

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur
Et de la recherche scientifique

Université de Jijel
Faculté de science
Département d'écologie
& environnement

جامعة جيجل
كلية العلوم
قسم البيئة و المحيط



جامعة جيجل
كلية العلوم والبيئة و الحياة
المطبخية
رقم الترخيص 1356

8V.14.158

Mémoire de fin d'étude

En vue l'obtention du diplôme d'étude supérieur

Option : biologie et physiologie végétale

Thème :

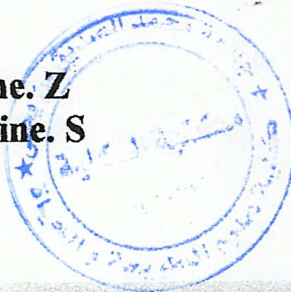
**Fertilisation azotée
et production
d'inoculum de
Rhizobium**

Jury :

Président: Mr. Krika. A
Examinatrice : M^{lle}. Bouziane. Z
Encadreur : Mr. Chahreddine. S

Présenté par :

Mekhalfa Karima.
Saaid Hadjer.



Séance juin 2009

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آية قرآنية

بسم الله الرحمن الرحيم

"الله لا إله إلا هو الحي القيوم لا تأخذه سنة و لا نوم له ما في
السموات و ما في الأرض من ذا الذي يشفع عنده إلا بإذنه
يعلم ما بين أيديهم و ما خلفهم و لا يحيطون بشيء من علمه إلا
بما شاء و سع كرسية السموات و الأرض و لا يؤده حفظهما و
هو العلي العظيم".

(الآية: 254/255 من سورة البقرة)

دعاء

اللهم لا تجعلنا نصاب بالغرور إذا نجنا و لا باليأس إذا
أخفقتنا، و ذكرنا أن الإخفاق هو التجربة التي تسبق النجاح.
اللهم إذا أعطيتنا نجاحاً فلا تأخذ تواضعنا و إذا أعطيتنا
تواضعاً فلا تأخذ اعتزازنا بكرامتنا.
ربنا و تقبل دعاءنا

Remerciements

Nous remercions dieu le tous puissant pour le courage et la volonté

Qu'il nous a prodigués, clé de réussite dans nos études,

Nous tenons à remercier toute personnes

Qui a contribué de près ou de loin

A la réalisation de ce mémoire plus particulièrement Notre

encadreur Mr. Chahreddine. S qui nous avons encadré

Sa compréhension et encouragements.

Nous tenons aussi à remercier les membres de jury :

Mr. Krika .A, Mlle Bouziane . Z

Enfin nos respects à tous les enseignants

De l'institut de biologie.

Karima et Hadjer

Sommaire

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I : La fertilisation

I-1- Définition	2
I-2- Les types de fertilisation	2
I-2-1- La fertilisation organique	2
I-2-1-1- Les engrais.....	3
I-2-1-2- Les résidus végétaux provenant de l'exploitation.....	4
I-2-2- La fertilisation minérale.....	6
I-2-2-1- La fertilisation azotée	6
I-2-2-2- La fertilisation phosphatée.....	7
I-2-2-3- La fertilisation ferrique	7
I-2-2-4- Le soufre dans la fertilisation	7
I-2-2-5- La fertilisation potassique	7
I-2-2-6- La fertilisation magnésique	8
I-3- La Toxicité des nitrates	8

Chapitre II : L'azote dans les écosystèmes

II-1- Généralités	10
II-2- le cycle de l'azote	10
II- 2-1-Ammonification, nitrification et dénitrification	12
II-2-2-la fixation de l'azote	12
II-2-3- La fixation biologique de l'azote	13
II-2-3-1- Les fixateurs libres de l'azote	14
II-2-3-2- Les fixateurs symbiotiques	14
II-3-L'azote et l'écosystème	14
II-3-1-L'azote dans l'atmosphère	15
II-3-2-L'azote dans le sol	15
II-3-2-1-L'azote de l'air du sol	15
II-3-2-2-L'azote organique	16
II-3-2-2-1-L'humus	16

II-3-2-2-2-L'humification	16
II-3-2-3- L'azote minéral	17
II-4-Importance et rôles de l'azote pour les végétaux	18

Chapitre III : Généralités sur les bactéries

III-1- Histoire	20
III-2- Définition	20
III-3-La structure et la morphologie cellulaire des bactéries	21
III-3-1-La structure cellulaire	21
III-3-2-La morphologie cellulaire	22
III-3-2-a-La forme sphérique	22
III-3-2-b-La forme cylindrique	23
III-3-2-c-La forme spiralée.....	23
III-4- Les grands groupes de bactéries	23
III-5- Les bactéries et l'écosystème	25
III-5-1- L'écosystème aquatique	25
III-5-2- Les bactéries du sol	25
III-5-2-1-Les bactéries associées aux légumineuses	26
III-5-2-1-1- Les nodosités	27
III-5-2-1-1-1-La morphologie et la structure des nodosités	27
III-5-2-1-1-1-1- La morphologie	27
III-5-2-1-1-1-2- La structure	28
III-5-2-1-1-2- La formation des nodosités	30
III-5-2-1-1-3- Étapes du développement des nodules	31
III-5-2-1-1-4-Les échanges rhizobium – fabacées	32

Chapitre IV : l'interaction des êtres vivants avec les plantes

IV-1-Introduction	33
IV-2-Le mutualisme ou coopération	33
IV-2-1-Quelque exemple de mutualisme	33
IV-2-1-1-La pollinisation croisée	33

IV-2-1-2-Dissémination des semences	34
IV-3- La symbiose	35
IV-3-1-Les mycorhizes	35
IV-3-2-Les lichens	36
IV-3-3-Les nodosités	36
IV-4- Parasitisme	36
IV-4-1-Végétal sur végétal	37
IV-4-2-Végétaux sur animal	37
IV-4-3-Animal sur végétal	38
IV-4-3-1-Les zoocécides ou galles des végétaux	38

Chapitre V : Production d'inoculum de rhizobium

V-1- Introduction	40
V-2- Les méthodes utilisées pour de la production d'inoculum	41
V-2-1- Caractérisation des souches de rhizobium des pois chiche (<i>Cicer arietinum</i> L) Isolées de différents sols	41
V-2-2- Etudes des isolats de rhizobium	42
V-2-2-1- L'étude de l'efficience	42
V-2-2-2- L'évaluation de l'infectivité	42
V-3- Intérêt agronomique	43
Conclusion	44

Liste des figures

Figure 1 : le cycle de l'azote. Relations entre les trois principales réserves d'azote : l'atmosphère, le sol et la biomasse.

Figure 2 : schéma de la cellule bactérienne.

Figure 3 : les deux formes de Rhizobium.

Figure 4 : forme des nodosités du trèfle rampant.

Figure 5 : nodosités sur racines de trèfle rampant.

Figure 6 : coupes transversales de nodosités.

Figure 7 : coupes longitudinale d'une racine et d'une nodosité efficiente.

Liste des tableaux

Tableau 1 : La classification du « Bergey manual of systematic bacteriology » 1984 et sa traduction pratique en grands groupes de bactéries

Introduction

Introduction

L'atmosphère est la principale source d'azote, sous forme de diazote (N_2), puisqu'elle en contient 78 % en volume. L'azote, composé essentiel à de nombreux processus biologiques (RAVAN, 2008).

La plus grande partie de l'atmosphère est constitué d'azote (N_2 , ou diazote), un gaz incolore et inodore. Cependant, malgré son abondance, les plantes supérieures sont incapables de convertir le diazote en une forme biologiquement utilisable. Les deux atomes du diazote sont reliés par une liaison exceptionnellement stable $N \equiv N$ et les plantes ne possèdent pas l'enzyme capable de rompre cette liaison. Seules certaines espèces procaryotiques sont capables d'effectuer cette réaction importante. Cette situation pose aux plantes un problème particulier concernant l'absorption et l'assimilation de l'azote ; les plantes dépendent d'organismes procaryotiques pour convertir le diazote atmosphérique en une forme instable qu'elle puissent utiliser (HOPKINS, 2003). C'est ce problème et les solutions qui y sont apportées qui feront le sujet de ce travail.

