



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR D'EL OUED
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

En vue de l'obtention du diplôme de License

Filière : Sciences biologique

Spécialité : Biologie et physiologie végétale

THÈME

**Effet de l'inoculation du support pédologique par
les rhizobactéries favorisant la croissance du piment
(*Capsicum annuum*)**

Présenté par :

- CHELALGA Nadjah
- GHRIB Mehdi
- SAOUD Djihad
- SAOUDI Lina

Dirigé par :

DJOUDI Abdelhak

Année universitaire: 2014/2015

Remerciement

Nous remercions Allah qui nous a guidé tout le long de ce chemin afin de réaliser ce modeste travail.

*Tous nos remerciements vont d'abord au Professeur **Mr. DJOUDI Abdelhak** pour avoir accepté de diriger ce travail qu'il trouve ici l'expression de nous profonde et sincère reconnaissance pour tous ses efforts, son savoir, ses critiques constructives et sa confiance.*

Nous remercions vivement les étudiantes AMINA et SOFIA.

Nous remercions le Laboratoire de l'université d'El Oued.

Nous remercions tous les enseignants de la faculté des sciences exacts et sciences de la nature et de la vie.

Enfin, Nous remercions tous qui ont participé de près où de loin à la réalisation de ce travail.

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE	
PREMIÈRE PARTIE: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	11
CHAPITRE I: LA BACTÉRIE	3
1. Définition d'une bactérie	3
2. La anatomie des bactéries.....	3
2.1. Nucléoïde.....	3
2.2. Cytosol (hyaloplasme)	3
2.3. La membrane cytoplasmique.....	4
2.4. La paroi bactérienne.....	4
2.5. Structures inconstantes.....	5
3. Classification bactérienne	6
4. La nutrition bactérienne.....	6
4. 1. Les autotrophes	6
4. 2. Les hétérotrophes	6
5. La croissance des bactéries	6
6. Mode de reproduction des bactéries.....	7
7. Les facteurs importants dans développement des bactéries du milieu extérieur.....	7
7.1. La température	7
7.2. Le pH	7
7.3. La teneur en oxygène	7
7.4. La composition du milieu extérieur.....	7
7.5. Les facteurs chimiques	8
CHAPITRE II: ALIMENTATION MINÉRALE DE LA PLANTE	9
1. Les Besoins nutritifs des plants.....	9
1.1. Le sol	9
1.2. L'absorption.....	9
1.3. Les macroéléments	9
1.4. Les oligoéléments.....	11
2. Carence et symptômes des éléments nutritifs.....	12
2. 1. Carence en azotée (N)	12
2. 2. Carence en phosphore (P).....	12
2. 3. Carence en calcium (Ca)	13
2. 4. Carence en potassium (K).....	13
2. 5. Carence en magnésium (Mg)	13
2. 6. Carence en soufre (S)	14
2. 7. Carence en fer (Fe).....	14
2. 8. Carence en zinc (Zn)	14
3. Les interactions entre éléments	14
3.1. Les antagonismes	15
CHAPITRE III: RHIZOBACTÉRIES FAVORISANT LA CROISSANCE DE PLANTE	16
1. Rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (RFCP)	16

2.	Effet de RFCP sur l'absorption des éléments minéraux	17
2.1.	Effet de RFCP sur la fixation d'azote	17
2.2.	Effet de RFCP sur la solubilisation des phosphates.....	18
2.3.	Effet de sur l'absorption de fer	19
2.4.	Effet de RFCP sur l'absorption de soufre	20
3.	Effet de RFCP sur la production de phyto-hormones.....	20
3.1.	Acide Indole-3-Acétique (AIA).....	21
3.2.	Cytokinines	21
3.3.	La 1-Amino-cyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminase.....	21
3.4.	Gibbérellines.....	21
4.	Effet de RFCP sur lutte biologique	22
4.1.	Interactions directes PGPR-Pathogène	22
5.	Effet de RFCP sur l'Induction de la Résistance Systémique (ISR)	23
CHAPITRE IV: LE PIMENT.....		24
1.	La famille Solanacées	24
1.1.	Définition du piment	24
1.2.	Classification de piments	25
1.3.	Les espèces du piment.....	25
2.	Botanique.....	26
2.1.	La feuille	26
2.2.	La tige.....	26
2.3.	Les fleurs	26
2.4.	La pollinisation.....	26
2.5.	Le fruit.....	26
3.	Ecologie.....	27
3.1.	Exigence de la plante.....	27
4.	Maladies.....	28
4.1.	Champignon.....	28
4.2.	Bactériose.....	28
4.3.	Les viroses	29
5.	Valeur alimentaire du piment.....	29
6.	Utilisation de produits.....	29
6.1.	En médecine	29
6.2.	Les piments comme insecticide	30
DEUXIÈME PARTIE : PARTIE EXPÉRIMENTALE		31
CHAPITRE I: MATÉRIEL ET MÉTHODE DE TRAVAIL		32
1.	Présentation de la région d'étude	32
1.1.	Situation géographique.....	32
1.2.	Géologie :	33
1.3.	Hydrographie.....	34
1.4.	L'agriculture dans la région.....	34
2.	Caractérisation édaphique et climatique de la zone d'étude.....	34
2.1.	Caractères édaphique et hydrauliques.....	34
2.2.	Caractères climatiques	34
3.	Analyse microbiologique des sols.....	39

3.1. Echantillonnage du sol.....	39
3.2. Isolement des rhizobactéries	39
3.3. Isolement, purification et conservation des rhizobactérie	39
3.4. Multiplication des souches R10.2	39
4. Etude de l'effet de l'inoculation du support pédologique par des souches R10.2 sur la croissance de la piment (<i>Capsicum annuum</i>)	40
4.1. Préparation de la sol.....	40
CHAPITRE II: RESULTATS ET DISCUSSIONS	43
<u>1.</u> Isolement, purification et conservation des rhizobactérie	43
1.1. Les Pseudomonas.....	43
1.2. Les rhizobactéries phosphosolubilisatrices	43
1.3. Préparation de l'inoculum de l'isolat R10.2	45
2. Etude de l'effet de l'inoculation du support pédologique par des souches R10-2 sur la croissance du piment (<i>Capsicum annuum</i>).....	46
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	
ANNEXES.....	
RÉSUMÉ.....	

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
Tableau 01	Classification bactérienne.	06
Tableau 02	Chaleur et humidité de l'air selon l'exigence de la plante.	27
Tableau 03	Les températures mensuelles moyennes, maximales et minimales (°C) de la région d'El Oued.	35
Tableau 04	Les Pluviométries mensuelles moyennes de la région d'El Oued.	36

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
Figure 01	Schéma montre la structure d'une cellule bactérienne.	03
Figure 02	Schéma montre les mécanismes d'action des rhizobactéries.	17
Figure 03	Schéma montre les mécanismes d'action des bactéries solubilisant les phosphates.	19
Figure 04	Schéma montre tiges, feuilles, fleurs, fruits, et graines du piment.	25
Figure 05	Carte géographique de la wilaya d'El Oued..	32
Figure 06	Carte géographique de la région d'étude.	33
Figure 07	Les moyennes annuelles de la température de la zone d'étude de la période 2006 – 2014.	35
Figure 08	Les moyennes annuelles des pluviométries de la zone d'étude de la période 2006-2014.	36
Figure 09	Courbe ombrothermique de Gaussen.	37
Figure 10	Climatgramme ombrothermique d'Emberger	38
Figure 11	Photo de préparation du support pédologique.	40
Figure 12	Photo du bloc expérimental.	41
Figure 13	Photo de la plantation des semences piment dans l'alvéole.	42
Figure 14	Photo des boîtes Pétri qui présente des colonies avec halo claire.	43
Figure 15	Photo de boîtes Pétri montre la repiquage de différentes colonies (R1 à R10).	44
Figure 16	Photo de boîtes Pétri contenant les colonies les plus intéressantes (R8 - R10).	44
Figure 17	Photo de boîte Pétri contient des colonies choisis pour l'inoculation des tubes à essai.	45
Figure 18	Photo des tubes à essai contient la suspension bactérienne pour l'inoculation des flacons.	46
Figure 19	Photo des flacons inoculés par nos bactéries dans le bouillon nutritif.	46
Figure 20	Photo des alvéoles après 12 jours de la plantation.	47

Liste des abréviations

% :	Pourcent.
°C :	Degrés Celsius.
ACC:	Amino-Cyclopropane-1-Carboxylate
ADN :	Acide Désoxyribose Nucléase.
ATP:	Adénosine Triphosphate.
B :	Le Bore.
Ca :	Le Calcium.
CaO:	Oxyde de Calcium.
Co:	Le Cobalt.
Cu :	Le Cuivre.
D S A :	Direction des Services Agricoles.
Fe:	Le Fer.
Ha :	Hectare.
IPM:	les Programmes de Lutte Intégrée.
ISR :	Induction de la Résistance Systémique .
k/ha :	Kilogramme par Hectare.
K:	Le Potassium.
Km:	Kilomètre.
L'AIA :	Acide Indole-3-Acétique .
LPS:	Lipopolysaccharide.
M.S :	La Matière Sèche.
m:	Mètre.
Mg:	Magnésium .
MgO:	Oxyde de Magnésium.
ml :	Millilitre.
mm :	Millimètre.
mm/an :	Millimètre sur Année .
Mn:	Le Manganèse .
Mo :	Le Molybdène.
N :	L'Azote .
N M :	Office National de Météorologie.

N°:	Nombre.
NADP:	Nicotine Adénosine Diphosphate
Nm:	Nanomètre.
O:	Oxygène .
P:	Le phosphore.
P₂O₅ :	Pentoxyde de Phosphore.
PGPR:	Plante Growth-Promoting Rhizobacteria.
pH:	Potentiel Hydrogène
ppm:	Partie Pour Million
PVDs :	Pyoverdines.
RFCP:	Rhizobactéries Favorisant de la Croissance des Plantes .
S:	Le Soufre .
SO₃:	Oxyde de Sulfate.
µm :	Micromètre, unité mesurant la distance.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'agriculture joue un rôle important dans l'économie Algérienne, elle produit la majorité des produits agricoles du marché local, la production du piment est de 2,335,50 tonne en 2014 dont 7100 tonne venue d'El Oued (Annuaire Statistique de la wilaya d'El Oued, 2014).

L'utilisation des engrais chimique dans agriculture moderne augmente le rendement des cultures. Elle devrait donc être suffisante pour garantir la croissance harmonieuse du végétal, assurer le rendement escomptée en quantité et en qualité. En contrepartie de leurs avantages, les engrais chimiques comportent des risques éventuels de nitrates et de phosphates non utilisés par le sol et qui peuvent, par infiltration ou lessivage, contaminer les rivières et les nappes phréatiques qui causent la pollution.

Certains micro-organismes, principalement des bactéries, sont capables de coloniser efficacement les systèmes racinaires et influencent de manière bénéfique la plante en stimulant sa croissance. Ces bactéries de la rhizosphère sont alors reprises sous le terme PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria). (HAAS et DEFAGO., 2005).

L'amélioration de la fertilité du sol est l'une des stratégies les plus communes pour augmenter la production agricole. Dans les sols fertiles la plupart du phosphore n'est pas disponible pour les plantes, certains micro-organismes rendre le phosphore disponible pour les plantes par minéralisation du phosphore organique du sol et par solubilisation des phosphates calcique (KUCEY *et al.*, 1989). La capacité de quelques micro-organismes à convertir le phosphore insoluble en forme accessible pourrait être une source considérable de phosphate assimilable dans les agrosystèmes (SHARMA *et al.*, 2007).

L'objet de cette présente recherche consiste à déterminer l'effet de l'inoculation du support pédologique par souches de rhizobactéries solubilisatrices du phosphore sur la croissance du piment (*Capsicum annuum*).

Plusieurs isolats de rhizobactéries sont obtenues à partir des sols cultivés de la région d'El Oued, subi les différents tests de solubilisation du phosphate. Les isolats qui présentaient des résultats intéressants ont été utilisés pour l'inoculation du support pédologique afin de voir l'effet sur la croissance et la nutrition du piment.

Pour réaliser ce travail nous avons effectué les étapes suivantes :

1. Recherche bibliographique.
2. présentation et caractérisation de la zone d'étude .
3. Isolement et caractérisation des PGPR .
4. Utilisation des rhizobactéries pour stimuler la croissance du piment.

PREMIÈRE PARTIE:
SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I: La bactérie

Le monde microscopique formé principalement par les bactéries qui sont des micro-organismes unicellulaires procaryotes puisqu'elles n'ont pas de noyau, le matériel génétique est libre dans le cytoplasme, ces êtres primitifs ne possèdent ni réticulum, ni mitochondries, ni plastides. Ce sont les organismes les plus répandus et les plus anciens, elles vivent en communauté, on parle de colonie bactérienne .

1. Définition d'une bactérie

Les bactéries sont des micro-organismes vivants procaryotes, leur taille est réduite, la plupart mesurent entre 1 μm et 10 μm , toutefois les bactéries les plus grosses peuvent mesurer plus de 500 μm (BENCHOUCHA., 2011). Sans noyau différencié, sans mitochondries avec un génome habituellement circulaire, avec paroi rigide forme peptidoglycane (Figure01) (BERCHE., 2002) .

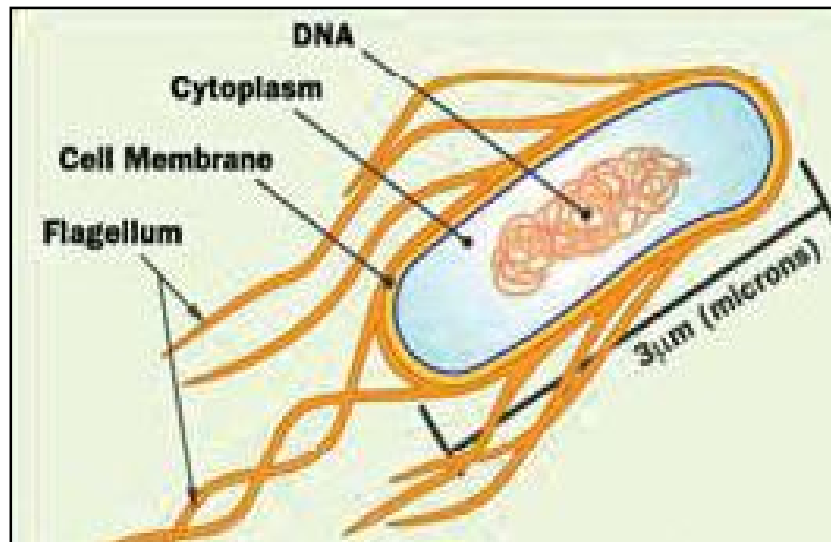


Figure 01 : Schéma montre la structure d'une cellule bactérienne (BENCHOUCHA., 2011)

2. La anatomie des bactéries

2.1. Nucléoïde

Le nucléoïde est comme évoqué plus haut, une région de forme irrégulière, non délimitée par une membrane, dans laquelle est concentré le chromosome bactérien (BENCHOUCHA., 2011).

2.2. Cytosol (hyaloplasme)

Le cytosol ou hyaloplasme est, chez les procaryotes, la phase liquide qui se trouve entre la membrane plasmique et le nucléoïde. C'est le siège de la majorité des réactions chimiques

du métabolisme, il contient beaucoup d'eau, ainsi que des ions et des protéines (BENCHOUCHA., 2011).

