

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE
MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Senoussa Hafsa

Kassous Mehjouba

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN BIOLOGIE

Spécialité: Microbiologie appliquée

THÈME

**Effet PGPR de deux isolats de *Streptomyces* sp. sur les
plants de tomate et leur tolérance à la salinité**

Soutenue publiquement le **08/07/2019**

DEVANT LE JURY

Président : BOUZNAD Ahcene

MCB

U. Mostaganem

Examineur : DJIBAOUI Rachid

Professeur

U. Mostaganem

Encadreur : SIDHOUM Warda

MCB

U. Mostaganem

Thème réalisé au laboratoire de Microbiologie de l'université de Mostaganem

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah qui nous a donné la force et la puissance pour réaliser et achever ce travail dans des bonnes conditions .

*Nous tenons à remercier plus particulièrement **Mme SIDHOUM Warda** qui nous a régulièrement suivis dans la réalisation pratique de ce travail. On la remercie pour son soutien, ses conseils, sa simplicité, sa générosité scientifique et ses qualités humaines.*

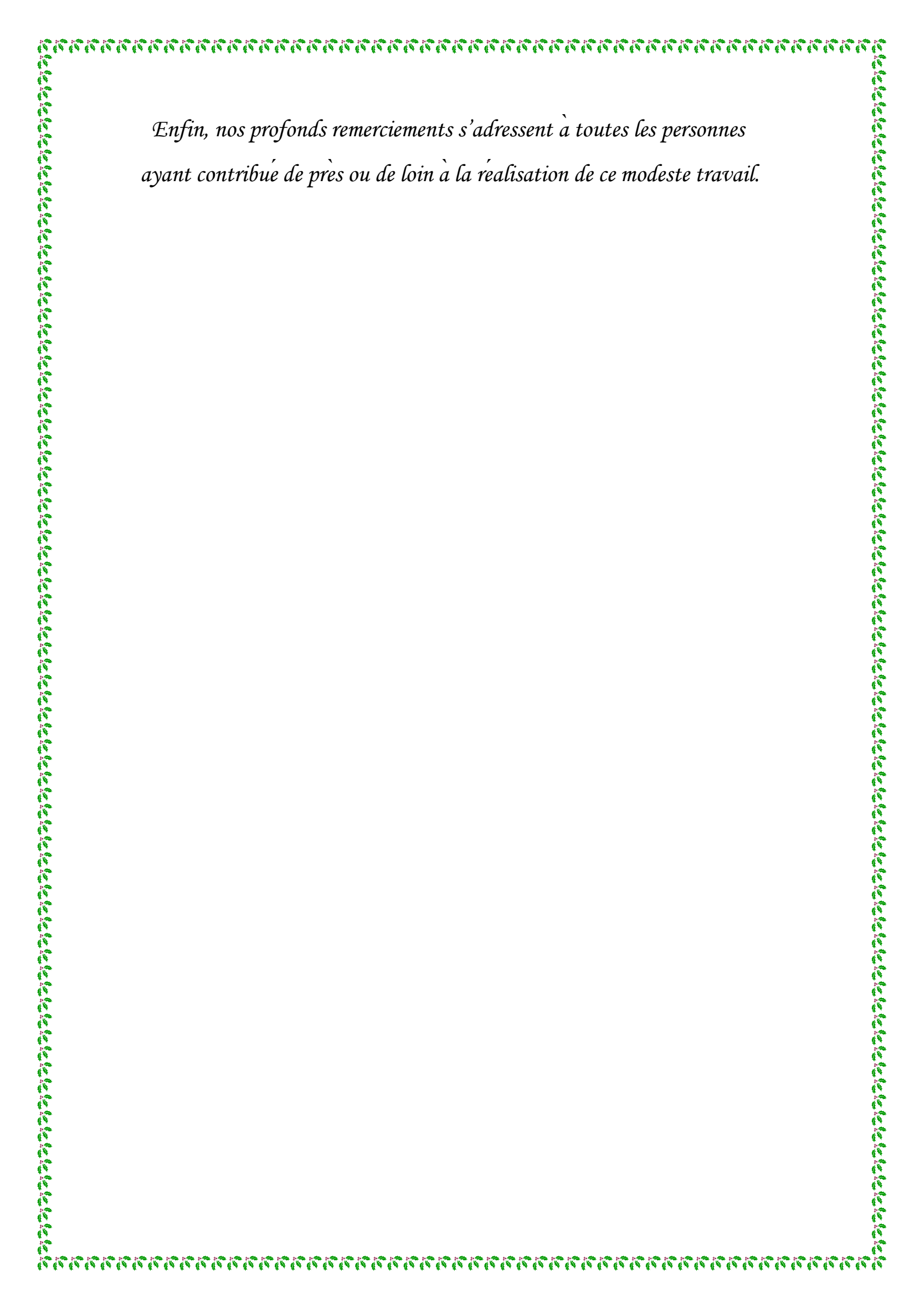
Nous remercions également toute l'équipe du laboratoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abdelhamid iben badis, Mostaganem , particulièrement l'équipe de Microbiologie et Biochimie .

*Nous tenons à remercier infiniment **Mme Hafida** de nous avoir accordé la chance de travailler au sein de son laboratoire et de nous avoir fait profiter de ses connaissances. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Merci à **Mr Djilali ,Mr abaydi ,Mme rachida et Mme amel** pour leur disponibilité, leur aide et leur patience. Nous remercions **Monsieur bouzned** de nous avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Nos remerciements vont également à **Mr djibaoi** d'avoir pris le temps d'examiner notre mémoire et d'avoir accepté de participer à ce jury.*

Un grand merci à nos familles respectives pour leur soutien et leur affection sans retenue au cours de nos longues années d'études. Sans oublier nos collègues et amis(es) de toute la promotion de biologie .



*Enfin, nos profonds remerciements s'adressent à toutes les personnes
ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

Dédicaces

C'est avec une profonde émotion que je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui ont cru en moi et qui m'ont toujours soutenue, en particulier :

À la mémoire de ma très chère mère, Je ne saurais exprimer mon grand chagrin en ton absence, J'aurais aimé que tu sois à mes côtés ce jour.

À mon cher père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices.

À Mes frères Amine et Imad, le simple fait de leur présence me donne la force d'avancer.

À mes chères sœurs Fatima, Imene, qui ont été toujours à mes côtés pour me soutenir et me donner le courage pour terminer mes études, pour la confiance et leurs mots d'encouragement.

À ma petite adorable Ikram

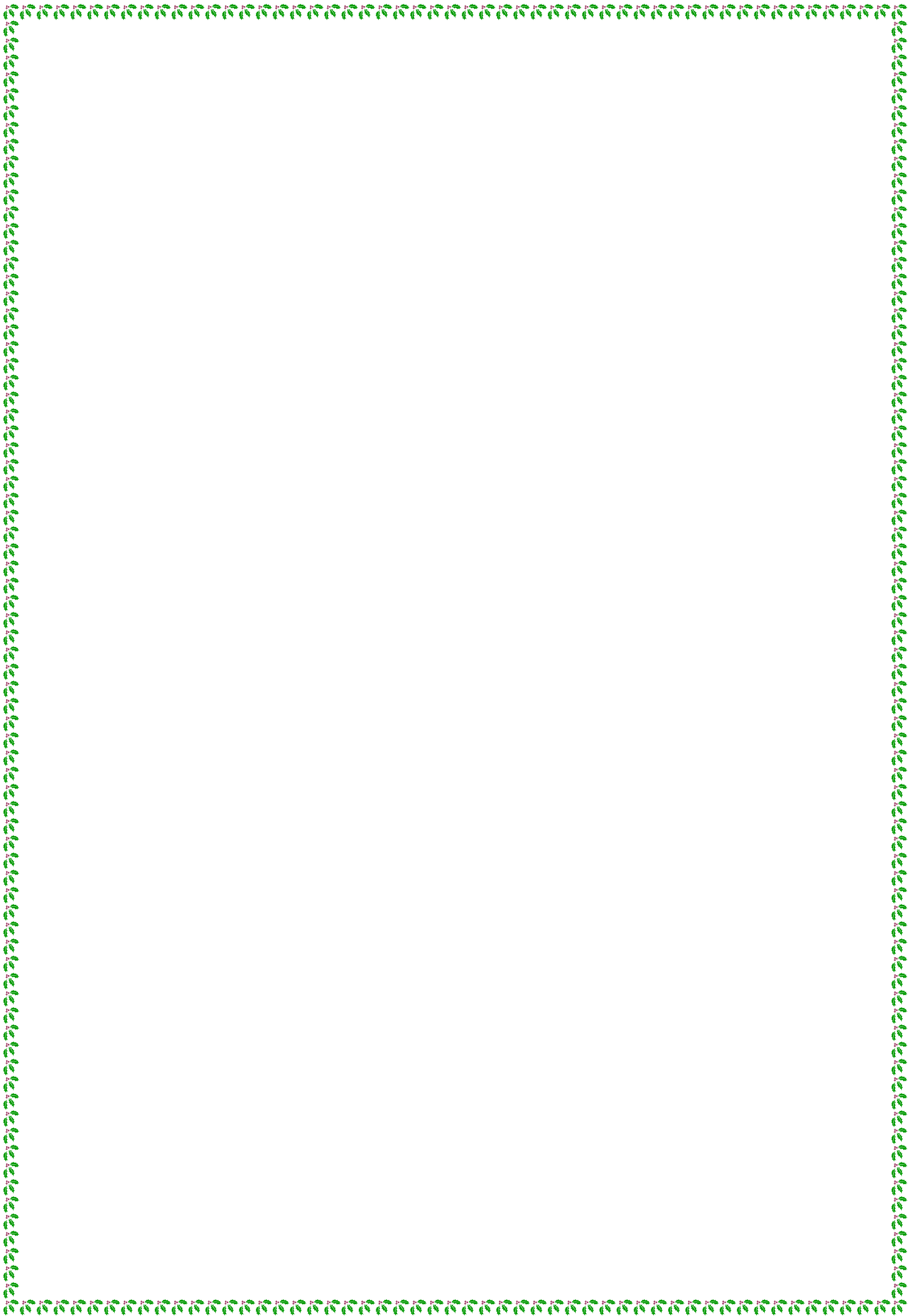
À mon cher cousin Amar pour son appui et son encouragement.

A mon cher cousin Abdellah.

À tous mes amis chacun en son nom.

À tous les collègues de ma promotion, avec qui j'ai passé mes plus beaux jours.

Hafsa



Dédicaces

Je dédie ce travail.

A Mes très chers parents que je remercie Dieu de les avoir protégés pour être témoins de ma réussite, qui ont toujours été là pour moi, ainsi que pour leur soutien.

A mes frère (Arbi et Aid)

A mes sœurs (fatima, khadra, fatiha et Amina)

A toute la famille Kassous et Hamed.

A tous les enfants (Abd el Hak, Taj El din, Isra, soufian, et Ismail)

A mes très chères amies : khadidja, Nadjat, Djamila, Ahlem, Soumiya, Hanan, fatima, farida, Hamza, Charef, Hicham, mohamed, Djamel et toutes leurs familles

A ma binôme et très très chère amie hafsa et sa famille.

A tous les étudiants de la promotion Microbiologie appliqué.

Mehjouba

Table des matières

Liste des figures	I
Liste des tableaux	V
Introduction.....	1

Chapitre 01 : Etat des connaissances.

1.	Généralités sur les Actinobactéries	2
1.1.	Taxonomie des Actinobactéries.....	3
1.2.	Critères morphologiques des Actinobactéries	5
1.3.	Écologie des Actinobactéries.....	8
1.4.	Applications des Actinobactéries	8
1.5.	Rôles et importances des Actinobactéries pour la croissance des plants	11
1.5.1.	La fixation d'azote	11
1.5.2.	La solubilisation du phosphate.....	
1.5.3.	La production des phytohormones	14
1.5.4.	Antibiose	14
1.5.5.	La production des enzymes hydrolytiques	15
1.6.	Les Actinobactéries et le stress biotique et abiotique	16
1.6.1.	Utilisation des Actinobactéries en lutte biologique	17
2.	Le genre <i>Streptomyces</i>	18
3.	La tomate.....	19
3.1.	Classification.....	19
3.2.	Description Botanique.....	19
3.2.1.	La graine.....	19
3.2.2.	Le système racinaire.....	19
3.2.3.	La tige.....	20
3.2.3.	La feuille.....	20
3.3.	Importance de la tomate dans le monde	20
3.3.	Importance de la tomate en Algérie	20
3.5.	Effet du sel sur la tomate.....	20

Chapitre 02 : Matériel et méthodes.

1.	Présentation de la zone d'étude	21
2.	Caractérisation des actinobactéries indigènes du sol rhizosphérique de <i>Marrubium vulgare</i>	22
2.1.	Prélèvement des échantillons de sol rhizosphérique.....	22
2.2.	Analyse physico-chimique du sol	23
2.3.	Isolement de la microflore rhizosphérique indigène.....	23
2.4.	Purification et conservation des isolats actinobactériens	23
2.5.	Identification des isolats.....	24
2.5.1.	Caractérisation macromorphologique des isolats	24
2.5.2.	Caractérisation micro-morphologique des isolats	24
2.5.3.	Caractères biochimiques.....	25
2.6.	Etude de l'activité antagoniste des actinobactéries.....	25
2.7.	Effet de différentes concentrations de NaCl sur la croissance des isolats S ₁ et S ₄	26
3.	Effet des isolats S ₁ et S ₄ sur la germination des graines de tomate en présence du stress salin	26
4.	Analyse des caractères PGPR.....	27
4.1.	Etude de la production d'Acide Indole Acétique (AIA) par les isolats	27
4.2.	Etude de la solubilisation des phosphates	28
5.	Effets de l'inoculation bactérienne sur la croissance végétale de la tomate en milieu salin	28
5.1.	Germination des graines de la tomate	28
5.2.	Préparation de l'inoculum d'isolats d'actinobactéries.....	28
5.3.	Préparation des substrats de culture et inoculation bactérienne...	28
6.	Prélèvement des plantes.....	29
6.1.	Estimation des paramètres de la croissance des plantes	29
6.2.	Mesure des paramètres physiologiques des plants élevés en serre	29
6.2.1.	La teneur relative en eau des feuilles	29
6.2.2.	Dosage de la chlorophylle	30
6.2.3.	Dosage du potassium et du sodium (<i>par spectrophotométrie de flamme</i>)	30

Table des matières

6.2.4.	Mesure de la perméabilité membranaire	31
Chapitre 03 : résultats et discussion.		
1.	Caractérisation des actinobactéries indigènes du sol rhizosphérique	32
1.1.	Analyse physico-chimique du sol.....	32
1.2.	Isolement et purification de la microflore rhizosphérique indigène	33
1.3.	Identification morphologique.....	35
1.3.1.	Aspect macroscopique	35
1.3.2.	Aspect microscopique.....	37
1.4.	Etudes des Caractères biochimiques.....	38
1.5.	Effet des différentes concentrations de NaCl sur la croissance des isolats S ₁ et S ₄	40
1.6.	Effet des isolats S1 et S4 sur la germination des graine de tomate en présence de stress salin	40
1.7.	Etude de l'activité antagoniste d'Actinobactéries.....	42
2.	Analyse des caractères PGPR.....	43
2.1.	Etude de la production d'Acide Indole Acétique (AIA) par les isolats	43
2.2.	Etude de la solubilisation du phosphate.....	44
3.	Effets de l'inoculation bactérienne sur la croissance végétale de la tomate en milieu salin	46
3.1.	Etude des paramètres morphologiques	49
3.1.1.	Le nombre de feuilles.....	49
3.1.2.	La hauteur de la tige	50
3.1.3.	La longueur des racines	50
3.1.4.	Poids frais et secs des plantes	51
3.1.5.	Taux d'accroissement	51
3.1.6.	Teneur relative en eau	53
3.2.2.	Dosage de la chlorophylle.....	53
3.2.3.	Teneurs des plants de tomates en sodium et en potassium.....	54
3.2.3.1.	Teneurs foliaires et racinaires en sodium.....	54
3.2.3.1.	Teneurs foliaires et racinaires en potassium.....	56

Table des matières

3.2.4.	Mesure de la perméabilité membranaire	58
--------	---	----

>< grf

Liste des figures

Figure 01 : Classification des actinobactéries.	04
Figure 02 : Coupe transversale d'une colonie d'Actinobactérie	05
Figure 03 : Shémas montrant les différents types de spores produites par les actinobactéries.	06
Figure 04 : Applications des actinobactéries.	09
Figure 05 : Illustration schématique des mécanismes importants connus pour la promotion de la croissance des plantes par les PGPR.	10
Figure 06 : Echanges trophiques dans la symbiose actinorhizienne <i>Frankia-Alnus...</i>	12
Figure 07 : Localisation géographique de la zone de prélèvement	20
Figure 08 : <i>Marrubium vulgaire</i>	21
Figure 09 : Echantillonnage du sol rhizosphérique de <i>Marrubium vulgaire</i> .	21
Figure 10 : Disposition des graines de tomate avec S1, S4 en boîte de Pétri.	26
Figure 11 : Aspect de quelques colonies isolées sur le milieu GN+ 3% de NaCl (a, b, c et d) et leur purification sur la gélose nutritive .	33
Figure 12 : : La croissance des souches sélectionnées S1, S2, S3, S4 sur la gélose inclinée.	34
Figure 13 : Examen microscopique des isolats purifiées S1, S2, S3 et S4 après coloration par la fuchsine (Gx100, Gx400, Gx1000).	36
Figure 14 : Observation microscopique des deux isolats S1et S4 après coloration de Gram et leur comparaison avec <i>Streptomyces</i> sp.BHUMBU-80 (C).	37
Figure 15 : Test de catalase des isolats (S1,S4) .	38
Figure 16 : Test du citrate de Simmons des isolats S1, S4. T : témoin	38
Figure 17 : Résultats de l'activité antibactérienne des isolats vis-à-vis des bactéries (Gram+ et Gram-) et de levure.	41
Figure 18 : Résultats de la production de l'auxine AIA par S1 et S4. T : témoin.	42
Figure 19 : Representation graphique du production de l'auxine AIA par	43

les deux isolats

- Figure 20:** Solubilisation du phosphate des isolats S1 et S4 sur PVK . 44
- Figure 21:** Etude des variations de l'indice de solubilisation du phosphate 44
par les deux souches S1 et S4. ns : non significatif selon le teste ANOVA
à un facteur.
- Figure 22:** Flétrissement d'un Plant non inoculé et traité par 50mM de 45
NaCl.
- Figure 23 :** L'effet des deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) en 50
présence de NaCl sur le taux d'accroissement des plants inoculés par
rapport aux témoins.
- Figure 24 :** Teneur de différents pigments photosynthétiques dans les 52
feuilles de plants de tomate inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp.
(S1 et S4) et témoins en présence de NaCl.
- Figure 25:** Teneurs en sodium chez les plants témoins (NI) de tomate et 54
inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) en présence de
NaCl. Les résultats sont exprimés en moyenne±écart type (n = 3).
- Figure 26:** Teneurs en potassium chez les feuilles des plants témoins 56
(NI) de tomate et inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4)
en présence de NaCl. Les résultats sont exprimés en moyenne±écart type
(n = 3).
- Figure 27:** Teneurs en potassium chez les racines des plants témoins 57
(NI) de tomate et inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4)
en présence de NaCl. Les résultats sont exprimés en moyenne±écart type
(n = 3).
- Figure 28 :** Fuite d'électrolyte de feuilles des plants témoins (NI) de 58
tomate et inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) en
présence de NaCl. Les résultats sont exprimés en moyenne±écart type (n
= 3).

Liste des figures

Liste des tableaux

Tableau 01 : Quelques exemples d'antibiotiques produits par les actinomycètes.	10
Tableau 02 : Quelques enzymes importantes et leurs applications.	15
Tableau 03 : Activités de biocontrôle de certaines souches actinobactériennes.	17
Tableau 04 : La classification systématique de <i>Solanum lycopersicum</i>	18
Tableau 05 : Caractéristiques des souches indicatrices.	25
Tableau 06 : Type de sol en fonction de la conductivité électrique	31
Tableau 07 : Caractérisations macroscopiques des isolats	34
Tableau 08 : Aspect macroscopiques des isolats dominants sur différents Milieux de culture	35
Tableau09 : Test de croissance des isolats d'actinobactéries sur le milieu ISP2 à différentes concentrations de NaCl.	39
Tableau10 : Effet simultané du stress salin et de l'inoculation par les souches de <i>Streptomyces</i> sp. sur la germination des graines de la tomate et l'apparition des contaminants.	40
Tableau 11 : Solubilisation du phosphore par les isolats étudiés	44
Tableau12: Résultats de l'ANOVA à deux facteurs concernant l'effet des deux souches de <i>Streptomyces</i> sp. sur les paramètres de croissance des plants de tomate en présence de NaCl.	48
Tableau13 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs concernant l'effet des deux souches d' <i>Actinomyces</i> sp. sur la teneur en pigments photosynthétiques des plants de de tomate en présence de NaCl.	53
Tableau 14 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs concernant l'effet des deux isolats de <i>Streptomyces</i> sp. (S1 et S4) sur les teneurs en sodium et potassium des plants de tomate en présence de NaCl.	55

Liste des abréviations :

G: Guanine

C: Cytosine

PGPR: Plant Growth Promoting Rhizobacteria

HCN: acide cyanhydrique

P : phosphore

AIA : Acide Indole-3-Acétique

PVK: Pikovaskaya

CE: Conductivité Electrique

GN :Gélose Nutritive

ISP: International Streptomyces Project

MSR: Milieu de Strullu et Romand Modifié

UV : Ultra Violet

SI : Indice de Solubilisation

UFC : Unité Formant Colonie

ACC : Accroissement

PST : Poids Sec Témoin

PSI : Poids Sec Inoculé

PF : Poids Frais

PS :Poids Sec

PT : Poids turgescent

TRE : Teneur Relative en Eau

A : Absorbance

rpm : tours par minutes.

Liste des abréviations

NI : Non Inoculé

NF : Nombre de Feuilles

LR : Longueur Racinaire

HT : Hauteur de Tige

ns: non significatif.

Ch : Chlorophylle

Car : Caroténoïdes

Liste des planches

Planche 01 : Effets de l'inoculation bactérienne sur la croissance végétale de la tomate en stress salin 46

Planche 02: Représentation graphique des résultats des paramètres de la croissance des plants de tomate, inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) et témoins en présence de NaCl. 47

Introductio

Introduction

La salinisation des sols constitue un problème important, notamment dans les zones arides et semi-arides (Sharma *et al.*;2016), provoquant une dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols dont les conséquences sont la diminution de la fertilité des sols qui entraîne une réduction des rendements des cultures et parfois la disparition du couvert végétal naturel (Shrivastava et Kumar, 2015). L'Algérie est parmi les pays les plus menacés par ce problème, dont plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par la salinisation (Douaoui et Hartani, 2007).

D'après Pemila (2018), il est essentiel de réintroduire des bactéries bénéfiques dans le sol afin de reconstituer sa fertilité naturelle. L'utilisation des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes est recommandée, notamment les actinobactéries qui ont une grande tolérance à la salinité (Hamedi *et al.*, 2013).

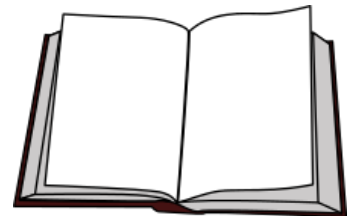
D'ailleurs, les sols arides en Algérie renferment un potentiel assez riche en actinobactéries de grande importance en biotechnologie végétale (Sabaoui *et al.*,1998), car elles sont dotées d'une activité PGPR leur permettant d'améliorer la croissance des plantes et d'augmenter leur rendement en agriculture.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude dont les objectifs sont :

- L'isolement des souches rhizobactériennes stimulatrices de la croissance végétale à partir du sol rhizosphérique de *Marrubium vulgare*.
- La caractérisation morphologique et biochimique des isolats.
- L'évaluation de l'effet de deux isolats de *Streptomyces* sp. *In vitro* et *In vivo* sur la germination et la croissance de la tomate respectivement.
- L'évaluation de l'effet de l'inoculation bactérienne sur quelques paramètres physiologiques des plants de tomate en présence de stress salin.

Chapitre I :

Etat des Connaissances



1. Généralités sur les Actinobactéries

Les actinobactéries sont des bactéries sporulées à Gram positif, qui se caractérisent par une teneur élevée en G+C dans leurs génomes et une croissance filamenteuse. Ils constituent l'un des plus grands phylums bactériens qui prospèrent dans divers systèmes écologiques en raison de leur polyvalence physiologique (Anandan *et al.*, 2016 Shan *et al.*,2018) .

Toutefois,différents actinobactéries préfèrent des écosystèmes extrêmes qui présentent des températures élevées comprises entre 40 et 80°C (Detay *et al.*,2018; Hussein *et al.*, 2018), des hautes concentrations salines et des rayonnements relativement élevés (Mohammadipanah *et al.*, 2016 ; Trenochnikova et Azizan, 2018).

De nombreuses actinobactéries produisent des métabolites secondaires qui comprennent des composés antimicrobiens (Harir *et al.*, 2017 ; Retnowati *et al.*,2018), en particulier *Streptomyces* qui est connu par sa capacité à produire une multitude de molécules d'une immense diversité structurelle et biologique, dont plusieurs ont des applications en biotechnologie, en médecine et en agriculture (Esnault *et al.*,2017 ; Tyurin *et al.*,2018 ; Hu *et al.*,2018)

Il est également bien accepté que certaines Actinobactéries sont considérées comme des bactéries favorisant la croissance des plantes (Anwar *et al.*, 2016 ; Wang *et al.*, 2018), cette promotion peut se produire par une variété de mécanismes qui impliquent des processus directes ou indirectes tels que la production des phytohormones, la fixation d'azote, l'antibiose (Lasudee *et al.*,2018).

1.1. Taxonomie des Actinobactéries :

Les Actinobactéries représentent l'une des plus grandes unités taxinomiques parmi les 18 lignées majeures actuellement reconnues au sein de domaine bactérien(Barka *et al.*,2016).

En se basant sur le système de classification de Bergey's Manual of Systematic of Bacteriology (2004), les Actinomycètes sont rattachés au Phylum Actinobacteria, à la classe 'Actinobacteria',à la sous classe des Actinobacteridae et à l'ordre des Actinomycetales(Abbes et Bouteraa, 2017.In Harir,2018).

Actuellement, la classe «Actinobacteria » est subdiviséeen cinq sous classe à savoir : Acidimicrobidae, Rubrobacteridae,Coriobacteridae, Sphaerobacteridae et la principale sous classe qui est celle des Actinobacteridae, elle comprend deux ordres, les Bifidobacteriales et

les Actinomycetales. L'ordre Actinomycetales est divisé en quatre familles- Streptomycetaceae, Actinomycetaceae, Actinoplanaceae et Mycobacteriaceae (Benouagueni, 2015).

Les actinomycètes contiennent plus que 203 genres (Harir, 2018), le genre *Streptomyces* semble être le plus important genre qui représente 85 % de l'ensemble des Actinobactéries (Abd-Allah *et al.*, 2012).

La taxonomie des actinobactéries est basée sur un ensemble de caractères physiologiques, chimiotaxonomiques et génomiques (Saker, 2015).

Cependant, les approches actuelles de la classification des procaryotes reposent particulièrement sur l'utilisation intégrée de données génotypiques et phénotypiques. Cette approche est de plus en plus motivée par les progrès de la biologie moléculaire qui montrent que l'analyse de l'ARNr16S tient une très grande importance dans la classification des taxons appartenant au phylum Actinobacteria (Girard *et al.*, 2013).

Ces bactéries peuvent se regrouper sous forme de bacilles et de coccobacilles comme *Rhodococcus* et *Mycobactérium* (Messaoudi,2013).

Les Actinomycètes les plus différenciés développent sur un milieu gélosé une masse d'hyphes mycéliens répartis en deux couches distinctes : le mycélium aérien et le mycélium du substrat (Djaballah, 2010) (**Fig. 2**).

Le mycélium primaire est appelé aussi mycélium végétatif, ou mycélium de substrat, c'est un ensemble de filaments multinucléaires formés à partir du tube germinal (hyphe) issue d'une spore. Tandis que le mycélium secondaire est appelé aussi mycélium aérien, il se forme lorsque la colonie sera plus âgée. Les hyphes primaires donnent des branches spécialisées qui se développent loin de la surface de la colonie en donnant un mycélium reproductif dans l'air. Contrairement à celui du substrat, le mycélium aérien est plus épais et peu ramifié (Zerizer,2014).

