

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

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

جامعة عمار ثليجي - الاغواط -
كلية العلوم
قسم العلوم الفلاحية



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Thème

*Screening de quelques isolats d'actinomycètes
endophytes pour la production d'ACC-
désaminase, de phytohormones et évaluation de
l'effet PGPB sur des plantules de tomate.*

Présenté(e) par : AZOUAOU Karima

Le : 16/09/2014

Encadré (e) par : M.GOUDJAL Yacine. ; Maître de conférences (B)

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon encadreur Monsieur GOUDJAL Yacine pour toute l'aide qu'il m'a apporté, ainsi que ses conseils et ses directives bénéfiques toute au long de l'année.

Sans oublier Mme GOUDJAL-ZAMOUM Meyada notre co-encadreur qui a aussi contribué à la réalisation de mon travail par ses efforts et son appuie.

Je tiens aussi à remercier ceux qui m'ont aidé dans ma recherche et qui n'ont pas hésité à me faire part de leur connaissance.

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

À mes très chers parents qui m'ont soutenus tout au long de mes études par leurs prières et encouragements.

À mes sœurs et frères, pour leur soutien et leur compréhension.

À tous mes amis ainsi tous mes camarades de la section 2eme année Master protection des végétaux et de l'environnement .

Screening de quelques isolats d'actinomycètes endophytes pour la production d'ACC-désaminase, de phytohormones et évaluation de l'effet PGPB sur des plantules de tomate.

Résumé

Un total de quarante souches d'actinomycètes endophytes ont été testé dans cette étude, ces souches ont été déjà isolées de différentes plantes spontanées d'une zone aride de la région d'El- Khneg (Laghouat) et préidentifiées, la préidentification de ces isolats à montrer qu'ils appartiennent au genre *Streptomyces* et non-*Streptomyces*. L'ensemble des souches d'actinomycètes ont été testé *in vitro* pour l'activité d'ACC désaminase, la production d'AIA sur bouillon Yeast extract-Tryptone (YT) additionnée de L-Tryptophane était étudié pour Cinq isolats, ainsi que l'étude de l'effet PGPB *in vivo* des isolats d'actinomycètes pour la promotion de la croissance des plantules de tomate exprimé en taux de germination, la longueur de la racine et la tige et le poids frais et le poids sec des plantules de tomate. L'existence d'une activité d'ACC désaminase est observée chez trente-trois isolats d'actinomycètes, la meilleur production est enregistré par *Streptomyces* sp.CA2; *Nocardia* sp. CA7; *Streptomyces* sp.SN8; *Streptomyces* sp.PH1. la totalité des isolats produisent une concentration d'AIA supérieur à 10 µg/ml. La meilleur production est enregistré par la souche *Streptomyces* AA2 (115.9,µg/ml). Le taux de germination le plus élevé arrive à 50 % par les isolats d'actinomycètes endophytes : *Streptomyces* spp.SN3 et AP4. En sol stérilisé et 87% par *Streptomyces* sp. AP4 en sol non stérilisé. Pour la promotion de la partie aérienne et racinaire la meilleur souches est *Streptomyces* sp. CA2 avec 90 mm pour la tige et 63 mm pour la racine en sol stérilisé et en sol non stérilisé l'isolat *Streptomyces* sp. AR2 a enregistré le meilleur résultat pour la promotion de la tige avec une valeur de 82,25mm, tandis que *Streptomyces* sp.SN2 est la meilleur souches pour la promotion de la partie racinaire. *Streptomyces* sp. CA2 a enregistré le meilleur résultat pour la promotion du poids frais et sec des plantules de tomate en sol stérilisé, en sol non stérilisé *Streptomyces* sp.SN3 représente une valeur supérieur en poids frais tandis que *Streptomyces* sp.AR2 est la meilleur souche pour la promotion du poids sec.

Mots clés: Actinomycètes, Screening, ACC désaminase, l'AIA, effet PGPB, promotion de la croissance des plantules, Tomate

فحص بعض معزولات اكتينومييسات اندوفيت لانتاج *ACC désaminase* , هرمون النمو النباتي و تقييم تأثير PGPB على شتلات الطماطم.

ملخص

مجموع ما يقارب اربعين اكتينومييسات اندوفيت تم تجربتها في هذه الدراسة , حيث تم عزل اكتينومييسات من نباتات عفوية صحراوية لمنطقة “ الخنق ” الاغواط. ما قبل تحديد الهوية, اثبتت الدراسة ان اغلبية المعزولات تنتمي الي النوع ستريبتومييساس و غير ستريبتومييساس. كل معزولات ستريبتومييساس تم اختبارها في المخبر لنشاط *ACC désaminase*. تم دراسة انتاج *AIA* خمس فصائل في الوسط *Yeastextract-Tryptone (YT)* مضاف *L-Tryptophane* . اضافة الى دراسة اثر *PGPB* لبعض فصائل اكتينومييسات لزيادة نمو نبتة الطماطم و التي تتمثل في نسبة الاستنبات و طول الجذور و الساق لنباتات الطماطم. تم ملاحظة وجود نشاط *ACC désaminase* عند 33 اكتينومييسات, أحسن إنتاج تم تسجيله من طرف *Nocardiasp.CA7* ; ستريبتومييساس . *CA2;SN8;PH1 spp*. بالنسبة لهرمونات النمو النباتية فان اغلبية المعزولات كانت لها القدرة علي افراز هرمون *AIA* بنسبة تفوق 10 $\mu\text{g/ml}$, أحسن إنتاج تم تسجيله من طرف ستريبتومييساس *AA2* (115.9, $\mu\text{g/ml}$). نسبة استنبات الاعلى تصل إلى نسبة 50% من طرف ستريبتومييساس *SN3* و *AP4* في التربة المعقمة و في التربة غير المعقمة 87% بالنسبة للمعزولة *AP4*. المعزولة *CA2* هي أحسن معزولة لزيادة نمو الساق والجذور في التربة المعقمة , المعزولة *AR2* سجلت أحسن نتيجة في زيادة نمو الساق بنسبة 82.25 ميليمتر في التربة غير المعقمة , في حين المعزولة *SN2* هي أحسن فصيلة لزيادة في الجذور. سجلت المعزولة *CA2* أحسن نتيجة لزيادة في الوزنين الجاف والاخضر لنباتات الطماطم في تربة معقمة و غير معقمة. في حين المعزولة *SN3*. سجلت أحسن نتيجة لزيادة في الوزن الاخضر و المعزولة *AR2* افضل معزولة لزيادة في الوزن الجاف و هذا بالنسبة للتربة غير معقمة .

كلمات المفاتيح: اكتينومييسات, الفحص, *ACC désaminase*, حمض اندول-3-استيك, تأثير PGPB, زيادة نمو النباتات, الطماطم.

Azouaou Karima.

Screening of some endophytic actinomycetes for the production of ACC- deaminase, phytohormones and the evaluation of PGPB effect on tomato plants.

Summary

A total of 40 strain endophytic actinomycetes were tested in this study, these strains were already isolated from different Saharian spontaneous plants in the region of El-Khneg (Laghouat) and Preliminary identified. Preliminary identification of these strains has showed that they belonged to the *Streptomyces* genus and *nonStreptomyces*. The total of the strain of actinomycetes were tested *in vitro* for the ACC deaminase activity. The screening for IAA production was carried out on Yeast extract-Tryptone (YT) broth amended with L-Tryptophan For five isolates, also the effect study of PGPB *in vivo* of actinomycetes strains for the promotion growth of tomato plants which is expressed by the rate of germination, the length of root and stem, the fresh weight and dry weight of tomato plants. The presence of ACC deaminase activity is observed in thirty three strains, the best production is recorded by *Streptomyces* sp.CA2; *Nocardia* sp. CA7; *Streptomyces* sp.SN8; *Streptomyces* sp.PH1. the whole of isolates produce a concentration of IAA upper than 10 µg/ml. The best production is registered by *Streptomyces* AA2 (115.9,µg/ml). germination rate the most elevated reach 50 % by the endophytic actinomycetes : *Streptomyces* spp.SN3 et AP4. In sterile soil and 87% by *Streptomyces* sp. AP4 in non sterile soil. For the promotion of the root and the stem, the strain *Streptomyces* sp. CA2 is the best strain with 90 mm for the stem and 63 mm for the root in sterile soil and in the non sterile soil *Streptomyces* sp. AR2 registered the best result for the promotion of the stem with 82,25mm value. Whereas *Streptomyces* sp.SN2 is the best for the promotion of the root. *Streptomyces* sp. CA2 recorded the best result for the promotion of fresh weight and dry weight of tomato plants in sterile soil, in the non sterile soil *Streptomyces* sp.SN3 represent the superior value in fresh weight, while *Streptomyces* sp. AR2 is the best strain for the promotion of dry weight.

Keywords: Actinomycetes, Screening, ACC deaminase, IAA, PGPB effect, Promotion of growth of plants, Tomato.

Liste des tableaux	Page
Tableau 1. Les principales Caractéristiques du cultivar Marmande.	19
Tableau 2. Production de l'ACC désaminase par les différentes souches d'actinomycètes.....	26

Liste des figures	Page
Figure 1. Culture des disque des souches d'actinomycètes dans le bouillon YT.....	19
Figure 2. Incubation en shaker.....	20
Figure 3. Bouillon YT après incubation.....	20
Figure 4. Centrifugation à 4000 rpm pendant 30 mn du bouillon YT.....	20
Figure 5. Dosage de l'AIA produit par les isolats d'actinomycètes.....	21
Figure 6. Désinfection des semences de tomate.	22
Figure 7. Trempage des semences de tomate dans les suspensions de spores.	23
Figure 8. Dispositif expérimental.....	23
Figure 9. Screening des souches d'actinomycètes pour la production de l'ACC désaminase sur le milieu DF Salt minimal medium.	29
Figure 10. Production de l'acide indole-3-acétique par les actinomycètes endophytes.....	30
Figure 11. Production de l'AIA par les souches <i>Streptomyces</i> spp. indiqué par la coloration rouge.....	31
Figure 12. Le Taux de germination obtenus par les différents traitements de semences de (cv. Marmande) en sol stérilisé et non stérilisé.....	32
Figure 13. Promotion de la croissance de la longueur des tiges et des racines des plantules de tomate en sol stérilisé.....	34
Figure 14. Promotion de la croissance de la longueur des tiges et des racines des plantules de tomate en sol non stérilisé.	35
Figure 15. Le Poids frais et le poids sec des plantules de tomate en sol stérilisé.....	37
Figure 16. Le poids frais et le poids sec des plantules de tomate en sol non stérilisé.....	38

Liste des abréviations

ACC désaminase : la 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate

AIA: Acide indole-3-acétique

cv : Cultivare

FAO: Food and Agriculture Organization.

HCN: hydrogen cyanide

ha : hectar.

ITCM : institut des techniques des cultures maraîchères

ISR: Résistance Systémique Induite

JA: Acide jasmonque

MADR: Ministère de l'agriculture et du développement rurale.

PGPR: *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*

PGPB: *Plant Growth Promoting Bacteria*

Protéines PR: Pathogenesis- Related- Proteins

Qx : quintaux

SAR: *Systemic Acquired Resistance* ou Résistance Systémique Acquise

SA: Acide Salicylique

UFC : Unité formatrice de colonies.

YT: Yeast extract-Tryptone

Sommaire	Page
Résumé.....	I
ملخص.....	II
Abstract.....	III
Dédicace.....	IV
Remerciements.....	V
Sommaire	VI
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des figures.....	IX
Liste des abréviations.....	X
Introduction.....	1
Chapitre I. Revue bibliographique	
I.1. Généralités sur la tomate.....	3
I.1.1. Historique et origine de la tomate.....	3
I.1.2. Taxonomie.	4
I.1.3. Description botanique de la tomate	4
I.1.4. Biologie	5
I.1.5. Importance de la tomate en Algérie	6
I.1.6. Types de croissance et variétés de tomate maraichère en Algérie	6
I.1.7. Exigences écologiques de la culture de tomate.....	7
I.2. Les Actinomycètes.....	7
I.2.1. Définition et caractéristiques	7
I.2.2. Morphologie	9
I.2.3. Ecologie	9
I.2.4. Taxonomie	10
I.3. Les Rhizobactéries Promotrices de la Croissance des Plantes (PGPR)	11
I.3.1. Les Mécanismes d'action des bactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPB)	12
I.3.2. Production de molécules phytostimulantes	13
I.3.3. Production du 1-Aminocyclopropane-1-carboxylique (ACC désaminase).....	14
	VI

I.3.4. Fixation de l'Azote atmosphérique.....	16
I.3.5. Renforcement des mécanismes de défense de la plante.....	17
Chapitre II. Matériel et Méthodes	
II.1. Matériel	18
II.1.1. Matériel végétal	18
II.1.2. Matériel biologique	18
II.1.2.1. Les souches bactériennes	18
II.2. Méthodes	19
II.2.1. Production de l'acide 1-Aminocyclopropane-1-carboxylique désaminase (ACC désaminase)	19
II.2.2. Production de l'acide indole-3-acétique (AIA)	19
II.2.3. Promotion de la croissance des plantules de tomate (Effet PGPB) <i>in vivo</i>	21
II.2.3.1. Conduite de l'essai PGPB <i>in vivo</i>	21
II.2.3.2. Préparation de la suspension de spores.....	22
II.2.3.3. Désinfection et bactérisation des semences	22
II.2.3.4. Dispositif expérimental	23
II.2.3.4.1. Semis des graines et conditions de culture	24
II.2.3.5. Analyses statistiques.....	24
Chapitre III. Résultats et Discussions	
III.1. Production de l'ACC désaminase	25
III.2. Production de l'acide indole-3-acétique (AIA)	29
III.3. Résultats de l'effet PGPB <i>in vivo</i>	31
III.3.1. Le taux de germination	31
III.3.2. La longueur de la partie aérienne et de la partie racinaire.....	32
III.3.3. Le poids frais et le poids sec des plantules de tomate.....	35
Conclusion et perspectives	39
Références bibliographiques	41

Introduction

L'agriculture moderne a permis d'augmenter la production agricole, mais l'agriculture industrielle intensive est de plus en plus critiquée en raison des dégradations de l'environnement dont elle est parfois responsable. D'un point de vue environnemental, ces dégradations s'observent en particulier par la pollution des eaux due à l'utilisation massive d'engrais azotés et par la pollution des sols par les produits phytosanitaires. Toutefois, ces dégradations environnementales, liées à l'agriculture industrielle, au développement industriel et au fort accroissement de la population mondiale, ont soulevé de nombreuses questions et entraîné le développement, voire l'apparition de nouvelles préoccupations pour la science agronomique (dépollution, traitement des déchets, aménagement rural, lutte biologique sous diverses formes et notamment l'utilisation de micro-organismes phytobénéfiques) (Boyer, 2008).

La Rhizosphère est le volume de sol entourant les racines et placé sous leur influence directe. Cet environnement constitue un écosystème complexe où de multiples interactions s'établissent entre la plante, le sol, et les microorganismes (Hinsinger *et al.*, 2009). Ces interactions conditionnent le développement et la croissance de la plante. Dans la rhizosphère, les bactéries sont sans doute les microorganismes les plus abondants (Atlas et Bartha 1998; Bertrand *et al.*, 2009). Cet environnement est l'un des plus riches en termes d'effectifs et de diversité microbienne (Gans *et al.*, 2005; Roesch *et al.*, 2007). Par exemple, un gramme de sol peut contenir plus de 10^{10} bactéries correspondant à plus de 4000 génomes différents (Torsvik *et al.*, 1990). Les microorganismes ont notamment un rôle important dans le fonctionnement du système sol-plante (Franche *et al.*, 2009; Lemanceau *et al.*, 2009). Dans la rhizosphère, les interactions entre plantes et microorganismes sont très nombreuses. Elles peuvent être bénéfiques (symbioses, commensalisme), neutres ou délétères (parasitisme, prédation, antagonisme) (Raaijmakers *et al.*, 2009).

Certains microorganismes du sol sont capables d'améliorer la croissance des plantes en établissant des interactions symbiotiques avec leur plante hôte (Bertrand *et al.*, 2009).

Les rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) présentent un intérêt agronomique important, car leur utilisation pourrait permettre de diminuer les apports d'engrais ou de pesticides chimiques (Morrissey *et al.*, 2002; Fuentes Ramirez et Caballero-Mellado 2006).

Le terme PGPR (*plant growth-promoting rhizobacteria*) désignant ces bactéries a été introduit par Kloepper et Schroth (1978). Différents mécanismes sont à l'origine des effets PGPR des bactéries rhizosphériques.

Certaines bactéries PGPR sont utilisées en tant qu'inoculants pour améliorer le développement des racines via la production de certaines phytohormones (Bloemberg et Lugtenberg, 2001), telles que des auxines dont l'acide indole-3- acétique (AIA), des cytokinines et des gibbérellines (Vessey, 2003). D'autres sont par exemple qualifiées de biofertilisantes car elles fixent l'azote atmosphérique, ce qui contribue à augmenter la quantité d'azote dans les sols et à améliorer la croissance des plantes lorsque ce composé est peu abondant dans le sol (Okon, 1994; Dobbelaere *et al.*, 2001). Par ailleurs, de nombreuses bactéries sont capables d'améliorer la santé des plantes en limitant la croissance saprophyte des microorganismes phytopathogènes. Certaines sont utilisées en agriculture comme agents de lutte biologique (Bloemberg et Lugtenberg, 2001; Whipps, 2001).

L'objectif de cette étude vise le screening de souches bactériennes productrices de l'ACC désaminase, dont elles ont été déjà isolées, pré-identifiées et certaines décrites comme antagonistes fongiques vis-à-vis de l'agent de la fonte des semis *Fusarium oxyspoum* f.sp. *radici lycopersici* en pépinière. En second lieu, nous visons l'étude du pouvoir de production de l'acide indole-3-acétique (l'AIA) ainsi que l'étude de l'effet PGPB *in vivo* sur des plantules de tomate cv. Marmande au stade pépinière.