2.3. La membrane cytoplasmique

Appelée aussi plasmalemm, c'est la limitant externe du cytoplasme, elle est constituée d'une double couche d'unités de phospholipides (35 %) et de protéines qui lui sont associées (65 %), elle a une structure classique et assure la perméabilités élective des ions pénétrant à l'intérieur de la bactérie. Elle est aussi le siège de nombreuses activités enzymatiques, cette membrane peut présenter des invaginations complexes, plus ou moins feuilletées, ce sont les mésosomes qui auraient un rôle dans la réplication de l'ADN et dans la synthèse de la paroi lors de la division (LABERCHE., 2011).

2.4. La paroi bactérienne

La paroi bactérienne est une enveloppe rigide et résistante, présente chez toutes les bactéries à l'exception des mycoplasmes, elle constitue le squelette externe et est responsable de la forme de celle-ci. La bactérie étant très riche en solutés, sa pression osmotique interne est très élevée, la paroi évite donc l'éclatement de la cellule.

La composition de la paroi n'est pas la même d'un groupe de bactéries à l'autre, la coloration de GRAM met en évidence deux types de parois :

2.4.1. Gram positif

La paroi des cellules gram-positives est formée d'une seule couche homogène de peptidoglycane de 20 à 80 nm d'épaisseur qui se trouve à l'extérieur de la membrane plasmique. Le peptidoglycane des Gram positif est traversé latéralement par de grandes chaînes polymériques qui le relie à la membrane plasmique : les acides téichoïques. Comme la paroi de ces bactéries est plus épaisse, celles-ci sont plus résistantes à la déshydratation, aux chocs physiques et aux antibiotiques.

2.4.2. Gram négatif

La paroi des bactéries gram-négatives est fort complexe, elle contient une couche de peptidoglycane entourée d'une membrane externe épaisse de 10 à 20 nm. Il y a souvent un espace visible au microscope électronique entre la membrane plasmique et la membrane externe, cet espace s'appelle espace périplasmique ou périplasme.

La membrane externe est en contact direct avec le milieu extérieur, elle est essentiellement composée de phospholipides organisés en bicouche (partie hydrophile à l'extérieur et partie lipophile à l'intérieur) mais contient aussi de nombreuses protéines

intrinsèques, essentiellement des protéines de transports nommées porines. La membrane externe est reliée au peptidoglycane par la lipoprotéine de BRAUN.

Énormément de bactéries Gram négatif possèdent aussi un composé nommé lipopolysaccharide ou LPS, ce composé immunogène et pathogène s'active lors de la lyse de la bactérie (BENCHOUCHA., 2011).

2.5. Structures inconstantes

2.5.1 La capsule

La capsule est une structure extérieure, plus ou moins épaisse qui entoure la paroi de certaines bactéries, la constitution de la capsule est le plus souvent polysaccharidique, parfois protéique. la capsule protège la bactérie de la phagocytose et des agents physicochimiques (on dit que c'est un facteur de virulence) tout en lui permettant d'adhérer plus facilement aux autres êtres vivants (PRESCOTT *et al.*, 2003).

2.5.2. Les flagelles

Les flagelles sont des structures en forme de filaments longs (peuvent atteindre plusieurs fois celle de la bactérie) et très fins, attachés sous la membrane plasmique, servant au déplacement de plusieurs sortes de bactéries. Ils sont constitués d'une protéine contractile : la flagelline (BENCHOUCHA., 2011).

2.5.3. Les pili

Les pili (singulier pilus) sont des évaginations de la membrane plasmique se situant à la surface de la paroi de nombreuses bactéries, ils sont fréquents chez les bactéries Gram négatif et rares chez les Gram positif. On les distingue en deux catégories, de morphologie et de fonctions distinctes : les pili communs et les pili sexuels (GUY et VIERLING., 2008).

2.5.4. Les spores

Les spores n'existent que chez certaines bactéries Bacilles clostridium, la sporulation est induite par des conditions hostiles et confère une extrême résistance aux agents physiques et chimiques (BERCHE., 2002).

3. Classification bactérienne

Tableau 01 : Classification bactérienne (BERCHE., 2002).

Bactéries aérobies	Gram positif	Coques
		Bacilles
	Gram négatif	Coques
		Bacilles
		Bactéries intracellulaires
		Bactéries spiralées
	Bactéries sans Paroi	
Bactéries anaérobies	Flor de veillons	Coques et Bacilles
	Gram négatif	Bacilles
	Gram positif	Bacilles

4. La nutrition bactérienne

Pour vivre et se multiplier, les bactéries besoin des éléments nutritifs: eau, source d'énergie, source de carbone, source d'azote, éléments minéraux. Selon le mode de nutrition de la bactérie groupe en deux types :

4. 1. Les autotrophes

Bactéries capables de se développer en milieu minérale.

4. 2. Les hétérotrophes

Bactéries exigeant des composés organiques (EL BEKKAY., 2009).

5. La croissance des bactéries

La croissance est un processus complexe qui se déroule en plusieurs séquences : absorption des nutriments de base requis présents dans le milieu, conversion de ces nutriments en matériel cellulaire et en énergie, réplication du génome et augmentation de la taille avec de l'ensemble des éléments constituant le matériel cellulaire, division en duplication deux cellules filles dotée chacune d'une copie du génome et des autres composants cellulaires (CHEURFI., 2011). Toutes les bactéries n'ont pas les mêmes conditions de croissance, en

général elles ont besoin de : eau, source d'énergie, source de carbone, source azote, éléments minéraux, pH neutre, alcalin ou acide, température, teneur en oxygène (EL BEKKAY., 2009).

6. Mode de reproduction des bactéries

Les bactéries se reproduisent de façon asexuée selon un mode de division cellulaire appelée scissiparité ou fission binaire. Le matériel génétique est tout d'abord dupliqué, puis la bactérie s'allonge et se produit la synthèse d'un septum transversal au milieu de la cellule, aboutissant à la séparation des deux cellules filles identiques à la cellule mère. Ainsi, la descendance d'une cellule bactérienne est un clone de cellules génétiquement identiques, appelé colonie (PRESCOTT *et al.*, 2003).

7. Les facteurs importants dans développement des bactéries du milieu extérieur

7.1. La température

Le froid ralentit ou bloque le métabolisme des bactéries, le chaud (jusqu'à un certain point) l'active, entre 60 et 100°C, certaines bactéries sporulent pour résister aux conditions défavorables, la stérilisation à 120°C pendant 20 minutes ou à 110°C pendant 30 minutes tue les bactéries (EL BEKKAY., 2009).

7.2. Le pH

La plupart des bactéries se développent lorsque le pH est compris entre 5.5 et 9. Il existe néanmoins des bactéries acidophiles se développant à des pH très bas, jusqu'à un pH = 1,5 et des bactéries alcalinophiles (EL BEKKAY., 2009).

7.3. La teneur en oxygène

Certaines bactéries ont besoin d'oxygène, d'autres pas. On différencie ainsi:

7.3.1. Les bactéries anaérobies strictes (chez lesquelles l'oxygène se comporte comme un oxydant et aboutit à leur destruction).

7.3. 2. Des bactéries aérobies strictes (qui ont absolument besoin d'oxygène).

7.3.3. Des bactéries aéro-anesoaérobies (les plus nombreuses) qui supportent les deux conditions (EL BEKKAY., 2009).

7.4. La composition du milieu extérieur

Pour assurer leur multiplication, les bactéries ont besoin de nutriments (carbone, azote, soufre...) et d'énergie, elles épuisent tout cela, dans l'environnement et y rejettent leur déchet. C'est éléments se trouvent sous forme de molécules plus ou moins complexes : sucres, amidon, cellulose, protéines, matières grasses, hydrocarbures... les bactéries se nourrissent

donc de matières organiques. Pour utiliser leur nourriture, les bactéries fabriquent des enzymes qui vont permettre la dégradation des macromolécules et leur transformation en molécules plus simples (EL BEKKAY., 2009).

7.5. Les facteurs chimiques

De nombreux produits chimiques sont des agents toxiques pour les bactéries, ils peuvent agir de différentes manières : soit ils arrêtent la croissance des bactéries mais ne les tuent pas, ils sont appelés bactériostatiques. Soit ils détruisent les cellules bactériennes, ce sont des agents bactéricides. Les produits chimiques à base de chlore, de phénols, de métaux lourds, les détergents sont des agents potentiellement bactéricides ou bactériostatiques, selon la dose à laquelle ils sont employés (EL BEKKAY., 2009).

Les bactéries font partie des procaryotes, c'est à dire des organismes dont le chromosome n'est pas séparé du cytoplasme par une membrane nucléaire. Le cytoplasme des bactéries est délimité par une membrane cellulaire semi-perméable, à de laquelle se trouve presque toujours une paroi rigide protégeant la cellule. Chez les bactéries mobiles, des cils ou des flagelles provenant du cytoplasme leurs permettent de se déplacer.

Chapitre II: Alimentation minérale de la plante

Une plante est formée d'un ensemble d'organes dont la croissance dépend des conditions du milieu dans lequel elle se développe, notamment de l'énergie lumineuse interceptée, de l'eau et des éléments nutritifs bio disponibles dans le sol, essentiellement l'azote, le phosphore et le potassium. La carence en ces éléments produits des symptômes sur la plante.

Les racines, la tige et les feuilles sont les organes de nutrition des végétaux vascularisés : ils constituent l'appareil végétatif, par les poils absorbants de ses racines, la plante absorbe la solution du sol, c'est-à-dire l'eau et les sels minéraux, qui constituent la sève brute, cette sève est acheminée par les tissus conducteurs jusqu'aux feuilles, là où la photosynthèse s'effectue, la plante élabore des acides aminés et des sucres qui constituent la sève élaborée (ZAID., 2006).

1. Les Besoins nutritifs des plants**1.1. Le sol**

Le sol pourrait se définir comme la mince couche de terre où les plantes fixent leurs racines et puisent une partie de leurs nutriments. Ce qui se passe dans un sol est déterminé par ses propriétés physiques, biologiques et chimiques (ZAID., 2006).

1.2. L'absorption

Est l'ensemble des processus qui permettent aux végétaux d'absorber dans le milieu ambiant et d'assimiler les éléments nutritifs nécessaires à leurs différentes fonctions physiologiques : croissance, développement, reproduction etc. (ZAID., 2006).

1.3. Les macroéléments

Ce sont les éléments essentiels dont la plante a besoin en quantité relativement importante. Ce sont le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Les trois premiers sont puisés dans l'air et dans l'eau. Le dernier, dans le sol (forme minérale) et dans l'air (cas des organismes fixateurs), ces quatre éléments qui constituent la matière organique représentent plus de 90 % en moyenne de la matière sèche végétale, à ces éléments s'ajoutent le soufre, le phosphore, le calcium, le potassium et le magnésium (ZAID., 2006).

1.3.1. L'azote (N)

L'azote représente entre 1 à 3% de la matière sèche (M.S.) des plantes et jusqu'à 4-6% dans les plantes en pleine croissance (LEROT., 2006). Entre dans la composition des protéines, acides nucléiques, coenzymes, phytohormones, métabolites secondaires l'azote représente l'élément minéral le plus abondant (quantitativement) dans les plantes la

disponibilité en azote un des facteurs les plus limitant dans la croissance des végétaux (LEHNER., 2014).

1.3.2. Le phosphore (P)

Présent entre 0.2 à 1.5% de la matière sèche exprime en P_2O_5 , il est également considéré comme un élément plastique (LEROT., 2006). Le phosphore dans la plante est surtout abondant dans les organes jeunes en croissance dont les cellules en phase de multiplication contiennent une grande proportion d'acides nucléiques et sont le siège de synthèses particulièrement actives réclamant de l'énergie (ATP), du potentiel réducteur (NADP) et des sucres phosphorylés, à la récolte, le phosphore est localisé majoritairement dans les grains, la teneur dans les pailles est généralement faible (FUCH., 1999).

1.3.3. Potassium(K)

Il est présent à raison de 2 à 4% de la matière sèche et est exprimé sous forme de K_2O dans les engrais, le potassium est présent en forte concentration dans les tissus jeunes en pleine croissance et en moindre quantité dans les organes âgés, le potassium n'est pas un élément plastique mais un élément à fonction électrochimique et catalytique (LEROT., 2006).

1.3.4. Calcium (Ca)

Représentant entre 1 à 2% dans la matière sèche et exprimé sous forme de CaO , le calcium est un élément essentiel à la bonne croissance de la plante (LEROT, 2006). Il joue en effet un rôle important dans la régulation des échanges ioniques entre les racines et leur milieu, c'est un élément fondamental des parois cellulaires des plantes, c'est lui qui donne leur résistance tissulaire aux membranes pectiques. Il a ainsi une grande influence sur certaines caractéristiques des cultures comme la rigidité des tiges des céréales et la qualité des fruits (ZAID., 2006).

1.3.5. Magnésium (Mg)

On le retrouve à raison de 0.1 à 0.7% dans la matière sèche ; il est exprimé sous la forme de MgO , c'est l'élément clé de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique, Le magnésium est très mobile dans la plante, il est localisé dans les feuilles et surtout dans les plus vieilles. Les racines ne contiennent que très peu de magnésium (LEROT., 2006).

1. 3.6. soufre (S)

Compose la matière sèche a raison de 0.1 a 0.6% et est exprime en SO₃, le soufre est considère comme un élément plastique et catalytique (LEROT., 2006). Le soufre est un élément constitutif de composés végétaux importants, surtout de protéines, il a également une action négative sur le gonflement des colloïdes (FUCH., 1999).

1.4. Les oligoéléments

Les oligoéléments sont appelés ainsi non parce qu'ils sont moins importants pour la Croissance des plantes, mais parce qu'ils sont requis en plus petites quantités. Ils sont au nombre de 6 : le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre, le molybdène et le, bore. Ces éléments n'ont une certaine utilité qu'à titre de cofacteurs des réactions enzymatiques.

1. 4.1. Le fer (Fe)

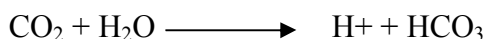
De 10 à 1000 ppm dans la matière sèche. Les tissus les plus âges sont plus riches en fer que les organes les plus jeunes (LEROT., 2006). Les besoins des cultures s'élèvent à 2 kg par hectare et par an, les sols sont généralement bien pourvus en fer, toutefois, en acide à faible pouvoir absorbant, où un excès de cet élément être toxique (FUCH., 1999).

1.4.2. Le cuivre (Cu)

Comme le fer, le cuivre entre dans la composition de nombreuses enzymes d'oxydation, les enzymes contenant cuivre appartiennent au groupe des oxydases; ce sont des cuproprotéides qui provoquent l'oxydation des polyphénols, le cuivre est nécessaire au moment de la floraison des céréales, Sa carence provoque la stérilité mâle (FUCH., 1999).

1.4.3. Le zinc (Zn)

Outre son rôle dans de nombreuses enzymes d'oxydation, le zinc participe à la fabrication des auxines de croissance, active l'anhydrase carbonique qui catalyse la réaction :



Augmente l'activité de la catalase, la peroxydase et l'oxydase, nécessaire à la synthèse du tryptophane, précurseur de l'AIA (ZAID., 2006).

1.4.4. Le molybdène (Mo)

Absorbé par les plantes sous forme MoO₄²⁻, cet oligoélément est nécessaire au métabolisme de l'azote, Il est le constituant de la nitrate réductase et de la nitrogénase.

