



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE BLIDA-1-**

**Faculté : science de la nature et de vie**

**Département : Biotechnologies**

**Option : Biotechnologie végétale et amélioration des plantes**

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master**

**Thème**

**IMPACT DE LA BIOFERTILISATION SUR LA PRODUCTION DE TOMATE  
(Solanum lycopersicum) EN PHASE PEPINIÈRE**

**Présenté par :**

➤ **Laouedj Rima**

**Soutenu devant l'honorable jury :**

<b>Mme CHAOUIA. C</b>	<b>PROF</b>	<b>U. Blida1</b>	<b>Présidente</b>
<b>Mr. BOUTAHRAOUI. S.A</b>	<b>MCB</b>	<b>U. Blida1</b>	<b>Promoteur</b>
<b>Mme MOUAS. Y</b>	<b>MCB</b>	<b>U. Blida1</b>	<b>Examinatrice</b>

**Année Universitaire: 2019/2020**

## **RESUME**

Les biofertilisants sont considérés comme des engrais alternatifs qui contribuent aussi bien à la fertilité et à la vie des sols qu'au développement et à la croissance des cultures et doit être raisonnée pour permettre une bonne alimentation de la plante et d'assurer la disponibilité de tous les éléments nécessaires à la plante en période de forte consommation.

A cet effet, beaucoup d'agriculteurs ont pris conscience et s'intéressent de plus en plus à leur santé et à leur environnement, en appliquant une agriculture basée sur l'utilisation des fertilisants biologiques qui collaborent avec la nature et cherchent au maximum à épargner leurs ressources.

La production en quantité et en qualité d'une culture de tomate est fortement influencée par ses éléments alimentant. Ces éléments doivent être disponibles en quantité et proportions telles que la plante pourra s'approvisionner très facilement.

L'objectif principal a étudié l'effet des biofertilisants sur l'amélioration du rendement et du développement et croissance de la tomate (*Solanum Lycopersicum*)

**Mots clés :** biofertilisant, la tomate.

## **ABSTRACT**

Biofertilizers are considered as alternative fertilizers which contribute as much to the fertility and life of the soils as to the development and growth of crops and must be reasoned to allow a good nourishment of the plant and to ensure the availability of all the elements necessary for the plant in periods of high consumption.

To this end, many farmers have become aware and are increasingly interested in their health and their environment, applying agriculture based on the use of organic fertilizers that collaborate with nature and seek to save as much as possible. Their resources.

The production in quantity and quality of a tomato crop is strongly influenced by its nutrients. These elements must be available in such quantity and proportions that the plant can be supplied very easily.

The aim of the experiment is to study the effect of a natural biofertilizer on the development and yield of tomatoes.

## ملخص

تعتبر الأسمدة الحيوية من الأسمدة البديلة التي تساهم في خصوبة التربة وحياتها بقدر ما تساهم في تنمية المحاصيل ونموها ، ويجب أن تكون مسبباً للسماح بالتغذية الجيدة للنبات وضمان توافرها. جميع العناصر اللازمة للنبتة في فترات الاستهلاك العالي

تحقيقاً لهذه الغاية ، أصبح العديد من المزارعين مدركين ومهتمين بشكل متزايد بصحتهم وبيئتهم ، حيث يطبقون الزراعة القائمة على استخدام الأسمدة العضوية التي تتعاون مع الطبيعة وتسهل الوصول إلى الأسمدة الطبيعية. مواردهم

يتأثر إنتاج محصول الطماطم من حيث الكمية والنوعية بشدة بمغذياته. يجب أن تكون هذه العناصر متوفرة بكميات ونسب بحيث يمكن تزويد المصنع بسهولة بالغة

الهدف من التجربة هو دراسة تأثير السماد الحيوي الطبيعي على نمو وإنتاجية الطماطم

# Remerciements

*Je remercie DIEU « Allah » tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté d'élaborer ce travail.*

*Ensuite, je tiens à remercier MADAME CHAOUIA.C et MADAME MOUAS.SA d'avoir accepté d'honorer et d'enrichir mon travail. Pour cela, je leur exprime ma gratitude et mon profond respect.*

*Je tiens aussi à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à mon promoteur MONSIEUR BOUTAHRAOUI qui a été à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce travail n'aurait jamais vu le jour.*

*Je souhaite adresser mon remerciement les plus sincères aux personnes qui j'ai apporté leur aide et qui ai contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.*

*Je tiens évidemment à remercier mes chers parents qui m'a soutenue et qui m'a toujours encouragée et accompagnée ainsi que toutes ma famille, petites ou grandes.*

*Mes remerciements vont à mes camarades leur soutien, leurs conseils ainsi que leur bonne humeur pendant toute l'année.*

*Je remercie également toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail*



# Dédicace

*Je dédie ce mémoire à :*

*Mes parents :*

*Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.*

*Mon frère et mes sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*Mes professeurs de l'USD Blida 1 qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis*



## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Les pays et diffusion de la tomate dans le monde .....	5
<b>Tableau 02</b> : Les superficies, les productions et les rendements de la tomate industrielle dans les principales wilayas productives de la tomate industrielle dans les principales wilayas productives en Algérie, et leurs taux de participation dans la production nationale .....	7
<b>Tableau 03</b> : Classification botanique de la tomate .....	8
<b>Tableau 04</b> : Les sels minéraux .....	17
<b>Tableau 05</b> : Les substances organique.....	18
<b>Tableau 06</b> : Les composantes de tomate crue.....	18
<b>Tableau 07</b> : Maladies Bactériennes de la tomate .....	19
<b>Tableau8</b> : La Différences entre les engrais et les biofertilisants .....	29

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Diffusion de la tomate dans le monde .....	5
<b>Figure02</b> : Les principaux pays producteurs de tomate dans le monde .....	6
<b>Figure 03</b> : (A) Plant de tomate cerise (cv Cervil), à croissance indéterminée, cultivé en pot sous serre. (B) Plant de tomate naine (cv Red Robin) à croissance déterminée, cultivé en pot.9	
<b>Figure 04</b> : Différentes phases du développement du fruit de tomate.....	10
<b>Figure05</b> : Section transversale d'une tomate .....	10
<b>Figure06</b> : Le système racinaire de la tomate .....	11
<b>Figure 07</b> : Tige de tomate .....	11
<b>Figure 08</b> : Feuille de tomate .....	11
<b>Figure 09</b> : Fleur de la tomate .....	12
<b>Figure 10</b> : Les fruits de la tomate .....	12
<b>Figure 11</b> : Cycle de développement .....	14
<b>Figure 12</b> : les principaux de les biofertilisants.....	30
<b>Figure 13</b> : la structure de sol.....	31
<b>Figure 14</b> : la nutrition de la plante.....	31
<b>Figure 15</b> : les éléments nutritifs .....	33
<b>Figure16</b> : phytohormone de la plante.....	35

## Liste des abréviations

P : plant

T : traitement

## Table des Matières

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction

### Chapitre I : La tomate *Solanum Lycopersicum*

I. La tomate <i>Solanum lycopersicum</i> .....	4
I.1. Généralité sur la tomate <i>Solanum lycopersicum</i> .....	4
I.2. Historique et origine de la tomate <i>Solanum lycopersicum</i> .....	4
I.3. Importance économique de la tomate .....	6
I.4. Classification botanique de la tomate .....	7
I.5. Classification génétique .....	8
I.6. Mode de croissance et développement .....	8
I.7. croissance des fruits .....	10
I.8. Caractéristiques morphologiques de la tomate .....	10
I.9. développement de la plante de tomate .....	12
I.10. exigences pédoclimatiques de la tomate .....	14
I.11. Cultures de la tomate .....	16
I.12.1 ' intérêts de la tomate .....	16
I.13. ennemis de la tomate .....	19

### Chapitre II : Les Biofertilisants

II.1. Généralité sur les biofertilisant .....	20
II.1.1. Présentation des biofertilisants .....	20
II.1.2. Définition des biofertilisants .....	20
II.1.4. intérêt des biofertilisants .....	21
II.1.5. inconvénients des biofertilisants .....	21

II.1.6. Différences entre les engrais et les biofertilisants .....	22
II.2. Les principaux bénéfices agronomiques des biofertilisants.....	22
II.2.1. Structuration des sols.....	23
II.2.2. Nutrition de la plante.....	24
II.2.3. Résistance aux stress abiotiques.....	27
II.2.4. Production de phytohormones et de métabolites .....	27
II.2.5. biodiversité du sol.....	29
II.3.4. Macroéléments secondaires.....	30
II.3.5. Macroéléments oligoéléments.....	30
II.4. engrais.....	31
II.4.1. engrais minéraux.....	32
II.4.2. engrais organiques .....	32

## **Conclusion générale**

## **Référence bibliographique**

## I. La tomate *Solanum lycopersicum*

### I.1. Généralité sur la tomate *Solanum lycopersicum* :

La tomate est une espèce de plantes herbacées de la famille des Solanacées. Cette culture est répandue dans le monde entier, 90% de la production mondiale est obtenue dans l'hémisphère nord (Bassin Méditerranéen, Californie et Chine). Il existe plus de 4000 variétés de tomate ; certaines sont résistantes aux maladies et à d'autres facteurs (biotiques et abiotiques), d'autres sont différentes par les caractéristiques de leurs fruits, leur précocité et leur type de croissance (indéterminé ou déterminé) (**celma et al. 2009**). Selon le même auteur, la tomate est une culture à cycle assez court, donne un haut rendement et elle présente de bonnes perspectives économiques. Elle est cultivée aussi bien pour la consommation fraîche que pour la transformation industrielle.

### I.2. Historique et origine de la tomate *Solanum lycopersicum* :

La tomate du genre *Lycopersicon* est une plante cultivée dans le monde entier pour son fruit. Elle est originaire des régions Andines côtières du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud, dans une zone allant du Sud de la Colombie au Nord du Chili et de la côte Pacifique, aux contreforts des Andes (Equateur, Pérou). C'est en effet seulement dans ces régions, qu'on a retrouvées des plantes spontanées de diverses espèces, de l'ancien genre *Lycopersicon*, notamment *Solanum lycopersicum* ceraciforme (la tomate cerise), Cette dernière est actuellement répandue dans toutes les régions tropicales du globe, mais il s'agit d'introduction récente (**boutoumou et boumaza, 2016**).

**chaux et foury (1994)** à rappellent que le genre *Lycopersicon* comprend neuf espèces, dont une seule espèce *Lycopersicon esculentum* sous sa forme sauvage ceraciforme pourrait être directement à l'origine de nos variétés, a émigré vers le Sud de l'Amérique du Nord.

C'est au XVIème siècle au Mexique actuel que la tomate à gros fruits a été découverte et domestiquées (Fig. 01). Les indigènes l'appelaient « Tomati », ce nom provient d'un nom Aztèque « Zitomate », où l'ont trouvé les Conquistadors Espagnols lors de la conquête de Tenochtitlan (Mexico) par Hernan Cortés en 1519

Elle fut introduite en Europe au XIVème siècle par les Espagnols avant même la pomme de terre et le tabac (**boutoumou et boumza, 2016**).

Au début, les Européens l'exploitèrent pour un usage purement ornemental et évitèrent sa consommation, à cause des liens de parenté botanique très étroits avec certaines espèces végétales connues comme plantes vénéneuses, exemple *Hyocimus niger*, *Lycopersicum atropa* (kolev, 1976). Selon (menard 2009), elle a été longtemps considérée comme une plante toxique, au même titre que sa cousine « la mortelle Belladone ». Ce n'est que vers les années 1920-1930 qu'elle commença à être largement commercialisée (toufouti, 2013)

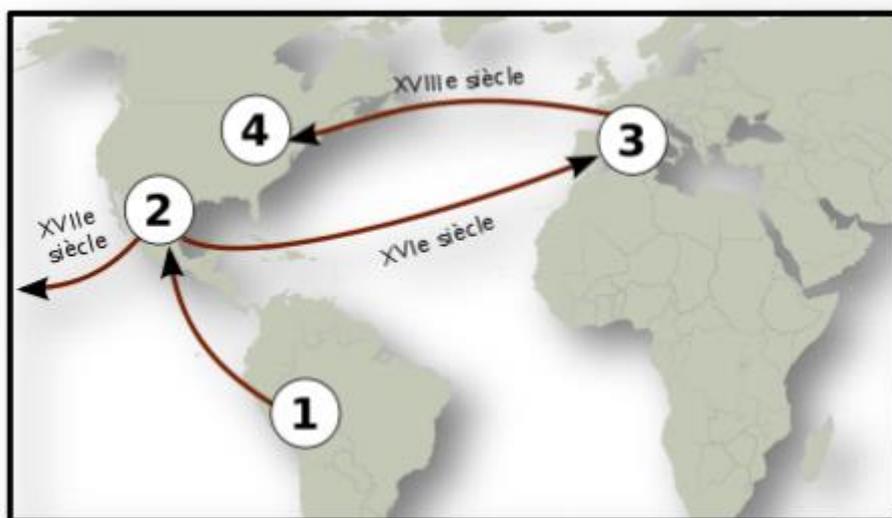


Figure 01 :.Diffusion de la tomate dans le monde (gallais et bannerot, 1992).

Tableau 01 :Les pays et diffusion de la tomate dans le monde (gallais et bannerot, 1992).

1) Pérou	Centre de diversification
2) Mexique :	Premier centre de domestication.
3) Europe :	Deuxième centre de domestication
4) Etats Unis :	Troisième centre de domestication.

### I.3. Importance économique de la tomate :

#### I.3.1. Dans le monde :

La tomate est cultivée dans presque tous les pays du monde, plus de 34 millions de tonnes sont produites. La production est répartie dans toutes les zones climatiques, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri. A l'échelle mondiale, la tomate est classé 2eme culture légumière après la pomme de terre de par son volume de production. En effet, près de cinq millions d'hectares (4,98 million ha) sont réservés annuellement à cette culture avec une production de plus de 34 millions de tonne (fao stat, 2015).

