



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 :** الميكروبيولوجيا

**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 quelques souches actinomycétales  
sur les caractères morpho-biochimiques de la tomate  
*Solanum Lycopersicum***

---

**Présenté et soutenu par :** DJELOUAT Wassila  
MAHDEB Djihane

**Le :** 10/07/2019

**Jury d'évaluation :**

**Président du jury :** *HAMIDECHI M.A.* (Professeur - UFM Constantine),

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

**Examineurs :** *CHABBI R.* (MAA - UFM Constantine).

*Année universitaire  
2018 - 2019*

## Table des matières

Remerciements.....	i
Remerciements.....	ii
Dédicace.....	iii
Dédicace.....	iv
ملخص.....	v
Résumé.....	vi
Abstract.....	vii
Liste des abréviations.....	viii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures.....	x
Introduction.....	1

## Synthèse bibliographique

1. Les actinomycètes.....	3
1.1. Définition.....	3
1.2. Propriétés générales des actinomycètes.....	3
1.2.1. Propriétés morphologiques.....	3
1.2.2. Physiologie et métabolisme de développement.....	4
1.3. Taxonomie des actinomycètes.....	5
1.4. Cycle de développement.....	7
1.5. Ecologie des actinomycètes.....	9
1.5.1. Les actinomycètes de sol.....	9
1.5.2. Les actinomycètes de l'air.....	10
1.5.3. Les actinomycètes aquatiques.....	10
1.6. Rôle et importance des actinomycètes.....	11
2. Généralité sur la tomate.....	12
2.1. Origine de la tomate.....	12
2.2. Définition et caractère morphologique.....	12

2.3. Classification.....	14
2.4. Mode de reproduction .....	15
2.5. La culture .....	15
2.6. Exigences écologiques .....	16
2.6.1. Le climat.....	16
2.6.2. L'eau.....	16
2.6.3. Le sol .....	16
2.7. Principales maladies de la tomate .....	16
2.7.1. Maladies bactériennes .....	17
2.7.2. Maladies fongiques.....	18
2.7.3. Maladies virales.....	19
2.8. Importance et valeurs nutritionnelles .....	19
3. Interactions entre les actinomycètes et la plante.....	20
3.1. La rhizosphère.....	20
3.1.1. Les microorganismes de la rhizosphère .....	21
3.1.2. Rôle des microorganismes rhizosphériques .....	22
3.1.3. Les interactions entre les microorganismes de la rhizosphère .....	22
3.2. Interaction entre microorganismes et plante .....	22
3.2.1. Au niveau de la phyllosphère .....	22
3.2.2. Au niveau de la rhizosphère .....	23
3.3. Les PGPR (Plant growth promoting rhizobacteria) .....	24
3.3.1. Colonisation des plantes par les PGPR .....	24
3.3.2. La promotion directe de la croissance .....	24
3.3.3. La promotion indirecte de la croissance .....	24
3.3.4. L'utilisation et rôle des PGPR.....	24

## Matériels et méthodes

1. le sol.....	26
1.1. Localisation géographique .....	26

1.2. Le prélèvement du sol .....	26
1.3. Paramètres physicochimiques du sol .....	27
1.3.1. Mesure du pH .....	27
1.3.2. Mesure de la conductivité.....	27
1.3.3. Détermination du taux de la matière organique.....	27
1.3.4. Détermination du taux de la matière minérale.....	27
1.3.5. Détermination du pourcentage d'humidité .....	28
1.4. Le prétraitement du sol.....	28
2. Les souches bactériennes utilisées .....	28
2.1. Revivification des souches .....	28
2.2. Préparation de la suspension sporale.....	29
2.3. Observation des caractères microscopiques des souches.....	29
3. La tomate .....	29
3.1. Généralité sur la souche de tomate choisie .....	29
3.2. La stérilisation des graines .....	30
3.3. La germination des graines .....	30
3.4. Le semis des graines dans le sol.....	31
3.5. L'irrigation .....	31
4. Effet des différents traitements sur la croissance des plantules de tomate .....	32
4.1. Analyse des paramètres morphologiques.....	32
4.2. Dosage de la chlorophylle.....	32

## Résultats et discussion

1. Caractères physico-chimiques du sol.....	33
1.1. Le pH du sol.....	33
1.2. La conductivité.....	33
1.3. La matière organique.....	34
1.4. La matière minérale.....	34
1.5. Le pourcentage d'humidité .....	34

2. Aspect macroscopique et microscopique des actinomycètes .....	34
2.1. Aspect macroscopique .....	34
2.2. Aspect microscopiques.....	36
3. Effet des différents traitements sur la croissance des plantules de tomate .....	39
3.1. Paramètres morphologiques des plantules .....	39
3.1.1. Les plantules cultivées sur le champ .....	39
3.1.2. Les plantules cultivées dans des petits pots au laboratoire.....	43
3.1.3. Les plantules cultivées dans des pots moyens sous serre .....	47
3.1.4. Comparaison entre le taux de croissance des plantes dans le terrain naturel, le laboratoire et la serre .....	50
3.2 Dosage de la chlorophylle .....	51
Conclusion et perspectives.....	56
Références bibliographiques.....	57
Annexes .	

# 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 HAMIDECHI M.A. Professeur au département de biologie appliquée 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.*

# REMERCIEMENTS

*Nos remerciements aussi aux doctorantes au niveau de laboratoire de biopol à Chaab Erssas Rihab, Nessrine et Karima, ..... 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.*

## *Dédicace*

*A mon père, école de mon enfance,*

*Zui a été mon ombre durant toutes*

*Les années d'études, qui s'est sacrifié pour mon bonheur et ma réussite  
qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner de  
l'aide et à me protéger, que dieu le garde et le protège.*

*A la mémoire de ma mère aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,  
l'estime, le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne  
vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon  
éducation et ma formation, j'aurai aimé que vous soyer présente avec moi  
ce jour mais je sais que vous êtes fière de moi ; maman chérie que Dieu  
le tout puissant t'accorde son paradis éternel*

*A mon frère ghani et ma sœur ibtissem*

*A tous mes amis(e)*

*A tous ceux qui m'aiment*

*A tous ceux que j'aime...*

*Je dédie ce travail*

*WASSILA*

*Dédicace*

*A mes chers parents*

*Aucune dédicace, aucun mot, ne saurait exprimer réellement*

*Mon profond amour, mon respect et ma vive gratitude. Veuillez*

*Trouver dans ce manuscrit le fruit de toutes vos peines et vos*

*Sacrifices. A travers vous, le travail est également dédié aux mes frères :*

*Haytem, Abdo et Moiz.*

*Djihane*

## ملخص

من بين الكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة و التي لها تأثير ايجابي على النباتات. بكتيريا النوع PGPR لها نشاط معزز لنمو النباتات. و اجريت الدراسة على بدور الطماطم الملقحة بواسطة اربعة عشر سلالة من الأكتينومييسيت ( S2,J21,D14,K23,J4,H12,H14,K12,J27,G33,G22,J13,T45,G10 ) في ظل وجود و غياب الملح من أجل تقدير التأثير الإيجابي لهذه السلالات في تعزيز نمو النبات و قد لوحظ تطور الأجزاء الهوائية و الجذرية لتلك الشتلات التي زرعت في الحقل وخاصة بالنسبة للسلالات T45, K12,G10. أظهر قياس الاوزان الجافة، الصافية، المواد العضوية المعدنية وكذا قياس الكلوروفيل الإجمالي، ا و ب ان بكتيريا هذه الدراسة لها تأثير محفز لنمو النبات. الكلمات المفتاحية: PGPR ، سلالات الأكتينومييسيت ، التلقيح ، الطماطم، الإجهاد الملح.

## Résumé

Parmi les microorganismes bénéfiques pour la plante vivant dans la rhizosphère : les PGPR celles-ci ont une activité promotrice de la croissance végétale.

L'étude relative à l'inoculation des graines de la tomate par quatorze souches d'actinomycètes (H14, H12, J4, K23, D14, J21, G10, T45, J13, G22, G33, J27, K12 et S2) a été effectuée en présence et en absence du stress salin dans le but d'apprécier l'effet positif de ces souches favorisant la croissance des plantes.

Le développement des parties aériennes et souterraines a été remarqué chez les plantules développées sur champ et surtout pour les souches : T45, K12 et G10. La mesure des poids : frais, secs, de la matière organique et minérale ainsi que le dosage de la chlorophylle a, b et totale a montré que les PGPR ont l'effet stimulateur de la croissance des plantes.

Mots clés : PGPR, souches d'actinomycètes, inoculation, tomate, stress salin.

## **Abstract**

Among the microorganisms beneficial for the plant living in the rhizosphere: PGPRs have an activity that promotes plant growth.

The study on the inoculation of tomato seeds with fourteen strains of actinomycetes (H14, H12, J4, K23, D14, J21, G10, T45, J13, G22, G33, J27, K12 and S2) was carried out in the presence and absence of salt stress in order to assess the positive effect of these strains on plant growth.

The development of the above-ground and underground parts was noticed in seedlings developed in the field and especially for the strains: T45, K12 and G10. The measurement of weights: fresh, dry, organic and mineral matter as well as the dosage of chlorophyll a, b and total showed that PBMPs have the stimulating effect of plant growth.

Key words: PGPR, strains of actinomycetes, inoculation, tomato, salt stress

## Liste des abréviations

PGPR : Plant Growth Promoting Rhizobacteria

P/V : rapport poids/ volume

GC%: pourcentage des acides nucléiques en bases G et C

ms : milli siemens

mg : milligramme

g : gramme

DO : densité optique

ml : millilitre

l : litre

CHa : Chlorophylle a

CHb : chlorophylle b

CHt : chlorophylle totale

NI : graines non inoculées

M : molaire

m : mètre

nm : nanomètre

Kg : kilogramme

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Distribution des actinomycètes dans la nature (Larpent, 1989). .....	9
<b>Tableau 2</b> : La classification systématique de <i>Lycopersicum esculentum</i> (Benton, 2008). .....	15
<b>Tableau 3</b> : Les Principales maladies bactériennes de la tomate. ....	17
<b>Tableau 4</b> : Les Principales maladies fongiques de la tomate. ....	18
<b>Tableau 5</b> : valeurs des caractères physico-chimiques du sol étudié.....	33
<b>Tableau 6</b> : type de sol en fonction de la conductivité électrique (Richards, 1969).....	33
<b>Tableau 7</b> : Effet des souches d'actinomycètes sur la croissance ainsi que les caractères morphologiques des plantules de tomate cultivées sur champ. ....	41
<b>Tableau 8</b> : Effet PGPR des souches sur les caractères physico-chimiques des plantules de tomate cultivés dans le sol naturel au laboratoire. ....	44
<b>Tableau 9</b> : Effet des souches d'actinomycètes sur la germination et la croissance des graines de tomate et les caractères morphologiques des plantes. ....	46
<b>Tableau 10</b> : Effet des souches d'actinomycètes sur la germination des graines de tomate et les caractères morphologiques des plantes.....	49

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Système de classification hiérarchique proposé de la classe Actinobactéries basé sur des analyses phylogénétiques des données de séquence ADNr 16S (Stackbrand <i>et al</i> , 1997).....	7
<b>Figure 2 :</b> Cycle de développement des actinomycètes ( <i>Streptomyces</i> ) sur milieu solide (Jakimowicz, 2007).....	8
<b>Figure 3:</b> Représentation schématique des trois zones de la rhizosphère (Lynch, 1983).....	21
<b>Figure 4 :</b> Site de prélèvement du sol .....	26
<b>Figure 5 :</b> échantillonnage du sol.....	27
<b>Figure 6 :</b> technique des lamelles.....	29
<b>Figure 7 :</b> la tomate Marmande.....	30
<b>Figure 8:</b> photographies des cultures de quelques isolats sur le milieu ISP2 après 7 jours d'incubation. (A) J21 ; (B) H12 ; (C) k23 ; (D) G33 ; (E) T45 ; (F) J4.....	35
<b>Figure 9 :</b> Observation microscopique de la souche T45 après 7 jours d'incubation au grossissement (GX100). (A) : mycélium de substrat ; (B) : mycélium aérien. ....	36
<b>Figure 10 :</b> Observation microscopique de la souche G33 après 7 jours d'incubation au grossissement (GX100). (C) : mycélium de substrat ; (D) : mycélium aérien. ....	37
<b>Figure 11 :</b> Observations microscopiques de quelques souches (K23 ; H12, D14) après 15jours d'incubation au grossissement (GX100). (A, B, C) mycélium de substrat ;(A1, B1, C1) mycélium aérien ;(A2, B2, C2) la masse sporale.....	38
<b>Figure 12 :</b> image de la plante de tomate sur champ après irrigation par la solution saline(0,5M).....	39
<b>Figure 13 :</b> images des plantules de tomate dont ses graines sont inoculées par l'une des souches de PGPR et cultivées sur champ. ....	40
<b>Figure 14 :</b> photo des plantules de la tomate cultivées dans le sol non stérilisé dans des petits pots au laboratoire. ....	43
<b>Figure 15 :</b> Effets PGPR de 14 souches d'actinomycètes sur la germination et la croissance des graines de tomate semis dans le sol stérile. ....	45
<b>Figure 16 :</b> Effet PGPR de quelques souches d'actinomycètes sur la germination des graines de tomate semis dans un sol naturel et un sol stérile avant l'irrigation par Na Cl. (a) : G22, (b) : T45 dans sol naturel, (c) : graines non inoculées, (d) : J27, (e) : H14, (f) : D14.....	48

<b>Figure 17 :</b> Effet PGPR de quelques souches d'actinomycètes sur la germination des graines de tomate semis dans un sol non stérilisé et un sol stérilisé après l'irrigation par le NaCl. ....	48
<b>Figure 18 :</b> Représentation graphique montrant le taux de croissance des plantes sur le champ, au laboratoire et sous serre. ....	50
<b>Figure 19 :</b> Concentration de la chlorophylle a, b et totale chez les feuilles des plantules de tomate cultivées sur champ. ....	52
<b>Figure 20 :</b> Concentration de la chlorophylle a, b et totale en mg/l des feuilles cultivées sur le sol Inaturel au laboratoire. ....	53
<b>Figure 21 :</b> Taux de la chlorophylle a, b et totale chez les feuilles traitées par les différentes souches. ....	54
<b>Figure 22 :</b> Le taux de la chlorophylle a, b et les chlorophylles totales chez les feuilles traitées par les différentes souches. ....	55

# *Introduction*

## Introduction

Au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, la population mondiale est passée de moins de deux milliards à plus de cinq milliards et demi de personnes avec près de 10 000 personnes qui s'ajoutent chaque heure au totale de la population mondiale (Abis, 2019).

L'augmentation de cette population au cours de ces siècles entraîne un accroissement de la pression sur la terre. Ce phénomène se traduit par une baisse de la fertilité de la terre, générant une diminution des rendements des cultures et de ce fait une baisse de la production agricole provoquant à terme des famines qui d'une certaine façon, rétablissent l'équilibre entre la population et les capacités productives des espaces considérés.

Afin de résoudre ce problème et augmenter les rendements des cultures, divers solutions alternatives sont mises à la disposition de plusieurs agriculteurs, parmi lesquelles les biofertilisants.

L'utilisation de ces biofertilisants est de plus en plus populaire dans l'agriculture biologique, car il est moins couteux et il cause moins de pollution que les engrais industriels. Ces derniers se composent d'un ensemble de microorganismes utiles à la croissance des plantes tels que les actinomycètes.

Les bactéries de la famille des actinomycètes sont des Gram-positives formant généralement des hyphes ramifiés et des spores asexuées. La chimie de leur paroi, en particulier celle du peptidoglycane. La séquence de l'ARNr 16S et la forte teneur en G+C de leur ADN (70%) sont également caractéristiques de cette famille. De nombreuses espèces jouent un rôle important au niveau de la minéralisation des sols, favorisant ainsi la croissance des racines et protégeant les plantes contre les pathogènes.

L'objectif principal de notre travail consiste à mettre en évidence l'effet des souches actinomycétales sur la croissance des plantes de tomate en présence et absence d'un stress salin. De ce fait, notre travail est structuré en 4 parties :

Une première partie représente la recherche bibliographique, qui aborde des informations générales sur notre thème.

Une deuxième partie pratique expose le matériel et méthodes utilisés pour réaliser ce travail.

Une troisième partie qui retrace et discute les résultats obtenus au cours de cette étude et on termine par une conclusion et perspectives.

# *Synthèse bibliographique*

# 1. Les actinomycètes

## 1.1. Définition

Le mot « Actinomycètes » provient de deux substantifs grecs « Actino » et « Mycète » et signifie « champignons à rayon » ou « champignons rayonnants », expression utilisée pour désigner en anglais (Ray fungi) et aussi en allemand et en russe (Loqman, 2009).

Les actinomycètes sont des bactéries filamenteuses dont la croissance donne lieu à des colonies constituées d'hyphes, qui irradient par croissance centrifuge tout autour du germe qui leur a donné naissance (Rastogi et Kishore, 1997). Elles sont de Gram positif et peuvent être sporulés, productrices des métabolites secondaires, ayant des structures chimiques et des activités biologiques très variées, leur ARNr 16S est déjà séquencé ainsi que leur génome a une forte teneur en GC% généralement comprise entre 60% - 75%.

Les actinobactéries étaient classées dans l'ordre des Actinomycetales (Mariat et Sebald, 1990), leur famille est constituée d'une quarantaine de genres qui se distinguent par leur morphologie qui peut être extrêmement différenciée, la majorité d'entre eux sont des hétérotrophes ou des chimio-autotrophes. De nombreuses espèces appartenant de cette famille jouent un rôle majeur dans la minéralisation du sol (les espèces telluriques), elles sont également capables de fixer l'azote atmosphérique et de synthétiser les antibiotiques naturellement.

## 1.2. Propriétés générales des actinomycètes

### 1.2.1. Propriétés morphologiques

Morphologiquement, les actinomycètes peuvent être classés en deux groupes. Le premier se compose d'organismes qui ne présentent pas de caractéristiques morphologiques particulières et forment seulement une masse de filaments ramifiés (mycélium). Le second comprend les organismes qui sont morphologiquement plus complexes que le premier (Lechevalier, 1985). Ils ont une croissance lente par rapport aux autres bactéries, le temps de génération moyen est environ de 2 à 3 heures (Beckers *et al.*, 1982), formant des filaments minces et ramifiés qui, lorsqu'ils évoluent sur un substrat solide, comme la gélose, ils se développent à la fois sur la surface et à l'intérieur de celui-ci (Prescott, 2010).

Ces microorganismes, en effet, présentent des similitudes à la fois avec les Eubactéries et avec les champignons. Il existe d'ailleurs toute une série de formes de transition entre les formes mycéliennes typiques et les formes unicellulaires présentant une aptitude peu marquée à former un mycélium ramifié (Dommergues et Manganot, 1970). La plupart des actinomycètes ne sont pas mobiles, chez les quelques genres dotés de mobilité, celle-ci est limitée aux spores flagellées (Prescott, 2010).

Les actinomycètes n'ont pas de membrane nucléaire, elles possèdent des organites flagellaires rassemblant à ceux des bactéries. Elles sont, pour la plupart, sensibles au lysozyme et aux agents antibactériens ; le diamètre de leurs hyphes est plus petit que celui des champignons (Kitouni, 2007).