Les principaux sujets qui seront examinés dans ce travail comprennent :
La fertilisation, l'azote, les bactéries, l'interaction des plantes avec les êtres vivants et la production d'inoculum de Rhizobium.

Chapitre I

La fertilisation

I-1 Définition :

La fertilité d'un sol est l'aptitude à produire régulièrement de bonnes récoltes. Elle fait appel à la notion de rendement. Mais aussi à celles de qualité et de résistance aux maladies. On la distingue de la fertilisation, qui est l'enrichissement du sol en éléments fertilisants Assimilables.

Les objectifs finaux de la fertilisation sont d'obtenir meilleur rendement possible contenue des autres facteur qui y concourent (qualité de sol, climat, apports en eau, potentiel génétique des culture , moyens d'exploitation) ainsi que la meilleure qualité et ce au moindre coût en autre (particulièrement en agriculture durable) il y ajoute l'objectif de préservation de la qualité de l'environnement (GUET ,2003).

I-2-Les types de fertilisation :

On peut distinguer deux types de la fertilisation du sol : d' une part la fertilisation organique et d'autre la fertilisation minérale, les deux sont importants pour obtenir de bons rendements lors de la récolte de la culture (ISIDORO et al, 2003).

I-2-1-La fertilisation organique :

La matière organique se trouve dans le sol comme résultat de l'activité des êtres vivants et se compose d'un ensemble de micro- organisme, animaux supérieurs et restes végétaux.

L'évolution expérimentée par la matière organique suite deux étapes. Lors de la première étape, la matière organique fraîche (débris peu décomposés) se transforme en humus par le biais d'un processus appelé humification.

La deuxième étape, consiste en une minéralisation de l'humus, qui se décompose en éléments végétaux. Ces deux processus qui ont lieu dans le sol continuellement.

Les processus d'humification et de minéralisation du sol sont les responsables d'un enrichissement et d'un appauvrissement de la matière organique du sol. Pour cette raison, il est

nécessaire de connaître l'état du sol à la fin de ces processus en étudiant l'équilibre humique du sol, il faut connaître les pertes de la matière organique dans le processus de minéralisation ainsi que les gains de celles-ci par l'action des débris des récoltes et des amendements ou fertilisations organiques. Le pourcentage approprié en matière organique dans le sol est 2%. Lorsque ce pourcentage est inférieur, on considère que le sol est pauvre en matière organique et de fait, il devra être objet d'un apport supplémentaire.

Les produits utilisés en tant que fertilisants organique ont pour but la production d'humus pour maintenir ou augmenter, selon les cas, l'équilibre humique du sol, les fertilisants organiques peuvent se classer en deux groupes :

Les engrais et les débris végétaux provenant de l'exploitation (ISIDORO et al, 2003).

I-2-1-1-Les engrais :

À l'intérieure de ce groupe, on trouve l'engrais naturel, l'engrais artificiel, l'engrais liquéfié, le purin, la fiente, la colombine et la crotte (CIRAD, 2002).

- **L'engrais naturel** : est un mélange des déjections du bétail avec d'autre matériaux utilisés pour former le lit l'engrais peut s'obtenir frais. C'est-à-dire, lorsque le processus de fermentation n'a pas encore eu lieu et de ce fait, on peut distinguer, d'une part les déjections et d'autre part, les matériaux qui forment le lit à moitié terminé, dans lequel la fermentation a déjà commencé, ou fini dans lequel la fermentation se trouve dans un état très avancé et donc, on ne peut distinguer les lit des déjections.

.On peut distinguer deux types d'engrais naturels :

Les engrais froids : de bovin ou de porc, qui sont appliqués trois ou quatre mois avant les semailles, du fait de la lente décomposition.

Les engrais chauds : d'équin, d'ovin et de volaille qui, au contraire, sont appliqués un mois et demi avant car ils présentent une décomposition rapide (ISIDORO et al, 2003).

- **L'engrais artificiel** : il est obtenu par un processus complet réalisé à partir de la paille des céréales, il est utilisé dans les exploitations de céréales ou il n'y a pas de bétail.

La matière première nécessaire pour l'élaboration de ce type d'engrais est pauvre en azote et présente une humidité faible et une décomposition lente.

Il est utilisé de façon analogue aux engrais naturels (ISIDORO et al, 2003).

- **L'engrais liquéfié** : il est obtenu à partir de la liquéfaction du mélange des déjections solides et liquides du bétail.

Ce type d'engrais est utilisé avant les semailles ou lorsque la culture se trouve dans les premières phases de son développement. après son Application, il faudra passer la herse ou le cultivateur pour enterrer l'engrais (ISIDORO et al, 2003).

- **Le purin** : est constitué de liquide provenant d'un fossé qui contient l'engrais des étables du bétail, il est convenable de couvrir ce fossé car le purin est un liquide de fermentation facile.

Il est utilisé en tant que fertilisant avant les semailles mais surtout pour augmenter le contenu de minéraux (ISIDORO et al, 2003).

- **La fiente** : est constituée par l'ensemble d'excréments des poules et les matériaux de nettoyage des poulaillers. Il s'agit d'un produit qui possède un pourcentage élevé d'azote et de chaux (ISIDORO et al, 2003).
- **La colombine** : est formée par les excréments des colombes. (ISIDORO et al, 2003).
- **La crotte** : cette pratique consiste à enfermer les brebis dans la parcelle à fertiliser. On enrichit ainsi le sol, à l'aide des excréments de brebis pour enterrer ces éjections, on peut utiliser la herse ou le cultivateur, normalement, on compte sur un animal par mètre carré (ISIDORO et al, 2003).

I-2-1-2-Les résidus végétaux provenant de l'exploitation :

À l'intérieur de ce groupe, on trouve l'enterrement de paille, les engrais verts, les restes des récoltes, les tourbes et les débris (CIRAD, 2002).

- **L'enterrement de paille** : est réalisé dans l'exploitation céréalières ses ayant un excédant de paille. l'enterrement de celle-ci produit un enrichissement du sol.

Cette pratique présente un inconvénient puis qu'il s'agit d'un matériel faible en azote et avec un pourcentage important en lignine c'est-à-dire, qui a une décomposition lente.

On obtient les meilleurs résultats lorsque la paille est entrée découpée en automne et l'hiver, un fois que la paille à été distribuée il est convenable de passer la herse pour favoriser l'enterrement (CIRAD, 2002).

- **Les engrais verts :** sont des plants verts enterrés pour maintenir et favoriser la fertilité organique de plus, ceci améliore la structure des couches superficielles rend le sol plus moelleux favorisant une meilleure utilisation de l'eau et des substances nutritives, favorise le contrôle sur la végétation spontanée et constitue un mécanisme de défense contre les phénomènes d'érosion.

Parmi les inconvénients présents par cette technique, il faut souligner : une augmentation dans la consommation d'eau un appauvrissement de la matière organique du sol et en plus grand risque de fléaux et de maladies. De plus la pratique de l'engrais verts n'a pas de répercussions importantes sur le rendement de la culture de l'année suivante.

L'espèce utilisées pour cette pratique doivent présenter certain caractéristique : avoir un développement rapide une production de masse végétative abondante un pourcentage de matière sèche équilibré : posséder des minéraux et de la lignine. Et enfin constituer une culture de production facile (culture risque) les légumineuses sont les espèces les plus utilisées du fait de la facilité qu'elles présentent pour fixé l'azote de l'aire, les graminées sont également utilisées .et parfois aussi les crucifères (GUET, 2003).

- **Les restes des récoltes :** sont les restes laissés par les cultures dans le sol y qui ont une importance particulières dans le cas du marc des sarments.