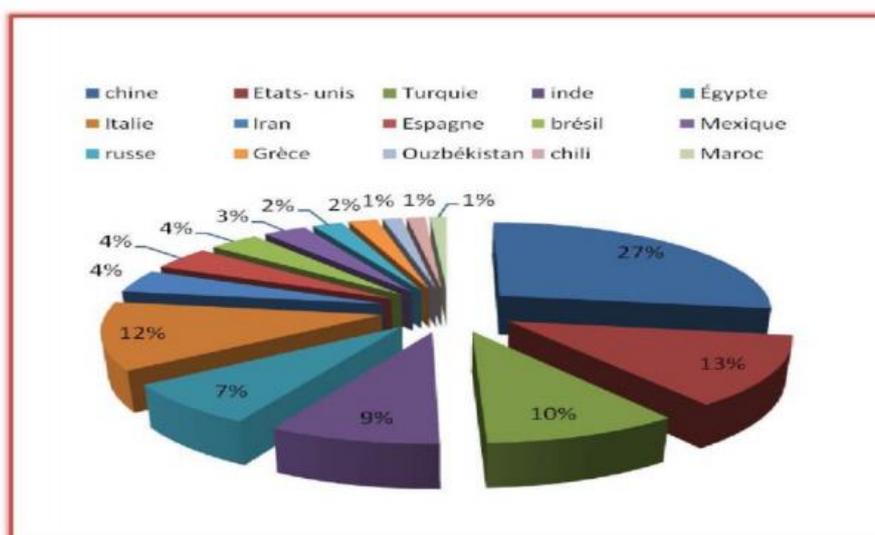


Figure02: Les principaux pays producteurs de tomate dans le monde (1997-2007) (F.A.O, 2009)

#### I.3.2. Production algérie :

La consommation des légumes frais a beaucoup augmenté en Algérie à la suite de l'essor démographique et à la relative amélioration du niveau de vie. La tomate est le second produit maraîcher suite à la place qu'elle occupe dans les habitudes alimentaires des algériens (bacci, 2008). Selon (anonyme ,2009), les principales zones de la tomate industrielle en Algérie sont essentiellement:

**Zone Est:** elle représente 84% des superficies et regroupe les wilayas de Skikda, El-Taraf, Annaba, Guelma et Jijel, Cette zone est caractérisée par une bonne pluviométrie et possède des sols à forte capacité de rétention d'eau. La culture de tomate se pratique en sec et semi-irrigue, avec une production d'environ 90% de la production nationale.

**Zone Centre:** représente 12% des superficies et regroupe les wilayas de Blida, d'Alger, Boumerdes, Bejaia, Chlef, Tipaza et Ain Defla

**Zone Ouest :** Cette zone regroupe les wilayas de Mostaganem, Relizane, Mascara, Sidi-BelAbbès et Tlemcen. Elle représente 2,7% des superficies de la culture de tomate.

**Zone Sud :** est représentée par les wilayas d'Adrar et Biskra

**Tableau 02 : Les superficies, les productions et les rendements de la tomate industrielle dans les principales wilayas productives de la tomate industrielle dans les principales wilayas productives en Algérie, et leurs taux de participation dans la production nationale (anonyme, 2009).**

Les états	Superficies (ha)	Production (ha)	Rendement (Qx/ha)	Taux de participation dans la production nationale (%)
Skikda	6760	2000000	295,9	39,24
El taraf	4390	952450	217	18,70
Annaba	5150	927500	180,1	18,20
Guelma	2130	392500	183,8	7,70
Tipaza	393	150000	381,7	2,94
chlef	490	108000	220,4	2,12

#### I.4. Classification botanique de la tomate :

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) appartient à l'ordre des Solanales et à la famille des Solanacées (**atherton et rudich., 1986**). C'est une plante herbacée, vivace à l'état naturel, et annuelle en culture. La tomate appartient à la classification suivante :

**Tableau 03 : Classification botanique de la tomate (cronquist ,1981)**

Règne	Plantae.
Sous règne	Trachenobionta.
Division	Magnoliophyta.
Classe	Magnoliopsida.
Sous classe	Asteridae.
Ordre	Asteridae.
Famille	Solanaceae.

Genre	<i>Solanum</i> ou <i>Lycopersicum</i> .
Espèce	<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill
Quelques variétés tomate	Marmande, Saint Pierre, Riogrande ect...
Nom scientifique	<i>Solanum lycopersicum</i> L1753 <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill1768 <i>Lycopersicum pomum</i> Moench1794 <i>Lycopersicon lycopersicum</i> H.Karsten1882.

### I.5. Classification génétique :

La tomate cultivée est une espèce diploïde avec  $2n = 24$  chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants monogéniques dont certains sont très importants pour la sélection. C'est une plante autogame mais on peut avoir une proportion de fécondation croisée par laquelle la plante peut se comporter comme plante allogame (**bouharmont j, 1994**). Selon le mode de fécondation, on distingue deux types de variétés de tomate:

#### I.5.1. Variétés fixées :

Elles se caractérisent par l'homozygotie, c'est-à-dire qu'elles conservent les caractères parentaux (**polese, 2007**). Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative. Les variétés les plus utilisées en Algérie sont la Marmande et la Saint Pierre (**gould, 1991 ; yamagushi, 1983**).

#### I.5.2. Variétés hybrides :

Sont plus nombreux, ce type de variétés permet un cumul de gènes favorables, de résistance aux maladies, une meilleure nouaison, particulièrement en conditions défavorables (**polese, 2007**).

### I.6. Mode de croissance et développement :

Les tomates peuvent être classées d'après leurs caractères morphologiques et botaniques. A cet effet, ces dernières peuvent être classées selon leur mode de croissance (la formation des feuilles, inflorescences et bourgeons) (**mikanowski et mikanowski, 1999**) qui peut être du type indéterminé ou du type déterminé

### I.6.1. Variété à croissance indéterminée :

Ce sont les plus nombreuses. Elles continuent de pousser et de produire des bouquets floraux, tant que les conditions sont favorables. Comme leur développement est exubérant, leur tige doit être attachée à un tuteur, sous peine de s'affaisser au sol. Il est également nécessaire de les tailler et de les ébourgeonner régulièrement. Elles ont une production plus échelonnée et plus étalée. Elles sont plus productives en général que les tomates à port déterminé. Cette croissance peut cependant être interrompue par des facteurs extérieurs comme le gel, ou régulée en taillant les plantes (**mikanowski et mikanowski, 1999**). La plupart des cultivars disponibles sont des variétés à croissance indéterminée.

### I.6.2. Variétés à port déterminé :

Ce sont des variétés naines. Leur croissance s'arrête une fois la plante a produit un nombre déterminé de bouquets de fleurs (en général trois ou quatre). C'est dans ce type de tomate que l'on trouve, le plus souvent, les variétés industrielles de conserverie, cultivées en plein champ. Pour ce type de croissance également, on retrouve des variétés fixées et des hybrides. Ce caractère déterminé est intéressant pour les cultures précoces et pour les cultures industrielles (**besford et maw, 1975**)



Figure 03 : (A) Plant de tomate (cv cervil), à croissance indéterminée, cultivé en pot sous serre. (B) Plant de tomate naine cerix (cv red robin) à croissance déterminée, cultivé en pot (benard, 2009)

### I.7. La croissance des fruits comprend trois périodes (Figure 04) :

- Une première phase de croissance lente d'une quinzaine de jours après anthèse, pendant laquelle a lieu la majorité des divisions cellulaires. Pendant cette période, se détermine le potentiel de croissance du fruit à travers le nombre de cellules formées.
- Une deuxième phase de croissance rapide jusqu'au stade vert mature. C'est pendant cette phase, dite de grandissement cellulaire, que le potentiel généré à la première étape est plus ou moins réalisé selon les conditions climatiques et les équilibres végétatifs /génératifs de la plante.
- Une troisième phase dite de maturation, caractérisée par une croissance lente ainsi qu'un changement brutal de la couleur, de la texture et de la composition chimique du fruit. En effet, c'est essentiellement une période de transformations biochimiques qui dépend des composés stockés et de l'environnement du fruit (grasselly et al, 2000)

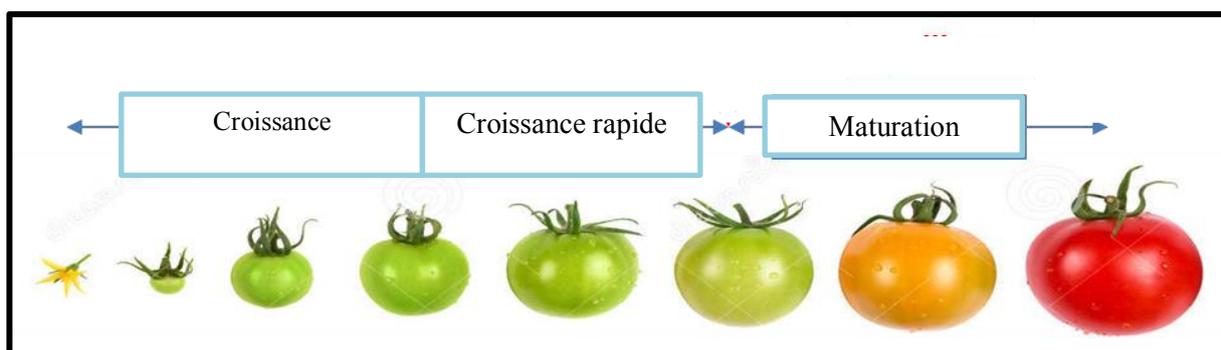


Figure 04: phénophase latomate (gillapsy g et al, 1993)

### I.8. Caractéristiques morphologiques de la tomate :

#### I.8.1. Les graines :

Les pépins sont entourés d'une sorte de mucilage provenant de la gélification de l'enveloppe de la graine (polese .2007). Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. (Figure N° : 05). L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g (shankara et al, 2005).

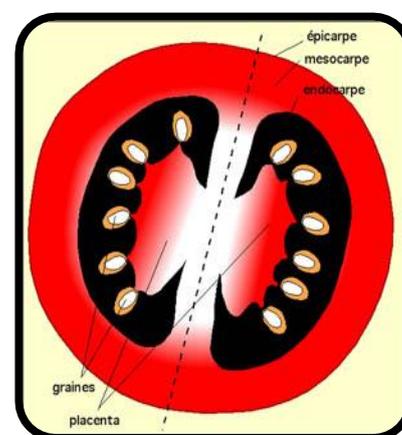


Figure05 : section transversale d'une tomate (dore et varoaux, 2006)

### I.8. 2.Le système racinaire :

Selon **shankara (2005)**, les plantes de la tomate possèdent un système racinaire fort et pivotant se développe jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale est très dense, ramifiée et très active sur les 30 à 40 premiers centimètres (**chaux et foury, 1994**).



**Figure06 : le système racinaire de la tomate (.blancard, 2009)**

### I.8.3.Le Tige :

Elles sont vertes, épaisses aux entre-nœuds. Elles disposent de deux types de poils blanchâtres : des poils simples et des poils glanduleux qui contiennent une huile essentielle, qui donne l'odeur de la tomate et la coloration verte (**kolev, 1976**). Elles portent les feuilles, les fleurs et les fruits. Une tige peut porter de nombreuses ramifications (appelées axillaires) et a une croissance indéterminée ou déterminée selon les variétés.



**Figure 07: Tige de tomate (Naika et al, 2005)**

### I.8.4.Les feuilles :

Les feuilles sont composées de 5 à 7 folioles principales, longues de 10 à 25cm et d'un certain nombre de petites folioles intercalaires ovales, un peu dentés sur les bords, grisâtre à la face inférieure. Elles sont souvent repliées en forme de cuillères ou même à bords roulés en dessus. Ces feuilles sont alternées sur la tige (**raemaekers, 2001**) (Fig 8)



**Figure 08: Feuille de tomate (krid et messati, 2013)**

### I.8.5. Les Fleurs :

Les fleurs sont petites, jaunes en forme d'étoiles, groupées sur un même pédoncule en bouquet lâche de 3 à 8 fleurs, bisexuées, régulières et entre 1,5 et 2 cm de diamètre. Le tube du calice est court et velu, les sépales sont persistants. Pour les pièces florales en général il y a 6 pétales de 1 cm de longueur, qui sont jaunes et courbées lorsqu'elles sont mûres. Il y a 6 étamines et les anthères ont une couleur jaune vif et entourent le style qui a une extrémité stérile allongée. Généralement la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu (polese, 2007).



Figure 09 : Fleur de la tomate (krid et messati, 2013)

### I.8.6. Fruits :

Le fruit est une baie plus ou moins grosse (fig10), avec épiderme lisse brillant de forme variable (sphérique, oblongue, allongée), et de couleurs variées (blanches, rose, rouge, jaune, orange, verte, noire) selon les variétés (fig 10) (renaud, 2003). La paroi de l'ovaire évolue en péricarpe charnu et délimite des loges. Le placenta constitue la partie centrale du fruit et est à l'origine des tissus parenchymateux. Le nombre de loges, l'épaisseur du péricarpe et l'importance du gel sont dépendants des variétés (grasselly et al, 2000).



Figure 10: Les fruits de la tomate (krid et messati, 2013)

### I.9. Le développement de la plante de tomate s'accomplit en passant par des phases successives caractéristiques qui sont :

D'après (gallais et bannerot 1992), le cycle végétatif complet de la graine à la graine de la tomate varie selon les variétés, l'époque et les conditions de culture ; mais il s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit). Le cycle comprend les cinq étapes suivantes :

### **I.9.1.La germination :**

La germination et le stade de levée qui mène la graine jusqu'à la jeune plante capable de croître normalement (**corbineau et core, 2006**). Chez la tomate la germination est épigée, nécessite une température ambiante d'environ 20°C et une humidité relative de 70 à 80% (**chaux et foury, 1994**).

### **I.9.2.La croissance :**

C'est un changement quantitatif de la plante au cours du temps, qui s'effectue par une augmentation irréversible de ces dimensions (**thiman, 1956**). Selon **laumonnier (1979)**, cette étape se déroule en deux phases et en deux milieux différents.

- **En pépinière :** De la levée jusqu'au stade 6 feuilles, on remarque l'apparition des racines et des prés feuilles ;
- **En plein champ :** Après l'apparition des feuilles à photosynthèse intense et des racines, les plantes continuent leur croissance. La tige s'épaissit et augmente son nombre de feuille.

### **I.9.3. La floraison :**

Lorsque le méristème passe de l'état végétatif à l'état reproducteur, les ébauches florales apparaissent et se développent, ce processus correspond à la floraison. Sous l'influence de plusieurs facteurs, naturellement la pollinisation se fait. Elle se traduit par l'apparition des fruits verts. La durée entre la pollinisation et la fécondation est de 2 à 3 jours (**ray et costes, 1965**). Selon **benton (1999)**, la première inflorescence apparaît deux mois et demi environ après le semis. La floraison chez la tomate commence du bas vers le haut. Ces fleurs étaient auparavant des boutons floraux. La floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs de la plante.

### **I.9.4.La pollinisation :**

Les conditions climatiques ont un effet sur la libération et la fixation du pollen, par exemple si la température nocturne est inférieure à 13 °C, la plupart des grains de pollen seraient vides, et une faible humidité dessèche les stigmates qui causent une difficulté du dépôt de pollen (**Louveaux, 1984**). L'intervention des agents extérieurs est nécessaire pour cette étape, le vent ou certains insectes comme le bourdon (**chaux et faury, 1994**). Lorsque des périodes de froid ou de chaleur perdurent pendant la floraison, la production de pollen sera réduite (**shankara, 2005**).

### I.9.5. La fructification et la maturité des fruits :

La fructification débute par la nouaison des fleurs de l'inflorescence du bas vers le haut. Les fruits mûrissent quand ils atteignent leurs tailles définitives et ils se colorent en jaune puis en rouge (**benton, 1999**). Il existe une relation proportionnelle entre la production d'auxine, le développement des fruits et la quantité des graines (**fao, 1987**). La lumière intense permet la synthèse active qui affecte la mise et la couleur des fruits, pour cela une température de 18 °c la nuit et 27°c le jour est favorable (**ray et costes, 1965 ; shankara, 2005**).