Leur paroi cellulaire ne renferme ni chitine ni cellulose mais une glycoprotéine contenant de la lysine (formes fermentatives) ou de l'acide diaminopimélique (formes oxydatives), et leur cytologie est celle des bactéries (Mariat et Sebald, 1990). Ces caractères s'ajoutant à d'autres (leur parasitage par des bactériophages, leur sensibilité aux antibiotiques antibactériens) ne permet pas de les classer parmi les mycètes (Hasley et Leclerc, 1993).

### **1.2.2. Physiologie et métabolisme de développement**

De nombreux paramètres physiologiques influençant sur la croissance et le développement des actinomycètes sont :

#### **➤ L'oxygène**

Selon le type respiratoire, on peut classer les actinomycètes 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).

#### **➤ La température**

Les actinomycètes sont généralement mésophiles, d'autres sont thermophiles tolérant des températures avoisinant 50°C et peuvent aller jusqu'à 60°C ou plus (Omura, 1992). 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).

➤ **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. Une croissance peut être observée à des valeurs de pH inférieurs à 4 (McKinney, 2004), tel est le cas pour les souches acidophiles comme le genre *Streptacidiphilus* (Wang *et al.*, 2006).

➤ **Tolérance en NaCl**

Les actinomycètes sont divisés en deux groupes, selon leurs besoins en NaCl :

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

➤ **L'activité de l'eau (Aw)**

La germination des spores de la plupart 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).

### **1.3. Taxonomie des actinomycètes**

Selon le système de classification de Murray qu'on retrouve dans le Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (1986, 1989), les actinomycètes appartiennent au règne des Procaryotes (organismes cellulaires sans noyau), à la division des Firmicutes (Bactéries Gram-positif) et à la classe des Thallobacteria (Bactéries Gram-positif ramifiées) contenant l'ordre des Actinomycetales (Ouhdouch, 2003; Alauzet, 2009).

Durant ces vingt à trente dernières années la taxonomie d'actinomycètes a beaucoup évolué : l'ordre des actinomycètes qui comptait 5 genres en 1948, 9 en 1958,

en comprenait 37 en 1974 selon la 8<sup>ème</sup> édition du *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* (Gottlieb, 1974).

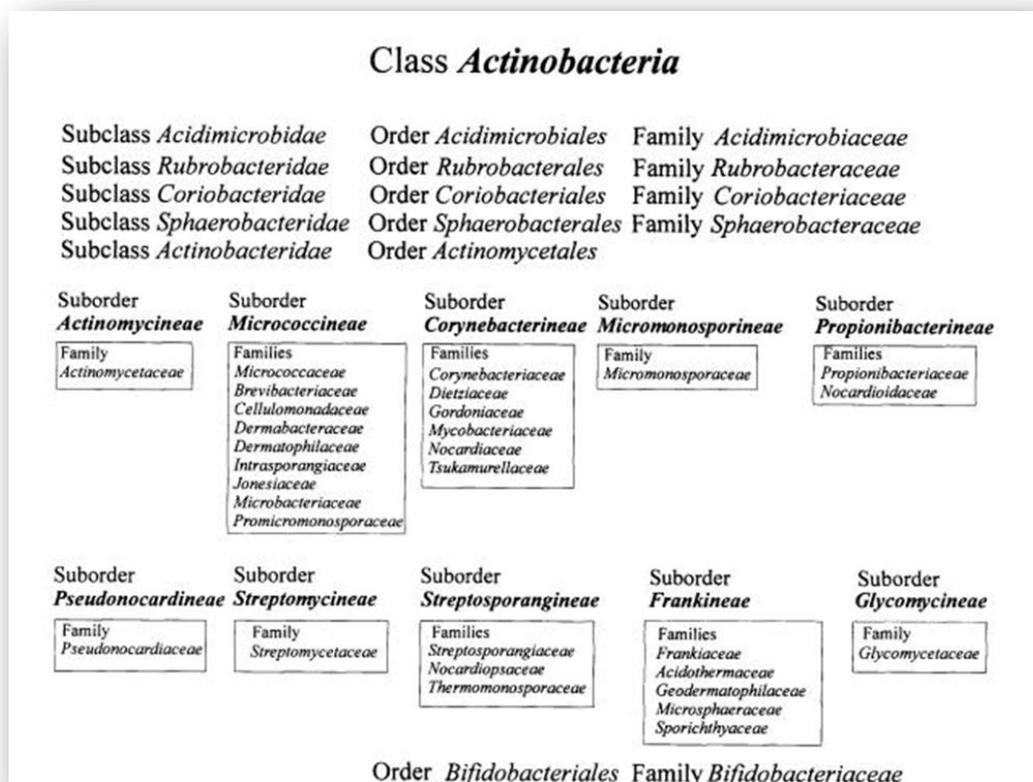
La taxonomie des actinomycètes a été passée par quatre périodes dont chacune a porté des nouveaux critères de classification:

- **Première période** : C'est la période classique, où seuls les critères macro et micro morphologiques, permettaient de différencier les genres entre eux.
- **Seconde période** : C'est la période d'utilisation de la chimio-taxonomie. Selon Goodfellow et Minnikin, (1985), la chimio-taxonomie est l'utilisation des caractères chimiques dans la classification des organismes. Selon les travaux de Becker *et al.*, 1964 ; Lechevalier et Lechevalier (1970), certains constituants cellulaires (les acides aminés pariétaux, les lipides des enveloppes cellulaires et les sucres cellulaires) ont une grande importance taxonomique dans la classification des actinomycètes. Ces constituants se retrouvent généralement soit dans la paroi ou dans la cellule entière (Sabaou, 1988).
- **Troisième période** : Durant la troisième période naissait la taxonomie numérique, qui a débuté dans les années 70. Elle combine l'outil informatique à de nombreux tests physiologiques pour différencier les espèces de chaque genre entre elles (Smaoui, 2010). Sneath et Sokal ont défini la taxonomie numérique comme "le groupement d'unité taxonomique, en taxons à l'aide de méthodes numériques sur la base des états de leurs caractères" (Prescott *et al.*, 2003).
- **La quatrième période.** : A débuter durant les années 80 et s'étend jusqu'à l'heure actuelle. Elle consiste en l'application des données basées sur les acides nucléiques, aux problèmes de systématique. Le terme taxonomie moléculaire signifie l'utilisation de l'ADN et l'ARN pour l'étude des relations entre les organismes (Judd *et al.*, 2001).

La structure générale des gènes codants pour l'ARNr 16S est hautement conservée chez tous les êtres vivants. Sa séquence présente des zones qui sont presque invariables appelées séquences signatures oligonucléotidiques. Ces derniers serviront comme outil pour identifier spécifiquement les actinomycètes (Alauzet, 2009).

Selon la classification du « Taxonomic Outline of The procaryotes, Bergey's Manual of systematic Bacteriology » (2012), le phylum Actinobacteria (bactéries riches en GC : >50 % par mol) est vaste et très complexe. Il comprend une seule classe (Actinobacteria), qui est divisée en 05 sous classes : *Acidimicrobidae*, *Rubrobacteridae*, *Coriobacteridae*, *Sphaerobacterididae* et *Actinobacteridae*.

Dans cette dernière, l'ordre des Actinomycetales est subdivisé en 10 sous ordres : *Actinomycineae*, *Micrococcineae*, *Corynebacterineae*, *Micromonosporineae*, *Propionibacterineae*, *Pseudonocardineae*, *Streptosporogineae*, *Frankinea*, *Glycomycineae* et *Streptomycineae* (Figure1).



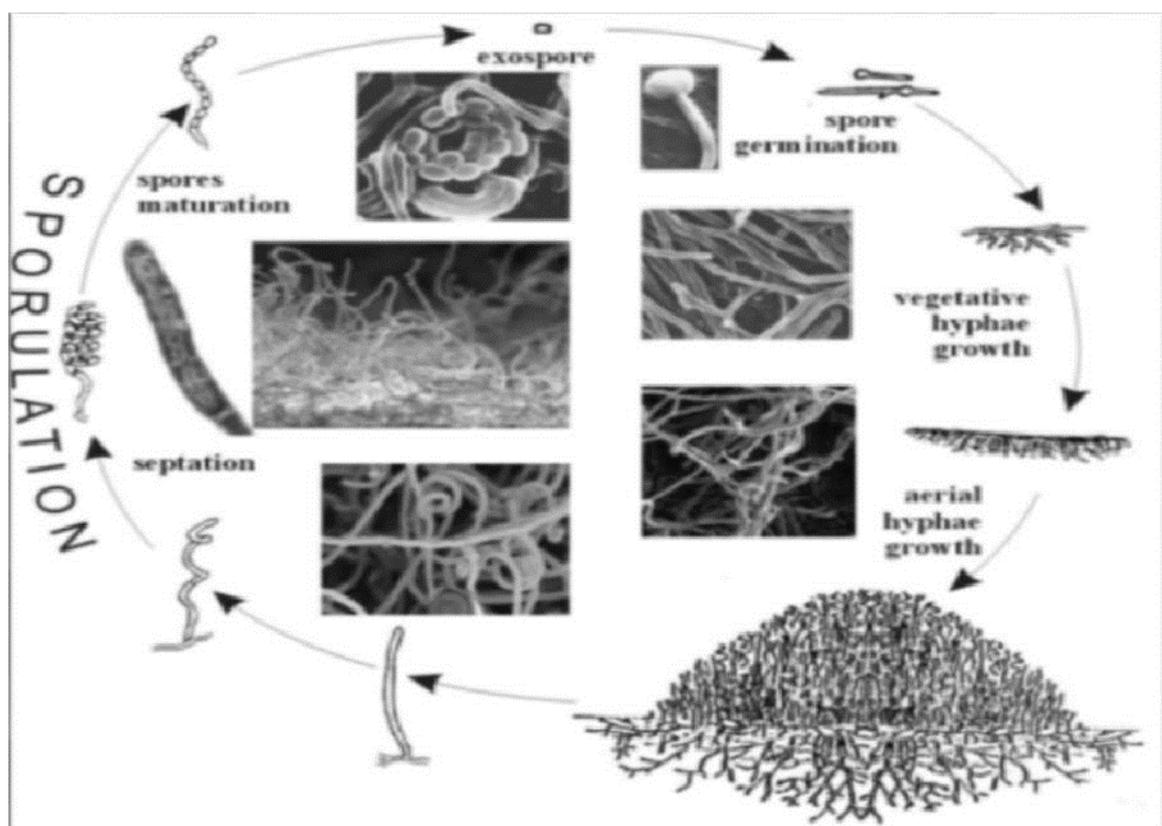
**Figure 1 :** Système de classification hiérarchique proposé de la classe Actinobactéries basé sur des analyses phylogénétiques des données de séquence ADNr 16S (Stackbrand *et al.*, 1997).

#### 1.4. Cycle de développement

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. Il s'agit des 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 séptation du mycélium primaire habituellement en réponse à un stress d'environnement (manque de nutriments). Si les spores sont localisées dans des sporanges, ils sont appelées 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 (*Streptomyces*) sur milieu solide (Jakimowicz, 2007).

## 1.5. Ecologie des actinomycètes

Les actinomycètes sont un groupe de bactéries omniprésent qui se produisent dans la multiplicité d'environnement naturel et synthétique. Ils se trouvent dans différentes niches tels que le sol, l'air, l'eau douce, les océans et sur une variété de matériel comme l'engrais, les résidus de végétaux de compost et des produits alimentaires (kumar *et al.*, 2003).

**Tableau 1** : Distribution des actinomycètes dans la nature (Larpent, 1989).

Genre	Habitats
<i>Actinomadura</i>	Sol
<i>Actinoplanes</i>	Sol, eau, litière
<i>Frankia</i>	Nodules des racines
<i>Microbispora</i>	Sol
<i>Micromonospora</i>	Sol, eau
<i>Nocardia</i>	Sol, eau
<i>Rhodococcus</i>	Sol, eau, fumier, litière
<i>Saccharomonospora</i>	Matière en décomposition
<i>Streptomyces</i>	Sol, eau, litière
<i>Streptosporangium</i>	Sol
<i>Thermomonospora</i>	Matière en décomposition et fermentation

### 1.5.1. Les actinomycètes de sol

Le sol est un habitat naturel pour divers genres de micro-organismes dont les actinomycètes sont moins dominants que des bactéries et plus importants que des champignons. Ils composent généralement 10 à 50% de la totalité de la communauté microbienne.

Les actinomycètes sont largement répandus dans tous les sols à l'exception des sites exposés à des conditions trop extrêmes. Ils sont surtout présents dans la couche comprise entre la surface du sol et jusqu'à 2m de profondeur c'est-à-dire dans la rhizosphère. Le genre *Streptomyces* est le plus fréquent dans le sol, il couvre à lui seul 95% des souches d'actinomycètes isolées (Nonomura, 1969).

- **Actinomycètes dans les sols de rhizosphères de plantes**

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 plantes.

Au niveau de la rhizosphère, les actinomycètes font des relations symbiotiques avec la plante. On peut rencontrer le genre *Frankia* qui est extrêmement importants pour de nombreux types de plantes. Cette bactérie fixatrice d'azote (capable d'utiliser l'azote atmosphérique comme seule source d'azote) forme des nodules au niveau des racines des angiospermes. Elle confère donc un avantage à la plante pour croître dans un sol pauvre en azote. Cette association est appelée association actinorhizienne (Prescott *et al.*, 2007). Peu d'espèces sont phytopathogènes, l'exemple le plus étudié est *Streptomyces scabies*, responsable de la gale de la pomme de terre (Lindholm, 1997).

- **Les actinomycètes du compost**

Les actinomycètes font partie des microorganismes décomposeurs de la matière organique par exemple les *Thermoactinomyces* et les *Faenia*. Ils agissent plus tardivement que les bactéries et les champignons. Ils sont spécialisés dans les derniers stades de compostage en attaquant des structures résistantes comme la lignine (Mincer *et al.*, 2002).

### **1.5.2. Les actinomycètes de l'air**

L'air constitue pour les actinomycètes un moyen de transport non pas un habitat (Gazenko *et al.*, 1989 ; Reponen *et al.*, 1989). Les actinomycètes se développent et libèrent leurs spores dans l'air provoquant lorsqu'elles sont inhalées des maladies respiratoires (Gazeno *et al.*, 1985 ; Suntari *et al.*, 2002).

### **1.5.3. Les actinomycètes aquatiques**

- **Les actinomycètes des eaux douces**

Des actinomycètes sont largement distribués dans un environnement aquatique, mais cela ne prouve pas qu'ils fassent partie de la flore microbienne indigène. L'occurrence et l'importance des actinomycètes dans l'eau douce ont été étudiés par plusieurs chercheurs (Erikson 1941, Bnrman 1973, Rowbotham et Cross 1977, Makkar et Cross 1982). Les genres des actinomycètes qui sont fréquents dans l'eau douce

incluent *Actinoplanes*, *Micromonospora*, *Nocardia*, *Streptomyces* de *Rhodococcus* et *Thermoactinomyces* (Williams *et al.*, 1983).

#### ➤ **Les actinomycètes marins**

Certaines souches d'actinomycètes ont été retrouvées dans des environnements marins (Singh *et al.*, 2006 et Imada *et al.*, 2007), dans des sédiments situés à plus de 4000 m de profondeur (Khattabi *et al.*, 2002). La colonisation normale du milieu marin est un point controversé, selon les uns, il existerait une flore d'actinomycètes spécifique aux sédiments marins caractérisée par sa barotolérance, son halophilie et une température optimale faible ; selon d'autres, les actinomycètes isolés de ces milieux correspondraient à des souches terricoles adaptées à la salinité marine (Larpent et Sanglier, 1989).

Les actinomycètes sont également présents dans les lacs extrêmement alcalins, les lacs salés, en revanche il semblerait qu'ils sont absents dans les eaux minières très acides (pH<1) et les sources thermales très chaudes d'origine volcaniques (Lechevalier, 1981).

### **1.6. Rôle et importance des actinomycètes**

La principale raison derrière l'engouement pour les actinomycètes vient du fait qu'ils possèdent des rôles importants dans le sol et dans les interactions avec les plantes (Conn, 2005), ainsi que leur pouvoir de synthétiser de nombreux métabolites d'intérêt biotechnologique (enzymes, antibiotiques, composés antifongiques, pesticides...etc.).

Il a été estimé que sur 16500 antibiotiques connus, 8700 (53%) sont produits par les actinomycètes dont 6550 (40%) par des espèces de *Streptomyces* (Choulet, 2006). Ces microorganismes ont la capacité de dégrader certaines molécules aromatiques en plus de la pectine et de la kératine, de décomposer des substances organiques tels que : le caoutchouc et ils sont contribués dans la fertilisation et la minéralisation de sol.

Les actinomycètes produisent également une molécule appelée Géosmine qui donne au sol son odeur caractéristique (Goodfellow *et al.*, 2012). Citant certains genres ayant des rôles écologiques plus importants : Les *Thermoactinomyces* et *Faenia* se trouvent dans les composts comme nettoyeurs de la nature et formateurs d'humus (Alkama, 2014).

Elles ont contribué à la promotion de la croissance des plantes par des effets directs et indirects (Barreto *et al.*, 2008). Les effets directs comprennent la solubilisation du phosphate, la fixation d'azote, la production de phytohormones (El-Mehalawy *et al.*,

2004). Tandis que les effets indirects peuvent être dus au contrôle des agents pathogènes par la production des métabolites secondaires, tel que les antibiotiques (Barreto *et al.*, 2008), ou par la compétition nutritionnelle vis-à-vis des agents pathogènes, comme par exemple la synthèse des sidérophores, qui sont des chélateurs du fer (Getha *et al.*, 2005).

## **2. Généralité sur la tomate**

### **2.1. Origine de la tomate**

La tomate est originaire de la région andine du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud où sa domestication remonte à plus de 5000 ans. Elle a été introduite au Mexique puis via les Espagnols en Europe au XVIème siècle (Verolet *et al.*, 2001).

La tomate était connue en France depuis 1560 comme plante ornementale. Cependant, tout laisse à penser que ce n'est que depuis 1778 qu'elle est considérée comme légume. Sa culture ne prit d'ailleurs vraiment de l'extension qu'à partir de 1800 (Laumonier, 1979).

Aujourd'hui, la tomate est devenue l'un des produits incontournables de l'alimentation humaine car, elle est le second légume dans le monde après la pomme de terre.

### **2.2. Définition et caractère morphologique**

La tomate (*Lycopersicon esculentum*) appartient à la famille des *Solanaceae*, à laquelle appartiennent également le piment, le jaxatu, le poivron, l'aubergine et la pomme de terre (Dakar, 2012). *Lycopersicon esculentum* Mill., est la seule espèce cultivée du genre *Lycopersicon*. C'est une plante diploïde ( $2n = 2x = 24$ ) (André *et al.*, 1997).

La tomate est une solanacée annuelle, buissonnante produisant des grappes de fruit rouges (quelques fois jaunes), très demandé en toute saison de l'année pour la consommation fraîche et qui font l'objet d'une importante conserverie. La plante est cultivée, en plein champ ou sous abri, sous presque toutes les latitudes, sur une superficie d'environ trois millions d'hectares, ce qui représente près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes (Gonde carre jussiaux, 1968). Elle possède des caractères morphologiques suivant :

- **Système racinaire** : Forte racine pivotante atteignant 25 à 35 cm de profondeur ou plus, avec un système dense de racines latérales et adventives (Van der vossen *et al.*, 2004).
- **La tige** : De consistance herbacée en début de croissance, la tige tend à devenir un peu ligneuse en vieillissant. La croissance de la tige est assurée par les bourgeons. Les bourgeons axillaires donnent naissance à des ramifications successives, tandis que les bourgeons terminaux produisent des fleurs ou avortent. Les rameaux issus des bourgeons axillaires produisent des feuilles à chaque nœud et se terminent aussi par une inflorescence (Chaux et Foury, 1994).