Les symptômes d'une carence en molybdène sont voisins de ceux d'une carence en azote (ZAID., 2006).

1.4.5. Le manganèse (Mn)

Joue un rôle dans diverses oxydo-réductions, intervient comme co-facteur de décarboxylases et de déshydrogénases du cycle de Krebs et dans diverses peptidases (ZAID., 2006).

1.4.6. Le bore (B)

L'ion borate $H_2BO_3^-$ est strictement indispensable au fonctionnement des méristèmes, en son absence, le bourgeon terminal se nécrose et pourrit, agit dans le métabolisme et le transport des glucides, sa carence s'accompagne par une accumulation anormale de sucre ou d'amidon (ZAID., 2006).

1.4.7. Le cobalt (Co)

Le cobalt n'est sans doute pas indispensable aux végétaux, mais cet élément se révèle indispensable aux bactéries et aux champignons de la rhizosphère et plus encore aux bactéries fixatrices d'azote atmosphérique, symbiotes des légumineuses (*Rhizobium*) (ZAID., 2006).

2. Carence et symptômes des éléments nutritifs

2. 1. Carence en azotée (N)

Lorsque l'alimentation azotée est perturbée, les différents organes des plantes sont plus petits et les rendements diminués. La carence azotée conduit à une plus faible densité des peuplements (tallage), à une fructification précoce et à une teneur réduite en protéines. Un approvisionnement médiocre ou excessif en azote diminue la qualité (JAENICKE et BENIEST., 2003).

Symptômes:

La plante est petite, les feuilles d'abord vert jaunâtres à jaunes deviennent plus ou moins orangées et tombent (JAENICKE et BENIEST., 2003).

2 .2. Carence en phosphore (P)

Les plantes carencées en phosphore ont une croissance ralentie; le développement des racines et la densité des populations (le tallage) sont réduits; la floraison et la maturation sont retardées, une carence en phosphore provoque une diminution de la production de protéines et de vitamines, la conservation des légumes ainsi que la résistance au gel est moins bonne (JAENICKE et BENIEST., 2003).

Symptômes:

Les feuilles âgées sont d'abord vert foncé, puis rouge-violet, la tige peut également prendre une couleur rougeâtre. Les plantes sont petites et ont un aspect rigide « port raide », à un stade ultérieur les feuilles âgées meurent (JAENICKE et BENIEST., 2003).

2. 3. Carence en calcium (Ca)

La croissance des différentes parties d'un végétal carencé en calcium est ralentie. En plein champ, la carence calcique est rare; il est plus fréquent des dommages dus à l'acidité des sols pauvres en chaux (JAENICKE et BENIEST., 2003).

Symptômes:

Chlorose des feuilles et autres organes les plus jeunes, Bitter-pit des pommes (taches liégeuses amères) (JAENICKE et BENIEST., 2003).

2.4. Carence en potassium (K)

Les plantes carencées en potassium ont une production de matière sèche restreinte (hydrates de carbone, protéines); pour les fruits, les légumes, le goût est moins agréable, la résistance à la verse, au gel et à la sécheresse se trouve réduite, la transpiration et la respiration sont plus importantes. Les fruits et légumes se conservent moins bien (JAENICKE et BENIEST., 2003).

Symptômes:

Les feuilles sont d'abord vert brunâtre, puis peuvent prendre une coloration rouge brunâtre, une chlorose apparaît et se développe à partir du bord des feuilles âgées, qui rapidement finissent par dépérir, les plantes manquent de turgescence et se flétrissent (port flasque), les feuilles se recourbent ou s'enroulent (JAENICKE et BENIEST., 2003).

2. 5. Carence en magnésium (Mg)

Chez les plantes carencées en magnésium, la production d'hydrates de carbone est réduite et les amides, qui servent à la protéosynthèse, s'accumulent dans les feuilles. On met en évidence de plus en plus fréquemment des carences magnésiennes, car des quantités non négligeables de magnésium sont exportées par les végétaux et lessivées (JAENICKE et BENIEST., 2003).

Symptômes:

Herbes de prairie et céréales: entre les nervures des feuilles apparaissent des jaunissements linéaires «en perles», dicotyledones: les feuilles se décolorent en jaune entre les nervures à partir de la base, puis ces plages brunissent et se nécrosent (ZAID., 2006).

2.6. Carence en soufre (S)

En cas de carence en soufre, la synthèse des protéines est perturbée; il y a excès d'hydrates de carbone dans les tissus végétaux. Les parois cellulaires s'épaississent (JAENICKE et BENIEST., 2003).

Symptômes:

Chlorose des nervures foliaires et des feuilles; les nervures sont en général plus claires que les tissus internervaires. Les feuilles sont moins larges et la pousse à un aspect ligneux (ZAID., 2006).

2.7. Carence en fer (Fe)

La carence en fer ralentit la synthèse des hydrates de carbone et des protéines (JAENICKE et BENIEST., 2003).

Symptômes:

Chlorose (décoloration) des jeunes feuilles. En cas de carence aiguë les feuilles deviennent presque blanches et dépérissent. On rencontre des carences en fer en arboriculture fruitière, dans la culture des petits fruits et en viticulture (ZAID., 2006).

2.8. Carence en zinc (Zn)

Réduction de la synthèse des hydrates de carbone et des protéines (JAENICKE et BENIEST., 2003).

Symptômes:

Les symptômes apparaissent en général dans le cas d'un ensoleillement intense. Chlorose des jeunes feuilles, sur le maïs des raies claires relativement larges sur les feuilles, le maïs, le tabac et les cultures fruitières sont sensibles à cette carence, en arboriculture fruitière, on note un feuillage clair et de petites feuilles disposées en rosettes (ZAID., 2006).

3. Les interactions entre éléments

L'absorption des éléments se fait au niveau des points d'échanges ioniques à la surface des racines. Les éléments fertilisants disponibles ne seront jamais tous absorbés par la plante, le potentiel d'assimilation spécifique d'une espèce végétale et la disponibilité des éléments fertilisants dans le sol sont perturbés par les interactions ioniques. En effet, la présence d'un élément dans le milieu peut influencer l'absorption d'un autre élément par la plante, ces interactions ioniques varient, et peuvent être soit des antagonismes, généralement les plus répandues, ou des synergismes (KLOEPPER et al., 1980).

3.1. Les antagonismes

Parmi les antagonismes les plus importants, nous citons :

3.1.1. Les antagonismes entre N - K, N - Mg, N - Cu et N - B

Une fertilisation azotée trop élevée aggrave les risques d'une carence potassique signalent que l'excès d'azote ammoniacal peut induire une carence en magnésium. L'absorption du cuivre est limitée par l'abondance des ions nitriques suite à un apport d'engrais azotés. Enfin; un excès en azote peut provoquer une carence en bore (KLOEPPER *et al.*, 1980).

3.1.2. Les antagonismes entre P - Cu, P - Zn et P - Fe

L'augmentation de la fumure phosphatée se traduit par une diminution de l'assimilabilité du cuivre. De même a montré le même phénomène concernant le zinc. L'interaction phosphore - fer est très souvent citée suite au blocage du fer par une richesse de la solution du sol en phosphore (KLOEPPER *et al.*, 1980).

3.1.3. Les antagonismes entre K - Mg, K - Na, K - Ca, K - B et K - Mn

L'augmentation de la fumure potassique induit une diminution de l'absorption de magnésium et sodium . Signalent que l'antagonisme entre le potassium et le magnésium est réciproque. Une diminution de l'absorption du bore et du manganèse suite à un apport excessif de potassium (KLOEPPER *et al.*, 1980).

3.1.4. Les antagonismes entre Ca - Mg, Ca - K, Ca - Fe ; Ca - Mn, Ca - B, Ca - Cu, Ca - Zn

Le calcium inhibe l'absorption du magnésium et du potassium. L'excès de calcium a pour effet soit directement, soit par un relèvement excessif du pH (alcalinisation), d'entraver l'assimilation par les plantes du manganèse, du bore, du cuivre et du zinc. Les oligoéléments doivent être chélatés pour être absorbés, et le calcium les remplace dans les complexes de chélation (KLOEPPER *et al.*, 1980).

3.1.5. Les antagonismes entre Fe - Mn

Un excès de manganèse provoque une carence en fer, quelque soit sa concentration dans le milieu (KLOEPPER *et al.*, 1980).

3.1.6. Les antagonismes entre Cl - B

Une grande quantité de l'un gêne l'absorption de l'autre (KLOEPPER *et al.*, 1980).

La plante besoin de l'eau et les éléments nutritifs du sol pour la nutrition et la croissance, les symptômes d'une carence en un élément dépendent en partie du rôle nutritif de cet élément dans la plante.

Chapitre III: Rhizobactéries favorisant la croissance de plante

L'activité microbiologique dans la rhizosphère est de grande importance et a diverses conséquences pour les plantes, tout d'abord, elle joue un rôle important dans le recyclage des éléments minéraux, entraînant alors presque toujours leur meilleure assimilation par les plantes, d'autre part la respiration des racines et des microorganismes qui consomment de grandes quantités d'oxygène, elle provoque une diminution du potentiel d'oxydo-réductions, ce qui peut favoriser l'absorption de certains cations par les plantes, tels que le fer et le manganèse de même, certains produits des microorganismes, agents chélateurs ou solubilisateurs, peuvent également favoriser ou freiner l'assimilation de certaines éléments comme le fer, le manganèse, le zinc et le phosphore, certaines bactéries de la rhizosphère (PGPR, plante Growth-Promoting Rhizobacteria), exercent un effet bénéfique sur la croissance des plantes en stimulant des mécanismes de défense inductibles chez l'hôte.

1. Rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (RFCP)

Les rhizobactéries sont des bactéries qui ont le pouvoir de coloniser de façon agressive la rhizosphère. L'impact des rhizobactéries sur la croissance des plantes peut être bénéfique, neutre ou délétère, durant les dernières années, l'étude de la biologie de la rhizosphère a mis en évidence un groupe spécial de micro-organismes bénéfiques qui colonisent les racines des plantes, stimulent leur croissance et les protègent contre certains pathogènes, on désigne ces bactéries par le terme rhizobactéries favorisant la croissance des plantes ou RFCP, elles représentent environ 5% des bactéries vivant dans la rhizosphère, les RFCP sont généralement des bactéries Gram négatives, elles appartiennent à plusieurs groupes taxonomiques: les *Bacillus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, et les *Pseudomonas* qui représentent le groupe majoritaire (KLOEPPER *et al.*, 1980).

Les mécanismes responsables de la stimulation de la croissance des plantes par les RFCP ne sont pas bien établis, l'action des RFCP peut être directe ou indirecte, l'amélioration de la nutrition minérale des plantes par la fixation d'azote atmosphérique ou bien par la solubilisation d'éléments nutritifs tel que le phosphore est un exemple d'action directe des RFCP, la croissance des plantes peut aussi être directement stimulée par la production de régulateurs de croissance comme les auxines, cytokinines, gibbérélines, le mode d'action indirect est attribué à la compétition, à la production d'antibiotiques ou de sidérophores et à la désintoxication du milieu (KLOEPPER *et al.*, 1980). (Figure 02)

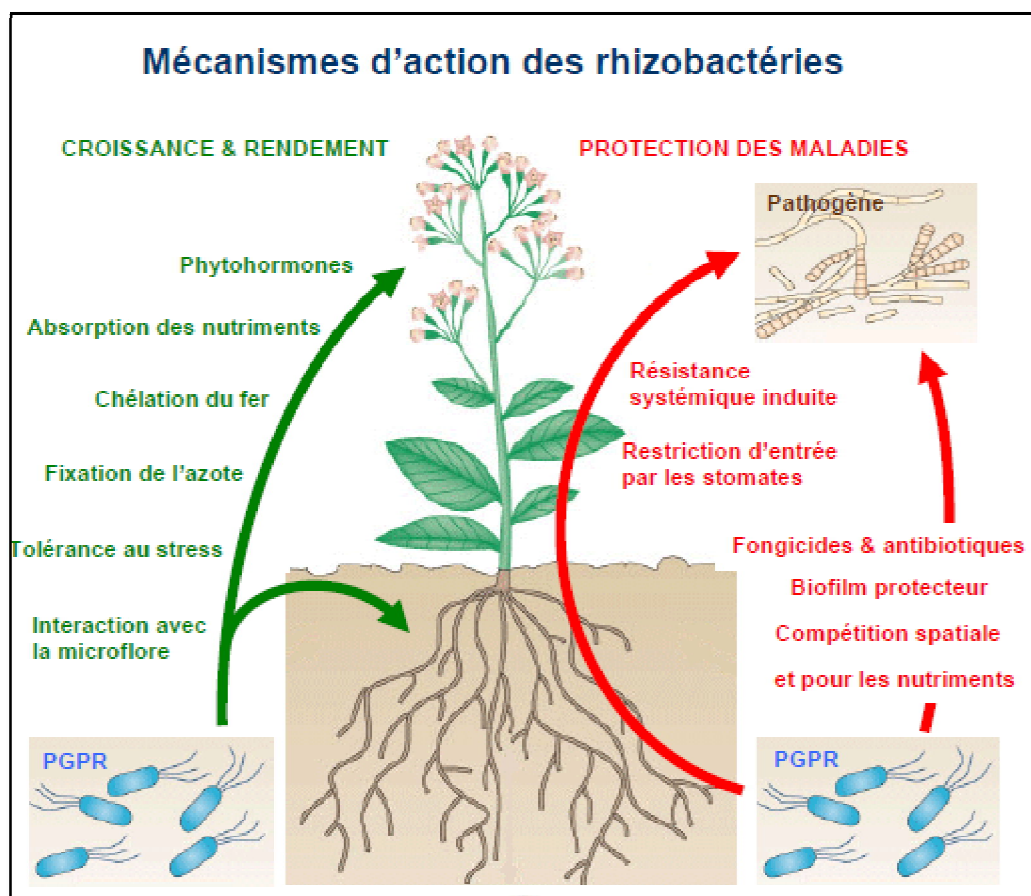


Figure 02: Schéma montre les mécanismes d'action des rhizobactéries (JI *et al.*, 2006)

2. Effet de RFCP sur l'absorption des éléments minéraux

2.1. Effet de RFCP sur la fixation d'azote

La bactérie qui fixe l'azote atmosphérique et présente des propriétés bio fertilisantes nommée Diazotrophe en gros, on peut différencier entre les bactéries fixatrices d'azote symbiotiques et celles non symbiotiques (libres), les bactéries symbiotiques sont bien connues, les bactéries symbiotiques peuvent former des nodosités fixatrices d'azote sur diverses familles botaniques, comme les *Frankia* sur diverses espèces commerciales, d'autres bactéries rhizosphériques revêtent un intérêt certain : celles qui peuvent fixer l'azote atmosphérique de manière non symbiotique: *Azospirillum lipoferum*, *Abrasilense*, *Klebsiella pneumoniae*. Les performances des bactéries libres fixatrices d'azote est très variable selon les lieux et les conditions climatiques : l'apport annuel, en général de quelques kilos par hectare, peut atteindre une trentaine de kg dans certains cas, et même entre 30 et 70 kilos par hectare et an en milieu liquide par les cyanobactéries, certaines souches d'*Azospirillum* étroitement associées aux racines de la plupart des Graminées, ont pu, introduites dans la rhizosphère de plante cultivées, obtenir des augmentations de rendement significatives, toutefois, il semble

que les stimulations observées soient plus vraisemblablement dues à la production d'hormones de croissance par ces bactéries que par la fixation d'azote (MARASTI., 1959).