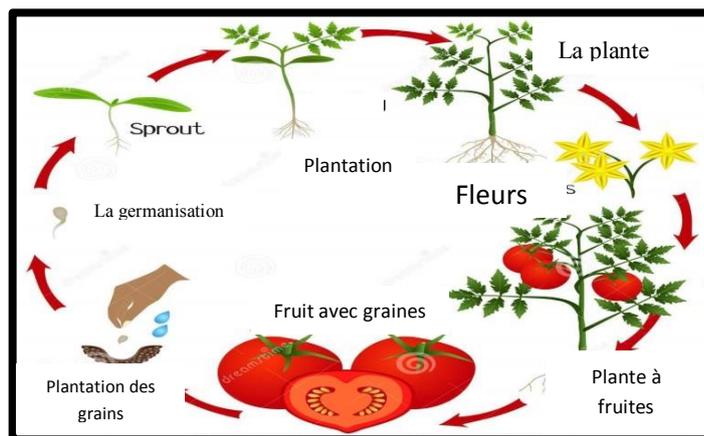


Figure 11 : Cycle de développement (mémento de l'agronome, 2003)

### I.10. Les exigences pédoclimatiques de la tomate :

#### I.10.1. La température :

La température est le facteur le plus déterminant pour la production de la tomate car la culture réagit fortement aux variations thermique (**lambert, 2006**). La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21C et 24C. La croissance, la floraison et la fructification sont favorisées par un écart thermique de 10C entre le jour et la nuit. Le gel qui survient après la plantation tue les plantes, c'est pourquoi il faut attendre la fin de l'hiver pour la culture en plein champs.

#### I.110.2. La lumière :

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. Un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation (**cirad et gret, 2002**). En outre, l'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles, la mise à fruits et la couleur des fruits.

### **I.10.3.L'eau et humidité :**

Le stress causé par une carence en eau et les longues périodes arides fait tomber les bourgeons et les fleurs et provoque le fendillement des fruits. Par contre, lorsque les averses sont très intenses et l'humidité est très élevée, la croissance des moisissures et la pourriture des fruits seront plus importants. Les temps nuageux ralentissent le mûrissage des tomates.

### **I.10.4.Le sol :**

**Laumonnier (1979)**, atteste que la tomate pousse bien sur la plupart des sols, ayant en général une bonne capacité de rétention d'eau aérienne. Elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées, légère, meuble, riches en humus, s'échauffant rapidement et plus facilement. La couche superficielle du terrain doit être perméable. Une profondeur de sol de 15 Chapitre I La tomate *Lycopersicon esculentum* . 8 à 20cm est favorable à une bonne croissance d'une culture saine (**naika et al., 2005**).

#### **I.10.4.1. Le pH du sol :**

Selon **chaux et foury (1994)**, la tomate est très tolérante en pH. Le meilleur équilibre nutritionnel étant assuré entre 6,0 et 7,0.

#### **I.10.4.2. La salinité :**

Il est généralement considéré qu'un excès de vigueur du plant de tomate en début de culture retarde la précocité de la production. La modulation de la concentration saline de la solution nutritive est un des moyens utilisés pour maîtriser le développement du jeune plant (**brun et montarone, 1987**).

### **I.11. Cultures de la tomate :**

La tomate est cultivée selon deux systèmes principaux qui sont:

**I.11.1. Culture de plein champ:** Ce système de culture est le plus répandu. Si l'irrigation est disponible, les plantations peuvent être faites en saison sèche. La mécanisation est souvent réduite à la préparation du sol (**cirad, 2002**).

**1.11.2. Culture sous abris :** Ce système de culture vise à produire les tomates au long de l'année. Il permet de développer des productions hydroponiques, supprimant ainsi certaines contraintes liées au sol (**cirad, 2002**). La culture sous abri fournit aujourd'hui une part essentielle du marché de frais pour les légumes-fruits tels que la **tomate (jeannequin et al., 2005)**

### **I.12.1 ' intérêts de la tomate :**

#### **I.12.1.1' intérêts économique :**

La tomate, est cultivée dans tous les pays sous toutes les latitudes, de l'équateur à quasiment le cercle polaire. Les fruits sont destinés à la consommation en frais ou à la transformation (**laterrot et al, 1992**). C'est aujourd'hui le légume d'intérêt commercial le plus important (**ferrero, 2009**). La culture de la tomate est très répandue dans le monde entier mais 90% de la production mondiale est obtenue dans l'hémisphère nord (bassin méditerranéen, Californie et Chine). En 2011, environ 159 millions de tonnes de tomates ont été produites dans le monde (**faostat, 2013**). En Algérie, la tomate occupe une place privilégiée dans le secteur maraîcher (**ferrero, 2009**). Selon **faostat (2013)** la production de tomate en Algérie est de 7,9 millions de tonnes en 2012 et elle est cultivée sur 23500 ha

**I.12.2. Les valeurs nutritionnelles :**

La tomate est un aliment diététique, très riche en eau (93 à 95 %), en sels minéraux : potassium qui représente presque la moitié (235 mg.100g<sup>-1</sup>, magnésium, phosphore dont les teneurs varient selon l'état du sol et les techniques culturales. (Tableau N° :04)

**Tableau 04 : les sels minéraux d'après (davies et hobson ,1981 in massot, 2010)**

N°	MINÉRAUX	QUANTITÉS	%VALEURS NUTRITIVES DE REFERENCE.
01	calcium	8,14mg.100g <sup>-1</sup>	01,02
02	cuivre	0,029mg.100g <sup>-1</sup>	02,90
03	fer	00,12mg.100g <sup>-1</sup>	00,86
04	Iode	00,20ug.100g <sup>-1</sup>	00,13
05	magnésium	10,10mg.100g <sup>-1</sup>	20,69
06	manganèse	0,066mg.100g <sup>-1</sup>	03,30
07	phosphore	26,60mg.100g <sup>-1</sup>	03,80
08	potassium	256,0mg.100g <sup>-1</sup>	12,80
09	sélénium	10,00ug.100g <sup>-1</sup>	18,18
10	sodium	03,22mg.100g <sup>-1</sup>	/

La tomate mûre contient aussi plusieurs pigments de la famille des caroténoïdes, dont le  $\beta$ carotène qui possède une activité pro-vitaminique A . Elle contient également des substances organiques vitaminiques tel que la vitamine ; A (rétinol), D (calcitriol), E (tocophérol), principalement la vitamine C 10 à 30mg.100g<sup>-1</sup> pour la tomate crue contre 16mg.100g<sup>-1</sup>. Maîtrès pauvre en calories (17 kcal. 100 g<sup>-1</sup> ). (Tableau N°: 05)

**Tableau 05 : les substances organique d'après (davies et hobson ,1981 in massot, 2010).**

N°	LES VITAMINES		QUANTITES	VALEURS NUTRITIVES DE REFERENCE.(%)
01	Provitamine A	Rétinol	449 µg	NC
02	Equivalent Vitamine A	/	74,83µg	09,35
03	VitamineB1	Thiamine	0,039mg	03,55
04	VitamineB2	Riboflavine	0,019mg	01,36
05	VitamineB3	Niacine, ex vitamine PP	00,65mg	04,06
06	VitamineB5	Acide pantothénique	00,21mg	03,50
07	VitamineB6	Pyridoxine	0,082mg	05,86
08	VitamineB9	Folates	22,70µg	11,35
09	VitamineC	Acide ascorbique	15,50mg	19,38
10	VitamineE	Tocophérols	00,66mg	05,50

**Tableau 06 : les composantes de tomate crue d'après (davies et hobson ,1981 in massot, 2010).**

N°	COMPOSANTS	QUANTITES (g.100g-1 ) %	% VALEURS NUTRITIVES DE REFERENCE.
01	Eau	94,10	NC
02	Protéines	00,86	01,72
03	Lipides	00,26	00,37
04	Acides gras saturés	0,056	00,28
05	Glucides	02,26	00,87
06	Sucre	02,25	02,50
07	Fibres	01,20	NC
08	Acides organiques	00,39	990

Les glucides, représente 2 à 3 %, sont constitués principalement de sucre simple (fructose et de glucose). Les teneurs exprimées en grammes pour 100 g de tomate crue sont indiquées dans le tableau 6

### I.13. Les ennemis de la tomate :

Les cultures de tomate peuvent être affectées par divers attaques de ravageurs et de maladies cryptogamiques bactériennes ou virales, par la concurrence de mauvaises herbes et par des accidents de végétation ou des agressions abiotiques, dont l'importance varie selon le type de culture et les conditions climatiques (**chaux et foury, 1994**)

Les maladies sont : **Tableau 07 : Maladies Bactériennes de la tomate (pyron, 2006)**

Maladie	Nom scientifique	Symptômes et dégâts
 <p><b>Chancre bactérien</b></p>	<p><i>Clavibacter michiganensis</i> Subsp. <i>michiganensis</i></p>	<p>Flétrissement unilatéral sur feuille, suivi d'un dessèchement total des coupes longitudinales sur tige et pétioles. Sur fruits, se forment des taches blanchâtres</p>
 <p><b>Moucheture de la tomate</b></p>	<p><i>Pseudomonas syringae</i> Pv. <i>Vesicatoria</i></p>	<p>Sur feuillages : Apparition des taches noires de contour irrégulier entourées d'un halo jaune. Les folioles se dessèchent et tombent</p>
 <p><b>Gale bactérienne</b></p>	<p><i>Xanthomonas campestris</i> Pv. <i>Vesicatoria</i></p>	<p>Les symptômes sont des taches brunâtres relativement réguliers, entourées d'un halo jaune ce qui entraîne le dessèchement des folioles et la chute des feuilles, avec apparition de petits chancres pustuleux sur fruits. Afin d'éviter ce genre de maladie, il faut utiliser des semences certifiées (Grissa, 2010).</p>
 <p><b>Flétrissement Bactérienne Des solanacées</b></p>	<p><i>Pseudomonas solanaceum</i></p>	<p>Flétrissement de type <i>Verticillium</i> ou <i>Fusarium</i> mais suivi de la mort très rapide de la plante.</p>



## II.1. Généralité sur les biofertilisants :

### II.1.1 Présentation des biofertilisants :

De nombreux agriculteurs sont engagés dans une démarche d'agriculture respectueuse de l'environnement. Pour mener à bien leurs cultures, des solutions alternatives sont mises à leur disposition, parmi lesquelles un biofertilisant est un produit contenant des micro-organismes vivants qui contribuent à améliorer la croissance des plantes. Il optimise les fonctions du sol et sa fertilité grâce à l'action des micro-organismes qu'il contient.

Pour assurer leur développement, les plantes ont besoin de lumière, d'eau, de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), d'oxygène (O<sub>2</sub>), et d'éléments minéraux. Grâce à leur système racinaire, elles puisent ces ressources stockées dans le sol, afin de permettre leur nutrition. » **(dedieu et courleux, 2011)**

Mais le sol ne joue pas uniquement le rôle de «réservoir à nutriments» pour les végétaux, il s'agit d'un écosystème complexe. Même s'il possède un « capital nutritionnel » conséquent, une fraction des apports servant à nourrir la plante peut être immobilisée, donc indisponible pour celle-ci. C'est à ce stade qu'interviennent les micro-organismes du sol. Ils participent à des mécanismes permettant d'améliorer la biodisponibilité des nutriments, favorisant ainsi le développement de la plante **(maeva b et al., 2013)**.

### II.1.2. Définition des biofertilisants :

Les biofertilisants sont des préparations de micro-organismes appliquées au sol et sur la plante afin de se substituer partiellement ou totalement à la fertilisation de synthèse et diminuer la pollution générée par les produits agrochimiques **(zhang, 1982)**, les micro-organismes utilisés dans les biofertilisants sont classés en deux groupes :

- Le premier groupe inclut les micro-organismes qui ont la capacité de synthétiser des substances favorisant la croissance de la plante, fixant l'azote atmosphérique, solubilisant le fer et le phosphore inorganique et améliorant la tolérance au stress dû à la sécheresse, la salinité, les métaux lourds et les excès de pesticides.
- Le second groupe comprend les micro-organismes capables de diminuer ou prévenir les effets causés par des micro-organismes pathogènes.

Certains micro-organismes peuvent se trouver dans ces deux groupes stimulant la croissance de la plante et inhibant les effets des micro-organismes pathogènes **(faessel et al., 2015)**.

### II.1.3.les Intérêts des biofertilisants :

De nombreux agriculteurs sont engagés dans une démarche d'agriculture respectueuse de l'environnement. Pour mener à bien leurs cultures, des solutions alternatives sont mises à leur disposition, parmi lesquelles les biofertilisants, car ils disposent de nombreux avantages :

- Amélioration de l'état nutritionnel des cultures
- Meilleure structuration des sols
- Production de molécules bénéfiques au développement de la plante
- Meilleure résistance aux stress abiotiques
- Rendre les plantes plus actives
- Améliorer la qualité du sol, le rendement et en vue de cultiver des légumes et des fruits de bonne qualité.
- stimuler les processus naturels pour améliorer l'absorption des nutriments
- Permet d'apporter une réponse concrète aux enjeux actuels, et constitue une alternative naturelle à l'utilisation d'engrais chimiques,
- stimuler la croissance des plantes, ils agissent notamment sur les réserves de nutriments immobilisés dans le sol.
- Répondre aux contraintes environnementales
- Stimuler le potentiel nutritif du sol
- Conserver la rentabilité de votre exploitation

**(mohanty et al., 2013). (demoulin et leymergie, 2009).**

### II.1.4. inconvénients des biofertilisants :

Biofertilisants nécessitent des soins spéciaux pour le stockage à long terme parce qu'ils sont vivants, ils doivent être utilisés avant leur date d'expiration. Si d'autres micro-organismes contaminent le milieu de support ou si les producteurs utilisent la mauvaise souche, ils ne sont pas aussi efficaces, le sol doit contenir des nutriments adéquats pour les organismes de biofertilisants de prospérer et de travailler. Biofertilisants complètent d'autres engrais, mais ils ne peuvent pas remplacer totalement. Biofertilisants perdent leur efficacité si le sol est trop chaud ou sec. Sols excessivement acides ou alcalins entravent également la croissance réussie des micro-organismes bénéfiques ; en outre, ils sont moins efficaces si le sol contient un excès de leurs ennemis naturels microbiologiques. Les pénuries de souches particulières de micro-organismes ou de la meilleure moyenne de plus en plus de réduire la disponibilité de certains biofertilisants [journal of environmental quality par delphine bossy .futura-sciences publication initiale le 3 mai 2013].