Il n'y a qu'une tige par pied et les ramifications donnent à la plante un aspect buissonnant. Les tiges sont vertes pourvues de poils blanchâtres. Elles portent les feuilles, les fleurs et les fruits. Le plus souvent, elles sont retombantes et demandent à être attachées sur des tuteurs (Shankara *et al.*, 2005).

La tige est couverte d'un système pileux protégeant l'épiderme, violacé à la base du pied. La plante paraît ligneuse. Une peau verte recouvre une sorte de bois (Danneyrolles, 1999).

- **Les feuilles** : Le feuillage de tomate est caractéristique et ne ressemble à celui d'aucune autre plante, à l'exception de celui de ses cousines (Danneyrolles, 1999). Les feuilles sont disposées en spirale, alternes, de 15 à 50cm de long et 10 à 30cm de large, stipules absentes, pétioles de 3 à 6cm de longueur. Elles comprennent de 5 à 7 folioles aux lobes très découpés.

Les folioles sont insérées sur le pétiole de la feuille par l'intermédiaire de petites ramifications. Les feuilles sont vertes, poilues et ont une odeur forte lorsqu'on les froisse. Au point d'insertion du pétiole sur la tige on trouve un bourgeon qui donne souvent naissance à une nouvelle ramification (Shankara *et al.*, 2005).

- **Les fleurs** : Les fleurs sont réunies en cymes, inflorescences de type déterminé, cependant chez la tomate le méristème de l'inflorescence ne se termine pas par une fleur et, en fait, maintient son indétermination (Welty *et al.*, 2007). La grappe florale de la tomate se compose d'une succession d'aisselles portant chacune une seule fleur, la tige principale de la grappe (pédoncule) peut se ramifier une ou plusieurs fois (Chaux, 1971). Les fleurs sont disposées de façon

opposée sur la grappe où elles prennent naissance. Une fleur termine le bouquet dans son axe (Danneyrolles, 1999).

La fleur est hermaphrodite. Les étamines sont soudées les unes aux autres pour former un cône pollinique qui se referme autour de l'organe femelle situé en son centre. Seule une petite ouverture à son extrémité (le stigmate) permet au pollen des autres fleurs de pénétrer dans le pistil (Lambert, 2005). L'ovaire est supère (situé au-dessus de calice) et comporte le plus souvent 2 loges, ou carpelles, mais certaines variétés peuvent en comporter 3 ou 5 (Polese, 2007).

- **Le fruit :** Baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés (Shankara *et al.*, 2005). Si les fruits sont traditionnellement sphériques et rouges, ils peuvent être de diverses tailles, couleurs et formes. Il existe ainsi des fruits blancs, jaunes, orange, ou noirs violacés (Polese, 2007).
- **Les graines :** Les pépins sont entourés d'une sorte de mucilage provenant de la gélification de l'enveloppe de la graine (Polese, 2007). Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g (Shankara *et al.*, 2005).

### 2.3. Classification

Les éléments historiques montrent que *Solanum lycopersicum* a été proposé par Linné en 1753 et par la suite, Miller Gardner affina la classification de Linné, et donna à la tomate le nom latin « *Lycopersicon esculentum* ». Des études phylogénétiques appuient l'idée que la tomate et ces cousins les *lycopersicum* sauvages doivent être placés dans le genre *Solanum*. Les deux noms continuent à être utilisés dans la littérature (Blancard, 2009).

Aucune classification n'est stable, chacune peut toujours être affinée, voire modifiée, à la lumière de découvertes nouvelles ou d'interprétations différentes, c'est pour cela le nom scientifique de la tomate présente plusieurs synonymes :

*Solanum lycopersicon* L.1753 ; *Lycopersicon esculentum* Mill.1768 ; *Lycopersicon pomumamoris* Moench 1794 ; *Lycopersicon lycopersicum* Karst. 1882. (Van der vossen *et al.*, 2004).

**Tableau 2 :** La classification systématique de *Lycopersicum esculentum* (Benton, 2008).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionia
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Solanales
Famille	Solanacées
Genre	<i>Lycopersicum</i>
Espèce	<i>Lycopersicum esculentum</i>

## 2.4. Mode de reproduction

Par ses fleurs hermaphrodites, elle est auto fertile (autopollinisation) et principalement autogame. Cela résulte de la morphologie de la fleur, le style est en effet inséré dans le tube formé par les étamines, les stigmates n'apparaissant généralement pas à l'extérieur. Cela limite fortement la pollinisation croisée, sans l'interdire totalement. La pollinisation nécessite toutefois l'intervention d'un agent extérieur, le vent ou certains insectes comme les bourdons, capable de faire vibrer les anthères et de libérer le pollen (Benton, 1999).

## 2.5. La culture

La tomate est cultivée selon deux systèmes principaux qui sont :

- **La culture de plein champ** : ce système de culture est le plus répandu. Si l'irrigation est disponible, les plantations peuvent être faites en saison sèche. La mécanisation est souvent réduite à la préparation du sol (Ciard et Gret, 2002).
- **La culture sous abris** : ce système de culture vise à produire les tomates au long de l'année. Il permet de développer des productions hydroponiques, supprimant ainsi certaines contraintes liées au sol (Ciard et Gret, 2002). La culture sous abri fournit aujourd'hui une part essentielle du marché de frais pour les légumes-fruits tels que la tomate (Jeannquin *et al.*, 2005).

## **2.6. Exigences écologiques**

### **2.6.1. Le climat**

La tomate est exigeante en ce qui concerne les températures dont l'optimum se situe entre 13 et 20 °C pendant la nuit et entre 20 et 27 °C pendant la journée. Pour obtenir une bonne production, un écart de 6 à 7 °C entre les températures diurnes et les températures nocturnes est nécessaire au moment de la floraison (Nyabyenda, 2007).

La tomate aime les situations bien ensoleillées, mais elle ne présente pas d'exigences photopériodiques très marquées (Chaux et Foury, 1994).

Un taux d'humidité élevé peut causer des problèmes dans les serres car il favorise l'établissement de nombreux champignons et bactéries pathogènes. Cependant, un taux d'humidité trop faible à cause de l'arrivée d'air froid et sec dans la serre en hiver stressera encore plus les plants (Elmhirst, 2006).

### **2.6.2. L'eau**

La tomate paraît la culture la plus exigeante en eau en particulier après sa transplantation, pendant la floraison et enfin lors du développement des fruits (Naika *et al.*, 2005).

### **2.6.3. Le sol**

La tomate croît bien sur les sols minéraux qui ont une bonne capacité de rétention de l'eau et une bonne aération. Elle préfère aussi, les terres limoneuses profondes. La tomate pousse sur des sols limoneux profonds riche en humus et ayant un pH de 5,5 à 6,8.

## **2.7. Principales maladies de la tomate**

La particularité écologique de la culture de la tomate l'expose à diverses nuisances (Nechadi *et al.*, 2002) notamment les champignons, les bactéries, les virus et les ravageurs (Leroux, 2003).

### 2.7.1. Maladies bactériennes

**Tableau 3:** Les Principales maladies bactériennes de la tomate.

Nom de la maladie	Agent causal	Symptômes
La gale bactérienne	<i>Xanthomonas campestris</i>	Apparition des taches brunâtres entourées d'un halo jaune entraînent le dessèchement de folioles et la chute des feuilles ainsi que la présence des petits chancres pustuleux sur le fruit.
la moucheture bactérienne	<i>Pseudomonas syringae</i>	Apparition des taches noires sur les feuilles, une coulure importante des fleurs et des taches brunes nécrotiques
Le chancre bactérien	<i>Clavibacter michiganensis</i>	Présence d'un flétrissement unilatéral sur feuille, suivi d'un dessèchement total et des taches blanchâtres sur fruit.
Le flétrissement bactérien	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Cette bactérie, provoque un flétrissement des Solanacées. Les premiers symptômes peuvent être repérés par la présence de décoloration unilatérale de certaines feuilles. Peu à peu, l'ensemble de la plante flétrit et meurt. Une coupe longitudinale de la tige révèle un noircissement des tissus conducteurs de la sève.

## 2.7.2. Maladies fongiques

**Tableau 4** : Les Principales maladies fongiques de la tomate.

Nom de la maladie	Agent causal	Symptômes
Botrytis (ou pourriture grise)	<i>Botrytis cinerea</i>	Présence des taches brunâtres accompagnées d'un duvet grisâtre sur feuille et tige et une pourriture molle grise sur le fruit.
Alternariose	<i>Alternaria solani</i>	Apparition de taches arrondies noirâtres sur feuille et des taches chancreuses peuvent se manifester sur tige.
Oïdium	<i>Leveillula taurica</i>	Apparition de taches jaunes sur la face supérieure des feuilles, et d'un duvet blanc sur la face inférieure, Après jaunissement des feuilles, elles se dessèchent puis elles tombent.
Mildiou	<i>Phytophthora infestans</i>	On constate sur la face inférieure des feuilles un duvet blanc, grisâtre qui dissémine les spores. Les tiges attaquées noircissent et la plante meurt en quelques jours.
Fusariose	<i>Fusarium oxysporum</i>	Au début, les symptômes ne sont visibles que sur une seule moitié de la surface des feuilles, des branches ou des plantes. Ces symptômes sont un jaunissement des feuilles et un flétrissement qui se propagent à partir de la base de la tige.

### 2.7.3. Maladies virales

**Tomato mosaic virus (TMV) :** Le symptôme dépendra de la variété, l'âge de la plante au moment de l'infestation, et l'état de l'environnement. Le virus provoque : marbrures et rugosité des feuilles, nanisme. Des rendements réduits et roussissement des fruits (Benton, 2008). La transmission se fait par des pucerons (Trottin-Caudal, 2011).

**Virus de la maladie bronzée de la tomate (TSWV) :** Les symptômes du TSWV sont très variés. Sur les feuilles, on peut observer un symptôme de mosaïque vert clair à vert foncé, des taches chlorotiques à nécrotiques, parfois en anneaux, apparaissant sur les faces supérieures puis inférieures, des plages rouge brun, plus nombreuses et confluentes à la base des folioles, qui deviennent légèrement enroulées (Marchaux *et al.*, 2008). Le principal agent de transmission de TSWV est le thrips. Neuf espèces de cet insecte ont été rapportées vecteurs de ce virus.

**Virus du jaunissement et feuille en cuillère de la tomate (TYLCV) :**

Les plantes atteintes ont une croissance ralentie ou même bloquée leur conférant un aspect chétif : réduction des entre nœuds, aspect buissonnant, folioles de petites taille qui jaunissent et deviennent incurvées (cuillère). Et parfois filiforme. Les fruits sont petits et peu nombreux. Si l'infection est précoce la récolte est nulle (Trottin-Caudal, 2011). Transmis par les aleurodes (Benton, 2008).

## 2.8. Importance et valeurs nutritionnelles

Les tomates sont produites en vue de la consommation en frais ou en fruit transformés. Elles ont connu de nombreux débouchés ces dernières décennies : on en fait des concentrés, des jus, du ketchup, de la pulpe, des tomates concassées, des tomates pelées (Polese, 2007).

Dans les dernières décennies, la consommation de tomate a été associée à la prévention de plusieurs maladies comme le cancer ou les maladies cardiovasculaires (Sharoni et Levi, 2006 ; Wilcox *et al.*, 2003). Cet effet protecteur a été principalement attribué à ses précieux composants bioactifs avec propriétés antioxydantes (Borguini et Torres, 2009) comme les carotènes (le lycopène qui donne leur couleur rouge aux tomates ainsi que le  $\beta$ -carotène), l'acide ascorbique, le tocophérol et les composés phénoliques (Martinez-Valverde *et al.*, 2002 ; Periago *et al.*, 2009).

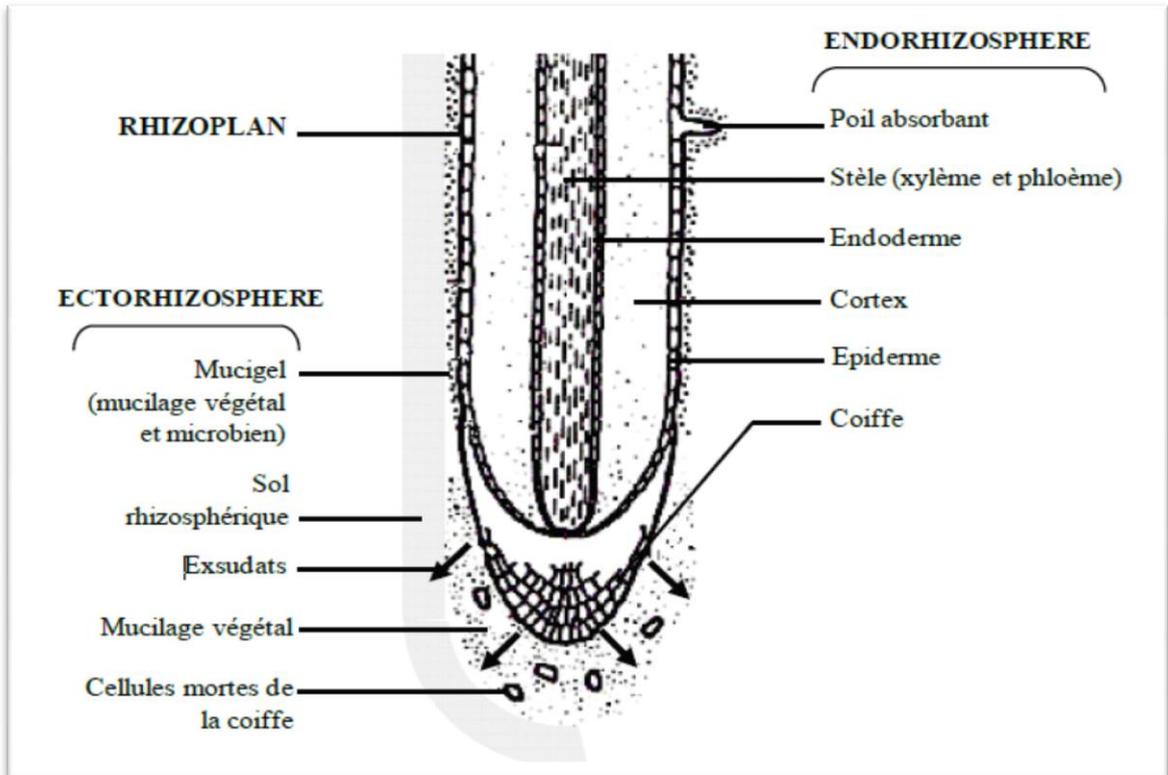
Contrairement à la plupart des fruits, elle est un aliment très peu énergétique, car prise crue, elle n'apporte qu'environ 15 kcal/100 g et 20 kcal/100 g à l'état cuit.

La tomate comme la plupart des légumes, présente une bonne densité nutritionnelle avec : 94% d'eau et 6% de matière sèche composée de 50% de sucres (fructose et glucose), 25% d'acides organiques (acides citriques et maliques), 8% de minéraux, 2% d'acides aminés, de caroténoïdes et autres métabolites secondaires, c'est aussi une source de fibres (2 g /100g) soit le quart des apports nutritionnels conseillés (Davies et Hobson, 1981). Les vitamines du groupe B sont assez abondantes y compris la vitamine B8 et l'acide folique (B9), ainsi que la vitamine C qui possède des propriétés anti oxydantes.

### **3. Interactions entre les actinomycètes et la plante**

#### **3.1. La rhizosphère**

Le terme rhizosphère est issu de : *rhiza* "racine" et *sphera* "ce qui entoure". La rhizosphère : volume de sol soumis à l'influence des racines, est définie aussi comme la couche de sol qui adhère fermement aux racines des plantes (Beattie, 2007). La rhizosphère est une zone très riche en nutriments, constituant une niche écologique stimulatrice de diverses activités microbiennes (Bravin, 2008). Cette partie de sol se décompose en trois zones : l'endorhizosphère (tissus racinaires), le rhizoplan (surface des racines) et l'ectorhizosphère (sol adhérent aux racines ou sol rhizosphérique) (Lepinay, 2013).



**Figure 3:** Représentation schématique des trois zones de la rhizosphère (Lynch, 1983).

### 3.1.1. Les microorganismes de la rhizosphère

Les microorganismes rhizosphériques peuvent être différenciés en deux groupes se distinguant par le niveau d'interdépendance qui existe entre la plante et les microorganismes : les microorganismes symbiotiques et les non symbiotiques (Lepinay, 2013). Au sein de chaque groupe, il existe divers microbes qui se distinguent par leur effet sur la plante : positif, négatif ou neutre (Wardle *et al.*, 2004).

- **Les microorganismes symbiotiques :** qui sont situés à l'intérieur ou à la surface des racines, ils dépendent entièrement de la plante pour leur survie (Wardle *et al.*, 2004).
- **Les microorganismes non symbiotiques :** ou libres qui sont présents au niveau du sol. Certaines espèces microbiennes comme les bactéries *Pseudomonas* (Doornbos *et al.*, 2012) ou les champignons du genre *Trichoderma* (Harman *et al.*, 2004) sont des microorganismes libres, non symbiotiques à la base (Lepinay, 2013).

Au niveau de la rhizosphère on peut rencontrer des bactéries telles que les PGPR et certaines bactéries lactiques (*Lactobacillus bifidus*, *Lactobacillus acidiphilus*,

*Streptococcus lactis*...etc.). De même, les champignons sont très bien représentés dans cette zone : *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Gliocladium*...etc.

### **3.1.2. Rôle des microorganismes rhizosphériques**

L'activité microbiologique dans la rhizosphère a une grande importance et des diverses conséquences pour les plantes. Tout d'abord, ces microorganismes jouent un rôle majeur dans le recyclage des éléments minéraux et entraînant leur meilleure assimilation par les plantes. De même, les sidérophores (agents chélateurs) synthétisés par les microorganismes peuvent également favoriser ou freiner l'assimilation d'éléments comme le fer, le manganèse et le zinc. En plus de la production des régulateurs de croissance certains de ces microorganismes ont une capacité de détoxification c'est-à-dire : ils produisent des composés toxiques pour inhiber la croissance des autres microorganismes. Un autre rôle très important joué par les antagonistes c'est la protection des plantes contre les attaques des microorganismes pathogènes.

### **3.1.3. Les interactions entre les microorganismes de la rhizosphère**

Le sol renferme une quantité gigantesque de microorganismes, de l'ordre d'un milliard par gramme de sol. Ces microorganismes interagissent entre eux et avec le système racinaire des plantes (Job *et al.*, 2013). Voici quelques exemples expliquant brièvement comment les microorganismes de la rhizosphère interagissent entre eux:

Les bactéries lactiques sont inhibées par la présence de bactéries de la flore de décomposition (les champignons, les actinomycètes et les bactéries saprophytes).