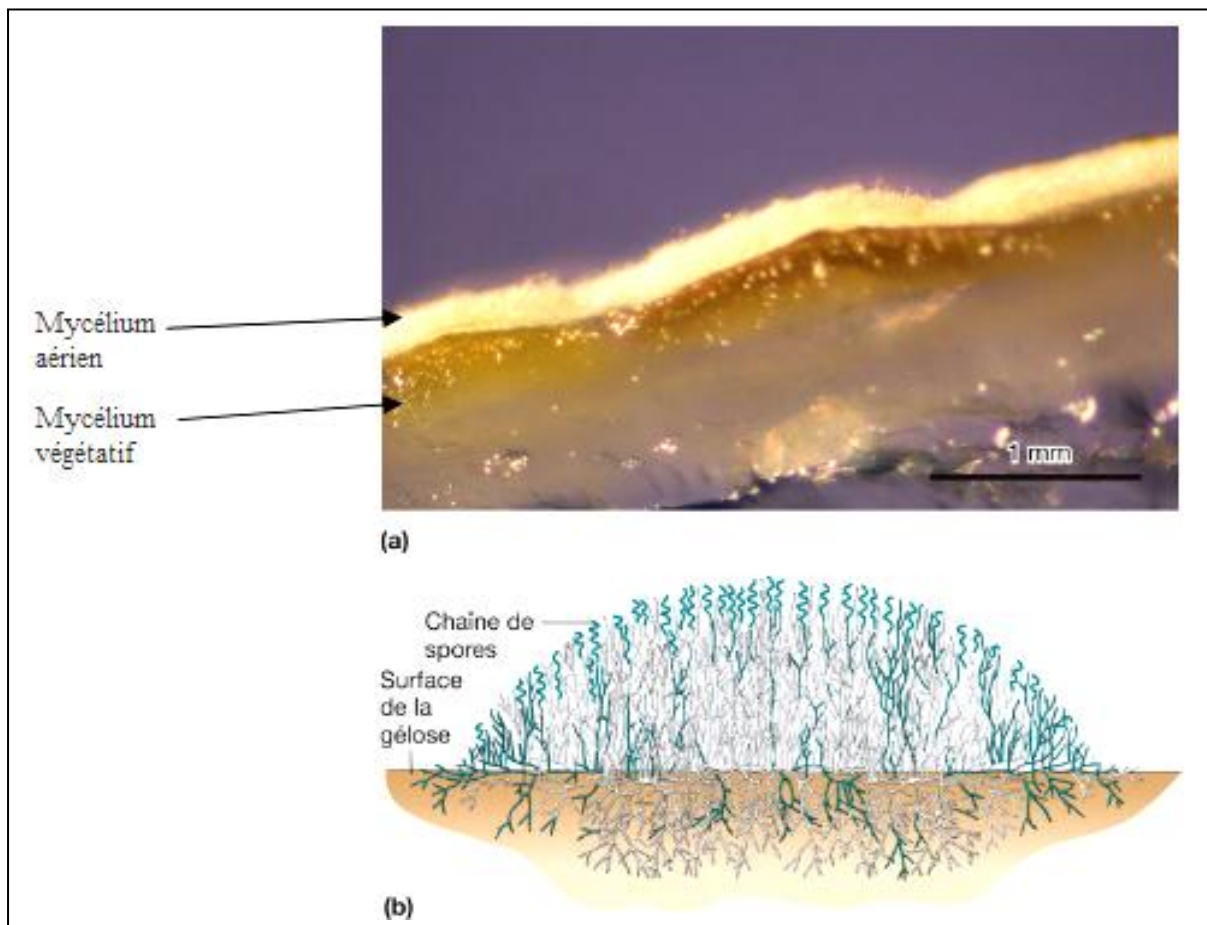


Fig.2: Coupe transversale d'une colonie d'Actinobactérie.(a) : Observation microscopique de *Streptomycesgriseus* croissant dans la gélose , (b) : Développement des hyphes végétatifs et des hyphes aériens(Prescott *et al.*,2018) .

La morphologie des spores chez les Actinobactéries est extrêmement importante dans leur taxonomie (Locci et Sharples, 1984). Ces spores sont formées soit sur le substrat et/ou sur le mycélium aérien sous forme de cellules uniques ou en chaînes de différentes longueurs. Dans d'autres cas, les spores peuvent être hébergées dans des vésicules spéciales (sporangies) et dotées de flagelles (**Fig.3**).

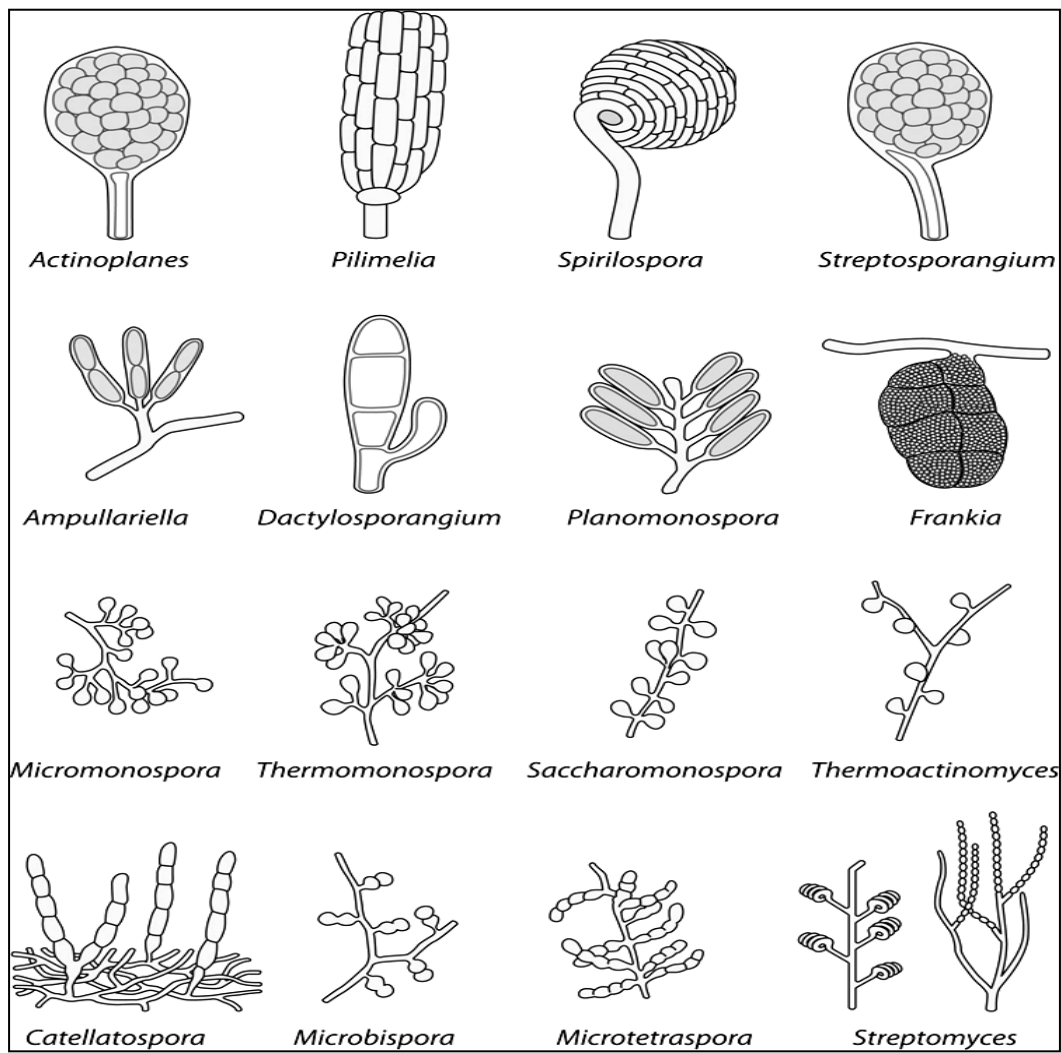


Fig.3: Schémas montrant les différents types de spores produites par les actinobactéries (Barka *et al.*, 2016)

1.3.Écologie des Actinobactéries

Les Actinobactéries sont largement distribuées dans les écosystèmes terrestres et aquatiques (Ranjani *et al.*,2016 ; Ravindra *et al.*,2017 ; Wenna *et al.*,2018),ils se rencontrent dans les écosystèmesmarines (Hui *et al.*, 2016 ; Polpass *et al.*, 2017), cependant la plupart des espèces sontdesprincipaux habitants du sol(Sheng *et al.*,2016 ; Gina *etal.*, 2017) où sont essentiellement repésentés dans les zonesrhizosphériques (Cisneros ,2016).

Ces bactéries jouent un rôle essentiel dans le maintien de la structure du sol et le recyclage du carbone par la décomposition de diverses matières organiques comme la cellulose, la chitine et la pectine (Binglin *et al.*, 2016 ; Yuanping *et al.*, 2019).

Elles produisent plusieurs enzymes, antibiotiques, agents antitumoraux, régulateurs de croissance végétale (Gayathri *et al.*, 2017 ; Esmaeil *et al.*, 2017 ; Yitayal *et al.*, 2019) .

Bien que les membres de ce grand embranchement existent sous forme de saprophytes libres, plusieurs d'entre eux peuvent vivre à l'intérieur des tissus ou des organes comme partenaires commensales (*Leifsonia*) ou symbiotiques (*Frankia*) des plantes (Sudipta, 2018), des insectes, des animaux aquatiques ainsi que les animaux terrestres (Marie-Ève *et al.*, 2018). Il existe d'autres Actinomycètes (*Bifidobacterium*) qui habitent dans la cavité buccale (Emad *et al.*, 2018) et le tractus digestif du corps humain (Kaisa *et al.*,2018), mais ce ne sont que d'inoffensifs commensaux .

1.4. Applications des Actinobactéries

En tant que plus grand embranchement du royaume des bactéries, Actinobacteria attire l'attention de la communauté scientifique ces derniers temps, car il ouvre de nouvelles possibilités pour la découverte de divers métabolites primaires et secondaires qui peuvent aider à résoudre les plus difficiles problèmes (Lee *et al.*, 2018), à travers les applications pratiques dans l'industrie, l'agriculture, la médecine et les sciences vétérinaires (Silva *et al.*,2016) (**Fig.3**).

En agriculture moderne, les Actinobactéries peuvent remplacer une grande partie des produits chimiques nocifs (Chaurasia *et al.*,2018 ; Sai *et al.*,2018), en effet, elles occupent une place très particulière dans les pratiques agricoles et agissent comme outil de biocontrôle en raison de leur capacité à inhiber la croissance d'une vaste gamme de phytopathogènes bactériens et fongiques tels que *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora* et *Colletotrichum*

(Arumugam *et al.*,2017 ; Anusha *et al.*,2017). Elles produisent différents composés bioactifs qui sont toxiques pour les phytopathogènes mais qui n'ont aucun effet toxique sur les humains ou l'environnement (Pemila *et al.*,2019). Elles peuvent être aussi utilisées comme biofertilisants pour l'agriculture durable car elles peuvent améliorer la croissance des plantes et la santé du sol (Yadav Neelam, Yadav Ajar Nath, 2019).

Ces bactéries filamenteuses sont réputés en tant que micro-organismes commerciaux qui peuvent produire des métabolites utiles (Asmiaty *et al.*, 2018). Ils sont considérés comme la source la plus prolifique de composés bioactifs, en particulier les antibiotiques disponibles sur le marché (Pharada *et al.*,2019), qui peuvent fonctionner comme antifongiques, antibactériens, antitumoraux, anticancéreux, antiviraux, herbicides, antidiabétiques, anthelminthiques et antiprotozoaires , immunosuppresseurs (Sasmiati *et al.*,2017 ,Hoskisson *et al.*,2018) (**tableau 01**).

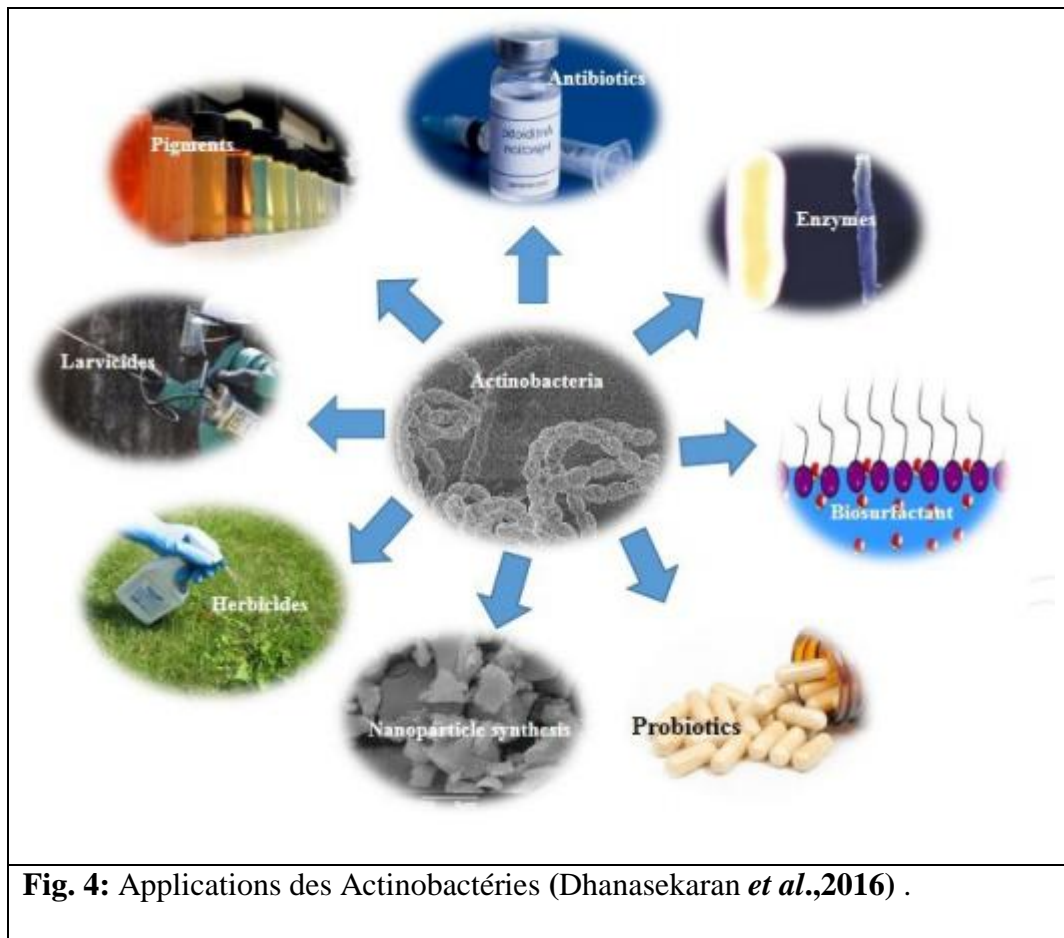
L'importance de ces microorganismes est clairement démontrée par le fait que plus de 5000 composés ont été signalés dans des Actinobactéries qui ont contribué au développement de 90% des antibiotiques commerciaux utilisés pour les besoins cliniques ou de recherche (Ranjita *et al.*,2018), la plupart d'entre eux étant issus du genre *Streptomyces* (Ángel Manteca et Paula Yagüe , 2018 ; Anne *et al.*,2017) .

Tableau 01 : Quelques exemples d'antibiotiques produits par les actinomycètes

Actinomycètes producteurs	Antibiotiques	Activités	Références
<i>Streptomyces sp.</i>	Chaxalactine B	Antibactérienne	Rangseekaew <i>et al.</i> (2019).
<i>Streptomyces sp. PWS52</i>	2,5-bis(1,1 dimethylethyl)phenol	Antifongiqueetantibactérienne	Das <i>et al.</i> (2018).
<i>Streptomyces spp.</i>	Proximicine A, B,C	Anticancéreuse	Rodriguez <i>et al.</i> (2018).
<i>Streptomyces spp. (CB09001)</i>	Huanglongmycine A, B et C	Anticancéreuseetantibactérienne	Jiang <i>et al.</i> (2018)
<i>S.heliomycini</i>	Actinomycine	Anticancéreuse	
<i>Micromonospora sp. GH99</i>	Brevianamide F	Antibactérienneetcardioprotectrice	Vinodhet <i>al.</i>(2019)

Nocardioides (EA87)	<i>spp.</i>	Sulfacetamide	Antifongique et antibactérienne	Betancur et al. (2017)
Streptomyces spp. (C34)		Chaxamycine D	Antibactérienne	Krzesniak et al., 2018
Streptomyces VITSDK1 spp.		Furan-2-yl acetate	Antiviral	Rajkumar et al., 2018
Micromonospora sp.		Phocoenamincins B , C	Antibactérienne	Genilloud et al., 2018

Divers genres d'Actinobactéries sont capables de produire un large éventail d'enzymes industrielles potentielles qui peuvent être utilisées dans des applications biotechnologiques et dans les domaines biomédicaux (Banu *et al.*, 2018), en particulier les amylases, cellulases, protéases, chitinases, xylanases et les pectinases (Mukhtar *et al.*, 2017).



1.5. Rôles et importances des Actinobactéries pour la croissance des plants

Les Actinobactéries tiennent un rôle majeur dans la communauté microbienne qui se développent dans la rhizosphère végétale (Rante *et al.*, 2017).

Afin d'influencer la croissance et la protection des plantes, ces microorganismes, comme les autres PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) utilisent des mécanismes directs aidant l'acquisition des nutriments (azote, phosphore et minéraux essentiels) et le développement végétale à travers la production des phytohormones. (Arumugam *et al.*, 2017). D'autres mécanismes indirects sont utilisés dont la production de l'HCN (acide cyanhydrique) l'inhibition de la croissance des agents pathogènes et l'induction du système de résistance des plantes (Malleswari *et al.*, 2016 ; Dwi *et al.*, 2018 ; Aris *et al.*, 2019) (Fig. 5) .

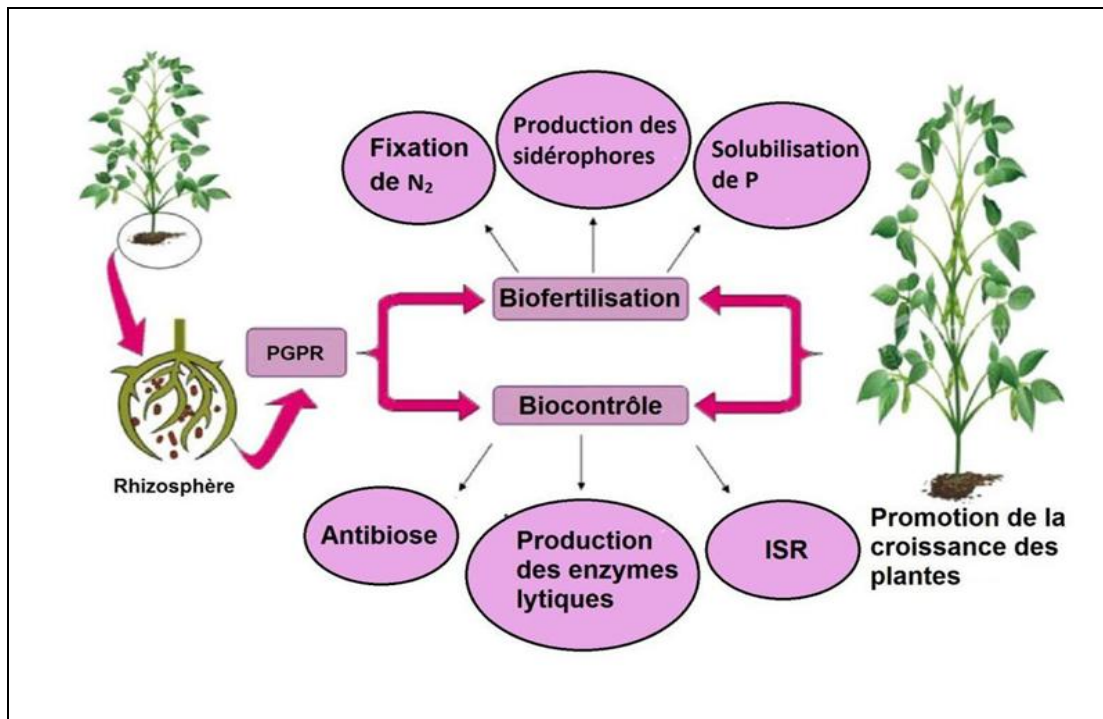


Fig.5: Illustration schématique des mécanismes importants connus pour la promotion de la croissance des plantes par les PGPR (Parvatha *et al.*,2014).

1.5.1. La fixation d'azote :

L'azote est l'un des macroéléments dont les plantes ont besoin en grande quantité (Novi *et al.*, 2019). cet élément est essentiel pour le fonctionnement de nombreux processus biologiques, y compris ceux qui se produisent dans les plantes (Li *et al.*, 2017 ;Zaw *et al.*, 2018) . L'azote moléculaire, en raison de sa triple liaison, est une molécule qui n'est utilisée que par un petit groupe de microorganismes hautement spécialisés. En effet, le processus biologique de la

fixation de l'azote atmosphériques varie d'une espèce à une autre et il est généralement lié aux procaryotes (Hajjam,2017). Il est réalisée exclusivement par des bactéries qui possèdent la nitrogénase, une enzyme catalysant plusieurs réactions de réduction de l'azote atmosphérique (N_2) en ammonium (NH_4), qui est alors assimilable par la plante pour constituer les molécules organiques (Selami ,2015 ; Berrabahet *al.*, 2016 ;Perakis *et al.*, 2019) .

Parmi les Actinobactéries fixatrices d'azote, le genre *Frankia* établit des symbioses racinaires (actinorhize) en s'associant avec 23 genres de plantes d'angiospermes qui sont collectivement appelées " les plantes actinorhiziennes " (Normand *et al.*, 2017 ;Ghedira *et al.*, 2018). Cette symbiose naturelle permet à la plante d'utiliser directement l'azote de l'air environnant pour sa croissance (*In* Cheriet, 2017).

L'association entre *Alnus spp* et *Frankia* s'inscrit dans le cadre des symbioses actinorhiziennes. Au cours de cette interaction, la bactérie induit chez sa plante-hôte la formation d'un nouvel organe au niveau racinaire, le nodule, au sein duquel ont lieu des échanges trophiques entre les deux partenaires. La bactérie fournit à l'hôte de l'azote réduit, grâce à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique, et bénéficie en retour des composés carbonés issus de la photosynthèse de la plante (**Fig.6**) (Bahadur *et al.*,2015 Mehnaz.2017; Schwob, 2018) .

Frankia a généralement un effet positif sur la croissance de ses hôtes et peut contribuer à des gains importants en biomasse par rapport aux plantes non colonisées, bien que l'intensité et la direction de cet effet puissent varier selon les combinaisons hôte-souche de *Frankia* (Ballhorn *et al.*,2017).

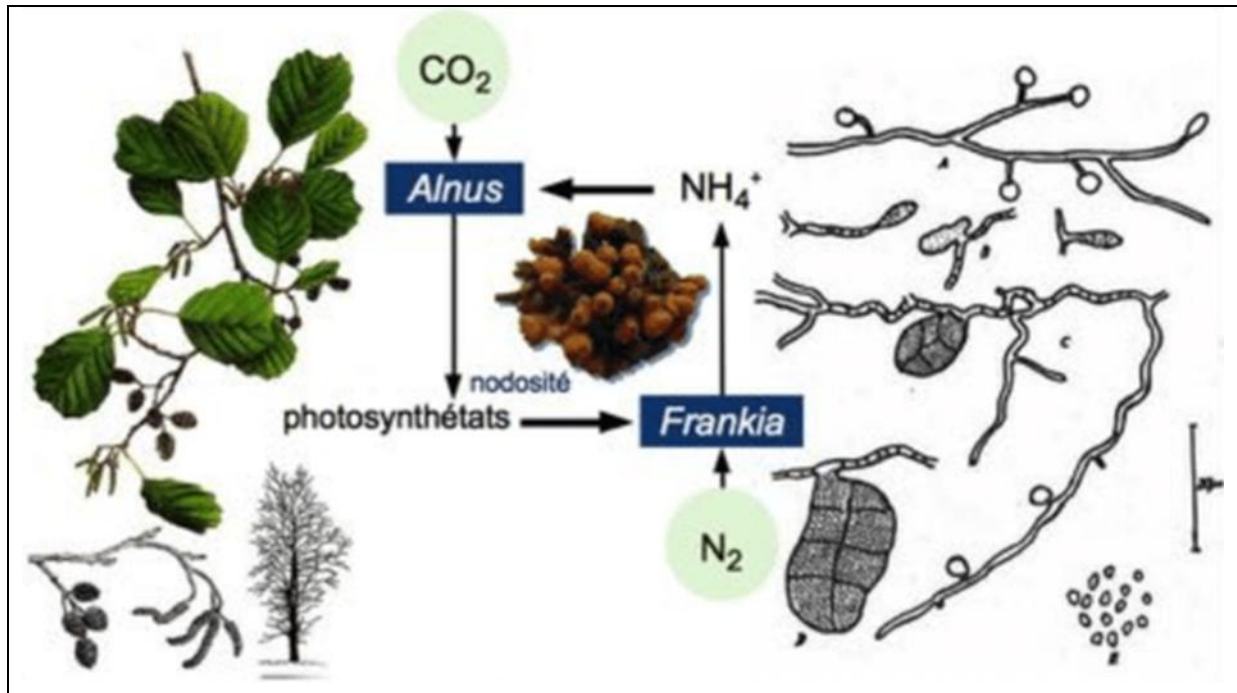


Fig.6: Echanges trophiques dans la symbiose actinorhizienne *Frankia-Alnus*(Pozzi , 2014) .

1.5.2. La solubilisation du phosphate:

Le phosphore (P) est l'un des principaux nutriments essentiels qui limitent la croissance et le rendement des plantes (Fitriyanti *et al.*,2017 ; Lee *et al.*,2019 ; Bhattacharjya *et al.*,2019) en raison de leur effet prometteur sur la croissance racinaire et le développement caulinaire.

Le phosphore est considéré comme une molécule biologique qui entre dans la composition de l'ADN, l'ARN et des phospholipides. Il est également impliqué dans les transferts d'énergie à l'intérieur des cellules par l'intermédiaire de molécules telles que l'ATP (Sharon *et al.*,2016).Le phosphore peut exister dans les sols sous forme organique (Po) et inorganique (Pi).Cependant, une grande partie (environ 95 à 99 %) est présente sous forme de phosphate insoluble liée avec des cations comme le fer, l'aluminium et le calcium qui ne peuvent être utilisés par les plantes (Firew *et al.*,2016 ; Matos *et al.*,2017 ;Pallavi ,2018) .

Les microorganismes sont capables de favoriser l'assimilation du phosphore par les plantes, en particulier les bactéries solubilisatrices de phosphates inorganiques, tels que *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Rhizobium* et *Actinobacteria* (Zhangetal.,2019), environ 20 % des Actinobactéries peuvent solubiliser le phosphate, y compris ceux des genres *Actinomyces*, *Micromonospora* et *Streptomyces* (Alori *et al.*,2017) .

Plusieurs de ces micro-organismes agissent comme agent solubilisant du phosphate et convertissent le phosphore insoluble (PO_4^{3-}) en forme soluble HPO_4^{2-} et H_2PO_4^- par la production des acides, les réactions d'échange, l'acidification, la chélation et la formation de substances polymères (Pandey *et al.*,2018 ; Suleman *et al.*,2018) .

En effet , Les bactéries rhizosphériques solubilisant le phosphate peuvent être une source prometteuse comme agent biofertilisant en agriculture (Bouali *et al.*,2017) .

1.5.3. La production des phytohormones

La communauté microbienne de la rhizosphère procure des bienfaits aux plantes par plusieurs mécanismes, comme la production de phytohormones (Maheshwari ,2015).

Les hormones végétales ou les phytohormones sont des composés organiques naturels qui régulent la croissance , le développement des plantes et leur capacité à réagir aux conditions environnementales . Une large gamme de PGPR est capable de produire différents types de phytohormones qui existent en cinq catégories : les auxines, les gibbérellines, les cytokinines, l'éthylène et l'acide abscissique (Singh *et al.*,2017 ; Hamoum, 2017) .

L'acide indole-3-acétique (IAA) est le principal membre de la famille des auxines produites par les plantes et les microorganismes (Donoso *et al.*,2016 ; Patra *et al.*,2018) .

Les Actinobactéries synthétisent d'une manière prédominante l'AIA à partir du tryptophane par la voie de l'acide indole-3-pyruvique , chez de nombreuses espèces de *Streptomyces*, l'AIA stimule la formation du mycélium et améliore également la production des antibiotiques.(Ameer ,2014 ; Sousa *et al.*,2016 ;Kumar et al.,2018) .

L'AIA est une phytohormone responsable de différents processus de développement chez la plante à savoir la division cellulaire, l'allongement, la différenciation, l'initiation racinaire, la régulation de l'expression génique (Kanga *et al.*,2017 ; Dhungana *et al.*,2019; Sharma *et al.*,2019) .En ravenche,il joue un rôle important dans la formation des feuilles, le développement des fruits , l'amélioration de la longueur des racines en augmentant le nombre de branches et de poils qui aident à l'absorption des nutriments provenant des racines environnantes (Chandra *et al.*,2018) .

1.5.4. Antibiose

L'antibiose est probablement le mécanisme le plus important utilisé par les PGPR contre les agents pathogènes des plantes. Le terme antibiose trouve son origine dans le terme

« antibiotique », qui désigne les substances organiques produites par des microorganismes qui sont nuisibles à la croissance et à l'activité métabolique des autres microorganismes.

L'antibiose désigne donc l'inhibition d'un microorganisme par un antibiotique produit par un autre microorganisme. Le résultat de ce mécanisme est souvent la mort des cellules microbiennes par dégradation du cytoplasme cellulaire (Hajek *et al.*,2018; Adhya *et al.*,2018).

Plus de 70% des antibiotiques actuels sont dérivés de produits naturels d'Actinobactéries principalement *Streptomyces* telles que *S. phaeoviridis* et *S. griseoloalbus*, *S. viridogens* et *S. viridogens*. *S. phaeoviridis* et *S. griseoloalbus* qui présentent une activité antibactérienne contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives, y compris les souches de *Staphylococcus aureus* résistantes à la méthicilline et à la vancomycine. Les deux autres espèces de *Streptomyces* (*S. viridogens* et *S. rimosus*) sont capables de supprimer la croissance des champignons pathogènes (*Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, *Colletotricum falcatum* et *Helminthosporium oryzae*), alors que ces espèces pourraient être utilisées comme bio-pesticides dans les productions agricoles (Shivlata *et al.*, 2015 ; Husnan *et al.*, 2016; Zothanpuia *et al.*, 2017) .