Les marcs provenant du raisin sont souvent utilisés en tant que fertilisant organique .ils sont utilisés directement dans les sols basique, mais lorsqu'il s'agit de sols acides ou neutres .il est convenable de neutraliser d'abord le fertilisant du Fait de sa nature acide.

Les sarments et les restes de taille sont également utilisés en tant que fertilisant organique .cependant, leur pourcentage élevé en lignine fait qu'ils sont importants les couper en morceaux avant de les enterrer (GUET, 2003).

- **Les tourbes :** sont constituées par l'ensemble de matière organique produites dans les zones ayant beaucoup d'humidité et un manque d'oxygène par un processus de décomposition des matières végétaux.

Il y a de déférents types de tourbe selon les matières végétales et les conditions climatique dans les quelles a lieu le processus de décomposition.

Les principales caractéristiques des tourbes sont leur contenu élevé en matière organique, leur capacité pour garder l'eau et le cation et leur niveau d'humification (GUET, 2003).

- **Le débris :** Les débris à un processus industriel de sélection et de fermentation contrôlée ayant pour but l'obtention d'une fertilisant organique (GYET, 2003).

I-2-2-la fertilisation minérale :

La fertilisation minérale est très important car tous les éléments dans la plante à besoin proviennent du sol et, de ce fait, il est nécessaire de garder un équilibre minérale dans celui-ci les seuls éléments que la plante du sol, sont le carbone, l'hydrogène et l'oxygène.

La plante se sert de chacun de ces éléments pour réalisés des fonctions diverses ainsi, l'azote, le phosphore et le potassium sont essentiels dans le Développement de la plante. Ce sont les éléments principaux de la fertilisation .Les éléments secondaires sont le calcium, le magnésium et le soufre.

Les oligo-éléments essentiel sont le fer, manganèse, le bore, le cuivre, le zinc, le molybdène et le chlore on dit qu'ils sont essentiel car s'il en manque un dont la plante cela peut entraîne sa morts sa ainsi que l'interruption du cycle végétative de plus il sont irremplaçables indispensables le reste sont des oligo-éléments non essentielles ,le sodium le cobalt, l'iode, le sélénium, le fluor, le silice, l'aluminium, l'arsénique, le cadmium, le titane le vanadium appartiennent à ce groupe (CIRAD,2002).

Ensuite on établit la ligne générale dans les principaux types de fertilisation minérale :

I-2-2-1-La fertilisation azotée :

L'azote est très important pour la croissance et le développement de la plante, de ce fait il est nécessaire qu'il se trouve présent dans le sol en tout moment ainsi l'épandage ou fertilisation à l'azote est réalisé de façon fragmentaire pendant les périodes ou la vitesse de croissance est plus importante le plante aura besoin d'une plus grande quantité d'azote. Ainsi la première application aura lieu lors de semailles ou même un peu plutôt : c'est ce que l'on appelle l'épandage de couvercle qui est appliqué après l'émergence de la culture.

L'épandage d'avant semailles couvre entre 20.25 % du totale des besoins de la culture alors que l'épandage de couvercle de couvre le reste c'est-à-dire entre 50 et 80% du totale.

Les produits utilisé dans la fertilisation à l'azote peuvent se classifier en trois groupe : les produits ammoniacaux, les nitrique et les mixtes (ISIDORO et al, 2003).

Lorsque l'hémoglobine se transforme en méthémoglobine, le fer présent est ferrique et elle alors sa propriété de fixer l'oxygène pour le transforme aux tissus et aux poumons.

La toxicité est possible pour les ruminants ou la réaction peut intervenir dans le rumen, et pour les nourrissons (3 à 6 premiers mois) qui n'ont pas les mêmes processus de régulation vis-à-vis des nitrites que les adultes. Il peut en résulter avec des eaux très chargées en nitrates (> 100mg/l) le syndrome des bébés bleus. En 25 ans, 2000 cas avec mortalité de 7 à 8% ont été recensés au niveau mondial (MICHEL, 1996).

Le pouvoir cancérigène des nitrates, n'a pas encore été bien établi.(ex : cancer de l'estomac). En ce qui concerne la méthémoglobine, le problème des nourrissons est en général résolu par l'utilisation d'eaux minérales mais les incertitudes qui existent sur les autres effets des nitrates expliquent la réglementation assez stricte imposée par la CEE pour les eaux de boisson (directive communautaire 80/788 à 50mg/l) avec cependant des dérogations possibles. La norme Américaine est légèrement inférieure (44mg/l) et elle est basée sur une absorption maximum de 1.6mg/kg/jour pour une dose alimentaire humaine de référence (MICHEL, 1996).

Chapitre II

L'azote dans les écosystèmes

II-1- Généralités :

L'atmosphère terrestre est composée à près de 80 % de N₂. L'azote est un élément important dans la constitution de nombreuses molécules organiques.

Par contre, les plantes ne peuvent pas utiliser l'azote atmosphérique. L'azote est assimilé par les racines sous forme de nitrates (NO₃⁻) ou, parfois, d'ions ammonium (NH₄⁺) ces ions proviennent de la décomposition de la matière organique azotée dans le sol.

L'azote se déplace sans cesse entre sa forme minérale et sa forme organique, les molécules organiques contenant de l'azote se décomposent dans le sol sous l'action des décomposeurs (des bactéries du sol), cette décomposition produit de l'azote sous forme minérale (des nitrates), les plantes utilisent les nitrates puisés par leurs racines pour fabriquer de la matière organique azotée (RAVAN, 2008).

II-2– le cycle de l'azote :

Le cycle de l'azote est un cycle biogéochimique qui décrit la succession des modifications subies par les différentes formes de l'azote (diazote, nitrate, nitrite, ammoniac, azote organique (protéines)) (RAVAN, 2008).

Au centre du concept du cycle de l'azote se trouve l'azote contenu dans le sol, l'azote du sol pénètre dans la biomasse surtout sous la forme de nitrate (NO₃⁻) qui est absorbé par les plantes et les microorganismes. Une fois assimilé, l'azote nitrique est converti en azote organique sous la forme d'acides aminés, et d'autres composés azotés qui constitueront les protéines ainsi que d'autres macromolécules, l'azote continue son chemin dans la chaîne alimentaire, lorsque les animaux mangent. Puis l'azote retourne au sol sous la forme de déchets animaux, ou lors de la mort et la décomposition des différents organismes (figure 1) (HOPKINS, 2003).