**II.1.5. La Différences entre les engrais et les biofertilisants : Tableau8 : La Différences entre les fertilisants chimiques et les biofertilisants (sivasangari et al., 2010) et (norrie et keathley, 2006 ; eyras et al., 2008). (girard et al., 2011).**

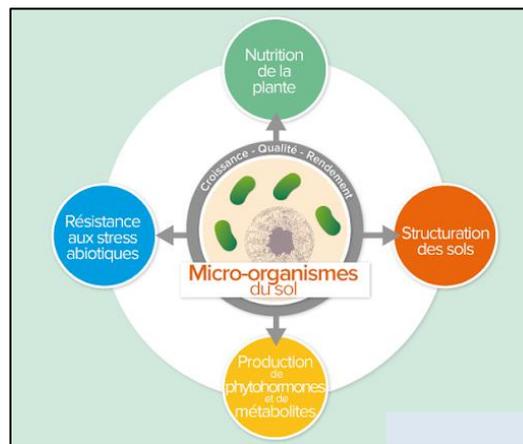
Les biofertilisants	Les Fertilisants chimiques (engrais)
<p>Dans le sol, des millions d'espèces d'organismes vivants agissent chaque jour comme une véritable « usine de la vie », ils mettent à disposition de la plante des nutriments physiquement assimilables, favorisent ainsi son développement. L'agriculteur ancestral utilisait déjà ces principes permettant de ne pas appauvrir les sols et d'augmenter le taux de matière organique, avec des pratiques de rotation de culture ou de jachères. Les produits biofertilisants s'inspirent de ces méthodes : Les micro-organismes bénéfiques pour la vie du sol et des cultures sont favorisés tout en respectant la flore existante.</p> <p>il est indispensable de remettre les biofertilisants au cœur de votre mode d'agriculture, d'autant qu'il s'agit d'alternatives tout aussi efficaces pour les meilleurs. Tant d'un point environnemental que pour le bien-être des individus.</p>	<p>Les fertilisants chimiques sont très dangereuses sur la qualité de l'environnement, et la biodiversité que sur la santé humaine. Ils révèlent que certains exposent à une teneur élevée en acide comme l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique. Celle-ci entraînant la destruction de la bactérie fixatrice d'azote, qui aide à fournir l'azote à une plante en croissance. Ainsi, la première conséquence de l'utilisation des fertilisants chimiques dans le jardin est l'appauvrissement du sol.</p> <p>sa nocivité : Certains éléments s'avèrent en effet très polluants et se retrouvent directement dans les cours d'eau. En effet, les substances non assimilées par les plantes sont emportées par les pluies... celle-ci se déversant directement dans notre environnement. Ainsi, les engrais chimiques en raison de leurs produits chimiques nocifs ont un impact tant écologique que sur notre corps.</p>

**II.2. Les principaux bénéfices agronomiques des biofertilisants:**

Chaque micro-organisme est différent et possède ses propres caractéristiques. Par les mécanismes qu'ils mettent en œuvre, ils provoquent des réactions spécifiques chez la plante, en fonction de leur nature. Cependant, lorsque l'on regarde de manière plus générale, quatre grands types d'effets peuvent être observés lors de l'utilisation de biofertilisants :

- Nutrition de la plante
- Résistance aux stress abiotique
- Structuration des sols
- Production de phytohormones et de métabolites

(kuiper et al., 2004)



**Figure 12 : les principaux de les biofertilisants**

### II.2.1. Structuration des sols source:biofertilisants.fr

#### II.2.1.1. Définition du sol :

le sol est la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants.

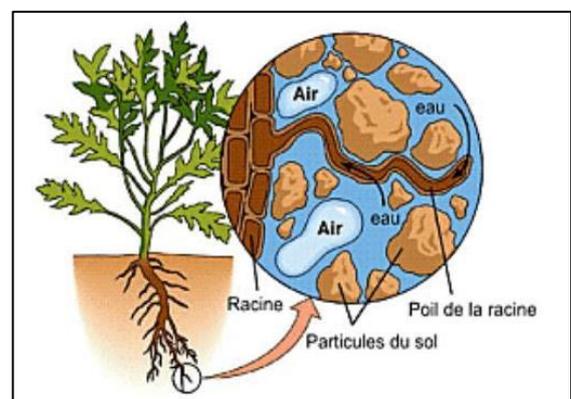
Du sol composée de matières minérale et organique le sol « garde » les nutriments des plantes provenant des minéraux, de la décomposition de la matière organique et de la fertilisation

Il les échange avec la solution du sol selon une relation très équilibrée c'est-à-dire un « donnant-donnant » équitable. Le sol est très important dans la nutrition des plantes. la nutrition des plantes étant basée sur des échanges entre d'une part, les racines des plantes et la solution du sol puis d'autre part. (calvet, 2013).

#### II.2.1.2. Une structuration des sols propice aux cultures :

Au moyen des différentes molécules qu'ils secrètent ou par le biais de leur propre morphologie (bactéries filamenteuses, ...), les micro-organismes telluriques (qui se trouvent naturellement dans le sol) permettent d'améliorer la structure du sol. Leurs mouvements et interactions créent une meilleure aération et cohésion du sol, ce qui assure un environnement plus propice au développement de la plante et permet ainsi de limiter les phénomènes de lessivage et d'érosion.

(symbiotech.over-blog.com, 2017).



**Figure 13: la structure de sol**  
source:slideshare.net

## II.2.2. Nutrition de la plante

### II.2.2.1. Détermination des besoins nutritifs :

La plante se nourrit de sels minéraux qui existent dans le sol sous forme d'ions et qui pénètrent dans les racines. De grandes surfaces racinaires et des systèmes actifs d'absorption expliquent que, malgré les faibles concentrations des ions dans la solution du sol, l'acquisition des nutriments minéraux par les plantes est un processus très efficace. Par ailleurs, des symbioses formées entre des bactéries ou des champignons (mycorhizes) et les racines, participent à l'acquisition de ces éléments minéraux (Fig.44). D'immenses progrès ont été réalisés récemment dans la compréhension des mécanismes moléculaires du transport ionique impliqués dans la nutrition minérale. (prescott et al., 2013).

Les principaux éléments minéraux dont la plante a besoin pour sa croissance sont dits essentiels et sont classés, selon les quantités absorbées :

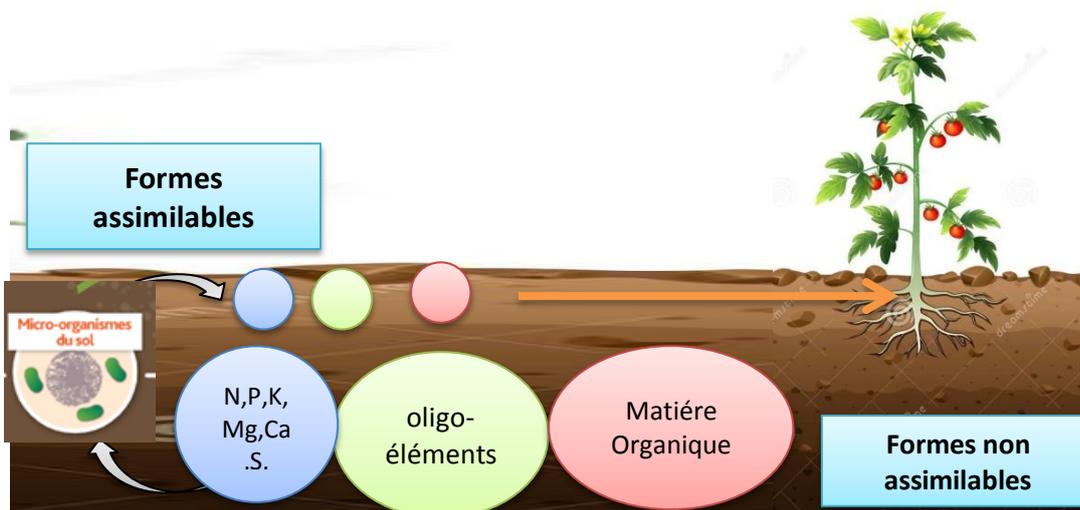


Figure 14: la nutrition de la plante  
source: pinterest.fr

#### Macroéléments principaux :

- azote(N)
- phosphore(P)
- potassium(K)

#### Secondaires:

- calcium(Ca)
- magnésium(Mg)
- soufre(S)

- ❖ L'azote constitue un des éléments majeurs pour la croissance des végétaux, sa carence ayant un très fort impact sur la réduction de croissance. Il entre dans la constitution des protéines, des acides aminés, de la chlorophylle ainsi que de l'ADN.
- ❖ Le phosphore intervient dans la photosynthèse, la gestion de l'énergie métabolique (ATP) et entre dans la constitution d'enzymes ainsi que de nombreuses molécules. Il stimule la croissance et le développement des racines et des fruits.
- ❖ Le potassium a un rôle très important dans le contrôle de la pression osmotique, la régulation stomatique, l'économie de l'eau, ainsi que dans les résistances au stress hydrique, au gel et aux maladies.

**-Les oligo-éléments :**

- Zinc (Zn)
- Le fer(Fe)
- Le cuivre(Cu)
- Bore (B),
- Molybdène (Mo)

**-Matière organique :**

La matière organique du sol est composée d'organismes vivants, de résidus de végétaux et d'animaux et de produits en décomposition. Elle ne représente, en général, que quelques pourcents (0,5 à 10 %) de la masse du sol. Sous l'action de l'érosion, du défrichage, des micro-organismes, de l'oxydation naturelle et plus généralement des processus physico-chimiques, la matière organique se transforme en matière minérale. **(razafimbelo, 2005)**

**II.2.2.2.Meilleure assimilation des éléments nutritifs :**

Certains éléments nutritifs sont présents dans le sol mais ne sont pas physiquement disponibles pour la plante, car ils se présentent sous une forme non assimilable, ou car ils sont matériellement trop éloignés des racines. Des micro-organismes comme les bactéries solubilisatrices du phosphore ou les bactéries fixatrices d'azote permettent de rendre ces éléments biodisponibles pour la plante, grâce à leur propriété et leur action dans le sol. D'autres, comme les champignons endomycorhiziens, permettent d'agrandir indirectement le réseau racinaire dans le but de rapprocher les nutriments de la plante. Par leurs actions, les biofertilisants permettent ainsi d'améliorer directement ou indirectement l'assimilation des éléments

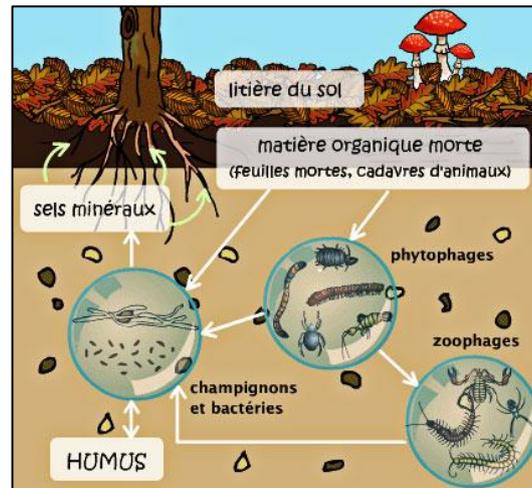


Figure 15 : les éléments nutritifs  
source: vinsdepermaculture.fr

nutritifs par la plante, ce qui entraîne une optimisation de leur croissance et de leur développement. (badri et al., 2009).

### II.2.3. Résistance aux stress abiotiques :

Comme nous venons de le voir, les micro-organismes agissent de manière positive sur l'état nutritionnel, la croissance et l'environnement de la plante. Ces améliorations permettent aux cultures de devenir plus résistantes aux divers stress biotiques qui les entourent : piétinement, sécheresse, salinité, chaleur, etc. En « boostant » son environnement et son état général, la plante devient ainsi naturellement plus résistante (kumar et verma, 2018).

### II.2.4. Production de phytohormones et de métabolites :

#### II.2.4.1. la production de molécules bénéfiques au développement de la plante :

Les micro-organismes libèrent dans leur environnement des molécules ayant des effets bénéfiques pour la plante :

- **Les auxines** : elles agissent sur l'élongation cellulaire, la croissance des apex et des racines (principales, secondaires et poils absorbants) (iqbal et al. 2017).
- **Les gibbérellines** : elles initient le bourgeonnement, la croissance des tiges, la floraison et la croissance des fruits (miransari et smith, 2014).

- **Les cytokinines** : elles ont une action beaucoup plus centralisée autour de la feuille (activation de la production de chlorophylle, ouverture des feuilles, croissance cellulaire, morphogénèse, etc.) (**chanclud, 2015**)

#### **II.2.4.2. Stimulation de la croissance par production de phytohormones et métabolites :**

Les phytohormones sont des molécules naturellement produites par les plantes, qui peuvent avoir pour effet de stimuler ou d'inhiber la croissance végétale. Les phytohormones qui interviennent dans la stimulation de la croissance regroupent les molécules de trois familles principales, les auxines, les cytokinines et les gibbérellines (Bouriquet). Certaines PGPR sont capables de produire ces hormones.

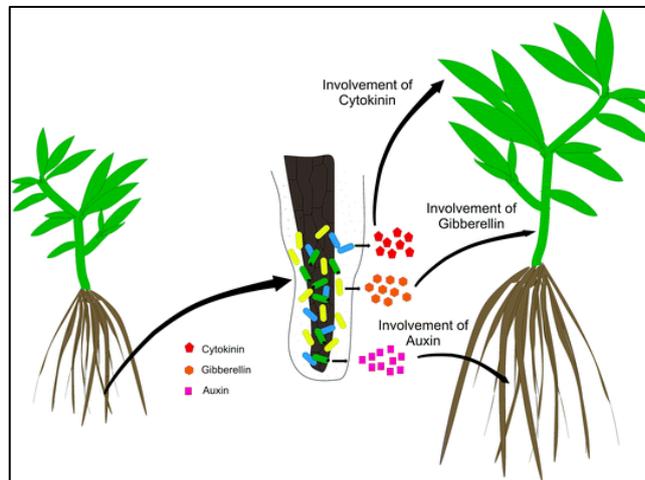
Les auxines d'origine végétale sont connues pour inhiber la croissance du bourgeon terminal, mais sont également impliquées dans la croissance et la différenciation cellulaire. Elles participent à l'élongation et à la prolifération cellulaire, à la rhizogenèse et autres organogénèses, ainsi qu'à la transcription (**bohn-courseau, 2010 ; bouriquet**). L'IAA, pour acide indole-3-acétique, est l'auxine majoritaire dans les plantes et la plus étudiée (**bohn-courseau, 2010**). Lorsqu'elle est synthétisée par les bactéries, elle a deux fonctions principales.

L'IAA bactérienne stimule l'augmentation de la surface et de la longueur racinaire, donnant accès à la plante à un volume d'exploration du sol important pour une meilleure acquisition des éléments nutritifs (**Glick, 2012**). Cependant, une production excessive d'IAA peut inhiber la croissance racinaire et entraver le développement normal de la plante (**xie et al. 1996**). Deuxièmement, l'IAA permet un relâchement des parois cellulaires au niveau des radicelles afin de faciliter les exsudations, sources d'énergie pour le développement bactérien (**glick, 2012**). Elle intervient également dans la germination.