1.5.5. La production des enzymes hydrolytiques

Les enzymes hydrolytiques peuvent être extraites de tout organisme vivant. Un très large éventail de microorganismes est utilisé comme une source d'activité enzymatique qui provient plus particulièrement de nombreuses genres actinobactériens comme par exemple *Actinoplanes*, *Corynebacterium*, *Arthrobacter* , *Micrococcus* , *Streptomyces*, *Cellulomonas* (Rao *et al.*, 2019; Dumorné., 2019; Fatokun *et al.*, 2016).

Il existe une réelle demande au niveau industriel pour très nombreux métabolites bioactifs, parmi lesquels les enzymes d'origine microbienne, en particulier les xylanases, cellulases, les pectinases, les amylases, les kératinases , les galactosidases, les protéases, les lipases, les gélatinases qui sont largement utilisées dans les applications biotechnologiques en industries pharmaceutiques et alimentaires (médicaments, biocarburants, cosmétiques, compléments nutritionnels, le textile, l'alimentation, les pâtes et papiers, l'agriculture, les détergents, etc....) (Maheshwari *et al.*, 2015 ; Janaki, 2017).

Certaines enzymes tels que les chitinases peuvent surmonter les dangers environnementaux et humains qui résultent de l'application de pesticides et de fongicides

nocives, grâce à leur capacité à dégrader les parois cellulaires de nombreux organismes nuisibles et pathogènes (Veliz *et al.*, 2017).

Tableau 02: Quelques enzymes importantes et leurs applications.

Enzymes	Souches	Applications	Références
Xylanase	<i>Streptomyces</i> sp. <i>Thermomonospora fusca</i>	Industrie des pâtes et papiers, du textile, en boulangerie, fabrication de biocarburant, dans l'alimentation animale, les denrées alimentaires et les boissons.	Rosmine <i>et al.</i> (2019). Shivlata <i>et al.</i> (2015).
Cellulase	<i>Cellulomonas</i> sp. , <i>Arthrobacter</i> sp.	Formulation des détergents, des textiles, l'alimentation animale, l'industrie du papier et des pâtes.	Fatokun <i>et al.</i> (2016).
Chitinase	<i>Nocardiopsis prasina</i> , <i>Streptomyces rimosus</i>	Antibactérienne, antifongique, insecticide ou nématocide.	Veliz <i>et al.</i> (2017).
Pectinase	<i>Streptomyces thermocarboxydus</i>	Fermentation du vin, fabrication du papier, additifs alimentaires (thé, café..).	Priyanka (2019).
Amylase	<i>Streptomyces gulbargensis</i>	Fabrication du textile, industrie agroalimentaire	Segaran <i>et al.</i> (2017).
Kératinase	<i>Thermoactinomyces candidus</i> <i>Streptomyces albidoflavus</i>	Production de plastique, transformation des plumes en alimentation animale et en engrais, dégradation des prions, fabrication du cuir, du textile et produits cosmétiques.	El-Ghonemy <i>et al.</i> (2017). Singh <i>et al.</i> (2015).

1.6. Les Actinobactéries et le stress biotique et abiotique

Les plantes sont souvent soumises à des stress biotiques et abiotiques qui peuvent affecter leur croissance et leur développement, limiter leur productivité dans l'agriculture et menacer la sécurité alimentaire (Duque *et al.*, 2013 ; Zhu *et al.*, 2016 ; Naylor *et al.*, 2018).

Les principaux stress abiotiques qui affectent la croissance des plantes sont la carence en eau, le froid et la congélation, la chaleur et la salinité excessive des sols ou des eaux (Bakhsh *et al.*, 2014) .

Cependant, les stress biotiques sont causés par des agents pathogènes, plus particulièrement par les champignons, les bactéries, les nématodes et les virus qui sont responsables des maladies chez les végétaux (Gimenez *et al.*, 2018).

Parmi les microbes bénéfiques, les actinobactéries jouent un rôle potentiel en agriculture, grâce à leurs capacités d'augmenter la fertilité du sol et de permettre aux cultures de faire face aux stress biotiques et abiotiques (Anwar *et al.*, 2016; Singh et Dubey, 2018).

Ces microorganismes possèdent une meilleure tolérance à la température (Zanova *et al.*, 2011), à la salinité (Ballav *et al.*, 2015) et aux métaux (El Sayed *et al.*, 2015). Ils tiennent ainsi un rôle majeur dans le contrôle des maladies phytopathogènes (Abdallah *et al.*, 2013).

1.6.1. Utilisation des Actinobactéries en lutte biologique

La rhizosphère des plantes saines abrite des actinomycètes capables de façon durable d'assurer la défense de ces plantes contre les agents phytopathogènes (Meshram *et al.*, 2013 ; Rakotoarimanga *et al.*, 2014).

Les espèces de *Streptomyces* ont attiré beaucoup d'attention pour la lutte biologique contre les pathogènes du sol grâce à leurs capacités de produire divers composés bioactifs, par exemple, la Blastocidine-S et la Kasugamycine qui ont été utilisés comme fongicides pour le contrôle de la pyriculariose causée par *Pyricularia oryzae* chez le riz (Fei Law *et al.*, 2017).

Streptomyces alboflavus est également impliqué dans le contrôle phytopathologique par l'inhibition de certains champignons pathogènes en produisant des composés organiques volatils afin de combattre contre *Fusarium moniliforme* Sheldon, *Aspergillus flavus* et *Penicillium citrinum* (Wang *et al.*, 2018).

D'ailleurs, La voie biologique constitue la stratégie la plus fiable, elle consiste à utiliser divers espèces appartenant au Phylum des actinobactéries qui peuvent protéger les cultures en participant à la lutte biologique. (**Tableau 03**).

Tableau 03 : Activités de biocontrôle de certaines souches actinobactériennes.

Agent biocontrol	Phytopathogène	Plante	Référence
<i>Streptomyces</i> spp.	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>ciceris</i>	Pois chiche	Amini <i>et al.</i> (2016)
<i>Micromonospora</i> .sp	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp . <i>lycopersici</i>	Tomate	Maheshwari <i>et al.</i> (2011)
<i>S.racemochromogenes</i>	<i>Burkholderia glumae</i> <i>Pseudomonas fuscovaginae</i>	Riz	Moreno <i>et al.</i> (2019)
<i>S.violaceusnig</i>	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>punicae</i>	Grenade	Chavan <i>et al.</i> (2016)
<i>S. griseolosporus</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Piment	Suwan <i>et al.</i> (2012)
<i>Microbispora</i> sp. V2	<i>Sclerotium rolfsii</i>	Maïs	Patil <i>et al.</i> (2014)

2. Le genre *Streptomyces* :

Les streptomycètes sont des bactéries filamenteuses à gram positif, sporulées et aérobies strictes qui constituent un groupe bactérien spécialisé à forte teneur en G+C (69 - 78%) (Karagoz *et* Kotan Recep., 2017). Ces microorganismes sont principalement retrouvées dans les couches superficielles des sols où leur développement et leur dispersion sont facilités par leur croissance mycélienne et leur capacité de sporulation (Seipke *et al.*, 2011 ; Jones *et al.*, 2017).

Streptomyces est considérée comme le plus grand genre d'actinobactéries (plus de 500 espèces) qui appartient à l'ordre des *Actinomycetales* et à la famille *Streptomycetaceae* (Hasani *et al.*, 2014) .

De plus, *Streptomyces* comprend un groupe important de bactéries biotechnologiques. Ils produisent les deux tiers des antibiotiques d'intérêt médical et agricole (Manteca *et* Yague, 2018 ; Koepff *et al.*, 2018 ; Sánchez,2019). En effet, ces bactéries productrices d'antibiotiques sont bien connues par leur capacité d'exercer effet bénéfique de biocontrôle dans le sol

(Kanini *et al.*, 2013 ; Nimaichand *et al.*2015). Outre les antibiotiques, ils produisent également un grand nombre d'autres métabolites bioactifs, y compris des composés organiques volatils qui stimulent directement et indirectement la croissance des plantes (Citron *et al.*, 2015 ; Cordovez *et al.*, 2015).

3. La tomate

3.1. Classification

La tomate est une plante herbacée appartenant à la famille des Solanacées, cette famille regroupe d'autres espèces qui sont également bien connues, telle que : la pomme de terre, le tabac, le poivron, l'aubergine et de nombreuses plantes ornementales (Benyahia, 2015). La tomate a été classée scientifiquement par Linné en 1753 dans le genre *Solanum*, avec un nom scientifique « *Solanum lycopersicum* » (Valimunzigha,2006)(tableau04) .

Tableau 04: La classification systématique de *Solanum lycopersicum* (Benton, 2008).

Règne	Plantae
Sous-règne	Trachenobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Asteridae
Ordre	Soloniales
Famille	Solanaceae
Genre	<i>Lycopersicum</i>
Espèce	<i>Solanum Lycopersicum</i>

3.2. Description Botanique

La tomate est généralement cultivée comme plante annuelle, elle peut atteindre une hauteur de plus de 2m (Abdeselem, 2017). Il existe de nombreuses variétés cultivées qui sont classées selon leurs caractères botaniques et morphologiques.

3.2.1. La graine :

Les graines sont nombreuses et sont en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, de 3 à 5 mm de longueur et 2 à 4 mm de large (Ghebby, 2016).

3.2.2. Le système racinaire :

Il est très développé et pivotant avec de nombreuses racines qui poussent jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices (Naika *et al.*, 2005).

3.2.3. La tige :

Elle est pleine et anguleuse, elle pousse jusqu'à une longueur de 2 m (Shankara ,2005).

3.2.4. La feuille :

Les feuilles sont alternes et sans stipule. Elles sont composées, pennées, à 7, 9 ou 11 segments ovales, incisés ou dentelés grossièrement et alternant avec des segments plus petits (Camille Bénard ,2009).

3.3. Importance de la tomate dans le monde

La tomate est un légume populaire d'une grande importance économique en raison de sa grande valeur nutritive dans l'alimentation humaine (*Keabetswe et al.*, 2019; *Simo et al.*, 2019). Elle occupe une place très importante dans l'agriculture mondiale. Sa production représente 16% de la production mondiale de légumes (*Ho Plágaro et al.*, 2018; *Obeng et al.*, 2018). Actuellement, sa culture est accommodée à de nombreux climats (*Badaoui*, 2018), principalement en raison des possibilités offertes par la production sous serre (*Lecompte* , 2014).

3.4. Importance de la tomate en Algérie

En Algérie, la tomate est en pleine expansion, après la pomme de terre, elle est le second produit maraîcher dans les habitudes alimentaires. En effet, sa culture occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33000 ha sont consacrées annuellement à sa culture (maraîchère et industrielle) (*Snoussi*, 2010).

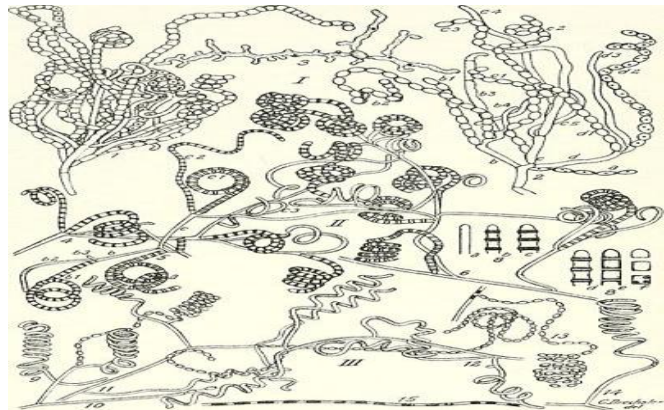
Près de 70% de sol en Algérie est cultivé par les solanacées, avec une prédominance de la tomate (2 444 ha en 2004), soit 40% du potentiel en serre (*Zella et al.*, 2009) .

3.5. Effet du sel sur la tomate :

L'accumulation excessive de sel représente un défi pour les cultures économiquement importantes comme la tomate (*Solanum lycopersicum L.*) La salinité est une contrainte abiotique qui influe négativement presque tous les stades du cycle biologique de la tomate, en entraînant une réduction de son rendement (*Hichri et al.*, 2017; *Krishna et al.*, 2019). En effet, elle peut être affectée par la salinité du sol ou par la salinisation causée par l'utilisation excessive d'engrais (*Labrada et al.*, 2019 ; *Ortega et al.*, 2019). Cette contrainte affecte les paramètres morphologiques de la tomate ainsi que la teneur relative en eau des feuilles, les pigments photosynthétiques, les paramètres d'échange gazeux des feuilles, la fluorescence de la chlorophylle et l'absorption des macronutriments essentiels (*Parvaiz et al.*, 2018).

Chapitre II :

Matériel et Méthodes



1- Présentation de la zone d'étude :

-Localisation du site d'étude :

Les prélèvements sont réalisés à partir des sols salins situés à proximité d'Oued Chlef à 15 km de la ville de Mostaganem ($36^{\circ}03'13.07$ N, $0^{\circ}15'46.69$ " E) (**fig.07**). L'échantillonnage est effectué lors de la prospection du 04 décembre 2018. La température de 23°C , 66% d'humidité et en absence totale de précipitations. Notre choix s'est porté sur cette station en raison de sa grande diversité végétale et particulièrement par sa richesse en marrube blanc (*Marrubium vulgare*) (**fig.08**).

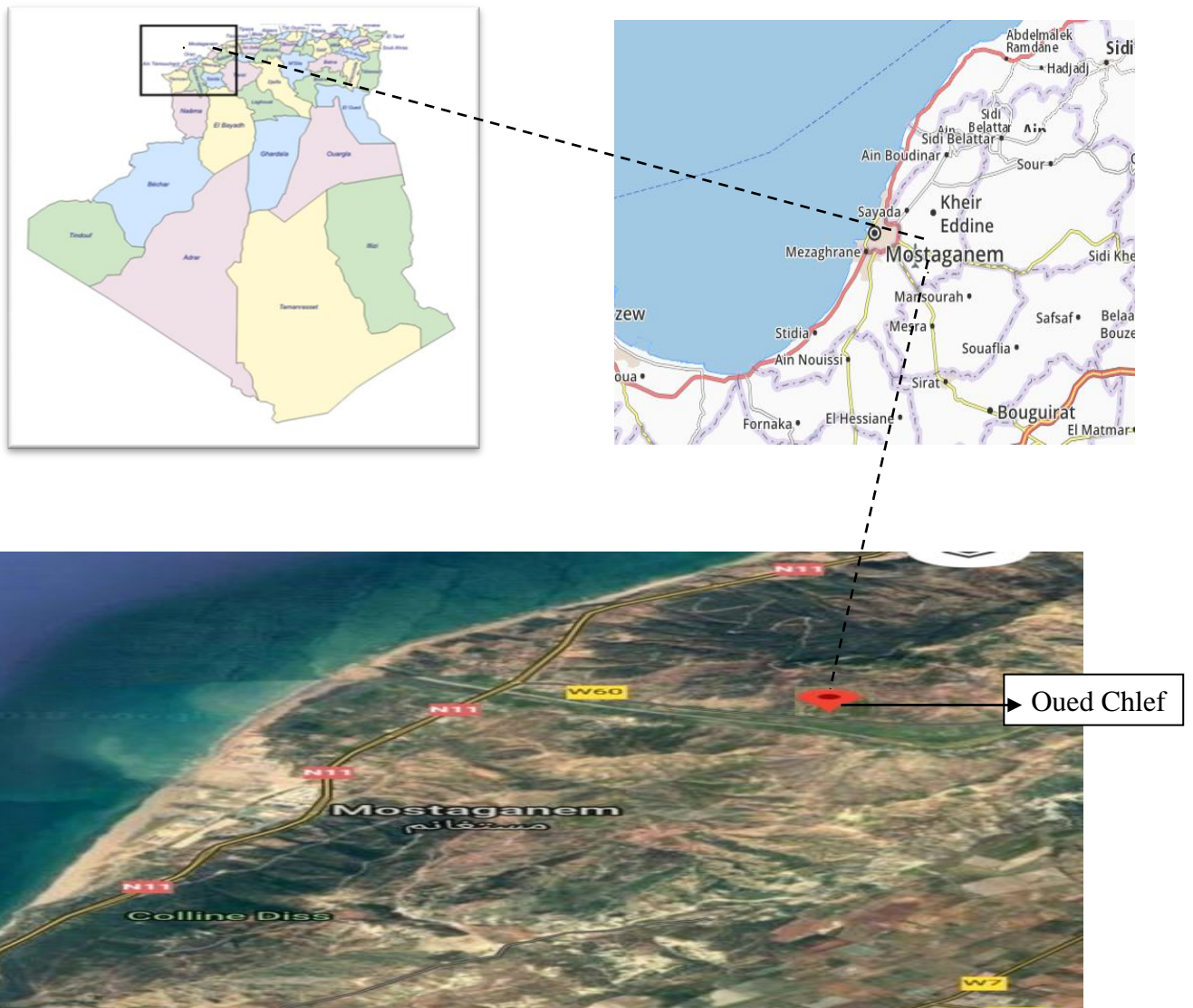


Figure 07 : Localisation géographique de la zone de prélèvement



Fig.08 : *Marrubium vulgare*

2. Caractérisation des actinobactéries indigènes du sol rhizosphérique de *Marrubium vulgare* :

2.1. Prélèvement des échantillons de sol rhizosphérique :

Après avoir écarté les pierres et les débris végétaux à la surface du sol, approximativement 20g de sol rhizosphérique sont prélevés de façon aseptique, à une profondeur approximative de 10 cm puis déposés à l'aide d'une spatule stérile sur une boîte de Pétri stérile (**fig.09**). L'échantillon ainsi collecté est transporté au laboratoire où il est immédiatement analysé.



Figure 09 : Echantillonnage du sol rhizosphérique de *Marrubium vulgare*.

Il est important de mentionner que d'autres prélèvements dans plusieurs endroits du sol avoisinant la plante sont effectués pour l'analyse physico-chimique.

2.2. Analyse physico-chimique du sol :

Les analyses physico-chimiques du sol sont effectuées au laboratoire phyto-pédagogique de l'université de Mostaganem Abd el Hamid Ibn Badis.

2.2.1. pH :

Les valeurs pH-eau (acidité effective) des échantillons de sol sont déterminées selon le protocole de **Rouiller J et al, (1994)**. 20 g de terre fine sont introduits dans un Bécher et additionné d'eau distillée jusqu'à 50 mL ; le tout est agité avec un agitateur magnétique pendant une heure et laissé reposer pendant 30 minutes. Le pH du surnageant est ensuite mesuré à l'aide d'un pH mètre (**inoLab pH 7110**).

2.2.2. Conductivité électrique :

La conductivité électrique d'un sol est considérée comme un indicateur de sa salinité ; plus un sol est salin, plus il est conductible. Pour la détermination de la conductivité électrique du sol, 20 g de terre fine sont introduits dans un Bécher et additionné d'eau distillée jusqu'à 50 mL. Le mélange est agité pendant une heure puis laisser décanter 30 minutes. La conductivité électrique (EC) est mesurée par un conductimètre (**Consort multi – parameter analyser C3020**).

2.3. Isolement de la microflore rhizosphérique indigène :

La dilution 10^{-1} est préparée par l'ajout d'un g de sol rhizosphérique à 9mL d'eau physiologique. Une série de dilution (10^{-2} à 10^{-6}) est ensuite réalisée. A partir des trois dernières dilution, 0.1 ml sont prélevés et étalés sur de la gélose nutritive additionné de 3% de NaCl, ce qui permet la croissance des souches halophiles. Les boîtes de Pétri sont ensuite incubées à 30°C durant 72 heures.

2.4. Purification et conservation des isolats actinobactériens :

2.4.1. Purification des Isolats :

Les différents isolats (S1, S2, S3 et S4) prélevés à l'aide d'une anse de platine stérile, ils sont encencés sur le milieu GN, purifiés par stries et incubés à 30°C pour avoir des souches pures.

2.4.2. Conservation des Isolats :

Les isolats purs sont numérotés puis conservés pour favoriser leur viabilité. La méthode de conservation des souches consiste à repiquer les isolats en tube sur gélose inclinée, les incubés à 30°C pendant 48h et à stocker les cultures après croissance à 4°C.

2.5. Identification des isolats :

2.5.1. Caractérisation macromorphologique des isolats :

L'observation de l'aspect macroscopique des colonies permet d'effectuer une première caractérisation, avec une orientation possible des résultats au cours de l'identification.

Pour cela, une description directe faite sur les boîtes d'isolement, en choisissant les colonies bactériennes les plus dominantes, ce qui permet au moins une distinction des isolats les uns des autres, l'examen macroscopique des colonies développées sur les différents milieux ISP₂, gélose nutritive (GN) et milieu MSR (**Annexe 01**) qui permis de déterminer la forme, la taille, le diamètre, le contour et la couleur des colonies.

2.5.2. Caractérisation micro-morphologique des isolats :

2.5.2.1. Coloration simple :

Les cellules bactériennes sont appréciées après une coloration simple par la fuschine. Une goutte d'eau stérile est déposée sur une lame propre, puis une parcelle de la culture, en faisant avec l'anse des mouvements circulaires de façon à obtenir un étalement mince et homogène. Après coloration par la fuschine, en passant la lame à la flamme du bec Bunsen pour la sécher.

2.5.2.2. Coloration de Gram :

La coloration de Gram est une coloration différentielle. Selon la structure de la paroi, cette technique permet de scinder les bactéries en deux classes : les Gram positives et les Gram négatives. La coloration de Gram commence par la préparation du frottis fixé sur une lame, qui est recouvert de violet de gentiane pendant une minute ensuite, le frottis est traité deux fois 30 secondes, avec une solution de lugol, suivi d'une décoloration à l'éthanol pendant quelques secondes. La préparation est rincée rapidement à l'eau distillée. Cette étape engendre l'aspect différentiel de la coloration de Gram : les bactéries à Gram positif gardent le violet de

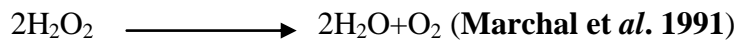
gentiane, tandis que les bactéries à Gram négatif le perdent et se décolorent. En fin, le frottis est contre coloré à l'aide de la fuschine pendant 1 min, la fuschine colore les bactéries à Gram négatif en rose et laisse les bactéries à Gram positif colorées en violet foncé.

Les observations microscopiques des isolats sont effectuées aux différents grossissements (Gx100, Gx400, Gx1000) pour voir leur forme et leur type de mode de regroupement.

2.5.3. Caractères biochimiques :

2.5.3.1. Production de la catalase :

La catalase est une enzyme qui dégrade l'eau oxygénée (H_2O_2) en eau métabolique (H_2O) et oxygène (O_2), selon la réaction suivante : ◀



Pour ce test, sur une lame propre et sèche, une goutte d'eau oxygénée à 10 volumes est déposée, et à l'aide d'une pipette pasteur, une colonie est prélevée et mélangée avec la goutte d'eau oxygénée. L'observation est immédiate, s'il y aura des bulles, causée par le dégagement gazeux de dioxygène, l'isolat est catalase positive (+), sinon elle est catalase négative (-).

2.5.3.2. Utilisation du citrate comme seule source de carbone :

Les isolats d'actinobactéries sont ensemencés en stries à l'aide d'une anse stérile à la surface du milieu gélosé citrate de Simon en tube incliné. L'incubation s'effectue à $30 \pm 1^\circ C$. L'observation de la croissance se fait durant une semaine.

2.6. Etude de l'activité antagoniste des actinobactéries :

2.6.1. Souches de microorganismes cibles :

Les microorganismes cibles proviennent de la collection du laboratoire de microbiologie et biologie végétale, dont la majorité est catalogué et déposé dans la banque de données de la collection mondiale (souches ATCC). Les souches bactériennes, les levures sont réactivées respectivement dans la gélose nutritive et le sabouraud, puis incubée à $37^\circ C$ pendant 24 heures pour les bactéries et 48 à 72 heures pour les levures. Le **tableau** ci-dessous présente les caractéristiques de ces microorganismes. Le choix des souches indicatrices est basé sur leur pouvoir pathogène vis-à-vis de l'être humain et des plantes.

Tableau05 : Caractéristiques des souches indicatrices.

Microorganismes	Coloration de Gram	Origine
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Gram Négatif	ATCC 27 853
<i>Escherichia coli</i>	Gram Négatif	ATCC25 922
<i>Bacillus cereus</i>	Gram Positif	ATCC10 876
<i>Staphylococcus aureus</i>	Gram Positif	ATCC33 862
<i>Candida albicans</i>	Levures	ATCC10 231

2.6.2. Méthode de stries croisées :

L'étude de l'effet antimicrobien des deux isolats actinobactériens est effectuée selon la méthode de **Boubetra *et al.* (2013)**. Les isolats sont ensemencés en un seul trait à la surface du milieu solide ISP₂ dans l'extrémité supérieure de la boîte de Pétri. Après 10 jours d'incubation à 28±2°C, les microorganismes cibles sont ensemencés perpendiculairement à la strie longitudinale de la souche d'actinobactérie.

La lecture des résultats se fait par la mesure du diamètre d'inhibition entre l'extrémité de l'actinobactérie et la souche cible, après 24 h d'incubation pour les bactéries et 48 à 72h respectivement pour les levures et les champignons.

2.7. Effet de différentes concentrations de NaCl sur la croissance des isolats S₁ et S₄ :

Les isolats d'actinobactéries (S₁, S₄) sont ensemencés sur milieu ISP₂ additionné de différentes concentrations de NaCl (50mM, 75mM, 100mM et 150mM) puis incubés 7 jours à 28±2°C.

3. Effet des isolats S₁ et S₄ sur la germination des graines de tomate en présence du stress salin :

Afin d'évaluer le processus de germination de la tomate, nous avons utilisé des graines d'origine étrangère commercialisés en Algérie.

Les graines sont d'abord placées dans un récipient stérile contenant l'eau distillée stérile durant 1 h pour faciliter leur germination puis resuspendus dans une solution d'hypochlorite de sodium (13°C) pendant 15 min avec agitation manuelle. Les graines sont ensuite rincées

abondamment à l'eau distillée stérile (3-5 fois) afin d'éliminer les traces de chlore ainsi que les impuretés adhérentes à la graine. Enfin, elles sont séchées sur papier filtre stérile et déposées sur des cultures S1 et S4 en milieu ISP₂ à raison de 20 graines par boîte additionné des différentes concentrations de NaCl (50mM et 75mM) (**Fig.10**). Puis incubés à 28±2°C jusqu'à la germination des graines de tomate.



Figure 10: Disposition des graines de tomate avec S1, S4 en boîte de Pétri.

4. Analyse des caractères PGPR:

4.1. Etude de la production d'Acide Indole Acétique (AIA) par les isolats :

La production d'AIA est déterminée selon la méthode décrite par **Hariharan Harikrishnan et al. (2014)**.

100 µl des cultures bactériennes sont inoculés dans du bouillon ISP₂ additionné de 0.2% de solution de L-tryptophane stérile, leur incubation est effectuée dans un agitateur rotatif à 120 rpm pendant 7 jours à 28 °C. Après d'incubation, la culture est centrifugée à 11 000 rpm pendant 15 min. 1mL de surnageant est mélangé avec 2 ml du réactif de Salkowski (1 ml de FeCl₃ 0.5 M dans 50 ml d'HClO₄ à 35%) et incubé à température ambiante pendant 30 mn dans l'obscurité. Le développement d'une couleur rose indique la production d'AIA. La quantification du spectrophotomètre AIA est réalisée à l'aide du spectrophotomètre UV-Visible.

4.2. Etude de la solubilisation des phosphates :

La capacité des deux isolats d'actinobactéries de libérer le phosphore soluble est testée sur milieu Pikovskaya solide qui contient du phosphate tricalcique $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ comme seule source de phosphate. Cette méthode préconisée par Paweena Suksaard *et al.*, (2017) consiste que chaque culture bactérienne est déposée sous forme de touches à la surface de la gélose PVK, à l'aide d'une anse de platine stérile.

Après dix jours d'incubation à 30°C, les observations sont effectuées jusqu'à la formation d'une zone claire (halo) autour de la colonie bactérienne indiquant la survenue d'une dissolution du phosphate.

Les diamètres de l'halo et de la colonie bactérienne sont mesurés afin de calculer l'efficacité de solubilisation par la formule suivante :

$$SI = \frac{\text{diamètre de la colonie} + \text{diamètre de l'halo}}{\text{diamètre de la colonie}}$$

5. Effets de l'inoculation bactérienne sur la croissance végétale de la tomate en milieu salin:

5.1. Germination des graines du la tomate :

Selon le protocole de Benidire *et al.* (2015), les graines sont mises à germer sur du papier filtre stérile imbibé avec 2 ml de l'eau distillée stérile après les étapes de désinfection cités précédemment. Les boîtes sont incubées à 30°C.

5.2. Préparation de l'inoculum d'isolats d'actinobactéries :

Des flacons contenant le milieu ISP₂ liquide sont ensemencés par les isolats S1 et S4 à l'aide d'une anse de platine stérile et incubées à 30°C jusqu'à l'obtention du trouble.

