilities on solubilizing insoluble phosphates, 12(1), 79-89.
- Kerkab,S (2010), Les actinomycètes d'un sol salé:rôle des osmoprotecteurs naturels.memoire de magistere :génie microbiologique . sétif: Université Ferhat Abbas,pp :116.
- Kieser, T., M. J. Bibb, M. j. Dutnner, K. F. Chateret D. A. Hopwood. 2000. General introduction to actinomycetebiologie in practical Streptomyces genetics. Colney, Norwich NR4 7UH, England :The John Innes Foundation. 1-21.
- Kloepper, J.W., Lifshitz, R., Zablotowicz, R.M., 1989. Free living bacterial inocula for inhacing crop productivity. Trends in Biotechnology 7, 39-44.

- Kitouni, M. (2007). Isolement de bactéries actinomycétales productrices d'antibiotiques à partir d'écosystèmes extrêmes. Identification moléculaire des souches actives et caractérisation préliminaire des substances élaborées. Thèse de Doctorat en Microbiologie appliquée. Université Mentouri-Constantine. Algérie. 170p.
- Lacey, J. (1973). Actinomycetes in soils, composts and fodders. In: Actinomycetales: characteristics and practical importance. Eds.: G. Sykes, F.A. Skinner. Academic press, London, New York. 231–251.
- La jerGer intelligency service.la tomate les fruites [en ligne].(page consultée le 15/03/2018) . <http://culture.tomate.free.fr/description.php>
- Lambrecht, M., Okon, Y., Vande, Broek, A., Vanderleyden, J.(2000). Indole-3- acetic acid: A reciprocal signalling molecule in bacteria–plant interactions. Trends in Microbiology , 8(7), 298-300.
- Larpent, J.P., Sanglier, J.J. (1989). Biotechnologie des antibiotiques. Paris : Elsevier/Masson .481p-(biotechnologies).
- Lechevalier, H.A., Lechevalier, M.P. (1967). Biologie of actinomycetes. Annu Rev Microbiol, 21: 71–100.
- Lechevalier, M.P., Bievre, C.D., Lechevalier H. (1977). Chemotaxonomie of aerobic Actinomycetes : phospholipides composition. BiochSystEcol, 5(4): 249–260.
- Lechevalier, M.P., Lechevalier, H. (1985). Biology of actinomycetes not belonging to genus *Streptomyces* In: Biology of industrial microorganisms. The Benjamin Cummings Publishing Company, INC. pp 315–360.
- LeCleche B. (2000). Agronomie des bases au nouvelle orientation. Bordeaux : ENITA de Bordeaux.pp :338
- Le Minor, L., Veron, M.(1989). Bactériologie médicale.Sciences Flammarion. pp :1107.
- Lynch, JM. (1990) Introduction: some consequences of microbial rhizosphere competence for plant and soil. In: Lynch JM (Ed) The rhizosphere. Wiley, Chichester, pp 1–10.
- Mariat, F., Sebald M. (1990). Les actinomycetes. Dans Bactériologie médicale. Le Minor.Edition Médecine-Science. Flammarion. France.
- Martin JK, Kemp JR.(1980) Carbon loss from roots of wheat cultivars: Soil Biology and Biochemistry 12(6),551-554.