Le rôle des gibbérellines s'exprime principalement dans l'élongation cellulaire au niveau des méristèmes, induisant l'élongation des tiges et la croissance racinaire. Elles interviennent également dans la levée de la dormance et l'induction florale (**nambara, 2013**). Des bactéries peuvent produire des gibbérellines en tant que métabolites secondaires, intervenant dans les voies de signalisation des interactions plante-bactérie. Dans ce cas, la gibbérelline permet de stimuler la croissance aérienne et racinaire et de maintenir la structure de la plante («vigueur»). Les cytokinines, en combinaison avec l'auxine, servent à la prolifération des tissus via la stimulation de la division cellulaire, de l'organogénèse et de la différenciation de

certaines organes (**nambara, 2013**). Enfin, ces molécules interviennent dans le ralentissement du vieillissement des feuilles (Bouriquet).

Les phytohormones ont ainsi un rôle direct sur la croissance végétale, mais peuvent aussi intervenir dans d'autres voies métaboliques et de signalisation.



**Figure16: phytohormone de la plante**  
Source: [link.springer.fr](http://link.springer.fr)

## II.2.5.la biodiversité du sol

### II.2.5.1.Organismes vivants du sol :

Des milliards d'individus végétaux et animaux vivent dans le sol. Ils sont dénommés pédoflore pour les végétaux et pédofaune pour les animaux. En guise d'exemple, dans 1 g de sol on dénombre jusqu'à 1 milliard de bactéries et 1 à 3 m d'hyphe de champignons (**Girard et al., 2011**). On considère qu'un quart de la biodiversité mondiale réside dans les sols mais elle est encore insuffisamment connue.

A l'œil nu, on voit des vers de terre, des mille-pattes, des scarabées et des fourmis. Avec un microscope on peut observer des collemboles, des nématodes, des champignons et des bactéries

### II.3.4. Macroéléments secondaires: (marcel m., et al., 2002)

#### ❖ Le calcium :

Le calcium est un élément nutritif indispensable aux végétaux. Généralement abondant dans le sol, il est prélevé sous forme du cation  $\text{Ca}^{++}$  par les racines. Ses fonctions principales sont de :

- participer à la constitution des parois cellulaires des plantes en les rigidifiant
- activer différentes enzymes dont le nitrate réductase assurant la réduction du nitrate en ammonium dans les feuilles
- favoriser la croissance des jeunes racines en synergie avec les autres éléments

#### ❖ Le magnésium :

Le magnésium est, avec l'azote, le composant essentiel du noyau de la chlorophylle, une protéine complexe. Il a de très nombreuses autres fonctions dans la plante.

Le magnésium agit également au niveau:

- de l'activation de nombreuses enzymes,
- de la synthèse des protéines et des sucres et leur chargement dans le phloème,
- du métabolisme du phosphore,
- de la pression osmotique intracellulaire avec le potassium et la rigidité des parois cellulaires avec le calcium qui maintiennent le port de la plante.

Le magnésium est absorbé par les racines sous forme du cation  $\text{Mg}^{++}$ .

#### ❖ Le soufre :

Les plantes absorbent le soufre par leurs racines sous forme de sulfate  $\text{SO}_4^-$ . Elles en ont besoin très tôt car cet élément est indispensable à la synthèse des protéines et notamment à la formation de la chlorophylle dans les feuilles (S entre dans la composition de 3 acides aminés essentiels). Ces acides aminés soufrés interviennent dans l'architecture de protéines complexes

### II.3.5. Macroéléments oligoéléments:

#### ❖ Le fer :

Il est absorbé par les racines sous forme d'ion ferreux  $\text{Fe}^{++}$ . Bien qu'abondant dans le sol, l'absorption du fer par les racines est complexe car dans des conditions oxydantes ou de pH alcalin, le cation  $\text{Fe}^{++}$  disparaît transformé en oxyde ferrique inassimilable.

- ❖ Les fonctions du fer, composant essentiel de nombreuses enzymes, concernent la respiration, la synthèse de la chlorophylle et la photosynthèse

**Le cuivre :**

Le cuivre est absorbé par les racines sous forme du cation  $\text{Cu}^{++}$ . Il est assez abondant dans le sol, mais il est fortement lié/complexé à la matière organique.

Les fonctions du cuivre, composant essentiel de nombreuses enzymes, concernent la synthèse de protéines, particulièrement de la chlorophylle, et la photosynthèse.

**❖ Le zinc :**

La plante absorbe le zinc sous forme du cation  $\text{Zn}^{++}$ . Cet ion intervient dans la synthèse des protéines et de l'amidon et il a un rôle spécifique dans le métabolisme de l'auxine, hormone responsable de l'élongation cellulaire. Le zinc protège aussi la plante des stress oxydants en conditions de forte lumière et de sécheresse.

**❖ Le bore :**

L'absorption racinaire prend principalement la forme borate  $\text{BO}_3^{-}$  associée à l'acide borique  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . Le bore agit sur la multiplication cellulaire dans les méristèmes. Il intervient aussi dans le des sucres et leur translocation dans la plante. Il est indispensable pour la production d'un pollen fertile.

**❖ Le molybdène :**

La plante prélève l'anion molybdate  $\text{MoO}_4^{-}$  dans le sol. Les besoins sont faibles de quelques grammes à dizaines de grammes mais les fonctions du molybdène sont très spécifiques. Il active l'enzyme nitrate réductase qui assure la réduction du nitrate dans les feuilles. Il est associé aussi au métabolisme du fer et du phosphore. Enfin chez les bactéries du genre *Rhizobium*, il active la nitrogénase, une autre enzyme qui permet la fixation de l'azote de l'air  $\text{N}_2$  en ammonium  $\text{NH}_4^+$ .

**I.4.les engrais :**

Les engrais permettent d'apporter des éléments nutritifs aux plantes en reconstituant les réserves du sol. Les engrais de fond destinés à nourrir le sol sont apportés à l'automne ou l'hiver, les engrais pour nourrir les plantes sont eux apportés avant la plantation ou en cours de culture.

Il existe trois catégories d'engrais : les engrais organiques, les engrais minéraux

### II.4.1. Les engrais minéraux :

Les engrais minéraux sont formés de substances d'origine minérale, donc produits par l'exploitation de gisements naturels de différentes roches. Cela dit, la plupart des engrais minéraux sont fabriqués chimiquement. Ces engrais contiennent des éléments nutritifs primaires, les NPK, que sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). (kordek, 2005).

En fonction de leur dosage, ils peuvent être plus ou moins azotés, phosphatés ou potassiques et répondent donc aux différents besoins nutritifs des plantes qui n'ont évidemment pas toutes les mêmes besoins nutritionnels. (orgiazzi, a., et al., 2016)

#### ➤ Les différents types d'engrais minéraux :

Il existe plusieurs engrais NPK différents, qui se décomposent en deux grandes familles, les engrais simple set les engrais composés.

- **Les engrais simples :**

Ils ne sont le plus souvent composés que d'un seul des trois éléments (azote, phosphore ou potasse) et leur utilisation concerne donc des cas précis de carences propre à l'élément chimique choisi. La fertilisation par engrais simple est généralement associée à d'autres produits.

- **Les engrais composés :**

Ils rassemblent deux (binaires) ou trois (ternaires) des éléments (N, P et K). Ils offrent une couverture complète. Cependant, il est conseillé d'associer des engrais organiques aux engrais NPK, pour des apports nutritifs complémentaires.

### II.4.2. Les engrais organiques

Ils sont d'origine animale ou végétale, et parfois les deux. Les déchets organiques d'origine animale proviennent souvent de déchets industriels. Il s'agit par exemple de corne broyée, riche en azote (N). De guano (déjections d'oiseaux), riche en azote (N), en phosphore (P), en potassium (k) et en oligo-éléments. De sang desséché, très riche en azote (N). Ou encore de plumes, d'urée, de poudres d'os ou de poissons.

Les déchets organiques d'origine végétale sont des déchets compostés de plantes, d'algues ou des préparations telles que des purins et autres décoctions.

Les engrais organiques ne sont pas immédiatement disponibles pour la plante, ils doivent être transformés par les micro-organismes du sol. (**zaid, 2006**).

- **Les engrais verts**

Les engrais verts sont des plantes à croissance rapide, généralement cultivées en fin ou en début de saison, lorsque la parcelle n'est pas occupée par une culture de production. Ils forment rapidement une bonne couverture végétale à la surface du sol, le protègent du soleil, des pluies battantes, du lessivage..., limitent la prolifération des mauvaises herbes et fixent une série d'éléments nutritifs dans leur biomasse. Leur décomposition stimule l'activité biologique du sol et notamment la vie microbienne. Elle produit de l'humus qui améliore la structure du sol, le protège du lessivage et améliore sa rétention en eau. Les éléments nutritifs (dont l'azote) sont restitués progressivement et donc disponibles longtemps pour la culture suivante. Ils augmentent souvent la capacité du sol à supprimer des agents pathogènes.

- **Les 5 avantages des engrais verts**

1. Protéger le sol des intempéries et du lessivage,
2. Favoriser la vie dans le sol et fertiliser la terre,
3. Ameublir la terre, la décompacter et l'aérer,
4. Désherber, éviter la pousse de « mauvaises herbes »
5. Attirer les auxiliaires, nos alliés dans la pollinisation et la lutte biologique.

➤ **Définition du compostage:**

Le compostage est un processus de transformation des déchets organiques en présence d'eau et d'oxygène par le biais de micro-organismes. Il peut être réalisé en tas ou en composteur.

Le produit obtenu (compost) est un amendement très utile pour le jardinage.

## **Conclusion générale :**

La tomate est aujourd'hui l'une des cultures légumières les plus répandues et les plus importantes économiquement et qui est fortement influencée par ses éléments alimentant pour améliorer sa qualité nutritionnelle, l'augmentation des rendements.

La fertilisation, est un facteur principal de production pour chaque culture et l'élément de base de l'agriculture moderne, elle assure les besoins nutritionnelles des plants qui agissent sur le rendement du point de vue quantitatif et qualitatif.

C'est pour ces raisons que plusieurs producteurs essayent d'appliquer une agriculture qui collabore avec la nature et cherche, au maximum, à épargner ses ressources, c'est l'agriculture biologique.

Le but d'étudier l'effet d'un biofertilisant naturel sur le développement et le rendement de tomate.

## Références

- Andrianarisoa K .S., (2009). Minéralisation de l'azote et nitrification dans les écosystèmes forestiers : effet du type de sol et de l'essence forestière. Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré Nancy I. Spécialité : Géosciences. 253 p.
- Anon., (2005). Principaux éléments fertilisants. UNIFA Edition 2005. 6 p
- Anonyme. (1988). Les fertilisations. Fédération nationale l'industrie des engrais 6ème Édition paris. Pp 33- 44
- Aulakh M.S., Adhya T.K., (2005). Impact of agricultural activities on emission of greenhouse gases – Indian perspective. In 'International Conference on Soil, Water and Environmental Quality – Issues and Strategies. pp. 319-335 (Indian Society of Soil Science: New Delhi).
- Baba-Moussa L. (2012). Effets des rhizobactéries sur le rendement et les teneurs en macroéléments du maïs sur sol ferrallitique non dégradé au Sud-Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6: 279-288.
- Badri, D.V., Weir, T.L., van der Lelie, D., and Vivanco, J.M. (2009). Rhizosphere chemical dialogues: plant–microbe interactions. *Curr. Opin. Biotechnol.* 20, 642–650.
- BOHN-COURSEAU, I., (2010). Auxin: A major regulator of organogenesis. In: Développement végétatif des plantes, Georges Pelletier, Jean-François Morot-Gaudy. Avril 2010. Vol. 333, n° 4, p. 290-296. DOI 10.1016/j.crv.2010.01.004.
- Bonde T.A., Lindberg T., (1988). Nitrogen mineralization kinetics in soil during long-term aerobic laboratory incubations. A case study. *Journal of Environmental Quality*, 17 : 414 - 417.
- Brundrett M., Bougher N., Dell B., Grove T. and Malajczuk N., (1996). Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research, Monograph 32, Canberra, Australia, 374 p.
- Buckman O. (1990). Agriculture et fertilisation. Ed norsk Rydro a. s. 258p.
- Calvet, R. (2013). Le Sol (France Agricole).
- Campbell, Neil A. (1995). Biologie, Éditions du Renouveau pédagogique inc., St-Laurent, 1190 pages.

## - **Références**

- Chanclud, E. (2015). Etude du rôle des cytokinines végétales et fongiques dans l'interaction riz-Magnaporthe oryzae. BGPI - Biol. Génétique Interact. Plantes-Parasites Pour Prot. Intégrée 1
- Comifer ;( 2013). la fertilisation azotée - Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales - Cultures annuelles et prairies.
- Cirad. (2002). Mémento de l'agronome. (ed). Quae. p.1045-1046.
- Danso S.K.A., Eskew D.L., (1984). Comment renforcer la fixation biologique de l'azote. Bulletin AIEA, 26(2) : 29-33.
- Dedieu, M., et Courleux F. (2011). Les coopératives agricoles : un modèle d'organisation économique des producteurs. Rapport final d'une étude commanditée par le Centre d'études et de prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire. 4 p.
- Demoulin G., Leymergie C., (2009). Les algues, le trésor de la mer. Haute école de santé (heds), Filière Nutrition et diététique PP. 1-7
- Diehl J.A. (1975).Agriculture générale, pp 205-211.
- Faessel, L., Tostivint, C., et Schaller, N. (2015). Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes : état des lieux et perspectives. Rapport final d'une étude commanditée par le Centre d'Etude et de Prospective du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. (2015). 8 p
- Fardeau J.C. (1993). Le phosphore assimilable des sols: Sa représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartiments. Agronomie ; 13 : 317-33
- Faucher, Y. (2017). Parlons potassium!
- Forêt Conservation (1991). Les mycorhizes : on ne pêche pas par l'exemple, volume 58, numéro 6, octobre, pages 6-7.
- Fortin J.A., Plenchette C., Piché Y. (2008). Les mycorhizes : La nouvelle révolution verte. Editions multimondes, Québec, Canada. 131 p.
- Germon J.C., Couton Y., (1999). La dénitrification dans les sols : régulation de son fonctionnement et applications à la dépollution. Courrier de l'environnement de l'INRA, 38 : 67-74
- Gervy R. (1970). Les phosphates et l'agriculture. Ed. Dunod. Paris. 298p.
- Glick, B.R., (2012). Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and applications. In: Scientifica. Octobre (2012). Vol. 2012, p. 1-15. DOI 10.6064/2012/963401
- Girard, M.-C. (2011). Etude des sol description, cartographie, utilisation (Dunod).