5.3. Préparation des substrats de culture et inoculation bactérienne

Le substrat de culture utilisé est un mélange de sable de rivière et de tourbe (2V/1V) désinfecté à l'autoclave à 120° C, pendant 1 h. Le gravier utilisé pour assurer le drainage de l'eau d'arrosage des cultures des plants est lavé 3 fois à l'eau de robinet, séché à l'air et stérilisé au four Pasteur 1 h à 180°C.

Les plantules de tomate de taille identique sont transférées dans des pots en plastique (contenant une petite quantité de gravier plus le mélange de terreau avec le sol de rivière) à raison d'une plantule par pots. Ce traitement se compose de 63 pots, représentant sept répétitions pour chaque niveau de traitement.

Après 15 jours de culture, des volumes de 1mL des suspensions bactériennes âgées d'une semaine contenant 161052 et 38682 UFC/mL (S1et S4 respectivement) sont ajoutés directement au contact des systèmes racinaires des plantules.

Après deux mois de culture, les plants sont arrosés une fois par semaine par la solution nutritive modifiée d'Hoagland et Arnon (1950) (Annexe 01) additionnée de NaCl, pendant 15 jours. Les concentrations testées sont 25 et 50 mM.

6. Prélèvement des plantes :

Après deux mois de culture en serre et 15 jours de traitement par le stress salin, les pots sont déterrés, les deux parties des plants de tomate (racinaire et aérienne) sont soigneusement séparées et la partie souterraine est rincée à l'eau de robinet. Les plants sont ensuite transférés au laboratoire pour détermination et analyse de quelques paramètres morphologiques et physiologiques.

6.1. Estimation des paramètres de la croissance des plantes :

Les paramètres de la croissance estimés sont par la hauteur des tiges, la longueur des racines, le nombre des feuilles ainsi que les poids frais et secs et le taux d'accroissement de la partie aérienne des plantes.

L'accroissement est déterminé par la formule suivante :

$$ACC = \frac{PSI - PST}{PST} * 100$$

PST : poids sec témoin non inoculés ; **PSI** : poids sec inoculé.

6.2. Mesure des paramètres physiologiques des plants élevés en serre :

6.2.1. La teneur relative en eau des feuilles :

La teneur relative en eau des feuilles est déterminée sur cinq feuilles par traitement. Les feuilles sont immédiatement pesées individuellement et leur poids frais (PF) est enregistré.

Elles sont ensuite immergées dans des petites sachets remplis d'eau distillée pendant une nuit puis retirées et essuyées avec du papier absorbant et pesées de nouveau pour obtenir le poids turgescent et mises à sécher à 60°C durant 48 heures pour l'obtention d'un poids sec.

La teneur relative en eau a été déterminée par la formule suivante :

$$TREF\% = \frac{PF - PS}{PT - PS} * 100$$

PF : poids frais ; **PS** : poids sec ; **PT** : poids turgescent.

6.2.2. Dosage de la chlorophylle :

Les chlorophylles a et b sont déterminées selon la méthode de Navarro-Redenas *et al* (2012). 50 mg des feuilles sont mélangés avec 5 ml d'acétone (80%) à froid. Après 15 mn de centrifugation à 4000 rpm, l'absorbance (A) est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 470,646 et 663 nm.

Les teneurs en pigments, exprimées en mg/g de matière fraîche, sont calculées à partir des équations suivants :

Chlorophylle total = (18.72*A646) + (7.15*A663) ; **Chlorophylle a**= (12.25*A663)-(2.798*A646) ; **Chlorophylle b** = (21.5*A646)-(5.1*A663) ; **Caroténoïdes** = (1000* A470)- [(1.82*chlorophylle a)-(85.02 *chlorophylle b)]/198.

6.2.3. Dosage du potassium et du sodium (*par spectrophotométrie de flamme*)

Le dosage du potassium et du sodium est effectué selon la méthode de Lambert (1977), 0.1 g de poids sec de tissus végétaux broyés (racines ou feuilles) sont placés dans un bécher en verre auquel sont ajoutés quelques gouttes d'eau distillée (obtenir un produit bateau), et 5 ± 0.1 mL d'acide nitrique (≥ 65%, d = 1.37-1.41 g / ml à 20 ° C Sigma-Aldrich). Le mélange est fermé hermétiquement et concentré par ébullition à 100°C pendant 30 min. Une fois refroidit, il est filtré sur des papiers filtre, le volume obtenu est ajusté à 25mL avec l'eau distillée et stocké à 4 ° C. Le témoin est préparé sans poudre végétale.

Les teneurs de Na et de K sont calculés selon la formule suivante :

$$Na^+/K^+ (\mu g/g) = \frac{n \times V \times D}{10000 \times p}$$

(n : concentration du métal $\mu g/mL$, V : Volume de minéralisation(L), D : dilution, P : prise d'essai (g))

6.2.4. Mesure de la perméabilité membranaire :

Cette méthode permet d'évaluer l'intégrité des membranes au cours d'un stress, elle consiste à mesurer la perméabilité membranaire aux électrolytes intra cellulaires. En effet un tissu immergé dans de l'eau distillée verra le contenu de ses cellules aller vers le milieu hypotonique ceci d'autant plus que ses membranes cellulaires seront altérées. La mesure de la conductivité du milieu aqueux après fuite des électrolytes, comparée à celle du milieu après libération de l'ensemble du contenu cellulaire, permet d'évaluer le pourcentage de fuite électrolytique, marqueur de la fragilité membranaire.

0.1g de feuilles sont découpées en très petits morceaux et mises dans 10mL d'eau distillée où elles séjournent 24 heures. à température ambiante. La conductivité de la solution est alors mesurée avec un conductimètre préalablement étalonné : EC1. L'échantillon est mis ensuite au bain marie à 120°C pendant 20 minutes pour expulser tous les électrolytes, puis refroidi à température ambiante. La conductivité est mesurée une seconde fois : EC2.

Fuite d'électrolyte totale (%) = $(CE1 / CE2) \times 100$

Chapitre III :

1. Caractérisation des actinobactéries indigènes du sol rhizosphérique

1.1. Analyse physico-chimique du sol:

1.1.1 pH :

L'échantillon du sol analysé se caractérise par une valeur de pH égale à 8.15, cette mesure permet de définir son état d'alcalinité (Bourgais *et al.*, 2015). Le pH du sol est considéré comme le plus important facteur influençant la structure de la communauté microbienne (Kim *et al.*, 2013), notamment les classes d'actinobactéries (Chodak *et al.*, 2015).

1.1.2. Conductivité électrique:

La valeur de la conductivité électrique de notre échantillon de sol est de 1.645 mS/cm. En se basant sur les normes de la conductivité électrique du sol présenté selon Belyagoubi (2014) (**tableau 06**), on peut affirmer qu'il s'agit d'un sol salin.

Tableau 06: Type de sol en fonction de la conductivité électrique (Belyagoubi, 2014).

	Types de sol				
	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
Conductivité (mS/cm)	<0.6	0.6-1.2	1.2-2.4	2.4-6	>6

Il est intéressant de constater que la conductivité électrique peut avoir un grand impact sur les principaux groupes microbiens, elle reflète principalement la minéralogie et les teneurs en argile et en sel du sol (PeiXue *et al.*, 2018).

Les caractères physico-chimiques du sol peuvent fortement influencer la distribution, la croissance et la production de métabolites chez les microorganismes (Aurelia *et al.*, 2013), plus particulièrement les actinobactéries qui sont contrôlés par plusieurs facteurs tels que le pH, la CE, la température, l'humidité... etc. (Nasrabadi *et al.*, 2013 ; Akond *et al.*, 2016).

1.2. Isolement et purification de la microflore rhizosphérique indigène:

L'isolement bactérien à partir du sol rhizosphérique sur le milieu GN+3% NaCl (Gélose nutritive +3% NaCl) a permis, après une incubation de 72 h à 30°C, l'obtention de six isolats (S1, S2, S3, S4, S5 et S6) caractérisés par une grande variabilité morphologique (**Fig.11**), ce qui prouve la richesse du sol rhizosphérique collecté en biodiversité microbienne ayant probablement des effets bénéfiques, neutres ou nuisibles sur la croissance des plantes, tel qu'il a été décrit par Wei *et al.*, (2017) et Wang *et al.* (2018).

La croissance des isolats S1, S4 est abondante sur le milieu GN tandis que le reste d'isolats présentent une croissance faible.

Après incubation de 24 h à 30°C, les isolats purifiés présentent des colonies bien distinctes **Fig.11**.

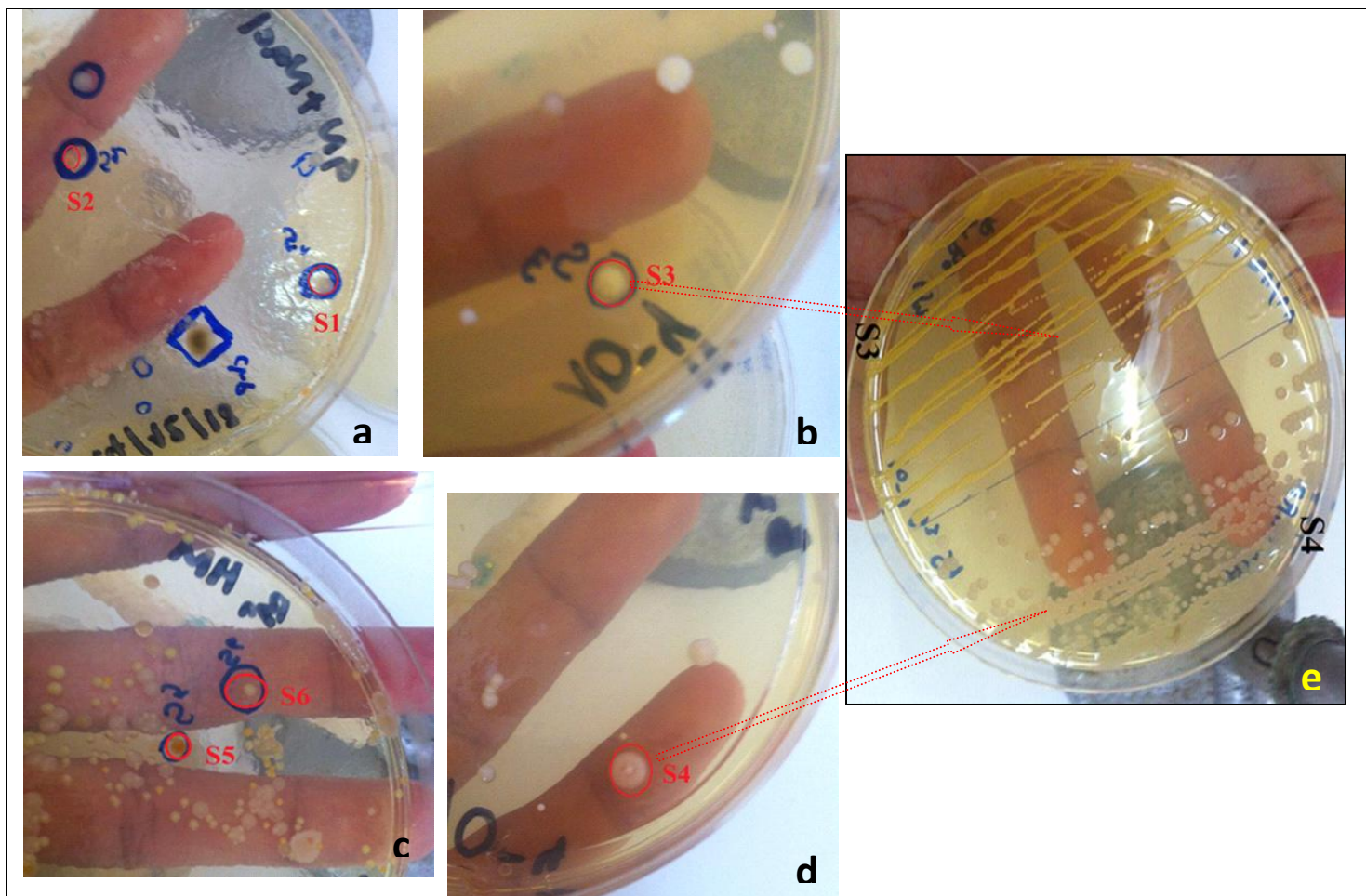


Figure 11 : Aspect de quelques colonies isolées sur le milieu GN+ 3% de NaCl (a, b, c et d) et leur purification sur la gélose nutritive .

1.2.2. Conservation des souches :

Les tubes sont récupérés après incubation de 48h à 30°C, puis conservés à 4°C au réfrigérateur.

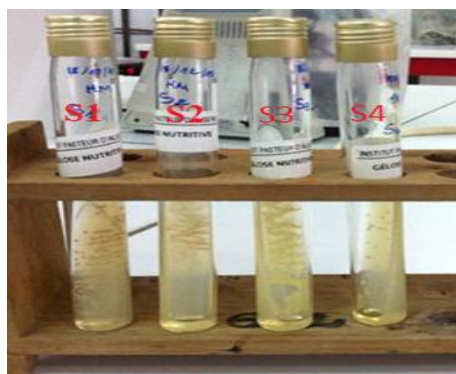


Figure 12: La croissance des souches sélectionnées S1, S2, S3, S4 sur la gélose inclinée.

1.3. Identification morphologique

1.3.1. Aspect macroscopique :

Les isolats sont observés macroscopiquement, leur aspect est indiqué dans le **tableau 07** ci-dessous :



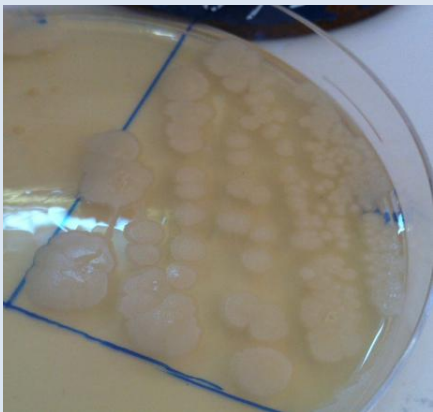
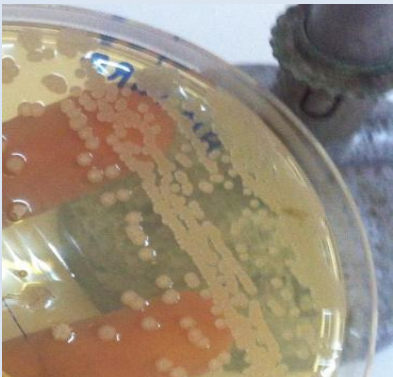
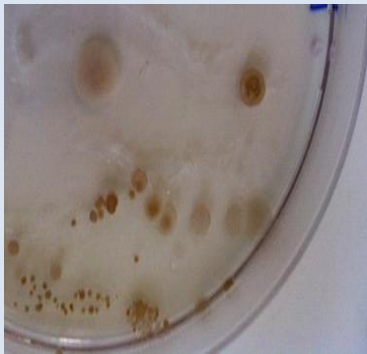

Tableau 07 : Caractérisations macroscopiques des isolats

Isolat	Diamètre (mm)	Pigment	Forme	Contour	Surface	Opacité	Consistance	Elévation
S1	4	Blanche	Ronde	Irrégulier	Lisse	Opaque	Sèche	Bombée
S2	1	Orange	Ronde	Irrégulier	Lisse	Opaque	Crémeuse	Plate
S3	3	Jaune	Ronde	Irrégulier	Lisse	Opaque	Crémeuse	Plate
S4	3	Blanche	Ronde	Irrégulier	Rugueuse	Opaque	Sèche	Convexe
S5	3	Orange	Ronde	Irrégulier	Lisse	Opaque	Crémeuse	Plate
S6	2	Jaune	Ronde	Irrégulier	Lisse	Opaque	Crémeuse	Plate

D'après ce tableau nous pouvons déduire que le type de colonies dominant est caractérisé par des aspects lisses, réguliers et crémeux (S1 et S2). Des colonies crémeuses, irrégulières et pigmentées typiquement jaune et orange sont également présentes dans le milieu.

Nous avons effectué des observations à l'œil nu des isolats S1 et S4 purifié par repiquages sur les milieux GN, MRS et ISP2. La description de l'ensemble des résultats de l'étude macromorphologique des deux souches cultivées S1 et S2 est rapportée dans le **tableau 08**.

Tableau 08 : Aspect macroscopiques des isolats dominants sur différents Milieux de culture

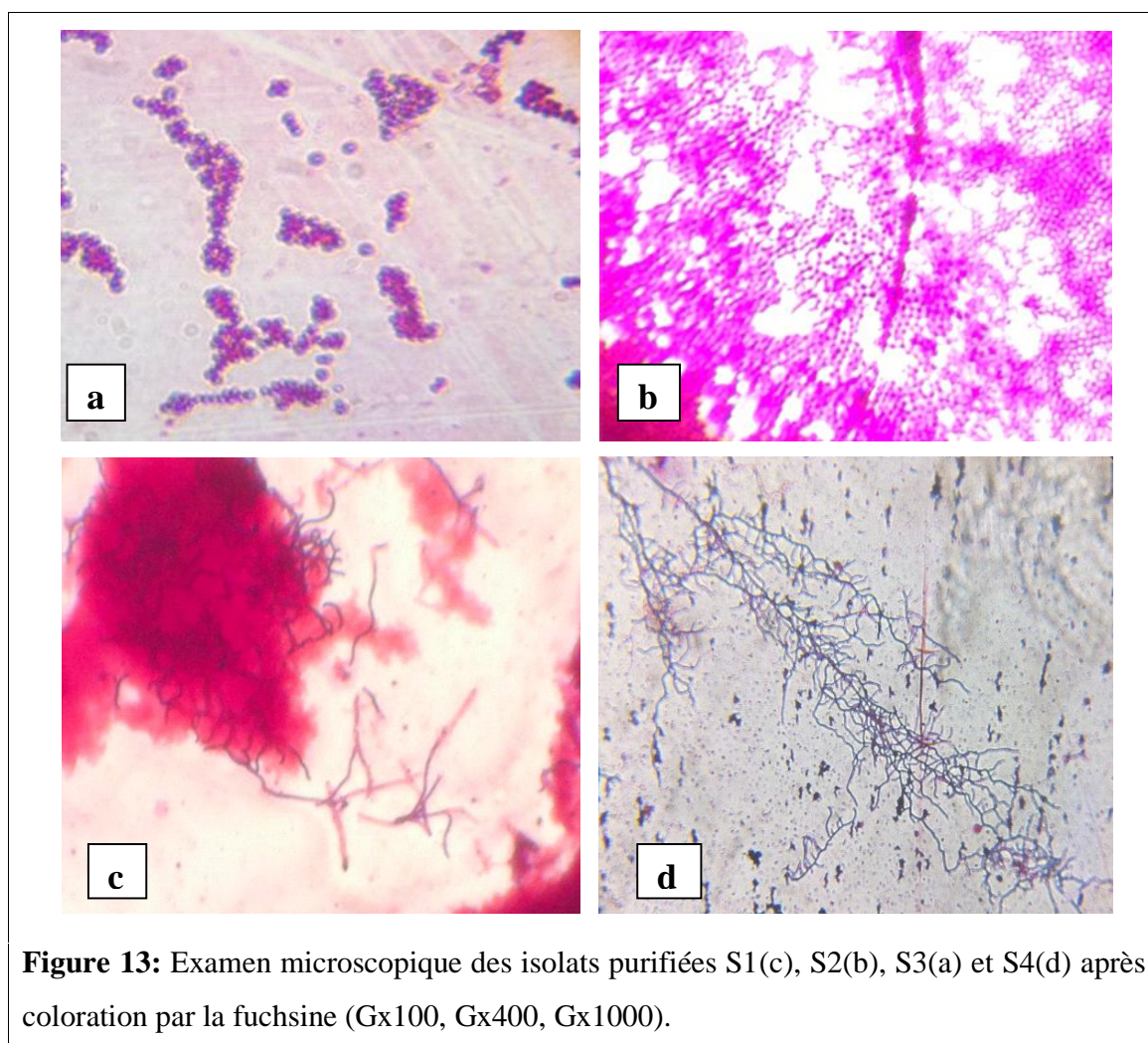
Milieu	GN	MRS	ISP2
Critère de S1	Crémeuse, bossue, blanchâtre à bords réguliers	Sèche, bombée, blanchâtre à bords réguliers	Crémeuse, convexe, beige, à bords irréguliers
			
Critère de S4	Crémeuse, bossue, beige, à bords irréguliers	Sèche, bombée, marron à bords irréguliers	Crémeuse, convexe, beige, à bord irréguliers
			

Les caractéristiques macroscopiques des isolats S1 et S4 se rapprochent des caractères morphologiques des actinobactéries qui sont reconnues par leur aspect souvent compactes et incrustés dans la gélose, sèches ou crémeuses, pigmentées, convexes et à bords irréguliers (Alkama, 2014 ; Benouagueni ,2015 ; Anusree *et al.*, 2017).

1.3.2. Aspect microscopique :

1.3.2.1. Coloration simple

L'examen microscopique révèle que les isolats S2 et S3 sont de forme coques disposées en amas, par ailleurs, S1 et S4 sont de forme filamenteuse (**Fig.13c et d**), Ils appartiennent probablement au genre *Streptomyces* sp. , qui sont reconnues par leur aspect mycélien (Lubzens *et al.*, 2010).



1.3.2.2. Coloration de Gram

Des observations au microscope optique (G×1000) des col nies des isolats sont effectuées pour confirmer leur Gram et leur appartenance au genre *Streptomyces* sp. (**Fig.14**). Les résultats montrent clairement, que les isolats sont des bactéries à Gram positif .Ainsi, que leurs mycéliums

sont des hyphes fins, ramifiés et asporulés. Ce qui corrobore aux résultats de Gupta *et al.* (2017) sur la morphologie de *Streptomyces* sp. BHUMBU-8. Ils ont signalé des filaments qui se rapprochent à ceux de S1 et S4 (**Fig.14**).

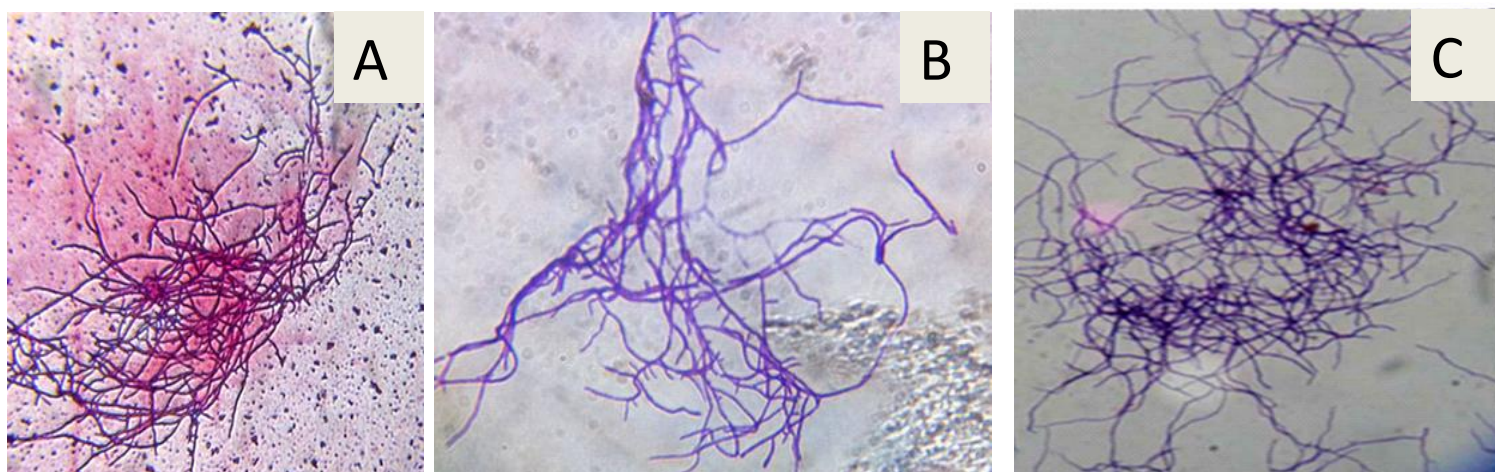


Figure14: Observation microscopique des deux isolats S1(A) et S4(B) après coloration de Gram et leur comparaison avec *Streptomyces* sp. BHUMBU-80 (C) rapportée par Gupta *et al.* (2017) .

1.4. Etudes des Caractères biochimiques :

1.4.1. Test catalase

Le test a montré que les deux isolats (S1 et S4) possèdent une catalase positive. (**Fig.16**). Plusieurs travaux réalisés sur les actinobactéries (Hossain *et al.*, 2014, Passari *et al.*, 2016, Abdullah *et al.*, 2016;) prouvent que la plupart des souches *Streptomyces* sp. possèdent la catalase. En effet selon Al-Saadi *et al.*(2013) et Atta *et al.* (2014) *Streptomyces clavuligerus* et *S.flaveolus* sont catalase négative.

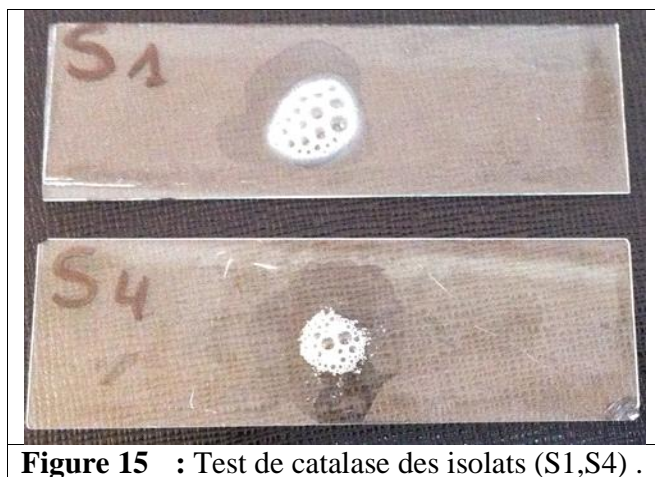


Figure 15 : Test de catalase des isolats (S1,S4) .

1.4.2. Utilisation du citrate comme seule source de carbone:

Selon les résultats obtenus, les deux isolats ne sont pas capables d'utiliser le citrate comme seule source de carbone (**Fig.16**).

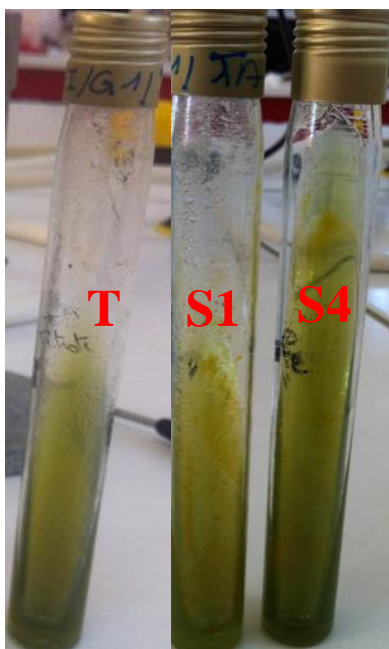


Figure 16 : Test du citrate de Simmons des isolats S1, S4. T: témoin

Ces résultats sont en accord avec de Islam *et al.* (2014) et Dezfully *et al.* (2015) qui ont montré que *Streptomyces flavogriseus* ne peut pas utiliser le citrate comme seule source de carbone.

1.5. Effet des différentes concentrations de NaCl sur la croissance des isolats S₁ et S₄

A travers les résultats obtenus, on note que la croissance optimale est enregistrée à 50mM de NaCl, on remarque aussi qu'il ya une croissance modérée à 75mM de NaCl, cependant nos isolats ne poussent pas à 100mM et 150mM de NaCl (**tableau09**). Ces résultats corroborant avec ceux de Huang *et al.* (2019) et Chen *et al.* (2019) qui ont montré que *Streptomyces tirandamycinicus sp.nov.* et *Streptomyces sp.* S063 qui présentent une croissance optimale à 3% (50mM) de NaCl, tandis que *Streptomyces tirandamycinicus sp.nov.* tolère jusqu'a 7 % de NaCl, ce qui n'est pas le cas des souches étudiées.

Tableau 09: Test de croissance des isolats d'actinobactéries sur le milieu ISP2 à différentes concentrations de NaCl.

	Croissance à différentes concentration de Na Cl (mM) (T 30° C)			
	50Mm	75mM	100mM	150mM
S1	+++	++	--	--
S2	+++	++	--	--

(- -): pas de croissance; (++) croissance modérée; (+++) croissance abondante.

1.6. Effet des isolats S1 et S4 sur la germination des graine de tomate en présence de stress salin :

Après 15 jours de culture, une faible germination est observée chez les graines qui ne dépasse pas 15%. Le taux de germination chez les sujets non inoculés est significativement supérieur à celui enregistré chez les non inoculés (F=11.50 ; P=0.001). Nous avons aussi remarqué une diminution non significative de la germination des graines traitées au sel et non inoculés, par contre aucun effet significatif du sel n'a été enregistré chez les graines inoculées. Malgré toutes les précautions prises, d'importantes contaminations par des moisissures sont détectées sur les boîtes non inoculées; celles-ci dépassent les 50% des boites testés en comparaison avec celles inoculées par S1 (11.11%) et S4 (0%).

Résultats et discussion

Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs ont montré des effets très hautement significatifs de l'inoculation sur l'apparition des contaminants ($F=14.81$; $P=0.000157$), par ailleurs les contaminants ne sont pas affectés par le sel ($F=0.44$; $P=0.646$).