2.2. Effet de RFCP sur la solubilisation des phosphates

Le phosphore est un élément essentiel pour la croissance et l'activation des voies métaboliques comme la photosynthèse, l'oxydation biologique et l'absorption des nutriments et la division cellulaire, les sols à travers le monde sont complétés avec du inorganique (engrais chimiques) détériorant ainsi la qualité et la fertilité des sols dans un contexte d'agriculture durable le scénario actuel est de s'orienter à l'application de PGPR solubilisatrices de phosphate (convertir le phosphore insoluble en une forme soluble) en libérant des acides organiques, la chélation et l'échange d'ions afin d'augmenter la fertilité des sols (MELIANI., 2012). L'amélioration de l'alimentation minérale de la plante en phosphore a été la première hypothèse proposée pour expliquer l'effet bénéfique enregistré à la suite de la bactérisation de plantes, les espèces, *Bacillus megaterium* var *phosphaticum* et *Pseudomonas spp* fluorescents, augmenteraient la concentration en phosphore soluble soit par minéralisation des phosphates organiques, grâce à des phosphatases, soit par solubilisation des phosphates inorganiques, sous l'effet d'acides (LEMANCEAU.,1992). Le phénomène de fixation et de précipitation du phosphore dans le sol, qui est très dépendant du pH, est responsable de la faible efficacité des superphosphates, ces superphosphates contiennent la quantité suffisante de calcium qui cause la précipitation de la moitié de son contenu en phosphate, dans les sols calcaires la disponibilité du calcium accentue cette précipitation (HALDER et CHAKRABARTTY., 1993).

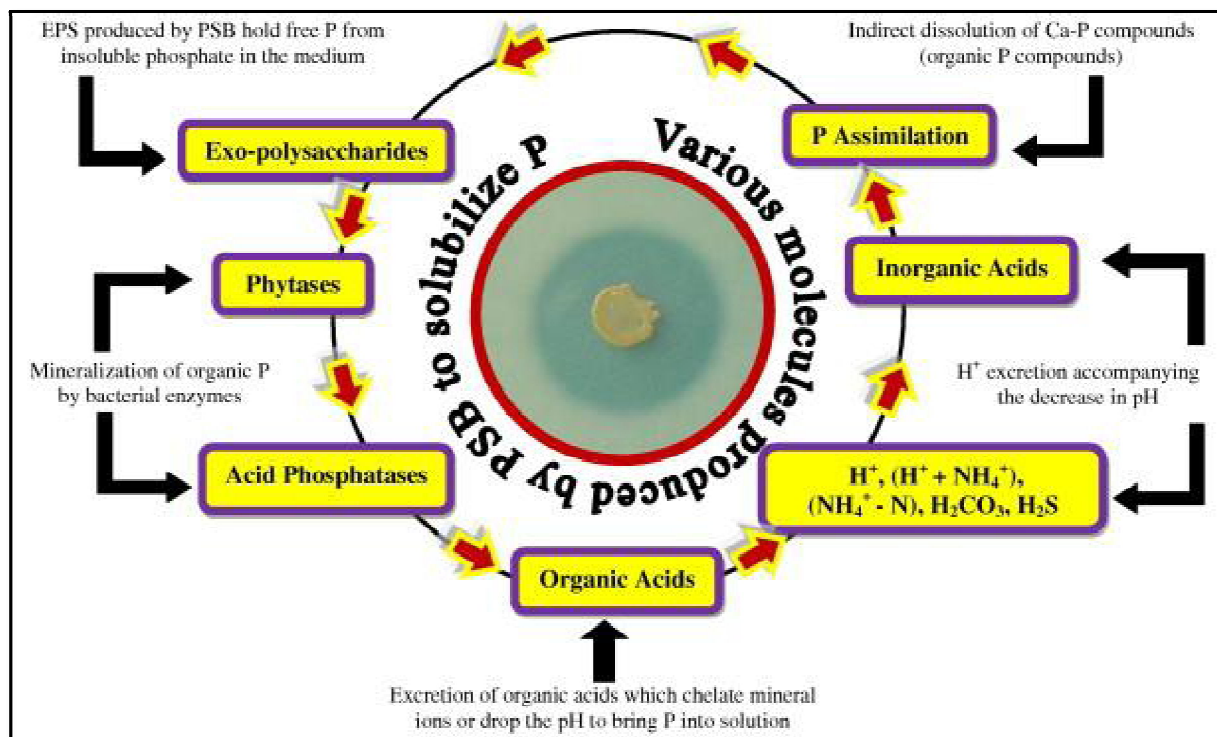


Figure 03 : Schéma montre les mécanismes d'action des bactéries solubilisant les phosphates (KHAN *et al.*, 2009)

2.3. Effet de sur l'absorption de fer

La majorité des espèces de *Pseudomonas* spp. Fluorescents produisent des sidérophores. Un nombre important d'espèces de plantes peuvent assimiler les complexes fer ferrique sidérophores bactériens, les sidérophores jaunes-verts sont nommés pyoverdines (PVDs) ou pseudobactines, à côté de la PVD, *P. aeruginosa* produit un autre sidérophores nommé pyocheline avec une affinité plus faible pour le fer ferrique. Les espèces de *Pseudomonas* spp. Fluorescents produisent aussi la pseudomonine (isoxazolidone) comme *P. fluorescens*, *P. stutzeri* et *P. putida*. (MEZAACHE., 2012).

Les sidérophores sont synthétisés et sécrétés pour la solubilisation d'ions ferriques par des microorganismes aérobies, tels que les bactéries, certains champignons mais aussi organismes supérieurs (certaines plantes monocotylédones) en réponse à des conditions de carence en fer (COX *et al.*, 1981).

Les sidérophores sont très importants pour la croissance et la survie des bactéries dans le sol et les environnements aqueux, dans la rhizosphère, la concentration des sidérophores est estimée de quelques micro molaire à quelques milli molaire, les sidérophores sont aussi importants pour la virulence de nombreux pathogènes dans les modèles animaux des maladies, ils servent de molécules signal contrôlant l'expression pour la production du

sidérophores lui-même, mais aussi pour la production d'autres facteurs de virulence (LAMONT *et al.*, 2002).

Après sécrétion par la bactérie, les sidérophores chélatent avec une haute affinité le fer dans l'environnement extracellulaire, et le transportent via des voies d'assimilation spécifiques (MEZAACHE., 2012).

2.4. Effet de RFCP sur l'absorption de soufre

Le soufre est un élément essentiel des êtres vivants que l'on trouve dans divers acides aminés, dans des vitamines et dans d'autres composés organiques importants, des traces de soufre sont présentes dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de soufre que les plantes peuvent absorber par les feuilles, la principale source d'approvisionnement est toutefois constituée par les sulfates, ceux-ci représentant une petite partie des réserves du soufre dans le sol, l'essentiel de la teneur en soufre totale d'un sol est sous forme organique pas directement assimilables, la minéralisation du soufre est réalisée par de nombreux microorganismes, en conditions aérobies, le soufre est généralement oxydé en sulfates, alors qu'en conditions anaérobies seuls des sulfures sont produits, comme pour le phosphore et l'azote, l'évaluation de la teneur totale en soufre d'un sol ne donne guère d'informations sur sa disponibilité, dans les roches sédimentaires, le soufre est présent dans des minéraux sulfatés, en particulier le gypse, dans les roches cristallines, il se trouve sous la forme de sulfure métalliques, comme la pyrite, le sulfate est la forme la plus oxydée et il sert de source de soufre aux plantes et à de nombreux microorganismes, les sulfures sont oxydés par deux groupes de bactéries qui les transforment en soufre élémentaire puis en sulfate (JACQUES *et al.*, 1999).

3. Effet de RFCP sur la production de phyto-hormones

Plusieurs étapes de la croissance et du développement des plantes telles que l'élongation et la division cellulaires, la différenciation tissulaire, et la dominance apicale sont régulées par des hormones. De nombreuses phytohormones sont produites par les PGPR. Bien que le rôle de la biosynthèse de ces phytohormones par ces micro-organismes ne soit pas entièrement expliqué, il est à noter que les mécanismes directs des PGPR sur la croissance des plantes comprennent la production d'hormones telles les auxines, les cytokinines, les acides gibbérelliques et l'abaissement du taux d'éthylène chez la plante (COSTACURTA et VANDERLEYDEN., 1995).

3.1. Acide Indole-3-Acétique (AIA)

Cette phytohormone est impliquée dans l'initiation de la division des cellules au niveau des racines, et de leurs élargissements, communément produite par les rhizobactéries, les rhizobactéries produisant l'AIA sont connues pour leurs capacités à augmenter la croissance et la longueur des racines, cet effet résulte en une surface racinaire plus grande et une accessibilité pour plus de nutriments pour la plante, ont rapporté le rôle de l'AIA produit par *P. putida*, chez la plante hôte dans le développement de son système racinaire (GLICK *et al.*, 1999).

3.2. Cytokinines

Les cytokinines forment une classe de phytohormones qui stimulant les divisions cellulaires, l'élargissement et le développement des tissus, ce sont des signaux impliqués dans la médiation du stress environnemental des racines vers les parties supérieures de la plante. La production de cytokinines a été rapportée chez *P. fluorescens* (GARCIA *et al.*, 2001).

3.3. La 1-Amino-cyclopropane-1-carboxylate (ACC) désaminase

L'éthylène est la seule phytohormone gazeuse, il est connu pour être l'hormone des blessures, parce que sa production dans la plante peut être induite par n'importe quel perturbation physique ou chimique des tissus, parmi ses nombreux effets sur la croissance et le développement de la plante, la production d'éthylène peut causer l'inhibition de la croissance des racines, ont émit, une théorie selon laquelle le mode d'action de certains PGPR serait par l'intermédiaire d'une AAC-désaminase, cette enzyme clive l'AAC précurseur immédiat de l'éthylène, l'AAC-désaminase diminuerait la production d'éthylène au niveau des racines de la plante hôte et résulterait en leurs allongements (GLICK *et al.*, 1998).

Les rhizobactéries sont des producteurs d'AAC-désaminase (GLICK *et al.*, 1994). La transformation des rhizobactéries par des gènes codant cette enzyme, permet à celles-ci de croître sur un milieu dont la seule source de carbone et d'azote est l'AAC, et de stimuler l'élongation des racines. Cette stimulation de la croissance est aussi exprimée dans des situations de stress, tels que les inondations, ou encore dans les sols contaminés par les métaux lourds (BURD *et al.*, 1998).

3.4. Gibbérellines

Les gibbérellines sont synthétisées par les plantes supérieures, elles affectent la division et l'allongement cellulaires et sont impliquées dans plusieurs processus de développement tels que la germination des graines, la floraison, les gibbérellines sont également impliquées dans la promotion de la croissance de la racine car elles régulent l'abondance des poils racinaires (BOTTINI *et al.*, 2004). La capacité des bactéries à synthétiser des substances de

gibbérellines a été initialement décrite chez *A. brasilense* (TIEN *et al.*, 1979). Puis chez différents genres bactériens qui colonisent le système racinaire de la plante, y compris *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Agrobacterium*, *Clostridium*, (MITTER *et al.*, 2002). La promotion de la croissance des plantes par les PGPR productrices de gibbérellines est rapportée par plusieurs travaux et cet effet positif sur la biomasse végétale est souvent associé à une teneur accrue en gibbérellines dans les tissus végétaux (ATZHORN *et al.*, 1988).

4. Effet de RFCP sur lutte biologique

Les modes d'action des agents microbiens dans le biocontrôle ne sont pas toujours bien connus et peuvent varier pour un micro-organisme donné, en fonction du pathosystème sur le quel ils sont appliqués, mais de nombreux exemples décrivant un ou plusieurs mécanismes responsables de la réduction de la maladie sont disponibles (PIANO *et al.*, 1997).

4.1. Interactions directes PGPR-Pathogène

4.1.1. Compétition pour l'espace et les nutriments

Dans certains cas, une réduction de la maladie peut être associée à une colonisation importante des racines par les bactéries bénéfiques, ce qui réduit le nombre de sites habitables pour les micro-organismes pathogènes et par conséquent leur croissance (PIANO *et al.*, 1997).

4.1.2. Compétition pour le fer et production de sidérophores

Un cas particulier de compétition pour les nutriments repose sur la compétition pour le fer, les micro-organismes ont la capacité de synthétiser des sidérophores qui sont des molécules chélatrices du fer nécessaire à leur croissance, ces composés ont une grande affinité pour le fer ferrique, en s'appropriant les ions ferriques présents dans la rhizosphère, ils les rendent ainsi non disponibles pour le champignon pathogène, ce qui provoque une diminution de sa croissance (DUFFY et DÉFAGO., 1999).

4.1.3. Antibiose et parasitisme

L'antibiose est probablement le mécanisme le plus connu et peut-être le plus important utilisé par les PGPR pour limiter l'invasion de pathogènes dans les tissus de la plante hôte, il consiste en une inhibition directe de la croissance du pathogène via la production de métabolites aux propriétés antifongiques et/ou antibiotiques, les souches de *B. subtilis* produisent une variété de métabolites antifongiques puissants, par exemple : la zwittermycine-A, la kanosamine (PEYPOUX *et al.*, 1999). Des lipopeptides des familles du surf actine, de

l'iturine et de la fengycine, et encore des enzymes hydrolytiques (β -1,3-glucanase) qui peuvent dégrader les parois cellulaires fongiques (AKRAM., 2008).

5. Effet de RFCP sur l'Induction de la Résistance Systémique (ISR)

Les stratégies de bio contrôle associées avec l'ISR donnent de grands espoirs, et certaines souches de PGPR induisant l'ISR sont actuellement utilisées comme produits bio pesticides tels que les souches *Bacillus subtilis* et *B. pumilus*, *B. licheniformis*, un mélange des souches *B. subtilis* et le *B. amyloliquefaciens*, et quelques souches de *P. fluorescens*, de *P. putida*. La liste des organismes identifiés comme inducteur d'ISR a augmenté rapidement ces 15 dernières années, l'ISR peut être utilisée avec succès pas seulement dans la serre mais aussi dans le champ, et dans les programmes de lutte intégrée (IPM), par exemple, la combinaison d'agents bactériens de contrôle biologique appliqués sur les feuilles et de PGPR inducteurs de l'ISR appliqués sur les racines a permis d'améliorer le contrôle de maladies causées par *Pseudomonas syringae* pv. (JI *et al.*, 2006).

La rhizosphère est une zone entourant les racines des plantes où se déroule toute une série d'interactions entre une plante, des micro-organismes (bactéries, champignon, etc). Et le sol lui-même, cet environnement particulier inclut autant des micro-organismes bénéfiques que pathogènes et qui exerce une influence importante sur la croissance et le rendement des cultures végétales, ainsi, parmi tous les micro-organismes de la rhizosphère, les rhizobactéries promotrices de croissance des plantes ou PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) représentent un groupe de bactéries inoffensives qui colonise la rhizosphère et contribue à la croissance et la santé des plantes.

Chapitre IV: Le piment

Le piment est originaire du Mexique et l'Amérique centrale, est l'une des espèces la plus cultivée dans le monde, Les piments sont aujourd'hui cultivés dans 64 pays. En Algérie, plus de 23.000 hectare sont consacrées annuellement à la culture du piment.