Certains microorganismes sont capables de produire des biosurfactants qui sont des composés pouvant endommager directement les membranes cellulaires de certains pathogènes et entraîner leur mort (Brencic et Winans, 2005). En outre, des bactéries comme les *Pseudomonas* peuvent sécréter des enzymes (protéase, chitinase, lipase) capables de perturber la croissance de champignons pathogènes (Bolwerk *et al.*, 2003). L'étude de Pivato *et al.*, (2009) met en évidence une meilleure colonisation mycorhizienne à l'intérieur des racines de la légumineuse *Medicago truncatula* en présence de la bactérie non symbiotique *Pseudomonas fluorescens*.

## **3.2. Interaction entre microorganismes et plante**

### **3.2.1. Au niveau de la phyllosphère**

La phyllosphère « *lato sensu* » est définie comme étant la partie aérienne des plantes, c'est-à-dire tous les organes hors sol (Durand, 2017), Cet habitat abrite de nombreuses bactéries, champignons filamenteux, levures, algues, et parfois des

protozoaires et des nématodes. Au niveau de la phyllosphère il existe des organismes pathogènes tout comme dans la rhizosphère (Durand, 2017), mais il y'a d'autres qui sont bénéfiques ; ils produisent des effets de promotion de la croissance des plantes, directs ou indirects (Durand, 2017). Notons par exemple que de nombreuses bactéries produisent des hormones de croissances telles que les auxines ou les cytokines, que certains organismes produisent des antibiotiques et que la prolifération par des microorganismes commensaux diminue la colonisation des fleurs et des fruits par des organismes pathogènes participant activement à l'immunité de la plante (Lindow et Brandl, 2003 ; Vorholt, 2012 ; Maignien *et al.*, 2014 ; Trouvelot *et al.*, 2014 ; Bringel et Couée, 2015). Il est même avancé que les microorganismes des plantes pourraient protéger les feuilles de certains UV et les protéger des herbivores et autres phytophages en produisant des métabolites secondaires (Vacher *et al.*, 2016).

### **3.2.2. Au niveau de la rhizosphère**

Parmi les microorganismes bénéfiques pour les plantes vivant dans la rhizosphère ; les champignons mycorhiziens. Ils apportent à la plante des éléments nutritifs essentiellement le phosphore utile à sa croissance et renforcent ses défenses naturelles vis-à-vis de stress d'origine biotique ou abiotique. D'autres microorganismes, en particulier les bactéries du genre *Bacillus* ou *Pseudomonas* qualifiées de « PGPR », sont également capables de stimuler la croissance des plantes hôtes et de s'opposer à l'activité d'agents pathogènes. En plus, il existe des microorganismes influant négativement la nutrition et la santé des plantes et qui se comportent comme des parasites vis-à-vis de cette plante hôte. Il s'agit de champignons ou de bactéries qui utilisent les composés carbonés libérés par la plante et ne vont pas lui fournir de nutriments en retour et/ou vont provoquer des maladies chez la plante hôte. Les racines des plantes libèrent une large variété de substances (divers alcools, éthylène, sucres, acides aminés, acides organiques, vitamines, nucléotides, polysaccharides et enzymes). Ces molécules influencent considérablement les microorganismes, constituant un écosystème rhizosphériques très favorable à leur croissance (Prescott, 2002). La plupart des bactéries de la rhizosphère aident à leur tour, par mutualisme, les plantes par la fixation de l'azote atmosphérique ainsi que la dégradation de la matière organique (Schmitt-Kopplin *et al.*, 2007).

### **3.3. Les PGPR (Plant growth promoting rhizobacteria)**

Les PGPR ont été tout d'abord décrit par Kloepper et Schroth en 1978. Ils sont des bactéries qui se développent dans la rhizosphère et qui sont connus par leurs effets bénéfiques sur le développement et la santé de la plante ainsi que sur le rendement par des mécanismes directs ou indirects (Compant *et al.*, 2005).

#### **3.3.1. Colonisation des plantes par les PGPR**

En plus de la colonisation de la rhizosphère et de rhizoplan par les PGPR, ces derniers sont aussi capables d'envahir les tissus internes des plantes. De cette façon, elles pourraient atteindre les couches centrales avant la différenciation de l'endoderme. Bien que l'endoderme est accessible via la sécrétion des enzymes dégradant la paroi cellulaire (Compant *et al.*, 2010), ces enzymes sont produites par des PGPR et des bactéries endophytes qui sont capables de pénétrer à l'intérieur des cellules via ces enzymes hydrolytiques.

#### **3.3.2. La promotion directe de la croissance**

Ce processus est réalisé par l'induction des phytohormones (auxines ou cytokines) permettant à la plante hôte de développer un système racinaire abondant à fin de coloniser la plus grande surface de sol. Dans ce cas les PGPR ont un impact positif de manière directe sur la plante ; tout d'abord, ils ont la capacité d'augmenter la qualité de nutriments disponibles ainsi que la micro saturation du sol (retire mieux l'eau). De plus, ils peuvent entraîner une modification de l'équilibre hormonale de la plante (Glick *et al.*, 1998 ; Dobbelaere *et al.*, 2003).

#### **3.3.3. La promotion indirecte de la croissance**

Le processus repose sur la réduction des effets délétères des plantes par les bactéries PGPR en dégradant les xénobiotiques par la production des métabolites toxiques pour les microorganismes pathogènes .L'effet bénéfique indirect de ces PGPR résulte de leur interaction avec les pathogènes et/ou les parasites de la plante hôte. Ces interactions correspondent souvent à de la compétition ou de l'antagonisme (Bally et Elmerich, 2007).

#### **3.3.4. L'utilisation et rôle des PGPR**

Ces bactéries sont utilisées fréquemment en agriculture pour la biofertilisation des sols, l'amélioration de la disponibilité des nutriments et pour la protection des plantes. Elles améliorent le développement des systèmes racinaires et renforcent les capacités défensives des plantes contre les maladies (Van Loon *et al.*, 1998). Elles affectent positivement le levé des semences et améliorent le rendement des cultures

(Glick *et al.*, 1999). Les PGPR peuvent favoriser la croissance des plantes hôtes par divers mécanismes tels que la fixation d'azote (N<sub>2</sub>) et la solubilisation d'oligoéléments tels que le phosphate (P) (Cakmakci *et al.*, 2006 ; Orhan *et al.*, 2006), l'inhibition de la synthèse d'éthylène par la plante, la synthèse des phytohormones ou de vitamines (Dobbelaere *et al.*, 2003), et en diminuant la toxicité des métaux lourds (Burd *et al.*, 1998 ; Whipps 2001).

## *Matériel et méthodes*

## 1. le sol

### 1.1. Localisation géographique

Le sol utilisé pour cette étude a été prélevé à partir d'une région de Beni Hamiden nommée « Tiddis » (36° 30' 20" Nord, 6° 32' 59" Est) de la wilaya de Constantine en Algérie.



**Figure 4 :** Site de prélèvement du sol

### 1.2. Le prélèvement du sol

Le sol utilisé dans cette étude n'a pas subi de traitement par les pesticides ainsi que les engrais pendant huit ans. De plus, il était cultivé avec plusieurs types de cultures notamment : la pomme de terre, la tomate, les courgettes, le poivre, le blé, le pois chiche, l'oignon et l'ail. La couche de 4 à 10 centimètres du sol est écartée. Un échantillon d'environ 30Kg du sol est alors prélevé pendant le mois d'Avril et placé dans des boîtes fermées et transportées vers le laboratoire.



**Figure 5 : échantillonnage du sol**

### **1.3. Paramètres physicochimiques du sol**

#### **1.3.1. Mesure du pH**

Pour mesurer le pH du sol destiné pour ce travail on suit le protocole suivant :

Une homogénéisation de 10g de sol dans 25ml d'eau distillée a été effectuée, suivit d'une agitation pendant 15 minutes puis une décantation ; le pH du surnageant est donc déterminé à l'aide d'un pH mètre (Hanna instruments HI 2211).

#### **1.3.2. Mesure de la conductivité**

La conductivité d'un sol permet de déterminer leur salinité. Elle consiste à effectuer des dilutions du sol au 1/5 dans de l'eau distillée en homogénéisant 10g du sol avec 50 ml d'eau, puis après une agitation pendant 30 minutes et décantation, la conductivité est mesurée à l'aide d'un conductimètre (Nahita model 903).

#### **1.3.3. Détermination du taux de la matière organique**

La détermination du taux de la matière organique consiste que le sol soit déjà desséché, pendant 48 heures à 105°C, est réduit en cendre pendant 16 heures à 450°C dans un four à moufle. La différence entre le poids sec et le poids des cendres détermine le taux de la matière organique (Lee et Hwang, 2002).

#### **1.3.4. Détermination du taux de la matière minérale**

La matière minérale c'est la différence entre le poids total du sol et le poids de la matière organique.

### **1.3.5. Détermination du pourcentage d'humidité**

La détermination du pourcentage d'humidité s'effectue par le séchage d'une quantité de 100g du sol à 105°C pendant 48 heures. Après dessiccation, le poids sec est déterminé (Lee et Hwang, 2002) et (Djaballah, 2009). Le pourcentage de l'humidité est calculé comme suit :

$$H = \frac{PH - PS}{PH} \times 100$$

H : l'humidité en pourcentage

PH : poids humide

PS : poids sec

### **1.4. Le prétraitement du sol**

Les gros débris retrouvés (pierres, racines, insectes, verres...etc.) sont éliminés puis 322 grammes du sol sont placés dans des flacons stérilisés, ces derniers sont stérilisés par autoclavage pendant 20 minutes à 120 °C.

La surface interne des pots en plastique de profondeur de 10 cm est désinfectée par l'éthanol à 70%. Trente-deux pots sont ensuite remplis de 322 grammes de sol stérile et trente-deux autres pots sont remplis par le sol naturel.

Tous les pots sont recouverts par un film alimentaire puis avec du papier d'aluminium pour éviter leur contamination.

## **2. Les souches bactériennes utilisées**

Quatorze souches d'actinomycètes telluriques sont utilisées dans cette étude (G22, G33, H12, H14, J4, J21, k23, T45, D14, G10, J13, G22, J27, K12, S2). Ces isolats d'origine du « Sebka ».Elles ont été fournies par le laboratoire de Génie microbiologie et applications.

### **2.1. Revivification des souches**

Les souches d'actinomycètes conservées dans des tubes eppendorf à -20 °C sont repiquées par la technique des stries serrés sur le milieu ISP2. Les boîtes de Pétri sont ensuite incubées à 30 °C pendant sept jours.

## 2.2. Préparation de la suspension sporale

Après sept jours d'incubation les spores bactériennes formées sur la surface du milieu sont raclées à l'aide d'une anse de platine et mises dans de l'eau distillée. Après une homogénéisation des suspensions, elles sont filtrées à travers du coton afin d'avoir des suspensions pures, puis mises dans des tubes. Après agitation, la densité optique des suspensions sporales est ajustée à 0,8 à une longueur d'onde égale à 620 nm.

## 2.3. Observation des caractères microscopiques des souches

Le milieu ISP2 est coulé dans des boîtes de Pétri. Après solidification des lamelles stériles sont placées sur ce milieu de manière à former un angle de 45° avec leur surface. Des inocula de chaque souche actinomycétale sont alors réalisés. Les boîtes sont fermées et incubées 8 jours à 30 °C. Les lamelles sont retirées soigneusement pour ne pas détériorer la forme du mycélium et placées sur des lames propres. Une observation après coloration par le lactophénole a été réalisée à l'aide d'un microscope optique avec l'objectif 100.



**Figure 6** : technique des lamelles.

## 3. La tomate

### 3.1. Généralité sur la souche de tomate choisie

Pour réaliser ce travail on a choisi les graines de la tomate nommée « Marmande ». La tomate Marmande est une variété traditionnelle, précoce, à gros fruit côtelés légèrement aplatis, chair parfumée et fruitée, elle pèse en moyenne 160-200g. Le poids net, la

pureté et la germination de cette souche sont présentés respectivement : 2 g, 99% et 85%.



**Figure 7** : la tomate Marmande

### **3.2. La stérilisation des graines**

Pour avoir une germination maximale des grains, ces derniers ont été mis dans de l'eau de robinet pendant 24 heures, ensuite elles ont subi une stérilisation.

La stérilisation des graines a été effectuée en surface à l'aide d'une solution d'hypochlorite de sodium à 2% pendant 30 minutes puis elles sont rincées par l'eau distillée stérilisée plusieurs fois afin d'éliminer toutes traces de la solution précédente.

### **3.3. La germination des graines**

Pour montrer l'action directe et l'effet PGPR dans l'accélération de la croissance des plantes, un traitement des graines de tomate est réalisé. Il consiste à mettre une quantité des graines stérilisées préalablement dans des boîtes de Pétri qui contiennent 4 ml d'eau distillée stérilisée et d'autres boîtes contenant 4 ml de la suspension sporale. Toutes les graines sont alors placées à l'obscurité pendant 48h.

### **3.4. Le semis des graines dans le sol**

Dans ce travail, la culture des graines de tomate dans le sol a été réalisée de 3 manières : dans des petits pots au laboratoire, dans des pots moyens sous serre et dans la terre naturelle sur champ à de Beni Hamiden.

D'abord, avant le semis des graines dans le sol, chaque groupe de sol (stérilisé et non stérilisé) est subdivisé en deux sous-groupes. Les 2 sous-groupes indiquent le type de traitement :

Témoin (contrôle) : Sol stérilisé+ graines non inoculées

Sol stérilisé+ graines non inoculées+ NaCl

Sol stérilisé+ graines non inoculées

Sol stérilisé+ graines non inoculées+ NaCl

S2 (contrôle) : Sol stérilisé+ graines inoculées par la souche d'actinomycètes+ NaCl

Sol stérilisé+ graines inoculées par la souche d'actinomycètes+ NaCl

La culture consiste à semer quatre graines de tomate dans chaque pot à une profondeur de 1 centimètre de la surface dans les conditions d'asepsie (pour le sol stérilisé), puis les pots sont recouverts par un film alimentaire percé pour l'aération. Les pots sont alors placés dans la serre et près de la fenêtre (pour les petits pots du laboratoire). Même principe pour les graines semées dans le sol non stérilisé sauf qu'il n'est pas obligatoire de travailler dans les conditions d'asepsie.

### **3.5. L'irrigation**

Toutes les graines sont irriguées trois fois par semaine ; celles qui sont semées dans le sol stérilisées sont irriguées avec de l'eau de source stérilisée et les autres qui sont semées dans le sol stérilisé sont irriguées avec de l'eau de source non stérilisée. Après dix jours de croissance, une irrigation par le NaCl (stress salin) est réalisée avec des concentrations augmentées graduellement de 0,25 M puis de 0,5 M.

L'expérience a été réalisée pendant 35 jours à une température ambiante et une photopériode durant quatorze heures.

## **4. Effet des différents traitements sur la croissance des plantules de tomate**

### **4.1. Analyse des paramètres morphologiques**

Après 35 jours de croissance, les plantes sont récoltées. Leurs tailles, leurs poids frais, sec, de la matière organique et minérale (après 72 heures de séchage à 65°C) sont déterminés, ainsi que le développement des ramifications racinaires.

### **4.2. Dosage de la chlorophylle**

Les chlorophylles a et b sont déterminées selon la méthode de Arnon (1949). 0,5g des feuilles de chaque plantule sont découpées et homogénéisées dans 10 ml d'acétone à 80% et conservées à -10 °C pendant une nuit. L'extrait organique est centrifugé à 14000 rpm pendant 5 minutes. L'absorbance du surnageant est mesurée à 663 et 645 nanomètres pour déterminer la chlorophylle a et b respectivement.

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

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

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

CH a: concentration en chlorophylle a.

CH b: concentration en chlorophylle b.

CH t: concentration en chlorophylle totale.

## *Résultats et discussion*

---

# 1. Caractères physico-chimiques du sol

**Tableau 5 :** valeurs des caractères physico-chimiques du sol étudié.

	<b>pH</b>	<b>conductivité</b>	<b>Matière organique</b>	<b>Matière minérale</b>	<b>L'humidité</b>
Le sol	8,07	-117ms/cm	0,44%	4,56%	20%

## 1.1. Le pH du sol

Le pH joue un rôle primordial dans la production des métabolites secondaires par différents mycètes (Dumenil et Sanglier, 1989). De faibles variations de pH peuvent avoir des effets particuliers sur la productivité d'une souche (Hata *et al*, 1971).

Le sol utilisé dans cette étude est prélevé d'un écosystème riche en débris végétaux et de matières organiques, il se caractérise par un pH légèrement alcalin égal à 8,07 (tableau5).

## 1.2. La conductivité

La classification des sols en fonction de la conductivité d'après Richards (1969) est présentée dans le tableau 6. Notre échantillon du sol présente une conductivité mesurée est égale à -117 ms/cm (tableau 5) donc c'est un sol non salé.

**Tableau 6 :** type de sol en fonction de la conductivité électrique (Richards, 1969).

	<b>Type de sol</b>				
	<b>Sol non salé</b>	<b>Peu salé</b>	<b>salé</b>	<b>Très salé</b>	<b>Extrêmement salé</b>
<b>La conductivité (ms/cm)</b>	Inférieur à 0,6	0,6 – 1.2	1,2- 2,4	2,4- 6	Supérieur à 6

### **1. 3. La matière organique**

D'après Lee et Hwang (2002) le taux de matière organique est considéré comme : faible (4 – 7 %), modéré (7,1 – 9 %), élevé (9,1 – 11 %). Le taux de la matière organique est la différence entre le poids sec et le poids des cendres, d'après nos résultats, on a eu un taux très bas de matière organique égale à 0,44 % (tableau 5). Donc notre sol a un très faible taux de matière organique, cela permet de conclure que la matière organique de cet échantillon n'existe que sous forme de traces.

### **1.4. La matière minérale**

La différence entre le poids de la matière sèche du sol et le taux de matière organique, permet d'avoir un taux de matière minérale égale à 4,56 % (tableau 5). Cela explique que notre sol est riche en matière minérale.