L'absence de contaminants dans les boîtes inoculées pourrait s'expliquer par la production éventuelle de substances antimicrobiennes qui auraient éliminé ces contaminants. Des examens ultérieurs sur l'effet antagoniste des isolats pourraient confirmer nos résultats. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 10.

Tableau 10: Effet simultané du stress salin et de l'inoculation par les souches de *Streptomyces* sp. sur la germination des graines de la tomate et l'apparition des contaminants.

Inoculation	Concentration	Taux de germination (%)	Taux de Contamination (%)
NI	0	15.00±5.00	44.55±19.24
	50	6.66±7.63	55.55±38.49
	75	6.66±7.63	33.33±33.33
S1	0	0.00±0.00	11.11±19.24
	50	1.66±2.88	0.00±0.00
	75	1.66±2.88	0.00±0.00
S4	0	1.11±1.92	0.00±0.00
	50	0.55±0.95	0.00±0.00
	75	1.11±1.92	0.00±0.00
Inoculation		11.50**	14.81***
Concentration		0.87ns	0.44ns
Inoculation*Concentration		1.52ns	0.44ns

Les résultats sont exprimés en moyenne±écart type (n = 3). Niveaux de significations de l'analyse de variance ANOVA à deux facteurs: ns: non significatif, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$.

Ces résultats laissent supposer que le milieu de culture utilisé au cours de notre expérimentation a provoqué une inhibition des substrats élaboré par les isolats testés ce qui a conduit à cette réduction de germination des graines. Cela peut être également expliqué par l'impact négatif de la température qui n'est pas convenable pour faire germer les graines de tomate. D'après certains auteurs (Mangmang *et al.*, 2014 ; Kapilan *et al.*, 2015) la technique de germination des graines est basée sur leur trempage dans un bouillon de culture contenant les bactéries cibles.

1.7. Etude de l'activité antagoniste d'Actinobactéries

Les résultats ont montré que les isolats ne présentent aucune activité inhibitrice vis-à-vis de la levure et des bactéries et testées (Fig.17).

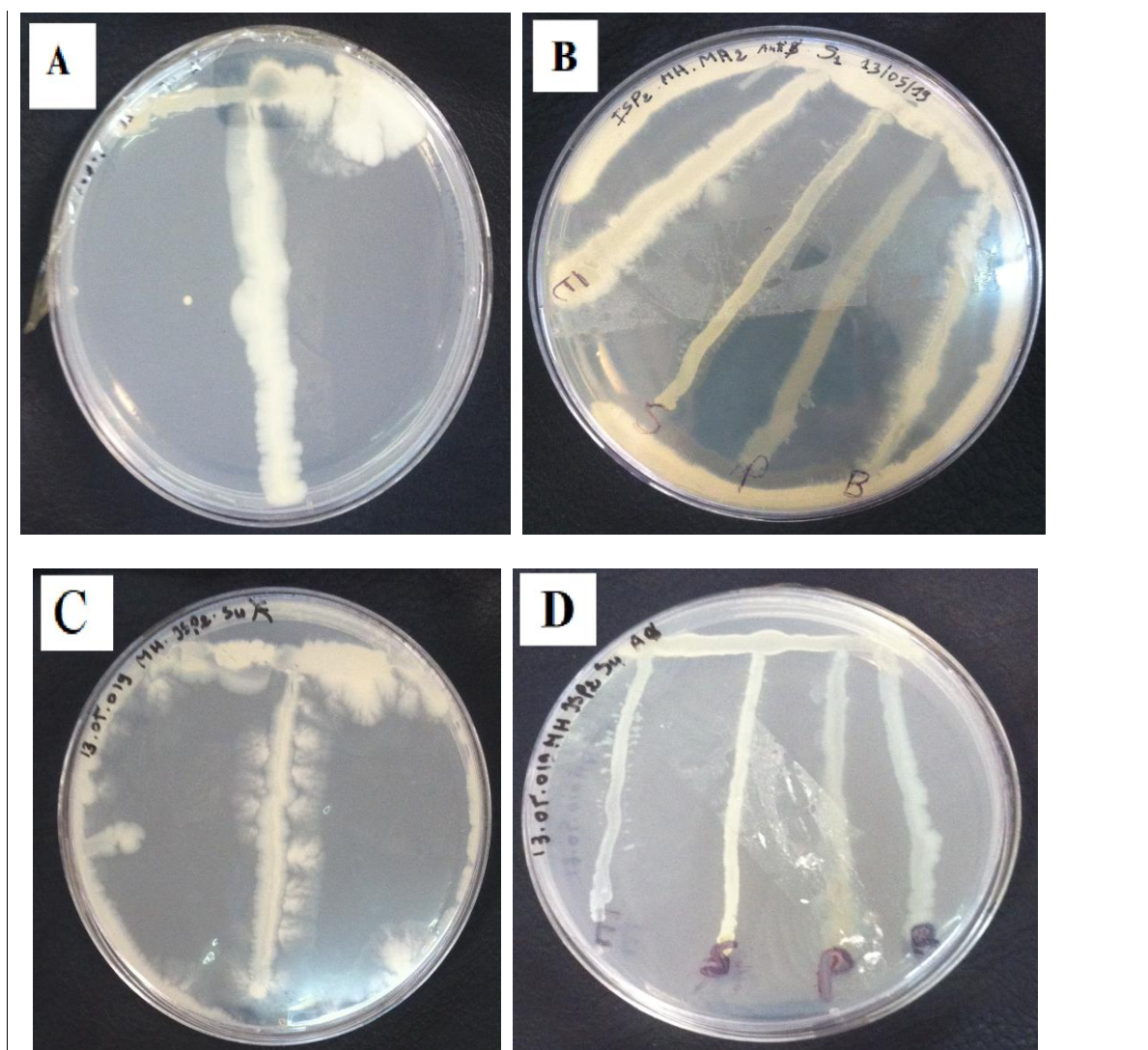


Figure 17: Résultats de l'activité antibactérienne des isolats vis-à-vis des bactéries (Gram+ et Gram-) et de levure. **A:** S1 vis-à-vis *Candida albicans*, **B:** S1 vis-à-vis les bactéries tests, **C :** S4 vis-à-vis *Candida albicans*, **D:** S4 vis-à-vis les bactéries tests. E: *Escherichia coli* ; S: *Staphylococcus aureus* ; P: *Pseudomonas aeruginosa* ; B: *Bacillus cereus* et Ca : *Candida albicans* .

Beaucoup de travaux réalisés ont montré que la rhizosphère est la partie du sol la plus idéale pour isoler des agents de lutte biologique (Ashokvardhan *et al.*, 2014 ; Xue *et al.*, 2015 ; Bach *et al.*, 2016 ; Himam *et al.*, 2016 ; Schreiter *et al.*, 2018). D'après certains auteurs (Aouiche *et al.*, 2012 ; Hadizadeh *et al.*, 2015 ; Wang *et al.*, 2015 ; Human *et al.*, 2016) *Streptomyces* sp. présente une grande activité antifongique ce qui permet de protéger les plantes contre divers maladies tel que la fusariose provoquée par *Fusarium oxysporum*. Ceci peut être justifié par le fait que nos isolats présentent probablement une activité antifongique intéressante que nous n'avons pas testé.

2. Analyse des caractères PGPR:

2.1. Etude de la production d'Acide Indole Acétique (AIA) par les isolats

Le développement d'une couleur rose en présence de tryptophane est observé dans le surnageant des deux isolats (**Fig. 18**). Par ailleurs, chez l'isolat S1 l'analyse des résultats de dosage de la production de l'AIA provoque une production importante(**fig.18**).

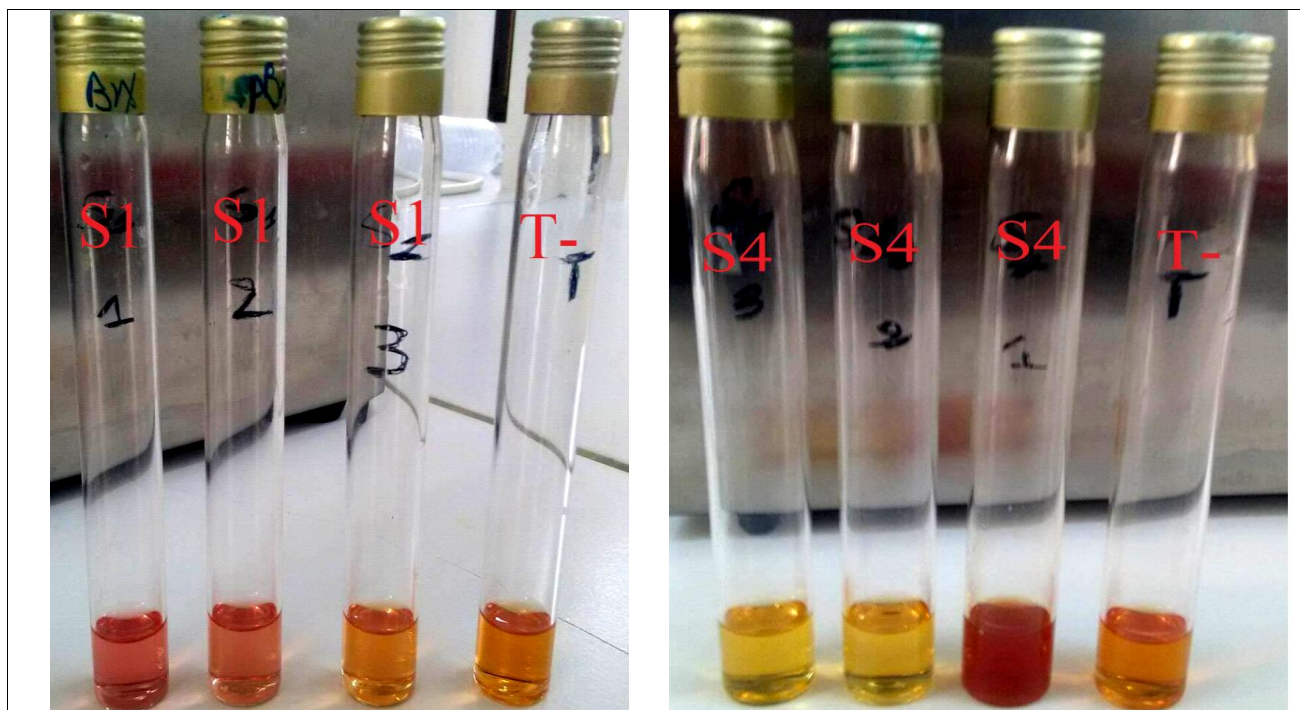


Figure 18: Résultats de la production de l'auxine AIA par S1 et S4. T: témoin.

L'acide indole acétique (IAA) est l'une des phytohormones les plus importantes qui améliore la croissance et le développement des plantes en stimulant la prolifération de leur racine et en favorisant les activités de la floraison et la fructification (Patil .V.S, 2019 ; Das *et al.*, 2019).

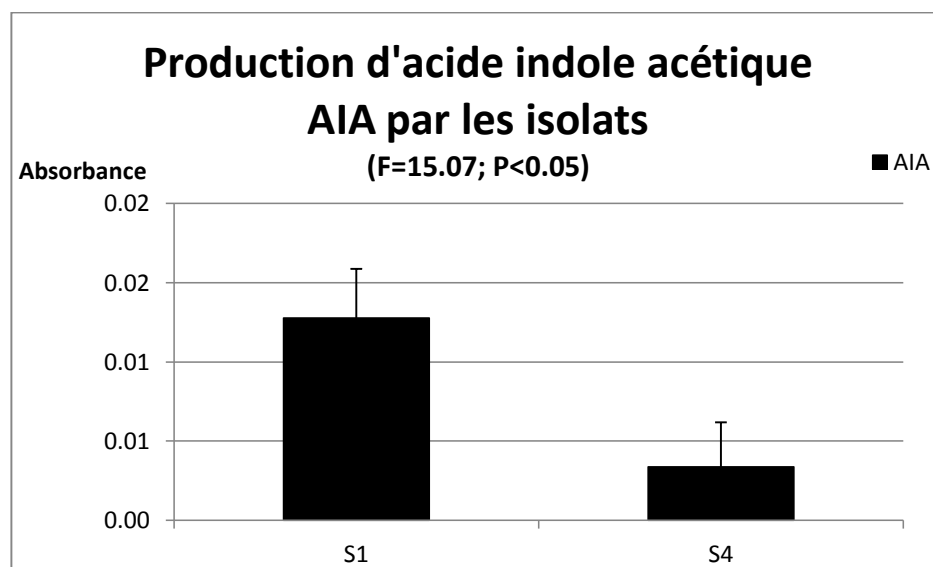


Figure 19 : Production de l'auxine AIA par les deux isolats

Nombreux chercheurs indiquent que plusieurs espèces microbiennes sont impliquées dans la production de l'AIA plus particulièrement *Streptomyces* sp (Goudjal *et al.*, 2013 ; Mohite. B, 2013 ; Fretes *et al.*, 2013) . En effet, les résultats présentés selon Detraksa *et al.* (2018) montrent que parmi 11 isolats d'actinobactéries, deux souches de *Streptomyces cebimarensis* présentent une importante valeur de production de l'AIA (29.02 µg/mL et 17.17 µg/mL) .Ainsi, Jog *et al.* (2012) ont observé la capacité de convertir l'acide aminé du tryptophane à l'AIA chez *Streptomyces rochei* IDWR19 (17,8 mg l⁻¹) et *Streptomyces albidoflavus* (7,1 mg l⁻¹).

2.2. Etude de la solubilisation du phosphate :

Cette étude permet de démontrer que les deux isolats ont produit une zone claire autour de leurs colonies noires ce qui reflète une solubilisation de phosphate tricalcique (**Fig. 20**). Cependant, les valeurs des diamètres calculés ne présentent aucune différence entre les deux isolats (**tableau 11**).

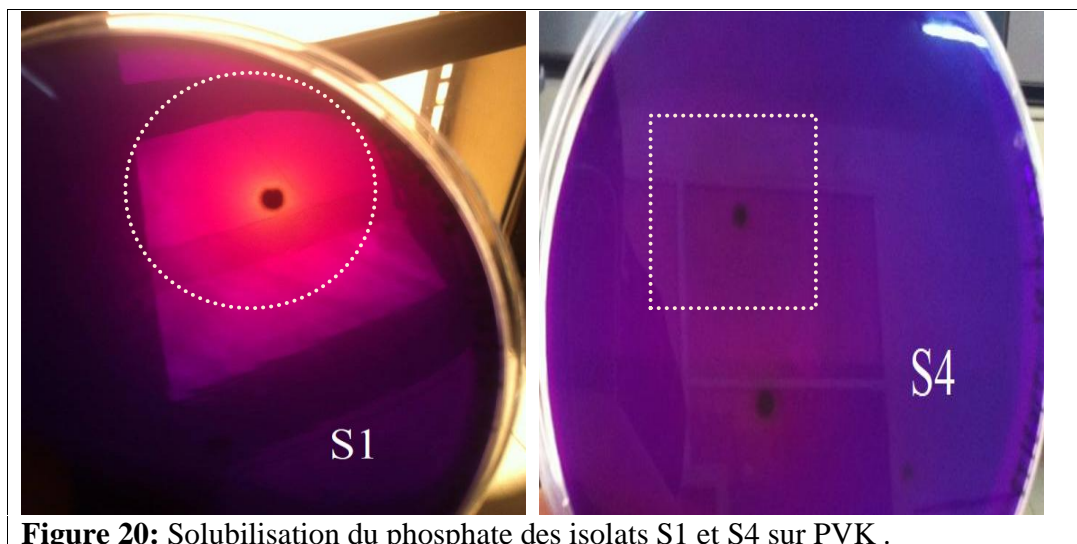


Tableau 11 : Solubilisation du phosphore par les isolats étudiés

Souche	Diamètre de la colonie (cm)	Diamètre de l'halo (cm)
S1	0.35±0.08a	1.5±1.73a
S4	0.35±0.21a	1.06±0.81a
ANOVA à un facteur	0.153ns	0ns

ns: non significatif. Les résultats sont présentés en Moyennes ± écart-type, selon le test d'ANOVA à un facteur.

La figure 21 ci-dessous, illustre les valeurs de la variation de l'indice de solubilisation du phosphate qui comprise entre 4% - 6%. En effet, aucune différence significative n'a été observée entre les indices de solubilisation du P chez les isolats étudiés.

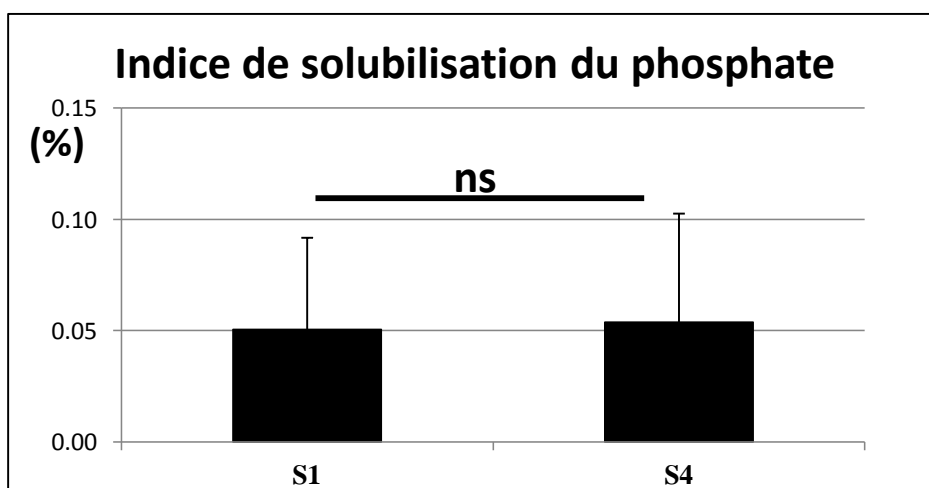


Figure 21 : Etude des variations de l'indice de solubilisation du phosphate par les deux souches S1 et S4. ns : non significatif selon le teste ANOVA à un facteur.

Le phosphore joue un rôle biochimique essentiel dans la respiration, la division cellulaire, la photosynthèse, l'agrandissement cellulaire et plusieurs autres processus dans la plante vivante (Yadav *et al.*, 2018). De nombreuses études (Wang *et al.*, 2017 ; Cy *et al.*, 2018 ; Zheng *et al.*, 2018) montrent qu'il y a une grande variation des populations bactériennes qui ont la capacité de convertir le phosphore insoluble en une forme accessible. Selon Ben Farhat *et al.* (2015) les souches de *Streptomyces* sp. ont montré des niveaux élevés d'activité de solubilisation du phosphate (38 ± 0.95).

3. Effets de l'inoculation bactérienne sur la croissance végétale de la tomate en milieu salin:

Après trois mois de culture en serre et 15 jours de stress salin, les résultats obtenus mettent en évidence différentes réponses des plantes vis-à-vis du NaCl (Planche 1, Fig.1 à 3). D'une manière générale, nous avons observé que les plants inoculés présentent une meilleure croissance comparée aux témoins qui ont été sévèrement affectés par la salinité, cela a entraîné un flétrissement et éventuellement leur mort (Fig.22).



Figure 22 : Flétrissement d'un Plant non inoculé et traité par 50mM de NaCl.

-La détermination du taux de mortalité montre une différence chez les plantes étudiées (Planche 2, Fig.1 à 8). Les effets négatifs de la salinité agissent principalement sur la croissance des plantes non inoculées. De même, malgré la taille importante des plantes inoculées par S4, elles semblent

également être sensibles au chlorure de sodium. Effectivement, les plants inoculés par S1 affichent le taux de mortalité le plus faible ($\leq 28\%$), ceux inoculé par S1 dépassent 50% à forte concentration tandis que chez les témoins il dépasse 70% en absence de stress et 80 à forte concentration de NaCl. La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes à des degrés variables. La réponse varie d'un organe à un l'autre, d'une espèce à l'autre, selon la nature et l'intensité du stress (Bouassaba et Chougui ,2018).

Nos résultats sont en concordance avec les travaux de Thouraya *et al.* (2013) et Mani *et al.* (2015) qui confirment que la croissance de piment diminue en fonction de la concentration de NaCl. En outre, d'après Rahman *et al.* (2018), les fortes doses de sel exercent un effet dépressif sur la croissance de cinq variétés de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

.En effet, Egamberdieva *et al.* (2017) ont démontré que les PGPR jouent un rôle important dans la tolérance au stress de la tomate. Ces résultats rejoignent ainsi ceux de Bidgoli *et al.* (2019) concernant d'autres plantes médicinales.

3.1. Etude des paramètres morphologiques :

Nous avons estimé différents paramètres : la production des matières fraîches (PF) et sèches (PS) des plants, le nombre des feuilles (NF), la longueur racinaire (LR) et la Hauteur de la tige (HT). Les résultats de ces paramètres sont reportés dans la planche 2 et le tableau 12.

Tableau 12 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs concernant l'effet des deux souches de *Streptomyces* sp. sur les paramètres de croissance des plants de tomate en présence de NaCl.

	HT	NF	LR	TRE	ACC
Inoculation	1.72ns	3.20ns	1.79ns	0.08ns	34.04****
Concentration	0.64ns	1.72ns	0.17ns	0.75ns	14.97**
Inoculation*Concentration	1.71ns	0.47ns	4.43**	0.79ns	3.86ns

*, **, **** sont les niveaux de signification selon ANOVA à deux facteurs confirmé par le test de Tukey à $P < 0.05$, $P < 0.01$ et $P < 0.0001$, ns : non significatif

3.1.1. Le nombre de feuilles

Le nombre des feuilles chez les inoculés sont plus important que celui des témoins (Planche 2, Fig.3). Toutefois, la à forte concentration (50mM) de NaCl se manifeste une légère diminution du nombre des feuilles. Les résultats présentés dans cette partie, montrent que la salinité affecte le nombre des feuilles chez l'ensemble des plants étudiées. Ceci est en accord avec les résultats de

Parvin *et al.* (2015) qui ont indiqué que la salinité a affecté négativement le nombre de feuilles de la tomate.

3.1.2. La hauteur de la tige

Les valeurs de la hauteur de la tige (planche 02, fig.01) sont plus importantes chez les plantes inoculées par S4 sous l'effet de 25mM du NaCl. De plus, ces valeurs augmentent légèrement en présence d'une forte dose de sel (50mM). Toutefois, pour ce paramètre, c'est les plantes inoculées par S1 qui sont faiblement affectées par l'action de la contrainte saline.

En revanche, les différentes concentrations de NaCl (25mM, 50mM) n'ont eu aucun effet dépressif sur la hauteur de la tige des plantes non inoculées.

Ces résultats sont à l'opposé de ceux rapportés par Taffouo *et al.* (2008) qui montrent une réduction importante de la hauteur des tiges durant le traitement salin chez le soja (*Glycine max*) et l'haricot (*Phaseolus vulgaris*). Ce même comportement a été observé par Houimli *et al.* (2011) chez trois variétés de piment et par Masmoudi *et al.* (2011) chez la tomate.

3.1.3. La longueur des racines :

D'après les résultats présentés dans la figure 02 (planche02), nous remarquons que l'inoculation affecte positivement la longueur des racines des plants en absence et en présence de sel. Par ailleurs, nos observations montrent une légère amélioration de la croissance des racines stressées.

En ce qui concerne l'effet de la concentration du sel et l'inoculation sur la structure racinaire des plantules de tomate, nous notons un effet positif sur la longueur des racines (planche02, fig02). Cet effet est apparent à partir de la concentration en NaCl de 25 mM, et il est de plus en plus important au fur et à mesure qu'on augmente la concentration du chlorure de sodium. En effet, à 50 mM nous remarquons une augmentation importante sur la longueur des racines. De plus chez autres plantes comme, l'orge et *Vicia faba* L, une diminution de l'élongation du système racinaire a été observée à des concentrations élevées de NaCl 100 à 200 mM (Suhayda et al., 1992). Par ailleurs, la première réponse des glycophytes exposées à la salinité est un ralentissement de leur développement avec une croissance racinaire souvent moins affectée que la croissance foliaire (Guerrier, 1996).

3.1.4. Poids frais et secs des plantes :

L'inoculation par S1 affecte positivement les biomasses fraîches et sèches des plants en présence et en absence du stress salin (planche 02, fig. 05-06). En absence de stress les plants inoculés ont une biomasse meilleure que celle des témoins. L'ajout du sel affecte faiblement les inoculés.

Nos résultats sont comparable à ceux rapportés par d'autres auteurs ayant travaillé sur la croissance de la tomate en présence de stress salin (Manaa *et al.*, 2011 ; Sholi *et al.*, 2012)

3.1.5. Taux d'accroissement

Les résultats montrent que les taux d'accroissement des plants inoculés par S1 sont significativement les plus élevés, relevant l'amélioration de la croissance induite par le microorganisme or le stress salin semble causer une forte réduction de ce taux en comparaison avec celui des plants inoculés par S4 (fig.23).

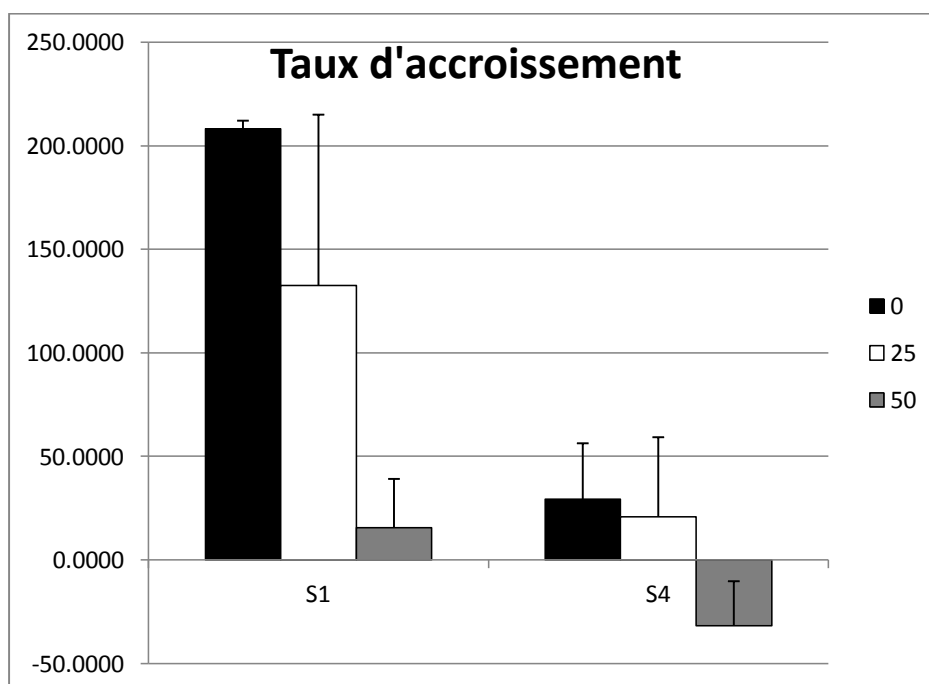


Figure 23 : L'effet des deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) en présence de NaCl sur le taux d'accroissement des plants inoculés par rapport aux témoins.

3.1.6. Teneur relative en eau :

La teneur relative en eau est considérée comme un excellent indicateur de l'état hydrique de la plante. Elle constitue un paramètre influençable pour toutes variations absorbantes des plantes. Les résultats présentés dans la figure 04, planche 02 montrent qu'en absence de sel, l'inoculation par S4 améliore fortement la teneur relative en eau des feuilles, or celle-ci diminue remarquablement sous l'effet des différentes concentrations du NaCl (25,50Mm) chez les témoins et inoculés, néanmoins elle est supérieure chez les plants inoculés par S1 à forte concentration en sel. L'analyse de variance ANOVA à deux facteurs ne révèle aucun effet significatif de l'inoculation ou des différentes concentrations en sel ($P>0.05$).

Nos résultats corroborent avec ceux de Riviro *et al.* (2014) et Arbaoui (2016) qui ont rapporté que le choc salin réduit significativement la teneur relative en eau des plante. kaya *et al* (2010) montrent que cette diminution est une réponse à la salinité, elle est signalée chez un grand nombre de plantes soumises à la salinité.

L'impact du sel sur l'expansion foliaire est plus marqué avec une réduction importante de la teneur relative en eau des feuilles en présence des différentes concentrations du NaCl. Des résultats similaires ont été rapportés chez la tomate par Arbaoui Mohamed (2016).

3.2.2. Dosage de la chlorophylle:

Les résultats des teneurs des pigments chlorophylliens sont exprimés par la figure 24, ceux de l'analyse statistique sont récapitulés dans le tableau 13.

D'après nos résultats, nous remarquons qu'en absence de sel la concentration de chlorophylle a(a) est plus important chez les témoins et les inoculés par S4. À 25 mM de NaCl, la concentration augmente chez les témoins et diminue chez les inoculés. Par ailleurs à 50mM, elle diminue chez les témoins et augmente chez inoculés par S4. En ce qui concerne les autres pigments : chlorophylles b (b), chlorophylles totales (c) et caroténoïdes (d) [figure 24], la salinité semble augmenter les teneurs des pigments à faible concentration puis diminuer faiblement chez les inoculés par S1 à 50mM. Alors que le stress salin affecte négativement les teneurs des pigments chez les plants inoculés par S4.