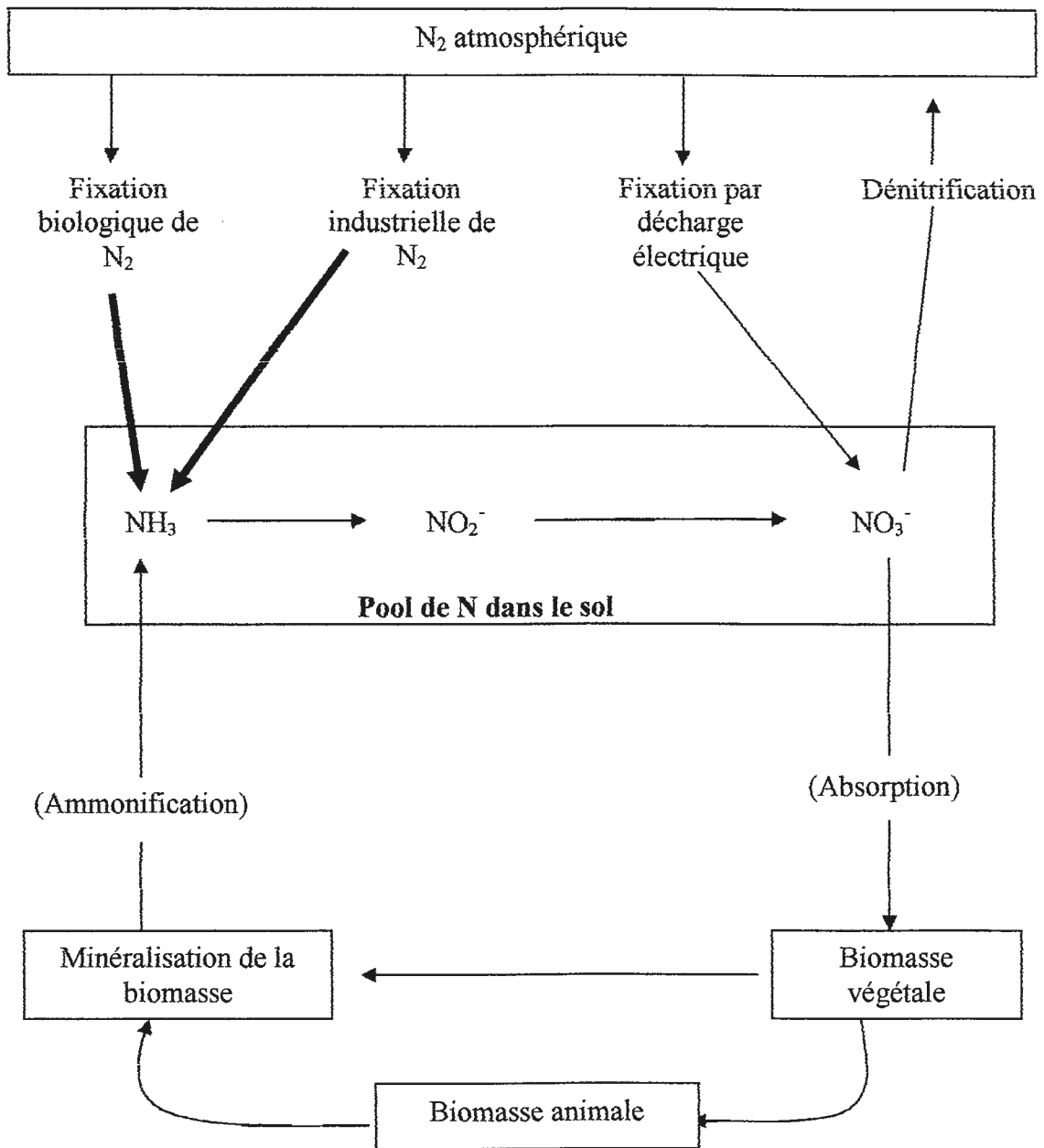


Figure 1 : le cycle de l'azote. Relations entre les trois principales réserves d'azote : l'atmosphère, le sol et la biomasse (HOPKINS, 2003).

II- 2-1-Ammonification, nitrification et dénitrification :

Au cours de la décomposition, l'azote organique est transformé en ammoniac par une série de microorganismes, ce processus est connu sous le terme d'ammonification. Une partie de l'ammoniac peut être volatilisé et retourne dans l'atmosphère, mais la plus grande partie est recyclé en nitrate par des bactéries du sol. La première étape de la formation de nitrate, est l'oxydation de l'ammoniac en nitrite NO_2^- par des bactéries appartenant aux genres *Nitrosomonas* ou *Nitrococcus*. Le nitrite est ensuite oxydé en nitrate par des membres du genre *nitrobacter*. Ces deux groupes bactériens sont dits bactéries nitrifiantes, le résultat de leur activité est la nitrification. Les bactéries nitrifiantes sont chimioautotrophes ; ce qui signifie que l'énergie libérée par l'oxydation des matières inorganiques telles que l'ammonium ou le nitrite est utilisé pour convertir le dioxyde de carbone en carbone organique.

En prélevant l'azote dans le sol, les plantes entrent en compétition avec des bactéries dites dénitrifiantes (ex : *Thiobacillus denitrificans*). Lors de cette réaction de dénitrification, ces bactéries réduisent le nitrate en diazote, qui retourne à l'atmosphère. Les quantités d'azote qui retournent à l'atmosphère par dénitrification représenteraient de 93 à 190 millions de tonnes par an (HOPKINS ,2003).

II-2-2-la fixation de l'azote :

La perte d'azote par dénitrification est largement compensée par la transformation de l'azote atmosphérique en des formes combinées ou fixées. La réaction de réduction du diazote en ammoniac est appelée fixation de l'azote. Il est difficile de déterminer avec précision la quantité totale d'azote fixé, des valeurs de l'ordre de 200 à 250 tonnes par an ont été avancées.

Environ 10% de l'azote fixé annuellement provient des oxydes d'azote de l'atmosphère. Les éclairs et la lumière ultraviolette transforme l'azote en oxydes d'azote (NO , N_2O). Les autres sources d'oxydes d'azote atmosphérique, proviennent des combustions industrielles, des feux de forêt, des gaz d'échappement et des centrales électrique. Bien que la chimie des oxydes de l'azote atmosphérique soit compliquée et encore mal comprise, on pense que NO et N_2O sont rapidement oxydés en acide nitrique (HNO_3). L'acide nitrique peut

ensuite atteindre le sol par les pluies ou être adsorbé sur des particules de l'atmosphère et se déposer sous la forme de « particules sèches ».

30% de la quantité totale d'azote fixé, sont également produits par la fixation industrielle de l'azote. Ce procédé industriel (connu sous le nom de procédé de Haber-Bosch) provoque la combinaison de l'azote et de l'hydrogène à des températures et des pressions élevées (300 à 400 °C et 35 à 100 MPa). La fixation industrielle de l'azote est un procédé coûteux et dépend étroitement des combustibles fossiles, autant pour la fourniture d'hydrogène (gaz naturel) que pour l'énergie nécessaire pour atteindre les températures et les pressions requises. *L'essentiel de l'azote fixé industriellement est densité, sous forme d'engrais, à des usages agricoles : environ 1,5kg de pétrole est nécessaire pour produire et livrer un kg d'azote à une ferme (HOPKINS, 2003).*

A l'échelle mondiale, le reste de l'azote fixé, environ 60% des 150 à 190 millions de tonnes par an, est représenté par la réduction de l'azote en ammoniac par des organismes vivants. Ce processus est connu sous le terme fixation biologique de l'azote.

L'agriculture des anciens grecs et romains a exploité la fixation biologique de l'azote en cultivant des légumineuses, bien que le rôle des microorganismes dans la fixation de l'azote n'ait été découvert qu'en 1888 par H. Hellriegel et H. Wilfarth. En prévision du jour où les combustibles fossiles seront épuisés, un effort intense de recherche est actuellement déployé afin de comprendre la fixation biologique de l'azote, dans le but d'améliorer sa participation à l'agriculture (HOPKINS, 2003).

II-2-3- La fixation biologique de l'azote :

Les plantes sont des organismes eucaryotes, caractérisés par la présence d'un noyau limité par une enveloppe, les organismes eucaryotes sont incapables de fixer le diazote parce qu'ils ne possèdent pas la machinerie biochimique appropriée. Les bactéries et les cyanobactéries sont des procaryotes ; leur matériel génétique n'est pas enclos dans un organelle limité par une enveloppe. La fixation d'azote est l'apanage du domaine des procaryotes simplement parce qu'ils possèdent un complexe enzymatique, nommé dinitrogénase, qui catalyse la réduction de l'azote en ammoniac. Malgré cette simplicité apparente, la fixation biologique de l'azote est en fait un processus biochimique et physiologique complexe.

Les procaryotes qui fixent l'azote, nommés fixateurs d'azote, comprennent à la fois des organismes libres et des organismes, qui forment des associations symbiotiques avec d'autres organismes (HOPKINS, 2003).

II-2-3-1- Les fixateurs libres de l'azote :

Les bactéries libres fixatrices d'azote, sont très répandues. Elles habitent les sédiments marins ainsi que ceux d'eau douce, les sols les surfaces des feuilles et des écorces ainsi que le tube digestif de divers animaux. Bien que certaines espèces soient aérobies (par ex. *Azotobacter*, *Beijerinckia*), la plupart d'entre elles ne fixent l'azote que dans des conditions anaérobies ou dans des conditions de très faibles pressions partielles d'oxygène (conditions dites de micro-aérophylie). Elles comprennent des genres non photosynthétiques (*Clostridium*, *Bacillus*, *Klebsiella*) et des genres photosynthétiques (*Chromatium*, *Rhodospirillum*). En plus de ces bactéries, plusieurs genres de cyanobactéries (principalement *Anabaena*, *Nostoc*, *Lyngbia* et *Calothrix*) comprennent des espèces fixatrices d'azote (HOPKINS, 2003).