Chapitre I. Revue Bibliographique

I.1. Généralités sur la tomate

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une espèce de plante herbacée de la famille des solanacées, originaire du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud, largement cultivée pour son fruit (Chaux et Foury, 1994).

Compte tenu de son importance économique, elle est l'objet de nombreuses recherches scientifiques et est considérée comme une plante modèle pour les études scientifiques sur les fruits charnus (Giovannoni, 2001).

I.1.1. Historique et origine de la tomate

Le mot «tomate» dérive du suffixe «tomatl» ou des mots «tomates» ou «miltomates» dans le langage nahuatl qui était celui des anciens mexicains (Azèques) à l'époque de la découverte de l'Amérique. «Tomatl » désignait alors la tomate (Daunay *et al.*, 2008).

La tomate (*Solanum lycopersicum*L) est originaire des vallées fertiles du Mexique. Elle a d'abord été cultivée et améliorée par les indiens du Mexique, sous le nom aztèque «tomatl», avant d'être ramenée en Europe par les conquistadores. Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe au XVI^{ème} siècle par les Espagnols avant même la pomme de terre et le tabac (Shankara, 2005).

Linné (1753) avait inclus la tomate dans le genre *Solanum*, en la nommant *Solanum lycopersicum* mais Miller (1754, 1768) la renomma *Lycopersicon esculentum*, en créant le genre *Lycopersicon* qui regroupait les différentes espèces de tomate. Le terme gréco-latin «*Lycopersicon*» signifie «pêche de loup» et le mot latin «*esculentum*» signifie «comestible» (Spooner *et al.*, 1993; Spooner *et al.*, 2005).

Neuf espèces sauvages peuvent être observées en Amérique du sud, dont seulement deux comestibles, la «tomate groseille» (*Solanum pimpinellifolium*) et la «tomate cerise» (*Solanum lycopersicum* cv.*cerasiforme*) qui est l'ancêtre de la tomate actuelle (De Broglie et Gérault, 2005; Renaud, 2006).

La tomate cultivée est issue de la domestication de la forme semi sauvage *Solanum lycopersicum* cv. *cerasiforme*, cette dernière étant un mélange de *Solanum lycopersicum* et de l'espèce sauvage *Solanum pimpinellifolium* (Peralta *et al.* 2008; Ranc *et al.* 2008).

En Algérie, ce sont les cultivateurs de sud de l'Espagne (Tomateros), qui l'ont introduite étant donné des conditions de culture qui lui sont propices. Sa consommation a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral algérois (Latigui, 1984).

I.1.2. Taxonomie :

La tomate, *Solanum lycopersicum* L., est une plante appartenant à la grande famille des Solanacées qui regroupe plusieurs espèces, telles que la pomme de terre, le tabac, le poivron et l'aubergine. C'est une espèce diploïde ($2n=24$), monoïque et autogame (Shankara *et al.* 2005). De point de vue taxonomique, et d'après Sheh *et al* (2006), la systématique de la tomate peut être résumée comme suit :

Règne :	<i>Plantae</i>
Sous règne :	<i>Trachenobionta</i>
Division :	<i>Magnoliophyta</i>
Classe :	<i>Magnoliopsida</i>
Sous classe :	<i>Asteridae</i>
Ordre :	<i>Solanales</i>
Famille :	<i>Solanaceae</i>
Genre :	<i>Solanum</i>
Espèce :	<i>Solanum Lycopersicum</i> L.

I.1.3. Description botanique

La tomate est une plante herbacée annuelle, appartenant au groupe des légumes -fruits (BabaAissa, 1999). C'est une plante à croissance indéterminée (tige monopodiale), mais il existe certaines variétés à croissance déterminée (tige monopodiale puis sympodiale après 4 ou 5 feuilles) (Reeves, 1973).

Le système racinaire de la tomate est fasciculé et puissant pouvant atteindre 1,50 m de profondeur et 0,70 m de largeur. La racine principale produit une haute densité de racines

latérales et adventices. Sa tige herbacée se lignifie rapidement avec l'âge de la plante et devient anguleuse (Shankara, 2005).

Elle porte de nombreuses feuilles velues alternes et composées disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large, ainsi que plusieurs bourgeons latéraux et des inflorescences jaunes en grappes ou en bouquets qui peuvent être simples, doubles ou composées (Chaux et Foury, 1994; Shankara *et al.*, 2005).

Les fleurs sont bisexuées, régulières. Elles poussent opposées et/ou entre les feuilles. Le tube du calice est court et velu, les sépales sont persistants. La plante est principalement autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu; les abeilles et les bourdons étant les principaux pollinisateurs (Shankara *et al.* 2005).

Le fruit est une baie charnue plus ou moins grosse, de forme variable (sphérique, oblongue, allongée) et de couleurs variées (blanche, rose, rouge, jaune, orange, verte, noire) selon les variétés (Renaud, 2003).

Les graines sont réparties dans des loges, enveloppées d'un mucilage (Tomodori, 2007; Grasselly *et al.*, 2000), de 3 à 5 mm de long et de 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. Elles sont aplaties, petite, de forme plus ou moins lenticulaire, grisâtres, ou beiges et velues. Ces graines ont une longévité de quatre ou cinq ans (Tomodori, 2007).

I.1.4. Biologie

Le développement du fruit de tomate peut être divisé en trois phases : la division, l'expansion et la maturation (Gillaspy *et al.*, 1993). Au cours du développement de la fleur, une première période de divisions cellulaires a lieu dans l'ovaire, puis la croissance de l'ovaire cesse et ne reprendra qu'après la fécondation. La première phase de développement du fruit (ou mise à fruit), après la fécondation, amorce le processus de formation du fruit. Si la fécondation n'a pas lieu, le fruit est dit parthénocarpique. Dans cette première phase, la croissance du fruit est principalement due à des divisions cellulaires intenses. pendant la deuxième phase, la croissance du fruit continue principalement par expansion cellulaire jusqu'à ce que le fruit atteigne sa taille finale au stade vert

mature. Cette phase est très importante car les cellules en expansion exercent alors une grande force de puits pour le transport des assimilats (Gillaspy *et al.*, 1993).

Au stade vert mature, le fruit a atteint sa taille finale. C'est le début de la troisième phase : la maturation. Cette phase permet d'aboutir à un fruit rouge mûr (Giovannoni, 2001) caractérisée par une croissance lente ainsi qu'un changement brutale de la couleur, de la texture et de la composition chimique fruit (Grasselly *et al.*, 2000).

I.1.5. Importance de la tomate en Algérie

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha (MADR, 2009). Ces derniers demeurent faibles et assez éloignés de ceux enregistrés dans d'autres pays du bassin méditerranéen (Tunisie, Maroc, Espagne, France, Italie) producteurs de tomate, où les rendements varient entre 350 Qx/ha et 1500 Qx/ha (FAO, 2008).

I.1.6. Types de croissance et variétés de tomate maraichère en Algérie

Les variétés de tomate sont très nombreuses. Elles peuvent être classées selon leur croissance qui peut être du type indéterminé ou du type déterminé. Les variétés de tomate utilisées pour la production en frais sont principalement de type indéterminé. La plante ne cesse de croître en hauteur jusqu'à épuisement de toutes les réserves (Snoussi, 2010).

Pour le type de croissance indéterminé, les variétés à caractères fixés les plus utilisées sont : Marmande et Saint pierre. Les hybrides : Actana, Agora, Bond, Nadjma, Tafna, Tavira, Toufan, Tyerno et Zahra sont les plus utilisées en Algérie (Snoussi, 2010).

Pour le type déterminé, la variété à caractère fixé, la plus cultivée en Algérie est la variété Aïcha. Les hybrides: Farouna, Joker, Luxor, Super red, Tomaland, TOP 48, Suzana, Zigana et Zeralda restent parmi les plus cultivées en Algérie (ITCMI, 2012).

I.1.7. Exigence Ecologiques de la culture de tomate

La tomate n'a pas d'exigence particulière en matière de sol. Elle s'adapte bien dans les sols profonds, meubles, bien aérés et bien drainés (Snoussi, 2010).

Une texture sablonneuse ou sablo-limoneuse est préférable (Chibane, 1999). Selon Verolet (2001) l'espèce de tomate est adaptée à de nombreux types de sol tant sur le plan de la texture que vis-à-vis du pH. Les sols sablo-argileux, limono-sableux ou limoneux, drainants à pH compris entre 6 et 7 semblent les plus conseillés pour exprimer au mieux le potentiel de la culture.

La tomate est une plante des saisons chaudes, elle est exigeante en chaleur pour assurer son cycle végétatif complet. Les températures optimales pour la plupart des variétés sont comprises entre 20 et 25 °C le jour et entre 15 °C et 17 °C la nuit (Shankara *et al.*, 2005).

Les besoins en eau de la tomate se situent entre 4000 et 5000 m³/Ha. Il faut maintenir la plante à la limite de ses besoins, toute irrégularité entraîne au moment de la maturation des éclatements de fruits (Chaux, 1972; Bussieres, 2002).

La tomate n'est pas sensible au photopériodisme, mais, exigeante en énergie lumineuse. La longueur de l'obscurité est essentielle pour le contrôle de la croissance et le développement de la plante (Cirad et Gret, 2002). Un manque peut inhiber l'induction florale. De même, la réduction de la lumière baisse le pourcentage de germination du pollen (Elattir *et al.*, 2003). L'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles, la mise à fruits et la couleur des fruits (Cirad et Gret, 2002).

I.2. Les Actinomycètes

I.2.1. Définition et caractéristiques

Les actinomycètes sont des bactéries filamenteuses, séptées, ramifiées, Gram positive (Nanjwad *et al.*, 2010). La morphologie des différents groupes d'actinomycètes est très variable. Elle va de formes peu évoluées comme *Mycobacterium*, à des formes très évoluées comme le genre *Streptomyces* qui forme un véritable mycélium non fragmenté et sporulant (Smaoui, 2010).

Les actinomycètes sont des bactéries saprophytes, largement distribuées dans le sol, l'eau et les plantes, montrant une diversité chimique et morphologique marquée, mais forment une ligne distincte de l'évolution des organismes (Goodfellow et O'Donnell, 1989).

Bien que les actinomycètes soient des microorganismes procaryotes, leur morphologie ressemble fortement à celle des micro-organismes eucaryotes comme les champignons filamenteux (Osada, 1998). Les actinomycètes présentent des similitudes avec les eubactéries et les champignons. Il existe des formes de transition, mycéliennes typiques et unicellulaires, présentant une aptitude peu marquée à former un mycélium ramifié. Le diamètre des filaments des formes mycéliennes est toutefois environ deux fois plus faible (0,5 à 1,2 μm) que celui des mycélia de champignons.

La plupart des actinomycètes sont terrestres, certaines espèces sont marines (Mincer *et al.*, 2002). Les actinomycètes sont répandus dans l'environnement et la plupart des espèces sont chimioorganotrophes, aérobies, mésophiles et croissent de façon optimale dans la gamme de pH 5,0 à 9,0 avec un optimum à la neutralité (Williams et Wellington, 1982; Goodfellow et Williams, 1983). Les principaux facteurs contrôlant l'abondance et l'activité des actinomycètes dans le sol sont représentés par: la disponibilité des nutriments, la nature et l'abondance de la matière organique, la salinité, la teneur en humidité relative, la température, le pH et la végétation du sol (Goodfellow et Williams, 1983).

Ces microorganismes sont capables de coloniser la rhizosphère grâce à leurs caractères antagonistes et compétitifs vis-à-vis des autres microorganismes du sol. Certains sont connus pour leur production de sidérophores qui permettent de chélater le fer et le privé des autres microorganismes (Cao *et al.*, 2005 ; Getha *et al.*, 2005). La production de sidérophores par *Streptomyces griseorubiginouse* est efficace dans la lutte contre la fusariose du bananier causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubenese* (Getha *et al.*, 2005).

D'autres actinomycètes sont parasites de champignons en produisant des enzymes qui leur permettent de dégrader la paroi des cellules fongiques ; le parasitisme des mycélia de champignons par les actinomycètes a été décrit dans plusieurs travaux (Khan *et al.*, 2008 ; Tréjo-Estrada *et al.*, 1998; El-Tarabily *et al.*, 2000; El-Tarabily et Sivasithampar, 2006; Errakhi *et al.*, 2007).

De plus, Ils sont connus par leur capacité de produire des antibiotiques qui leur permettent d'inhiber les agents phytopathogènes (El-Tarabily et Sivasithampar, 2006). Tréjo-Estrada *et al.*, (1998) ont montré une corrélation entre la production d'antibiotiques dans le sol et l'efficacité des actinomycètes dans la lutte contre les agents phytopathogènes. Par exemple, *Streptomyces violaceusniger* YCED9 produit trois composés antifongiques dont la nigrecine, la geltanamycine et la guanidylfingine impliquées dans la lutte contre les agents phytopathogènes. De même, plusieurs antibiotiques produits par les actinomycètes sont actuellement utilisés dans la lutte biologique.

I.2.2. Morphologie

Morphologiquement, les actinomycètes peuvent être classés en deux groupes. Le premier : se compose d'organismes qui ne présentent pas de caractéristiques morphologiques particulières et forment seulement une masse de filaments ramifiés (mycélium). Le second : comprend les organismes qui sont morphologiquement plus complexes que le premier (Lechevalier, 1985).

I.2.3. Ecologie des actinomycètes

Les actinomycètes sont les habitants communs du sol. Leur production de géosmine et de MIB (2-méthyl isobornéol), contribue significativement à l'odeur caractéristique du sol. Ils sont, souvent moins reconnus en tant qu'organisme important du sol comme est le cas des cyanobactéries et des champignons tel que *Penicillium* sp. *Etchaetium* sp. qui sont des producteurs importants de ces métabolites (Zaitlin et Watson 2006).

Dans la rhizosphère, les actinomycètes appartenant au genre *Frankia* sont extrêmement importants pour de nombreux types de plantes. Cette importance réside dans le fait qu'elles sont capables de noduler les racines de ces plantes et de fixer l'azote atmosphérique. Cette association est appelée : association actinorhizienne (Prescott *et al.*, 2007).

Les actinomycètes ont été également isolés dans de nombreux environnements aquatiques (Jensen *et al.*, 1991 ; Ghanem *et al.*, 2005), d'eau douce (Kitouni *et al.*, 2005) et dans les marécages salés (Al-Zarban *et al.*, 2002 ; Boughachiche *et al.*, 2005). Ils sont rencontrés également sur les débris des végétaux qu'on trouve au bord des rivières, des lacs, et loin des champs de riz (Wang *et al.*, 2006).

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

Les sols sahariens représentent un écosystème assez particulier en raison de l'environnement aride sévissant dans ces régions. Les travaux sur l'écologie des actinomycètes du Sahara algérien ont été entrepris depuis longtemps (Sabaou *et al.*, 1980; Sabaou *et al.*, 1992; Sabaou *et al.*, 1998). Un grand nombre d'échantillons de sols rhizosphériques et non rhizosphériques provenant de palmeraies, de regs, de croûtes salées, d'alluvions, de gisements (fer et tungstène), de paléosols et de jardins a ainsi été analysé par ces auteurs. Il ressort de ces travaux que les sols sahariens sont riches en actinomycètes, aussi bien quantitativement que qualitativement. Leur pourcentage par rapport à la microflore totale, particulièrement dans les sols des palmeraies, est nettement plus important que celui de la très grande majorité des sols dans le monde. La densité des actinomycètes dans les sols de surface des palmeraies oscille entre 5×10^5 et 5×10^6 ufc/g (unités formant colonies par gramme de sol sec). Ils représentent 15 à 80% de la microflore totale dans les sols moyennement, peu ou pas salés.

Les actinomycètes sont stimulés par la rhizosphère du palmier dattier où leur densité est de 5 à 40 fois supérieure à celle des sols non rhizosphériques. Leur densité est de l'ordre de 10^5 à 10^7 ufc/g (Sabaou *et al.*, 1980; Moustiri, 1992).

La densité des actinomycètes dans les sols autres que ceux des palmeraies (regs, alluvions, gisements et plaines arides), varie entre 10^2 et 10^5 ufc/g, soit 5 à 30% de la microflore totale. Les genres prédominants peuvent être *Streptomyces*, *Pseudonocardia* ou *Amycolatopsis* (Sabaou *et al.*, 1998).

I.2.4. Taxonomie

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

Classe d'*actinobacteria*

Sous-classe	Ordre	Famille
<i>Acidimicrobidae</i>	<i>Acidimicrobiales</i>	<i>Acidimicrobiaceae</i>
<i>Rubrobacteridae</i>	<i>Rubrobacterales</i>	<i>Rubrobacteraceae</i>
<i>Coriobacteridae</i>	<i>Coriobacterales</i>	<i>Coriobacteriaceae</i>
<i>Sphaerobacteridae</i>	<i>Sphaerobacterales</i>	<i>Sphaerobacteraceae</i>
<i>Actinobacteridae</i>	<i>Actinobacteriales</i>	

1.3. Les rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

Les rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) sont un groupe de bactéries saprophytes vivant en librement au niveau du sol qui peuvent être trouvés dans la rhizosphère en association avec un système racinaire et améliore la croissance et le développement de la plante soit directement ou indirectement (Kloepper et Beauchamp, 1992; Liu *et al.*, 1995.).