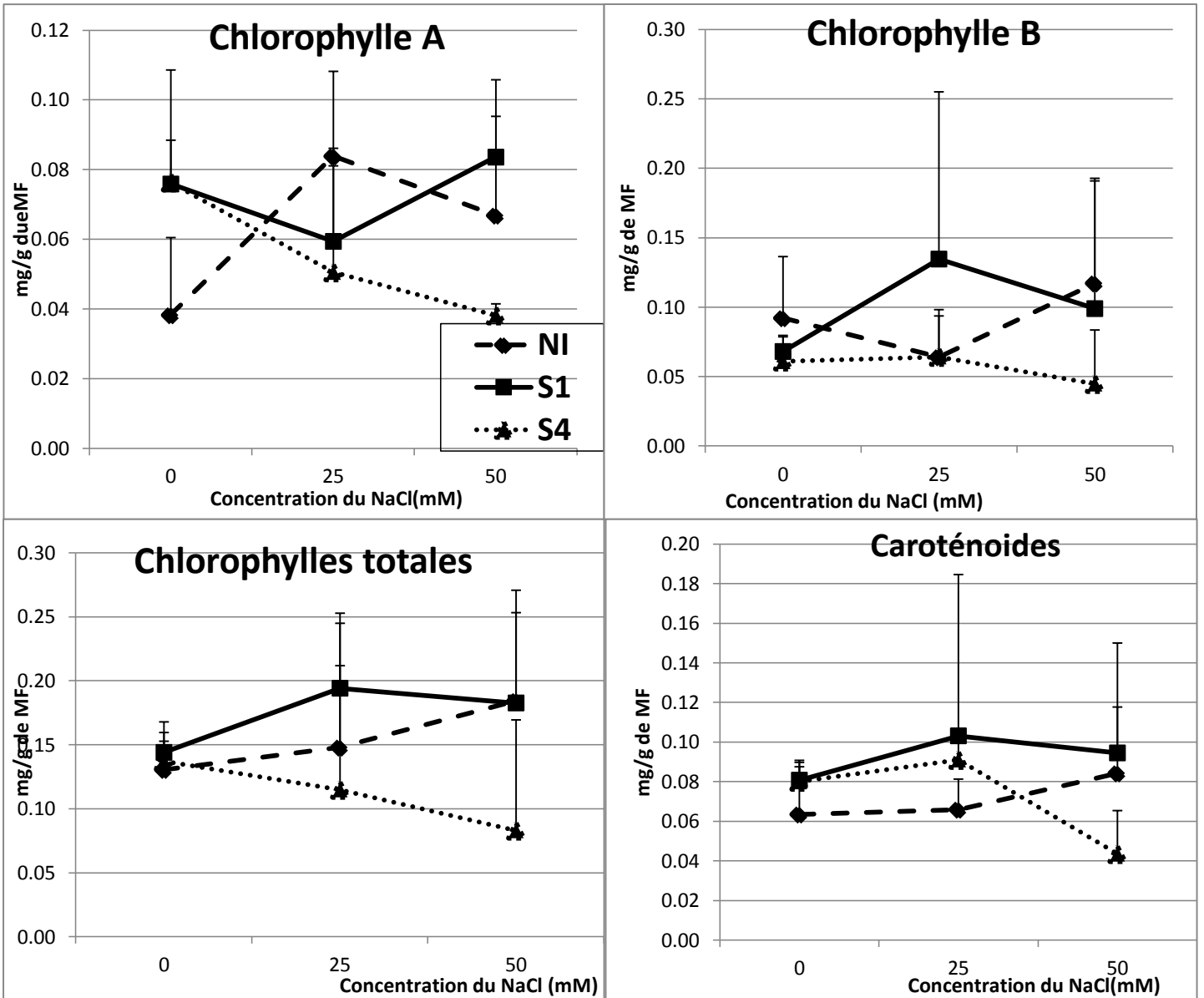


Figure 24 : Teneur de différents pigments photosynthétiques dans les feuilles de plants de tomate inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) et témoins en présence de NaCl. **a :** chlorophylle a; **b :** Chlorophylle b; **c :** Chlorophylle totale ; **d :** Caroténoïdes.

Chez les végétaux chlorophylliens, la teneur en chlorophylle des feuilles informe sur le statut physiologique de la plante. Elle diminue lorsque la plante est affectée négativement par un facteur externe (Gitelson et al, 2003).

L'analyse de la variance ANOVA à deux facteurs (tableau13) n'a enregistré aucun effet significatif de l'inoculation et de la concentration de NaCl sur la teneur en pigments chlorophylliens.

Tableau13 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs concernant l'effet des deux souches d'*Actinomyces* sp. sur la teneur en pigments photosynthétiques des plants de tomate en présence de NaCl.

	ChA	ChB	Cht	Car
Inoculation	1.16ns	1.25ns	2.89ns	27.59ns
Concentration	0.18ns	0.14ns	0.011ns	9.06ns
Inoculation*Concentration	0.95ns	0.67ns	2.54ns	43.47ns

ns : non significatif à $P > 0.05$ selon ANOVA à deux facteurs confirmé par le test de Tukey.

3.2.3. Teneurs des plants de tomates en sodium et en potassium:

3.2.3.1. Teneurs foliaires et racinaires en sodium :

-Dans les feuilles :

Les résultats obtenus (fig.25), indiquent que l'effet du sel induit une augmentation importante des teneurs en sodium chez les plantes traitées par l'isolat S4 et non inoculés ainsi une augmentation moyenne chez S1.

Les plants incapables de compartimenter Na^+ dans leurs feuilles sont nettement plus sensibles à la salinité. En effet, ces plants semblent peu efficaces pour abaisser la concentration cytoplasmique de Na^+ , ce qui est peut-être l'une des causes profondes de leur sensibilité au niveau cellulaire, mais l'incapacité de débarrasser le cytoplasme de Na^+ a pour conséquence que cet ion est facilement transporté dans le phloème de ces plantes (Zid.E et Grignon.C, 1986).

-Dans les racines:

L'étude des résultats obtenus (fig.27) montre que l'application de sel à différentes concentrations provoque une augmentation plus importante des teneurs en sodium des racines chez les plantes.

Selon Faouzi Haouala et al (2010), ce paramètre augmente avec la salinité cela veut dire, qu'en présence de sel, la croissance pondérale des racines devient supérieure à celle des feuilles.

Selon le même auteur, la croissance des racines, chez cette espèce, est plus affectée que celle de la partie aérienne. Ainsi tous les organes de la plante accumulent cet ion en présence de NaCl, et les racines se chargent relativement plus que les parties aériennes en ce cation. La tolérance de la plante au sel est due à l'efficacité de la restriction de l'entrée des ions Na^+ dans la racine (Suhayda *et al.*, 1992).

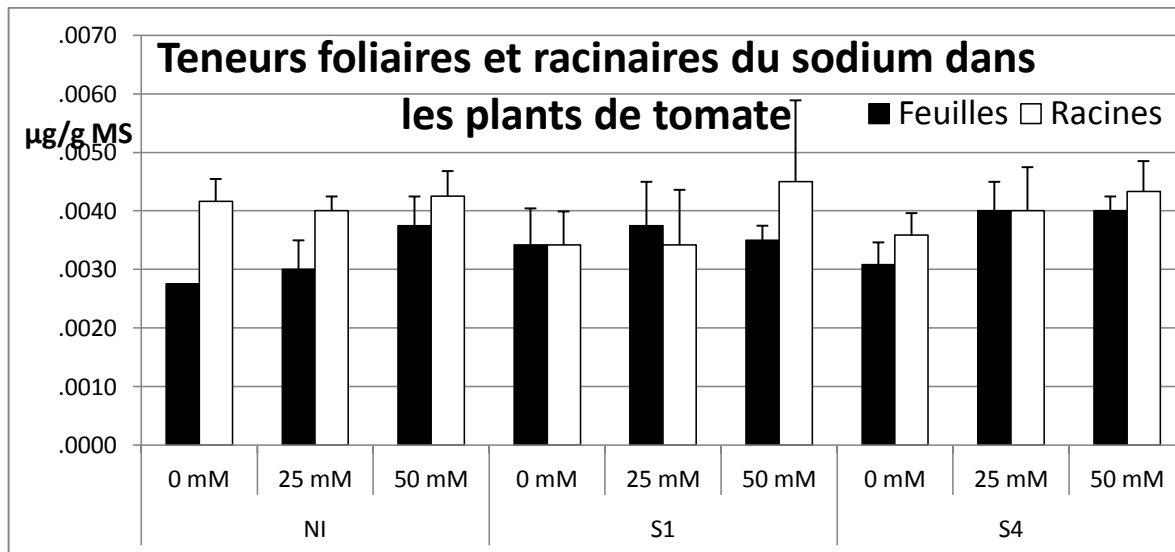


Figure 25 : Teneurs en sodium chez les plants témoins (NI) de tomate et inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) en présence de NaCl. Les résultats sont exprimés en moyenne ± écart type (n = 3).

L'analyse de variance ANOVA à deux facteurs révèle que les concentrations en sel ont des effets significatifs sur les teneurs foliaires en Na ($F=2.15^*$) (tableau 14).

Tableau 14 : Résultats de l'ANOVA à deux facteurs concernant l'effet des deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) sur les teneurs en sodium et potassium des plants de tomate en présence de NaCl.

Facteurs	Potassium		Sodium	
	feuilles	Racines	Feuilles	Racines
Inoculation	7.09**	7.228**	3.063 ns	0.58 ns
Concentration	17.28****	348.432****	2.15*	0.14ns
Inoculation * Concentration	5,06**	43.933****	1.5ns	0.55ns

*, **, sont les niveaux de signification selon ANOVA à deux facteurs confirmé par le test de Tukey à $P<0.05$ et $P<0.01$, ns : non significatif

A travers nos résultats et les analyses statistiques effectuées, il en ressort que l'augmentation de sodium dans les plantes de la tomate est influencée par la présence de NaCl, les teneurs du Na dans les racines sont plus importantes que ceux des feuilles chez plants inoculés et non inoculés. En effet, l'application de stress salin induit une augmentation de teneur en Na dans les feuilles et les racines.

3.2.3.1. Teneurs foliaires et racinaires en potassium :

-Dans les feuilles:

Cette étude montre que la teneur en potassium dans les feuilles de la tomate est augmenté en présence des différentes concentration du NaCl (25mM, 50mM), chez les non inoculés et S4, ainsi que pour S1 on observe que la teneur en potassium est diminuée en 25mM du NaCl ,alors que à 50mM du NaCl la teneur en potassium est plus importants(fig.26). Cette caractéristique ionique se rencontre généralement chez les plantes où la teneur élevée en K^+ est corrélée avec la tolérance au sel (Taleisnik-Gertel, Tal, 1986).

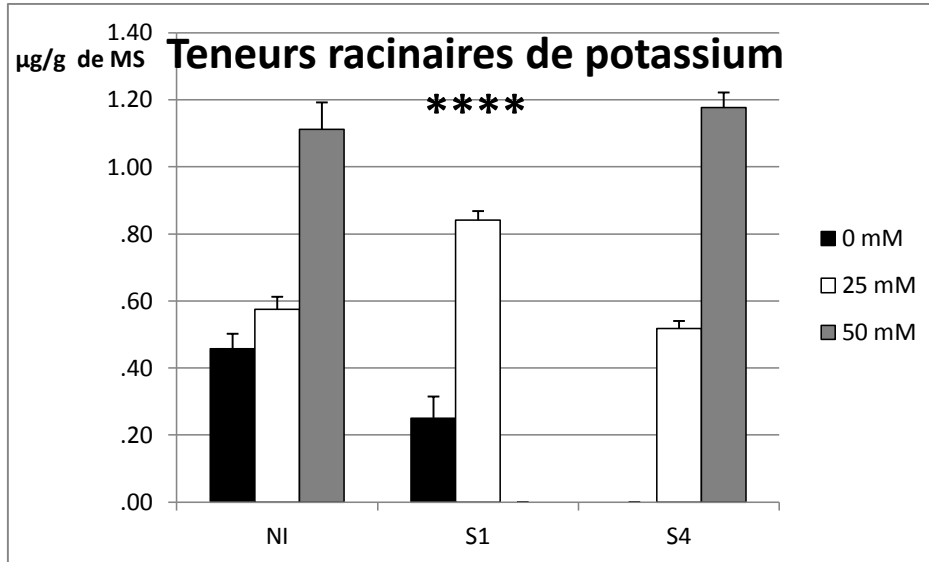


Figure 26 : Teneurs en potassium chez les feuilles des plants témoins (NI) de tomate et inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) en présence de NaCl. Les résultats sont exprimés en moyenne±écart type (n = 3).

L'étude statistique des résultats (Tab .14), affiche que le traitement salin induit par le NaCl provoque un effet très hautement significatif sur la teneur en potassium ($F=17.28^{****}$)

-Dans les racines:

L'analyse des résultats obtenus (fig.27.) affiche, que l'application de sel à différentes concentrations (25 et 50 mM) provoque une accroissement des teneurs en potassium dans les racines des plantes de tomate inoculés et témoins. Le traitement salin à un effet très hautement significatif sur la teneur en potassium des racines des plants de tomate (tableau 14).

L'estimation des concentrations moyennes en K^+ pour les différentes concentrations de NaCl utilisées (Fig. 27), indique que l'effet dépressif de NaCl sur le niveau du potassium se manifeste légèrement au niveau des racines.

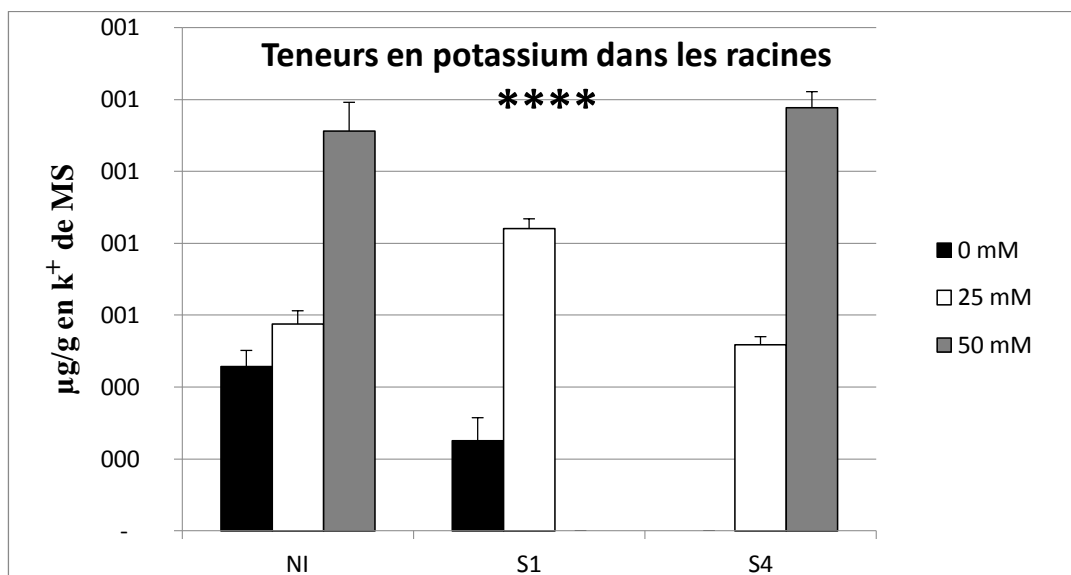


Figure 27 : Teneurs en potassium chez les racines des plants témoins (NI) de tomate et inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) en présence de NaCl. Les résultats sont exprimés en moyenne±écart type (n = 3).

D'après l'expérience de Danielle Scheidecker (1965), la teneur en potassium est plus élevée et légèrement plus forte dans les racines que dans les parties aériennes, le tiers de l'azote, du phosphore, du soufre et du potassium est dans les racines.

Au sein de la plante, le potassium a des fonctions importantes, notamment en régulation de l'ouverture et la fermeture des stomates, l'ajustement osmotique de la plante (turgescence) et la croissance racinaire (Olivier Goujard *et al* (2013).

Certains travaux ont montré que la tolérance des plantes à la salinité peut être due à une capacité de la plante à limiter ou à contrôler l'accumulation de l'ion Na^+ et K^+ dans ces tissus (Ashraf et McNeilly, 1988 ; Ben Khaled *et al.*, 2007).

3.2.4. Mesure de la perméabilité membranaire

D'après les résultats obtenus (Fig.28), on note une régression progressive de la fuite d'électrolytes avec l'augmentation du degré de salinité chez les témoins, une stabilité à faible concentration suivit d'une faible baisse à forte concentration chez les plantes inoculées par S4 et une faible augmentation chez les plantes inoculées par S1. L'inoculation par S1 montre des niveaux de pertes d'électrolytes les plus faibles montrant ainsi que les tissus végétaux de ces plants sont peu

ou pas endommagés, contrairement à ce qui a été rapporté par Khan *et al.* (2013) qui ont affirmé que les fuites d'électrolytes ont augmenté avec l'augmentation des niveaux de salinité chez le concombre (*Cucumis sativus* L.). En effet, İşeri *et al.* (2015) et Hniličková *et al.* (2019) ont indiqué la même tendance croissante des fuites d'électrolytes chez la tomate, la laitue (*Lactuca sativa*), l'épinard d'été (*Tetragonia tetragonoides*) et le pourpier (*Portulaca oleracea*).

La fuite d'électrolyte est une caractéristique de la réponse au stress dans les cellules végétales. En cas de stress les membranes vont subir des dénaturations qui vont altérer leur intégrité. Ces altérations sont dues à la peroxydation des lipides constitutifs et à la dénaturation des protéines membranaires. Ce phénomène est largement utilisé comme test pour les lésions causées par le stress sur les tissus végétaux et comme mesure de la tolérance au stress des plantes (Demidchik *et al.*, 2014).

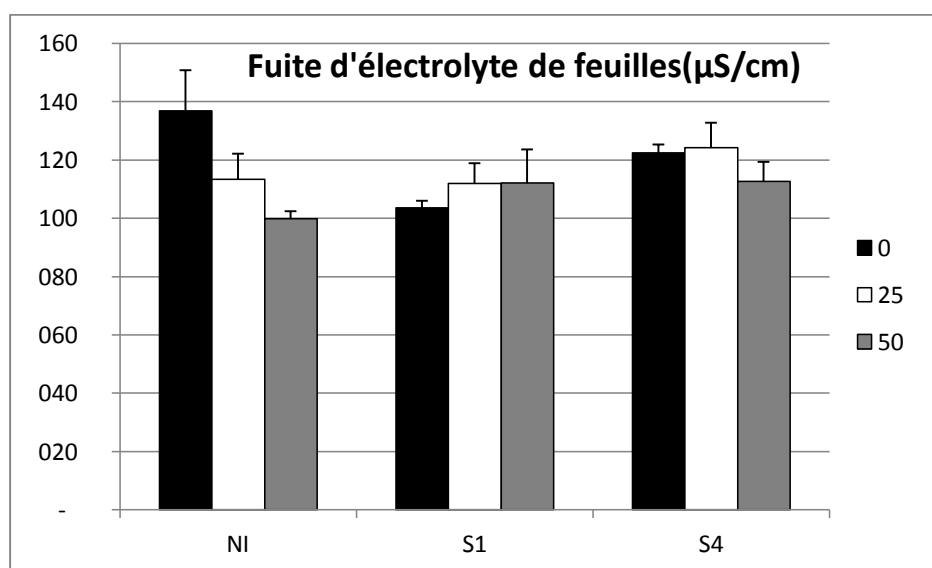


Figure 28 : Fuite d'électrolyte de feuilles des plants témoins (NI) de tomate et inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) en présence de NaCl. Les résultats sont exprimés en moyenne±écart type (n = 3).

Planche 1 : Effets de l'inoculation bactérienne sur la croissance végétale de la tomate en stress salin



Planche 02 :

Représentation graphique des résultats des paramètres de la croissance des plants de tomate, inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) et témoins en présence de NaCl.

Fig 01 : Hauteur de la tige des plants de tomate inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) et témoins en présence de NaCl.

Fig 02 : Longueur des racines des plants de tomate inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) et témoins en présence de NaCl.

Fig 03 : Nombre de feuilles des plants de tomate inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) et témoins en présence de NaCl.

Fig 04 : Effet de l'inoculation par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) sur la teneur relative en eau (TRE) des plants de tomate stressés par le NaCl.

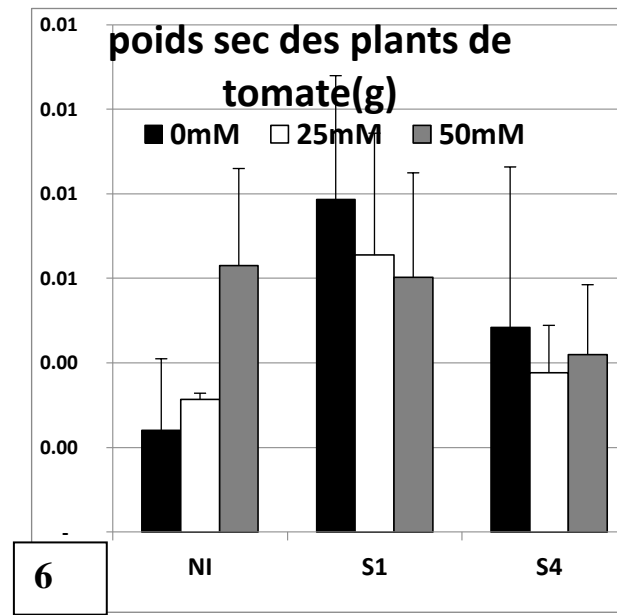
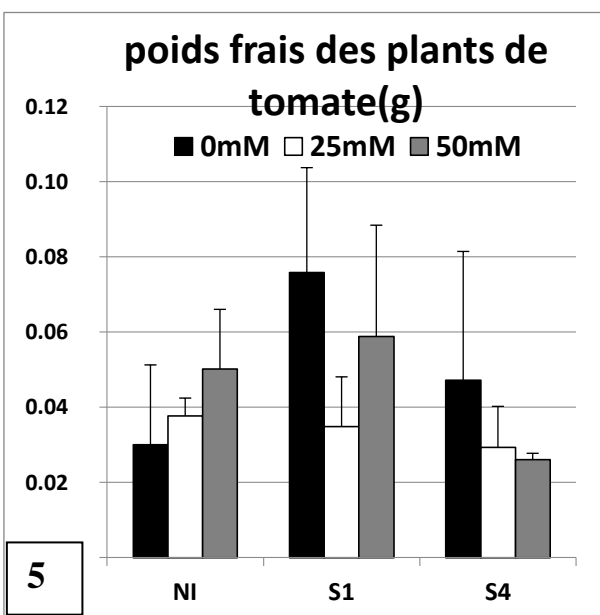
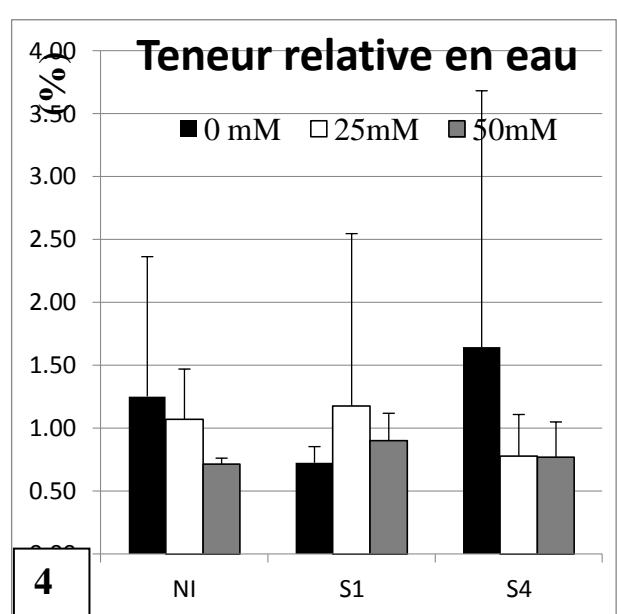
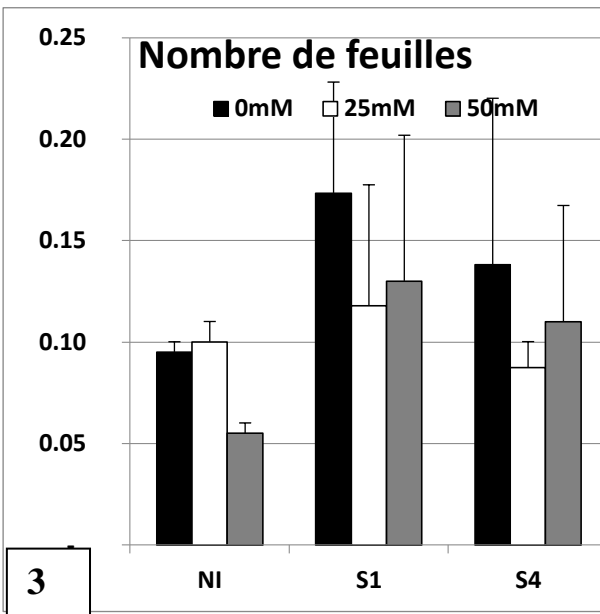
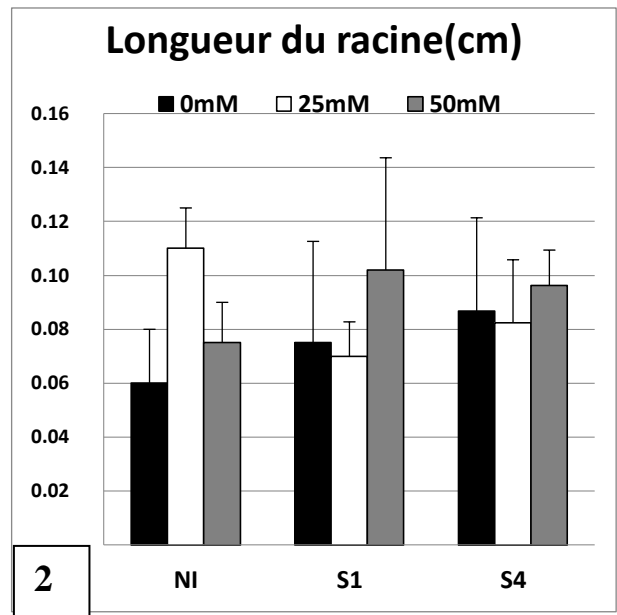
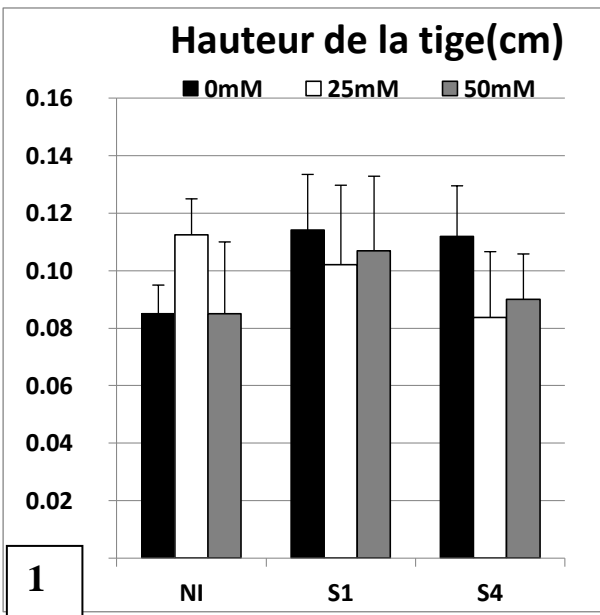
Fig 05 : Poids frais des feuilles des plants de tomate inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) et témoins en présence de NaCl.

Fig 06 : Poids sec de feuilles des plants de tomate inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) et témoins en présence de NaCl.

Fig 07 : Poids frais des plants de tomate inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) et témoins en présence de NaCl.

Fig 08 : Poids sec des plants de tomate inoculés par deux isolats de *Streptomyces* sp. (S1 et S4) et témoins en présence de NaCl.

Planche 2 : Mesure des paramètres de croissances des plants de tomate



Conclusion

Conclusion :

Au cours de ce travail, nous avons effectué d'une part l'isolement et la caractérisation morphologique des microorganismes à partir du sol rhizosphérique du marrube blanc et d'une autre part l'étude de leur effet sur la croissance et la tolérance des plants de tomate en présence de stress salin.

Les résultats des analyses physico-chimiques du sol montrent qu'il est salin et légèrement alcalin.

L'isolement bactérien a permis d'obtenir six isolats dont deux appartiennent aux actinobactéries, les résultats des caractéristiques macromorphologiques, micromorphologiques et biochimiques des bactéries obtenues confirment que les actinobactéries isolées appartiennent au genre *Streptomyces*, ils sont pourvus de catalase, ne dégradent pas le citrate de Simmons et tolèrent jusqu'à 75mM de NaCl.

Les résultats de l'analyse des caractères PGPR montrent que la meilleure production d'AIA est notée chez S1 et que le maximum de solubilisation du phosphate inorganique est observé chez S4, en revanche aucun effet des isolats n'est détecté sur la germination des graines de tomate en présence de sel.

Les résultats de l'étude de l'activité antagoniste des deux isolats ont montré qu'ils ne présentent aucune activité inhibitrice vis-à-vis de la levure et des bactéries testées.

L'estimation des paramètres de la croissance des plants de tomates inoculées par les deux isolats en présence de sel a montré que la croissance des plants est significativement meilleure ainsi que sa teneur relative en eau, son taux de mortalité et sa résistance au stress salin comparativement aux plants témoins (non inoculés). En outre, la mesure des paramètres physiologiques montrent que l'inoculation principalement par S1 améliore les teneurs en pigments chlorophylliens, en K et en Na, et évite les pertes des électrolytes. Les résultats obtenus montrent l'importance des *Streptomyces* dans la croissance des plants de tomate. Ils montrent également un effet protecteur contre les bio-agresseurs, et leur capacité inhibitrice de la croissance des souches phytopathogènes qui infectent cette variété de tomate.