II-2-3-2- Les fixateurs symbiotiques :

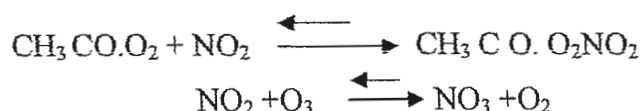
Plusieurs associations symbiotiques fixatrices d'azote sont connues, elles englobent les associations bien connues entre différentes espèces bactériennes et les légumineuses ex bactéries : *Azorhizobium*, l'hôte : *Sesbania*. Dans les associations symbiotiques, la plante représente l'hôte et le partenaire bactérien le symbionte. La forme la plus commune d'association symbiotique provoque la formation sur la racine (ou parfois sur la tige) de la plante hôte des nodules. Chez les légumineuses, le symbionte est une bactérie appartenant à l'un des trois genres : *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* ou *Azorhizobium*. L'ensemble de ces organismes est désigné sous le terme de rhizobiums (HOPKINS, 2003).

II-3-L'azote et l'écosystème :

L'azote total est généralement réparti dans trois ensembles principaux : l'ensemble constitué par l'atmosphère, le sol (et l'eau qui lui est associée) et l'azote contenu dans la biomasse.

II-3-1-L'azote dans l'atmosphère :

L'atmosphère représente évidemment le réservoir plus important, puisque 78% de l'air est constitué d'azote moléculaire N_2 , considéré d'ailleurs comme inactif. Dans l'ordre d'importance on trouve ensuite NO_2 (oxyde nitreux) puis NH_3 puis différents oxydes d'azote NO et NO_2 (monoxyde et dioxyde d'azote) que l'on a tendance à dénommer NO_x . Récemment on a mis en évidence le radical NO_3 , composé intermédiaire instable produit dans la réaction entre NO_2 et l'ozone O_3 ou lors de la dissociation de N_2O_5 pentoxyde d'azote. NO_3 est évidemment directement responsable sous forme HNO_3 de l'acidité des eaux de pluies. De même le peroxyacetyl nitrate se forme par la réaction suivante d'oxydation des hydrocarbures :



L'ensemble des oxydes d'azote appelé NO_y englobe NO_2O_5 , NO_3 et NO_x ($NO + NO_2$).

L'importance des composés de l'azote n'est évidemment pas proportionnelle à leur concentration. Ainsi NO_2 a été longtemps comme N_2 considéré comme étant inerte. En réalité sa concentration semble avoir augmenté de 0,292 ppm en 1961 à 0,307 ppm en 1987, peut être sous l'influence du développement intensif de l'agriculture. NH_3 et NO_x ont une importance considérable sur la partie atmosphérique du cycle avec des conséquences sur les sols et l'eau (MICHEL, 1996).

II-3-2-L'azote dans le sol :

Dans le sol. L'azote existe sous plusieurs formes qui dérivent les unes des autres.

- L'azote libre de l'air du sol,
- L'azote combiné, organique ou minéral (PIERRE et al, 1980).

II-3-2-1-L'azote de l'air du sol :

L'azote à l'état gazeux, qui circule entre les particules de terre est utilisable seulement par certaines bactéries (PIERRE et al, 1980).

II-3-2-2-L'azote organique :

Cette forme représente 95 à 98% de l'azote du sol, la matière organique du sol qui contient de l'azote organique principalement l'humus.

II-3-2-2-1-L'humus :

Un sol normalement évolué renferme environ 2 % de matière organique, et jusqu'à 6 ou 8 % dans une terre arable et même 12 à 15 % dans des sols forestiers. Elle provient des déchets animaux et surtout végétaux, partiellement décomposés et réorganisés par les activités fermentaires de la microflore. Au terme de cette décomposition, la matière organique est minéralisée, c'est-à-dire transformée en substances minérales, principalement NH_4^+ (et NH_4OH) secondairement oxydé en NO_3^- , CO_2 (et HCO_3^-), H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , avec libération des cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , etc.) et anions (Cl^-) qui étaient plus ou moins liés à elle (HELLER et al, 1989).

II-3-2-2-2-L'humification :

La formation de l'humus ou humification est surtout le fait de bactéries, aérobies et anaérobies, mais aussi d'Actinomycètes et de Champignons, microscopiques ou même macroscopiques, dont le rôle est important en particulier dans la dégradation de la lignine. Une bonne humidité est nécessaire, ainsi qu'une aération modérée du sol.

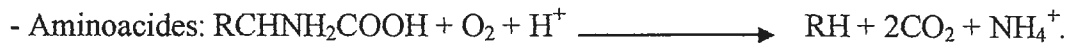
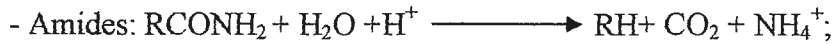
La température doit être assez élevée, avec optimum entre 30 et 40 °C, les microorganismes responsables étant thermophiles ; ces valeurs sont d'ailleurs atteintes spontanément, car les processus de dégradation, de type fermentaire, s'accompagnent d'une forte perte de chaleur. Mais le facteur le plus important, les conditions précédentes étant supposées remplies, est certainement le pH.

L'activité des bactéries, notamment des cellulolytiques, est pratiquement arrêtée en dessous de pH 6 et, bien que d'autres organismes prennent le relais (Actinomycètes jusqu'à 5,5, Champignons jusqu'à 3,0), l'humification est très sérieusement gênée par les sols acides. Cela a des incidences très importantes sur le type d'humus formé (HELLER et al, 1989).

II-3-2-3- L'azote minéral :

Il résulte de la dégradation de la matière organique, soit dans la première phase, lors de l'humification, soit ensuite lors de la minéralisation de l'humus. La première étape en est la libération d'ions NH_4^+ , ou ammonisation, réalisée par les bactéries *ammonifiantes*.

Exemple, à partir des :



L'étape suivante ou nitrification conduit à la formation de nitrates.

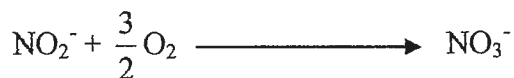
Son mécanisme fut éclairci par ; Winogradsky, jeune chercheur russe qui travaillait à l'Institut Pasteur (1890). Remarquant que l'oxydation de l'ammoniaque dégagait de l'énergie, il imagina que les *nitrificateurs* étaient capables de réaliser la réduction du CO_2 et leurs synthèses organiques à l'aide de l'énergie ainsi produite. Il découvrait ainsi la *chimiosynthèse*.

Il réussit à isoler et à cultiver ces bactéries sur un milieu purement minéral et il constata qu'elles appartenaient à deux groupes :

- Les **Bactéries nitreuses**, dont le type est *nitrosomonas*, réalisant la *nitrosation* :



- Les **Bactéries nitriques**, dont le type est *Nitrobacter*, qui oxyde NO_2^- en NO_3^- , réalisant la *nitratation* :



Depuis, la liste des nitrificateurs s'est allongée et comprend même des Champignons (moisissures). Certains d'entre eux la réalisent directement à partir des aminoacides, sans passer par NH_4^+ .

La nitrification exige de l'*oxygène*, mais aussi du gaz carbonique (ou des carbonates), car elle ne peut se poursuivre que s'il y a croissance des nitrificateurs.

La température doit être élevée (optimum vers 37 °C) et l'humidité suffisante, le pH a une grande importance avec un optimum vers 8,5 ; il n'y a plus guère de nitrification en pH acide et elle est complètement bloquée à pH 5. Comme tout processus métabolique, elle requiert la présence de phosphates, d'oligoéléments, etc. et se trouve sensible à de nombreux inhibiteurs, dont la plupart des herbicides.