Plante annuelle de la famille des solanacées, le piment peut être cultivé comme une culture bisannuelle, ce qui est souvent observé dans les oasis du sud, les fruits, selon les variétés ont une forme très variable (long, demi-long, carré à différents lobes) la diversité variétal est extrêmement grande, la wilaya de d'El Oued a produit 7100 tonne de piment en 2014 dont 1275 tonne est venue de Debila (Annuaire Statistique de la wilaya d'El Oued, 2014).

1. La famille Solanacées

Les Solanacées (*Solanaceae* Juss.) sont une famille de plantes dicotylédones (*Magnoliopsida*) appartenant à l'ordre des Solanales, dont le nom vient du genre *Solanum*, ce sont des plantes herbacées, des arbustes, des arbres ou des lianes avec des feuilles alternes, simples et sans stipules, la famille comprend près de 98 genres et 2 700 espèces et occupe une grande diversité d'habitat, de morphologie et d'écologie, cette famille cosmopolite est présente partout dans le monde à l'exception de l'Antarctique, cette famille comprend des espèces alimentaires d'une grande importance économique telles que la pomme de terre (*Solanum tuberosum*), la tomate (*Solanum lycopersicum*), l'aubergine (*Solanum melongena*) et les piments (*Capsicum*), de nombreuses plantes ornementales très populaires appartiennent aux Solanacées : *Petunia*, *Schizanthus*, *Salpiglossis* et *Datura*. Certaines espèces riches en alcaloïdes sont mondialement connues pour leurs usages médicaux (Institut national des recherches agricoles du Bénin., 2009).

1.1. Définition du piment

Le piment est généralement associé à la saveur du piquant(pimenté), le terme piment (vert, jaune, orange ou rouge) est un nom vernaculaire désignant le fruit de cinq espèces de plantes du genre *Capsicum* de la famille des Solanacées et de plusieurs autres taxons, le mot désigne plus communément le fruit des plantes utilisées comme condiment ou légume (Figure 04) (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

1.2. Classification de piments

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre: Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : *Capsicum*

Nom binominal : *Capsicum annuum*

Nom commun: Piment

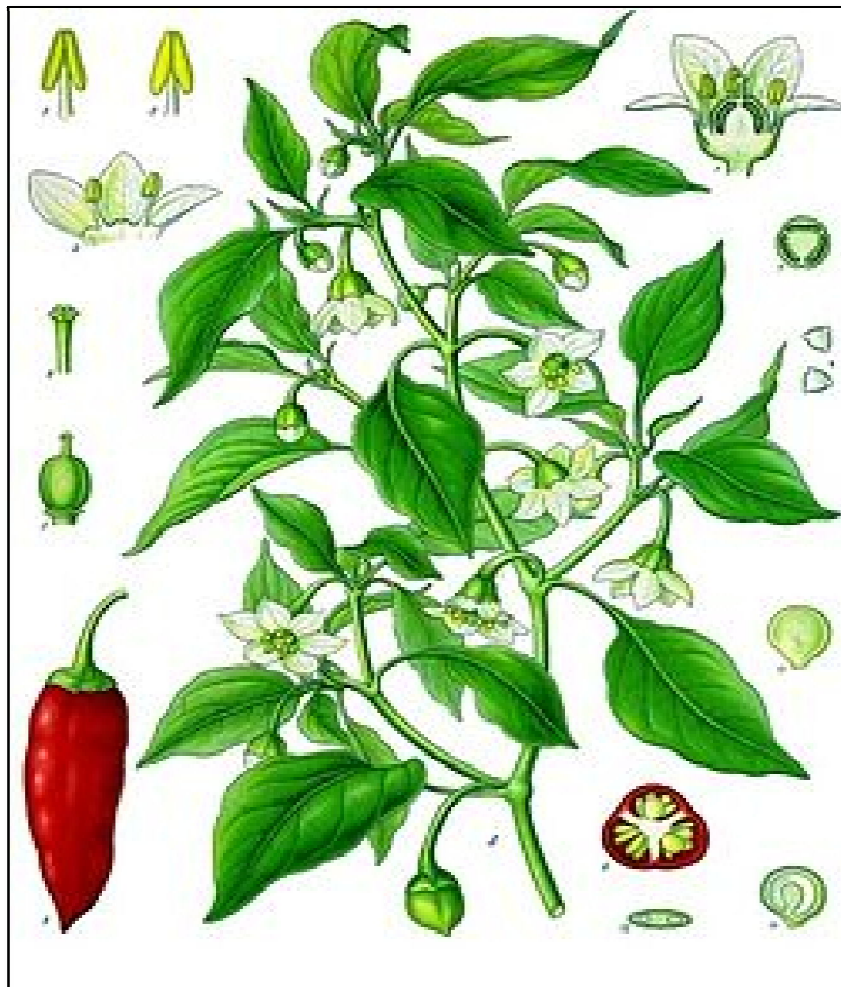


Figure 04 : Schéma montre tiges, feuilles, fleurs, fruits, et graines du piment (SEGNOU *et al.*, 2012).

1.3. Les espèces du piment

Il existe cinq espèces de piments qui sont domestiquées, chacune distinguishable (en partie) grâce à ses fleurs qui sont de couleur violette, verte ou blanche et parfois maculées de jaune et rouge. *Capsicum baccatum* , *Capsicum chinense* , *Capsicum frutescens* , *Capsicum pubescens*

et *Capsicum annuum* (est la plus cultivée , dont les fleurs sont généralement blanches. Il existe aussi des variétés décoratives comme le *peruvianpurple*, aux fleurs violettes, dont la saveur n'est pas intéressante) (Nations Unies New York et Genève., 2013).

2. Botanique

C'est un arbrisseau vivace de 1 à 1,20 m de hauteur dont la culture est renouvelée tous les 3 – 4 ans (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

2.1. La feuille

Le limbe est entier simple, mince et généralement ovale et acuminé. Le nombre de nervure est de 10 (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

2.2. La tige

Elle se ramifie facilement et fournit de nombreuses branches latérales (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

2.3. Les fleurs

Elles apparaissent solitaires au sommet d'un pédicelle prenant naissance à un nœud de la tige. Elles apparaissent solitaires au sommet d'un pédicelle prenant naissance à un nœud de la tige (Nations Unies New York et Genève., 2013).

2.4. La pollinisation

Les fleurs ne restent ouvertes que durant 2 à 3 jours. Malgré la visite des abeilles et des fourmis, le pourcentage des fruits obtenu n'est que de 40 à 50% (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

2.5. Le fruit

Il est petit érigé, conique et pointu, indéhiscant, il est rouge à maturité et extrêmement piquant. Il contient de nombreuses semences très légères, la durée du pouvoir germinatif des semences est de 2 à 3 ans. La germination a lieu après une dizaine de jours (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

3. Ecologie

3. 1. Exigence de la plante

3.1.1. Chaleur et humidité de l'air

Tableau 02: Chaleur et humidité de l'air selon l'exigence de la plante (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

Stade de croissance	Température au sol	Température de l'air	Humidité de l'air
Germination (avant levée)	30 à 20°C décroissante	20°C constante	50 à 60%
Plantes en culture Développement végétatif floraison	18 à 20 °C	25 à 30 °C le jour 20 à 25°C la nuit	50 à 60%
Fructification -pollinisation -fécondation -nouaison	20 à 22 °C	25 à 30 °C le jour 20 à 25°C la nuit	50 à 60%
Développement des fruits	20 à 22 °C	25 à 30 °C le jour 20 à 25°C la nuit	50 à 60%

Il convient de noter que températures supérieures à 35°C diminuent la fructification et la photosynthèse , le piment est une plante exigeante en chaleur .

Une température journalière moyenne de 24°C permet d'assurer un développement convenable , il est préconise de maintenir une température supérieure à 20 °C le jour et 15°C la nuit (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

3.1.2 . La luminosité

Le piment est très exigeant en lumière , celle-ci a une influence à divers stades végétatif , pour la culture du piment (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

3.1. 3. Le sol

En matière de sol , le piment est plus exigeant que la tomate , les meilleurs résultats sont obtenus en terres profondes, légères, bien drainées et riches en matière organique. Les sol lourds , froids asphyxiants sont à éviter, le piment préfère des pH de 6,5 à 7 (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

3.1.4. L'eau

Les besoins en eau du piment se situent entre 4000 et 5000 m³ / hectare durant tout le cycle végétatif, les recherches dans ce domaine ont démontré qu'une humidité de l'ordre de 80% dans le sol donne les meilleurs résultats, le cycle végétatif du piment est maqué par trois phases physiologiques distinctes correspondant à des besoins en eau différents :

3.1.4. 1. De plantations à la floraison de la premier fourchette : phase de croissance lente, les besoins en eau sont peut élevés.

3.1.4. 2. De la floraison à la maturation : phase de croissance rapide, les besoins en eau sont élevés.

3.1.4. 3. En fin de recolte : phase de vieillissement, les besoins en eau sont réduits (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

3.1. 5. La fertilisation

On admet que la production de 50 à 70 tonnes par hectares de piment requiert d'azote de phosphore, de potasse, de magnésium (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

3.1. 6. Besoins en altitude

Le piment peut s'adapter du niveau de la mer à l'altitude de 2000 m en pays tropicaux (SEGNOU *et al.*, 2012).

3.1.7. Rotation

En Inde, il est souvent en rotation avec les graminées, comme le riz, le maïs, le millet ou l'arachide comme légumineuse, en aucun cas, il ne doit suivre d'autres solanées comme le poivron, car il est infecté par les mêmes maladies et insectes (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles., 2001).

4. Maladies

4.1. Champignon

Phytophthora capsici qui provoque un flétrissement brutal de la plante.

4.2. Bactériose

Flétrissement brusque de toute la plante ou Die Back due à *Pseudomonas colanaceanum*.
Méthode de lutte : rotation culturale avec des céréales.

4.3. Les viroses

Les piments sont attaqués sous les tropiques par des nombreuses maladies à virus (mosaïque du tabac, de la pomme de terre...) transmises par des agents vecteurs tels qu'Aphis, Thrips et acariens. Les symptômes généraux sont les marbrures jaunes et la fissure des feuilles. Méthode de lutte : Arracher les plants atteints de viroses et les brûler. On peut prévenir, pulvériser les plantes par des insecticides de contact (Nations Unies New York et Genève., 2013).

5. Valeur alimentaire du piment

Eau 83%- Graisse 0,3%- Protéine 3%- Hydrate de carbone 6%- Fibres 7% Suivant que le produit est frais ou séché, la teneur en huile volatile peut varier de 0,1 à 2% . Le piment est riche en vitamine « C », et contient 2,5mg/100g d'acide ascorbique (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles, 2001).

6. Utilisation de produits

- La mouture des fruits secs débarrassés de leur calice donne le piment de Cayenne.
- La préparation du piment consiste en un simple séchage. Le séchage doit amener le taux d'humidité de 10%.
- Le séchage en plein soleil est la méthode la plus utilisée (22-25°C).S , Le séchage dure 5 à 15 jours suivant les conditions climatiques 100 Kg de fruits frais donnent 25 à 35 Kg de piments séchés.

La transformation de piment en conserve. En pharmacie, il est utilisé dans la préparation des baumes contre les irritations en application externe, l'oléorésine contenue dans les piments est aussi extraite pour en faire des préparations pharmaceutiques (SEGNOU *et al.*, 2012).

6.1.En médecine

Le piment est très utilisé en médecine traditionnelle, les piments forts provoquent une forte salivation, participent à la digestion et sont laxatifs, la capsaïcine, principe actif, stimule les muqueuses de la bouche, de l'estomac et des intestins (mouvements péristaltiques), facilitant la sueur, le piment participe à un rafraîchissement de la peau en pays chauds.

Tous les piments contiennent des composés phytochimiques connus collectivement sous le nom de *capsaïcinoïdes*, la médecine moderne utilise la capsaïcine pour traiter la douleur, les désordres respiratoires, le zona, les maux de dents et l'arthrite (Segnou *et al.*, 2012).

6.2. Les piments comme insecticide

Les piments sont piquants car les capsaïcinoïdes permettent d'éliminer leurs prédateurs naturels, en étudiant des plants sauvages de piments, des chercheurs ont montré que *Capsicum* « se pimentait » en fonction de la densité de leurs ennemis : lorsque les insectes sont nombreux, les plants sont plus souvent pimentés et lorsque les attaques fongiques se multiplient, encore plus piquants. Sans prédation, les piments sont plus doux.

Le piment peut servir à fabriquer un insecticide naturel. Pour l'obtenir, on obtient ainsi un concentré à répandre immédiatement à l'aide d'un pulvérisateur ou d'un arrosoir à main. De l'avis des spécialistes, il s'agit là d'un puissant insecticide qui détruit en un délai très court les parasites (SEGNOU *et al.*, 2012).

DEUXIÈME PARTIE :
PARTIE
ÉXPÉRIMENTALE

Chapitre I: Matériel et méthode de travail

L'objectif de ce travail est d'isoler des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes des sols cultivés de la région d'El Oued, ces bactéries ont été utilisées pour inoculer le sol du piment de la même provenance que la bactéries afin de voir quel est l'effet de cette inoculation sur la croissance de la plante.

1. Présentation de la région d'étude

1.1. Situation géographique

La wilaya d'El Oued est située au sud-est du pays, (Figure 08) occupe une superficie de 44, 586,80 Km, soit 1,87% de la superficie du territoire national. Elle est limitée par:

- la wilaya de Tébessa au Nord-est.
- La wilaya de Khenchla au Nord.
- La wilaya de Biskra au Nord –Ouest
- La wilaya de Djelfa à l'Ouest.
- La wilaya de Ouargla à l'Ouest et Sud.

Elle est aussi frontalière avec la Tunisie sur une distance de 300 Km environ (Annuaire statistique, 2014).

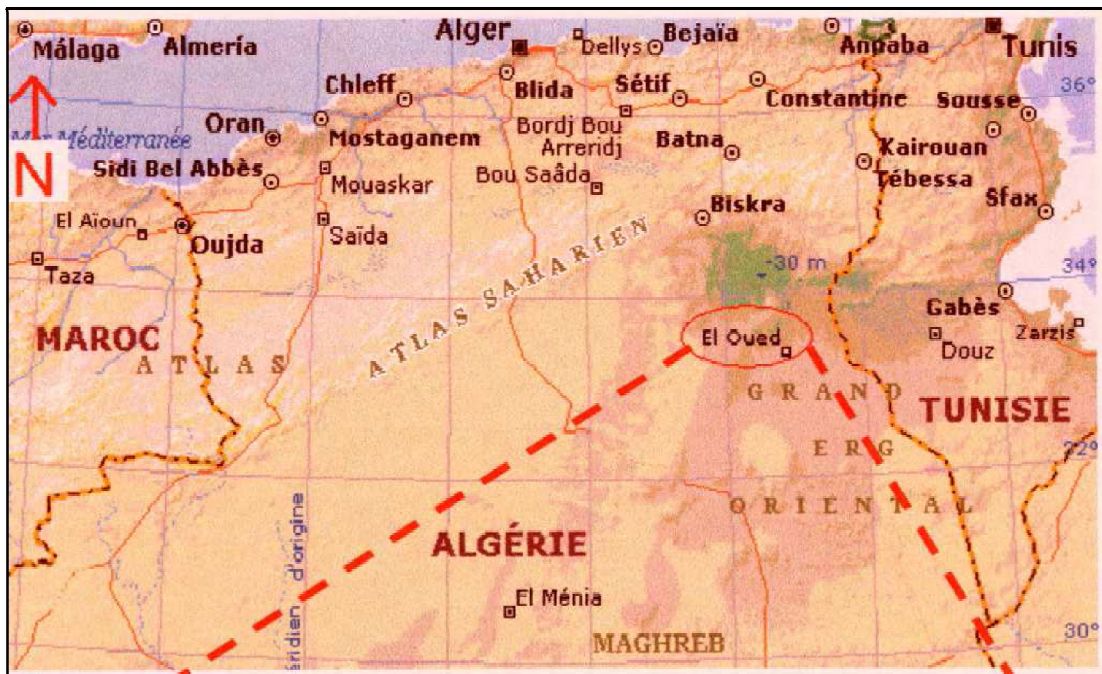


Figure 05: Carte géographique de la wilaya d'El Oued (DSA El Oued, 2014).