En perspectives, il serait intéressant de poursuivre ce travail :

- En complétant les études sur l'impact physiologique et biochimique du NaCl sur l'espèce végétale étudiée et mettre en évidence l'activité des enzymes antioxydantes afin de comprendre les mécanismes de tolérance au sel chez cette espèce végétale.
- Tester l'effet des isolats sur la croissance et la tolérance au sel d'autres espèces végétales.
- Identifier les isolats et produire en serre des plants sur des sols naturellement salins et inoculés par les deux isolats indigènes et essayer de les planter dans une parcelle expérimentale pour tester leur éventuelle application en agriculture et en agroalimentaire.

Annexes

Annexe 1: Composition des milieux de culture

1. Etude d'identification des actinobactéries:

-Milieu ISP2:

Glucose	4g
Extrait de levure	4g
Extrait de malt	10g
Agar	20g
Eau distillée q.s.p	1000ml
pH	7.2

-Milieu Gélose Nutritive (GN):

Peptone	5g
Extrait de viande	1g
Extrait de levure	2g
NaCl	5g
Agar	15g
Eau distillée q.s.p	1000ml
pH	7.5

-Milieu de Strullu et Romand Modifié (MSR en μM):

N(NO_3^-).....	3800
N(NH_4^+).....	180
P.....	30
K.....	1650
Ca.....	1520
Mg.....	3000
S.....	3013
Cl.....	870
Na.....	20
Fe.....	20

Mn.....	11
Zn.....	1
B.....	30
Mo.....	0.22
Cu.....	0.96

-Milieu de Citrate de Simmons:

Citrate de sodium	1g
Bleu de bromothymol	0.08g
Chlorure de sodium	5g
Sulfate de magnésium	0.2g
Hydrogénophosphate de potassium	1g
Dihydrogénophosphate d'ammonium	1g
Agar-agar	15g
Eau distillée q.s.p	1000ml
pH	6.9

2: Etude de l'effet PGPR:

- Acide Indole Acétique (AIA):

Bouillon ISP₂ additionné de 0,2% de solution de L-tryptophane.

- Réactif de Salkowski :

(1 ml de FeCl₃ 0,5 M dans 50 ml d'HClO₄ à 35%)

-Milieu Pikovskaya solide (PKV) :

Ca ₃ (PO ₄) ₂	5g
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.5g
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.1g
Glucose	10g
FeSO ₄	0.005g

Bleu de bromophénol	0.25g
Agar	15g
KCl	0.2g
Eau distillée q.s.p	1000ml

3. Effets de l'inoculation bactérienne sur la croissance végétale de la tomate en milieu salin:

-Solution nutritive modifiée d'Hoagland et Arnon (1950) :

components	Final concentration	
Macroéléments	mg/L	(mM)
KNO₃	255	2.5
éCa(NO₃)₂, 4H₂O	590	2.5
MgSO₄, 7H₂O	245	1
Micronutriments	Mg/L	µM
MnSO₄, H₂O	0.9	5
ZnSO₄, 7H₂O	0.2	0.5
CuSO₄	0.05	0.25
H₃BO₃	1	15
Na₂MoO₄, 2H₂O	0.15	0.5
Co(NO₃)₂, 6H₂O	0.1	0.25
FeEDTA	4.85	13.5

Annexe 2: Préparation des solutions étalon du potassium et du sodium

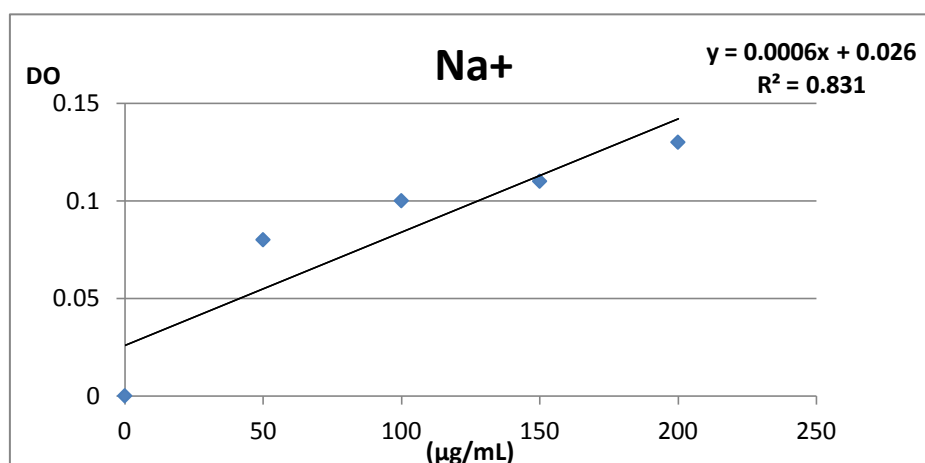
- Solution de base de sodium à 1 mg/Na/ml

dissoudre 2,5413 g de NaCl dans un litre d'acide nitrique à 1% - gamme contenant
Solution d'étalonnage de sodium :

Préparer à partir de la solution précédente une gamme contenant :

0 - 50-100-150 et 200 μ g de Na/mL en milieu HNO₃ à 1%.

Courbe d'étalonnage du Sodium



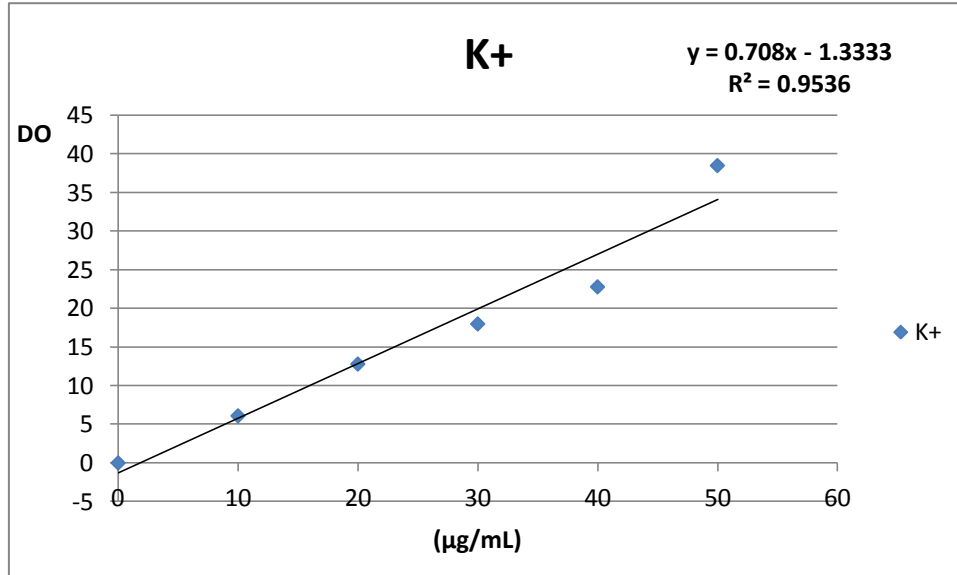
- solution étalon de base de potassium à 1000 μ g de K/mL est préparée par la

dissoudre 1,907 g de KCl pur "pour analyses" et séché 1 heure à 105° C dans un litre d'acide nitrique à 1% (1mL de HNO₃ est ajoutée à 64mL d'eau distillée). Les solutions d'étalonnage de potassium sont préparées à partir de la solution précédente : 0 - 50- 100- 150 et 200 μ g de K/ml en milieu HNO₃ à 1%.

V (mL) à prélever à partir de la solution de KCl (1000 μ g de K/mL)	0	0.5	1	1,5	2
ED (mL)	10	9.5	9	8.5	8
Solutions étalon (μ g de K/mL)	0	50	100	150	200

Diluer la solution de l'échantillon convenablement (2 à 10 fois) pour avoir K entre 50 et 200 $\mu\text{g/mL}$.

Courbe d'étalonnage du potassium



Références Bibliographiques

Références Bibliographique

Abbes Samiha and Bouterra Imane. (2017). Identification phénotypique de quelques isolats d'actinobactéries présentant une activité antimicrobienne vis-à-vis des microorganismes pathogènes, mémoire fin d'étude .Université Mohamed Boudiaf - M'Sila.Faculté Des Sciences :7.

Abd-Al lah Nagwa , Tolba M .Sahar ,Hatem M.Dina.(2012). Selective Isolation of rare Actinomycetes from different types of Egyptian soil. The Egyptian Journal of Experimental Biology ;8(2): 176.

Abdesselem Mohammed.(2017). Caractérisation et lutte biologique vis-à-vis de *Fusarium oxysporum*,Thèse de Doctorat ,Université de El Wancharissi de Tissemsilt , Faculté des sciences : 3.

Ahmad Mahmood, Oguz Can Turgay, Muhammad Farooq and Rifat

Hayat.(2016). Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: a review , FEMS Microbiology Ecology; 92(8):2.

Ajit Kumar Passari, Vineet Kumar Mishra, Vijai Kumar Gupta,Ratul Saikia and Bhim Pratap Singh.(2016). Distribution and Identification of Endophytic Streptomyces Species from *Schima wallichii* as Potential Biocontrol Agents against Fungal Plant Pathogens , Polish Journal of Microbiology;65(3):323 .

Ali. Al-Saadi, Noora Majid Hameed, Eman Mohammad Jaralla.(2013). Isolation and Identification of Streptomyces from Different Sample of Soils, Journal of Biology and Medical Sciences,1:34 .

Anandan Ranjani, Dharumadurai Dhanasekaran and Gopinath Ponnusamy Manogaran. (2016) . Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications. An Introduction to Actinobacteria, Intech, Rijeka :3-4.

Anusree, T. and R. Suseela Bhai. (2017). Distribution, Diversity and antagonistic ability of Actinobacteria from black pepper (*Piper nigrum* L.) rhizosphere ,Journal of Global Biosciences ; 6(10): 5278 -5279 .

Aouiche .A., Sabaou .N., Meklat. A., Zitouni .A., Mathieu .F., . Lebrihi .A.(2012). Activité antimicrobienne de Streptomyces sp. PAL111 d'origine saharienne contre -

divers microorganismes cliniques et toxigènes résistants aux antibiotiques , Journal de Mycologie Médicale ; 22 : 49-50 .

Arafet Manaa,Hela Ben Ahmed, Samira Smiti, and Mireille Faurobert .(2011). Salt-Stress Inducing Physiological and Proteomic Changes in Tomato(*Solanum Lycopersicum*) Seedlings.journal of Integrative Biology ;15(11): 801-809. DOI :10.1089/omi.2011.0045

Arbaoui Mohamed.(2016). Effets du stress salin sur des plantules de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivées sur substrat sableux amendé en bentonite. Sciences de la Nature et de la Vie (SNV). These de doctorat en Physiologie végétale :1-168.

Ashraf M. & T. McNeilly.(1988). Variability in salt tolerance of nine spring wheat cultivars. J. Agron. Crop Sci; 160: 14-21.

Axel Bourgeois, Kenza Boukhaima.(2015). Le Manuel du Permaculteur: La Permaculture ou l'appel pour changer le paradigme , Imnlp-p , page 25 .

Badaoui Mahdjouba.(2018). Contribution à l'étude de la dynamique des populations de *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera ; Gelechiidae) et essais de contrôle biologique sur la culture de tomate , Université Abdelhamid Ibn Badis De Mostaganem, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département d'Agronomie :9 .

Bang- Xiao Zheng, Muhammad Ibrahim, Ding- Peng Zhang, Qing- Fang Bi, Hong- Zhe Li,Guo- Wei Zhou, Kai Ding, Josep Peñuelas, Yong- Guan Zhu and Xiao- Ru Yang.(2018). Identification and characterization of inorganic-phosphate-solubilizing bacteria from agricultural fields with a rapid isolation method, AMB Express, Springer Open ; 8:1.

Barka Ait Essaid, Parul Vatsa, Lisa Sanchez, Nathalie Gaveau-Vaillant, Cedric Jacquard, Hans-Peter Klenk, Christophe Clément, Yder Ouhdouch, Gilles P. van Wezeld.(2016). Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. Microbiology and Molecular Biology Reviews. American Society for Microbiology; 80(1): 3.

Belyagoubi Larbi .(2014). Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens. these de

doctorat. Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers :61.

Ben Khaled Laaziza , El Mostafa Ouarraqi & Ezzedine Zid. (2007). Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique, *Acta Botanica Gallica*; 154(1): 101-116, DOI: 10.1080/12538078.2007.10516047

Ben Yahia Samira. (2015). Activités antimicrobiennes et insecticides de *Thymus capitatus*, and Mireille Faurobert .*Journal of Integrative Biology* ; 15(11) : 801-809

Benidire. L., Daoui . K..(2015). Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba L* , *Journal of Materials and Environmental Science*;6(3) :840-851. ISSN: 2028-2508.

Benouagueni Sarah. (2015). Recherche de nouvelles souches d'actinomycètes productrices de molécules antifongiques (cas des eaux du lac Mellah d'El Kala), Thèse de Doctorat , Faculté des Science, Université Badji Mokhtar –Annaba : 96 - 102 .

Benton J. (2008). Tomato plant culture: In the field, Greenhouse, and home garden,
Bhattacharjya Sudeshna, Tapan Adhikari,Samaresh Kundu, Asha Sahu and Ashok K.Patra.(2019).Evaluation ofv Microbial solubilisation of Nano Rock phosphate . *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* ;8(1) :1055.

Boubetra et al. (2013). Taxonomy and chemical characterization of new antibiotics produced by *saccharothrix SA 198* isolated from Saharan soil. *Microbiological research* ;168(4) :223-230

Camille Bénard. (2009).Etude de l'impact de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en polyphénols chez la tomate. Thèse de Doctorat. Nancy Université .Sciences Agronomiques : 16.

Chanchal Yadav, Sonali Pandey.(2018). Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from Agriculture Soil of Jaipur, Rajasthan, *International Journal of Current Trends in Science and Technology* ; 8(1): 20180.

Charles Kambale Valimunzigha.(2006). Étude du comportement physiologique et agronomique de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en réponse à un stress hydrique précoce :196.

Charlie Ester de Fretes, Langkah Sembiring and Yekti Asih Purwestri.(2013). Characterization of *Streptomyces* spp. Producing Indole-3-acetic acid as Biostimulant Agent, Indonesian Journal of Biotechnology ; 18(2):83.

CHERIET.(2016). Etude des bactéries symbiotiques de la luzerne (*Medicago ciliaris* L.) fixatrices d'azote, thèse de Doctorat, FACULTE DES SCIENCES ,DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE :5

Citron A.Christian, Barra Lena, Wink Joachim and Jeroen S.

Dickschat.(2015). Volatiles from nineteen recently genome sequenced actinomycetes . Organic and Biomolecular Chemistry ; 13(9) :2673.

Cordovez Viviane, Victor J. Carrion, Desalegn W. Etalo, Roland Mumm, Hua Zhu, Gilles P. van Wezel and Jos M. Raaijmakers.(2015). Diversity and functions of volatile organic compounds produced by *Streptomyces* from a disease-suppressive soil. Frontiers in Microbiology ; 6 :2.

Damm S., Hofmann B., Gransee A. & Christen O. (2012). Zum Einfluss langjährig differenzierter Kaliumdüngung auf Parameter des Bodenwasserhaushaltes, Archives of Agronomy and Soil Science. DOI:10.1080/03650340.2011.606217

Dan Naylor , Devin Coleman-Derr.(2018). Drought Stress and Root-Associated Bacterial Communities. Frontiers in Plant Science ;8 :1 .

Danielle Scheidecker. (1965). Recherches sur la nutrition minérale de la tomate «Groseille rouge» Etude d'une carence induite. These de doctorat en sciences naturelles. La faculté des sciences de l'université de paris:6.

Daucus crinitus et *Tetraclinis articulata* sur la mineuse *Tuta absoluta* (Meyrick) et la microflore pathogène de la tomate *Lycopersicum esculentum*, Thèse de Doctorat, Université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen, Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers : 4

Demidchik Vadim, Darya straltsova, sergey s. medvedev , grigoriy A. pozhvanov, anatoly Sokolik and vladimir yurin .(2014). Stress-induced electrolyte leakage : the

role of k⁺ permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolik adjustment . journal of Experimental Botany ; 65(5) :1266-1267.

Dinesh K. Maheshwari.(2011).Bacteria in Agrobiolgy: Plant Growth Responses.Springer ;201.**DOI: 10.1089/omi.2011.0045**

Emilda Rosmine, Neethu Changan Edassery Sainjan, Reshma Silvester and Saramme Aikkarakunnath Varghese.(2019).Utilisation of Agrowaste Xylan for the Production of Industrially Important Enzyme Xylanase from Aquatic *Streptomyces* sp. and Potential Role of Xylanase in Deinking of Newsprint .International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences ;8(1):2061.

Esmail Emami, Khosro Issazadeh , Abbas Akhavan Sepahi , Ahmad Tajehmiri .(2017). Isolation and Characterization of Aerobic Actinomycetes from Soil in Northern Iran and Evaluation of their Antimicrobial Potential , J Med Bacteriol ; 6(34):15 .

Esnault Catherine, Dulermo Thierry, Smirnov Aleksey, Askora Ahmed, Michelle David, Ariane Deniset-Besseau, Ian-Barry Holland and Marie-Joelle Viroll.(2017). Strong antibiotic production is correlated with highly active oxidative metabolism in *Streptomyces coelicolor* M145 . Scientific Reports ;7(200):1 .

Esteban A. Veliz , Pilar Martínez-Hidalgo , and Ann M. Hirsch.(2017).Chitinase-producing bacteria and their role in biocontrol . AIMS Microbiology ; 3(3): 690-693.

Estela Gimenez, Maria Salinas and Francisco Manzano-Agugliaro.(2018).Worldwide Research on Plant Defense against Biotic Stresses as Improvement for Sustainable Agriculture.sustainability ;10 :1 .

Esther Lubzens, Joan Cerda, Melody Clark. (2010). Dormancy and Resistance in Harsh Environments, Springer Science & Business Media; 21:20 .

Evelyn N. Fatokun , Uchechukwu U. Nwodo and Anthony I. Okoh .(2016) .Optimization of Cellulase and Xylanase Production by a Marine *Streptomyces* Species, Applied Sciences ;6(286):2 .

Evelyn N. Fatokun , Uchechukwu U. Nwodo and Anthony I. Okoh .(2016).Optimization of Cellulase and Xylanase Production by a Marine *Streptomyces* Species. Applied Sciences ; 6(286):2 .

Faouzi Haouala (1), Hanen Ferjani (1), Salem Ben El Hadj .(2007). Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺ , K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines *Streptomyces spp* du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*; 11 (3): 235–244.

Fathi BERRABAH.(2016).Contrôle symbiotique de l'immunité au cours des étapes tardives de la symbiose Medicago- Sinorhizobium , Thèse de Doctorat ,
L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY PREPAREE A L'UNIVERSITE PARIS-SUD :
36

Firew Elias, Delelegn Woyessa, and diriba Muleta.(2016). Phosphate Solubilization potential of rhizosphere fungi isolated from plants in jimma Zone, Southwest Ethiopia. *International Journal of Microbiologie* ;3 :1.

Fitriyanti.d, Mubarik.N.R and A Tjahjoleksono. (2017).Characterization and identification of phosphate solubilizing bacteria isolate GPC3.7 from limestone Mining Region. *Earth and Environmental Science Indonesia* ;58 :1.

Folia Horticulturae.(2019). A combination of biochar and regulated deficit irrigation improves tomato fruit quality A comprehensive quality analysis ;
31(1) : 181
from Rhizosphere Soils and Its Colonization of Chinese Cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*), *Frontiers in Microbiology* ; 8:2.

Gayathri Segaran, Ranjitha Dhevi V Sundar, Sugashini Settu, Saranya Shankar and Mythili Sathiavelu.(2017).A Review on Endophytic Actinomycetes and their Applications. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* ;9(10):155.

Ghebbi Karima. (2016).Influence de la fertilisation potassique sur le comportement et les aptitudes technologiques de deux variétés de tomates industrielles (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique - El Harrach –Alger : 20.

Ghorbani-Nasrabadi, Ralf Greiner, Hossein Ali Alikhani, Hamedi Javade ,Yakhchali Bagher.(2013). Distribution of actinomycetes in different soil ecosystems and effect of media composition on extracellular phosphatase Activity, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* ; 13(1): 226.

Girard Geneviève, Traag A. Bjørn, Sangal Vartul, Mascini Nadine, Hoskisson A. Paul, Goodfellow Michael and Gilles P. van Weze. (2013). A novel taxonomic marker that discriminates between morphologically complex actinomycetes. *Open Biology*; 3:2.

Gitelson Anatoly A, Andre's Vin'a, Timothy J. Arkebauer, Donald C. Rundquist, Galina Keydan, and Bryan Leavitt .(2003). Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letters*; 30 (5): 1248. Doi: 10.1029/2002GL016450

Guarnaccia, Giuliano Degrassi, Vittorio Venturi and Nubia Moreno-Sarmiento. (2019). Plant-Growth Promotion and Biocontrol Properties of Three *Streptomyces* spp. Isolates to Control Bacterial Rice Pathogens .*Frontiers in microbiology* :2.

Grammatiki S. Kanini, Efstathios A. Katsifas, Alexandros L. Savvides, and Amalia D. Karagouni.(2013). *Streptomyces rochei* ACTA1551, an Indigenous Greek Isolate Studied as a Potential Biocontrol Agent against *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. *BioMed Research International* : 1-2.

Guerrier.(1996). Fluxes of Na⁺,K⁺and Cl⁻ , and osmotic adjustment in *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* during short- and long-term exposures to NaCl. *Physiologia Plantarum* ;97: 583–591.

Hadizadeh S, Forootanfar H, Shahidi Bonjar GH, Falahati Nejad M Karamy Robati A, Ayatollahi Mousavi SA, Amirporrostami S .(2015). Antifungal activity of terrestrial *Streptomyces rochei* strain HF391 against clinical azole -resistant *Aspergillus fumigatus*, *Current Medical Mycology*,1(2):21.

Hai-Bi Li, Rajesh K. Singh, Pratiksha Singh , Qi-Qi Song, Yong-Xiu Xing, Li-Tao Yang and Yang-Rui Li.(2017). Plant Growth Promoting *Pseudomonas* Species Isolated from Sugarcane Rhizosphere , *Front. Microbiol* ;8:1268

Hariharan Harikrishnan ; Vellasamy Shanmugaiah ; Natesan Balasubramanian.(2014), Optimization for production of Indole acetic acid (IAA) by plant growth promoting *Streptomyces* sp VSMGT1014 isolated from rice rhizosphere. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, India ; 3(8): 160.

Harir Mohamed, Bellahcene Miloud, Fortas Zohra, José María García-Arenzana, Antonio Veloso and Susana Rodríguez-Couto.(2017) .Isolation and Characterization of Actinobacteria from Algerian Sahara Soils with Antimicrobial Activities . International Journal of Molecular and Cellular Medicine ; 6(2) : 110.

Harir Mohamed, Bellahcene Miloud, Fortas Zohra, José María García-Arenzana, Antonio Veloso and Susana Rodríguez-Couto.(2017) .Isolation and Characterization of Actinobacteria from Algerian Sahara Soils with Antimicrobial Activities . International Journal of Molecular and Cellular Medicine ; 6(2) : 110.

Harir Mohamed. (2018).Caractérisation des molécules bioactives produites par des souches d'actinobactéries isolées des sols arides et semi arides d'Algérie. Thèse de Doctorat.Université d'Oran Ahmed Ben Bella.Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie: 6.

Hasani Amin ,Ashraf Kariminik and Khosrow Issazadeh .(2014). Streptomycetes: Characteristics and Their Antimicrobial Activities.International journal of Advanced Biological and Biomedical Research ; 2 (1): 64.

Hichri Imène, Muhovski Yordan, Žižková Eva, Petre I. Dobrev, Emna Gharbi, Jose M. Franco-Zorrilla, Irene Lopez-Vidriero, Roberto Solano, André Clippe, Abdelmounaim Errachid, Vaclav Motyka and Stanley Lutts.(2017). The Solanum lycopersicum WRKY3 Transcription Factor SIWRKY3 Is Involved in Salt Stress Tolerance in Tomato,Frontiers in Plants Science ; 8(1) :66-75.

Hnilickova Helena, frantisek hnilicka, matyas Orsak, vaclav hejnak.(2019). Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, na⁺ and k⁺ content in selected plant species. Plant, Soil and Environnement : 3-5.

Hoagland D R ;Amon D L .(1950). The water –culture method for growing plants without soil .Univ.Calif.Coll.Agar.Exp.Sta.Circ ;347 :32.

Ho Plágaro Tania, Huertas Raúl , María I. Tamayo Navarrete, Juan A. Ocampo and José M. García- Garrido .(2018). An improved method for Agrobacterium rhizogenes- mediated transformation of tomato suitable for the study of arbuscular mycorrhizal symbiosis , Plant Methods ;14 : 1 .

Houssam M. Atta, and Ayman M. Yassen.(2014). Phylogenetic characterization, fermentation and biological activities of antibiotic producing *Streptomyces clavuligerus* isolated from KSA,International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences; 3 (12) :527 .

Hu Dini, Yan Chen, Chenghang Sun,Tao Jin, Guangyi Fan, Qiwen Liao,Kai Meng Mok,and Ming-Yuen Simon Lee .(2018).Genome guided investigation of antibiotics producing actinomycetales strain isolated from a Macau mangrove ecosystem, Scientific Reports ;8 :1-2 .

Hussein Emad I., Jacob H. Jacob, Muhamad Ali K. Shakhathreh , Mutaz A. Abd Al-Razaq , Abdul-Salam F. Juhmani and Christopher T. Cornelison .(2018).Detection of antibiotic-producing Actinobacteria in the sediment and water of Ma'in thermal springs (Jordan) GERMS ;8(4) :2.

Hye Min Kim, Ji Young Jung, Etienne Yergeau, Chung Yeon Hwang, Larry Hinzman, Sungjin Nam, Soon Gyu Hong, Ok-Sun Kim¹, Jongsik Chun² & Yoo Kyung Lee.(2014). Bacterial community structure and soil properties of a subarctic tundra soil in Council, Alaska , FEMS Microbiology Ecology ; 89 :466 .

Iseri ozlem Darcansoy, didem Aksoy korpe ,feride iffet sahin and Mehmet Haberal.(2015). High salt induced oxidative damage and antioxydant responce in tomato grafted on tobacco. Chilean journal of agricultural Reasearch ;75(2) :197.

Islam.M.S, Aktar.M. B, Rahman.M.M and K.M.Main Uddin.(2014). Isolation and characterization of collected from Bangladeshi soils on the basis of morphological and biochemical studies, International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences ; 3(11) :739.

Jahanshir Amini, Zahra Agapoor, Morahem Ashengroph .(2016).Evaluation of *Streptomyces* spp. against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* for the management of chickpea wilt. JOURNAL OF PLANT PROTECTION RESEARCH ;56(3) :2

Janejira Detraksa.(2018). Sugarcane Seedling Growth Promotion by Indole Acetic Acid (IAA) Producing *Streptomyces* sp. AS14-2 Isolated from Rhizosphere of Sugarcane and Rice, Food and Applied Bioscience Journal; 6:182-183.

Jodi Woan-Fei Law,1 Hooi-Leng Ser,1 Tahir M. Khan,1,2 Lay-Hong Chuah,1 Priyia Pusparajah,3 Kok-Gan Chan,4 Bey-Hing Goh,1,5,* and Learn-Han Lee.(2017). The Potential of *Streptomyces* as Biocontrol Agents against the Rice Blast Fungus, *Magnaporthe oryzae* (*Pyricularia oryzae*).*Frontiers in microbiology* ;8 :3

Jog, G. Nareshkumar and S. Rajkumar. (2012). Plant growth promoting potential and soil enzyme production of the most abundant *Streptomyces* spp. from wheat rhizosphere , *Journal of Applied Microbiology*; 113:1157-1158.

Jonathan S. Mangmang , Rosalind Deaker, Gordon Rogers.(2014). Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Seed Germination Characteristics of Tomato and Lettuce, *Journal of Tropical Crop Science* ; 1(2): 36.

Jones E Stephanie, Ho Louis, Rees A Christiaan , Hill E Jane, Nodwell R Justin and Elliot A Marie.(2017). *Streptomyces* exploration is triggered by fungal interactions and volatile signals. *eLife* ; 6 :2.

Kais Ghedira, Emna Harigua-Souiai , Cherif Ben Hamda, Pascale Fournier, Petar Pujic, Sihem Guesmi, Ikram Guizani, Guylaine Miotello, Jean Armengaud, Philippe Normand & Haïtham Sghaier .(2018).The PEG-responding desiccome of the alder microsymbiont *Frankia alni* , *Scientific REPoRTS* ; 8(759): 2 .

Kaisa Hiippala, Hanne Jouhten Aki Ronkainen, Anna Hartikainen , Veera Kainulainen , Jonna Jalanka and Reetta Satokari .(2018). The Potential of Gut Commensals in Reinforcing Intestinal Barrier Function and Alleviating Inflammation ,*Mdpi* (*Molecular Diversity Preservation International and Multidisciplinary Digital Publishing Institute*) , Helsinki, Finland ; 10 (988) : 6 .