La capacité des micro-organismes du sol à produire des molécules régulatrices de la croissance des plantes est depuis longtemps reconnue et référencée (Frankenberger et Arshad, 1995; Persello-Cartieaux *et al.*, 2003; Ping et Boland, 2004; Hayat *et al.*, 2010). Ces microorganismes peuvent avoir des effets bénéfiques sur la croissance des plantes en interférant avec la rhizosphère. Elles promeuvent ainsi leur croissance, limitent l'attaque de pathogènes ou encore améliorent la qualité du sol. Ces effets sur les plantes ont amené les microbiologistes à les regrouper sous le nom de *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), terme introduit par Kloepper et Schroth (1978).

Généralement, le mode d'action des PGPR suit 3 axes majeurs (Persello-Cartieaux *et al.*, 2003; Hayat *et al.*, 2010) : (1) la synthèse de composés interagissant directement avec la physiologie des plantes, (2) en facilitant le prélèvement de certains nutriments du sol et (3) en diminuant ou en prévenant les maladies causées par des agents phytopathogènes.

Le groupe le plus étudié des PGPR est celui des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) qui colonisent la rhizosphère des plantes. Généralement, une PGPR peut stimuler la croissance des plantes, directement ou indirectement (Glick, 1995).

La Promotion indirecte se produit lorsque les bactéries empêchent les plantes d'être inhibé par certains organismes phytopathogènes ou diminuer les effets délétères des agents pathogènes (Glick et Basan, 1997).

La promotion directe de la croissance des plantes se produit lorsque ces bactéries fournissent les plantes avec les composés qu'ils synthétisent, comme l'azote fixé ou phytohormones; faciliter l'absorption de substances nutritives, tels que le fer et le phosphore, à partir de l'environnement par la plante; ou la synthèse de l'enzyme 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminase qui peut diminuer le niveau de l'éthylène dans la plante (Glick *et al.*, 1998).

Les PGPR peuvent être classées en différentes catégories en fonction du type d'effet phytobénéfiques qu'elles exercent (Bloemberg et Lugtenberg, 2001). Certaines sont par exemple qualifiées de biofertilisantes car elles fixent l'azote atmosphérique, ce qui contribue à augmenter la quantité d'azote dans les sols et à améliorer la croissance des plantes lorsque ce composé est déficitaire dans le sol. Les PGPR sont qualifiées de phytostimulatrices lorsqu'elles favorisent directement la croissance des plantes, la plupart du temps par la production de phytohormones. D'autres PGPR sont capables de protéger les plantes des infections par des microorganismes phytopathogènes; dans ce cas, l'effet exercé sur la plante par ce mécanisme de phytoprotection est donc indirect.

Actuellement, l'utilisation de microorganismes pour améliorer la croissance et la santé des plantes repose principalement sur l'inoculation. Les microorganismes, tels que les bactéries fixatrices d'azote (Bhattacharjee *et al.*, 2008; Elhassan *et al.*, 2010), représentent un potentiel important pour l'amélioration de la croissance des plantes et la lutte biologique contre les maladies d'origine tellurique.

I.3.1. Les mécanismes d'action des PGPB

I.3.1.1. Production de molécules phytostimulantes

Les rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) synthétisent et excrètent des hormones végétales, qui sont des substances organiques interagissant avec la physiologie de la plante à des doses très faibles (Frankenberger et Arshad, 1995; Persello-Cartieaux *et al.*, 2003; Hayat *et*

al., 2010). La production de phytohormones par les microorganismes est très connue notamment au niveau des mécanismes de morphogénèse pour l'établissement d'une relation symbiotique, c'est-à-dire avec un contact physique, entre la plante et un microorganisme (Spaepen *et al.*, 2007). La production de phytohormones a été étudiée par la suite chez d'autres organismes de la rhizosphère, non symbiotiques (Hayat *et al.*, 2010). Même si la production de certaines phytohormones, comme celles de la famille des gibbérellines ou encore des jasmonates ne semblent que faiblement produites par les bactéries du sol, la capacité à produire des phytohormones de la famille des auxines, des cytokinines ou encore de l'éthylène, est largement répandue au sein des microorganismes de la rhizosphère (Frankenberger et Arshad, 1995; Persello-Cartieaux *et al.*, 2003; Hayat *et al.*, 2010).

I.3.1.1.1. Les auxines

Au sein de ces phytohormones, les auxines ont reçus une attention toute particulière, notamment au niveau des formes endogènes les plus actives; l'acide indole-3-acétique (IAA). L'AIA est connue pour stimuler des processus comme l'élongation cellulaire, la division et différenciation cellulaire ou encore des processus de défense chez la plante (Spaepen *et al.*, 2007; Ryan *et al.*, 2008). Les bactéries possèdent une voie de biosynthèse de l'AIA qui leur est propre (Persello-Cartieaux *et al.*, 2003). Cependant, la biosynthèse se réalise généralement à partir du même précurseur que pour la biosynthèse chez la plante, c'est-à-dire le tryptophane (Persello-Cartieaux *et al.*, 2003). La gamme de concentration optimale de cette phytohormone est très étroite, conduisant à des effets tantôt stimulateurs ou tantôt négatif sur la croissance des plantes (Nehl *et al.*, 1996), comme démontré avec des souches surproduisant de l'auxine (Persello-Cartieaux *et al.*, 2003) ou encore avec une taille d'inoculum trop importante (Persello-Cartieaux *et al.*, 2001).

Diverses espèces bactériennes possèdent la capacité de produire l'AIA. Celle-ci peut être utilisée comme outil de dépistage des souches PGPR performantes (Khalid *et al.*, 2004). Les PGPR libèrent ces auxines dans la rhizosphère comme des métabolites secondaires (Khan *et al.*, 2009). Les PGPR synthétisent et sécrètent l'AIA qui sera absorbé par la graine ou la racine à partir du tryptophane et d'autres petites molécules présentes dans les semences ou les exsudats racinaires (Whipps, 1990 ; Fallik *et al.*, 1994). Le tryptophane est le principal précurseur pour la biosynthèse d'AIA.

Les exsudats des racines sont la principale ressource de tryptophane dans le sol (Spaenpen *et al.*, 2007). Une partie de l'AIA est reprise par la plante qui s'ajoute à l'AIA endogène de la plante pour stimuler la prolifération cellulaire des plantes et l'allongement racinaire.

Certains PGPR dont *Pseudomonas putida*, synthétisent et sécrètent des régulateurs de croissance telle que l'AIA qui infiltre les cellules végétales et stimule la croissance racinaire en augmentant la longueur de 35-50% (Patten et Glick, 2002). En outre, l'AIA active l'ACC synthase pour produire plus d'ACC qui sera transformé en éthylène par l'ACC oxydase (Mayak *et al.*, 2004). Simultanément, l'ACC désaminase hydrolyse l'ACC et inhibe ainsi la production de l'éthylène. En conséquence, l'effet final de la production d'éthylène sur la croissance racinaire dépend de l'équilibre entre l'AIA et l'ACC désaminase produits.

1.3.1.2. Production de l'ACC désaminase

L'ACC désaminase est une enzyme multimérique. Cette enzyme est capable d'hydrolyser le précurseur de l'éthylène (ACC) en ammonium et α -cétobutyrate. Abaisse ainsi le niveau de l'éthylène sous différentes conditions de stress biotiques et abiotiques de la plante (Glick *et al.*, 1998.) tels que la salinité (Cheng *et al.*, 2007, Mayak *et al.*, 2004; Zahir *et al.*, 2009), le stress d'inondation (Grichko et Glick, 2001), le stress de la sécheresse (Mayak *et al.*, 2004) Le stress de métaux lourds (Belimov *et al.*, 2005; Stearns *et al.*, 2005) et une attaque pathogène (Wang *et al.*, 2000).

Les rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPB) contenant de l'ACC désaminase ont été rapportés pour être en mesure de protéger les plantes contre divers stress en abaissant le niveau de stress éthylène dans les plantes (Glick, 2004). Ils sont considérées comme des souches très intéressantes (Jacobson *et al.*, 1994; Glick *et al.*, 1998; Shah *et al.*, 1997), Par exemple, les plants de tomate inoculés avec des bactérie contenant l'ACC désaminase telles que *Pseudomonas putida* UW4, *Enterobacter cloacae* CAL2 ou *Pseudomonas putida* ATCC17399/ Prkacc ont montré une importante tolérance au stress d'inondation (Grichko et Glick, 2001). Deux souches bactériennes de biocontrôle ont été transformées avec le gène de l'ACC désaminase de *Pseudomonas putida* UW4, et se sont avérés être plus efficaces que les souches de biocontrôle non transformées en supprimant lésions phytopathogènes de concombres (Wang *et al.*, 2000).

Les PGPB ayant une activité désaminase de l'ACC ont également été rapportés pour être en mesure d'accélérer la croissance des plantes dans les sols contaminés organiques récalcitrants, ce qui diminue les effets toxiques pour les plantes (Huang *et al.*, 2004). En outre, Mayak *et al.* (2004) ont déclaré que l'ACC désaminase contenant la bactérie *Achromobacter piechaudii* ARV8 favorise significativement la croissance de la tomate sous des conditions de stress telles que la sécheresse et la salinité.

L'éthylène gazeux produit de manière endogène par les plantes agit comme molécule secondaire de signal dans l'induction des défenses de la plante (Ecker, 1995). La surproduction de cette molécule en réponse aux stress abiotiques et biotiques conduit à l'inhibition de l'élongation racinaire et, par conséquent, la croissance de la plante dans son ensemble. Les PGPR possédant l'ACC désaminase régulent et abaissent les niveaux de l'éthylène en métabolisant l'ACC, un précurseur de l'éthylène. L'ACC désaminase régule la production d'éthylène en réponse à une multitude de stress biotiques et abiotiques comme la salinité, la sécheresse et les variations de température. Les bactéries possédant une ACC désaminase confèrent la tolérance des plantes au sel (Cheng *et al.*, 2007). Selon Glick *et al.* (1998) une partie importante de l'ACC peut être exsudée par les racines ou les semences et est ensuite consommée par la microflore du sol ou hydrolysée par l'ACC désaminase en ammoniac et en α -cétobutyrate. L'absorption et l'hydrolyse de l'ACC par les microorganismes diminuent sa quantité en dehors de la plante. L'ACC désaminase existe chez de nombreuses espèces microbiennes: les bactéries à Gram négatif et positif, *Rhizobium*, endophytes et champignons (Jia *et al.*, 1999). Ainsi, l'inoculation de graines de la tomate par *Acinetobacter piechaudii* possédant une ACC désaminase augmente significativement les poids frais et sec des semis cultivés en présence de NaCl (jusqu'à 172 mM). Cette bactérie réduit la production d'éthylène dans les plantules de tomate soumis à des concentrations croissantes de sel. Toutefois, la teneur en sodium n'a pas diminué tandis que l'absorption de phosphore et de potassium est légèrement augmentée ce qui contribue en partie à l'activation des processus impliqués dans la lutte contre l'effet néfaste du sel. Cette espèce bactérienne a également optimisé l'efficacité de l'utilisation de l'eau en milieu salin et a contribué dans la lutte contre l'effet du sel sur la photosynthèse (Mayak *et al.*, 2004).

La faculté des actinomycètes *Streptomyces* à promouvoir la croissance des plantules de tomate, par le biais de la production de l'ACC désaminase a été évalué sous serre (El-Tarabily, 2008), l'étude de la *Streptomyces filipinensis* et la *Streptomyces atrovirens* ont montré des compétences rhizosphériques exceptionnelles, ces dernières ont la capacité de promouvoir la croissance des plantules de tomate par la production de l'ACC désaminase ainsi que l'AIA et ceci pour la souche *Streptomyces filipinensis*, tandis que la *Streptomyces atrovirens* présente la faculté de production de l'ACC désaminase *in vivo* (El-Tarabily, 2008).

L'inoculation des plantes d'arachide par des souches de *Pseudomonas fluorescens* possédant l'ACC désaminase renforce la résistance physiologique de la plante et augmente le rendement par rapport à celles inoculées par des souches dépourvues de cette enzyme (Saravanakumar et Samiyappan, 2007).

I.3.1.3. Fixation de l'azote

Parmi les éléments nutritifs nécessaires, celui qui est le plus souvent limitant pour la croissance des plantes est l'azote. La majeure partie de cet élément se trouve sous forme d'azote gazeux (N₂) inaccessible aux animaux et aux plantes (Pujic et Normand, 2009). La fixation biologique de l'azote relève uniquement du domaine des procaryotes grâce à la nitrogénase, une enzyme catalysant la réduction de l'azote atmosphérique en ammoniac (Weyens *et al.*, 2010).

Quelques bactéries fixatrices d'azote sont libres dans la rhizosphère (e.g. *Achromobacter*, *Acetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Azomonas*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Derxia*, *Enterobacter*, *Herbaspirillum*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Rhodospirillum*, *Rhodopseudomonas* et *Xanthobacter*) (Tilak *et al.*, 2005). En revanche d'autres fixatrices d'azote sont symbiotiques et fixent l'azote seulement en association avec certaines plantes. Il s'agit des *Rhizobia* (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Frankia*, *Allorhizobium*) (Tilak *et al.*, 2005 ; Gray et Smith, 2005) associées aux légumineuses et des souches de *Frankia*, bactéries filamenteuses sporulantes associées à des plantes dites actinorhiziennes (Gray et Smith, 2005).

I.3.1.4. Renforcement des mécanismes de défense de la plante

Certaines PGPR, sont capables d'améliorer la performance des plantes en activant des résistances systémiques chez ces dernières, leur conférant ainsi un large spectre de résistance face à de nombreux pathogènes et insectes (Persello-Cartieaux *et al.*, 2003; Ryu *et al.*, 2004; Bakker *et al.*, 2007; van Wees *et al.*, 2008; Hayat *et al.*, 2010). On distingue deux types de résistances systémiques : la résistance acquise et la résistance induite. La résistance systémique acquise (SAR) repose sur la synthèse d'acide salicylique (SA) par la plante conduisant à une accumulation locale de Pathogenesis-Related-Proteins (protéines PR). L'activation de ce mécanisme est causée par l'interaction avec un pathogène (Persello-Cartieaux *et al.*, 2003; van Loon *et al.*, 2006; van Wees *et al.*, 2008). L'autre mécanisme est celui de la résistance systémique induite (ISR). Contrairement à la SAR, l'ISR n'est pas dépendant de l'acide salicylique mais de l'acide jasmonique (JA) et de l'éthylène. L'ISR est généralement induite lors de l'interaction avec des rhizobactéries non pathogènes et résulte en l'activation de gènes impliqués dans des mécanismes de défense, conférant une réponse plus rapide et efficace lors de l'attaque d'un pathogène.

Les Actinomycètes PGPR peuvent présenter des activités antagonistes, induire une résistance systémique chez la plante, produire des composés stimulant la croissance des plantes, accélérer l'émergence des graines, induire une floraison précoce et voire même conférer au sol des propriétés minimisant les dégâts des plantes (Vessey, 2003; Welbaum *et al.*, 2004). Cependant, à part quelques travaux préliminaires (Vercesi *et al.*, 1990, 1992 ; Petrolini *et al.*, 1991; Sardi *et al.*, 1992), aucune étude antérieure approfondie n'a été réalisée sur les Actinomycètes, comme nouveau groupe bactérien potentiellement utile, à la fois, à la croissance, la stimulation des mécanismes de défenses et la protection des plantes.

Chapitre II. Matériel et Méthodes

II.1. Matériel

II.1.1. Matériel végétal

II.1.1.1. La tomate

Les semences de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) utilisées dans cette étude sont représentées par le cv. Marmande. Elles ont fait l'objet de tests *in vivo* pour évaluer l'efficacité des isolats d'actinomycètes dans la promotion de la croissance des plantules de tomate. Le choix de la variété Marmande est basé sur sa très large utilisation en culture sous serre de tomate en Algérie (Snoussi, 2010).

Ces semences sont originaires d'une récolte de l'année 2012 (France). Les principales caractéristiques de cette variété sont données dans le Tableau 1:

Tableau1. Les principales Caractéristiques du cultivar Marmande (ITCMI, 2012).

Caractéristiques du cv. Marmande

Type de semence	semence fixée
Croissance	croissance semi déterminée
Rendement	rendement très précoce et élevé
Vigueur	Moyenne
Destination	Peut être cultivé sous abris plastique et en plein champ

II.1.2. Matériel biologique

II.1.2.1. Les souches bactériennes

Quarante souches d'actinomycètes ont été utilisées dans notre expérimentation, ces dernières ont été isolées et purifiées selon les travaux de projet de fin d'études d'ingénieurs agronomes, Département d'agronomie, Université Amar Telidji Laghouat.

II.2. Méthodes

II.2.1. Screening des isolats d'actinomycètes pour la production d'ACC désaminase

Le criblage des isolats d'actinomycètes pour la production d'ACC désaminase est réalisé en utilisant la méthode décrite par Dworkin and Foster (1958). Pour cela, les 40 souches d'actinomycètes ont été cultivées dans des boîtes de Pétri contenant le milieu DF Salt minimal medium (B. Jasim *et al.* 2013). Les boîtes sont ensuite portées en incubation à 25°C pendant 5 jours. Après incubation, la présence d'une croissance bactérienne au niveau des boîtes est considérée comme un résultat positif pour la production d'ACC désaminase.

II.2.2. Production et dosage de l'acide indole-3-acétique (AIA)

Cinq isolats d'actinomycètes ont été étudiés pour leur faculté à produire cette hormone de croissance végétale (AIA) selon la méthode de Bano et Musarrat (2003). Des disques gélosés de culture d'actinomycètes (6 mm de diamètre) ont été placés d'une façon aseptique dans des erlenmeyers de 250 ml contenant 25 ml de bouillon YT (Ahmad *et al.*, 2004), (fig1).