## - **Références**

- Iqbal, N., Khan, N.A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A., and Khan, M.I.R. (2017). Ethylene Role in Plant Growth, Development and Senescence: Interaction with Other Phytohormones. *Front. Plant Sci.* 08.
- J. A. Bertholon ; (2015). Agriculture biologique et qualité des ressources en eau dans le bassin de la Seine : caractérisation des pratiques et applications territorialisées. Sciences de la Terre. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI
- J.-L. Peyraud, P. Cellier, C. Donnars, O. Réchauchère (éd.) ; (2012). Les flux d'azote liés aux élevages - réduire les pertes, rétablir les équilibres. Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport, INRA.
- Kuiper, I., Lagendijk, E.L., Bloemberg, G.V., and Lugtenberg, B.J.J. (2004). Rhizoremediation: A Beneficial Plant-Microbe Interaction. *Mol. Plant. Microbe Interact.* 17, 6–15.
- Kumar, P., Dubey, R.C., and Maheshwari, D.K. (2012). Bacillus strains isolated from
- Kordek, (2005). ministère de agriculture et du développement rural . agricole.pays-bas105
- rhizosphere showed plant growth promoting and antagonistic activity against phytopathogens. *Microbiol. Res.* 167, 493–499.
- Larsen M.R., Bodker L., (2001). Interactions between pea root-inhabiting fungi examined using signature fatty acids. *New Phytol.*, 149 : 487-493.
- Lerot B., (2006). Les éléments minéraux. 34 p.
- Marcel M., et al.,( 2002) agriculture générale.Ed.dumod.bailliard.p311
- Miransari, M., and Smith, D.L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environ. Exp. Bot.* 99, 110–121.
- Mohanty D., Adhikary S. P., and Chattopadhyay G. N.,( 2013). seaweed liquid fertilizer (slf) and its role in agriculture productivity. *International quarterly journal of environmental sciences. The Ecoscan: Special issue, vol III:* 147-155.
- Morot-Gaudry J-F., (1997). Assimilation de l'azote chez les plantes : aspects physiologiques, biochimiques et moléculaires. INRA-Paris. 421 p.
- NAMBARA, E., (2013). Plant Hormones A2 – Maloy, Stanley. In : HUGHES, Kelly (éd.), *Brenner's Encyclopedia of Genetics (Second Edition)*. San Diego : Academic Press. p. 346-348. ISBN 978-0-08-096156-9.

## - **Références**

- Nannipieri P., Grego S., Ceccanti B., (1990). Ecological significance of biological activity in soil. *Soil Biochemistry*, 6 : 293-355.
- Norrie, J., Keathley., JP., (2006). Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to “Thompson seedless’ grape production. *Acta Horti* 727 : pp. 243-247
- Nouari S. (2006). Etude de l’effet de quatre types d’engrais potassiques sur la culture d’orge (*Ordeum vulgare* L var Rihane 3) sous pivot dans la région de Ouargla. Mémoire d’Ingénieur d’État en Agronomie Saharienne, Option Production Végétale Département des Sciences Agronomiques, Université de Ouargla Algérie, p54
- Orgiazzi, A., et al., (2016) jardin potager biologique. Ed laballery.paris.p254
- Osman, J.R., Fernandes, G., and DuBow, M.S. (2017). Bacterial diversity of the rhizosphere and nearby surface soil of rice (*Oryza sativa*) growing in the Camargue (France). *Rhizosphere* 3, 112–122.
- Parmar, P., and Sindhu, S.S. (2013). Potassium Solubilization by Rhizosphere Bacteria: Influence of Nutritional and Environmental Conditions. *J. Microbiol. Res.* 25–31
- Rabeharisoa L., (2004). Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences Naturelles. Université d’Antananarivo, Faculté des Sciences, Département de Biologie et Ecologie Végétales. 199 p.
- "RATEL, Hervé (1999). « Les champignons dopent la forêt », *La Recherche*, numéro 319, avril, pages 33-35.
- Razafimbelo T., (2005). Stockage et protection du carbone dans un sol ferrallitique sous système en semis direct avec couverture végétale des Hautes Terres Malgaches. Thèse de Doctorat en science du
- Richardson A.E., Hocking P.J., Simpson R.J., George T.S., (2009). Plant mechanisms to optimise access to soil phosphorus. CSIRO Publishing. *Crop and Pasture Science*, 60: 124-143.
- Sánchez Chávez E., Muñoz E., Anchondo Á., Ruiz J.M., Romero L., (2009). Nitrogen impact on nutritional status of Phosphorus and its main bioindicator: response in the

## - **Références**

- roots and leaves of green bean plants. Revista Chapingo. Serie horticultura, 15(2): 177-182.
- Sanchez E., Muñoz E., Anchondo Á., Ruiz J.M., Romero L., (2009). Nitrogen impact on nutritional status of Phosphorus and its main bioindicator: response in the roots and leaves of green bean plants. Revista Chapingo. Serie horticultura, 15(2): 177-182.
- Saouli N. (2016). Contribution à l'étude de l'effet de quelques engrais sur la disponibilité du phosphore dans les sols calcaires Touggourt. Mémoire de mastère en Agronomie. Spécialité Protection de la Ressource Sol, Eau et Environnement, Département des Sciences Agronomiques, Université de Ouargla Algérie, 45p.
- Scheiner J.D., (2005). Spéciation du Carbone, de l'Azote et du Phosphore de différentes boues de stations d'épuration au cours de leurs incubations contrôlées dans deux types de sol. Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse. 218 p.
- Schwartz C., Muller J-C., Decroux J., (2005). Guide de la fertilisation raisonnée : grandes cultures et prairies. Editions France Agricole. 412 p.
- Selosse, Marc-André, François LE TACON (1999). « La stratégie de la symbiose , Science et avenir, numéro 633, novembre, pages 72-73.
- SIVASANGARI RAMYA S., NAGARAJ S. and VIJAYANAND N.,( 2010). Biofertilizing efficiency of brown and green algae on growth, biochemical and yield parameters of cyamopsis tetragonolaba (l.) taub. Recent Research in Science and Technology (2010), 2(5): 45-52
- Smith S.E., Gianinazzi-Pearson V., (1988). Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Biol. 39 : 221- 244.
- Sol. École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. 123 p+Références bibliographiques+Annexes.
- St-Arnaud M.C., Hamel M., Caron M., Fortin J. A., (1995). Endomycorhizes VA et sensibilité des plantes aux maladies : synthèse de la littérature et mécanismes d'interaction potentiels. In Fortin J. A., Charest C. et Piché Y. (éds). La symbiose mycorrhizienne : Etats des connaissances. Editions Orbis Publisbing, Frelisghburg, Québec., pp 51-87.
- Temple S.J., Vance C.P., Gantt J.S.,( 1998). Glutamate synthase and nitrogen assimilation. Trend in plant science. Review 3(2): 51-56.

## - **Références**

- Turner B.L., (2008). Resource partitioning for soil phosphorus: a hypothesis. *Journal of Ecology*, 96: 698-702.
- XIE, H., PASTERNAK, J.J. et GLICK, B.R., (1996). Isolation and characterization of mutants of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 that overproduce indoleacetic acid. In : *Current Microbiology*. Vol. 32, n° 2, p. 67-71. DOI 10.1007/s002849900012.
- Zaid, (2006). bilan de la production en 2006, ministère de agriculture
- Zekkour M. (2007). Effet de la fertilisation phosphatée sur le comportement et la productivité d'une culture de blé dur (*Triticum durum* L. var. Simeto) conduite en conditions sahariennes dans la région D'El Goléa W Ghardaïa. Mémoire d'Ingénieur d'État en Agronomie Saharienne, Option Production Végétale Département des Sciences Agronomiques, Université d'Ouargla Algérie, 94p.
- Zuang h.,(1982) : la fertilisation des cultures légumières. Ed S.T.I.F.L.P349

## **Webographie :**

<http://www.biofertilisants.fr/zoom-les-champignons-mycorhiziens/>

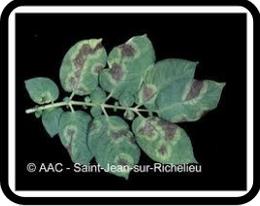
<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/botanique-mycorhizes-2482/>

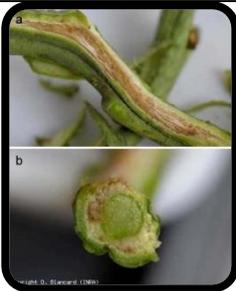
<http://www.mykepro.com/mycorhizes-benefices-application-et-recherche.aspx#:~:text=Les%20champignons%20mycorhiziens%20permettent%20aux,tol%C3%A9rance%20aux%20diff%C3%A9rents%20stress%20environnementaux.>

<https://www.sciencephoto.com/media/996366/view/bacillus-subtilis-sem>

<https://www.smartmush.com/2018/06/21/les-champignons-au-service-de-lagriculture-la-revolution-des-mycorhizes/>

**Tableau 01 : Maladies fongiques de la tomate d'après (Direction de l'agriculture B.P.100, 98713 Pape'ete – Tahiti - Polynésie française)**

Maladies	Nom scientifique	Symptômes et dégâts
 <p><b>Fontes des semis</b> Source:restica.fr</p>	Pythium spp et Rhizoctonia solani Kuhn	Manque la levée à pourriture du collet. (Blancard, 1988).
 <p><b>Maladies des racines liégeuses ou* corky-root*</b> Source:cliniquedesplantes.fr</p>	Pyrenocheta lycopersis R. Schneider et Gerlach.	De très nombreuses lésions brunes dans les racines dont certaines évoluent en épaissement liégeux. (Blancard, 1988)
 <p><b>Virus du TYLC</b> Source:grupogaray.es</p>	choix variétaux.	Virus du TYLC Voir partie Transmis par l'aleurode du tabac
 <p><b>Mildiou</b> Source:powercogollo.com</p>	(Phytophthora infestans(Mont) De Bary	Taches jaunâtres qui brunissent rapidement. Duvet blanc grisâtres sous les feuilles. Les tiges attaquées noircissent et la plante meurt en quelques jours
 <p><b>Oïdium</b> Source: inial.cl</p>	(Oidiopsis ou Leveillul a taurica)	Maladie fongique (champignon) développant un feutrage (poudre) blanc, à l'aspect farineux sur feuilles et provoquant leur dessèchement

 <p><b>Alternariose</b> Source :ephytia.inra.fr</p>	<p><i>Alternaria solani</i> Sorauer</p>	<p>Sur feuilles : Apparition de taches arrondies noirâtres. Des taches chancreuses sur tige. Sur fruit : nécrose sur les sépales, puis sur calices (Pyron, 2006)</p>
 <p><b>Botrytis (o u pourriture grise)</b> Source: agrimaroc.ma</p>	<p><i>Botrytis cineria..</i></p>	<p>Sur feuille et tige : Apparition des taches brunâtres accompagnées d'un duvet grisâtre, chancre sur tiges. Sur fruit, on observe une pourriture molle grise (Pyron, 2006).</p>
 <p><b>Phytophthora</b> source:ephtia. inra.fr</p>	<p><i>Phytophthora nicotiana</i> Var. <i>parasitica</i>)</p>	<p>Mortalité des jeunes plantes en général dans la quinzaine qui suite le repiquage au champ en conditions méditerranéennes (Blancard, 1988)</p>
 <p><b>Verticilliose</b> Source: ephytia.inra.fr</p>	<p><i>Verticillium dahliae</i> Klebahn</p>	<p>Sous serres, sous faible éclaireraient, flétrissements avec ramollissement des feuilles. En plein champ, On observe plutôt des jaunissement et nécroses. Interner vairés faisant sécher les feuilles progressivement de bas en haut de la plante (Blancard, 1988)</p>
 <p><b>Flétrissement bactérien</b> Source:ephytia.inra.fr</p>	<p>(<i>Ralstonia solanacearum</i>)</p>	<p>L'obturation des vaisseaux due à la bactérie empêche le transport normal de la sève et provoque le flétrissement du plant. Contamination des plants voisins par l'eau (pluie, irrigation)</p>

 <p><b>Fusariose</b> Source:ephtai.inra.fr</p>	(Fusarium oxy sporum) Le	Le champignon induit la pourriture du système racinaire entraînant le jaunissement du feuillage à partir du bas de la plante puis le dessèchement
 <p><b>Pythium</b> source:powercogollo.com</p>	Pythium Fonte de semis	Flétrissement et mort des plantules.

**Tableau 02 : Les principaux ravageurs de la tomate d'après (Direction de l'agriculture B.P.100, 98713 Pape'ete – Tahiti - Polynésie française)**

Ravageurs	Nom scientifique	Symptômes et dégâts
 <p><b>Nématodes</b> Source: ephytia.inra.fr</p>	(Meloïdogyne incognita)	Formation de galles sur Racines et perturbation de l'absorption racinaire
 <p><b>Mouches des fruits</b> Source:wilsoncontrol.com</p>	B. xanthodes (Bactrocera)	Ces mouches (0,5 à 1cm) piquent les fruits proches de la maturité pour y pondre leurs œufs. Les larves se développent en se nourrissant du fruit. Ils sont alors impropres à la consommation humaine
 <p><b>Mouches mineuses</b> Source: wilsoncontrol.com</p>	B. tryoni (Liriomyza)	Les larves de ces petites mouches (1 à 2 mm de long) creusent des galeries dans l'épaisseur de la feuille. Attaques très fréquentes entraînant le dessèchement des feuilles

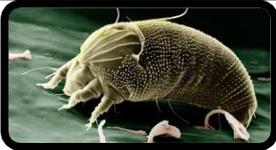
 <p><b>Acariens</b> Source: <a href="http://femmeactuelle.fr">femmeactuelle.fr</a></p>	Acariens	Ces minuscules insectes, difficilement visibles à l'œil nu, causent des décolorations, le dessèchement et la déformation des feuilles pouvant aller jusqu'à la mort du plant entier
 <p><b>Nématodes</b> Source: <a href="http://gerbeaus.com">gerbeaus.com</a></p>	(Meloïdogyne incognita)	Formation de galles sur Racines et perturbation de l'absorption racinaire
 <p><b>Aleurodes ou mouches blanches</b> Source: <a href="http://blog.hortik.com">blog.hortik.com</a></p>	Aleurodes	Ces petites mouches ( $\approx 1$ mm) vivent en colonies sous la face inférieure des feuilles. Elles affaiblissent les plants en se nourrissant de leur sève. Elles sont vectrices du virus du TYLC, c'est pourquoi il est nécessaire de traiter en cas de repérage.

Tableau 03 : Maladies virales de la tomate (Pyron, 2006)

Maladie virale	Nom scientifique	Symptômes et dégâts
 <p><b>Virus de la mosaïque du tabac</b> Source: <a href="http://agrotlas.ra">agrotlas.ra</a></p>	(TMV)	Transmis par la semence et par voie Mécanique donnant des plages vertes clair et vert foncé sur feuilles jeunes.
 <p><b>Figure35: Virus de la mosaïque du pépinio</b> Source: <a href="http://ephtia.inra.fr">ephtia.inra.fr</a></p>	(PMV)	Donne des décolorations de feuilles et une stérilisation des inflorescences, également transmis par les semences et par voie mécanique

 <p><b>Virus Y de la tomate</b> Source: plantix.net</p>	(PYV)	Donne des nécroses sur feuilles avec desèchement
 <p><b>Stolbur</b> Source :ephytia.inra.fr</p>	mycoplasmes	Maladie à mycoplasmes, reprise ici dans les Maladies A virus car elle a des caractéristiques similaires : Symptômes de chloroses, prolifération des rameaux, réduction du feuillage, et transmission par les insectes (cicadelles).