Karagoz Kenan and Kotan Recep. (2017). Identification and Characterization of Some *Streptomyces* Species Isolated from Symptomatic Potatoes in Erzurum Province of Turkey. *Eastern Anatolian Journal of Science* ; 3(1) :27.

Kavita Rani,Anupma Dahiya,Jeniffer Christeena Masih and Leela Wati.(2018),Actinobacterial Biofertilizers: An Alternative Strategy for Plant Growth Promotion ,*International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* , 7(9): 608 .

Kaya C., Tuna A. L, Dikilitas M, Cullu M. A. (2010). Responses of Some Enzymes and Key Growth Parameters of Salt-Stressed Maize Plants to Foliar and Seed Applications of Kinetin and Indole Acetic Acid. *Journal of Plant Nutrition* ; 33: 405-422.

Keabetswe Larona, Guang Cheng Shao, Jintao Cui, Jia Lu, Tebogo Stimela Kelly Dumorné.(2018).Biotechnological and Industrial Applications of Enzymes Produced by Extremophilic Bacteria. *Preprints* ; 2 :18 .

Khan.M.Mumtaz, ruqaya s m al-mas'oudi, f al-said and i.khan.(2013).Salinity effects on growth, electrolyte leakage chlorophyll content and lipid peroxidation in cucumber (*cucumis sativus* L). *international conference on food and Agricultural Science* ; 55(6) :29-30.

Koepff Joachim, Christian Carsten Sachs, Wolfgang Wiechert, Dietrich Kohlheyer, Katharina Nöh, Marco Oldiges and Alexander Grünberger.(2018). Germination and Growth Analysis of *Streptomyces lividans* at the Single-Cell Level Under Varying Medium Compositions. *Frontiers in Microbiology* ; 9 :1.

Krisana Lasudee, Shinji Tokuyama, Saisamorn Lumyong and Wasu Pathomaree. (2018).Actinobacteria Associated With Arbuscular Mycorrhizal Funneliformis spores, Taxonomic Characterization and Their Beneficial Traits to Plants: Evidence Obtained From Mung Bean (*Vigna radiata*) and Thai Jasmine Rice (*Oryza sativa*). *Frontiers in microbiology* ; 9: 1247.

Krishna R, Karkute SG, Ansari WA, Jaiswal DK, Verma JP1, Singh M .(2018). Transgenic tomatoes for abiotic stress tolerance: status and way ahead , *Biotech* ; 9(4): 1 .

Kuo CY, Fu SF, Chou FC, Chen RY and Chou JY. (2018). Phosphate-solubilizing characteristics of yeasts, *Mycosphere* ; 9(6): 1118.

l'isolement et l'identification biochimique des bactéries .3 ème Ed :77.

Laaziza Ben Khaled , El Mostafa Ouarraqi & Ezzedine Zid.(2007). Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique. *Acta Botanica Gallica*; 154(1): 101-116, DOI: 10.1080/12538078.2007.10516047 ISSN: 1253-8078 (Print) 2166-3408.

Labrada-Fabián Pérez- , Elsy Rubisela López-Vargas , Hortensia Ortega-Ortiz , Gregorio Cadenas-Pliego , Adalberto Benavides-Mendoza and Antonio Juárez-Maldonado.(2019). Responses of Tomato Plants under Saline Stress to Foliar Application of Copper Nanoparticles, *plants*, 8(6):1.

Lambert. J. (1975). Une technique de minéralisation rapide des végétaux

Lansing M Prescott, Joanne M Willey, Linda M Sherwood, Christopher J Woolverton.(2018). Microbiologie 5^{ème} édition : 554

Lanying Wang Mengyu Xing, Rong Di and Yanping Luo. (2015). Isolation, Identification and Antifungal Activities of *Streptomyces aureovorticillatus* HN6, *Journal of Plant Pathology & Microbiology* ; 6(6):3-4.

Larbi Belyagoubi .(2014). Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens, Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de la nature et de la vie , Université Aboubakr Belkaid-Tlemcen , page 91 .

Lasudee Krisana, Tokuyama Shinji, Saisamorn Lumyong and Wasu Pathomaree. (2018). Actinobacteria Associated With Arbuscular Mycorrhizal Funneliformis spores, Taxonomic Characterization and Their Beneficial Traits to Plants: Evidence Obtained From Mung Bean (*Vigna radiata*) and Thai Jasmine Rice (*Oryza sativa*). *Frontiers in microbiology* ; 9: 1247.

Latifa A. Al-husnan, Muneera D.F. Alkahtani.(2016). Molecular Identification of *Streptomyces* producing antibiotics and their antimicrobial activities. *Annals of Agricultural Sciences* ; 61 :251 .

Lawson A. Paul, Paola Mattarelli, Bruno Biavati, Wilhelm H. Holzapfel, Brian J.B. Wood.(2018). The Phylum *Actinobacteria* .In, *The Bifidobacteria* and Related organisms, Biology, Taxonomy, Applications. Elsevier Science :7.

Lecomte François.(2014). Variétés et systèmes de culture de tomate : les apports conjoints de la génétique et de l'agronomie agronomie environnement et sociétés ;4(2) :23.

Lee Ko-Eun, Arjun Adhikari, Sang-Mo Kang, Young-Hyun You, Gil-jae Joo, Jin-Ho Kim, Sang-Jun Kim and In-Jung Lee.(2019). Isolation and characterization of the High Silicate and Phosphate Solubilizing Novel Strain

Enterobacter Ludwigii GAK that promotes Growth in Rice Plants, Agronomy ; 9(144) :2.

Li Zhuang. (2018). Bacterial diversity and community structure in the rhizosphere of four Ferula species, Scientific Reports ; 8:1 .

Liang-Yu Chen, Hao-Tian Cui, Chun Su³, Feng-Wu Bai and Xin-Qing Zhao.(2019).Analysis of the complete genome sequence of a marine-derived strain Streptomyces sp. S063 CGMCC 14582 reveals its biosynthetic potential to produce novel anti-complement agents and peptides , PeerJ ; 7:5 .

M. A. Balkan, Rachel F. Fordyce & Peter G. Kennedy .(2017). Colonization by nitrogen-fixing Frankia bacteria causes short-term increases in herbivore susceptibility in red alder (Alnus rubra) seedlings,Oecologia :801-807.

M. Sreevidyaa,b, S. Gopalakrishnanb, H. Kudapab, R.K. Varshney. (2016) , Exploring plant growth-promotion actinomycetes from vermicompost and rhizosphere soil for yield enhancement in chickpea, Brazilian Journal of Microbiology , Brasil , Jerri Édson Zilli, 47: 86 .

Mabrouka Benhadj , Djamila Gacemi-Kirane , Taha Menasria , Khaoula Guebla , Zina Ahmane.(2018).Screening of rare actinomycetes isolated from natural wetland ecosystem (Fetzara Lake, northeastern Algeria) for hydrolytic enzymes and antimicrobial activities . Journal of King Saud University – Science : 1 .

Manaa Arafet, Hela Ben Ahmed, Samira Smiti.(2011). Salt-Stress Induced Physiological and Proteomic Changes in Tomato (Solanum lycopersicum) Seedlings

Manteca Ángel and Yagüe Paula. (2018). *Streptomyces* Differentiation in Liquid Cultures as a Trigger of Secondary Metabolism. antibiotics ; 7 :1.

Marcin Chodak , Marcin Gołębiowski , Justyna Morawska-Płoskonka ,Katarzyna Kuduk & Maria Niklińsk .(2015). Soil chemical properties affect the reaction of forest soil bacteria to drought and rewetting stress, Annals of Microbiology ; 65:1627.

Marker, A.F.H., E.A. Nusch, H. RAI and B. Riemann.(1980). The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods:

Conclusions and recommendations, Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.;14 : 91-106.

Md. Nazmul Hossain and Md. Mahbubur Rahman. (2014). Antagonistic Activity of Antibiotic Producing Streptomyces sp. against Fish and Human Pathogenic Bacteria , Brazilian Archives of Biology and Technology; 57(2): 235.

Messaoudi Asmaa .(2013).Contribution à l'étude de l'effet des extraits phénoliques des plantes et microorganismes antagonistes sur la croissance de deux champignons :Verticilliumdahliae et Fusariumoxysporum. Université Aboubekr Belkaid-Tlemcenfaculté Des Sciences. :8.

Messaoudi, 2013

Mohammadipanah Fatemeh and Wink Joachim. (2016). Actinobacteria from Arid and Desert Habitats: Diversity and Biological Activity,Frontiers in Microbiology ; 6: 2.

Mohammadipanah Fatemeh and Wink Joachim. (2016). Actinobacteria from Arid and Desert Habitats: Diversity and Biological Activity,Frontiers in Microbiology ; 6: 2.

Mohite.B.(2013). Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth, Journal of Soil Science and Plant Nutrition ; 13(3), 638-639 .

Mounira Alkama.(2014). Etude de quelques activités enzymatiques des actinomycètes isolé de deux écosystèmes extrêmes dans le sud Algérien, mémoire fin d'étude, Faculté des science de la nature et de la vie, université de Constantine ; 1 :32-33 .

Mounira Ben Farhat, Ines Boukhris and Hichem Chouayekh.(2015). Mineral phosphate solubilization byStreptomyces sp.CTM396 involves the excretion of gluconic acid and is stimulated by humic acids, FEMS Microbiology Letters ; 362(5):5-6.

Muhammad Ali Akond, Mst Nusrat Jahan, Nigar Sultana, Farhana Rahman.(2016). Effect of Temperature, pH and NaCl on the Isolates of

Actinomycetes from Straw and Compost Samples from Savar, Dhaka, Bangladesh, American Journal of Microbiology and Immunology ; 1(2):11-13.

N. P. Chavan, R. Pandey, N. Nawani, R. K. Nanda, G. D. Tandon & M. B. Khetmalas.(2016). Biocontrol potential of actinomycetes against *Xanthomonas axonopodis* pv. *punicae*, a causative agent for oily spot disease of pomegranate. Journal Biocontrol Science and Technology ;26(3) : 1.

Naika Shankara,Joep van Lidt de Jeude ,Marja de Goffau , Martin Hilmi and Barbara van Dam .(2005).La culture de la tomate ; production transformation et commercialisation ; 5 :9 .

Nasser J.Y.Sholi.(2012). Effect of Salt Stress on Seed Germination, Plant Growth, Photosynthesis and Ion Accumulation of four Tomato Cultivars.American Journal of Plant Physiology ;7(6) :269-675.DOI :10.3923/ajpp.

Navarro-Redenas A ;Pérez-Gilabert M ;Torrente P ;Morte A .(2012). The role of phosphorus in the ectendomycorrhiza continuum of desert truffle mycorrhizal plants. Mycorrhiza ; 22(7) :565-575.

Nooshin Khandan Dezfully ; Janardhana Gottravalli Ramanayaka .(2015). Isolation, Identification and Evaluation of Antimicrobial Activity of *Streptomyces flavogriseus*, strain ACTK2 from Soil Sample of Kodagu, Karnataka State (India), Jundishapur Journal of Microbiology ; 8(2):4 .

Obeng Forson Akua, Pokuaa Belinda Gyasi, Michael Olu-Taiwo, and F. Patrick Ayeh-kumi.(2018). Microbial Assessment of Tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) Sold at Some Central Markets in Ghana, BioMed Research International : 7 .

Olivier Goujard et Thomas Proffit, K+S KALI France.(2013). Potassium et Magnésium pour une meilleure tolérance au stress hydrique. Journées COMIFER- GEMAS : 8.

Oluwaseyi Samuel Olanrewaju ,Olubukola Oluranti Babalola.(2019).*Streptomyces*: implications and interactions in plant growth promotion .Applied Microbiology and Biotechnology.Springer.103(3):1179-1188.

Onet Aurelia, Teusdea Alin C., Onet Cristian. (2013). Relationships between soil physico-chemical properties and bacteria counts in OAK forest soil , *Natural Resources and Sustainable Development* , 367–372 .

Outéndé Toundou.(2016). Evaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (*Zea mays* L. Var. Ikenne) et de la tomate (*Lycopersicum esculentum* L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo. Thèse de doctorat , université de de lome en cotutelle avec l'universite de limoges, Faculté des Sciences Laboratoire de Physiologie et de Biotechnologies Végétales :141.

Palacios-Arriaga, A. H; Rincón-Enríquez, G.; Evangelista-Martínez, Z.; Gómez-Leyva, J.F.; Quiñones-Aguilar, E.E.(2018). Actinomycetes isolated from the from the rizosphere of nardo (*polianthes tuberosa*) from the state of morelos, méxico. *Agro productividad*; 11(8):62.

Pallavi Kumari Punam.(2018). Role of different carbon Source on Phosphate Solubilisation by Psycrotolerant Isolatete. *International Journal of Current Microbiologie and Applied Sciences*, India ;7(10) :2597.

Pandey Deepak and Chayanika putatunda.(2018). Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from the Rhizosphere of potato plant . *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* ;7(1) :968.

Parvaiz Ahmad , Elsayed Fathi Abd_Allah, Mohammed Nasser Alyemeni, Leonard Wijaya, Pravej Alam, Renu Bhardwaj & Kadambot H. M. Siddique .(2018). Exogenous application of calcium to 24-epibrassinosteroid pre treated tomato seedlings mitigates NaCl toxicity by modifying ascorbate–glutathione cycle and secondary metabolites, *Scientific Reports* ; 8:1.

Patil.V.S.(2019). Isolation of Indole acetic acid producing bacteria from digestereffluent and their effect on plant growth promotion, *International Research Journal of Biological Sciences* ; 8(1):1.

Paweena Suksaard , Wasu Pathom-aree and Kannika Duangmal.(2017). Diversity and Plant Growth Promoting Activities of Actinomycetes from Mangroves; *44(4): 1210-1223 .*

Pei-Pei Xue, Yolima Carrillo, Vanessa Pino, Budiman Minasny & Alex. B. McBratney .(2018). Soil Properties Drive Microbial Community Structure in a Large Scale Transect in South Eastern Australia ,Scientific Reports ; 8:7- 8 .

Philippe Normand, Thanh Van Nguyen, Kai Battenberg, Alison M. Berry, Brian Vanden Heuvel, Maria P. Fernandez and Katharina Pawlowski .(2017). Proposal of 'Candidatus Frankia californiensis', the uncultured symbiont in nitrogen-fixing root nodules of a phylogenetically broad group of hosts endemic to western North America , International Journal of Systematic Evolutionary Microbiology ,67:3706 .

Polpass Arul Jose1 & Bhavanath Jha (2017). Intertidal marine sediment harbours Actinobacteria with promising bioactive and biosynthetic potential : 1

Priyanka SB.(2019). Isolation, Purification and Characterization of Pectinase Enzyme from *Streptomyces Thermocarboxydus* Department of Biotechnology. Journal of Biotechnology & BioResearch ;1(5):1-2.

Qais Yusuf M. Abdullah, Maher Ali. Al-Maqtari, Ola, A A. Al-Awadhi, Abdullah Y. Al-Mahdi.(2016). New Records of Streptomyces and Non Streptomyces Actinomycetes Isolated from Soils Surrounding Sana'a High Mountain, International Journal of Research in Pharmacy and Bioscience; 3(3): 24.

Rajeev Kumar Gupta, Vijay Kumar Ravi Kumar Gundampati, Manisha Malviya, Syed Hadi Hasan, Medicherla V. Jagannadham. (2017). Biosynthesis of silver nanoparticles from the novel strain of Streptomyces sp. BHUMBU-80 with highly efficient electroanalytical detection of hydrogen peroxide and antibacterial activity, Journal of Environmental Chemical Engineering ; 5 :5627.

Ranganathan Kapilan and Thavaranjit A. C. (2015). Promotion of vegetable seed germination by soil borne bacteria , Archives of Applied Science Research ; 7 (8):18 .

Référence phosphate :

Rentnowati Yuliana, Sukarti Molejopawiro, Tjut Sugandawaty Djohan, Endang Sutariningsih Soetarto.(2018). Antimicrobial activities of actinomycete isolates from rhizospheric soils indifferent mangrove forests of Torosiaje, Gorontalo, Indonesia. Biodiversitas ;19(6) : 2196.

Riviro R.M, Teresa C.M, Mittler R, Francisco Rubio, F. Garcia, Sanchez. F and Martinez.V.(2014). The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants *Plant. Cell Environment* ;37 :1059-1073.

Rouiller J, Souchier B, Bruckert S, Feller Christian, Toutain E, Vedy J.C. (1994). Méthodes d'analyses des sols. In : Bonneau M. (ed.), Souchier B. (ed.) *Pédologie : 2. Constituants et propriétés du sol*. Paris : Masson: 619-654.

Saker Rafika.(2015).Recherche de nouveaux taxons d'actinobactéries halophiles des sols sahariens et potentialités antagonistes.Thèse de Doctorat,Université de Ferhat Abbas Sétif 1.Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie ; p5.

Salam Nimaichand, Keishing Tamrihao, Ling-Ling Yang, Wen-Yong Zhu, Yong-Guang Zhang, Li Li, Shu-Kun Tang, Debananda S Ningthoujam² and Wen-Jun Li¹.(2013). *Streptomyces hundungensis* sp. nov., a novel actinomycete with antifungal activity and plant growth promoting traits. *The Journal of Antibiotics* ;66 :205-206.

Sánchez .(2019). Agricultural and physiological Responses of tomato plants Grown in Different Soilless Culture systems with saline Water under Greenhouse Conditions, *Scientific Reports* ; 9:1 .

Seipke F.Ryan, Kaltenpoth Martin and Hutchings I.Matthew.(2011). *Streptomyces* as symbionts: an emerging and widespread theme. *FEMS Microbiology Reviews* ;36:863.

Selami Nawel.(2015).Etude des Associations Symbiotiques de *Retama monosperma* : Approches Morphologique, Anatomique et Ultrastructurale, Caractérisation Moléculaire des Isolats, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, thèse de Doctorat, Faculté des Science de la Nature et de la Vie Département de Biotechnologie, 7 .

Shan Wenna, Ying Zhou, Huihui Liu, and XiaominYu. (2018). Endophytic Actinomycetes from Tea Plants (*Camellia sinensis*): Isolation, Abundance, Antimicrobial, and Plant-Growth-Promoting Activities. *BioMedResearch ; International* :1.

Shankara, J., 2005. Recombinant glutathione –S- transterase a major allergen form alternaria clinical use allergy patients. *Molecular Immonology* ;43 (12) : 1927-1932.

Sharnali Das, Tauhidur Rahman Nurunnabi, Rehana Parveen, Amatun Nur Mou Md. Emdadul Islam, Kazi Mohammad Didarul Islam and S.M. Mahbubur Rahman.(2019). Isolation and Characterization of Indole Acetic Acid Producing Bacteria from Rhizosphere Soil and their Effect on Seed Germination, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* ; 8(3): 1238.

Sharon.J.A,Hathwaik.L.T,Glenn.G.M,Imam.H.S and Lee.C.C.(2016).Isolation of efficient phosphate solubilizing bacteria capable of enhancing tomato plant growth. *Journal of Soil Science and plant Nutrition, USA* ;16(2) :526.

Sheng Qin, Wen-Jun Li, and Wael N. Hozzein . (2016) .Editorial: Actinobacteria in Special and Extreme Habitats: Diversity, Function Roles, and Environmental Adaptations, *Front Microbiol.*; 7: 1415.

Simo Claude, Suh Christopher, Mbamba Bessong Alain Vianey, Nyobe Nken Brice Gatien, Langsi Dobgangha Jacob, Djocgoue Pierre François, And Taffouo Victor Desire.(2019). Essential oils as control agents against *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici in *Lycopersicon esculentum* used under in vitro and in vivo conditions, *International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research* :55-56.

Snoussi S A.(2010) . Étude de base sur la Tomate en Algérie. Rapport de mission .FAO. Rome : 53

Steven S. Perakis .(2019). Nitrogen-fixing red alder trees tap rock-derived nutrients, *Journal information: Proceedings of the National Academy of Sciences Provided by Oregon State University* ;6 :4-7.

Sudhir U. Meshram.(2013). Rhizobacteria as biocontrol agents .*In, Applied Biotechnology* :99.

Sudipta Roy.(2018). Biotechnological Significance of Endophytic Actinobacteria an Intensive and Emerging Pursuance, *Advances in biotechnology and microbiology* , India ; 9 (4) : 2 .

Suhayda C.G., R.E. Redman, B.L. Harvy & A.L. Cipywnk.(1992). Comparative response of salt cultivated and wild barley species to salinity stress and calcium supply. *Crop. Sci*; 32: 154-163.

Suleman Sumera Yasmin , Maria Rasul,Mahreen Yahya, Babar Manzoor Atta, Muhammad Sajjad Mirza.(2018). Phosphate solubilizing bacteria with glucose dehydrogenase gene for phosphorus uptake and beneficial effects on wheat,*Plos One* ;13(9) :10-11.

Sumaira Anwar, Basharat Ali and Imran Sajid. (2016) . Screening of Rhizospheric Actinomycetes for Various In-vitro and In-vivo Plant Growth Promoting (PGP) Traits and for Agroactive Compounds.*Frontiers in Microbiology* ; 7 :2 .

Taleisnik-Gertel E., Tal M. (1986). Potassium utilisation and fluxes in wild salt-tolerant relatives of the cultivated tomato. *Physiol. Plant.*; 67: 415–420.

Trenozhnikova Lyudmila and Azizan Azliyati.(2018). Discovery of Actinomycetes from Extreme Environments with Potential to Produce Novel Antibiotics.*Central Asian Journal of Global Health* ; 7(1) :1.

Tyurin P.Anton, Vera A. Alferova, and Vladimir A. Korshun.(2018) .Chemical Elicitors of Antibiotic Biosynthesis in Actinomycetes . *microorganisms* ; 6(52) :2

VSV RAO , A Sumathi, A Ratna, A Ugala Sai Sri, and A Divya.(2019).Biological and Chemical Sciences

Wang Chengqiang, Yun Wang, Jinjin Ma, Qihui Hou, Kai Liu and Yanqin Ding. (2018) . Screening and Whole-Genome Sequencing of Two Streptomyces Species from the Rhizosphere Soil of Peony Reveal Their Characteristics as Plant Growth-Promoting Rhizobacteria . *Biomed Research International* : 1-2.

Wang Zhen, Guoyi Xu, Pengda Ma, Yanbing Lin, Xiangna Yang and Cuiling Cao. (2017). Isolation and Characterization of a Phosphorus-Solubilizing Bacterium

Wenna Shan,Ying Zhou, Huihui Liu, and Xiaomin Yu .(2018). Endophytic Actinomycetes from Tea Plants (*Camellia sinensis*): Isolation, Abundance, Antimicrobial, and Plant-Growth-Promoting Activities , *Journal of BioMed Research International* ,Fujian, China : 1

Xiaolong Huang, Fandong Kong, Shuangqing Zhou, Dongyi Huang, Jiping Zheng and Weiming Zhu.(2019). *Streptomyces tirandamycinicus* sp.nov., a Novel Marine Sponge-Derived Actinobacterium With Antibacterial Potential Against *Streptococcus agalactiae*, *Frontiers in microbiology* ,10: 8 .

Xiuling Wang, Zhongke Wang, Ping Jiang, Yaling He, Yudi Mu, Xinhua Lv & Yacine Goudjal, Omrane Toumatia, Nasserline Sabaou, Mustapha Barakate, Florence Mathieu, , Abdelghani Zitouni.(2013). Endophytic actinomycetes from spontaneous plants of Algerian Sahara: indole-3-acetic acid production and tomato plants growth promoting activity. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, Springer Verlag, 29 (10): 1822.

Yaojun Tong, Helene L. Robertsen, Kai Blin, Andreas K. Klitgaard , Tilmann Weber, Sang Yup Lee.(2019). CRISPR-BEST: a highly efficient DSB-free base editor for filamentous actinomycetes, preprint : 3 .

Youmna HAJJAM.(2017). Contribution À L'évaluation Des Performances Des Rhizobia Nodulant La Fève (*Vicia Faba* L.) Au Maroc À Solubiliser Le Phosphate Inorganique ,Thèse De Doctorat,PES Faculté des Sciences, Rabat,Universite mohamed v :7.

Zander R. Human, Kyuho Moon, Munhyung Bae, Z. Wilhelm de Beer, Sangwon Cha ,Michael J. Wingfield Bernard Slippers, Dong-Chan Oh and Stephanus N. Venter.(2016). Antifungal *Streptomyces* spp. Associated with the Infructescences of *Protea* spp. in South Africa, *Frontiers in Microbiology* ; 7: 1657.

Zella Lakhdar, Dalila Smadhi.(2009). Micro-Irrigation de la Tomate sous serre. these de doctorat, université Mohamed khider-Biskra . Faculté des sciences : 9.

Zerizer Habiba.(2014). Les genres d'actinomycètes (hors mycobactéries) impliqués dans les infections dans la région de Constantine, thèse de Doctorat LMD, Université de Constantine, Faculté des Sciences de la Nature :8

Zhiwen Wei, Xiaolong H, Xunhang Li, Yanzhou Zhang, Leichun Jiang, Jing Li, Zhengbing Guan, Yujie Cai, Xiangru Liao.(2017). The rhizospheric microbial community structure and diversity of deciduous and evergreen forests in Taihu Lake area, China , a. *Plosone* ; 12(4):2 .

Zid E., Grignon C. (1986). Effets comparés de NaCl, KCl et Na₂SO₄ sur la croissance et la nutrition minérale de jeunes *Citrus aurantium* L. *Oecol. Plant*; 7 (4):407–416.

Zothanpuia, Ajit K. Passari,¹ Preeti Chandra, Vincent V. Leo, Vineet K. Mishra, Brijesh Kumar, and Bhim P. Singh.(2017). Production of Potent Antimicrobial Compounds from *Streptomyces cyaneofuscatus* Associated with Fresh Water Sediment. *Frontiers in microbiology* ; 10(9) :1681.

Résumé :

Cette étude nous a permis d'isoler à partir du sol rhizosphérique de *Marrubium vulgare* six morphotypes bactériens dont deux (S1 et S4) appartiennent au genre *Streptomyces*. Leur caractérisation biochimique a montré qu'ils sont à Gram positif, incapables de dégrader le citrate de Simmons, possèdent la catalase et tolèrent jusqu'à 75mM de NaCl. Ils sont aussi capables de produire l'auxine (Acide Indole Acétique) et de solubiliser le phosphate inorganique. Ces deux isolats ne présentent aucun effet sur la germination des graines de tomate et aucune activité inhibitrice vis-à-vis des microorganismes testés.

L'étude de l'effet de l'inoculation *In vivo* des plants de tomate par les deux isolats en contrainte de salinité (25 et 50mM de NaCl) montre qu'en comparaison avec les plants non inoculés, leurs croissance, teneur relative en eau, teneurs des pigments chlorophylliens et des minéraux (K et Na) sont significativement meilleures, leurs tissus végétaux sont moins endommagés et leur taux de mortalité est plus faibles.

Mots clés :

Sol rhizosphérique ; *Streptomyces* ; caractérisation biochimique ; NaCl ; production d'auxine ; solubilisation phosphate ; inoculation ; tomate ; croissance.

Abstract

In the present study we isolated six bacterial morphotypes from *Marrubium vulgare* rhizospheric soil of, two of them (S1 and S4) belong to *Streptomyces* genus. Their biochemical characterization has shown that they are Gram positive, unable to degrade Simmons citrate, possess the catalase enzyme and tolerate up to 75mM of NaCl. They are also capable of producing auxin (Indole-3-acetic acid) and solubilizing inorganic phosphate. These two isolates have no effect on tomato seed germination and no inhibitory activity against the tested microorganisms.

In vivo inoculation effect of tomato plants by the two isolates under salinity constraint (25 and 50mM NaCl) showed, that their growth, relative water content, chlorophyll pigment and mineral (K and Na) contents are significantly better, their plant tissues are less damaged and their mortality rate is lower compared to uninoculated plants.

Keywords :

Rhizospheric soil; *Streptomyces*; biochemical characterization; NaCl; auxin production; phosphate solubilization; inoculation; tomato; growth

ملخص :

سمحت لنا هذه الدراسة بعزل ستة أشكال بكتيرية من التربة للمريوت، اثنان منها (S1 و S4) ينتميان إلى جنس *Streptomyces*. أظهر توصيفها الكيميائي الحيوي أنها إيجابية الجرام ، غير قادرة على تحطيم سترات سيمونز ، وتمتلك الكاتلاز وتتحمل ما يصل إلى 75 ملي مول من كلوريد الصوديوم. كما أنها قادرة على إنتاج الأوكزولين (حمض إندول الأسيتيك) وإذابة الفوسفات غير العضوي. هذه العزلات ليس لها أي تأثير على إنبات بذور الطماطم ولا يوجد نشاط مثبط مقابل الكائنات الحية الدقيقة المختبرة.

أظهرت دراسة تأثير التلقيح في نباتات الطماطم في الجسم الحي بواسطة عزلتين تحت إجهاد الملح (25 و 50 ملي كلوريد الصوديوم) أنه بالمقارنة مع النباتات غير الملقحة ، فإن نموها ومحتواها النسبي من الماء، الصبغات الضوئية و المعادن (البوتاسيوم و الصوديوم) أفضل بكثير ، وأنسجة النباتات أقل تضررا ومعدل الوفيات أقل.

الكلمات المفتاحية:

التربة الجوفية. *Streptomyces* وصف الكيمياء الحيوية. كلوريد الصوديوم. إنتاج أوكزولين. ذوبان الفوسفات. التلقيح. الطماطم. النمو.