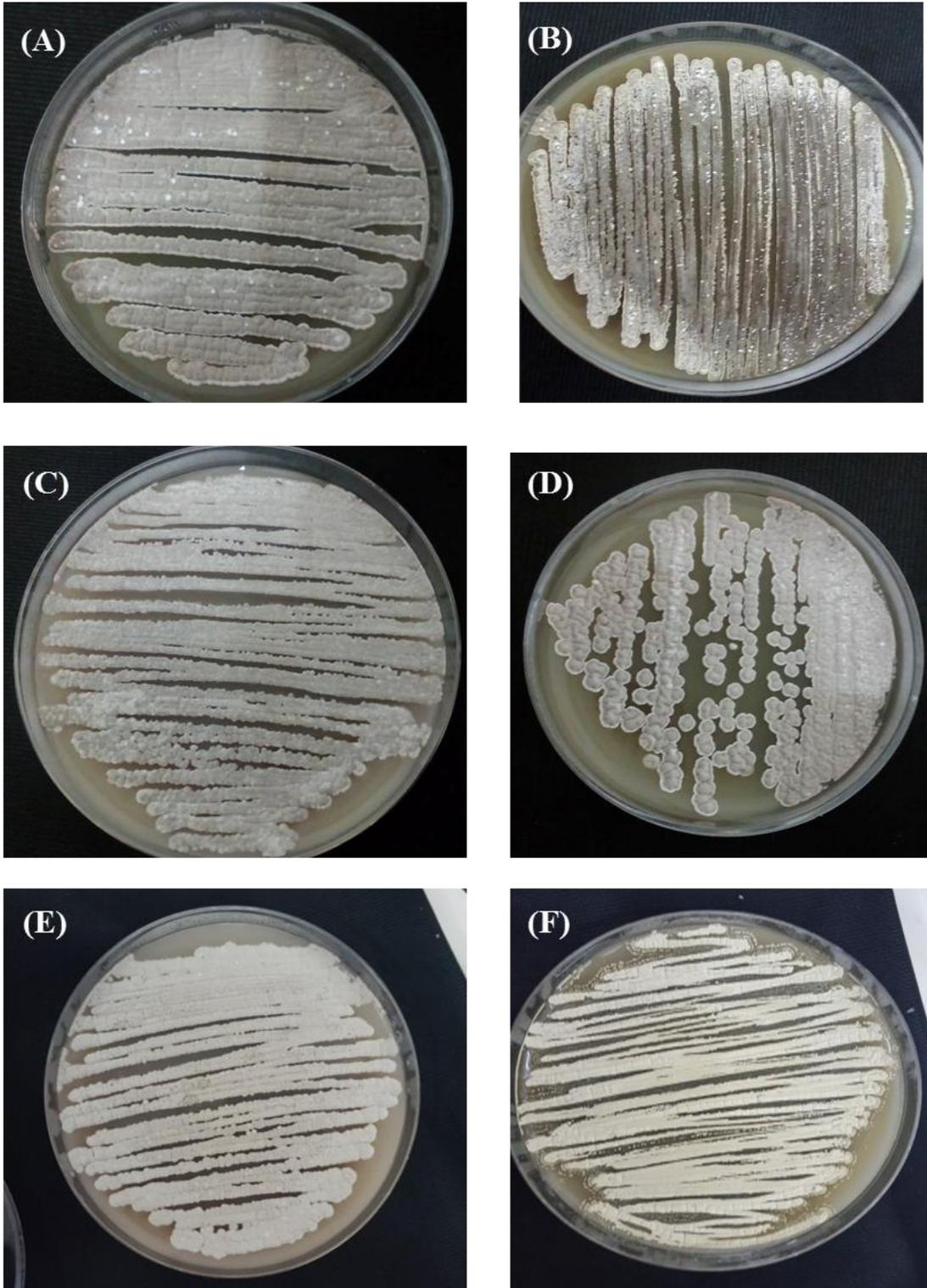
### **1. 5. Le pourcentage d'humidité**

Selon Lee et Hwang (2002), le taux de l'humidité est faible si le pourcentage est compris entre (2-9 %), Modéré entre (9,1-13 %), et élevé entre (13,1-20%). D'après nos résultats (tableau 5), le taux d'humidité est égal à 20 %. Un taux d'humidité élevé, cela peut s'expliquer par la période d'échantillonnage qui a été faite pendant la période pluvieuse.

## **2. Aspect macroscopique et microscopique des actinomycètes**

### **2.1. Aspect macroscopique**

Après repiquage de 14 souches d'actinomycètes (G22, G33, H12, H14, J4, J21, k23, T45, D14, G10, J13, J27, K12, S2) sur le milieu ISP2 par la technique des stries serrés, puis l'incubation à 30 °C pendant 7 jours, on a obtenu des colonies de tailles, formes et couleurs différentes. L'aspect macroscopique de quelques souches est représenté dans la figure 8.



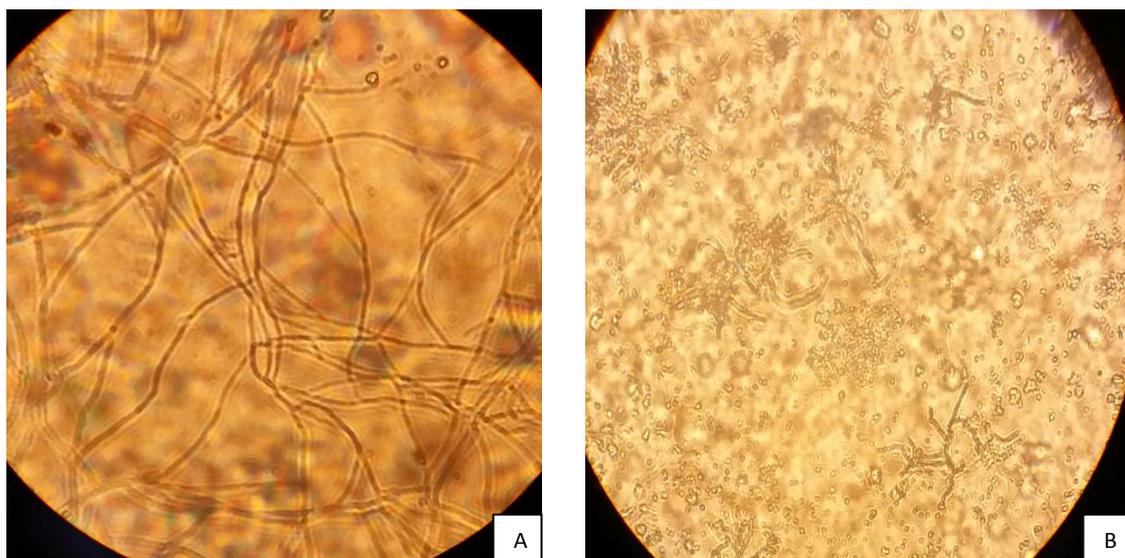
**Figure 8:** photographies des cultures de quelques isolats sur le milieu ISP2 après 7 jours d'incubation. (A) J21 ; (B) H12 ; (C) k23 ; (D) G33 ; (E) T45 ; (F) J4.

Les colonies obtenues après 7 jours d'incubation présentent une bonne croissance sur le milieu ISP2, tout en développant un mycélium aérien abondant. La majorité des souches donnent des colonies poudreuses ou granuleuses de différentes couleurs de mycélium aérien (blanc, orange, beige, jaune, violet, marron, gris ou vert).

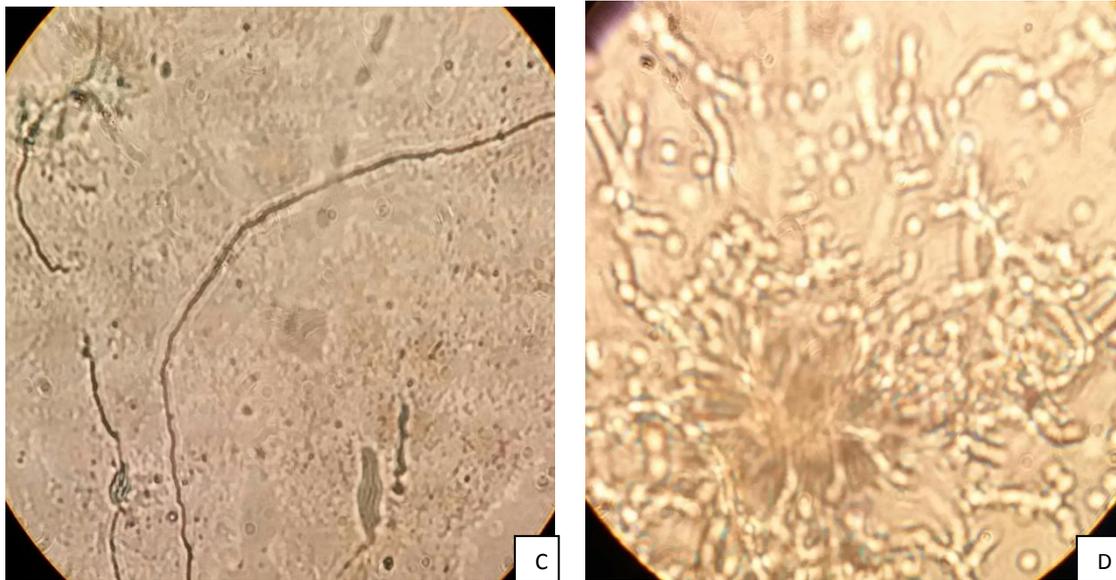
L'aspect macroscopique des souches précédemment décrites indique que certaines forment des colonies de grande taille, rondes, sporulées et de couleur blanche à surface lisse et poudreuse (souche G33). D'autres comme (J21 ; K23 ; T45 ; J4) de taille moyenne, possèdent un aspect poudreux, bien développées avec une masse sporale de couleur blanche ou grise, alors que certains d'autres tel que la souche (H12) forme des colonies de petite taille, de couleur blanche à surface poudreuse.

## 2.2. Aspect microscopiques

La technique de culture sur lamelle des différentes souches nous a permis d'obtenir les photos microscopiques du mycélium aérien et du mycélium de substrat, sur la base des observations microscopiques après 7 jours et 15 jours d'incubation.



**Figure 9** : Observation microscopique de la souche T45 après 7 jours d'incubation au grossissement (GX100). (A) : mycélium de substrat ; (B) : mycélium aérien.

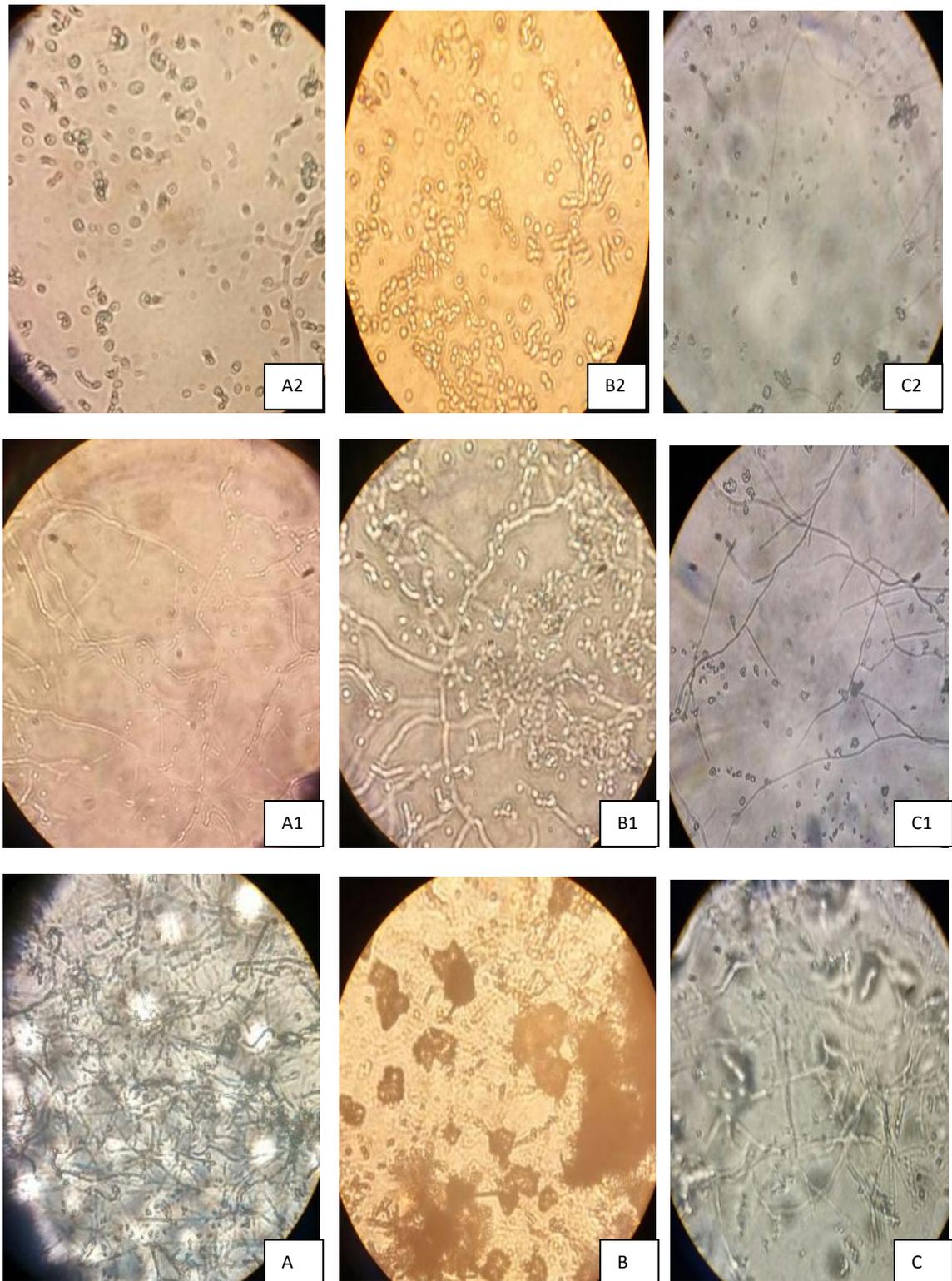


**Figure 10** : Observation microscopique de la souche G33 après 7 jours d'incubation au grossissement (GX100). (C) : mycélium de substrat ; (D) : mycélium aérien.

L'aspect microscopique de la souche T45 après 7 jours d'incubation se caractérise par un mycélium de substrat long, non fragmenté et ne porte pas de spores. Le mycélium aérien épais, moins ramifié et qui porte des spores arrondies.

L'observation microscopique de la souche G33 après 7 jours d'incubation montre un mycélium aérien épais, fragmenté, très ramifié avec une grande abondance des spores sous forme ronde, par contre le mycélium de substrat est long, non fragmenté avec l'absence des spores.

L'observation microscopique de quelques souches d'actinomycètes (A, K23) ; (B, H12) ; (C, D14) après 15 jours d'incubation sont présentées dans la figure 11.



**Figure 11** : Observations microscopiques de quelques souches (K23 ; H12, D14) après 15jours d'incubation au grossissement (GX100). (A, B, C) mycélium de substrat ;(A1, B1, C1) mycélium aérien ;(A2, B2, C2) la masse sporale.

Après 15 jours d'incubation, on constate le même aspect microscopique précédent sauf qu'ici la masse sporale est plus abondante photos (A2, B2, C2) avec des formes arrondies, bâtonnets ou incurvés. Le mycélium aérien représenté avec les photos A1, B1 et C1 porte des filaments non fragmentés, ramifiés qui porte des spores sous formes rondes, en chainette ou bien isolés. Le mycélium de substrat illustré avec les photos A, B et C est enchevêtré, non fragmenté, très ramifiés et ne possède pas de spores.

### **3. Effet des différents traitements sur la croissance des plantules de tomate**

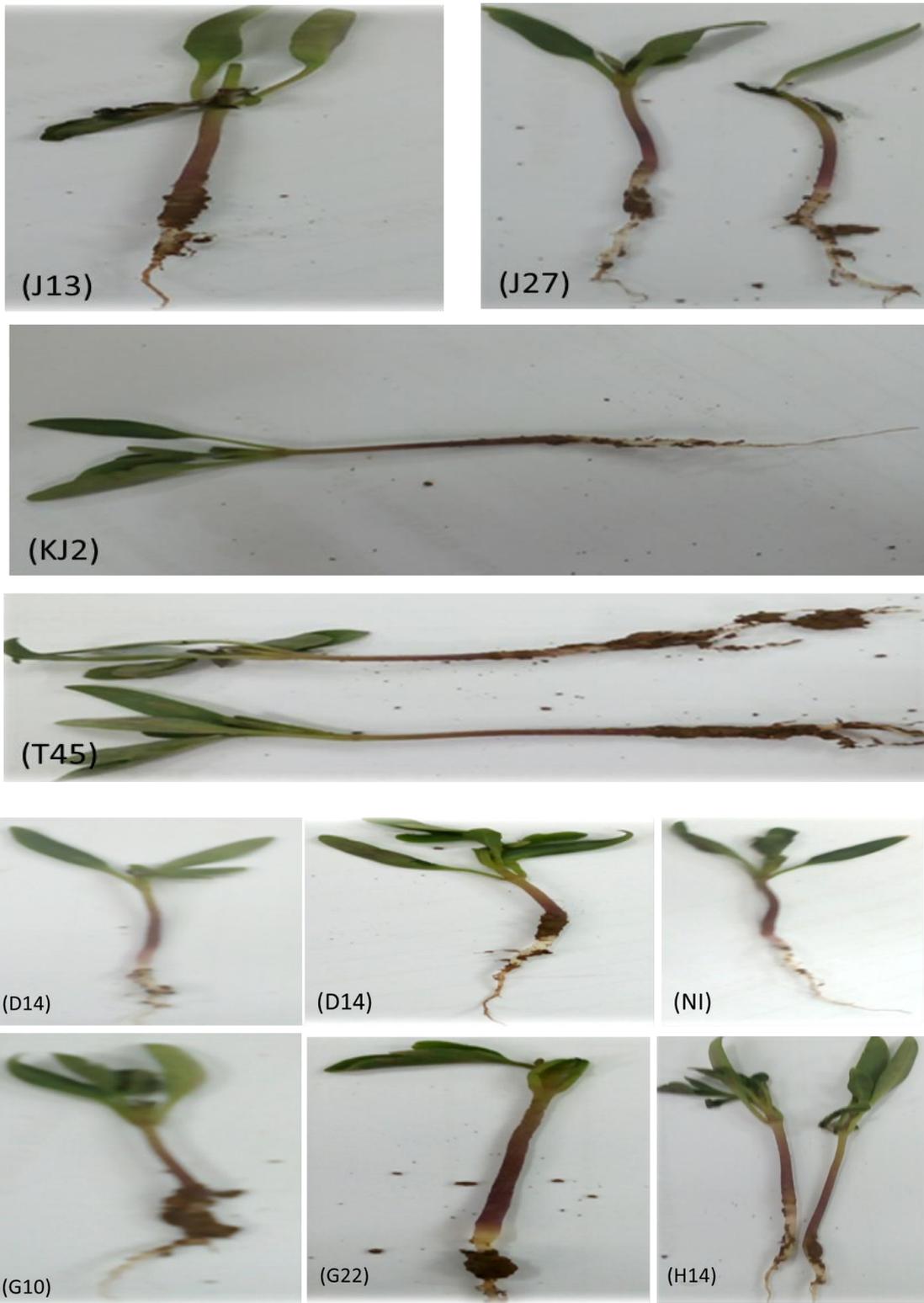
#### **3.1. Paramètres morphologiques des plantules**

##### **3.1.1. Les plantules cultivées sur le champ**

Le test de la tolérance de la plante au sel a été effectué préalablement sur le champ. Il est à noter qu'après 35 jours de culture les plantules flétrissent (figure 12) lorsqu'ils sont irrigués avec de l'eau salin à une concentration de 0,5 M de NaCl.



**Figure 12 :** image de la plante de tomate sur champ après irrigation par la solution saline(0,5M).



**Figure 13 :** images des plantules de tomate dont ses graines sont inoculées par l'une des souches de PGPR et cultivées sur champ.

**Tableau 7 :** Effet des souches d'actinomycètes sur la croissance ainsi que les caractères morphologiques des plantules de tomate cultivées sur champ.