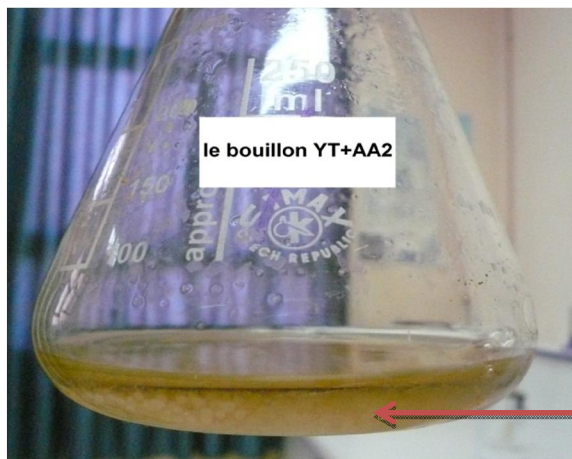
Source: originale, 2014

Figure1. Culture des disques des souches d'actinomycètes dans le bouillon YT.

Les cultures ont été incubées en shaker (30°C, 200 rpm) pendant cinq jours (fig 2 et fig 3). Les cultures ont subi ensuite une centrifugation (4000 rpm pendant 30 mn) et le surnageant obtenu a été récupéré (fig 4).



Source: originale, 2014



Source: originale, 2014

Figure 2. Incubation en shaker.

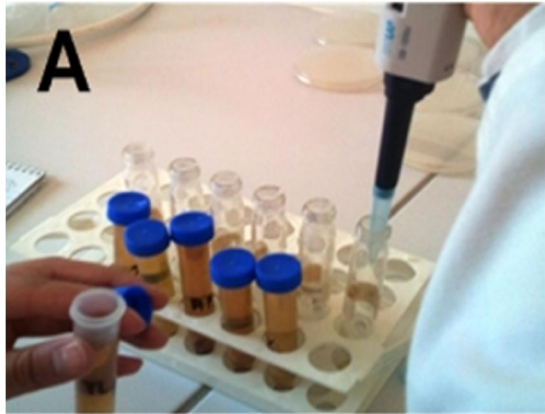
Figure3. Bouillon YT après incubation.



Source: originale, 2014

Figure4. Centrifugation à 4000 rpm pendant 30 mn du bouillon YT

En vue de quantifier l'AIA produit par les souches, 1 ml du surnageant été récupéré et révélé par 2 ml du réactif de Salkowski. Le mélange était ensuite incubé dans une chambre noire pendant 1 heure. La coloration rose indique la présence d'un indole dans le surnageant. Le dosage de cette hormone a été effectué par spectrophotométrie à 530 nm et la quantité d'indole, exprimée en $\mu\text{g/ml}$, était déduite d'une courbe d'étalonnage obtenue par l'AIA pure.



Source: originale, 2014



Source: originale, 2014



Source: originale, 2014

A : récupération de 1ml de surnageant.

B : addition de 2ml du réactif de Salkowski

C : incubation en chambre noire

Figure 5. Dosage de l'AIA produite par les isolats d'actinomycètes.

II.2.3. La Promotion de la croissance des plantules de tomate (effet PGPB) *in vivo*

II.2.3.1. Conduite de l'essai *in vivo* de la promotion de la croissance des plantules de tomates

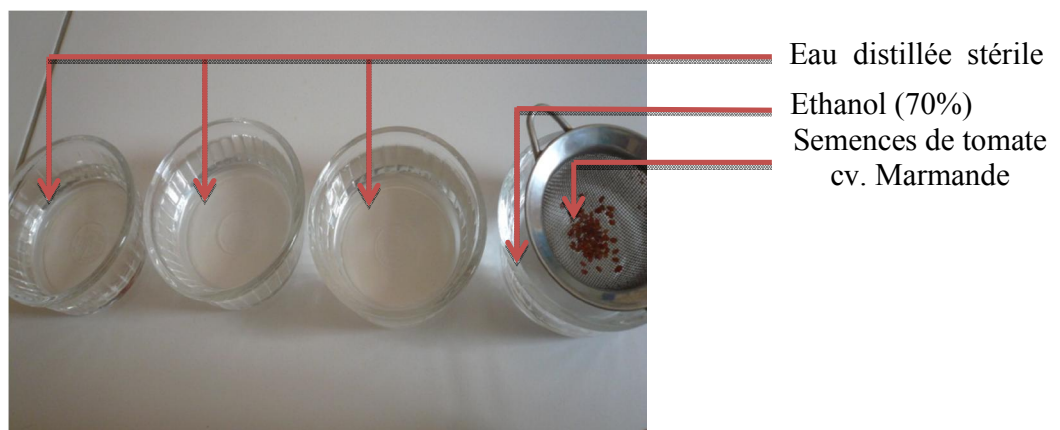
Dans le but de déterminer l'effet des actinomycètes endophytes sur la promotion de la croissance et le développement des plantules de tomate, un test *in vivo* a été effectué selon les étapes suivantes.

II.2.3.2. Préparation de la suspension de spores

Les suspensions de spores ont été préparées par un raclage de la surface de la culture des actinomycètes. Une solution stérile de twin 80 à 0,05% a été ajoutée à la surface des cultures en boîte de Pétri. Les suspensions de spores étaient ensuite ajustées à 10^6 ufc/ml et cela à l'aide d'une cellule de Thomas et conservé dans des eppendorfs.

II.2.3.3. Désinfection et traitement des semences

Une désinfection des semences a été effectuée par trempage dans l'éthanol à 70% pendant 5 min, suivie de 3 rinçages successifs à l'eau distillée stérile pour éliminer le reste de l'agent désinfectant (fig.6).



Source: originale, 2014

Figure 6. Désinfection des semences de tomate.

Les semences désinfectées ont subies par la suite deux traitements : Le premier (témoin négatif) consistait en un trempage des semences dans l'eau distillée stérile avant le semis. Le deuxième traitement est présenté par une bactérisation des semences de tomate, qui est effectué par un trempage de ces derniers dans des eppendorfs contenant la suspension de spores d'actinomycètes préparée auparavant pendant 30 min (El-Tarabily, 2009) suivi d'un séchage sous hotte à température ambiante (fig.7).

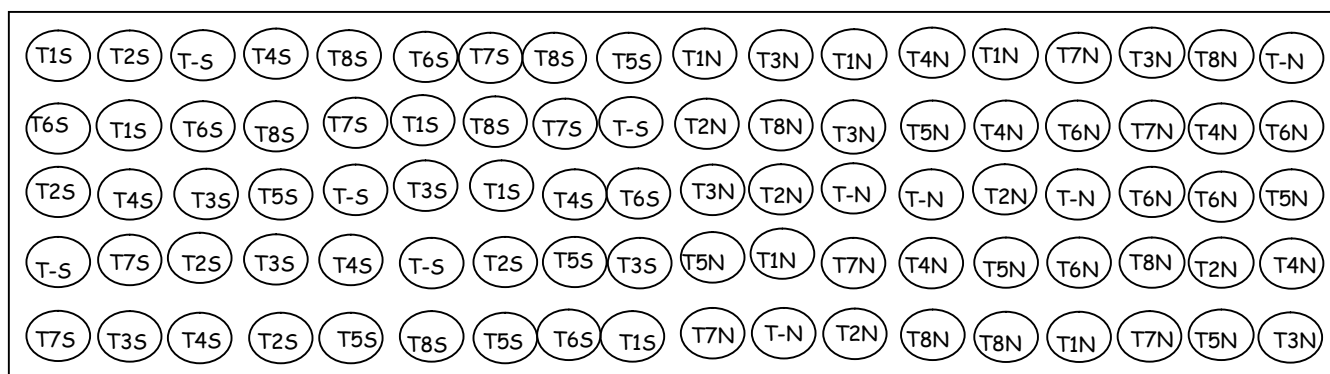


Source: originale, 2014

Figure 7. Trempage des semences de tomate dans les suspensions de spores.

II.2.3.4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé pour cet essai est celui d'une randomisation totale à un facteur : le facteur représente les souches bactériennes, nous avons à notre disposition 8 souches bactériennes à étudier sur la culture de tomate : une seule variété (cv. Marmande), en plus d'un témoin négatif. Pour cette expérimentation, nous avons réalisé deux expériences avec le même dispositif, l'une avec un sol stérilisé et l'autre avec un sol non stérilisé. Donc nous avons 9 essais sur deux milieux différents, cela fait 18 traitements, chaque traitement est répété 5 fois, cela fait un total de 90 pots.



T : Traitement; S : Sol stérilisé; N : Sol non stérilisé; T-S :témoin négatif en sol stérilisé; T-N: Traitement négatif en sol non stérilisé.

Figure 8. Dispositif expérimental

II.2.3.4.1. Semi des graines et conditions de culture

Le semis est effectué en sol sableux prélevé de la région d'El-Bordj à Laghouat (33°47'N, 2° 52'E). Dans la première expérimentation, le sol utilisé est stérilisé, il a subi une stérilisation par trois autoclavages successifs à 121°C pendant 20 mn afin d'éliminer toute forme de vie pouvant affecter la germination et la croissance des plantules. Pour la deuxième expérimentation, nous avons utilisé un sol non stérilisé et cela afin de voir l'effet de la microflore indigène du sol utilisé sur les actinomycètes utilisé pour promouvoir la croissance des plantules de tomate.

Des pots en polyéthylène ont été conditionnés par le sol non stérilisé et par le sol stérilisé pour être semés ensuite à raison de six graines par pots avec cinq répétitions par traitement. Les pots sont ensuite déposés selon un dispositif, en bloc aléatoire complet dans une chambre de culture à température ambiante (environ 25°C) et sous un éclairage naturel (environ 14h de lumière par jour). L'irrigation des cultures est effectuée par une eau distillée stérile, régulièrement dans le but de maintenir une certaine humidité du sol. Après 4 semaines de culture, le taux de germination des plantules, la longueur des racines et des plants, le poids frais et le poids sec des plantules ont été évalués.

II.2.3.5. Analyses statistiques

Les résultats du test de la promotion de la croissance des plantules de tomate (effet PGPB) *in vivo* ont été représentés par des moyennes de cinq répétitions et des Erreurs standard. L'analyse de la variance était effectuée à l'aide du logiciel Stat Box végétal. Les différences sont considérées significatives lorsque la probabilité "P" est inférieure ou égale à 0,05.

Chapitre III. Résultats et Discussion

III.1. Production de l'ACC désaminase

Les isolats d'actinomycètes endophytes ont été testés pour leur faculté à produire l'ACC désaminase sur le milieu DF Salt minimal medium. Selon Dworkin et Foster (1958), la production d'ACC désaminase est indiquée par l'aptitude des isolats à croître sur ce milieu. D'après les résultats représentés dans le tableau 2, trente trois isolats d'actinomycètes ont montré un résultat positif pour la production de l'ACC désaminase et cela parmi les quarante souches testées.

Selon l'importance de la croissance des actinomycètes sur le milieu, les résultats ont été mentionné comme suit :

+: Croissance;

-: Absence de croissance;

±: Croissance modérée;

++: Croissance importante;

+++: Croissance très importante.

Tableau 2. production d'ACC désaminase par les différentes souches d'actinomycètes

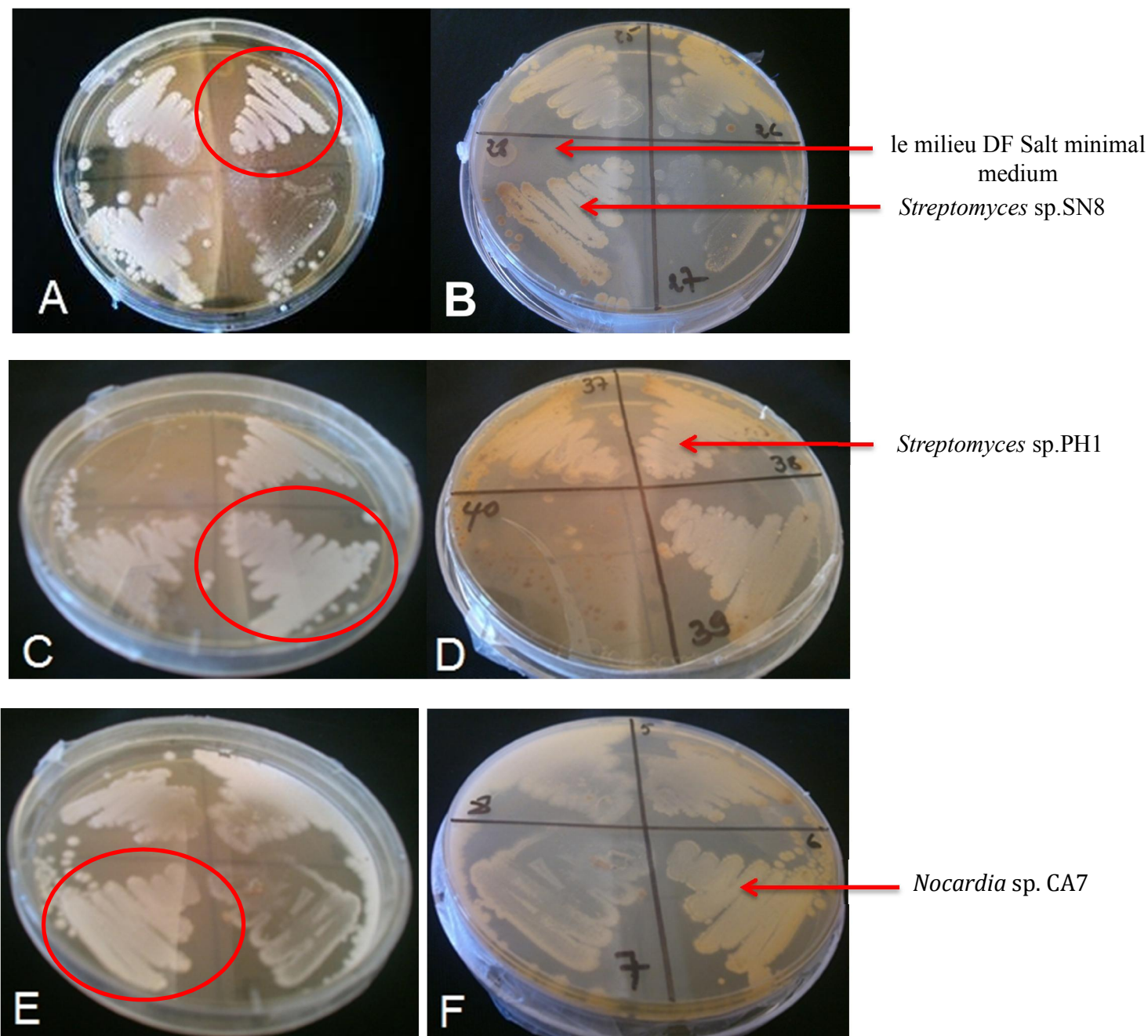
No	Nom des souches d'actinomycètes	Le Genre	Origine	Production d'ACC Désaminase
1.	AP4	<i>Streptomyces</i>	Projet de Fin d'Etude de mémoire d'ingénieurs Agronomes du Département d'Agronomie- Université Ammar telidji Laghouat.	++
2.	AP6	<i>Streptomyces</i>		++
3.	AP7	<i>Streptomyces</i>		±
4.	CA2	<i>Streptomyces</i>		+++
5.	CA6	<i>Streptomyces</i>		++
6.	CA7	<i>Non- Streptomyces</i>		+++
7.	CA10	<i>Non- Streptomyces</i>		±
8.	CA11	<i>Non- Streptomyces</i>		++
9.	CA12	<i>Streptomyces</i>		++
10.	CA13	<i>Non- Streptomyces</i>		±
11.	ML1	<i>Streptomyces</i>		±
12.	ML3	<i>Streptomyces</i>		±
13.	ML4	<i>Streptomyces</i>		+
14.	ML5	<i>Streptomyces</i>		++
15.	DN4	<i>Streptomyces</i>		++
16.	DN19	<i>Streptomyces</i>		++
17.	TL1	<i>Streptomyces</i>		±
18.	TL2	<i>Streptomyces</i>		±
19.	TL3	<i>Streptomyces</i>		±
20.	TL4	<i>Streptomyces</i>		++
21.	TL5	<i>Streptomyces</i>		++
22.	TL8	<i>Streptomyces</i>		+
23.	SN2	<i>Streptomyces</i>		-
24.	SN3	<i>Streptomyces</i>		+
25.	SN5	<i>Streptomyces</i>		++
26.	SN6	<i>Streptomyces</i>		++
27.	SN7	<i>Streptomyces</i>		±
28.	SN8	<i>Streptomyces</i>		+++
29.	SN10	<i>Non- Streptomyces</i>		±
30.	SN11	<i>Streptomyces</i>		++
31.	PT1	<i>Streptomyces</i>		++
32.	PT2	<i>Streptomyces</i>		-
33.	AR1	<i>Streptomyces</i>		-
34.	AR2	<i>Streptomyces</i>		-
35.	MS1	<i>Streptomyces</i>		-
36.	MS2	<i>Streptomyces</i>		-
37.	EH3	<i>Streptomyces</i>		++
38.	PH1	<i>Streptomyces</i>		+++
39.	AH2	<i>Streptomyces</i>		++
40.	ZL1	<i>Streptomyces</i>		-

La meilleur production était enregistrée avec les souches (*Streptomyces* sp.CA2; *Nocardia* sp. CA7; *Streptomyces* sp.SN8; *Streptomyces* sp.PH1). Tandis que les sept isolats restants (*Streptomyces* spp. SN2, ZL1, PT2, AR1, AR2, MS1, MS2) sont incapables de produire l'ACC désaminase.

De nombreuses études ont rapporté que les bactéries capables de produire l'enzyme d'ACC-désaminase améliorent la croissance des plantes dans des conditions de stress, tel que la sécheresse ou le manque d'eau et la salinité (Glick, 2003; Nadeem *et al.*, 2006; Chookietwattana and Maneewan, 2012; Zahir *et al.*, 2012; Khan *et al.*, 2013) et dans des conditions normales (Zafar-ul-Hye *et al.*, 2007; Shahzad *et al.*, 2010; Bhattacharyya et Jha, 2012).