Normalement les ions NH_4^+ n'ont qu'une existence transitoire. Toutefois l'agriculture fait largement appel aux engrais ammoniacaux, les ions NH_4^+ pouvant se fixer sur les colloïdes du sol et constituer ainsi une réserve durable d'azote. Les nitrites par contre, qui sont toxiques à haute dose, ne sont qu'à l'état de traces ; leur présence à un taux élevé dans les eaux est un indice de pollution.

Le taux moyen de l'azote nitrique est de 10 à 20 mg de N par kg de terre (de l'ordre du milliéquivalent), soit 50 à 100 kg ha⁻¹. Mais pendant l'hiver, le lessivage entraîne vers les profondeurs la quasi-totalité des réserves nitriques du sol : le taux d'azote nitrique descend alors à 1 ou 2 mg par kg de terre ; il remonte à la fin du printemps par suite de l'intensification de la nitrification jusqu'à 50 mg par kg ou même plus, redescendant légèrement en été par suite des prélèvements opérés par la végétation. A son maximum la teneur du sol en azote nitrique peut atteindre 200 à 300 kg ha⁻¹, immédiatement disponible pour les plantes (HELLER et al, 1989).

II-4-Importance et rôles de l'azote pour les végétaux :

L'étude des constituants des plantes par la méthode synthétique nous a montré que les nitrates étaient les plus abondants de tous les sels minéraux des solutions nutritives. Leur proportion élevée nous prouve l'importance de l'azote dans l'alimentation des plantes.

Tout d'abord, l'absence d'azote empêche la croissance. Si les végétaux rencontrent cet élément en quantité insuffisante, ils restent petits, leurs organes habituellement verts jaunissent et les cultures produisent peu.

Par contre, l'abondance d'azote donne aux plantes leurs grandes dimensions et leur teinte vert foncé. Mais, en même temps qu'elle exerce de bons effets, une trop grande quantité

d'azote retarde la maturité, diminue la solidité des tiges et accroît la sensibilité des plantes aux maladies cryptogamiques (les champignons parasites recherchent un hôte riche en azote).

Les plantes ne tirent profit de l'azote que s'il se présente sous une forme chimique simple : ions nitrique NO_3^- , ou ammoniacale NH_4^+ , ou petites molécules organiques. Partant de là, les végétaux synthétisent des molécules azotées complexes : les protides. Les végétaux puisent leur azote dans le sol ou dans l'atmosphère (PIERRE et al, 1980).

Chapitre III

Généralités sur les bactéries



III-1- Histoire :

Les bactéries étant microscopique, elles ne sont donc visibles qu'avec un microscope, Antoine van Leeuwenhœk fut le premier à observer des bactéries, grâce à un microscope de sa fabrication en 1668.

Le mot « bactérie » apparaît pour la première fois avec le microbiologiste allemand Christian Gottfried Ehrenberg en 1828.

Au XIX siècle, les travaux de Louis Pasteur ont révolutionné la bactériologie, Il démontra en 1859 que les processus de fermentation sont causés par des microorganismes et que cette croissance n'était pas due à la génération spontanée. Il démontra aussi le rôle des microorganismes comme agents infectieux.

Pasteur conçut également des milieux de culture, des procédés de destruction des microorganismes comme l'autoclave et la pasteurisation.

Les microbiologistes Martinus Beijerinck et Sergei Winogradsky initièrent les premiers travaux de microbiologie de l'environnement et d'écologie microbienne en étudiant les communautés microbiennes du sol et de l'eau et les relations entre ces microorganismes.

Si les bactéries étaient connus au XIX siècle, il n'existait pas encore de traitement antibactérien, en 1909, Paul Ehrlich mit au point un traitement contre la syphilis avant l'utilisation de la pénicilline en thérapeutique suggérée par Ernest Duchesne en 1897 et étudiée par Alexander Fleming en 1929.

En 1977, Carl Woese grâce à ses travaux de phylogénie moléculaire divisa les procaryotes en deux groupes : les bactéries et les arches (SINGLETON, 2005).

III-2- Définition :

Les bactéries sont des organismes vivants unicellulaires procaryotes, caractérisées par une absence de noyau et d'organites. Les bactéries mesurent quelques micromètres de long et peuvent présenter différentes formes : des formes sphériques, des formes allongées, des

formes plus ou moins spiralées. L'étude des bactéries est la bactériologie, une branche de la microbiologie (NICKLIN et al, 2000).

III-3-La structure et la morphologie cellulaire des bactéries :

III-3-1-La structure cellulaire :

Les bactéries sont les plus petits organismes connus doués de métabolisme et capables de croître et de se diviser aux dépens de substances nutritives leur diamètre est habituellement d'environ 1 μ m. Les coupes ultrafines ont permis en particulier de découvrir la structure détaillée des bactéries; la cellule apparaît entourée d'une enveloppe rigide, la paroi, qui lui donne sa forme, sa résistance et qui entoure une seconde enveloppe beaucoup plus mince et plus délicate, la membrane cytoplasmique: le cytoplasme sous-jacent, en général très homogène; contient essentiellement des granulations d'acide ribonucléique, les ribosomes, parfois aussi des substances de réserve qui rendent sa structure plus grossière; il ne renferme aucun des organites décrites ans la cellule eucaryote dans le cytoplasme; l'appareil nucléaire se distingue par son aspect fibrillaire; finement réticulé; il n'est pas entouré d'une membrane; la paroi; la membrane, le cytoplasme et l'appareil nucléaire représentent les structures essentielles de la cellule elles sont toujours présentes; d'autres peuvent éventuellement s'y adjoindre: la capsule; enveloppe externe qui peut prendre un développement considérable lorsqu'on favorise la synthèse de ses constituants; les flagelles, de nature protéique, qui conférant à la bactérie sa mobilité; enfin les pili ou fimbriae, plus fins que les flagelles, rigides et cassants; certains, appelés pili sexuels, joueraient un rôle au cours de la conjugaison bactérienne; les spores, enfin, qui sont des formes de résistance n'existant que chez certaines espèces bactériennes (Figure2) (HENRI et al, 1995).