	La souche d'inoculation des graines de la tomate+ NaCl														
Les paramètres physico-chimiques	H14	H12	J4	K23	D14	J21	G10	T45	J13	G22	G33	J27	K12	S2	NI (témoin) +NaCl
Nombre des feuilles	9	2	11	-	3	-	5	8	4	2	6	3	4	4	3
Longueur de tige (cm)	2.1	0,6	2	-	2,4	-	3,5	2,9	2,2	3	2,4	2,5	3	0,6	1,8
Epaisseur de tige	**	**		-	*	-	*	**	**	**	**	**	**	*	*
Longueur des racines (cm)	3.9	2,2	3	-	4,1	-	3	4,2	3,4	2,5	5	2,3	3,9	3	2,1
Ramification	+	+	++	-	+	-	++	+++	+	+	+	+	++	+	+
Poids frais des feuilles (g)	0.058	0,020	0,034	-	0,058	-	0,069	0,023	0,012	0,056	0,101	0,042	0,046	0,031	0,011
Poids sec des feuilles (g)	0.014	0,009	0,010	-	0,013	-	0,017	0,008	0,002	0,013	0,024	0,005	0,012	0,015	0,001
Poids de matière organique (g)	0	0	0	-	0	-	0,005	0	0	0	0,007	0	0	0	0
Poids de matière minérale (g)	0	0	0	-	0	-	0,012	0	0	0	0,017	0	0	0	0

NI : graines non inoculées par la souche/ (+) : ramifications peu développées/ (++) : Ramification moyenne/ (+++) : Ramification abondante/ (-) : pas de développement de la plantule/ (\*) : tige fine/ (\*\*) : tige épaisse.

D'après les résultats mentionnés sur le tableau 7 nous remarquons que les plantules des graines inoculées par les souches H14, J4, T45, et G33 possèdent le nombre le plus important de feuilles 9,11, 8, et 6 respectivement. En revanche, les plantules inoculées par les souches H12 G22 et J27 possèdent le nombre le plus faible des feuilles ce qui peut s'expliquer par le fait que le système racinaire peut souffrir des attaques des bio-agresseurs. D'un autre côté, la tige des plantules traitées par les souches : G10, G22, T45, et K12 sont plus longues et plus épaisses par rapport aux plantules traités par les autres souches.

Concernant les plantules témoins, les parties aériennes se sont bien développées. Ce qui s'explique par les différentes interactions qui s'établissent entre les micro-organismes du sol ainsi que la richesse de celui-ci en eau, en sel et en matière organique.

Malgré l'irrigation par la solution saline les plantules issues des graines inoculées avec les souches : J4, T45, K12, G10 ont montrées une bonne croissance avec un bon développement de leurs systèmes aériens (tiges bien développées) et souterrains avec des racines bien ramifiées ce qui peut être due à la promotion et la protection exercées par les souches actinomycétales ainsi qu'une bonne assimilation des nutriments présents dans le sol du champ.

Nous constatons aussi que le poids frais chez les plantules des graines qui sont issues des graines inoculées par les 12 souches actinomycètes sont bien développées par rapport à celui du témoin (0,011 g).

En revanche, le poids sec, le poids de la matière organique ainsi que le poids de la matière minérale chez les feuilles des plantules des graines inoculées par la souche : G33 sont de 0,024g, 0,007g et 0,017g respectivement sont supérieurs à ceux des plantules traitées par la souches G10 qui a donné 0,017 g, 0,005 g et 0,012 g de poids sec, de la matière organique et de la matière minérale respectivement.

Aucun développement des plantules inoculées par les deux souches K23 et J21 ce qui peut s'expliquer par le fait que ces deux souches ne peuvent pas promouvoir la croissance des plantes sous stress salin d'un côté. De l'autre les conditions climatiques du mois de culture sont plus sévères et influences négativement la croissance de la plante.

Nos résultats indiquent que les souches des PGPR ont la capacité de stimuler la croissance des plantules de tomate et ce de deux manières : une directe ; meilleure nutrition de la plante. Indirecte ; par la minimisation des effets délétères des agents agresseurs vis-à-vis la plante.

En gros, nous concluons que les souches les plus performantes dans le cas du semis des graines dans le champ sont : T45, K12 et G10.

### 3.1.2. Les plantules cultivées dans des petits pots au laboratoire

- **Culture dans le sol non stérilisé**

Dans ce cas les plantules de la tomate ne sont pas irriguées par le NaCl et par manque de temps elles sont récoltées après 15 jours seulement.



**Figure 14 :** photo des plantules de la tomate cultivées dans le sol non stérilisé dans des petits pots au laboratoire.

D'après la photo de la figure 14 il y'a des plantules possédants deux feuilles et d'autres aucune (elles sont arrachés après 15 jours seulement).

**Tableau 8** : effet PGPR des souches sur les caractères physico-chimiques des plantules de tomate cultivés dans le sol naturel au laboratoire.

Souches d'inoculation des graines	Paramètres physico-chimiques			
	Longueur de tige (cm)	Longueur des racines (cm)	Ramification	Poids frais des feuilles (g)
<b>H14</b>	7	2,7	-	0,006
<b>H12</b>	6,5	1	-	0,007
<b>J4</b>	7	5,5	-	0,005
<b>K23</b>	4	0,8	+	0,004
<b>D14</b>	6,5	0,9	-	0,012
<b>J21</b>	6,5	1,4	-	0,007
<b>G10</b>	9	2	-	0,011
<b>T45</b>	5,5	1	-	0,008
<b>J13</b>	6,2	1	+	0,008
<b>G22</b>	9	3	-	0,006
<b>G33</b>	3	2	-	0,009
<b>J27</b>	6	1,1	-	0,006
<b>K12</b>	3	0,8	-	0 ,005
<b>S2</b>	7,7	5	-	0,013
<b>NI(témoin)</b>	2,8	1,4	-	0,002

NI : (graines non inoculées) témoin / (-) : pas de développement des ramifications (+) : ramification peu développée.

D'après le tableau 8; il ressort que la longueur de la tige chez les plantules des graines inoculées par les souches : G22 (9 cm), S2 et H14 (7,7 cm) et J4 (7 cm) sont plus longues par rapport aux tiges des plantules des graines inoculées par les souches : H12, K23, D14, J21, T45, J13, G33, J27, K12. Les tiges des graines non inoculées sont les plus courtes.

En ce qui concerne le système racinaire (longueur des racines et leurs ramifications) nous avons constaté que chez les plantules des graines inoculées par les souches : S2 et J4 est plus abondants par rapport au témoin et aux autres plantules.

Le poids frais des feuilles chez les plantules des graines traitées par les souches : S2, D14 et G10 est supérieur à celui des plantules des graines traitées par les autres souches aussi bien pour le témoin.

A partir des deux tableaux précédents nous constatons que les résultats de la culture dans des petits pots au laboratoire et sur champs ne sont pas les mêmes cela est due à plusieurs facteurs biotiques (micro-organismes bénéfiques et pathogènes, insectes...etc.) et abiotiques (chaleur, humidité, vent, pluie, quantité du sol ...etc.).

- **Culture dans le sol stérilisé**

Après 15 jours de culture dans les petits pots contenant du sol stérile, on constate une germination et une croissance remarquable des graines inoculées par les 14 souches d'actinomycètes. Les plantes qui ont poussées sont en bonne santé avec des feuilles primaires remarquable, des tiges longues et des racines bien développées plus ou moins ramifiées, comparées au témoin négatif des graines non inoculées (figure 15).



**Figure 15 :** Effets PGPR de 14 souches d'actinomycètes sur la germination et la croissance des graines de tomate semis dans le sol stérile.

Tout d'abord, par manque de temps les résultats de culture des graines dans les petits pots contenant du sol stérile ont été obtenus qu'après 15 jours dont la croissance des feuilles de la plante de tomate n'est pas assez développée, ce qui nous a empêchés de déterminer leurs poids secs et les poids des cendres.

Les résultats présentés dans le tableau 9 nous permettent d'évaluer le taux de croissance des graines de tomate exprimés par la taille des parties aériennes, la taille des racines et les ramifications.

D'après les résultats présentés dans le tableau 9, on constate que parmi les 14 souches utilisées (G10, J13, J21, J4, K23, H14, G33, G22, D14, K12, H12, J27, T45, S2), seule les souches S2 et T45 ne sont pas performante pour la germination des graines. Le taux de croissance exprimé en tant que taille des tiges et des racines, le nombre de feuille et le poids frais chez les plantes des graines inoculées par la souche J21 (7,5 cm, 1,5 cm, 2, 0,015 g) et G22 (7,5, 2,5, 3, 0,015) est le plus marquant par rapport aux autres souches. La souche J4 avec 4 cm et 1,5 cm pour les tailles des tiges et des racines respectivement ainsi que la souche D14 avec 4 cm et 1,5 cm représente le taux de croissance le plus faible. Ce qui nous permet de conclure que les souches G22 et J21 sont les plus performantes.

**Tableau 9 :** Effet des souches d'actinomycètes sur la germination et la croissance des graines de tomate et les caractères morphologiques des plantes.

Traitement	Caractères morphologiques				
	Taille des tiges (cm)	Taille des racines (cm)	Nombre de feuilles	Poids frais des feuilles (g)	Ramifications des racines
Témoin négatif (NI)	5	0,5	2	0,012	++
G10	5,5	0,5	0	0	-
J13	7	1	0	0	-
J21	7,5	1,5	2	0,015	+
J4	4	1	0	0	+
K23	6	2	2	0,017	-
H14	6	1,5	2	0,012	++
G33	6,5	2	2	0,017	-
G22	7,5	2,5	3	0,015	-
D14	4	1,5	0	0	+
K12	6,5	2	2	0,014	+
H12	6	2	3	0,023	-
J27	4,5	1,5	0	0	+

Témoin négatif (NI) : graine non inoculée, (-) : pas de ramification, (+) : ramification peu développée, (++) : ramification moyenne.

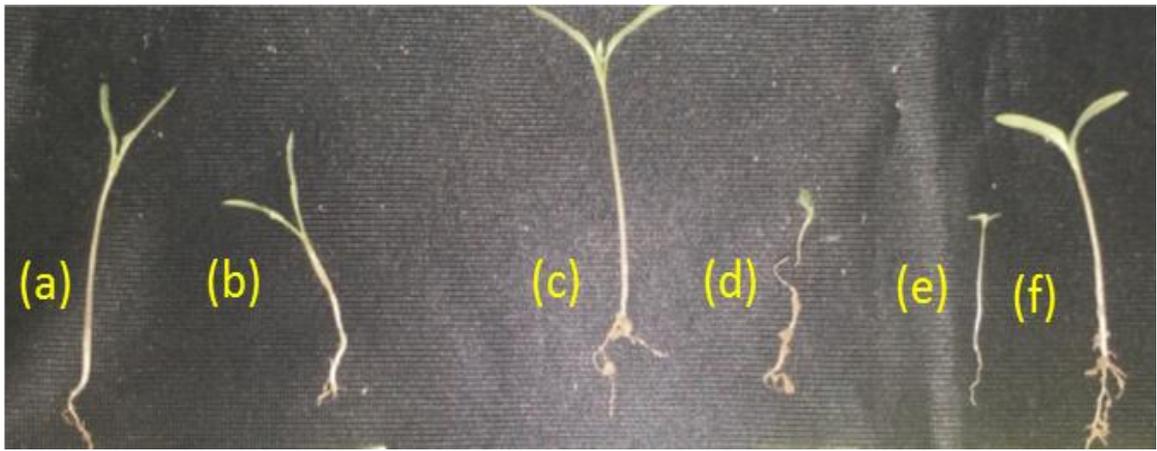
Par ailleurs nous avons remarqué que la majorité des racines et des tiges des plantes traitées avec les souches d'actinomycètes ont des tailles supérieures à celle du témoin négatif (graines non inoculées) avec des longueurs variant de 4 cm à 7,5 cm pour les tiges et de 0,5 cm jusqu'à 2,5 cm pour les racines. La même remarque peut être faite en ce qui concerne le poids frais des feuilles et la ramification des racines. Ces résultats indiquent que les souches d'actinomycètes étudiées ont la capacité de stimuler la germination et la croissance des plantes.

Cette stimulation peut prendre deux voix, soit direct par la promotion directe. Cette dernière comprend la stimulation bactérienne des phytohormones (auxine ou cytokine). Cela permet à la plante de développer un système racinaire abondant lui permettant notamment de coloniser une plus grande surface de sol, et améliorer l'état nutritionnel des plantes (Beauchamp, 1993 ; Klopper, 1993, Ramos *et al*, 2009). La promotion indirecte repose sur la capacité des actinomycètes à réduire les effets nocifs pour la plante et l'amélioration de nutrition comme la solubilisation du phosphate et la fixation d'azote.

D'après les résultats présentés dans le tableau 9, nous constatons que le taux de croissance des plantes cultivées dans le sol naturel non stérile est plus important que celui des plantes cultivées dans le sol stérile d'une part. D'autre part la taille, le poids frais, le nombre de feuilles et la ramification des plantes cultivées dans le sol naturel non stérile issues des graines inoculées avec les souches actinomycétales sont supérieures à ceux des plantes graines inoculées et cultivées dans le sol stérile. Cela s'explique par le fait que la stérilisation du sol entraîne l'élimination de tous les microorganismes bénéfiques ou nuisibles pour les plantes. 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 (Lclech, 2000).

### **3.1.3. Les plantules cultivées dans des pots moyens sous serre**

Après 15 jours de semis des graines dans des pots moyens sous serre contenant un sol naturel et un sol stérile (non traité par le NaCl), on observe un résultat moins important (très faible) pour le sol naturel et un résultat totalement négatif pour le sol stérile (Figure 16).



**Figure 16 :** Effet PGPR de quelques souches d'actinomycètes sur la germination des graines de tomate semis dans un sol naturel et un sol stérile avant l'irrigation par Na Cl. (a) : G22, (b) : T45 dans sol naturel, (c) : graines non inoculées, (d) : J27, (e) : H14, (f) : D14.

Après l'irrigation des plantes par le NaCl, toutes les plantes sont mortes à partir d'une concentration de 0,5M de NaCl (figure 17).



**Figure 17 :** Effet PGPR de quelques souches d'actinomycètes sur la germination des graines de tomate semis dans un sol non stérilisé et un sol stérilisé après l'irrigation par le NaCl.

Les résultats notés dans le tableau 10 représentent les caractères morphologiques des graines de tomate exprimés par la taille des parties aériennes et souterraines ainsi que la ramification des racines.

**Tableau 10 :** Effet des souches d'actinomycètes sur la germination des graines de tomate et les caractères morphologiques des plantes.

Traitement	Caractères morphologiques				
	Taille des tiges (cm)	Taille des racines (cm)	Nombre de feuilles	Poids frais des feuilles (g)	Ramifications des racines
Graine NI	3	1	2	0.015	++
G22	4	1	2	0.026	+++
T45	3.5	1.5	2	0.029	+++
J27	2	1.5	1	0.007	-
D14	2.5	2	2	0.016	+++
H14	2	1	1	0.006	+

NI : graines non inoculées ; (+) : peu de ramification, (++) : ramification moyenne, (+++) : ramification développée.

D'après les figures précédentes et le tableau 10, on observe que parmi les 14 souches utilisées dans ce travail, seules les 5 souches G22, T45, J27, D14 et H14 ont exercé un effet positif sur la croissance des plantes. Le taux de croissance (la taille des tiges et des racines, le nombre de feuille...) chez les plantes issues des graines inoculées par la souche G22 sont les plus élevée par rapport aux autres.

D'après ce travail, on remarque que les graines cultivées dans le sol naturel issues des graines traitées ou non avec les souches actinomycétales présentent des résultats positifs. Leur croissance est remarquable. Alors que c'est totalement le contraire dans le cas des graines cultivées dans le sol stérile inoculée ou non par les suspensions (résultats négatifs) dont une absence totale de croissance dans le sol stérile a été relevée. Par ailleurs, on constate que lors de l'irrigation des plantes cultivées dans le sol naturel par le NaCl, les plantes meurent.

Ces résultats indiquent que le faible taux de croissance des plantes dans le sol naturel et l'absence totale de croissance dans le sol stérile peut être expliquée soit :

- Par un mauvais arrosage ;
- La terre est trop sèche ou il y a un excès d'humidité ;
- La présence des insectes et ravageurs dans la serre ce qui affecte la croissance de la plante ;
- Le pH du sol qui peut être trop acide ou trop alcalin, de sorte que la croissance pourrait s'arrêter ;

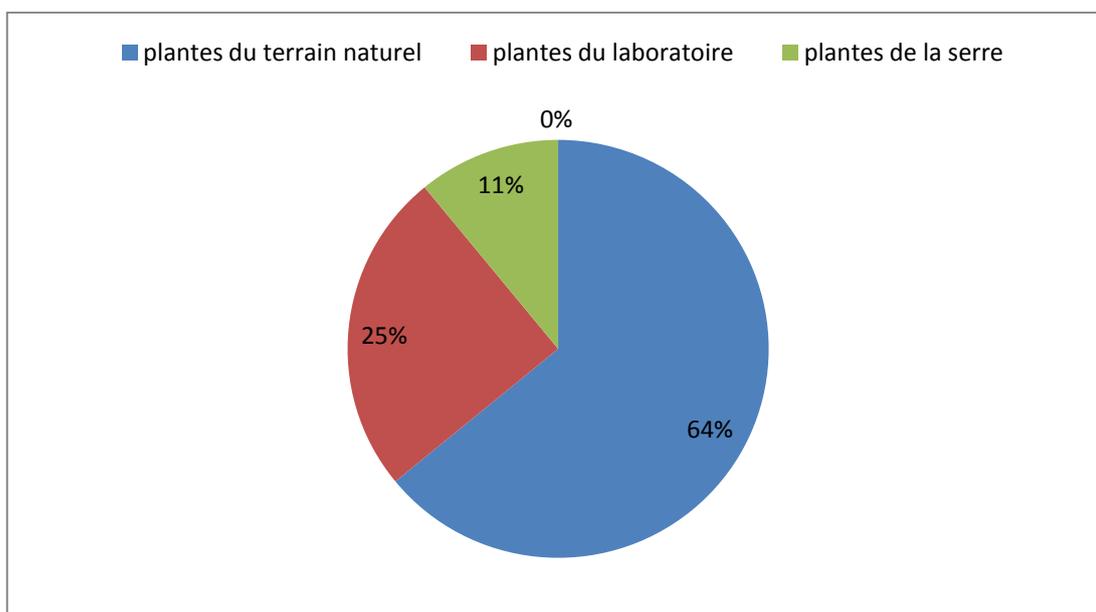
- La stérilisation du sol qui élimine tous les microorganismes bénéfique ou nuisible pour la plante.

Les graines non inoculées cultivées dans le sol naturel et irriguées avec l'eau distillée présentent un faible taux de croissance par rapport à celles inoculées, cela peut être expliqué par le fait que l'eau distillée est dépourvue de tous les minéraux comme 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 ralentis leurs croissance.

Les graines inoculées par les suspensions d'actinomycètes et irriguées avec de l'eau saline ont un taux de croissance inferieurs comparativement aux graines inoculées et irriguées sans NaCl, cela s'explique par le fait que les souches s'affectent par le stress salin et deviennent moins performantes. Elles perdent leurs effets stimulateurs pour la croissance de la plante.

### 3.1.4. Comparaison entre le taux de croissance des plantes dans le terrain naturel, le laboratoire et la serre

D'après les résultats précédents, le taux de croissance des plantes de tomate dans un champ à Beni Hamidene, au laboratoire et sous serre sont récapitulées dans la figure ci-dessous:



**Figure 18 :** Représentation graphique montrant le taux de croissance des plantes sur le champ, au laboratoire et sous serre.

D'après la figure 18, on remarque que le taux de croissance des plantes cultivées sur terrain est le plus dominant (64%), viennent ensuite les plantes cultivées au laboratoire (25%) et enfin les plantes cultivées sous serre avec un taux très bas (11%). Ceci permet de dire que sur terrain, il y a toutes les conditions favorables qui assurent le bon développement de la tomate (température, humidité, aération, lumière...). Le faible taux de croissance sous serre et au laboratoire s'explique par la présence des facteurs biotiques (contamination par les champignons, présence des insectes...) et abiotiques (aération, température...) précédemment décrit.