Glick et al. (2007) suggèrent que certains bactéries peuvent utiliser l'ACC comme source d'azote des exsudats de graines ou de racines, ce qui conduit à diminuer les niveaux d'ACC et de l'éthylène, et qui empêche finalement l'inhibition de la croissance des plantes. Les bactéries endophytes avec ces types de capacités résidant à l'intérieur des plantes hôtes peuvent bénéficier l'hôte en réduisant le stress ainsi qu'en augmentation la croissance des plantes (Hardoim et al. 2008). Les caractéristiques moléculaire et physiologique de *Pseudomonas* et *Enterobacter* qui sont des bactéries endophytes capables de produire l'ACC désaminase ont déjà été signalé par différents auteurs (Nonaka *et al.*, 2008).

D'après El-Tarabily (2008), les actinomycètes notamment les *Streptomycete* ont été testé pour la faculté de la production de l'ACC désaminase, les isolats ont été isolés à partir de la rhizosphere de la tomate, les résultats de cette étude a montré que *Streptomyces filipinensis* et *Streptomyces filipinensis* ont la faculté de produire de l'ACC désaminase et que cette dernière participe dans la promotion des plantules de tomate.



A-B : Production de l'ACC désaminase par la souche *Streptomyces* sp.SN8 (28);

C-D : Production de l'ACC désaminase par la souche *Streptomyces* sp.PH1(38);

E-F : Production de l'ACC désaminase par la souche *Nocardia* sp. CA7(6).

Figure 9. Screening des souches d'actinomycètes pour la production de l'ACC désaminase dans le milieu DF Salt minimal medium.

III.2. Production et dosage de l'acide indole-3-acétique (AIA)

Un screening de la production de l'AIA par cinq souches d'actinomycètes endophytes a été effectué selon la méthode décrite par Bano et musarrat (2003), le choix des cinq souches d'actinomycètes pour le test de la production de l'AIA a été basé sur le fait que ces dernières ont fait l'objet d'études préalables et elles ont montrées de bon résultats. Les résultats de la production de l'AIA par les isolats d'actinomycètes sont donnés par la figure 3.

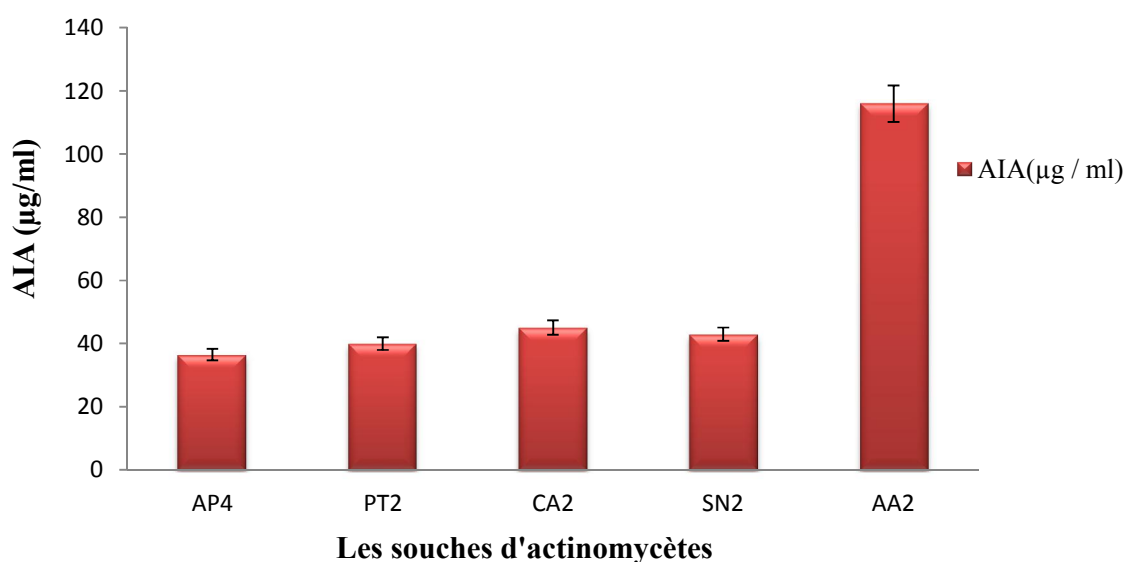


Figure 10. Production de l'acide indole-3-acétique par les actinomycètes endophytes.

L'analyse des histogrammes de la figure 3 montre que toutes les souches (*Streptomyces* spp. CA2, SN2, AA2, AP4 et PT2) sont capables de produire, en quantités différentes, cette hormone de croissance végétale.

Plusieurs travaux ont rapporté que les actinomycètes endophytes isolées à partir de plusieurs plantes, sont capables de produire des régulateurs de croissance des plantes notamment l'acide indole-3-acétique (IAA) (Aldesuquy *et al.* 1998; Tokala *et al.* 2002; El-Tarabily *et al.* 2008). En outre plusieurs études récentes ont démontré que les actinomycètes endophytes produisent *in vitro* des composés favorisant la croissance des plantes tels que l'AIA, les gibbérellines, les cytokinines,

l'HCN et les sidérophores (de Oliveira *et al.*; El Tarabily *et al.*, 2008; Ghodhbane-Gtari *et al.* 2010; Nimnoi *et al.*, 2010).

Le maximum de production de l'AIA est observé avec la souche *Streptomyces* sp. AA2 (115.9 µg/ml) cultivée sur bouillon Yeast extract (YT) additionné de 1mg de L-Tryptophane et incubé en shaker (30 °C, 200 rpm) pendant cinq jours.

La production de cette phytohormone par les autres souches *Streptomyces* sp. varie de 36,15 à 45,1 µg/ml. Ceci confirme que les différentes souches étudiées réagissent différemment malgré que les conditions culturales sont les mêmes. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Ahmed *et al.* (2005).

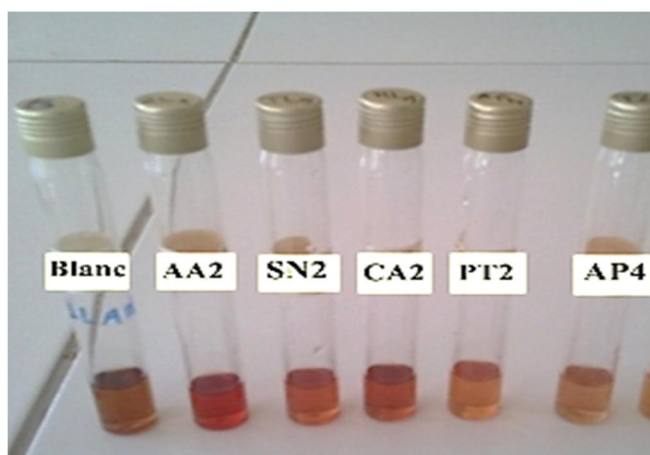


Figure 11. Production de l'AIA par les souches *Streptomyces* sp. indiqué par la coloration rouge.

La figure 11 montre le résultat de la production de l'AIA par les actinomycètes endophytes après l'addition du réactif de Salkowski et incubation en chambre noire pendant 1heur. D'après les résultats de la figure 11, qui sont représentés par la présence de la coloration rouge, nous constatons que la quantité de l'AIA produite par les souches d'actinomycètes testées est relative au degré de la coloration rouge apparente.

A l'issus de ces résultats nous pouvons dire que parmi les cinq souches étudiées, l'isolat *Streptomyces* AA2 présente une production d'AIA élevée comparativement aux autres souches de *Streptomyces* sp., et cela se traduit par la couleur rouge obtenue après l'addition du réactif de Salkowski.

III.3. Promotion de la croissance des plantules de tomate « effet PGPB » *in vivo*

Les souches d'actinomycètes AP4, AR1, AR2, SN3, PT1, SN2, CA2 et PT2 ont été étudiées pour leur effet pour la promotion du taux de germination, de la croissance des racines et des tiges, du poids frais et du poids sec chez des plantules de tomate. Les isolats d'actinomycètes testés ont été choisis par le fait qu'ils ont été étudiés auparavant et elles ont montré d'importantes potentialités de lutte biologique et d'effet PGPB.

Les résultats des tests de l'effet PGPB *in vivo*, exprimé par le taux de germination, la longueur de la partie racinaire et la partie aérienne, le poids frais et le poids sec, en sol stérilisé, sont donnés par les histogrammes de la figure 12, figure 13 et figure 15. Les résultats de l'effet PGPB pour la promotion de la croissance des racines, des tiges, du poids frais et du poids sec des plantules de tomate, pour le sol non stérilisé sont représentés par les histogrammes de la figure 14 et 16.

III.3.1. Le taux de germination

Les résultats du taux de germination des grains de tomate traités par les différentes souches bactériennes sont représentés par les histogrammes de la figure 12.

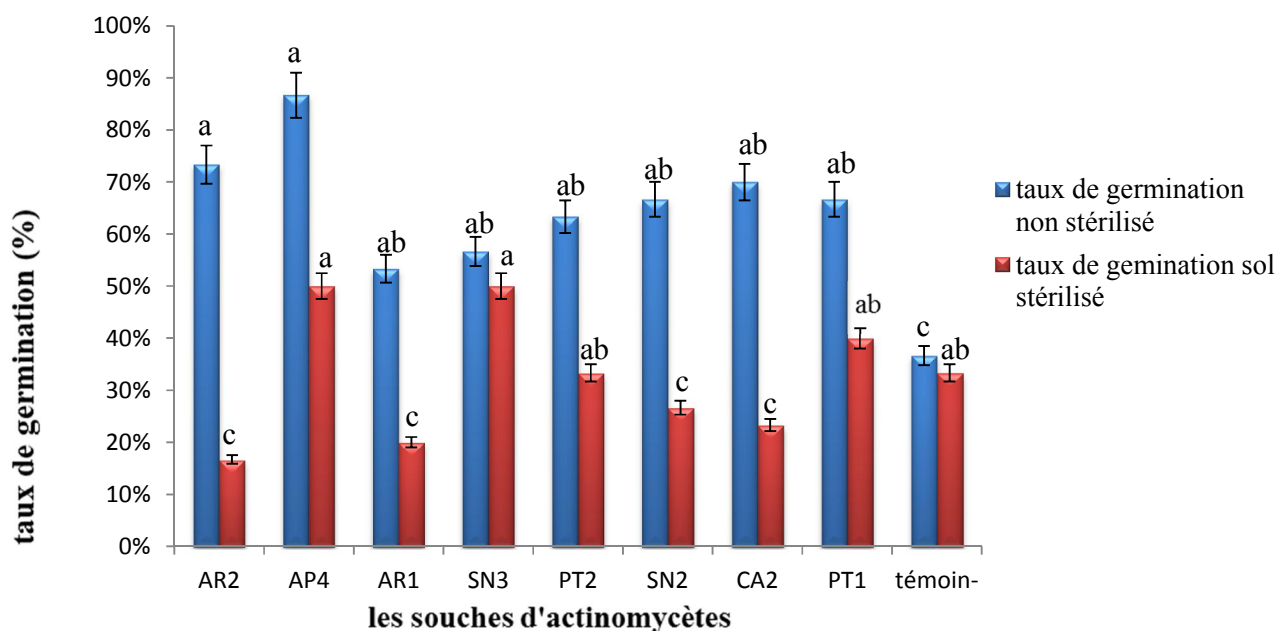


Figure 12. le Taux de germination obtenus par les différents traitements de semences de tomate (cv. Marmande) en sol stérilisé et non stérilisé.

En analysant les résultats donnés par les histogrammes de la figure 12, il ressort que trois isolats uniquement d'actinomycètes ont une influence élevée sur le taux de germination en sol stérilisé ce qui traduit les valeurs obtenues par rapport au témoin. Le taux le plus élevé arrive à 50 % par certains isolats d'actinomycètes endophytes : *Streptomyces* spp. SN3 et AP4, et 40% pour la souche *Streptomyces* PT1.

Les autres traitements par les isolats d'actinomycètes, *Streptomyces* sp. (CA2, SN2, AR2 et AR1) n'avaient pas d'effet sur le taux de germination en sol stérilisé par rapport au témoin négatif.

Les traitements statistiques des résultats du taux de germination en sol stérilisé et en sol non stérilisé montre une différence significative et cela indique qu'il y a une variabilité de l'effet des actinomycètes sur le taux de germination.

Les traitements appliqués à la semence de la tomate cv. Marmande en sol non stérilisé ont permis de constater qu'une augmentation significative du taux de germination (87 %) a été observée pour les semences traitées par la souche *Streptomyces* sp. AP4.

D'après les résultats donnés par l'histogramme de la figure 12. Nous constatons aussi que les souches AP4 et AR2 sont les meilleurs souches pour la promotion du taux de germination des semences de tomate en sol non stérilisé. Cette activité de promotion était observée par plusieurs auteurs (Ahmed *et al.*., 2005). Pratiquement tous les isolats d'actinomycètes ont un effet sur la promotion du taux de germination par rapport au témoin négatif dont il présente la valeur la plus faible.

les *Streptomyces gibosonni* et *Streptomyces grieseoleutus*, induisent la germination des semences des par la production des polyamines tel que la putriscine et spermidine (Venkatachalam *et al.*, 2010). Ces polyamines sont des composés polycationique produisent par la majorité des organismes (Yamasaki *et al.*, 2006).

III.3.2. Promotion de la croissance de la partie racinaire et aérienne

La figure 13 représente les résultats de la promotion de la croissance racinaire et aérienne des plantules de tomate (cv. Marmande) en sol stérilisé, après 4 semaines de culture.

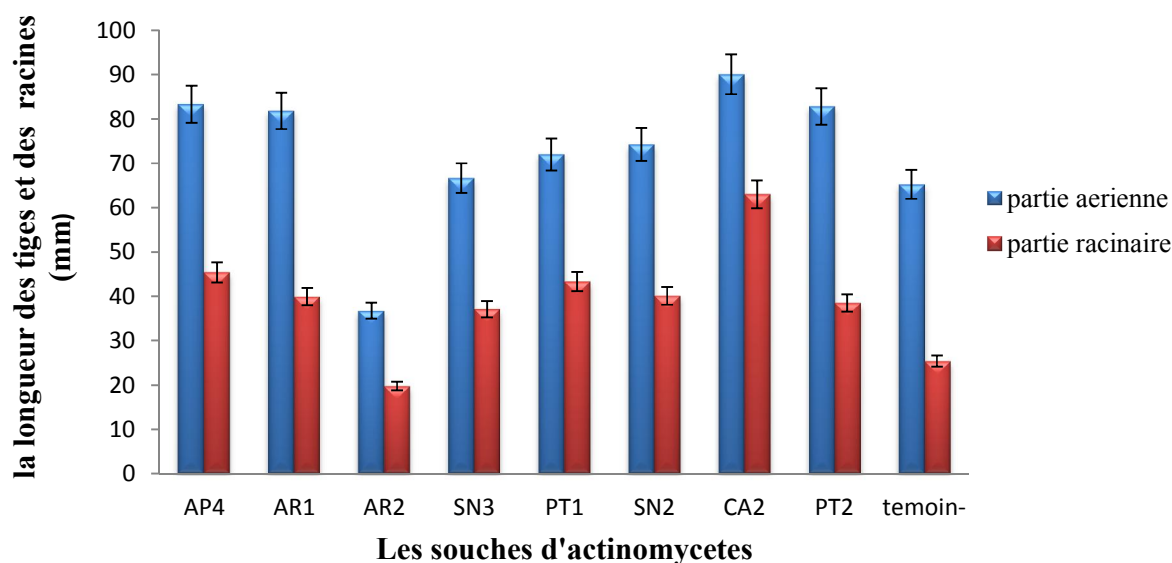


Figure 13. Promotion de la croissance de la longueur des tiges et des racines des plantules de tomate en sol stérilisé.

L'analyse des résultats donnés par la figure 13 montre que les souche *Streptomyces* spp. CA2, AP4, PT2, AR1 sont les meilleures souches pour la promotion de la croissance aérienne.

Les souches *Streptomyces* spp. AP4, AR1, PT1, CA2, représentent les meilleures souches pour la promotion de la croissance racinaire et aérienne. De ce fait nous pouvons dire que l'enrobage des semences par les spores des souche bactériennes citées ci-dessus permet une augmentation considérable de la taille des racines et des parties aériennes comparativement au témoin.

Les traitements statistiques des résultats de la longueur des tiges et des racines en sol stérilisé ont montré une différence non significative. Cela confirme que les souches d'actinomycètes exercent le même effet sur les plantules de tomate.

Glick et al (1995), a montré que la promotion de la croissance de la racine est l'une des principaux marqueurs par lesquels l'effet bénéfique des bactéries promotrices de croissance des plantes est mesuré.

Les *Streptomyces* endophytes produisant l'acide indole-3-acétique (AIA) peuvent fortement favoriser la croissance du végétale en augmentant l'allongement des racines et par plusieurs autres effets bénéfiques (Aldesuquy *et al.*, 1998; Tokala *et al.*, 2002).

Le traitement des semences de certaines plantes par des bacteries bénéfiques, telles que *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, etc., induisent la formation des racines (Esitken *et al.* 2003). Ce phénomène peut être attribuer à la production des auxines, l'inhibition de la synthèse de l'éthylène ou la minéralisation des nutriments par des PGPB efficaces ou actives (Steenhoudt et Vanderleyden, 2000).

Les résultats de l'effet des actinomycètes endophytes sur la promotion de la croissance des plantules de tomates exprimés par la longueur de la partie aérienne et la partie racinaire en sol non stérilisé, sont représentés par les histogrammes de la figure 14.