#### I.14.la protection de la plante :

##### I.14.1.Les conditions de la croissance de la plante :

La prévention avant tout Un potager bien organisé, qui respecte les besoins des plantes sera en meilleure santé et plus résistant qu'un potager où les plantes doivent déjà se battre pour survivre. Attention donc :

- à l'ensoleillement et aux zones d'ombre
- au type de sol (une plante des milieux secs et ensoleillés ne se plaira pas dans un coin d'ombre et dans sol argileux, humide)
- au maintien de la fertilité au fil du temps (certaines plantes gourmandes, comme les courges et les choux, ne se développent pas bien si le sol n'est pas suffisamment riche et inversement d'autres plantes, comme l'ail, les échalotes et les oignons n'apprécient pas un excès de matière organique)
- au voisinage (certaines plantes se renforcent entre elles, ce sont les associations positives, et d'autres se déforcent, ce sont les associations négatives).
- Pour limiter les ravageurs, rien de tel que de disposer de leurs prédateurs autour du potager. On peut attirer ceux-ci, en installant des plantes hôtes, des abris ou encore en aménageant des milieux adéquats
-

➤ **I.14.2. Quelques moyens de lutte mécanique Pour éviter le développement des adventices et, en même temps, l'évaporation de l'eau :**

- utilisation de bâches sur le sol, de mulch Pour éviter l'attaque par les oiseaux :
- placement de filets autour des petits fruits, par-dessus les semis, les objets réfléchissants (CD ou bandes métalliques accrochées dans les fruitiers, installation d'objets qui font du bruit avec le vent (bouteilles renversées sur un tuteur) Pour éviter les attaques par les limaces :
- anneau de sciure de bois ou de cendres autour de la plante placement de bouteilles dont on a retiré le fond au-dessus des plantules Contre le mildiou de la tomate :
- placement d'un toit au-dessus des plants de tomates Pour éviter les attaques dues au gel au début du printemps ou en automne ou par les insectes :
- Placement de voiles de protection



Figure 01 : l'enplacement de filets autour de la plante

Source : restica.fr

**I.14.3. La lutte chimique**

Que ce soit en modifiant les conditions du milieu, ou en s'attaquant directement à l'organisme qui pose problème (ravageur, organisme pathogène), certaines substances chimiques tout-à-fait inoffensives pour l'environnement peuvent apporter une aide appréciable :

- Solution insecticide au savon noir : efficace notamment contre les pucerons. 2 c.à s. de savon noir dans 1l d'eau
- Solution au bicarbonate de soude

le recours à certains produits chimiques autorisés en culture biologique peuvent apporter une aide en situation de crise (granules de ferramol contre les limaces et escargots). Toutefois, il est souvent plus pertinent d'attendre quelques temps, et souvent l'envahisseur sera contrôlé naturellement par l'arrivée de prédateurs.

#### I.14.4. Insecticide naturel :

Il existe des parasites naturels tels que des microguêpes, des punaises, thrips prédateurs ou des champignons (PreFeRal de Biobest).

Repérage grâce au piégeage par panneau englué.

En cas d'attaque, employer des pesticides biologiques à base d'huile de neem ou d'huile essentielle d'orange douce ou à défaut des pesticides chimiques à base de pyriproxifène ou d'acétamipride

Il existe des auxiliaires naturels (micro-guêpes)

En préventif : Détruire les fruits piqués, Pièges à phéromones ou appâts empoisonnés, Protéger les fruits avec des sacs en papier spéciaux.

En curatif : Insecticides biologiques à base d'huile de neem ou de spinosad par exemple. existe des auxiliaires naturels (micro-guêpes).

En cas de forte attaque, utiliser un pesticide biologique respectueux des auxiliaires, de type spinosad ou neem, ou à défaut des pesticides chimiques à base de cyromazine par exemple.

Il existe des auxiliaires naturels tels que les punaises ou d'autres acariens.

Il n'est pas nécessaire de traiter.

En cas de forte attaque, préférer des pesticides biologiques à base d'huile de neem ou à défaut des pesticides chimiques à base de bifénazate ou d'hexythiazox par exemple.

La lutte la plus efficace consiste en un épandage d'insecticide du sol dans la ligne de semis ou dans le choix d'une semence pelliculée ou enrobée de matière active, protégeant ainsi les jeunes pousses (attention les graines prétraitées représentent un coût plus important que des graines classiques



**Figure 02 : l'huile de neem (pesticide biologique) Source : astucesbox.com**

**II.1.Faune du sol**

On peut classer la faune du sol par sa taille (tableau 12). On distingue ainsi :

- mégafaune
- macrofaune
- mésofaune
- microfaune
- microorganisme

Mégafaune	Macrofaune	Mésofaune	Microfaune	Microorganismes
Aérateurs	Ingénieurs physiques	Ingénieurs de la litière	Régulateurs biotiques	Chimistes et nettoyeurs
Salamandres, Taupes, Souris, Musaraignes, Écureuils, Tamias	Cloportes, Vers de terre, Coléoptères, Arachnides	Fourmis, Acariens, Diptères, Collemboles	Champignons, Protozoaires, Nématodes	Bactéries
 <p><b>Salamandres</b> Source: <a href="http://parcsnationaux.fr">parcsnationaux.fr</a></p>	 <p><b>Vers de terre</b> source: <a href="http://aujardin.info">aujardin.info</a></p>	 <p><b>Acariens</b> Source: <a href="http://airandme.fr">airandme.fr</a></p>	 <p><b>Protozoaires</b> Source: <a href="http://safewater.org">safewater.org</a></p>	 <p><b>Bactéries</b> Source: <a href="http://doctissimo.fr">doctissimo.fr</a></p>
Ils profitent de la biodiversité du sol pour s'alimenter, s'abriter, se défendre et se reposer. À leur tour, ils fournissent de la matière organique qui assure la santé du sol. Ils fragmentent mécaniquement la matière en plus petites particules.	Ils fabriquent des trous et des tunnels qui aèrent le sol permettant l'entrée d'eau et d'air. Ils découpent les déchets en plus petites particules utilisables par les organismes du niveau trophique inférieur.	Ils décomposent ou fragmentent mécaniquement la matière organique en petites particules qui nourrissent les bactéries.	Ils régularisent les microorganismes. Ils transportent les nutriments du sol vers les plantes.	Ils libèrent les sels minéraux et les éléments nutritifs du sol qui nourrissent les plantes et décontaminent le sol des toxines.

**Tableau04 : la faune du sol par sa taille**  
Source: Programme SOL'ERE AQSSS

## II.2. Les influences des microorganismes sur le cycle de l'azote, du phosphore, potassium et I. Macroéléments secondaires dans le sol :

Principaux éléments fertilisants sont :

### II.2.1. L'AZOTE :

#### II.2.1.1. Définition de l'azote :

L'azote est un élément incontournable pour la croissance des cultures. Ses réserves sont considérées comme quasi illimitées de par son abondance dans l'atmosphère terrestre, composé à 78% de  $N_2$ . Mais sous cette forme, l'azote ne peut être directement assimilé par la plante et doit être transformé avant de pouvoir être utilisé. C'est à ce stade qu'entrent en jeu les micro-organismes du sol. Certaines espèces sont en effet capables de transformer le diazote ( $N_2$ ) sous des formes parfaitement assimilables par la plante, ce phénomène s'appelle : « la minéralisation ». **(J. A. Bertholon ; 2015)**

#### II.2.1.2. Le rôle de l'azote :

- Azote joue un rôle essentiel dans la synthèse de la matière vivante à partir de la matière minérale, il est l'un des principaux constituants des cellules et la photosynthèse (chlorophylle) et des protéines.
- Azote entre avec d'autres éléments (C, O, H...) dans la composition des acides aminés formant des protéines, · Azote c'est un élément essentiel pour la constitution des cellules et la photosynthèse. **(Anon, 2005)**.
- C'est le principal facteur de croissance des plantes, et un facteur de qualité Qui influe sur le taux de protéines des végétaux.
- Seules les cultures légumineuses ont la faculté de fixer l'azote gazeux par leur nodosité (fixation symbiotique). **(Danso et Eskew, 1984)**

### II.2.1.3 Les bactéries libres fixatrices d'azote :

#### II.2.1.3.1. Définition :

Elles vivent librement dans le sol, dans une zone à l'interface entre le sol et les racines des plantes, appelée rhizosphère. Les bactéries diazotrophes libres se nourrissent des molécules sécrétées par les racines (exsudats racinaires) et fixent en contrepartie le N<sub>2</sub> pour le restituer à la plante sous des formes assimilables. (Schvartz et al., 2005 ; Valé, 2006).

Dans des systèmes de culture intensifs, il est estimé que l'apport de ce type de micro-organismes permet de remplacer un apport de 20 à 40 Unités d'azote, tout en maintenant des rendements équivalents voire supérieurs.

Leur implication dans le cycle de l'azote ne se limite pas à la fixation de l'azote : certaines bactéries sont en effet capables d'immobiliser les nitrates résiduels pendant la période hivernale, pour les restituer ensuite à la plante lorsque ses besoins sont accrus. Elles permettent ainsi de lutter contre les phénomènes de lessivages. (Nannipieri et al., 1990)

#### II.2.1.3.2. Les types des bactéries :

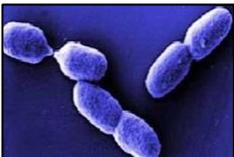
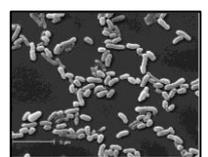
				
Azotobacter Source <a href="http://www.aquaportail.com">www.aquaportail.com</a>	Pseudomonas Source : <a href="http://futurasciences.com">futurasciences.com</a>	rhizobium Source: <a href="http://bio-top.net">bio-top.net</a>	azomonas Source : <a href="http://morebooks.de">morebooks.de</a>	: mesorhizobium Source : <a href="http://researchgate.net">researchgate.net</a>

Tableau 05: les types de bactéries

#### II.2.1.3.3. Les caractéristiques des bactéries fixatrices d'azote atmosphérique :

En dehors de ces avantages communs à la plupart des biofertilisants, certaines propriétés sont spécifiques à des catégories de micro-organismes bien particuliers. Si nous prenons le cas des biofertilisants à base de bactéries fixatrices d'azote, (Baba-Moussa L. 2012) nous pouvons ainsi observer les bénéfices suivants :

- Fixer l'azote atmosphérique sous une forme facilement disponible pour les plantes
- Augmenter le rendement des cultures de 10% à 30%
- Encourager la rondeur et la succulence des fruits et des céréales
- Augmenter le pourcentage de protéines
- Améliorer le système immunitaire des plantes et confère une résistance aux maladies
- stimuler la germination des graines et le développement des plantes
- Améliorer les propriétés et la fertilité du sol

#### II.2.1.4. Le cycle de l'azote :

##### II.3.1.4.1. L'enzyme de fixation l'azote :

Toutes les bactéries fixatrices d'azote que nous venons de citer ont un point commun : le code génétique du complexe enzymatique qui entre en action dans le mécanisme de fixation de l'azote, appelé la nitrogénase. Ce complexe enzymatique permet de catalyser la réaction de transformation du diazote de l'air en azote assimilable par les plantes. (Andrianarisoa, 2009).

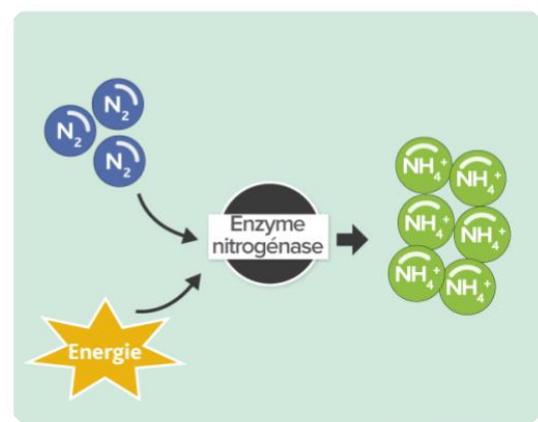


Figure03 : l'enzyme de nitrogénase  
Source : biofertilisants.fr

##### II.2.1.4.2. La fixation de l'azote:

La vaste majorité de l'azote est présente dans l'atmosphère sous forme élémentaire  $N_2$ . Cet azote atmosphérique est transféré vers la surface de la terre par le processus de fixation d'azote. En parallèle, la bactérie prélève le diazote  $N_2$  de l'atmosphère et le transforme en  $NH_4$  (grâce à la nitrogénase) qui va pouvoir être assimilée par la plante (Scheiner, 2005).

Le reste de l'azote fixée provient de l'industrie des engrais. La fixation biologique de l'azote n'est faite que par certains types de bactéries (sol). (COMIFER, 2013)

### II.2.1.4.3.L'ammonification et la décomposition :

L'ammonification est une transformation des molécules organique azotes (les protéines) en ammoniac ou dans l'eau en ammonium (**Temple et al. 1998**). Cela se produit durant la décomposition des matières organiques par des microorganismes décomposeurs (bactéries et champignons). Dans les excréments des animaux il y a de l'ammoniac présent. (**Morot-Gaudry, 1997 ; Temple et al., 1998**).

### II.2.1.4.4.La nitrification :

La nitrification est la transformation de l'ammoniac ou de l'ammonium en nitrites puis en nitrates. Ces nitrates peuvent être absorbés directement par les racines de végétaux (**Bonde et Lindberg, 1988**). Ce processus est réalisé par des microorganismes et bactéries nitrifiantes du sol et de l'eau. Certains microorganismes transforment l'ammonium en nitrites alors que d'autres assurent la transformation des nitrites en nitrates. (**Andrianarisoa, 2009**).

### II.2.1.4.5.La dénitrification :

La dénitrification est un processus qui transforme les nitrates du sol ou de l'eau en diazote gazeux et en oxyde de diazote grâce aux bactéries dénitrifiantes généralement en l'absence de dioxygène dans les sols remplis d'eau tel : les tourbières et dans les boues profondes peu oxygénées des fonds des lacs et des océans. (**Germon et al. 1999**).