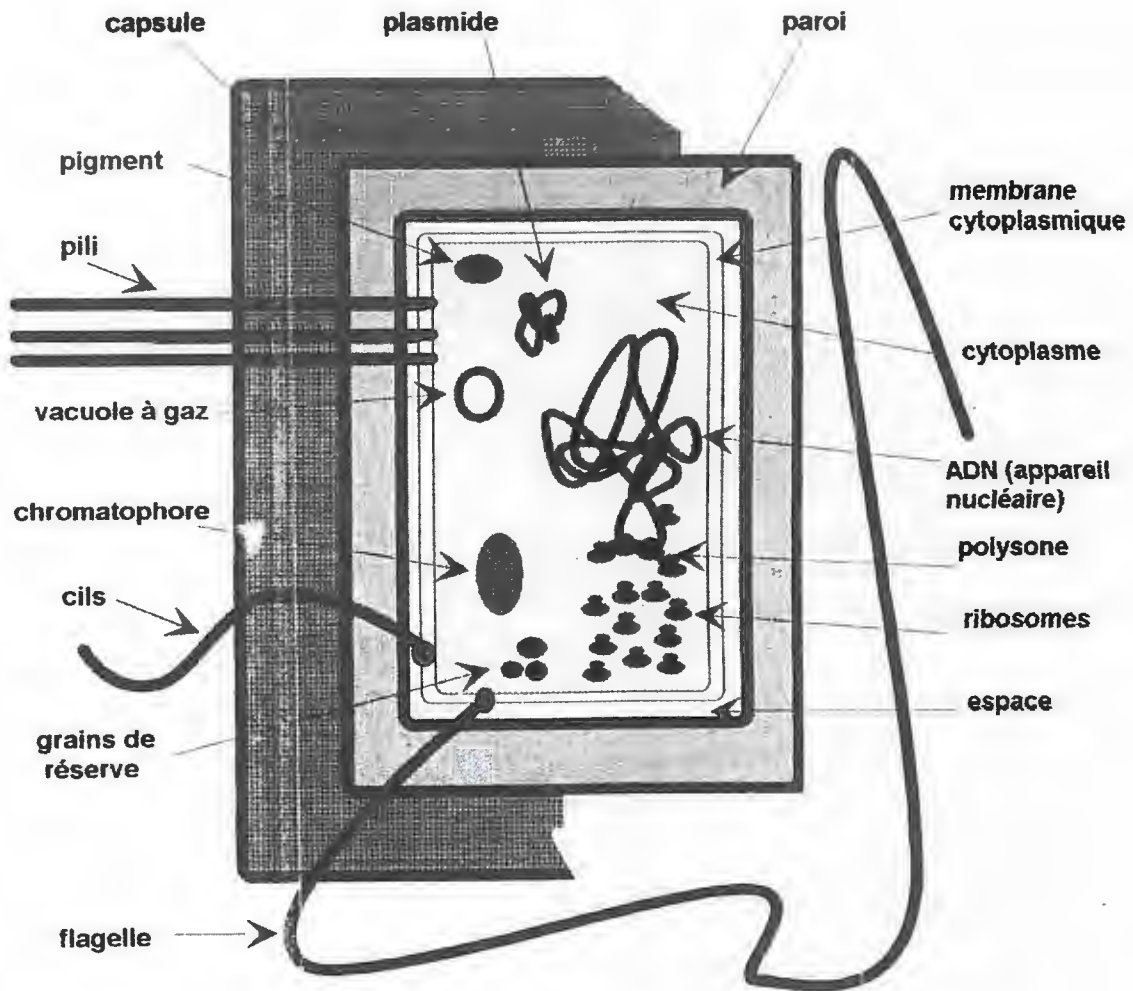


Figure 2 : schéma de la cellule bactérienne(HENRI et al, 1995).

III-3-2-La morphologie cellulaire :

Les formes des bactéries sont extrêmement diverses .nous en retiendrons trois principales : la forme sphérique ou coccidé, la forme cylindrique ou en bâtonnet, et la forme spiralée ou hélicoïdale.

III-3-2-a-La forme sphérique :

Elle caractérise les cocci, leur mode de division donne naissance à des groupements typiques, utiles à observer du point de vue diagnostique.

III-3-2-b-La forme cylindrique :

Les formes cylindriques ou en bâtonnets sont aussi diverses que celles des cocci .on distingue deux principales : le bâtonnet droit ou bacille et le bâtonnet incurvé ou vibron.

III-3-2-c-La forme spiralée :

On la rencontre chez un petit groupe de microorganismes possédant une structure typique, un corps hélicoïdal et extrêmement allongé (HENRI et al, 1995).

III-4- Les grands groupes de bactéries :

Il n'existe pas de classification officielle de bactéries mais, comme cela a été vu précédemment, une nomenclature officielle, qui permet d'assigner un nom valable pour chaque taxon sur la base d'un code et les règlements internationaux. Cette situation très ouverte laisse place à toutes les hypothèses et propositions possibles pour le classement des bactéries, ce qui est finalement bénéfique pour favoriser les évolutions souhaitables .en l'absence de toute classification officielle on s'en réfère à ce qui est le plus largement accepté par la communauté des microbiologistes, les organismes unicellulaires de structure procaryotique, c'est -à- dire les bactéries et les algues bleu – vert constituent le règne des procaryotae.

Les procaryotes comprennent 4 divisions reconnues sur la base de l'exigence ou non d'une paroi et sur la nature de cette paroi : les gracilicutes, les firmicutes, les tenericutes et les mendosicutes (tableau 1) (HENRI et al, 1995).

Tableau N°1 :

La classification du (bergey's manual of systématique bactériologie) (1984)

Et sa traduction pratique en grands groupes de bactéries (HENRI et al, 1995).

Classification du bergy's manual	Les grands groupes de bactéries
Règne <i>procaryotae</i>	
Division I <i>gracilicutes</i>	
Classe I <i>scotobacteria</i>	1 bactéries chimiolithotrophes 2 myxobactéries 3 bactéries à trichomes 4 bactéries appendiculées et bactéries bourgeonnantes 5 spirochètes 6 bactéries à gram -, aérobies / microaérophiles 7 bactéries à gram -, anaérobies facultatives 8 bactéries à gram -, anaérobies strictes 9 rickettsies et chlamydies
ClasseII <i>anoxyphotobacteria</i>	10 bactéries phototrophes
ClasseIII <i>oxyphotobacteria</i>	10 cyanobactéries
Division II <i>firmitutes</i>	
ClasseI <i>firmibacteria</i>	11 bactéries à gram +, non sporulée 12 bactéries à gram +, sporulées
ClasseII <i>thallobacteria</i>	13 actinomycètes
Division III <i>tenericutes</i>	
Classe I <i>mollicutes</i>	14 mycoplasmes
Division IV <i>mendosicutes</i>	
ClasseI <i>archaeobacteria</i>	15 Archéobactéries

III-5- Les bactéries et l'écosystème :

Les bactéries, avec les autres micro-organismes participent pour une très large part à l'équilibre biologique existant à la surface de la Terre. Ils colonisent en effet tous les écosystèmes et sont à l'origine de transformations chimiques fondamentales lors des processus biogéochimiques responsables du cycle des éléments sur la planète (SINGLETON, 2005).

III-5-1- L'écosystème aquatique :

Les eaux naturelles comme les eaux marines (océans) ou les eaux douces (lacs, mares, étangs, rivières...) sont des habitats microbiens très importants. Les matières organiques en solution et les minéraux dissous permettent le développement des bactéries. Les bactéries participent dans ces milieux à l'autoépuration des eaux. Elles sont aussi la proie des protozoaires. Les bactéries composant le plancton des milieux aquatiques sont appelées le bactérioplancton (SINGLETON, 2005).

III-5-2- Les bactéries du sol :

Le sol est composé de matière minérale provenant de l'érosion des roches et de matière organique (l'humus) provenant de la décomposition partielle des végétaux. La flore microbienne y est très variée. Elle comprend des bactéries, des champignons, des protozoaires, des algues, des virus, mais les bactéries sont les représentants les plus importants quantitativement. On peut y retrouver tous les types de bactéries, des autotrophes, des hétérotrophes, des aérobies, des anaérobies, des mésophiles, des psychrophiles, des thermophiles. Certaines bactéries, comme les champignons, sont capables de dégrader des substances insolubles d'origine végétale comme la cellulose, la lignine, de réduire les sulfates, d'oxyder le soufre, de fixer l'azote atmosphérique et de produire des nitrates. Les bactéries jouent un rôle dans le cycle des nutriments des sols, et sont notamment capables de fixer l'azote. Elles ont donc un rôle dans la fertilité des sols pour l'agriculture, les bactéries abondent au niveau des racines des végétaux avec lesquels elles vivent en mutualisme (SINGLETON, 2005).

III-5-2-1-Les bactéries associées aux légumineuses :

Les fabacées (légumineuses), tels les lentilles, fèves, pois, haricots..., possèdent sur leurs racines des excroissances appelées nodosités provoquées par la présence de bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium leguminarosum*) qui vivent en symbiose avec la légumineuse, les rhizobiums sont des bactéries aérobies du sol appartenant à la famille des rhizobiaceae (SINGLETON, 2005).

Il existe d'autres espèces de rhizobium tel *Rhizobium meliloti* sur luzerne et mélilot, *Rhizobium trifolii* sur trèfle, *Rhizobium japonicum* sur soja.

Dans les nodosités la race rhizobium varie selon l'espèce de légumineuse ; il arrive cependant que plusieurs espèces de légumineuse hébergent une même race de bactéries.

La forme varie selon l'âge des bactéries. D'abord simple bâtonnet, le rhizobium prend ensuite la forme d'un Y et enfin celle d'un même nom : bactérioiide, réunit toutes les formes (figure 3) (PIERRE et al, 1980).