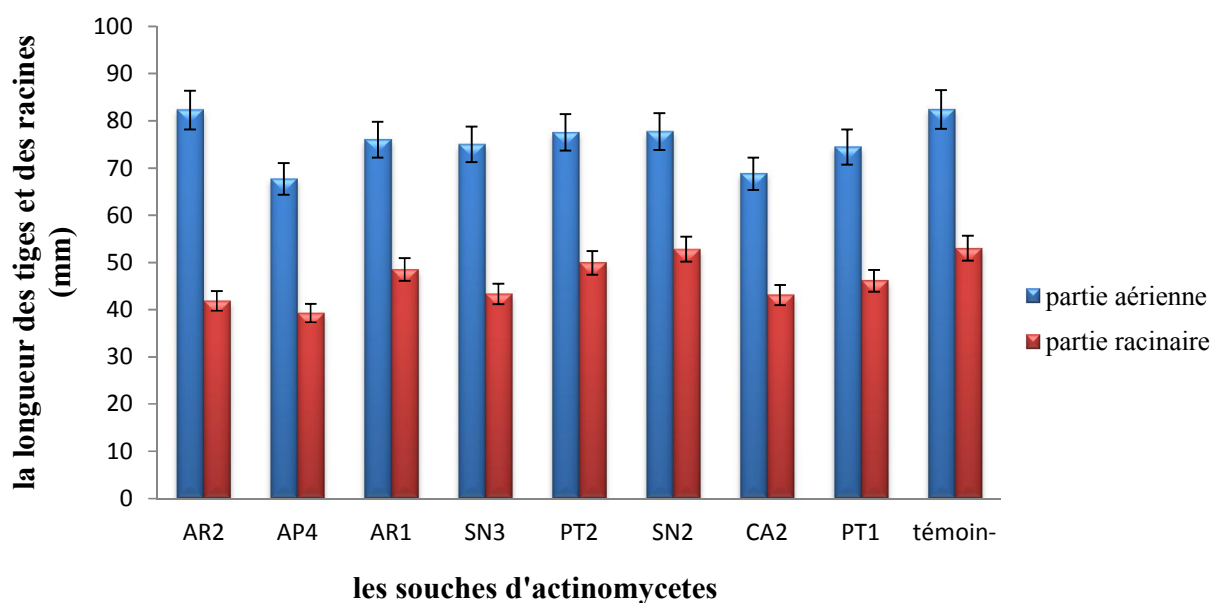


Figure 14. Promotion de la croissance de la longueur des tiges et des racines des plantules de tomate en sol non stérilisé.

En analysant les résultats donnés par la figure 14, et en les comparant au premier dispositif (sol stérilisé), nous constatons que les souches d'actinomycètes utilisées pour promouvoir la croissance de la tige et la racine n'ont aucun effet sur l'élongation des deux parties des plantules de tomate. D'après les histogramme de la figure 14 on constate que seulement la souches *Streptomyces* sp. AR2 qui avait un effet sur la promotion de la partie aérienne, tandis que la souche *Streptomyces* sp. SN2 a enregistré la valeur la plus élevée dans la promotion de la partie racinaire. Dans ce cas et d'après le résultat obtenu par le témoin négatif, nous pouvons suggérer que la microflore indigènes du sol joue un rôle important dans les interactions de la rhizosphère.

Les traitements statistiques des résultats de la longueur des tiges et des racines en sol non stérilisé ont montré une différence non significative. Cela confirme que les souches d'actinomycètes exercent le même effet sur les plantules de tomate.

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

III.3.3. Le poids frais et le poids sec des plantules de tomate

Les différents traitements des semences par les actinomycètes ont été également menés pour étudier l'effet PGPB pour la promotion de la croissance des plantules, exprimés en poids frais et en poids sec des plantules de tomate.

Les résultats du poids frais et poids sec des plantules de tomate cultivées *in vivo* en sol stérilisé et en sol non stérilisé sont représentés dans les figures 15 et 16, respectivement.

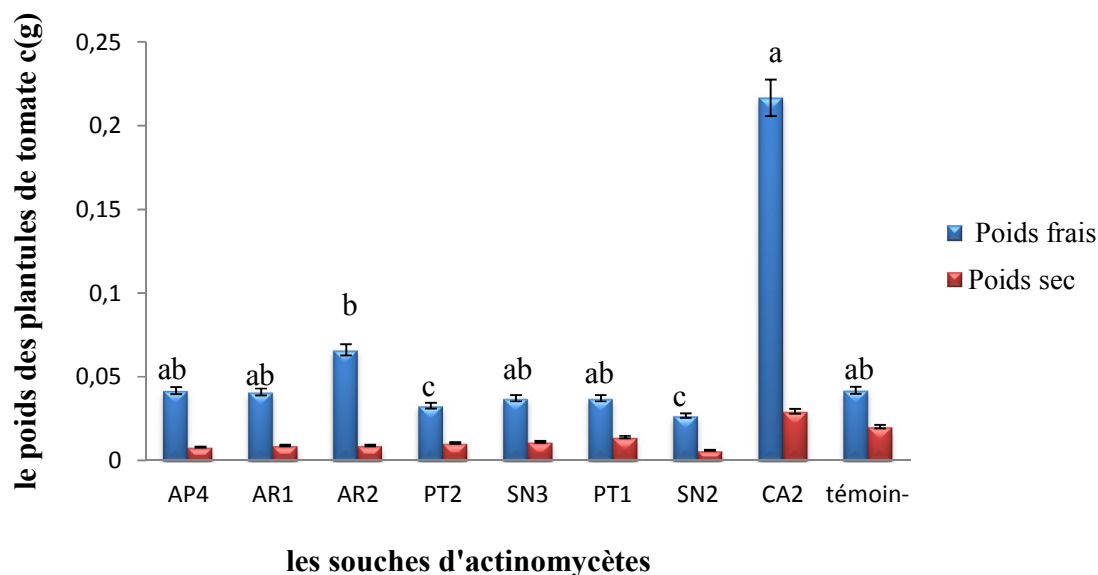


Figure 15. Le Poids frais et le poids sec des plantules de tomate en sol stérilisé.

D'après les résultats donnés par la figure 15, il ressorte qu'une légère diminution du poids frais est observé sous l'effet des actinomycètes par rapport au témoin négatif. Nous constatons aussi que l'enrobage des semences de tomate par les souche *Streptomyces* CA2 et *Streptomyces* AR2 ont permis d'obtenir le meilleur résultat de point de vue poids frais et poids sec, cela est observé avec une valeur de 0.21g et 0.07 g respectivement. Pour le poids sec des plantules de tomate, l'effet des isolats d'actinomycètes est très proches présentant un effet négatif par rapport au témoin.

Les traitements statistiques des résultats du poids frais des plantules de tomate en sol stérilisé ont montré une différence significative. Cela confirme que les souches d'actinomycètes n'exercent pas le même effet sur les plantules de tomate. Tandis que Les traitements statistiques des résultats du poids sec des plantules de tomate ont montré une différence non significative, Cela veut dire que les souches d'actinomycètes ont le même effet sur les plantules de tomate.

De nombreux travaux ont montré le rôle des actinomycètes endophytes dans la promotion de la croissance de leur plante hôte indigène et d'autres plantes cultivées (Kunoh, 2002).

Aldesuquy et al. (1998) ont étudié l'effet des streptomycète sur la promotion de la croissance du blé, l'étude a montré que les streptomycète augmente significativement le poids frais et le poids

sec des plants du blé. *Streptomyces olivaceoviridis* accroît les paramètres de production du blé sachant, le poids frais et le poids sec des grains de blé.

L'application des actinomycètes présentant des effets PGPB, tels que la faculté de production de l'ACC désaminase et l'AIA permis la promotion de la croissance des plantules de tomate *in vivo* (El-Tarabily, 2008).

D'après Franco-Correa et al. (2010) et selon des études réalisées sous serre, ont observés une augmentation de la biomasse des plantules de tomate, après 5 mois de culture, ceci est due à la production de l'ACC désaminase par les souches d'actinomycètes testées.

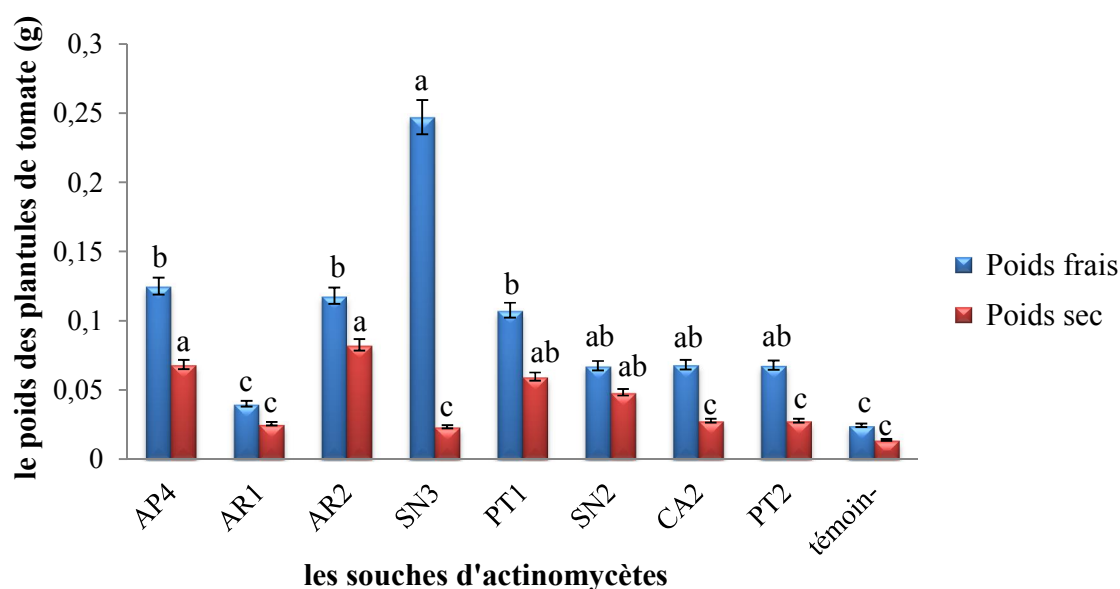


Figure 16. Le poids frais et le poids sec des plantules de tomate en sol non stérilisé.

Pour la promotion de la croissance des plantules, exprimées en poids frais et poids sec, en sol non stérilisé nous constatons que les meilleur traitements pour la variété Marmande sont observé avec les souches *Streptomyces* spp. SN3, AP4, AR2 et PT1. D'après ces résultats, la souche *Streptomyces* SN3 est la meilleure souche pour la promotion du poids frais, tandis que la souche *Streptomyces* AR2 s'est avérée très efficace dans la promotion du poids frais.

Les traitements statistiques des résultats du poids frais et du poids sec des plantules de tomate en sol stérilisé ont montré une différence significative. Cela confirme que les souches d'actinomycètes n'exercent pas le même effet sur les plantules de tomate.

El-Tarabily (2008) a rapporté que les *Streptomyces* spp. de la rhizosphère de tomate avaient la capacité de produire l'AIA et d'améliorer la croissance des plantules des tomate en augmentant le poids sec des racines. En outre, d'autres rapports ont confirmé que les actinomycètes endophytes produisent l'IAA et améliorent la germination des graines et l'élongation des racines de nombreuses plantes comme *Triticum aestivum* (Aldesuquy *et al.* 1998), *Sebsania aculeata* (Ahmad *et al.* 2005), *Zea mays*, *Bruguiera parviflora* (Khamna *et al.* 2010) et *Ochetophila trinervis* (Solans *et al.* 2011).

Conclusion

Les principaux objectifs de notre travail ont porté sur l'étude de la faculté des souches d'actinomycètes à produire l'ACC désaminase, l'AIA et l'évaluation de l'effet PGPB *in vivo* sur des plantules de tomate cv. Marmande.

Le screening des souches d'actinomycètes pour la production de l'ACC désaminase a montré l'existence d'une activité d'ACC désaminase observée chez trente-trois isolats et cela parmi 40 souches d'actinomycètes testé *in vitro*. La meilleure production est enregistrée par les souches *Streptomyces* sp. CA2; *Nocardia* sp. CA7; *Streptomyces* sp. SN8 et *Streptomyces* sp. PH1

Quant à la production de l'AIA, toutes les souches d'actinomycètes sont productrices de cette auxine. Les cinq isolats testés *in vitro* produisent l'AIA à une concentration supérieure à 10 µg/ml. La meilleure production est enregistrée par la souche *Streptomyces* sp. AA2 (115.9 µg/ml) cultivée sur bouillon Yeast extract (YT) additionné de 1mg de L-Tryptophane et incubé en shaker (30 °C, 200 rpm) pendant cinq jours.

Les différents résultats obtenus par l'étude de la promotion de la croissance des plantules de tomate par les isolats d'actinomycète ont également permis d'apporter des informations sur les propriétés phytobénéfiques des souches *Streptomyces* spp. SN3 et AP4 pour la promotion du taux de germination, dont la valeur arrive à 50 % et cela en sol stérilisé, tandis que la *Streptomyces* sp. AP4 avec un taux de germination de 87% en sol non stérilisé.

Pour la promotion de la croissance de la partie aérienne et racinaire, la meilleure souche est *Streptomyces* sp. CA2 avec 90 mm pour la tige et 63 mm pour la racine en sol stérilisé, et en sol non stérilisé l'isolat *Streptomyces* sp. AR2 a enregistré le meilleur résultat pour la promotion de la croissance de la partie aérienne avec une valeur de 82,25mm, tandis que *Streptomyces* sp. SN2 est la meilleure souche pour la promotion de la partie racinaire. La mise en évidence de la production de l'AIA pourrait expliquer l'effet phytostimulateur observé. La production de l'AIA paraît principalement responsable de l'effet PGPB. Les *Streptomyces* endophytes produisant de l'acide indole-3-acétique (AIA) peuvent fortement favoriser la croissance de la végétale en augmentant l'allongement des racines et par plusieurs autres effets bénéfiques.

La souche *Streptomyces* sp. CA2 a enregistré le meilleur résultat pour la promotion du poids frais et sec des plantules de tomate en sol stérilisé, en sol non stérilisé *Streptomyces* sp.SN3 représente une valeur supérieur en poids frais tandis que *Streptomyces* sp.AR2 est la meilleur souche pour la promotion du poids sec.

Sur la base de ces résultats, nous pouvons conclure que la souches *Streptomyces* sp. AP4 est la plus intéressante pour la promotion du taux de germination, Cet isolat pourrait éventuellement trouver sa place dans les applications biotechnologiques visant une amélioration des rendements et la préservation de l'environnement pour un développement durable.

Ce travail de mémoire ouvre de nouvelles perspectives, qu'il serait intéressant d'étudier la faculté de la souches qui s'est avérée intéressante dans la promotion de la croissance des plantules de tomate en vue d'étudier sa faculté à produire d'autres composés stimulantes tel que les gibbérelline, l'acide salicilique et l'acide jasmonique, ainsi que l'étude d'une éventuelle possibilité de fixation de l'azote atmosphérique.

- Ahmad F, Ahmad I. et Khan, M-S. (2004). *Indole Acetic Acid Production by the Indigenous Isolates of Azotobacter and Fluorescent Pseudomonas in the Presence and Absence of Tryptophan*: Department of Agricultural Microbiology, Faculty of Agricultural Sciences, Aligarh Muslim University, Aligarh – 202002 India. 29-34 p.
- Aldesuquy H-S, Mansour F-A. et Abo-Hamed S-A. (1998). *Effect of the culture filtrates of Streptomyces on growth and productivity of wheat plants*. Folia Microbiol, 43:465-470.
- Al-Zarban SS, AL-Mussalam AA, Abbas I, Stackebrandt E and Kroppenstedt R M . (2002). *Saccharomonospora halophila sp. nov., a novel halophetic actinomycete isolated from marsch soil in Kuwait*. Int. j. Sys. Ev. Microbiol., 52:555-558.
- Amkraz N. (2013). *Utilisation des Pseudomonas spp. fluorescents et des plantes aromatiques et médicinales contre Clavibacter michiganensis sub sp. michiganensis, agent du chancre bactérien de la tomate*. Thèse de doctorat. Université ibn zohr AGHADIR.
- Atlas R. et Bartha R. (1998). *Biogeochemical cycling*, pp: 385-414. in *Microbial Ecology, Fundamental and Applications*. Benjamin/Cummings Science publishing, Menlo Park, California.
- Baba Aissa F. (1999). *Encyclopédie des plantes utiles, flore d'Algérie et de Maghreb*. ed. librairie moderne, Rouiba : 278-279p.
- Bakker, P.A.H.M., Pieterse, C.M.J. & van Loon, L.C.(2007). *Induced Systemic Resistance by Fluorescent Pseudomonas spp*. Phytopathology, 97, 239-243.
- Boughachiche F, Reghioua S. Oulmi L, Kitouni M, Boudemagh A and Boulahrouf A. (2005). *Isolement d'actinomycetales productrices de substances antimicrobienne à partie de la Sabkha de Ain M'lila*. Science et Technologie C- n 23 pp5-10.
- Bano N. et Musarrat J . (2003). *Characterization of a new Pseudomonas aeruginosa strain NJ-15 as a potential biocontrol agent*. Current Microbiology. vol.46. p.324-328
- Bhattacharyya, P.N., Jha, D.K., 2012. *Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture*. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28:1327-1350

- Bénard C. (2009). *Etude de l'impacte de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en polyphénols chez la tomate*. Thèse de doctorat, UMR 1121 Nancy université- INRA Agronomie et environnement Ecole doctorale RP2E.
- Belimov AA, Hontzeas N, Safronova VI, Demchinskaya SV, Piluzza G, Bullitta S, Glick BR. (2005). *Cadmium-tolerant plant growth-promoting bacteria associated with the roots of Indian mustard (Brassica juncea L. Czern.)* Soil BiolBiochem 37:241-250
- Bussieres P., (2002). *Water import in the young tomato fruit limited by pedicel resistance and calyx transpiration*. Functional Plant Biology 29: 631-645.
- Bellahammou S. (2011). *L'effet des amendements organiques sur la structure des communautés de nématodes sur culture de tomate dans la région de Touggourt*. Mémoire de Master, Université Saad Dahleb de Blida faculté des sciences Agro-vétérinaires département des sciences agronomiques
- Blancard, D. (2001). *Les maladies de tomate, identifier, connaître, maîtriser*. éd. Paris : Quae. 690 p.
- Blancard D, Latterot H, Marchaud G. et Candresse T. (2009). *Les maladies de tomate*. éd. Paris : Quae. 679 p
- Bloemberg G. et Lugtenberg B. (2001). *molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria*. Cur. Opin. Plant Biol. 4: 343-350.
- Bertrand J-C, Caumette P, Lebaron P. et Normand P. (2009). *Ecologie Microbienne - Microbiologie des Milieux Naturels et Anthropisés*. Publications de l'Université de Pau, Pau, France
- Boyer M. (2008). *Rôle du quorum-sensing et prévalence des bactériophages chez la bactérie phyto-stimulatrice Azospirillum*. Diplôme de Doctorat l'Université Claude Bernard-lyon 16 juillet 2008.
- Bhattacharjee, R.B., Singh, A. et Mukhopadhyay, S.N. (2008). *Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges*. Applied Microbiology and Biotechnology, 80:199-209.