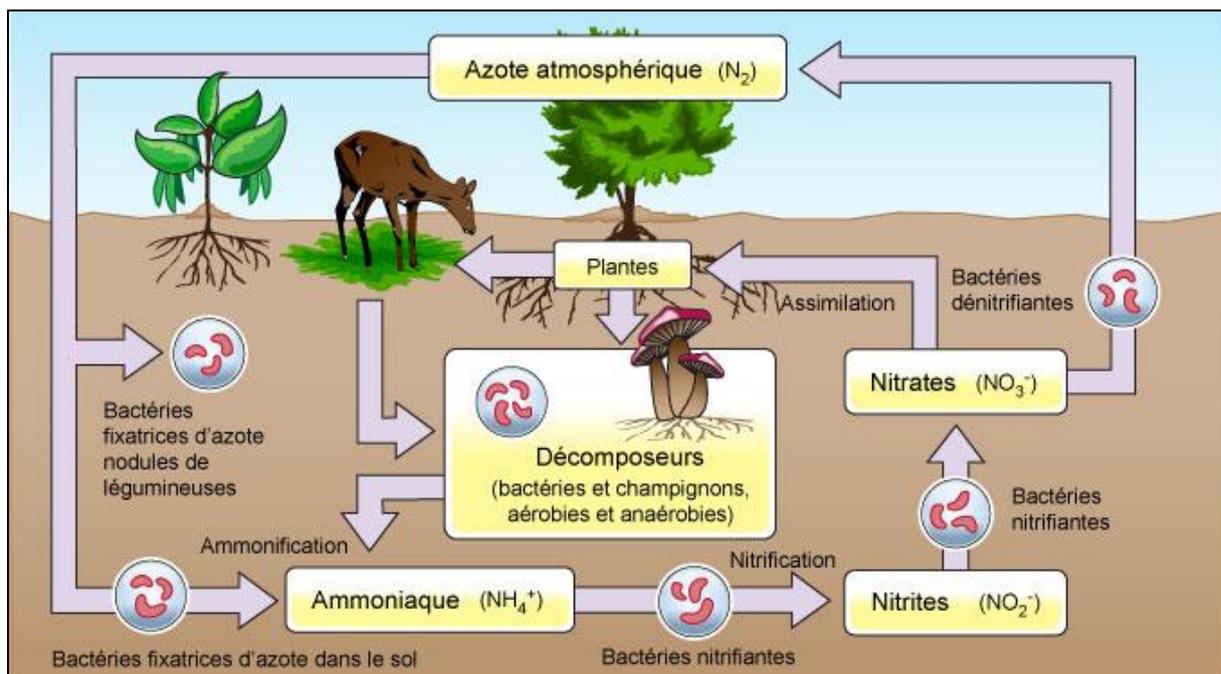


Figure 04: le cycle de l'azote

Source : cima.ualg.pt

## II.2.2.LE PHOSPHORE :

### II.2.2.1.Définition de phosphore :

Le phosphore est l'un des éléments nutritifs essentiels pour la croissance des plantes. Ses fonctions ne peuvent pas être effectuées par tout autre élément nutritif, et une quantité suffisante de P est nécessaire pour favoriser la croissance et la reproduction. Le phosphore est classifié comme substance nutritive importante, ce qui signifie qu'est souvent insuffisante pour la production agricole. Le phosphore (P) est vitale pour la croissance des plantes et se trouve dans chaque cellule vivante de la plante et sa concentration varie généralement de 0,5 à 1 % (Saouli, 2016).

### II.2.2.2.Le rôle du phosphore dans les plantes :

Le phosphore joue des rôles primordiaux dans le fonctionnement biologique des plantes puisqu'il participe à de nombreux processus physico-chimiques, biologiques et enzymatiques.

- Il est l'un des principaux constituants des acides nucléiques en joignant les nucléotides.
- Il est un des constituants des phospholipides des membranes végétales (Lerot, 2006 ; Sánchez Chávez et al. 2009).
- Il est impliqué dans les premiers stades de développement de la plante, joue un rôle primordial dans la croissance racinaire, dans la rigidité des tissus, ou encore dans la formation des inflorescences et des fruits. Il est aussi essentiel dans la synthèse de la matière vivante végétale qui permet aux plantes de se nourrir, et dans la résistance au froid et aux maladies (Lerot, 2006).

### II.2.2.3.Les formes de phosphore dans le sol:

Dans notre environnement, le phosphore se retrouve sous deux formes majeures :

- **Le phosphore inorganique (Pi)** : il est majoritairement complexé avec d'autres minéraux dans le sol : avec le fer (Fe) et aluminium (Al) en sol acide, avec le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) en sol basique. (Gervy, 1970).
- **Le phosphore organique (Po)** : il est en grande partie immobilisé dans la matière organique, les résidus de décomposition, etc., sous forme de monoesters orthophosphatés (inositols, jusqu'à 90 % du phosphore organique) ou de phytates (16 à 38 % du phosphore organique). (Diehl, 1975).

**II.2.2.4. Les bactéries aidant à l'assimilation du phosphore:**

**II.2.2.4.1. Définition d'enzyme phytase :**

phytase est une enzyme hydrolysant les phytates (le principal réservoir de phosphore de nombreuses plantes et un anti-nutriments alimentaire) Chez les plantes, les phytases sont responsables de la libération de phosphore organique (Po) pendant la germination des semences qui est un important facteur de croissance. D'autre part, l'hydrolyse du phytate libère aussi de cations qui pourraient être liés au phytate par chélation dû à sa grande charge négative. (Richardson et al., 2009)

**II.2.2.4.2. Les types de bactéries :**

Il existe deux types de bactéries permettant de transformer le phosphore :

**II.3.2.4.2.1. Les bactéries solubilisatrices du phosphore inorganique :**

Appartenant aux genres Bacillus, Pseudomonas, Burkholderia, Micrococcus, Flavobacterium, etc., ces bactéries sont capables de libérer le phosphore inorganique complexé aux minéraux dans le sol (Ca, Mg, Fe, Al, etc.). Cette réaction se fait grâce à la production d'acides organiques par les bactéries : acide malique, acide oxalique, acide lactique, etc.

Autour de la bactérie, et donc à proximité des racines, les formes de phosphate inorganique complexées se solubilisent. Les ions phosphates deviennent alors disponibles pour les racines des plantes. (Turner, 2008).



**Figure05 : boîte de pétri contenant des bactéries de phosphore inorganique**  
Source : docplayer.fr

<p><b>Bacillus</b> Source : sciencephoto.com</p>	<p><b>Burkholderia</b> Source : microscopemaster.com</p>	<p><b>Microcoques</b> Source : globalindoorhealthnetwork.com</p>	<p><b>Flavobacterium</b> Source : sciencephoto.com</p>

**Tableau06: Les bactéries solubilisatrices du phosphore inorganique**

**II.2.2.4.2.2. Les bactéries qui minéralisent le phosphore organique :**

D'autres types de bactéries peuvent agir sur la mise à disposition du phosphore organique majoritairement immobilisé sous forme de phytates. Ces molécules contiennent des ions phosphates mais elles sont liés à d'autres atomes complexes, et sont donc piégés. Des bactéries comme *Rhizobium*, *Enterbacter*, *Serratia*, *Citrobacter*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, ou encore *Bacillus*, sont capables de produire des enzymes appelées phytases. Ces enzymes vont permettre de libérer les ions phosphates à partir des phytates, et seront ainsi disponibles pour les racines des plantes. (Zekkour, 2007).

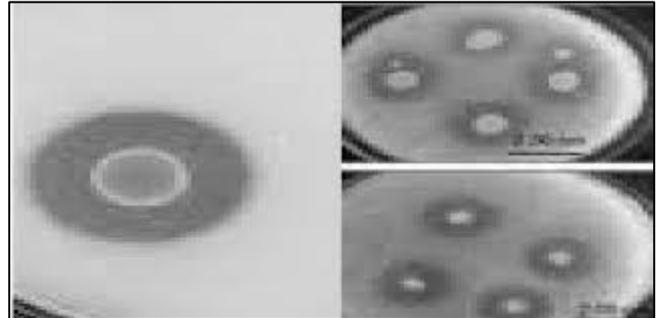


Figure06: boîte de pétri contenant le halo autour des bactéries des phosphores organiques  
Source : bioutils.ch

<p><b>Enterbacter</b> Source : sciencephoto.com</p>	<p><b>Serratia</b> Source : shutterstock.com</p>	<p><b>:Citrobacter</b> source : sciencephoto.com</p>	<p><b>Proteus</b> Source : lejournal.cnrs.fr</p>	<p><b>Klebsiella</b> Source : pharmamicroresources.com</p>

Tableau 07 : Les bactéries qui minéralisent le phosphore organique

**II.2.2.4.3. Les caractéristiques des bactéries transformatrices le phosphore :**

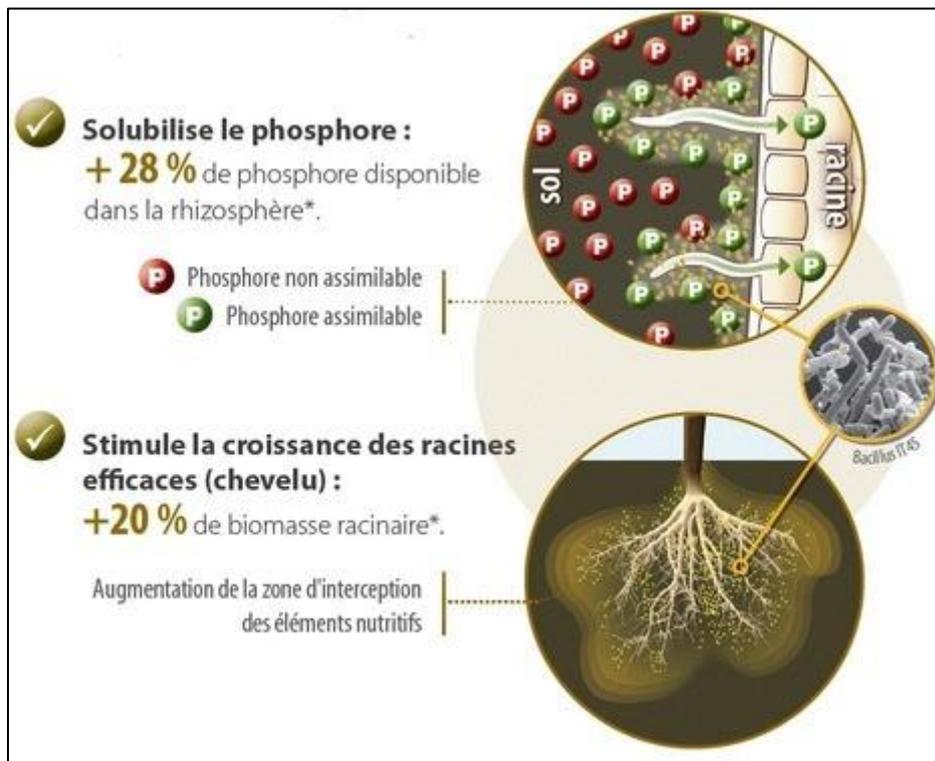
Les bactéries qui solubilisent et minéralisent le phosphore ont la particularité de pouvoir rendre sous une forme disponible pour la plante les réserves en phosphore présente dans le sol, jusqu'alors indisponibles. Leurs actions permettent de libérer des phosphates solubles assimilables par les racines, de manière totalement naturelle. L'apport d'engrais phosphaté peut ainsi être limité, tout en bénéficiant des effets du phosphore, indispensable dans les premiers stades de développement de la plante (croissance racinaire, assimilation des nutriments, résistance aux stress...) (Sanchez et al. 2009).

### II.2.2.5. Le cycle de phosphore :

Les micro-organismes du sol permettent de transformer le phosphore peu mobile et non biodisponible du sol (présent notamment sous forme  $PO_4$  dans des sols à pH inférieurs à 6 ou supérieurs à 7) en phosphore disponible sous forme  $H_2PO_4^-$  et  $HPO_4^{2-}$  assimilable par la plante. (Rabeharisoa, 2004).

Au vue de leurs propriétés, les bactéries qui solubilisent et minéralisent le phosphore ont un intérêt majeur dans le cadre d'une fertilisation agricole. En effet, une fois introduites dans le sol, elles peuvent tirer parti des réserves en phosphore présentes dans le milieu, en grande parties indisponibles, pour les rendre disponible pour les plantes. Pour cela, elles solubilisent et minéralisent le phosphore inorganique et organique, et permettent ainsi de libérer des phosphates solubles aux racines. (Fardeau, 1993)

Ces bactéries se trouvent de manière naturelle dans de nombreux types de sol, mais l'intérêt d'un biofertilisant est de pouvoir utiliser ces bactéries en les introduisant sur une parcelle en plus grand nombre, pour un effet plus marqué. Leur action entraîne un renforcement des systèmes racinaire des végétaux, une optimisation de l'assimilation du phosphore, et donc une optimisation du développement et du rendement de la culture. (Buckman, 1990).



**Figure07: le cycle de phosphore**

Source : [www.supagro.fr](http://www.supagro.fr)

### II.2.3.LE POTASSIUM :

#### II.2.3.1.Définition de potassium :

Le potassium dans le sol se trouve uniquement sous forme minérale. Il provient soit de la décomposition de la matière organique et des minéraux du sol, soit des engrais. (**Nouari, 2006**).

La solubilisation du potassium Le potassium (K) fait partie des trois éléments majeurs nécessaires à la croissance des plantes avec l'azote et le phosphore. Il joue un rôle important dans le métabolisme de l'azote et la fabrication des protéines et contribue à la résistance aux maladies et à la sécheresse (**Faucher, 2017**).

#### II.2.3.2.Le role du potassium dans la plante :

Le potassium est toujours abondant dans la matière sèche des végétaux, très mobile dans la plante (**Anonyme, 1988**). Il joue un rôle multiple :

- Intervient dans l'équilibre acido-basique des cellules et régularise les échanges intracellulaires,
- Réduit la transpiration des plantes, augmentant la résistance à la sécheresse, · Active la photosynthèse et favorise la formation des glucides dans la feuille,
- Participe à la formation des protéines, et favorise leur migration vers les organes de réserves (tubercules et fruits),
- Contribue à renforcer les parois cellulaires, offrant aux plante une meilleure résistance à la verse et à l'agression des maladies ou parasites.

#### II.2.3.3.Définition de bactéries :

Les microorganismes du sol (bactéries, champignons), comme les Enterobacter et Bacillus sont capables de dissoudre le potassium insoluble (KSB) car elles produisent de l'acide oxalique et des acides citriques et des enzymes ; parce que la plus grande partie du potassium n'est pas disponible pour l'absorption par les plantes. L'efficacité de la solubilisation du potassium par différentes bactéries varie selon la nature des minéraux porteurs de potassium et les conditions aérobies (**Parmar etSindhu, 2013; Setiawati et Mutmainnah, 2016**).

#### II.2.3.4. Le cycle de potassium

Le potassium dans le sol se trouve uniquement sous forme minérale. Il provient soit de la décomposition de la matière organique et des minéraux du sol, soit des engrais. **(Cottgnies, 1977 cité par Nouari, 2006).**

C'est un nutriment majeur important pour les plantes. Les concentrations de Potassium soluble dans le sol sont généralement très faibles et plus de 90% de potassium dans le sol existe sous forme de roches insolubles et de minéraux. **(Kumar et Dubey, 2012)** On a signalé que les microorganismes des sols jouaient un rôle clé dans le cycle K naturel et, par conséquent, les microorganismes solubilisants de potassium présents dans le sol (présent notamment sous forme k) permettent de transformer le potassium, pour le rendre disponible sous forme  $k^+$  assimilable pour l'absorption par les racines.