- La wilaya d'El Oued est subdivisée en 12 daïras et 30 communes.(Figure 09)

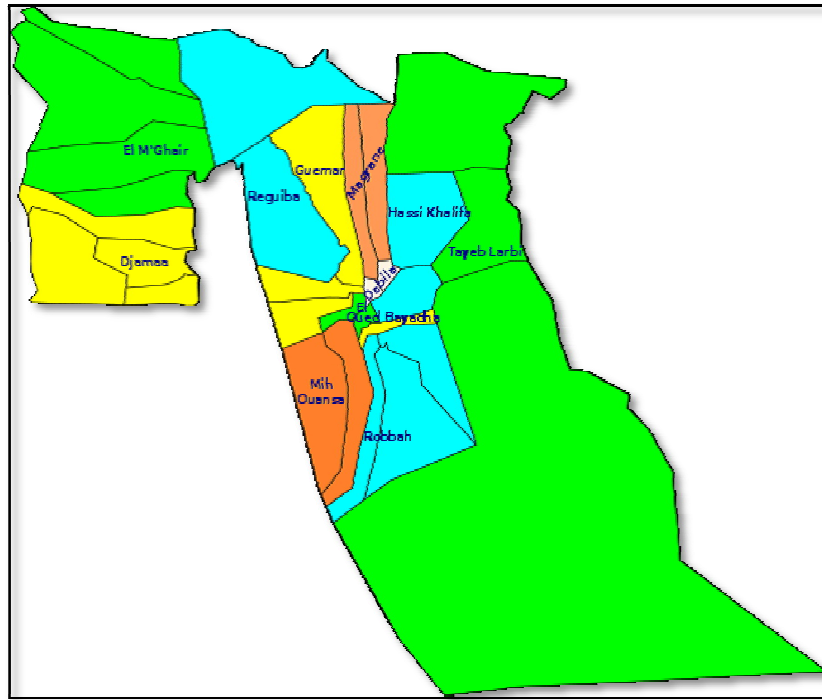


Figure 06: Carte géographique de la zone d'étude (DSA El Oued, 2014).

1.2. Géologie :

Elle est couverte par le grand Erg Oriental sur les 2/3 de son territoire. Le relief de la wilaya est un sous ensemble géographique dont les principaux composants sont les suivants :

1.2.1. Le grand Erg Oriental : véritable mer de sable ou les dunes peuvent atteindre une hauteur de 200 m qui couvre la totalité du Souf, ainsi que les parties Est et Sud de l'Oued Righ. (Erg: une région sableuse couvrant 3/4 de la superficie de Souf, située sur la ligne Est – Ouest, à une hauteur de 80m à 120m, connue sous le nom de Grand Erg Oriental) .

1.2.2. La Hamada : qui est un plateau caillouteux, elle est située en grande partie à l'Ouest et au Sud.

1.2.3. Les vallées : sont représentées par la vallée fossile d'Oued Mya et la vallée d'Oued Righ, assez prospères .

1.2.4. Les plaines : assez réduites, se rencontrent à la limite occidentale de la wilaya.

1.2.4. Les dépressions : sont quant à elles peu nombreuses. Elles se trouvent essentiellement dans la région de l'Oued Righ. C'est la zone des chotts qui est située au Nord de la Wilaya et se prolonge vers l'Est pour rejoindre le chott Djerrid en Tunisie.

1.3. Hydrographie

La région du Souf est classée à l'échelle nationale comme région à forte potentialité hydrique. Les ressources en eaux souterraines mobilisables sont estimées à 4,9 milliards de m³. Les eaux Souterraines représentent la principale ressource hydrique de la wilaya. Les infrastructures hydrauliques sont représentées par 652 forages ; 52 réservoirs ; 73 châteaux d'eau d'une capacité totale de 50 310 m³. En outre des transferts d'eau par canalisations inter-communes, des unités de déminéralisation ainsi qu'un projet de lutte contre la remontée des eaux dans la vallée de l'oued Righ et la cuvette de Ouargla son en cours de réalisation.

1.4. L'agriculture dans la région

C'est une wilaya à vocation fortement agro-pastorale. Elle est considérée parmi les premières régions dattiers du pays. La culture de la pomme de terre est également très développée au niveau de la Wilaya. La surface agricole totale est de 1.591.869 Ha dont 51.097 Ha de surface agricole utile et 50.305 Ha de surface irriguées.

Les capacités du secteur agricole de la wilaya: Superficies agricole totale : 1.591.869 hectares (Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles, 2001).

2. Caractérisation édaphique et climatique de la zone d'étude

2.1. Caractères édaphique et hydrauliques

La région d'Oued Souf se caractérise par un sol sableux très perméable. Les réserves hydriques sous terrains sont considérables et la wilaya recèle également d'importants gisements de sel sédimentaire des chotts, gypse, calcaire, argile avec les sables dunaires.

2.2. Caractères climatiques

2.2.1. Le climat:

La région de Souf à un climat saharien qui se caractérise par des variations très importantes de températures qui est très élevées en été et les précipitations sont très faibles (Annuaire statistique, 2014).

2.2.2. Données climatiques de la région du Souf:

2.2.2.1. La température

Le tableau (03) représente Les températures mensuelles moyennes, maximales et minimales (°C) d'El Oued durant la période 2006-2014.

Tableau 03 : Les températures mensuelles moyennes, maximales et minimales (°C)
de la région d'El Oued (www.tutiempo.com)

Mois Paramètres	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyennes des Température minimales mensuelle	5.5	6.6	10.3	14.6	18.8	23.3	26.8	26.6	23	17.1	10.3	6
Moyennes des Température mensuelle maximales	17.8	19.7	24.1	28.6	33.3	38.9	42.1	41.3	35.6	29.8	23.4	18.6
Moyennes des Température mensuelle moyennes	11.4	13.1	17.4	22	26.3	31.3	34.7	34	29.4	23.7	16.6	11.8

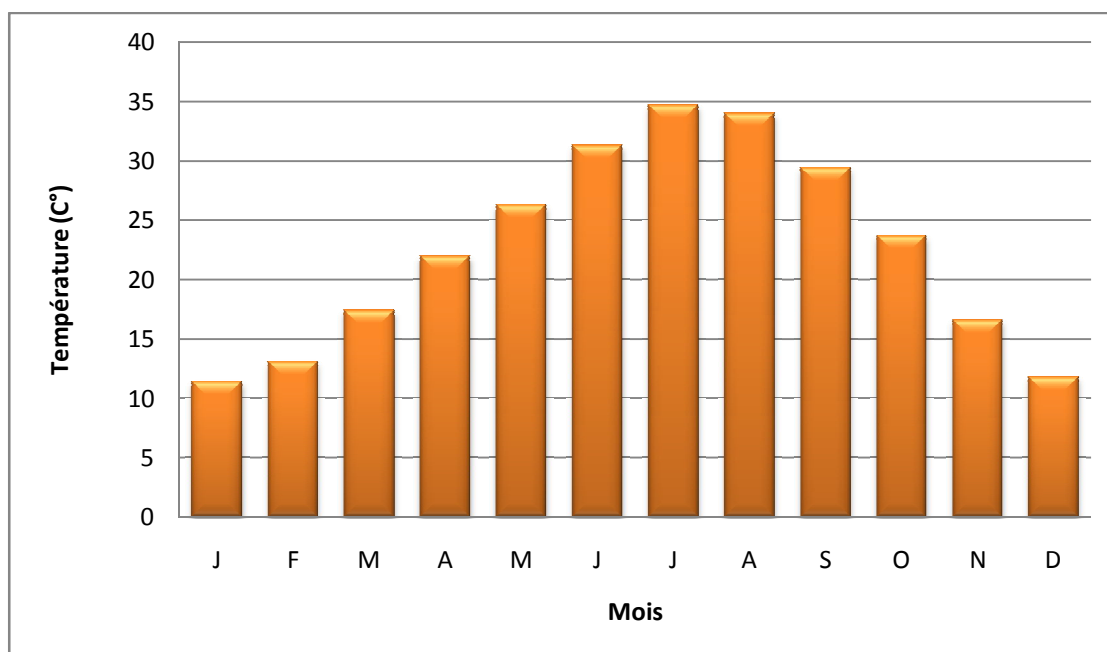


Figure 07: Les moyennes annuelle de la température de la zone d'étude de la période
2006 – 2014 (www.tutiempo.com).

La zone d'étude est caractérisée par un hiver froid et sec, et un été chaud et sec durant la saison estivale (mai – septembre).

Parmi les variables thermiques enregistrés, les moyennes des températures minimales du mois le plus froid (m) et les températures maximales du mois le plus chaud (M) sont considérés comme des facteurs limitant pour toute culture de la région.

La figure (10) montre que les températures moyennes oscillent autour de 11,1°C en Janvier et 31,3°C en Juillet. Les valeurs minimales sont enregistrées durant les mois de

Janvier (5,5°C), les valeurs maximales marquent les mois de Juillet (42.1°C) et Août (41.3°C).

2.2.2.2. Pluviométrie

Les moyennes mensuelles de la pluviométrie de la période 2006–2014 sont résumées dans la Tableau (04) .

Tableau 04 : Les Pluviométries mensuelles moyennes de la région d' El Oued.

Mois Paramètres	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyennes des Pluviométrie mensuelle moyennes	16. 8	1.8	7.1	5.8	1.4	0.7	0.2	5.6	7.2	3.6	4.4	5.9

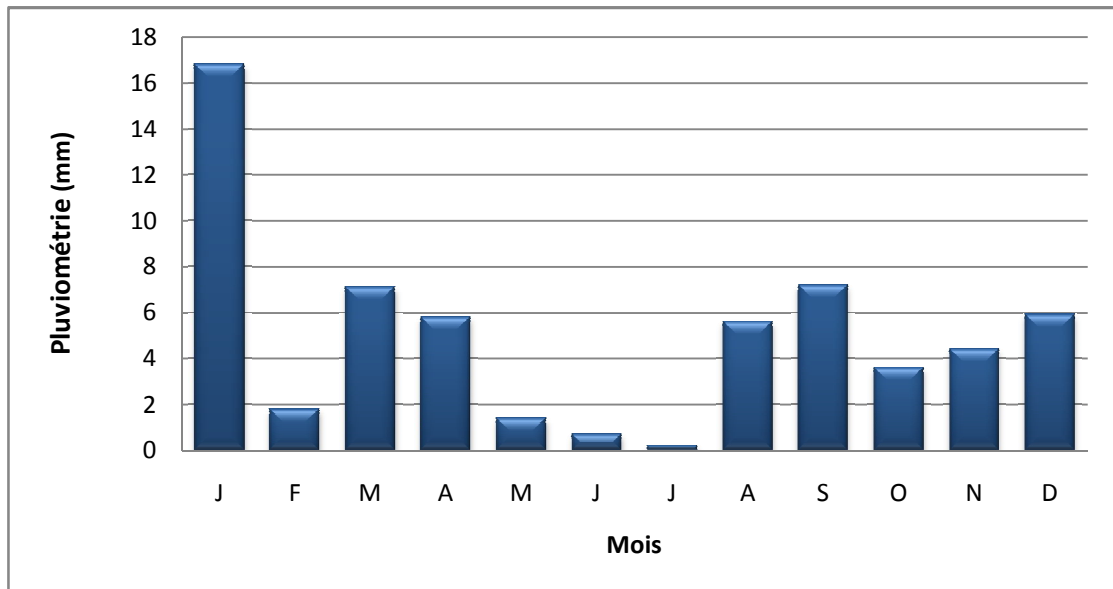


Figure 08 : Les moyennes annuelle des pluviométries de la zone d'étude de la période 2006-2014 (www.tutiempo.com).

La figure (11) montrent que la moyenne annuelle de la pluviométrie de la zone d'étude est de 5,04 mm et le mois le plus pluvieux est janvier avec une moyenne de 16,8 mm et le mois le plus sec est juillet avec une moyenne de 0,2 mm.

2.2.2.3. Courbes ombrothermiques de Gaussen

Les courbes ombrothermiques représentées dans la figure (12) font ressortir les périodes sèches et les périodes humides à partir de la pluviométrie annuelle et la température.

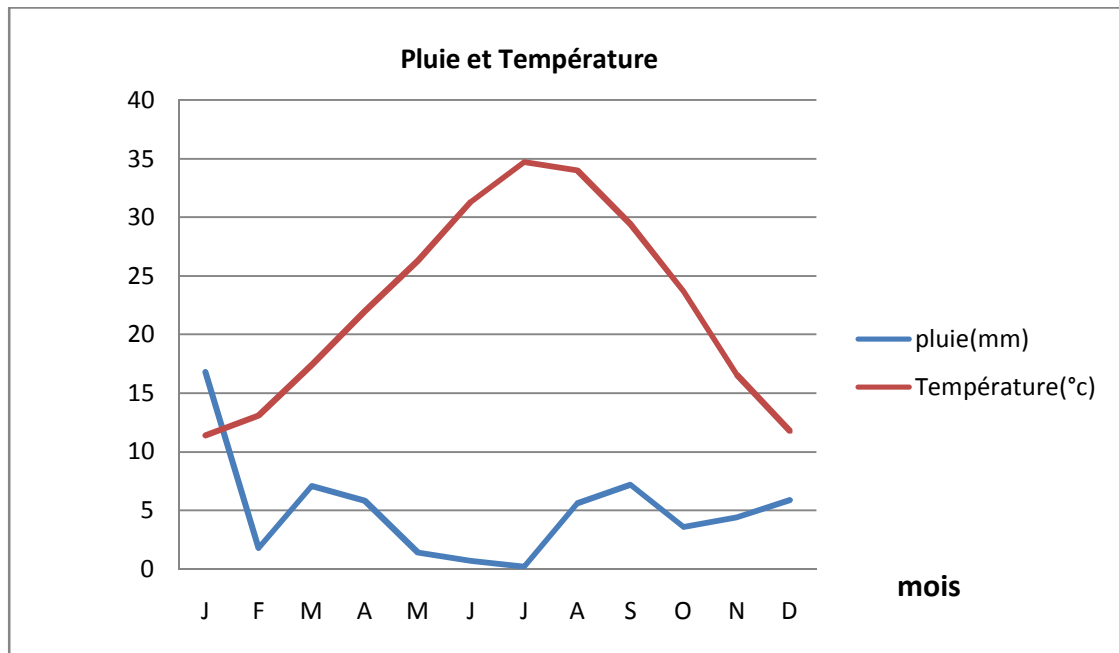


Figure 09: Courbe ombrothermique de Gaussen.