- Cao L, Qiu Z, You J, Tan H. et Zhou S. (2005). *Isolation and characterization of endophytic streptomycete antagonists of Fusarium wilt pathogen from surface-sterilized banana roots*. FEMS Microbiol. Lett. 247: 147-152.
- Cartieaux, F., Thibaud, M.-C., Zimmerli, L., Lessard, P., Sarrobert, C., David, P., Gerbaud, A., Robaglia, C., Somerville, S. & Nussaume, L. (2003). *Transcriptome analysis of Arabidopsis colonized by a plant-growth promoting rhizobacterium reveals a general effect on disease resistance*. The Plant Journal, 36, 177-188.
- Cirad (Organisme, France Ministère des affaires étrangères, Cirad, centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement France, et Gret, groupe de recherche et d'échanges technologique, ministère des affaires étrangères). (2002). *Mémento de l'agronomie*. (ed). Quae.p.1045-1046
- CTIFL, (Ed.) (2000). *Tomate, pour un produit de qualité*, Paris.
- Chanforan C. (2010). *Stabilité de microconstituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate*. Thèse de doctorat Academie d'Aix-marseille Université d'Avignon et des pays de vaucluse.
- Cheng Z, Park E, Glick BR. (2007). *1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from Pseudomonas putida UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt*. Can J Microbiol 53, 912-918.
- Chibane. (1999). In Bellahammou S. (2011). *L'effet des amendements organiques sur la structure des communautés de nématodes sur culture de tomate dans la région de Touggourt*. Mémoire de Master, Université Saad Dahleb de Blida faculté des sciences Agro- vétérinaires département des sciences agronomiques
- Chaux C-L. et Foury C-L. (1994). *Cultures légumières et maraichères*. Tome III : légumineuses potagères, légumes fruit. Paris : Tec & Doc Lavoisier. 563p.
- Chaux C-L. et Foury C-L. (1994). *Les productions légumières Tome I_ Généralités*. Paris : Tec & Doc Lavoisier. 562p.

- Chaux C-L. (1972). In Bellahammou S. (2011). *L'effet des amendements organiques sur la structure des communautés de nématodes sur culture de tomate dans la région de Touggourt*. Mémoire de Master, Université Saad Dahleb de Blida faculté des sciences Agro-vétérinaires département des sciences agronomiques.
- Cheng, Z., E. Park et B. Glick. (2007). *1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from Pseudomonas putida UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt*. Can J. Microbiol., 53(7):912–918.
- Couillerot O. (2009). *Compatibilité des bactéries phyto-bénéfiques Azospirillum et pseudomonas dans la rhizosphère*. Thèse de doctorat. l'université Claude Bernard – Lyon 1.
- Chookietwattana, K., Maneewan, K., (2012). *Selection of efficient salt-tolerant bacteria containing ACC deaminase for promotion of tomato growth under salinity stress*. Soil and Environment, 31: 30-36.
- Daunay M-C, Lester R-N, vanderWeerden G. (2008). *Taxonomie des Solanacées : ce qu'il faut savoir et les pièges à éviter*. In: Marchoux G, Gognalons P, Gébré Sélassié K (eds) *Les virus des Solanacées, du génome viral à la protection des cultures*. Quae Collection Synthèses, pp 3-10 (+ annexe pp 700-721).
- De-Broglie L-A, Guérout D. (2005). *Tomate d'hier et d'aujourd'hui*. Paris, Hoebeke. 143
- De Oliveira MF, da Silva MG, Van Der Sand ST. (2010) . *Anti- phytopathogen potential of endophytic actinobacteria isolated from tomato plants (Lycopersicon esculentum) in southern Brazil, and characterization of Streptomyces sp. R18 (6), a potential biocontrol agent*. Res Microbiol 161:565–572
- Dobbelaere S, Vanderleyden J. et Okon Y. (2001). *Plant growth- promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere*. Crit Rev PlantSci 22, 107-149.
- Dworkin M, Foster J. (1958). *Experiments with some microorganisms which utilize ethane and hydrogen*. J Bacteriol 75:592–601.
- Ecker, J.R. (1995). *The ethylene signal transduction pathway in plants*. Science , 268:667-675.

- Elhassan, G.A., Abdelgani, M.E., Osman, A.G., Mohamed, S.S. et Abdelgadir, B.S. (2010). *Potential production and application of biofertilizers in Sudan Pakistan*. Journal of Nutrition, 9:926-934.
- El-Tarabily, K-A. et Sivasithamparam, K. (2006). *Non-streptomycete actinomycetes as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters*. Soil Biol. Biochem. p.1505-1520.
- El-Tarabily, K.-A., Hardy, G-E. et Sivasithamparam, K. (2010). *Performance of three endophytic actinomycetes in relation to plant growth promotion and biological control of 139 *Pythium aphanidermatum*, a pathogen of cucumber under commercial field production conditions in the United Arab Emirates*. Eur. J. Plant. Pathol.128: 527-539.
- El-Tarabily K. (2008). *Promotion of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)plant growth by rhizosphere competent 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-producing streptomycete actinomycete*. Plant Soil308:161-174.
- Errakhi R., Bouteau F., Lebrihi A. and Barakate M. (2007). *Evidences of biological control capacities of *Streptomyces* spp. against *Sclerotium rolfsii* responsible for damping-off disease in sugar beet (*Beta vulgaris* L.)*. World Journal of Microbio. and Biotech., 23 (11), 1503-1509.
- Esitken A, Karlidag H, Ercisli S, Turan M, Sahin F. (2003). *The effect of spraying a growth promoting bacterium on the yield, growth and nutrient element composition of leaves of apricot (*Prunus armeniaca* L. cv. Hacıhaliloglu)*. Aust J Agric Res 54(4): 377–380.
- Fallik, E., S. Sarig et Y. Okon. (1994). *Morphology and physiology of plant roots associated with *Azospirillum**. pp: 77–85. In: *Azospirillum–Plant Associations*. Okon Y. (ed.). CRC Press, Boca Raton
- Fuentes-Ramirez L. et Caballero-Mellado J. (2006). *Bacterial biofertilizers*, pp:143-172 in *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Franche, C., Lindström, K. et Elmerich, C. (2009). *Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants*. Plant Soil 321:35-59.

- Frankenberger, W.T. et Arshad, M. (1995) . *Phytohormones in soils : Microbial production and function*. Marcel Dekker, New York.
- Franco-Correa M. (1999). *Aislamiento, Caracterización y Evaluación de Actinomyces inhibidores de algunos hongos fitopatógenos*. Thesis of Master in Microbiology Sciences. Chemistry Department, Biotechnology Institute, Science Faculty, Universidad Nacional de Colombia. pp. 86.
- Freitas R P. (2012). *Effet du ver de terre Aporectodea caliginosa sur la croissance des plantes, leur développement et leur résistance aux pathogènes*. Thèses de doctorat. Université Paris EST- -CRETEIL val de marne Faculté des Sciences et Technologie
- FAO. 2008. *L'actualité agricole en Méditerranée*. Ed CIHEAM .33 p.
- FAO. 2012. *Rapport de la production mondiale de tomate (2010)*. [en ligne]. [Consulté le 22 avril 2014]. <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=fr>.
- Gans J, Wolinsky M. et Dunbar J. (2005). *Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil*. Science 309:1387-1390.
- Gillaspay G, Ben-David H, Gruissem W. (1993). *Fruits: a developmental perspective*. Plant Cell, 5: 1439-1451.
- Giovannoni J. (2001). *Molecular biology of fruit maturation and ripening*. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 52: 725-49.
- Getha, K., Vikineswary, S., Wong, W-H., Seki, T., Ward, A. et Goodfellow, M. (2005). *Evaluation of Streptomyces sp. strain g10 for suppression of Fusarium wilt and rhizosphere colonization in pot-grown banana plantlets*. Microbiol. Biotechnol. 32: 24-32.
- Goodfellow M. et Williams S-T. (1983). *Ecology of actinomycetes*. Microbiol. 37 : 189-216.
- Goodfellow M. et Simpson K-E . (1987). *Ecology of Streptomyces*. Front Appl Microbiol . 2: 97-125.
- Goodfellow, M. et A. G. O'Donnell. (1989). *Search and discovery of industrially-significant actinomycetes. Proceeding of the 44th Symposium on Society for General Microbiology, (SCGM'89)*. Cambridge University Press, Cambridge. 343-383.

- Goudjal Y; Toumatia O; Sabaou N; Barakate M; Mathieu F; Zitouni A.(2013). *Endophytic actinomycetes from spontaneous plants of Algerian Sahara: indole-3-acetic acid production and tomato plants growth promoting activity*. World J Microbiol Biotechnol DOI 10.1007/s11274-013-1344-y.
- Ghodhbane-Gtari F, Essoussi I, Chattaoui M, Chouaia B, Jaouani A, Daffonchio D, Boudabous A, Gtari M. (2010). *Isolation and characterization of non-Frankia actinobacteria from root nodules of Alnus glutinosa, Casuarina glauca and Elaeagnus angustifolia*. Symbiosis 50:51–57
- Grasselly D, Navez B, Letard M. (2000). *Tomate, pour un produit de qualité*. 112.
- Gray, E. J., et D.L. Smith. (2005). *Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes*. Soil Biol. Biochem. 37: 395- 412
- Glick B R; Karaturovic D M. et Newell P. C. (1995). *A Novel Procedure for Rapid Isolation of Plant Growth Promoting Pseudomonads*, Canadian Journal of Microbiology, Vol. 41, No. 6, , pp. 533-536. <http://dx.doi.org/10.1139/m95-070>
- Glick B.R., Penrose D.M., Li J. (1998). *A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth promoting bacteria*. J. Theor. Biol. 190, 63–68.
- Glick, B.R., (2003). *Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment*. Biotechnology Advances, 21: 383-393.
- Glick BR. (2004). *Bacterial ACC deaminase and the alleviation of plant stress*. Adv Appl Microbiol 56, 291-312.
- Glick, B.R., (2005). *Modulation of plant ethylene levels by the bacterial enzyme ACC deaminase*. FEMS Microbiology Letters, 251: 1-7.
- Glick, B.R., Todorovic, B., Czarny, J., Cheng, Z., Duan J., McConkey, B. (2007). *Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase*. Critical Reviews in Plant Sciences, 26: 227-242.
- Gillaspay G, Ben-David H, Gruissem W. (1993). *Fruits: a developmental perspective*. Plant Cell, 5: 1439-1451.

- Grichko VP, Glick BR. (2001). *Amelioration of flooding stress by ACC deaminase containing plant growth promoting bacteria*. Plant Physiol. Biochem. 39:11-17
- Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R. et Ahmed, I. (2010). *Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review*. Ann. Microbiol., 60, 579-598.
- Hardoim PR, van Overbeek LS, van Elsas JD. (2008). Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. Trends Microbiol 16:463–471
- Hiltner L.(1904). *Über neuere Erfahrungen und Problem auf dem Gebiet der Bodenbakteriologie und unterbesonderer Berücksichtigung der Grundungung und Brache. Arbeiten der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft*. 98: 59-78.in Mezaache S,2012. *localisation des déterminants de la suppression de quelques souches de pseudomonas isolées de la rhizosphère de la pomme de terre*. Thèse de doctorat. Université Ferhat ABBAS Sétif Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
- Hommel M. (2007). *La régulation transcriptionnelle de l'expression génique dans le fruit de tomate : caractérisation fonctionnelle de promoteurs fruit-spécifiques et d'un co-facteur de la transcription de type MBF1*.Thèse de doctorat. INP ENSAT.
- Huang X-D, El-Alawi Y, Penrose DM, Glick BR, Greenberg BM. (2004). *Responses of plants to creosote during phytoremediation and their significance for remediation processes*. Environ Pollut130, 453-463.
- ITCMI. 2012. *Principaux désordres physiologiques, maladies et ravageurs présents en Algérie: les tomates*. 64p.
- Jacobson CB, Pasternak JJ, Glick BR. (1994). *Partial purification and characterization of ACC deaminase from the plant growth promoting rhizobacterium Pseudomonas putida GR12-2*. Can J Microbiol 40:1019-1025
- Jayvee A, Cruz F, Nacita B, Lantican H, Evelyn F. et Erlinda S. (2014). *Enhancement of growth and yield of upland rice (Oryza sativa L.) var. NSIC Rc 192 by actinomycetes*. Journal of Agricultural Technology Vol. 10(4):875-883.
- Jensen PR, Dwight R and Fenical W. (1991). Distribution of actinomycetes in near-shore tropical marine sediments. Appl. Environ. Microbiol., p 791-796.

- Jia, Y. J., Y. Kakuta, M. Sugawara, T. Igarashi, N. Oki, M. Kisaki, T. Shoji, Y. Kanetuna, T. Horita, H. Matsui et M. Honma. (1999). *Synthesis and degradation of L-aminocyclopropane-L- carboxylic acid by Penicillium citrinum*. *Biosci .Biotechnol. Biochem.*, 63: 542-549
- Kerbab S. *Les actinomycètes d'un sol salé: rôle des osmoprotecteurs naturels*. Université Ferhat Abbas de Sétif Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département de Microbiologie thèse de magistère.
- Kitouni M., Boudemagh A., Oulmi L., Reghioua S., Boughachiche F., Zerizer H., Hamdiken H., Couble A., Mouniee D., Boulahrouf A., Boiron P. (2005). - *Isolation of actinomycetes producing bioactive substances from water, soil and tree bark samples of the north-east of Algeria*. *J. Med. Mycol.*, 15, 45-51.
- Khamna S, Yokota A. et Peberdy J-F. (2010). *Indole-3-acetic acid production by Streptomyces sp isolated from some Thai medicinal plant rhizosphere soils*. *EurAsia J BioSci*.p.23-32.
- Khalid, A., M. Arshad et Z.A. Zahir. (2004). *Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat*. *J. Appl. Microbiol.*, 96: 473-480.
- Khan, M. S ., A. Zaidi., et M. Javed. (2009). *Microbial Strategies for Crop Improvement*. pp: 1-371. Springer- Verlag Berlin Heidelberg.
- Kloepper, J.W. et Schroth, M.N.(1978). *Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes*. *In Station de Pathologie Végétale et de Phytobactériologie, I. (ed) Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria, Angers, France*, pp. 879 -882.
- Kloepper J W, Beauchamp C J. (1992). *A review of issues related to measuring colonization of plant roots by bacteria*. *Can J Microbiol* 38: 1219-1232
- Kunoh, H. (2002). *Endophytic actinobacteria: attractive biocontrol agents*. *J. Gen. Plant Pathol.* 68, 249-252.
- Khan, M.Y., Asghar, H.N., Jamshaid, M.U., Akhtar, M.J., Zahir, Z.A., (2013). *Effect of microbial inoculation on wheat growth and phytostabilization of chromium contaminated soil*. *Pakistan Journal of Botany*, 45: 27-34.

- Latigui A. (1984). *Effet des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée*. In Chougar, S.2011. *Bioécologie de la tomate Tutaabsoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera : Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Zahra, Dawson et Tavira) dans la wilaya de Tizi-Ouzou*. Mémoire de magister : université Mouloud Mameri Tizi-Ouzou. 122p.
- Lebeau A. (2010). *Resistance de la tomate, l'aubergine et le piment à Ralstonia solanacearum : interactions entre les géniteurs de résistance et la diversité bactérienne, caractérisation et cartographie des facteurs génétiques impliqués chez l'aubergine*. Soutenue le 15 décembre 2010 UNIVERSITÉ DE LA RÉUNION. Faculté des Sciences et Technologies UMR « Peuplements Végétaux et Bioagresseurs en milieu Tropical » CIRAD – Université de la Réunion DOCTORAT Discipline : Sciences Formation Doctorale : Interactions plante-microorganisme Ecole Doctorale Interdisciplinaire E.D.I. n°0445.
- Lechevalier, M.P et Lechevalier H. (1985). *Biology of actinomycetes not belonging to genus Streptomyces In : Biology of industrial microorganisms*. The Benjamin Cummings Publishing Company, Inc. p. 315-316
- Lemanceau P, Expert D, Gaymard F, Bakker P-A-H-M. et Briat J-F. (2009). *Role of iron in plant-microbe interactions*. *Adv. Bot. Res.* 51: 491-549.
- Loqman, S. 2009. *La lutte biologique contre la pourriture grise de la vigne: Isolement, caractérisation de souches de bactéries Actinomycétales antagonistes à partir des sols rhizosphériques de vignes saines sauvages d'origine marocaine*. Thèse de doctorat: université de reimschampagne- ardenne. 216 p.
- Liu L, Kloepper JW, Tuzun S. (1995). *Induction of systemic resistance in cucumber against bacterial angular leaf spot by plant growth-promoting rhizobacteria*. *Phytopathol* 85:843-847.
- Mayak S, TiroshT, Glick BR (2004) *Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress*. *Plant Physiol Biochem* 42:565-572
- Massot C. (2010). *Analyse des variations de la teneur en vitamine C dans le fruit de tomate et rôle de l'environnement lumineux*. Thèse de doctorat. academie d'aix-marseille université d'avignon et des pays de vaucluse.