- Moulin, L., Munive, A., Dreyfus, B., Boivin-Masson, C. (2001). Nodulation of legumes by members of the β -subclass of Proteobacteria. *Nature*, 411(6840), 948-950.
- McKinney, R.E. (2004). Environmental Pollution Control Microbiology. New York: CRC Press. Pp: 448-(Civil and Environmental Engineering).
- Nagorska, K., Bikowski, M., Obuchowski, M. (2007). Multicellular behavior and production of a wide variety of toxic substances support usage of *Bacillus subtilis* as a powerful biocontrôle agent. *Acta Biochimica Polonica*, 54(3), 495-508.
- Nakaew, N.W., Pathom-aree and Lumyong, S. (2009) Generic diversity of rare actinomycetes from Thai cave soils and their possible use as new bioactive compounds. *Actinomycetologica*, 23, 21-26.
- Nanjani, S. G. & Soni, H. P. (2011). Isolation and characterization of extremely halotolerant and halophilic organisms from Dwarka and Veraval. *Bioinformatica*. 1(1), Pp: 1-15.
- Neilands, J. B., Leong, S. A. (1986). Siderophores in relation to plant growth and disease. *Annual Review of Plant Physiology*, 37(1), 187-208.
- Neyra, M. Fichier technique de la fixation symbiotique de l'azote: légumineuse/rhizobium. 1992. Food & Agriculture Org. Pp: 200.
- O'Gara, F., Dowling, D. N., Boesten, B. (2008). Molecular Ecology of Rhizosphere Microorganisms: Biotechnology and the Release of GMOs. John Wiley & Sons: Weinheim. Pp: 192.
- Omura, S. (1992) .The search for bioactive compounds from microorganisms. Springer, Verlag, New York.
- O'sullivan, D. J., O'gara, F. (1992). Traits of *fluorescent Pseudomonas* spp. involved in suppression of plant root pathogens. *Microbiological reviews*, 56(4), 662-676.
- Ottow, J.C.G., Glathe, H. (1968). Rose Bengal-malt extract-agar, a simple medium for the simultaneous isolation and enumeration of fungi and actinomycetes from soil. *Appl Microbiol*, 16(1): 170-171.
- Ouhdouch, Y. (1989). Bactéries actinomycétales rares productrices d'antifongiques. Thèse de Doctorat. Université de Nancy.
- Palleroni, N.J. (1984). Family 1. *Pseudomonas*. In Bergey's manual of systematic bacteriology. Volume 1. Biol. Technol. 33: 193-203.

- Parlons sciences .cycle de vie d'une plante.(27 juin 2016).[diagramme]In : tomatosphere parlons sciences. Disponible sur : <http://tomatosphere.parlonssciences.ca/Ressources/bibliotheque/ArticleId/5232/cycle-de-vie-dun-plant-de-tomate.aspx> > (consulté le 15/03/2018).
- Pawlowski, K. and Sprent, J.I (2008). Comparison between actinorhizal and legume symbiosis. In : Pawlowski, K., Newton, W.E. (2008). Nitrogen-fixing actinorhizal symbioses, Nitrogen Fixation: Origins, Applications, and Research Progress. Springer. 6: 261-288.
- Pedraza, R. O. (2008). Recent advances in nitrogen-fixing acetic acid bacteria. *International journal of foodmicrobiology*, 125(1), 25-35.
- Porter, J.N. (1971). Prevalance and distribution of antibiotic producing actinomycetes. *AdvApplMicrobiol*, 14: 73–92.
- Probanza.A, Lucas Garcia.JA, et al(2002). Pinus pineal seedling growth and bacterial rhizosphere structure after inoculation with PGPR Bacillus. *Applied Soil Ecology*, 20: 75-84.
- Pujic, P., Normand, P. (2009). La symbiose racinaire entre la bactérie *Frankia* et les plantes actinorhiziennes. *Biofutur*, (298), 26-29.
- Prescott. L. M, Harley. J. P, Klein. D. A. 2010. Microbiologie. De Boeck : Bruxelles. 2eme édition Pp : 1088.
- Rangaswami. G. Bagyaraj. D. J. Bagyaraj D.G.(2004). Agricultural Microbiology. PHI: New Delhi. Pp: 440.
- Rastogi. B. V, Kishore. B. 1997. A Complete Course in ISC Biology. PitambarPublishing: New Delhi. Pp: 592.
- Reponen, T.A., Gazenko, S.V., Grinshpun, S.A., Willeke, K., Cole, E.C. (1998). Characteristics of Airborne Actinomycete Spores. *Appl Environ Microbiol*, 64 (10) : 3807–3812.
- Reyes. M.E.Q, Rohrbach.K.G and Paull. R.E (2004). Microbial antagonists control. Postharvest black rot of pineapple fruit. *Postharvest Biology and Technology* 33, 193–203 Books (Author and Editor)
- Roesch, L. F. W., Camargo, F. A., Bento, F. M., Triplett, E. W. (2008). Biodiversity of diazotrophic bacteria within the soil, root and stem of field-grown maize. *Plant and Soil*, 302(1-2), 91-104.