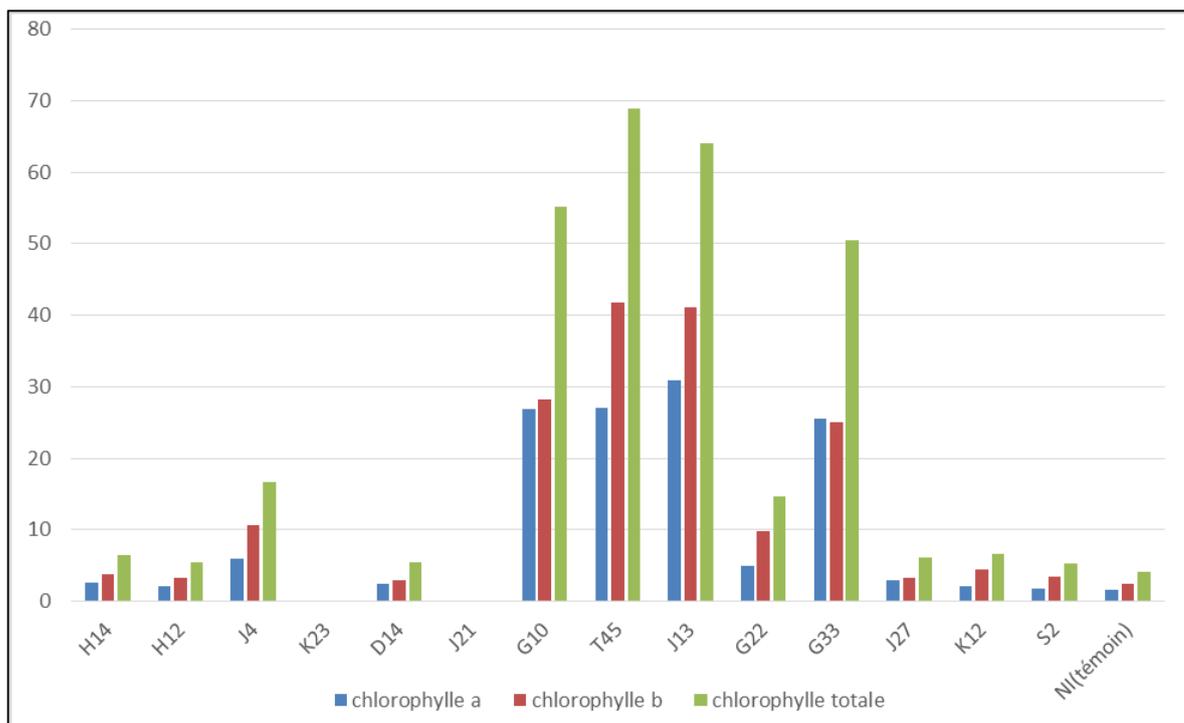
Les valeurs obtenues lors de ce travail (caractères morphologiques des plantules) sont presque inférieurs à celles obtenus par Sahour et Bouriche en 2018, ceci peut s'expliquer par le manque de temps, qui nous a obligés de récolter les plantes après seulement 15 jours de croissance au lieu de 30 jours. De ce fait les plantes ne se sont pas bien développées et par conséquent les tailles des tiges et racines sont plus petites comparativement avec leurs résultats ainsi que le nombre de feuilles et le poids frais qui ont été moins remarquable.

### **3.2 Dosage de la chlorophylle**

Après la mesure de l'absorbance des extraits acétonique des feuilles des plantules dans deux longueur d'onde distinctes (663 et 645) la chlorophylle a, b et totale sont calculées.

- **Chlorophylle des plantules cultivées sur champ**

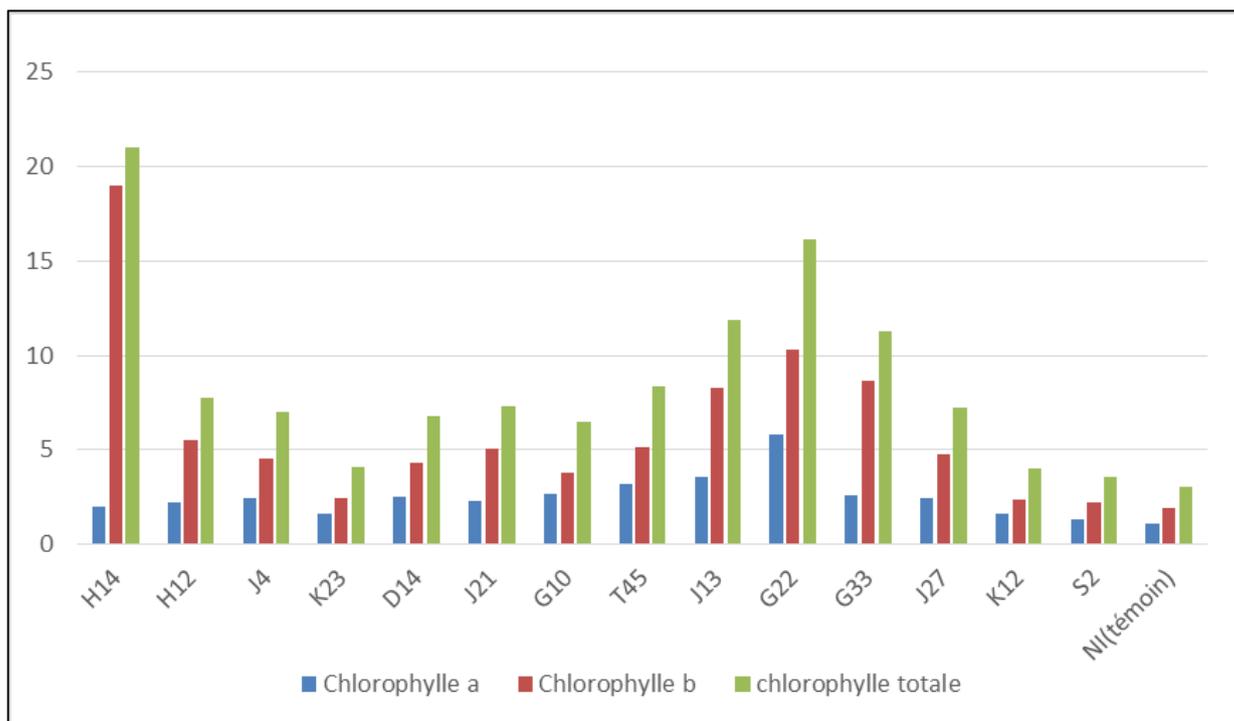
Les différentes absorbances sont récapitulées dans le tableau (Annexe 2) et exprimées par la figure 19.



**Figure 19 :** Concentration de la chlorophylle a, b et totale chez les feuilles des plantules de tomate cultivées sur champ.

D'après les résultats de la figure 19 ; nous avons remarqué que les meilleures concentrations de la chlorophylle a (CHa), la chlorophylle b (CHb) et la chlorophylle totale (CHt) sont retrouvées chez les plantules traitées par les souches : J13 (CHa : 30,86 mg/l, CHb : 42,18 mg/l et CHt : 64,04mg/l), T45 (CHa : 27,12 mg/l, CHb : 41,73 mg/l et CHt : 68,85 mg/l), G10 (CHa : 26,51 mg/l, CHb : 28,28 mg/l et CHt : 55,09 mg/l), par contre les plus faibles concentrations de ces chlorophylles sont retrouvées chez les plantules des graines inoculées par les souches : S2 (CHa : 1,74 mg/l, CHb : 3,50 mg/l et CHt : 5,24 mg/l), K12 (CHa : 2,10 mg/l, CHb : 4,46 mg/l et CHt : 6,56 mg/l) et chez la plantule témoin (CHa : 1,56 mg/l, CHb : 3,02 mg/l et CHt : 4,67 mg/l)

- **Chlorophylle des feuilles des plantules cultivées sur le sol non stérilisé dans des petits pots en laboratoire**



**Figure 20 :** Concentration de la chlorophylle a, b et totale en mg/l des feuilles cultivées sur le sol Inaturel au laboratoire.

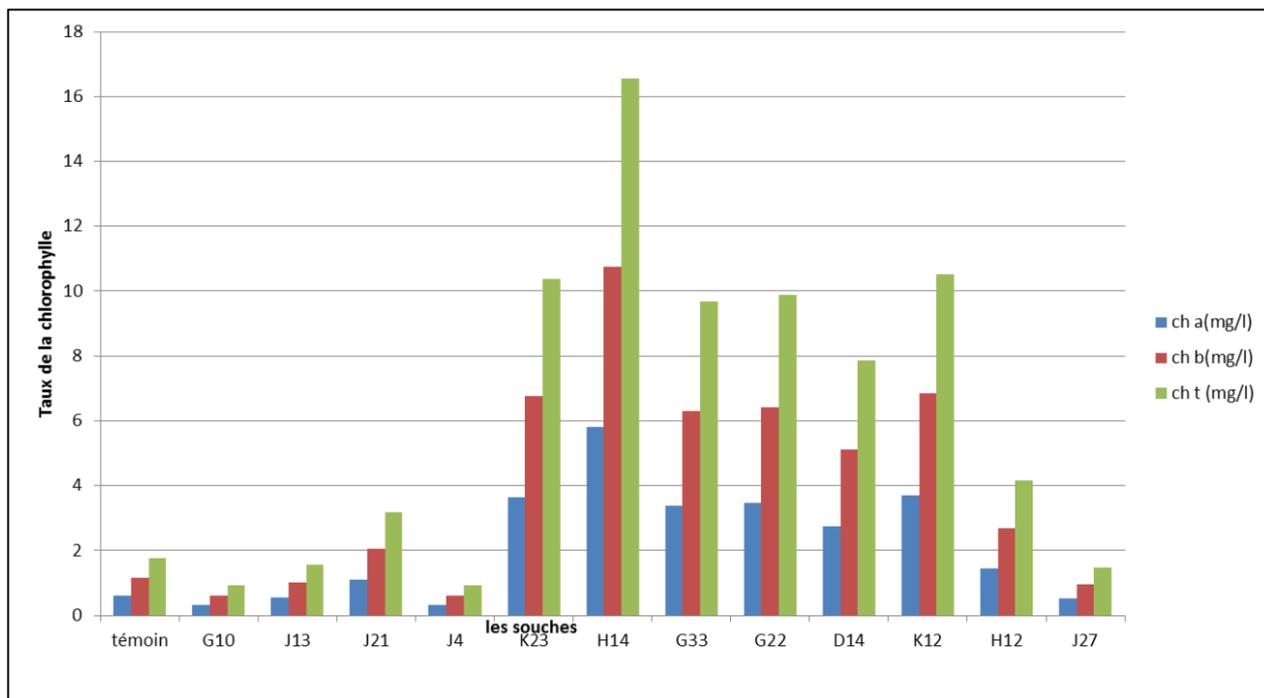
A partir des résultats de la figure 20; nous remarquons que les concentrations de la chlorophylle a retrouvées chez les plantules des graines inoculées par les souches : G22 (5,84 mg/l), J13 (3,57 mg/l) et T45 (3,22 mg/l) sont beaucoup supérieures que les concentrations trouvées chez les feuilles des plantules des graines inoculées par les souches : S2 (1,29 mg/l), K23 (1,62 mg/l) et K12 (1,64 mg/l).

Concernant la chlorophylle b ; les plantules des graines inoculées par les souches : H14 (18,97 mg/l), G22 (10,29), G33 (8,67 mg/l) et J13 (8,29 mg/l) possèdent les meilleures concentrations en chlorophylle b. La plantule témoin possède la plus faible valeur de la concentration en chlorophylle b.

Par ailleurs, la concentration de la chlorophylle totale est remarquable chez les échantillons : H14 (20,28 mg/l), G22 (16,13 mg/l), J13 (11,86 mg/l) et G33 (11,25 mg/l) ces concentrations sont plus élevées par rapport à la plantule témoin et les autres plantules développées.

- **Chlorophylle des feuilles des plantules cultivées sur le sol stérilisé dans des petits pots en laboratoire**

D'après la figure 21 ci-dessous, on constate que le taux de la chlorophylle a et b chez toutes les plantes traitées par les différentes souches mis a part G10 et J4 est supérieur au témoin.



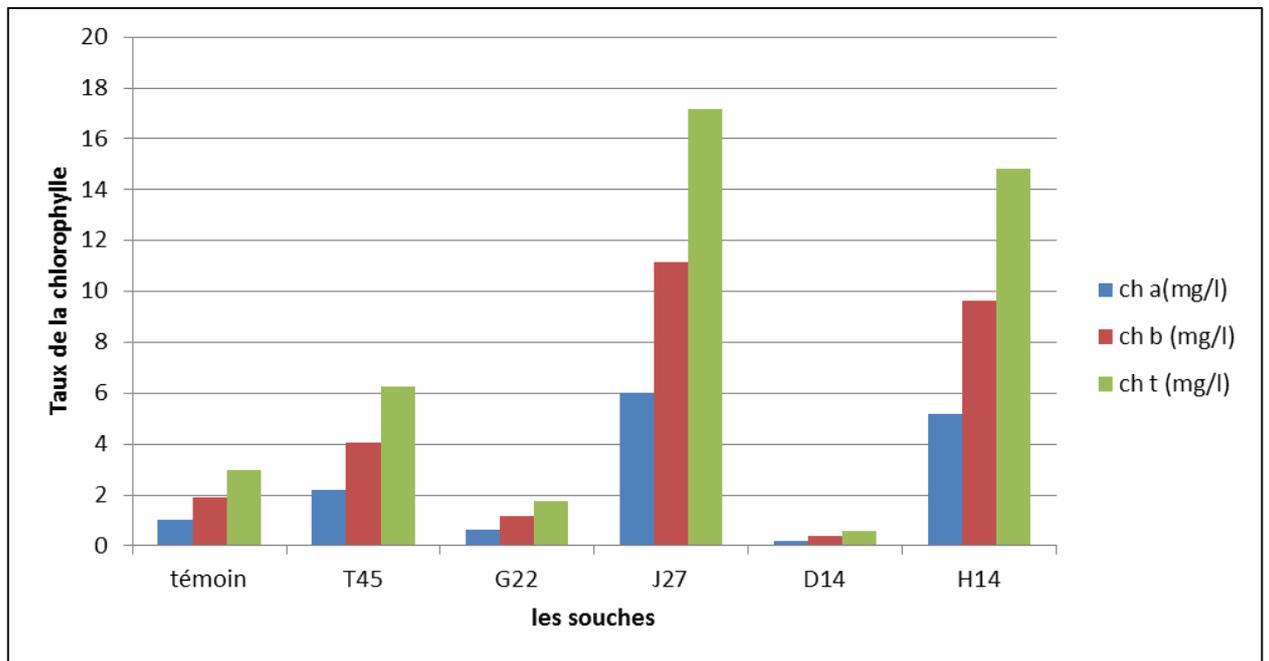
**Figure 21 :** Taux de la chlorophylle a, b et totale chez les feuilles traitées par les différentes souches.

Le meilleur taux de chlorophylle (a) est de 5,80 mg/l obtenu chez la plante traitée par la souche H14 ainsi que la concentration de chlorophylle (b) avec une valeur de 10,76m g/l. Par ailleurs les plantes traitées par les différentes souches mis a part J4 et G10 présentent un taux très élevé de la chlorophylle a et b comparativement avec le taux de la chlorophylle a et b chez le témoin. La même remarque est constatée en ce qui concerne le taux de la chlorophylle totale qui est plus important chez les feuilles des plantes traitées que celui du témoin.

- **Dosage de la chlorophylle des feuilles de plantes cultivées sous serre**

La figure 22 révèle que les meilleurs taux de chlorophylles 6,02 mg/l et 11,17 mg/l pour la chlorophylle (a et b) respectivement sont obtenu chez la plante traitée par la souche J27. Tandis que les feuilles traitées par la souche D14 présente les plus faibles taux de chlorophylles a et b (0,20, 0,37 mg/ml) respectivement. Nous pouvons constater également que les taux de chlorophylle a et b chez les feuilles des plantes traitées par les souches est élevé par rapport au témoin. En ce qui concerne le taux de la chlorophylle

totale des plantes traitées par les souches T45, G22, J27, D14, H14 il est de 2,96, 6,25, 1,77, 17,19, 0,57, et 14,81 mg/ml respectivement.



**Figure 22 :** Le taux de la chlorophylle a, b et les chlorophylles totales chez les feuilles traitées par les différentes souches.

## *Conclusion et perspectives*

## Conclusion et perspectives

L'objectif fixé de ce présent travail était l'évaluation de l'effet PGPR de quatorze souches d'actinomycètes sur la croissance et le développement de la tomate (Marmande).

Quatorze souches d'actinomycètes ont été choisies pour réaliser cette étude. L'examen microscopique par la technique des lamelles montre l'aspect filamenteux de ces souches dont nous avons observé le mycélium du substrat, le mycélium aérien qui vient de se dresser au-dessus du premier et les spores que l'on avait trouvé à l'extrémité de ce mycélium aérien.

La culture des graines de tomate inoculées par les souches actinomycétales a été réalisé sous serre, sur champs et au laboratoire montre l'effet bénéfique de ses souches sur la ramification racinaire et la croissance de la partie aérienne des plantules de tomate et ce même sous stress salin. D'un autre part, l'effet stimulateur de la croissance agit sur la concentration en chlorophylle a, b et totale des feuilles.

Les souches actinomycètes les plus représentatives sélectionnées sur la base de leur performance multiple sont : T45, K12 et G10 concernant la culture des tomates sur champ.

Cette étude préliminaire a montré clairement la capacité des actinomycètes à favoriser la croissance de la plante de tomate. Comme perspective, on propose ;

- La mise en évidence des substances favorisant la croissance des plantes produites par les souches d'actinomycètes.
- Poursuivre l'identification biochimique et physiologique des souches.

## *Références bibliographique*

## Références bibliographiques

- Abis, s, (2019). *l'agriculture dans le monde voit son importance renforcée et sa puissance déplacée*. Le Déméter, p.11-18.
- Alauzet C., (2009). Taxonomie des bactéries anaérobies : de la reclassification à la découverte de nouveaux pathogènes. Thèse de doctorat: université Nancy. 348p.
- André C., Michel J., Serge H., et Dominique N. (1997). L'amélioration des plantes tropicales. Repères.
- Avril, J, L., & al. (1992). Bactériologie clinique.2 éd. Paris : ellipses. Pp. 511.
- Bally R. and Elmerich C., (2007). Biocontrol of plant diseases by associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria. In : Elmerich C., Newton W.E. (eds). Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria and cyanobacterial associations'springer. 171-190.
- Becker. B, Lechevalier. M. P, Gordon. R. E & Lechevalier. H. A. (1964). Rapid Differentiation Between Nocardia and Streptomyces by Paper Chromatography of WholeCell Hydrolysates. Applied microbiology. Vol 12, N ° 5. Pp: 421-423.
- Beckers.h. J. A. Van Der Hoeven. J. S. (1982).Growth Rates of Actinomyces viscosus and Streptococcus mutans During Early Colonization of Tooth Surfaces in. Gnotobiotic Rats. Infection and immunity. Vol. 35. N°. 2. Pp: 583-587.
- BELYAGOUBI Larbi. (2014). Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens. Thèse de doctorat. Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, P 143.
- Benouaguenia.S, Ranque.S, D. Gacemi Kiranea. (2014). Étude d'une souche Streptomyces yatensis isolée des eaux du lac El Mellah, nord-est de l'Algérie productrice d'un antifongique non polyénique. Journal de Mycologie Médicale / Journal of Medical Mycology .Volume 25, Issue 1, March 2015, Pages 2–10.
- Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (1989). 8th Williams S.T., Sharpe M.E. and Holt J.G. (eds). Vol,4. Williams and Wilkins Co. Baltimore.
- Choulet. F. (2006). Evolution du génome des Streptomyces : transfert horizontal et variabilité des extrémités chromosomiques. Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy 1, pp 210.
- Compant, S., Clement C.and Sessitsch A., (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants : their role colonization

mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biol Biochem.* 42, 669-678.