- Mezaache S. (2012). *localisation des déterminants de la suppression de quelques souches de pseudomonas isolées de la rhizosphère de la pomme de terre*. Thèse de doctorat. Université Ferhat ABBAS Sétif Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
- Morrissey J-P., Walsh U-F, O'Donnell A, Moënné-Loccoz Y. et O'Gara F. (2002). *Exploitation of genetically modified inoculants for industrial ecology applications*. *Anton Leeuw* 81:599-606.
- Moustiri A. (1992). *Etude comparative des actinomycètes de la rhizosphère de deux cultivars de palmier dattier sensible et résistant au bayoud. Influence de quelques isolats sur l'expression de la fusariose*. Thèse de Magister en Microbiologie, E.N.S. de Kouba, Alger.
- Mincer, T. L., P. R. Jensen, C. A. Kauffman et W. Fenical. (2002). *Widespread and persistent populations of a major new marine actinomycete taxon in ocean sediments*. *App. Environ. Microbiol.* 68: 5005-5011
- Nadeem, S.M., Hussain, I., Naveed, M., Asghar, H.N., Zahir, Z.A., Arshad, M. (2006). *Performance of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase activity for improving growth of maize under salt-stressed conditions*. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 43: 3-4.
- Nehl, D.B., Allen, S.J. & Brown, J.F. (1996). *Deleterious rhizosphere bacteria: an integrating perspective*. *Appl. Soil Ecol.*, 5, 1-20.
- Nonaka S, Sugawara M, Minamisawa K, Yuhashi KI, Ezura H. (2008) *1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase producing Agrobacterium confers higher ability for gene transfer into plant cells*. *Appl Environ Microbiol* 74:2526–2528.
- Nimnoi P, Pongsilp N, Lumyong S. (2010). *Endophytic actinomycetes isolated from Aquilariacrassna Pierre ex Lec and screening of plant growth promoters production*. *World J Microbiol Biotechnol* 26:193–203.
- Larpent, J. P. (2000). *Introduction à la nouvelle classification bactérienne et les principaux groupes bactériens*. Lavoisier. France. p. 183-212.

- O'Donnell A-G. (1988). *Recognition of novel actinomycetes*. Academic Press London, New-York. p.360-432
- Okon Y. (1994). *Azospirillum /plant associations*. CRC Press, Boca Raton.
- Osada, H. (1998). *Bioprobes for investigating mammalian cell cycle*. control. J. Antibiot. 51: 973-981.
- Patten CL, Glick BR. (2002). *The role of bacterial indole acetic acid in the development of the host plant root system*. Appl Environ Microbiol 68, 3795-3801.
- Ping, L. et Boland, W. (2004). *Signals from the underground: bacterial volatiles promote growth in Arabidopsis*. Trends Plant Sci., 9, 263-266.
- Peralta I-E, Spooner D-M, Knapp S. (2008). *Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (Solanum sect. Lycopersicoides, sect. Juglandifolia, sect. Lycopersicon; Solanaceae)*. Systematic Botany Monographs 84:1-186.
- Persello-Cartieaux, F., Nussaume, L. & Robaglia, C. (2003). *Tales from the underground: molecular plant – rhizobacteria interactions*. Plant, Cell & Environment, 26, 189-199.
- Persello-Cartieaux, F., David, P., Sarrobert, C., Thibaud, M.C., Achouak, W., Robaglia, C. et Nussaume, L. (2001). *Utilization of mutants to analyze the interaction between Arabidopsis thaliana and its naturally root-associated Pseudomonas*. Planta, 212, 190-198.
- Pujic, P., et P. Normand. (2009). *La symbiose racinaire entre la bactérie Frankia et les plantes actinorhiziennes*. Biofutur. 298: 26-29.
- Prescott L M, Harley JP., and Klein D A. (2007). *Microbiologie*. édition de boeck et Larcier.
- Rabhi N H. (2011). *Isolement de Pseudomonas spp. fluorescents d'un sol salé. Effet d'osmoprotecteurs naturels*. Thèse de Magister. Université Ferhat Abbas Setif Faculté des sciences de la nature et de la vie, Département de Microbiologie.
- Ranc N. (2010). *Analyse du polymorphisme moléculaire de gènes de composantes de la qualité des fruits dans les ressources génétiques sauvages et cultivées de tomate ; thèse de doctorat*. école nationale supérieure agronomique de montpellier – supagro recherche d'associations gènes/QTL

- Ranc N, Munos S, Santoni S, Causse M. (2008) *A clarified position for Solanum lycopersicum var. cerasiforme in the evolutionary of tomatoes (solanaceae)*. BMC Plant Biology 8, Article 130.
- Ryu, C.-M., Farag, M.A., Hu, C.-H., Reddy, M.S., Kloepper, J.W. et Paré, P.W. (2004). *Bacterial Volatiles Induce Systemic Resistance in Arabidopsis*. Plant Physiol, 134, 1017-1026.
- Reeves A-F. (1973). *An observation on natural outcrossing in the tomato (Lycopersicon esculentum L.) in Northwest Arkansas*. Arkansas Academy of Science Proceedings XXVII.
- Raaijmakers J, Paulitz T, Steinberg C, Alabouvette C. et Moëgne-Loccoz Y. (2009). *The rhizosphere: a playground and battlefield for soil borne pathogens and beneficial microorganisms*. Plant Soil 321:341-361.
- Renaud V. (2003). *Tomates tous les légumes courant, rares ou méconnus cultivable sous nos climats*. Ulmer. Paris. Ulmer: 135-137
- Renaud V.(2006). *Les tomates qui ont du goût*. Paris, Eugen Ulmer. 95.
- Roesch L-F-W, Fulthorpe R-R, Riva A, Casella G, Hadwin A-K-M, Kent A-D, Daroub S-H, Camargo F-A-O, Farmerie W-G. et Triplett E-W. (2007). *Pyrosequencing enumerates and contrasts soil microbial diversity*. ISME J 1:283-290.
- Ryan, R.P., K. Germaine, A. Franks, D.J. Ryane et D.N. Dowling. (2008). *Bacterial endophytes: recent developments and applications*. FEMS. Microbiol. Lett., 278: 19.
- Sabaou N., Amir H. et Bounaga N. (1980). - *Le palmier dattier et la fusariose. X. – Dénombrement des actinomycètes de la rhizosphère: leur antagonisme vis-à-vis du Fusarium oxysporum f. sp. albedinis*. Ann. Phytopathol., 12, 253-257.
- Sabaou N., Hacène H., Bennadji A., Bennadji H. et Bounaga N. (1992). - *Distribution quantitative et qualitative des actinomycètes dans les horizons de sol de surface et profonds d'une palmeraie algérienne*. Can. J. Microbiol., 38, 1066-1073.

- Sabaou N., Boudjella H., Bennadji A., Mostefaoui A., Zitouni A., Lamari L., Bennadji H., Lefebvre G. et Germain P. (1998). - *Les sols des oasis du Sahara algérien, source d'actinomycètes rares producteurs d'antibiotiques*. Sécheresse, 9, 147-153.
- Saravanakumar, D. et R. Samiyappan. (2007). *ACC deaminase from Pseudomonas fluorescens mediated saline resistance in groundnut (Arachis hypogea) plants*. J. Appl. Microbiol., 102(5): 1283-1292.
- Silini A. (2013). *Effet des molécules osmoprotectrices sur la survie et l'activité de Azotobacter et sur la croissance du blé dur en milieu salin*. Thèse de Doctorat. Université Ferhat Abbas Sétif Faculté des sciences de la nature et de la vie.
- Sun Y. (2008). *The role of ACC deaminase in plant growth promotion by the endophytic bacterium Burkholderia phytofirmans PsJN*. Memoire de Master. University of Waterloo, Ontario, Canada
- Shaik Zulfikar A, Vardharajula S, LingaVenkateswar R. (2013). *Isolation and characterization of drought-tolerant ACC deaminase and exopolysaccharide- producing fluorescent Pseudomonas sp.*
- Shimizu M. (2011). *Endophytic Actinomycetes: Biocontrol Agents and Growth Promoters. Laboratory of Plant Pathology, Faculty of Applied Biological Sciences, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu City 501-1193, Japan.*
- Shankara N, De-jeud J-V-L, De-Jeffau M, Hilmi M. et Vandam B. (2005). *La culture de tomate production, transformation et commercialisation*. Pays-Bas : Ed. Wageningen. 105p.
- Spaepen, S., Vanderleyden, J. et Remans, R. (2007). *Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling*. FEMS Microbiol. Rev., 31, 425-448.
- Spooner D-M, Anderson G-J, Jansen R-K .(1993) . *Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes and pepinos (Solanaceae)*. American Journal of Botany 80:676-688.
- Spooner D-M, Peralta I-E, Knapp S. (2005). *Comparison of AFLPs with other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes [Solanum L. section Lycopersicon (Mill.) Wettst.]*. Taxon 54:43-61.

- Prescott L M, Harley J P, and Klein D A. (2007). *Microbiologie*. Edition De Boeck.
- Suzuki K., Nagai K., Shimizu Y. and Suzuki Y. (1994). - *Search for actinomycetes in screening for new bioactive compounds. Actinomycetologica*, 8, 122–127.
- Steenhoudt O, Vanderleyden J. (2000). *Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects*. FEMS Microbiol Rev 24:487–506
- Shankara N, Dejeu J-V-L, De Jeffau M, Hilmi M. et Vandam, B. (2005). *La culture de tomate production, transformation et commercialisation*. Pays-Bas : Ed. Wageningen. 105p.
- Smaoui S. (2010). *Purification et Caractérisation de Biomolécules à partir de microorganismes nouvellement isolés et identifiés*. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse.
- Snoussi S A. (2010). *Programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche Orient (Projet GTFS/REM/070/ITA) : Rapport de mission : Etude de base sur la Tomate en Algérie*. Ed. Rome : FAO.
- Sheh M-T, Faurobert M, Pawlowski T, Garchery C, Burck H, Mhiri C. (2006). *Caractérisation de la diversité génétique de la tomate*. Nature ; 6 : 81-96.
- Shah S, Li J, Moffatt BA, Glick BR.(1997). *ACC deaminase genes from plant growth promoting rhizobacteria*. In: Kobayashi K, Hemma Y, Kodama F, Kondo N, Akino S, Ogoshi A (eds) *Plant growth promoting rhizobacteria. Present status and future prospects*. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, pp 320–324.
- Solans M., Vobis G., Cassan, F., Luna, V. et Wall, L-G. (2011). *Production of phytohormones by root-associated saprophytic actinomycetes isolated from the actinorhizal plant Ochtophilatrinervis*. World & Microbiol Biotechnol. 27: 2195-2202.
- Shahzad, S.M., Khalid, A. Arshad, M., Kalil-ur-Rehm, (2010). *Screening rhizobacteria containing ACC deaminase for growth promotion of chickpea seedlings under axenic conditions*. Soil and Environment. 29: 38-46.
- Stearns JC, Saleh S, Greenberg BM, Dixon DG, Glick BR.(2005). *1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase to growth inhibition by nickel*. Plant Physiol Biochem 43: 701-708

- Tahi H. (2008). *efficience de l'utilisation de l'eau d'irrigation chez la tomate par la technique de prd (partial rootzone drying) et étude des mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués*. Thèse de doctorat. Université Cadi ayyad, Faculté des Sciences, Sémalaia-Marrakech.
- Tilak, K.V.B.R., N. Ranganayaki, K.K. Pal, R. De, A.K. Saxena, C.S. Nautiyal, Shilpi Mittal, A.K. Tripathi, et B.N. Johri. (2005). *Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria*. Curr. Sci. 89: 136-150.
- Toumatia O. (2010). *Actinomycetes sahariens producteurs d'antifongiques: isolement, taxonomie, caractérisation des antibiotiques et essais de lutte contre les maladies de plantes*. Thèse de Magister. Ecole Normale Supérieure de Kouba-alger.
- Tomodori. (2007). *La fleur de tomate*. Disponible sur : <http://tomodori.com>. in Fichot L. (2010). *Biodiversité chez la tomate, stratégie de conservation et valorisation de la collection*. Gembloux Agro Bio Tech.
- Toufouti Z -H. (2012). *Contribution à l'étude des maladies bactériennes de la tomate (Lycopersicon esculentum Mill) cultivée en serres dans l'Est Algérien*. Thèse de Magister, Université Constantine-1 Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département de Microbiologie. 2012-2013.
- Torsvik V, Goksoyr J. et Daae F-L. (1990). *High diversity in DNA of soil bacteria*. Appl Environ Microbiol 56:782-787.
- Tokala RK, Strap JL, Jung CM, Crawford DL, Salove MH, Deobald LA, Bailey JF, Morra MJ. (2002). *Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving Streptomyces lydicus WYEC108 and the pea plant (Pisum sativum)*. Appl Environ Microbiol 68:2161-217.
- Trejo-Estrada S.R., A. Paszczynski and Crawford D.L. (1998). - Antibiotics and enzymes produced by the biocontrol agent *Streptomyces violaceusniger* YCED-9. J. Industr. Microbiol. Biotech., 21, 81-90.
- van Loon, L.C., Geraats, B.P.J. et Linthorst, H.J.M. (2006). *Ethylene as a modulator of disease resistance in plants*. Trends Plant Sci., 11, 184-191.
- van Wees, S.C., van der Ent, S. et Pieterse, C.M. (2008). *Plant immune responses triggered*

by beneficial microbes. Curr. Opin. Plant Biol., 11, 443-448

- Vessey K-J. (2003). *Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers*. Plant and Soil, 255: 571–586.

- Venkatachalam P, Ronald J, Sambath K. (2010). *Effect of soil streptomycetes on seed germination*. International Journal of Pharma and Bio Sciences Vol.1/Issue-4 ISSN 0975-6299.

- Viollet A. (2010). *Influence du système de sécrétion de type III bactérien dans les interactions plante-Pseudomonas spp. Fluorescents non pathogènes*. Thèse de Doctorat. université de Bourgogne Ecole Doctorale Environnement-SANTÉ-STIC.

- Wang L, Huang Y, Liu Z, Goodfellow M and Rodrié 'guez C. (2006). *Streptadiphilus Oryzae sp. Nov. An actinomycete isolated from rice – field soil in Thailand*. Int. J. Sys. EV. Microbiol., 56:1257-1261.

- Wang CX, Knill E, Glick BR, Defago G. (2000). *Effect of transferring 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminase genes into Pseudomonas fluorescens strain CHA0 and its gac A derivative CHA96 on their growth-promoting and disease-suppressive capacities*. Can J Microbiol 46, 898-907.

- Walker V. (2010). *Impact de l'inoculation de micro-organismes phytobénéfiques sur le métabolisme secondaire de Zea mays L.* thèse de doctorat. L'université Claude Bernard Lyon 1 école doctorale évolution, écosystèmes microbiologie modélisation.

- Williams, S. T. et E. Wellington. (1982). *Actinomycetes. In Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy monograph N°. 9 (Second Edition). Ed., A. L. Page, pp. 969-987, ASA-SSSA. Madison.

- Williams S.T., Lanning S., Wellington E.M.H. (1984). - Ecology of Actinomycetales, p. 481-528. In: « The Biology of the Actinomycetes » (Goodfellow M., Mordarski M. and Williams S.T., Eds) Academic Press, London.

- Weyens, N., S. Monchy, J. Vangronsveld, S. Taghavi, et D. Vander Lelie. (2010). *Plant-Microbe Partnerships*, p. 254- 2564 . In K.N. Timmis (ed.), Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology, Springer -Verlag, Berlin Heidelberg.

- Whipps J.M. (1990). *Carbon utilization*. pp: 59-97. In: *The Rhizosphere*. Lynch J.M. (ed.). Wiley Interscience, Chichester, UK.
- Whipps J-M. (2001). *Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere*. J. Exp. Bot. 52: 487-511.
- Yamasaki H. et Cohen F. (2006). No signals at the cross roads; polyamine induced nitric oxide synthesis in plants, *Trends in plant science*, 11: 522 – 524.
- Zahir, Z.A., Akhtar, S.S., Ahmad, M., Saifullah, Nadeem, S.M., (2012). *Comparative effectiveness of Enterobacter aerogenes and Pseudomonas fluorescens for mitigating the depressing effect of brackish water on maize*. International Journal of Agriculture and Biology, 14: 337-344.
- Zahir AZ, Ghani U, Naveed M, Nadeem SM, Asghar HN. (2009). *Comparative effectiveness of Pseudomonas and Serratia sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (Triticum aestivum L.) under saltstressed conditions*. Arch Microbiol 191: 415-424
- Zafar-ul-Hye, M., Zahir, Z.A., Shahzad, S.M., Naveed, M., Arshad, M., and Khalid, M., (2007). *Preliminary screening of rhizobacteria containing ACCdeaminase for promoting growth of lentil seedlings under axenic condition*. Pakistan Journal Botany, 39: 1725-1738.
- Zaitlin B. and Watson S.B. (2006). Actinomycetes in relation to taste and odour in drinking water, Myths, tenets and truths. Water research, 40 -1741- 1753