- Sahgal.M, Johri.B.N (2006). Taxonomy of Rhizobia: current status. *Current science* .90: 488.
- Sawada,H,Kuykendall,L.D,Young,J.M. (2003). Changing concepts in the systematics of bacterial nitrogen-fixing legume symbionts. *The Journal of general and applied microbiology*, 49(3), 155-179.
- Seshadri,B., Bolan, N.S. & Naidu, R. (2015). Rhizosphere-induced heavy metal (loid) transformation in relation to bioavailability and remediation, Centre for Environmental Risk Assessment and Remediation, University of South Australia, M *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15(2): 524-548.
- Siddiqui,Z.A,Mahmood,I. (1999). Role of bacteria in the management of plant parasitic nematodes: a review. *BioresourceTechnology*, 69(2), 167-179.
- Shishido,M, Massicotte, H.B, Chanway, C.P, (1996).Effect of plant growth promoting Bacillus strains on pine and spruce seedling growth and mycorrhizal infection. *Annals of Botany* 77, 433-441.
- Smaoui. S. (2010). Purification et Caractérisation de Biomolécules à partir de microorganismes nouvellement isolés et identifiés. Thèse doc : Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse). Pp : 207.
- Smith S. E., Read D. J. (1997). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London, etc.
- Soderberg K.H., Baath E. (1998). Bacterial activity along a young barley root measured by the thymidine and leucine incorporation techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(10-11): 1259–1268.
- Stackebrandt, E., Rainey, F.A., Ward-Rainey, N.L. (1997). Proposal for a new hierarchic Classification system, *Actinobacteria* classis Nov. *Int J SystEvolMicrobiol*, 47(2): 479–491.
- Staneck, J. L., Roberts, G. D. (1974). Simplified approach to identification of aerobic Actinomycetes by thin-layer chromatography. *ApplMicrobiol*, 28(2): 226–231.
- Sturz, AV., BR. Christie et J. Nowak (2000). Bacterial endophytes: Potential role in developing sustainable systems of crop production. *Crit. Rev. Plant Sci.* 19:1-30.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., Case, C. L. (2003). Introduction à la microbiologie. *Saint- Laurent, Québec, Canada.* 920p..

- Vacheron, J, Desbrosses, G., & Bouffaud, M.L, Touraine, B, Moëgne-Loccoz, Y, Muller, D. *et al.* (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning, *Front PlantSci.* 4(356): 1-19.
- Van Loon L.C, Bakker P. Pieterse C. M. J., (1998). Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol.* 36:453-483.
- Ventura, M., Canchaya, C., Tauch, A., Chandra, G., Fitzgerald, G.F., Chater, K.F., van Sinderen, D. (2007). Genomics of *Actinobacteria*: tracing the evolutionary history of an ancient phylum. *MicrobiolMolBiol Rev*, 71(3): 495–548.
- Voisard, C., Keel, C., Haas, D., Dèfago, G. (1989). Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* helps suppress black root rot of tobacco under gnotobiotic conditions. *The EMBO Journal*, 8(2), 351-358.
- Waksman, S.A. (1959). The actinomycetes: nature, occurrence and activities. The Williams and Wilkins Company, Baltimore, 1: 29–46.
- Waksman, S.A., (1967). Distribution, isolation and methods of study. In : The actinomycetes a summary of current knowledge. The Ronald Press Company. New York. pp: 9–21.
- Wall L.G (2000). The Actinorhizal Symbiosis. *J.Plant Growth Regul.* 19: 167-182.
- Wang, M. Y, Siddiqi, M. Y, Ruth, T. J, Glass, A. D. (1993). Ammonium uptake by rice roots (II. Kinetics of $^{13}\text{NH}_4^+$ influx across the plasmalemma). *Plant physiology*, 103(4), 1259-1267.
- Wang L; Huang. Y; Liu. Z; Goodfellow. M & Rodriguez. C. (2006). *Sreptacidiphilusoryzae* sp. Nov. an actinomycete isolated from rice-field soil in Thailand. In. *J. Sys. Ev. Microbiol.* Vol 56. Pp: 1257-1261.
- Wikipédia. tomate[en ligne] (page consultée le 15/03/2018). <https://fr.wikipedia.org/wiki/Tomate>
- Whipps, J. M. (2001). Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of experimental Botany*, 52(suppl 1), 487-511.
- Williams, S.T., Lanning, S., Wellington, E.M.H. (1984). Ecology of Actinomycetes. In: The Biology of the Actinomycetes. Eds : M. Goodfellow, M. Mordarski and S.T. Williams. Academic press, London, New York, Sydney, Tokyo, Sao Paulo. 481–528.