Selon le diagramme ombrothermique de Gaussen la durée de la période sèche est de toute l'année sauf le mois de janvier qui est humide .

2.2.2.4. Quotient ombrothermique d'Emberger

Cet indice permet d'apprécier physiquement la notion d'aridité annuelle en tenant compte des précipitations et de la température, suivant la formule :

$$Q = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

P : Hauteur annuelle moyenne des précipitations en (mm).

M : Température moyenne des maximal du mois le plus chaud en °K.

m : Température moyenne des minimal du mois le plus froid en °K.

P = 60.5 mm.

M = 42.1 + 273 = 315.1K.

m = 5.5 + 273 = 278.5K.

Donc Q = 5.56

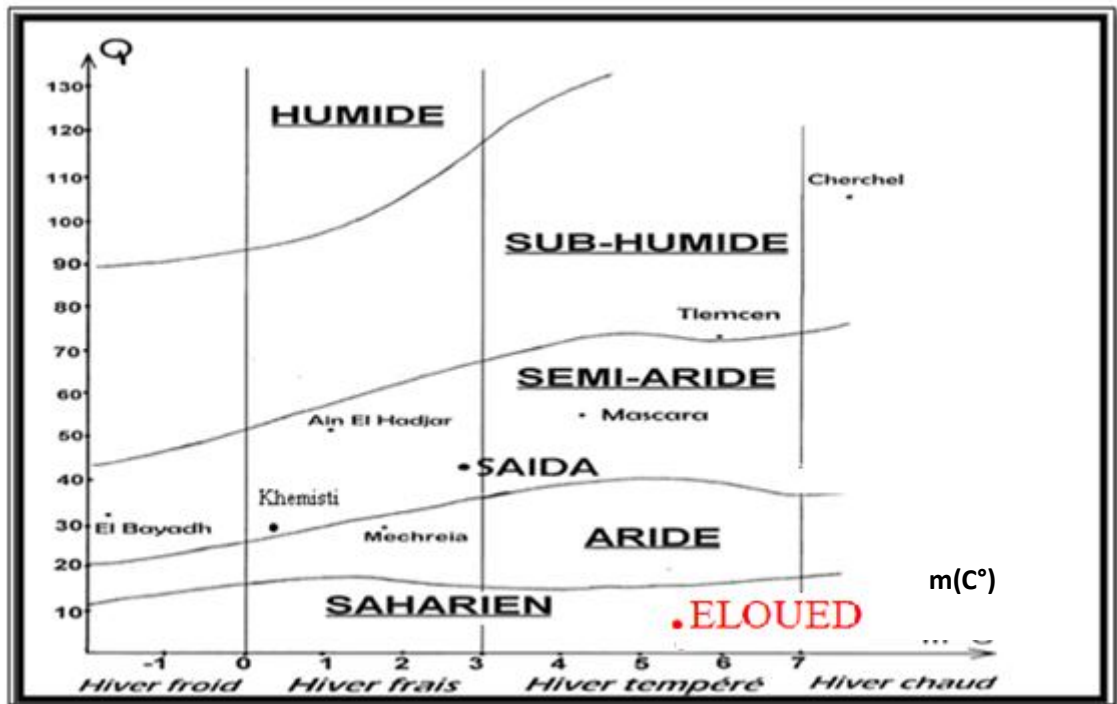


Figure 10 : Climat gramme ombrothermique d'Emberger

Selon le climat gramme ombrothermique d'Emberger le climat de la zone d'étude est classé dans l'étage bioclimatique saharien .

2.2.2.5. L'humidité relative de l'air

La région de Souf se caractérise par un air sec, Le taux d'humidité relative varie d'une saison à l'autre (www.tutitempo.com).

2.2.2.6. Les vents

Les vents les plus forts, sont ceux de l'Est soufflent principalement pendant la période de Février à Août. Le Sirocco (vent chaud et sec) peut être observé durant toute l'année. Le Sirocco peut provoquer des dégâts très importants (dessèchement, déshydratation). Les vents de sables envahissent régulièrement les cultures (www.tutitempo.com).

2.2.2.7. L'évaporation

Elle est très importante durant la période chaude de l'année (www.tutitempo.com).

2.2.2.8. L'insolation

Comme toute région saharienne, le Souf se caractérise par une insolation intense. Le pic est marqué pour le mois de Juillet (www.tutitempo.com).

3. Analyse microbiologique des sols

3.1. Echantillonnage du sol

Le prélèvement des sept échantillons du sol se fait d'après la rhizosphère du piment (*Capsicum annuum*) des différentes régions d'El Oued et voila les coordonnées géographiques des différents points de prélèvement :

E1 N 33°15'25,11" E6°53'20.42" Debidibi-Robbah

E2 N33°17'40, 07" E6 53' 44.17" Robbah

E3 N33°31'22, 39" E6 57' 31.22" Debila

E4 N33°30' 56, 37" E6 57' 34.98" Debila

E5,E6 et E7 N33°33' 31, 62" E6°58' 22.08" Hassikalifa

3.2. Isolement des rhizobactéries

3.2.1. Préparation des suspensions

Les étapes réalisées pour chaque échantillon sont les suivantes :

On pèse 1g de chaque échantillon de sol on le met dans un tube à essai contenant 10ml d'eau distillée stérile.

3.2.2. Ensemencement

Chaque suspension est ensemencée en surface dans des boîtes Pétri contenant à 3 types de milieux de culture (King B , Piskoviskaya , NBRIP) (Annexe).

L'incubation des boîtes est effectuée à 30°C pendant 48h.

3.3. Isolement, purification et conservation des rhizobactéries

A partir des suspensions préparées précédemment on fait des ensemencements en surface dans des boîtes Pétri contenant le milieu NBRIP, Piskoviskaya et King B.

A partir des boîtes retenues sur milieu King B on sélectionne les colonies qui présentent des colorations jaune-verdâtres (coloration des pyoverdines des *Pseudomonas*).

A partir des boîtes retenues sur NBRIP et Piskoviskaya, on a sélectionné les colonies qui ont un halo transparent que l'on effectue une purification par la méthode dite « stries simples » sur le même milieu pour obtenir des souches pures.

3.4. Multiplication des souches R10.2

trois tubes de bouillon nutritif (Annexe) de 3 ml sont inoculés par R10.2, les tubes sont incubés à 30°C pendant 24h puis versés aseptiquement dans des erlenmeyer de 500 ml

contenant chaque un 160 ml du milieu de bouillon nutritif puis incubés dans un étuve à 30°C avec agitation manuel d'un moment a un autre .

4. Etude de l'effet de l'inoculation du support pédologique par des souches R10.2 sur la croissance de la piment (*Capsicum annuum*)

L'objectif principal de ce travail est de montrer l'effet de l'inoculation des rhizobactérie dans le sol sur l'expression en paramètres biométrique du développement végétatif d'une plante stratégique qui est le piment.

4.1. Préparation de la sol

Mélangent 2/3 de sol issue d'un champ de piment en plein croissance et de 1/3 de tourbe.

4.1.1. Le bloc expérimental

1. **Témoin positif** Huit(08) plantes sont plantées dans un sol non inoculé non stérilisé.
2. **Témoin négatif** Huit (08) plantes sont plantées dans un sol non inoculé stérilisé.
3. **Teste 1** Huit (08) plantes sont plantées dans un sol inoculé par R10.2 non stérilisé.
4. **Teste 2** Huit (08) plantes sont plantées dans un sol inoculé par R10.2 stérilisé.

NB: l'inoculation du sol est faite par le mélange de 30ml de la suspension bactérienne de 24h dans un (01) kilogramme de sol.



Figure 11 : Photo de la préparation du support pédologique.



Figure 12: Photo du bloc expérimental

SNB: sol non bactériisé, SB: sol bactériisé, SSNB: sol stérilisé non bactériisé, SSB: sol stérilisé bactériisé

4.1.2. Culture des graines

Maitre 3 graines dans chaque alvéole enterré à 0.5cm l'irrigation est effectuées d'une manière régulière par l'eau de robinet.



Figure 13 : Photo de la plantation du semences du piment dans les alvéoles.

Chapitre II: resultats et discussions**1. Isolement, purification et conservation des rhizobactérie****1.1. Les Pseudomonas.**

L'utilisation de milieu king B pauvre en fer stimule la production des sidérophores de couleur jaune verdâtre fluorescentes ce qui nous facilite la détection et l'isolement des Pseudomonas.

Malheureusement tous les boites contenant le milieu King B n'ont pas présenté ces coloration.

1.2. Les rhizobactéries phosphosolubilisatrices

L'utilisation de milieu Piskoviskaya et NBRIP contient phosphate calcique permaitre de selectionner les rhizobactéries qui peuvent solubiliser le phosphate calcique qui présentent un halo claire autoure du colonies. (Figure 14)

Les boites de Pétriensemencées par les suspensions bactériennes de l'échantillon E1, E4, E5, E6 et E7 ont présentées halo claire c'est-à-dire ont pu solubiliser le phosphate tricalcique. Les colonies qui ont présente ces halo ont repiquées et nommées de R1 à R10. (Figure 14)

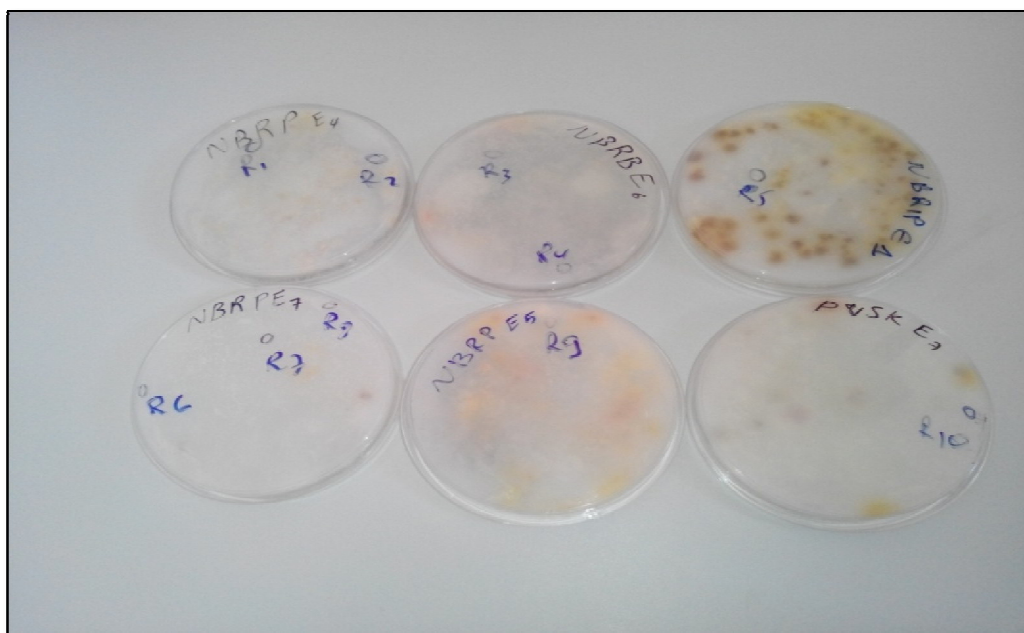


Figure 14 : Photo des boites Pétri qui présentent des colonies avec halo claire.

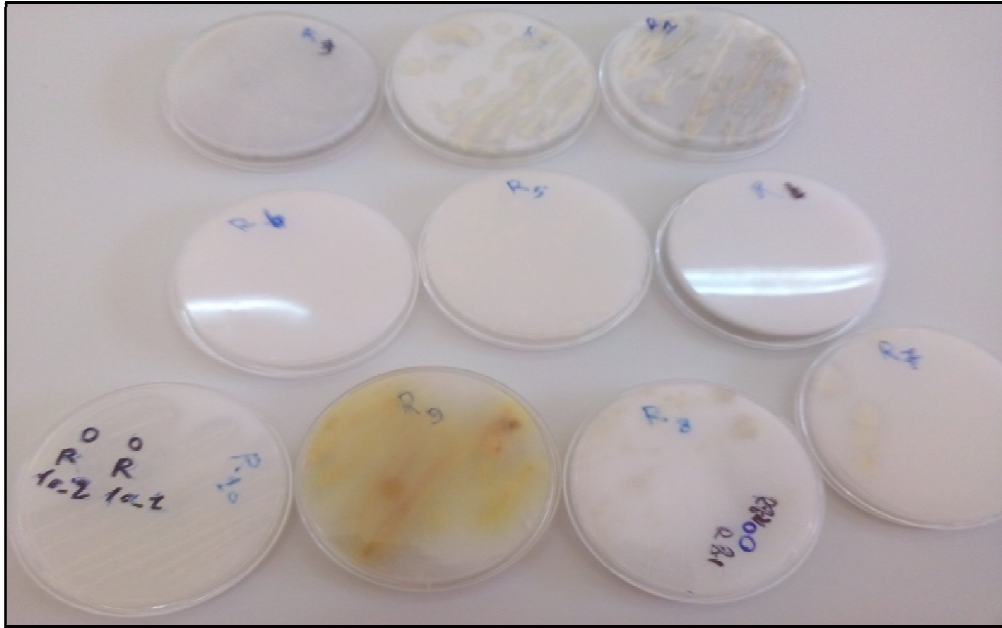


Figure 15: photo de boîtes Pétri montre la repiquage de différentes colonies (R1 à R10).

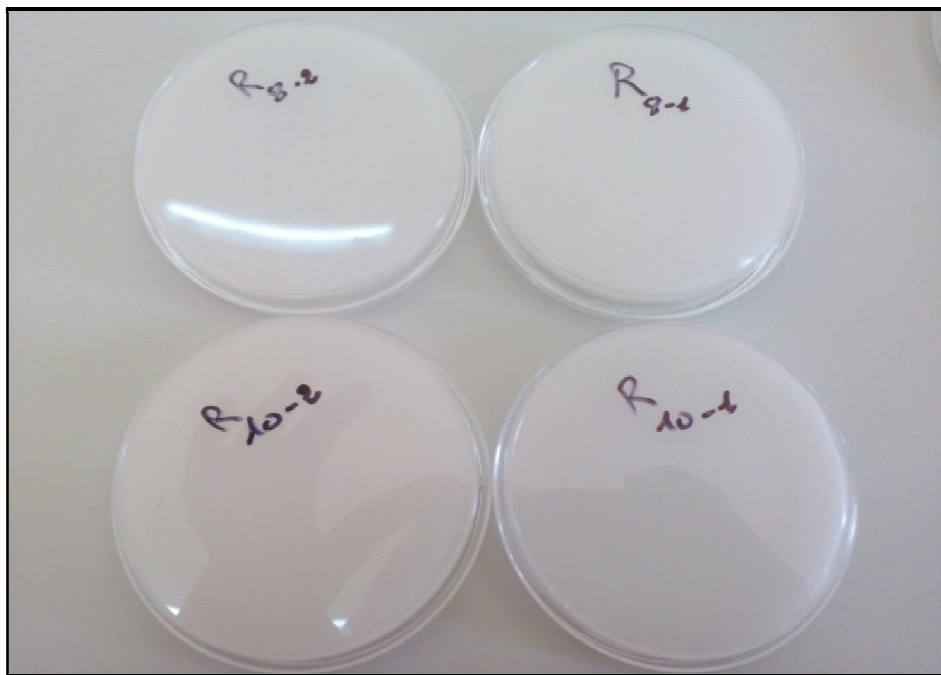


Figure 16 :Photo des boîtes Pétri contenant les colonies les plus intéressantes (R8 - R10).