- Conn. V.M. (2005). *Molecular Interactions of Endophytic Actinobacteria in Wheat and Arabidopsis*. Thèse de Doctorat. Flinders University.
- Dakar., (2012) .Techniques de production de semences de tomate au Sénégal.
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J. and Okon, Y. (2003). Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.* 22(2):107-149.
- Dommergues, Y. Manganot, F.( 1970) *écologie microbienne du sol* .Masson et Cie, paris, pp972(796).
- El-Shatoury. S; Mitchell. J; Bahgat. M; and Dewedar. A. (2004). Biodiversity of Actinomycetes in a Constructed Wetland for Industrial Effluent Treatment. *Actinomycetologica*, 18 (1), 1-7.
- Gazonko SV., Reponen TA., Grinshpun SA., Willeke K. (1998). Analysis of airborne actinomycete spores with fluorogenic substrates. *Appl Environ Microbiol.*, 64:4410–4415.
- Getha K., Vikineswary S., Wong W.H., Seki T., Ward A., Goodfellow M. 2005. Evaluation of *Streptomyces* sp. strain g10 for suppression of *Fusarium* wilt and rhizosphere colonization in pot-grown banana plantlets. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* Vol: 32. Pp: 24-32.
- Gomes, RC, Semêdo LTAS, Soares RMA, Alviano CS, Linhares LF and Coelho RR (2000) Chitinolytic actinomycetes from a Brazilian tropical soil active.
- Goodfellow M. (1985). - Actinomycete systematics: present and future prospects. Sixth int. symp. on actinomycetes biology. Szabo G., Biro S. and Goodfellow M. (Eds.), pp 487-496.
- Goodfellow M. and Trujillo M.E. (2012). In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*.(2012). The actinobacteria, Part 4. Genus *Nocardiopsis*. Second Edition volume five.
- Gottlieb D. (1974). Actinomycetales. In : *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Eds: R.E. Buchanan et N.E. Gibbons, 8th Ed. The Williams and Wilkins Company, Baltimore. 657-881.
- Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I. and Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species: opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat. Rev. Microbiol.* 2:43–56.

- Haslay C., Leclerc H. 1993. Microbiologie des eaux d'alimentation. Lavoisier TEC & DOC. France.
- Hiltner L (1904) Über neue Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiet der Bodenbakteriologie und unter besonderer Berücksichtigung der Grundzügen und Brauche. Arb Dtsch Landwirt Ges Berl 98:59–78
- Imada. C; Koseki. N; Kamata. M; Kobayashi. T; and Hamada-Sato. N. (2007). Isolation and characterization of antibacterial substances produced by marine actinomycetes in the presence of seawater. *Actinomycetologica*, 21 (1), 27-31.
- Jakimowicz D., (2007). Chromosome segregation and cell division during the growth and differentiation of *Streptomyces*. *Postepy Hig. Med. Dosw.* 61: 565-575.
- Judd. S. W, Campbell. C.S , Kellogg. E. A, Stevens. P. 2001. Botanique systématique: une perspective phylogénétique. De Boeck : Bruxelles. Pp : 467
- Kerkab,S (2010), Les actinomycètes d'un sol salé:rôle des osmoprotecteurs naturels.memoire de magistere :génie microbiologique . sétif : Université Ferhat Abbas,pp :116.
- Khattabi A, Hilali L, Dari K, Assobhei O, Gavini F. (2002). Isolement de microorganismes d'origine marine (Maroc) antagonistes de *Yersinia ruckeri* et *Yersinia pseudotuberculosis*. *Rev. Biol. Biotech.*;2:28–32.
- Kitouni M., (2007). Isolement de bactéries actinomycétales productrices d'antibiotiques à partir d'écosystèmes extrêmes. Identification moléculaires des souches actives et caractérisation préliminaires des substances élaborées. Thèse de Doctorat. Université Mentouri de Constantine (Algérie). P. 100, 118.
- Kloepper J.W., (1993). Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents. In: Metting FB Jr (ed) *Soil microbial ecology-applications in agricultural and environmental management*. Marcel Dekker, Inc., New York.255-274.
- Kumar.A, Bohra.C, Singh.C.K.(2003).*Environment pollution and management*. India: New delhi-110035(Ed), Pp532-534.
- Larpent, J.P., Sanglier, J.J. (1989). *Biotechnologie des antibiotiques*. Paris : Elsevier/ Masson .481p-(biotechnologies).
- Larpent, J.P., Sanglier, J.J. (1989). *Biotechnologie des antibiotiques*. Ed. Masson. Paris, 481p.

- Lavermicocca, P., Valerio, F., Evidente, A., Lazzaroni, S., Corsetti, A., Gobbetti, M. (2000). Purification and characterization of novel antifungal compounds from the sourdough *Lactobacillus plantarum* strain 21B. *Appl Environ Microbiol*, 66(9): 4084–4090.
- Lechevalier M.P. (1981). Ecological associations involving actinomycetes. In: *Actinomycetes*. Shaal and Pulverer (Eds.). *Zbl. Bakt. Suppl.*, 11, 159-166.
- 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.
- Lechevalier, M.P., Lechevalier, H. (1970). Chemical composition as a criterion in the classification of aerobic actinomycetes. *Int J Syst Bacteriol*, 20: 435–443.
- Lee J.Y. and Hwang B.K., (2002) Diversity of antifungal actinomycetes in various vegetative soils of Korea. *Can. J. Microbiol.* 48:407-417.
- Lindholm, P., Kortemaa, H., Kokkola, M., Haahtela, K., Salkinoja-Salonen, M., Valkonen, J.P.T. (1997). *Streptomyces* spp. Isolated from potato scab lesions under Nordic conditions in Finland. *Plant Dis*, 81(11): 1317–1322.
- Loqman, S. (2009). La lutte biologique contre la pourriture grise de la vigne : Isolement, caractérisation de souches de bactéries Actinomycétales antagonistes à partir des sols rhizosphériques de vignes saines sauvages d'origine marocaine. Thèse de Doctorat en Biologie et Physiologie Végétale. Université de Reims Champagne-Ardenne. France. 216p.
- Mariat F. et Sebald M. (1990). Actinomycetes In : *Bactériologie Médicale*. Le Minor L. et véron M. 2<sup>ème</sup> édition, Flammarion. Paris. 935-949.
- McKinney, R.E. (2004). *Environmental Pollution Control Microbiology*. New York: CRC Press. Pp: 448-(Civil and Environmental Engineering).
- Messoudi O., (2003). Contribution à la caractérisation des souches d'actinomycètes productrices de métabolites antibactériens isolées de la sebkhah de Kenadsa (Bechar). Thèse de Magistère en Microbiologie Appliquée. Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen. 78p.
- Mincer, T. L., P. R. Jensen, C. A. Kauffman & W. Fenical, (2002). Wide spread and persistent populations of a major new marine actinomycete taxon in ocean sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 68: 5005-5011.

- Nakaew NW, 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.
- Nerlove, M. (1994). Le développement de l'agriculture, la croissance de la population et l'environnement. *L'Actualité économique*, 70 (4), 359–382. <https://doi.org/10.7202/602155ar>
- Nonomura, H. and Ohara, Y. (1969). The distribution of Actinomycetes in soil. VI. A selective plate-culture isolation method for *Microbispora* and *Streptosporangium* strains. Part I. *JFerment. Technol.*47:463–469.
- 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. Ed: Springer Verlag: New York. Inc. 281-303. actinomycetes. *Biotechnology and Applied Biochemistry* 42: 161-179.
- Omura, S. (1992) .The search for bioactive compounds from microorganisms. Springer, Verlag, New York.
- Orhan, E., Esitken, A., Ercisli, S., Turan, M. and Sahin, F. (2006). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Sci. Hortic.* 111(1):38-43.
- Ouhdouch. Y. 2003. Aperçu bibliographique sur la taxonomie des actinomycètes. Premier atelier national du réseau NAFRINET-MAROC. Pp : 18-70.
- Prescott L. M., Harley J.P., Klein .D.A. 2003. *Microbiologie*. De Boeck & Larcier. Bruxelles. 805 – 825
- Prescott L. ML, Harley J. and Klein D. A^ (2007). *Microbiologie*. Edition de boeck et lancier
- Prescott. L. M, Harley. J. P, Klein. D. A. (2010). *Microbiologie*. De Boeck : Bruxelles. 2eme édition Pp : 1088.
- Ramos Solano, B., J. Barriuso Maicas, M.T. Pereyra de la Iglesia, J. Domenech, et F. J. Gutiérrez Mañero. (2008). Systemic disease protection elicited by plant

growth promoting rhizobacteria strains: relationship between metabolic responses, systemic disease protection, and biotic elicitors. *Phytopathology*. 98: 451-457

- 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*. Pitambar Publishing: New Delhi. Pp: 592.
- Richards, L.A. (1969). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agricultural Handbook No. 60. United States Salinity Laboratory Staff, Riverside. California.
- Sabaou, N. (1988). *Contribution à l'étude des Actinomycètes des sols des palmeraies Algériennes: systématique et écologie*. Thèse de Doctorat en Microbiologie des sols. Université des Sciences et de la technologie Houari Boumediene. Alger. 192p.
- Singh. S.L; Baruah. I; and Bora. T.C. (2006). Actinomycetes of Lake Loktat Habitat: Isolation and screening for Antimicrobial Activities. *Biotechnol.*, 5 (2), 217- 221.
- 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.
- Stackebrandt E., Rainey F.A., Ward-Rainey N.L. 1997. Proposal for a new hierarchic classification system, Actinobacteria classis nov. *Journal of Systematic Bacteriology*. 47: 479 - 491.
- Suntari M., Lignell U., Hyvarinen A. and Nevalailen A., (2002). Media for cultivation of indoor streptomycetes. *J. Microbiol. Meth.* 1668-1674.
- Van Loon L.C, Bakker P.Pieterse C. M. J., (1998). Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol.* 36:453-483.
- Wang L; Huang. Y; Liu. Z; Goodfellow. M & Rodriguez. C. (2006). *Sreptacidiphilusoryzae* sp. Nov. anactinomycete isolated from rice-field soil in Thailand. In. *J. Sys. Ev. Microbiol.* Vol 56. Pp: 1257-1261.
- 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.

- 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.

## **Les sites web**

- [http://bibfac.univ-tlemcen.dz/snvstu/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=2281](http://bibfac.univ-tlemcen.dz/snvstu/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2281)
- <https://www.montlhery.com/tomate2.htm>
- <https://agronomie.info/fr/phases-de-developpement-de-la-plante-de-tomate/>
- <http://www.africmemoire.com/part.3-chapitre-i-les-generalites-et-revue-de-la-litterature-sur-la-culture-de-la-tomate-998.html>
- <https://agronomie.info/fr/generalites-sur-la-tomate/>
- <https://agronomie.info/fr/les-maladies-et-ravageurs-de-la-tomate/>
- <https://bsvguyane.wordpress.com/fletrissement-bacterien-des-solanacees/>
- <https://fr.db-city.com/Alg%C3%A9rie--Constantine--Zighoud-Youcef--Beni-Hamiden#geo>
- <https://www.google.com/search?q=Beni+Hamiden&oq=beni+&aqs=chrome.1.69i5912j69i57j0l3.5580j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8>



## *Annexes*

---

## Annexes

### Annexes 1 : Composition du milieu de culture ISP2

- Extrait de levure 4g/L
- Extrait de Malt 10g/L
- Glucose 4g/L
- Agar 15g/L
- Eau distillée 1L
- CaCO<sub>3</sub> 2g/L
- pH 7

### Annexes 2 : Dosage de la chlorophylle

**Tableau 1** : L'absorbance du surnageant ainsi que la concentration de la chlorophylle a, b et totale chez les feuilles traitées par les souches des actinomycètes et cultivées sur champ

Souches	DO à 663nm	DO à 645nm	CHa	CHb	CHt
H14	0,26	0,22	2,65	2,82	6,47
H12	0,21	0,19	2,11	3,36	5,47
J4	0,60	0,59	5,91	10,70	16,61
K23	-	-	-	-	-
D14	0,24	0,18	2,51	2,99	5,50
J21	-	-	-	-	-
G10	2,52	1,72	26,81	28,28	55,09
T45	2,68	2,37	27,12	41,73	68,85
J13	2,68	2,39	30,86	42,18	64,04
G22	0,51	0,53	4,95	9,75	14,70
G33	2,32	1,58	25,56	24,99	50,55
J27	0,28	0,20	2,95	3,26	6,21
K12	0,22	0,24	2,10	4,46	6,56
S2	0,18	0,19	1,74	3,50	5,24
Témoin	0,16	0,17	1,65	3,02	4,67

**Tableau 2** : L'absorbance du surnageant ainsi que la concentration de la chlorophylle a, b et totale chez les feuilles traitées par les souches des actinomycètes et cultivées sur le sol non stérilisé dans des petits pots en laboratoire.

Souche	DO <sub>663nm</sub>	DO <sub>645nm</sub>	CHa	CHb	CHt
H14	0,35	0,90	2,01	18,97	20,98
H12	0,24	0,29	2,22	5,51	7,73
J4	0,25	0,25	2,45	4,55	7,00
K23	0,16	0,14	1,62	2,45	4,07
D14	0,25	0,24	2,48	4,32	6,80
J21	0,24	0,27	2,27	5,05	7,32
G10	0,26	0,22	2,56	3,82	6,47
T45	0,32	0,29	3,22	5,14	8,36
J13	0,38	0,44	3,57	8,29	11,68
G22	0,59	0,57	5,84	10,29	16,13
G33	0,30	0,44	2,58	8,67	11,25
J27	0,25	0,26	2,42	4,78	7,20
K12	0,17	0,18	1,64	2,40	4,04
S2	0,17	0,14	1,29	2,24	3,53
Témoin	0,10	0,14	1,08	1,95	3,03

**Tableau 3** : concentration de la chlorophylle a, b et totale chez les feuilles cultivées dans les petits pots au laboratoire. (Sol stérile).

souches	DO à 633	DO à 645	CHa	CHb	CHt
Témoin	0,058	0,038	0,621	1,150	1,77
G10	0,028	0,008	0,327	0,604	0,92
J13	0,048	0,018	0,549	1,015	1,55
J21	0,108	0,088	1,112	2,061	3,17
J4	0 ,028	0,008	0,327	0,604	0,92
K23	0,368	0,358	3,639	6,752	10,38
H14	0,588	0,578	5,800	10,760	16,56
G33	0,338	0,308	3,397	6,299	9,68
G22	0,348	0,328	3,469	6,434	9,89
D14	0,268	0,218	2,761	5,117	7,87
K12	0,368	0,338	3,691	6,845	10,53
H12	0,138	0,098	1,459	2,701	4,15
J27	0,048	0,028	0,523	0,968	1,48

**Tableau 4** : concentration de la chlorophylle a, b et totale chez les feuilles cultivées dans les pots moyens sous serre. (Sol non stérilisé).

Les souches	DO à 663	DO à 645	CHa	CHb	CHt
Témoin	0 ,098	0,068	1,04	1,92	2,96
T45	0,218	0,198	2,19	4,06	6,25
G22	0,058	0,038	0,62	1,15	1,77
J27	0,608	0,588	6,02	11,17	17,19
D14	0,018	0,008	0,20	0,37	0,57
H14	0,518	0,478	5,19	9,62	14,81

## Titre : Effet PGPR de quelques souches actinomycétales sur les caractères morpho-biochimiques de la tomate *Solanum Lycopersicum*

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

### ملخص

من بين الكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة و التي لها تأثير ايجابي على النباتات. بكتيريا النوع PGPR لها نشاط معزز لنمو النباتات. و اجريت الدراسة على بدور الطماطم الملقحة بواسطة اربعة عشر سلالة من الأكتينومييسيت (S2 , J21, D14, K23, J4, H12 , H14, K12, J27, G33 , G22, J13, T45, G10) التأثير الإيجابي لهذه السلالات في تعزيز نمو النبات. و قد لوحظ تطور الأجزاء الهوائية و الجذرية لتلك الشتلات التي زرعت في الحقل وخاصة بالنسبة للسلالات G10 و K12 و T45 . أظهر قياس الاوزان الجافة، الصافية، المواد العضوية المعدنية وكذا قياس الكلوروفيل الإجمالي، و ب ان بكتيريا هذه الدراسة لها تأثير محفز لنمو النبات. الكلمات المفتاحية: PGPR ، سلالات الأكتينومييسيت ، التلقيح ، الطماطم ، الإجهاد الملح.

### Résumé

Parmi les microorganismes bénéfiques pour la plante vivant dans la rhizosphère : les PGPR celles-ci ont une activité promotrice de la croissance végétale. L'étude relative à l'inoculation des graines de la tomate par quatorze souches d'actinomycètes (H14, H12, J4, K23, D14, J21, G10, T45, J13, G22, G33, J27, K12 et S2) a été effectuée en présence et en absence du stress salin dans le but d'apprécier l'effet positif de ces souches favorisant la croissance des plantes. Le développement des parties aériennes et souterraines a été remarqué chez les plantules développées sur champ et surtout pour les souches : T45, K12 et G10. La mesure des poids : frais, secs, de la matière organique et minérale ainsi que le dosage de la chlorophylle à, b et totale a montré que les PGPR ont l'effet stimulateur de la croissance des plantes.

Mots clés : PGPR, souches d'actinomycètes, inoculation, tomate, stress salin

### Abstrat

Among of microorganisms have an activity that promotes plant growth. The study on the inoculation of tomato seeds with fourteen strains of actinomycetes (H14, H12, J4, K23, D14, J21, G10, T45, J13, G22, G33, J27, K12 and S2) was carried out in the presence and absence of salt stress in order to assess the positive effect of these strains on plant growth. The development of the above-ground and underground parts was noticed in seedlings developed in the field and especially for the strains: T45, K12 and G10. The measurement of weights: fresh, dry, organic and mineral matter as well as the dosage of chlorophyll a, b and total showed that PBMPs have the stimulating effect of plant growth.

Key words: PGPR, strains of actinomycetes, inoculation, tomato, salt stress

**Mots clés :** PGPR, souche d'actinomycètes, inoculation, tomate, stress salin.

**Laboratoire de recherche :** Génie microbiologique et applications

Jury d'évaluation :

Président du jury : **HAMIDECHI M.A.** (professeur- UFM Constantine),  
 Rapporteur : **KITOUNI M.** (Professeur - UFM Constantine),  
 Examineur : **CHABBI R.** (MAA - UFM Constantine).

**Date de soutenance :** 10/07/2019