-
- Whitman W.B., Goodfellow M., Kämpfer P., Busse H.-J., Trujillo M.E., Ludwig W., and Suzuki K.I., (2012) . *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Volume 5, Springer, 2nd Edition
 - Zaitlin, B., Watson, S.b., Ridal, J., Satchwill, T., Parkinson, D. (2003). Actinomycetes in lake Ontario: Habitats and geosmin and MIB production. *Res J Can*, 95 (2) : 113-118.
 - Zaitlin, B., Watson, S.B. (2006). Actinomycetes in relation to taste and odour in drinking water: Myths, tenets and truths. *Water Res*, 40(9): 1741–1753.
 - Zhi, X.Y., Li, W.J., Stackebrandt E. (2009). An update of the structure and 16S rRNA gene sequence-based definition of higher ranks of the class Actinobacteria, with the proposal of two new suborders and four new families and emended descriptions of the existing higher taxa. *Int J SystEvol Microbiol*, 59 (Pt 3): 589–608.
 - Zvyagintsev. D. G; Zenova. G. M; Sudnizin. I. I; Doroshenko. E. A. (2005). The Ability of Soil Actinomycetes to Develop at an Extremely Low Humidity. Vol: 405. Pp 461-463.

Annexe 1 : Milieux de culture

Milieu ISP1

- Tryptone 5g
- Extrait de levure 3g
- Agar 20g
- Eau distillée 1000 ml
- PH = 7-7,1

Milieu ISP2

- Extrait de 4g
- Extrait de malt 10g
- Glucose 4g
- Agar 20g
- Eau distillée 1000 ml
- PH = 7,3

Milieu ISP3

- Solution d'avoine 1000ml
- Solution saline 1 1ml
- Agar 20g
- PH = 7,2

Milieu ISP4

- Amidon soluble 10g
- K_2HPO_4 1g
- $MgSO_4$ 1g
- $(NH_4)_2SO_4$ 1g
- $CaCO_3^2$ 2g
- Solution saline 1 1ml
- Agar 20g
- Eau distillée 1000 ml
- PH = 7-7,4

Milieu ISP5

- Glycérol 10g
- K_2HPO_4 1g
- L-asparagine 1g
- Solution saline 1 1ml
- Agar 20g
- Eau distillée 1000 ml
- PH = 7-7,4

La solution saline

- $FeSO_4$ 0.1g
- $MnCl_2$ 0.1g
- $ZnSO_4$ 0.1g
- Eau distillée 1000 ml

Annexes2 : Dosage de la chlorophylle

Tableau 1 : Concentrations de la chlorophylle a, b et totale chez les feuilles traités par différentes traitement.