Figure 17: Photo de boîte Pétri contient des colonies choisies pour l'inoculation des tubes à essai.

1.3. Préparation de l'inoculum de l'isolat R10.2

Trois colonies de l'isolat sélectionné sont ensemencées dans trois tubes à essais contenant 5ml de bouillon nutritif pendant 24h à 30°C.



Figure 18 : Photo des tubes à essai contient la suspension bactérienne pour l'inoculation des flacons.

Après 24h le contenu de chaque tube est déversé aseptiquement dans un flacon de 1000ml contenant 160 ml dans chacun.



Figure 19: Photo des flacons inoculés par notre bactéries dans le bouillon nutritif.

2. Etude de l'effet de l'inoculation du support pédologique par des souches R10-2 sur la croissance du piment (*Capsicum annuum*).

L'effet de l'inoculation du support pédologique par les souches R10.2 sur la croissance du piment n'a pas aboutit à des résultats parce que les plantes n'ont pas pu pousser, ce problème peut être dû à la haute température occasionnée par la période de la plantation ou d'un ravageur qui peut être à ravagé les plantes (Figure 20).



Figure 20: Photo des alvéoles après 12 jours de la plantation.

NB: il ya eu un germination de quatre 04 plantes dans les sol bactérisé pendant 03 jours puis elles sont détruites.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le but de notre expérimentation est d'isoler des rhizobactéries solubilisation de phosphate tricalcique et voir l'effet de l'inoculation du support pédologique par ces bactéries sur la croissance du piment (*Capsicum annuum*) dans la région d'El Oued. Les résultats obtenus Suite aux tests de solubilisation sur boîte Pétri, six isolats ont présenté des résultats intéressantes sur milieux solide NBRIP et Piskoviskaya, l'isolat R10.2 est la plus intéressante.

Ceci ouvre les perspectives suivantes :

- Refaire l'expérience dans des conditions climatiques contrôlées dans une serre automatisée
- Compléter l'expérience par des essais *in-situ*.

Référence bibliographique

1. AKRAM A, 2008- Elicitation de la résistance systémique induite chez la tomate et le concombre et activation de la voie de la lipoxigénase par des rhizobactéries non pathogènes, Thèse doctorat , Belgique, 165p.
2. ATZHORN, R., A. CROZIER, C.T. WHEELER et G. SANDBERG ,1988- Production of gibberellins and indole- 3-acetic acid by *Rhizobium phaseoli* in relation to nodulation of *Phaseolus vulgaris* roots. *Planta*,170p.
3. BEAUCHAMCJP , 1993- Mode d'action des rhizobactéries favonsant la croissance des plantes et potentiel de leur utilisation comme agent de lutte biologique. *Phytoprotection*, vol.74(1).
4. BENCHOUCHAR ., 2011- Cytologie, LATEX, 95p.
5. BERCHE. P,2003- bacteriologie general, B.S.E M ,89p.
6. Berggren, I, VAN VUURDE, J.W.L. and MARTENSSON, A.M. ,2001- Factors influencing the effect of deleterious *Pseudomonas putida* rhizobacteria on initial infection of pea roots by *Rhizobium leguminosarum* pv. *viceae*. *Appl. Soil Ecol.*
7. BOSSIS, E., LEMANCEAU, P., LATOUR, X. and GARDAN, L., 2000-The taxonomy of *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*: current status and need for revision.
8. BOTTINI, R., F. CASSAN et P. PICOLLI., 2004- Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*
9. BURD, G.I., DIXON, D.G. and GLICK, B.R., 1998-A plant growth-promoting bacterium that decreases nickel toxicity in seedlings. *Appl. Environ. Microbiol.*
10. CAMPBELLRET G., 1990- Anatomy and community structure of the rhizosphere. Dans : *The Rhizosphere*(éd. LYNM JM-), Wiley-Interscience Publication, Chichester.
11. CATTELAN, A.J., HARTEL, P.G. and FUHRMANN, J.J., 1999- Screening for Plant Growth-Promoting Rhizobacteria to Promote Early Soybean Growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.*
12. CHEURFI W, 2011- utilisation de bacteries prelevees dans la station d. epuration d. Elmenia constantine pour la denitrification, constantine.
13. CHNWAY C.P, 1997- Inoculation of tree roots with plant growth-promoting soil bacteria : an emerghg technology for reforestation. *Forest Science*, vol. 43
14. COSTACURTA, A., et J. VANDERLEYDEN, 1995-Synthesis of phytohormones by plant-associated bacteria. *Crit. Rev. Microbiol.* 21:1–18.
15. COX, C.D., RINEHART, K.L., MOORE, M.L. and COOK, J.C., 1981- Pyochelin: novel structure of an iron-chelating growth promoter from *Pseudomonas aeruginosa*. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*.

16. DIGATB, 1994- Les bactéries stimulatrices de la croissance des plantes : le cas *Pseudomonas*. Comptes-Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, vol 80(2).
17. DUFFY, B. K. and DÉFAGO, G. 1999- Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strains. *Appl. Environ. Microbiol.*
18. EL BEKKAY B., 2009- Cours de Microbiologie Générale.
19. FALLUE O et FISHERM, 1988- The effect of *Azospin'ZZ mbrasilense* inoculation on metabolic enzyme activity in maize root seedlings. *Symbiosis*, vol. 6.
20. GARBAYE, J, 1994- Helper bacteria: a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New Phyto.*
21. GARCIA, M.G., O'CONNOR, J.E., GARCIA, L.L., MARTINEZ, S.I., HERRERO, E. and Del CASTILLO, A.L., 2001- Isolation of a *Candida albicans* gene, tightly linked to URA3, coding for a putative transcription factor that suppresses a *Saccharomyces cerevisiae* *af1* mutation. *Yeast Press*, London, UK, 267 p.
22. GLICK, B.R., PATTEN, C.L, HOLGUIN, G. and PENROSE, D.M., 1999- Biochemical and Genetic Mechanisms Used by Plant Growth Promoting Bacteria. Imperial College.
23. GLICK, B.R., PENROSE, D.M. and LI, J, 1998- A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth promoting bacteria. *J. Theor. Biol.*
24. GLICK B OR, 1995- The enhancement of plant growth by free living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, vol. 41.
25. GUY L et ÉLISABETH V , 2008- Microbiologie et toxicologie des aliments, 4e édition.
26. H~FLICGH, WIEKEW, 1995- Rhizosphere colonization of different crops with growth-promoting *Pseudomonas* and *Rhizobium* bacteria *Microbiological Research*, vol. 150.
27. HAAS, D. and DEFAGO, G., 2005- Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent.
28. HALDER A. K. and CHAKRABARTTY P. K. 1993- Solubilisation of inorganic phosphate by *Rhizobium*. *Folia Microbiol.*
29. HUSS-DANELKL., 1996- Tansley review No. 93, Actinomycetal symbioses and their N₂ fixation. *The New Phytologist*, vol. 136.
30. JACQUES G. FUCHS, BIOPHYT SA, JEAN-MICHEL H, 1999- AGREF Cours dispensés, Paris
31. JAENICKE H et JAN B., 2003- La multiplication végétative des ligneux en agroforesterie, Nairobi (Kenya).
32. JANERE~CEA., 1991- An introduction to mycorrhizae, The American Biology Teacher, vol. 53(1).

33. JI, P., CAMPBELL, H.L., KLOEPPER, J.W., JONES, J.B., SUSLOW, T.V. and Wilson, M. 2006- Integrated biological control of bacterial speck and spot of tomato under field conditions using foliar biological control agents and plant growth-promoting rhizobacteria. *Biol. Control*.
34. KLOEPPER J. W., LEONG J., TEINBE M. and SCHROTH M. N. 1980- b. *Pseudomonas* siderophores: A mechanism explaining disease-suppressive soils. *Curr. Microbiol*, 260p.
35. KOUASSI, M., 2001- La lutte biologique: une alternative viable à l'utilisation des pesticides.
36. KUCEY, R.M.N., H.H. JANZEN et M.E. LEGGET, 1989- Microbial mediated increases in plant available phosphorus. *Adv. Agron.* .
37. LABERCHE J., 2001- biologie végétale, Paris.
38. LAMONT, IL, BEARE, P.A., OCHSNER, U., VASIL, A.I. and VASIL, M.L., 2002- Siderophore-mediated signaling regulates virulence factor production in *Pseudomonas aeruginosa*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*.
39. LEHNER. A. , 2014- La nutrition hydrique et minérale chez les plantes.
40. LEMANCEAU. P, 1 JAN 1992- Effets bénéfiques des rhizobactéries sur les plantes : exemple des *Pseudomonas* spp fluorescents, *Agronomie*, EDP Sciences, 1992, 12 (6).
41. Lerot. B, 02/07/2006, éléments minéraux.
42. LYNCH J.M., 1990- a Introduction : some consequences of microbial rhizosphere competence for plant and soil. Dans : *The rhizosphere* (éd. d. LYNCH J.M.), Wiley-Interscience Publication, Chichester.
43. MARASTI B-dul SECTOR, 1959- Agriculture biologique – Stratégie pour nourrir le monde, protéger les écosystèmes naturels et préserver la biodiversité Gheorghe Valentin ROMAN, Elena NISTOR Faculté d'agriculture, Université des sciences agronomiques et de médecine vétérinaire de Bucarest, Bucuresti, Roumanie.
44. MEZAACHES., 2012- localisation des déterminants de la suppression de quelques souches de *pseudomonas* isolées de la rhizosphère de la pomme de terre, Thèse magister Agronomie, sétif. *Microbiol*. 156(5-6):748-754.
45. MITTER, N., AC. SRIVASTAVA, AS. RENU, AK. SARBHOY et DK. Agarwal , 2002- Characterization of gibberellin producing strains of *Fusarium moniliforme* based on DNA polymorphism. *Mycopathologia*. of *Bacillus subtilis* against *Fusarium verticillioides* in vitro and at the maize root level. *Res*.
46. PEYPOUX, F., BONMATIN, J. M. and WALLACH, J., 1999- Recent trends in the biochemistry of surfactin. *Appl. Environ Microbiol*.

47. PIANO, S., NEYROTTI, V., MIGHELI, Q. and GULLINO, M.L, 1997- Biocontrol capability of *Metschnikowiapul cherrima* against *Botrytis* postharvest rot of apple. *Postharvest Biol. Technol.*
48. PRESCOTT, HARLEY et KLEIN, 2003- Microbiologie, De Boeck, 2e édition.pseudomonads. *Nat. Rev. Microbiol.* 3(4):307-319.
49. SADDIKI S,1999- utilisation du *brad yiw"z0bium japonicum* comme rhizobactéries favorisant la croissance des plantes chez le maïs , sciences de l'agriculture et de l'alimentation, sciences (M. Sc.), Lavai.
50. SEGNOU, AMOUGOU A. J &YOUUMBI. E., 2012-Viabilité et développement végétatif des plantules de piment (*Capsicum annuum* L.) suivant différents matériels de conditionnement des semences, 180p .
51. SHARMA, K., G. DAK, A. AGRAWAL, M. BHATNAGAR et R. SHARMA , 2007- Effect of phosphate solubilizing bacteria on the germination of *Cicerarietinum* seed sand seedling growth. *J. Herb. Med. Toxicol.*, .
52. TIEN, T.M, M.S. GASKINS et D.H. HUBBEL , 1979- Plant growth substance produced by *Azospirillumbrasilense*and their effect on the growth of pearl millet. *Appl. Environ. Micro.*, 37(5): 1016-1024.*VertigO.* 2(2).
53. ZAID E, Mars 2006- complement de cours de physiologie vegetale.

Les anonymes

1. Anonyme., 2014- Annuaire Statistique de la Wilaya d'El Oued.
2. Anonyme., 2014- Agriculture biologique concepts de base, Séminaire de pomme de terre d' El Oued. DSA.
3. Anonyme., 2009- Institut national des recherches agricoles du bénin, production durable du piment.
4. Anonyme., 2001- Institut technique des cultures maraîchères et Industrielles, Guide pratique du piment. El Oued .
5. Anonyme., 2013- NATIONS UNIES New York et Genève, piments forts.
6. Anonyme., 2014- O.N.M d' El Oued .

Cite web

www.tutiempo.com (28/04/2015).

Annexes

Les milieux de culture

NBRIP

(NH ₄) ₂ SO ₄ :	0.1 g
Ca ₃ (PO ₄) ₂ :	05g
MgSO ₄ :	0.25 g
MgCl ₂ .6H ₂ O:	5.0 g
KCl:	0.2 g
agar :	15g
Glucose:	15 g
Eau distillée:	1000ml
pH:.....	7

Piskoviskaya

YeastExtract:	0.5g
Dextrose:	10g
Calcium Phosphate :	05g
Ammonium Sulphate:	0.5g
Potassium Chloride:	0.2g
Magnesium Sulphate:.....	0.1g
ManganeseSulphate:.....	0.0001g
FerrousSulphate:	0.0001g
Agar:	15g
Eau distillée:.....	1000ml

Bouillon nutritif

Peptone :	06g
Extrait de viande:	01g
Extrait de levure :	02 g
NaCl:	05g
Eau distillée :	1000ml
pH :.....	7,2

King B solide

Peptone de caséine:	20g
Sulfate de magnésium:	1,5g
Phosphate bipotassique :.....	1,5g
Glycérol :	10ml
Agar :.....	20g
Eau distillée:	1000ml
pH :.....	7,2

Résumé

Notre étude porte sur l'inoculation du support pédologique du piment (*Capsicum annuum*), par rhizobactéries solubilisatrices du phosphore dans le but d'apprécier l'effet positif sur l'amélioration de la croissance des plantes. Un total de 21 isolats bactériennes sont isolés à partir de la rhizosphère de sept région d'El oued sur milieux NBRIP et Piskoviskaya qui facilitent la sélection des colonies capables de solubilisation le phosphate calcique.

Le test *in-vitro* montre que isolats R10.2 a pu solubilisé le phosphate calcique d'une façon intéressante.

Ce résultat envisage d'autres essai *in vivo* confirmatif de l'aptitude de ce isolat a améliorer l'assimilation du phosphore par les plantes.

Mots clés : rhizobactéries, solubilisation du phosphore , *Capsicum annuum*, l'amélioration de la croissance des plantes.

ملخص

دراستنا تتركز على تطعيم تربة نبات الفلفل *Capsicum annuum* بالبكتيريا المحيطة بالجذر rhizobactéries التي لها القدرة على انحلالية الفوسفات من أجل تقييم الأثر الإيجابي لتحسين نمو النباتات. تم عزل مجموعه 21 سلالات بكتيرية من سبع عينات من تربة المحيطة بالجذر من منطقة الوادي ، وذلك بزرعها في الوسطين NBRIP و Piskoviskaya اللذان يسهلان انتقاء المستعمرات القادرة على انحلال الفوسفات الكلسي. الاختبار في المخبر اظهر أن السلالة R10.2 المنتقاة التي لها أهمية اكبر في انحلال الفوسفات الكلسي.

هذه النتائج تدعوا إلى إجراء اختبارات أخرى على الكائن الحي تؤكد تحسين امتصاص الفسفور من

طرف النبات.

الكلمات الدالة :

rhizobactéries، انحلالية الفوسفات، *Capsicum annuum*، تحسين نمو النباتات.