Traitement	DO à 663	DO à 645	Ch. (a) mg/l	Ch. (b) mg/l	Ch. (t) mg/l
SN+eau distillée	1.409	0.788	15.44	11.45	26.89
SN+S2	1.796	0.796	20.23	9.82	30.05
SS+eau distillée	0.405	0.440	3.89	8.18	12.07
SS+S2	0.936	0.381	10.63	4.34	14.97

SN : sol naturel, SN+S2 : sol naturel +la souche *Stresptomyces* sp. (S2), SS : sol stérile, SS+S2 : sol stérile + la souche *Stresptomyces* sp. (S2).

Titre : Effet PGPR de *Streptomyces* sp. (S2) sur les caractères morpho-biochimiques de la tomate *Lycopersicon esculentum* Mill.cultivée dans le sol

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en **Biologie Moléculaire des Microorganismes**

Résumé

Dans le cadre de notre travail, nous avons testées l'effet PGPR d'une souche d'actinomyète sur la croissance des graines de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. inoculées dans deux types de sol (sol naturel et sol stérile). Les caractères morphologiques des plantes (la taille des parties aériennes, la taille des racines et la ramification racinaire) et aussi leur la croissance et le développement est notable aux plantules cultivées dans le sol naturel et le sol stérile arrosé par la suspension sporale de la souche *Streptomyces* et aussi dans le sol naturel. La mesure des poids frais des feuilles des plantules, en plus du dosage des chlorophylle a, b et la chlorophylle totale, a permis de montrer que, les *Streptomyces* peuvent aider les plantes par leur présence dans la rhizosphère.

Mots clés : sol, microflore, *Streptomyces*, actinomyètes, PGPR, tomate *Lycopersicon esculentum* Mill., rhizosphère.

المخلص

كجزء من عملنا قمنا باختبار تأثير PGPR للأكتينوميستات على نمو بذور الطماطم *Lycopersicon esculentum* Mill. مزروعة في نوعين التربة (التربة الطبيعية والتربة المعقمة). لميزات المورفولوجية للنباتات (حجم الأطراف الهواء، وحجم الجذور والتقرع الجذري) لوحظ نموها تطورها بشكل ملحوظ عند الشتلات التي زرعت في التربة الطبيعية و التربة المعقمة في تم سقيها بماء مقطر معقم يحتوي على بوع من سلالة *Streptomyces* وكذلك في التربة الطبيعية إن قياس الوزن الأولي لأوراق النباتات الفتية بالإضافة إلى نسبة الكلوروفيل (البيخضور) أ و ب والبيخضور الإجمالي مكنتنا من اظهار أن *Streptomyces* تساهم في نمو النباتات وذلك بتواجدها في منطقة الجذور.

الكلمات المفتاحية : التربة، ميكروفلورا، الأكتينوميستات، *Streptomyces*، PGPR، الطماطم، *Lycopersicon esculentum* Mill.، الجذور

Abstrat

As part of our work, we tested the PGPR effect of an actinomycete strain on the growth of tomato seeds *Lycopersicon esculentum* Mill. inoculated into two soil types (natural soil and sterile soil). the size of the aerial parts, the size of the roots and the root branching and also their growth and development is noticeable at seedlings grown in natural soil and the sterile soil watered by the sporal suspension of the strain *Streptomyces* and also in the soil. The measurement of fresh weights of seedling leaves, in addition to the determination of chlorophyll a, b and total chlorophyll, has shown that *Streptomyces* can help plants by their presence in the rhizosphere.

Mots clés : sol, microflore, *Streptomyces*, actinomyètes, PGPR, tomate *Lycopersicon esculentum* Mill., rhizosphère.

Laboratoire de recherche : Génie microbiologique et applications

Jury d'évaluation :

Président du jury :	BOUDEMAGH A	(Professeur - UFM Constantine 1),
Rapporteur :	KITOUNI M.	(Professeur - UFM Constantine 1),
Examineur :	CHABIR.	(MAA - UFM Constantine 1).

Date de soutenance : 27/06/2018