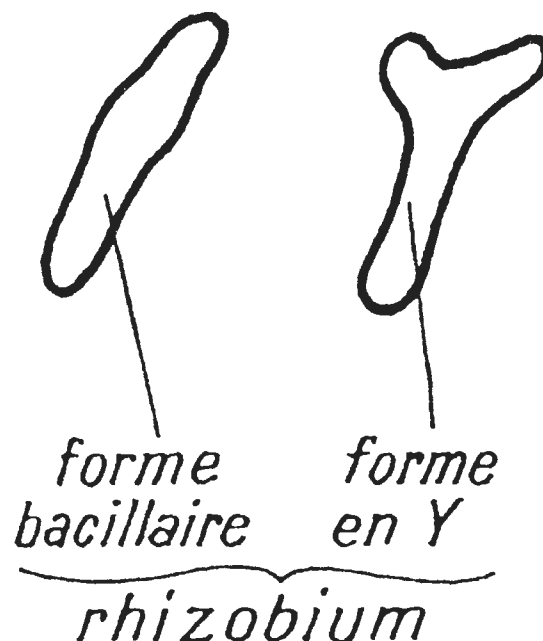


Figure 3 : les deux formes de Rhizobium(PIERRE et al, 1980).

III-5-2-1-1- Les nodosités :

Les nodosités sont de petites boursouflures se formant sur les racines de nombreuses espèces de plantes, notamment les Fabacées, sous l'action de bactéries du genre *Rhizobium* vivant en symbiose avec la plante. Dans cette association symbiotique, la plante fournit les substances carbonées et les bactéries les substances azotées synthétisées à partir de l'azote atmosphérique. Cette symbiose permet à la plante de fixer l'azote atmosphérique grâce à l'enzyme nitrogénase synthétisée par la bactérie et dont les plantes eucaryotes sont dépourvues (ANONYME, 2008).

III-5-2-1-1-1-La morphologie et la structure des nodosités :

5-2-1-1-1-1- La morphologie :

Déterrons avec précautions des trèfles rampants. Observons leurs racines pour découvrir les caractères des nodosités. Celles que nous voyons, isolées ou concrecentes (Figure 4), sont réparties sur la racine principale et sur ses ramifications. Celles présentent :

- une forme ronde ou allongée ;
- une couleur blanche, gris, brune ou verte ;
- une surface lisse ou ridée ;
- une longueur de quelques millimètres (Figure5).

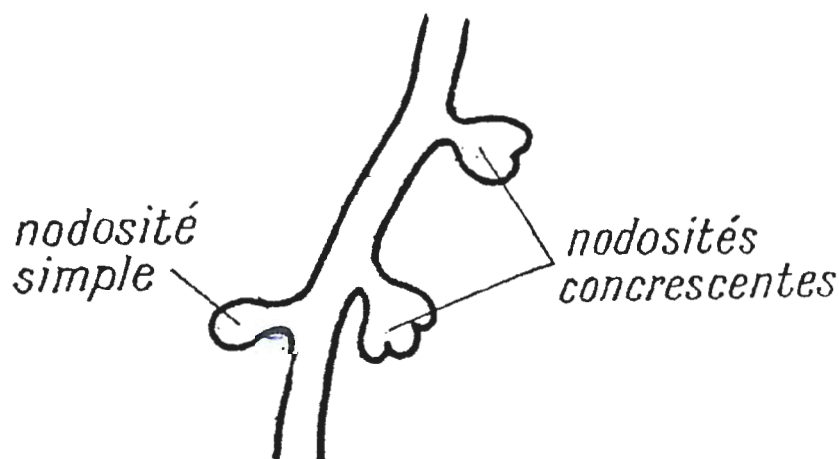


Figure 4 : forme des nodosités du trèfle rampant(PIERRE et al, 1980).

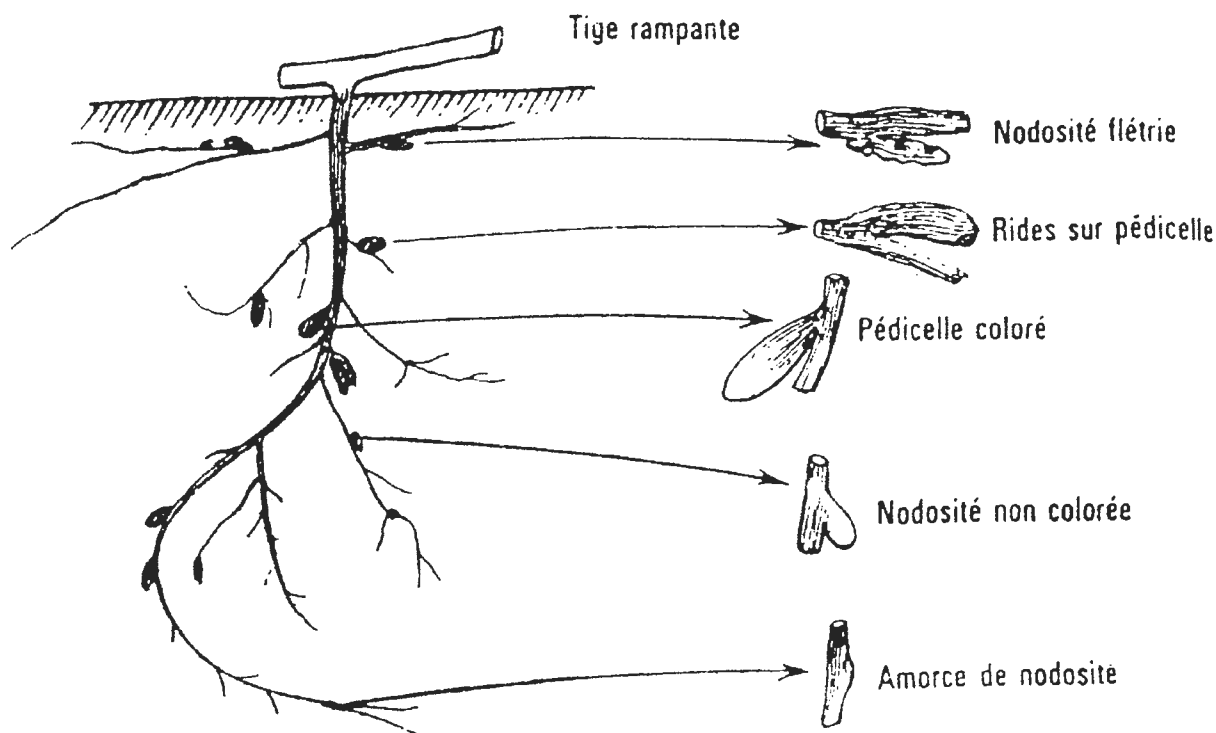


Figure 5 : nodosités sur racines de trèfle rampant(PIERRE et al, 1980).

Sur les jeunes racines, reconnaissable à leur teinte claire, les nodosités sont de simples renflements latéraux ou des verrues sphériques et blanches ou, des appendices allongés, à pédicelle bien marqué.

Sur les racines les plus grosses, donc les plus anciennes, les nodosités sont colorées, allongées et parfois flétries ; leur pédicelle gris ou brun porte des rides (PIERRE et al, 1980).

5-2-1-1-1-2- La structure :

Nous pouvons dilacérer une jeune nodosité dans de l'eau iodée et après avoir enlevé les débris, l'observer au microscope à fort grossissement. Nous découvrons des bactéries de formes variables :

- forme de bacille (jeunes bactéries) ;
- forme de y (rhizobium actifs)
- forme de grain : bactéries âgées en train de mourir et encours de digestion par des bactériophages venus du sol (CLAUDE et al, 1980).

Sur la coupe transversale d'une nodosité, nous distinguons, au microscope :

- une zone superficielle, l'écorce, relativement mince et peu colorée ;
- une zone interne, épaisse, de teinte rose (figure 6).

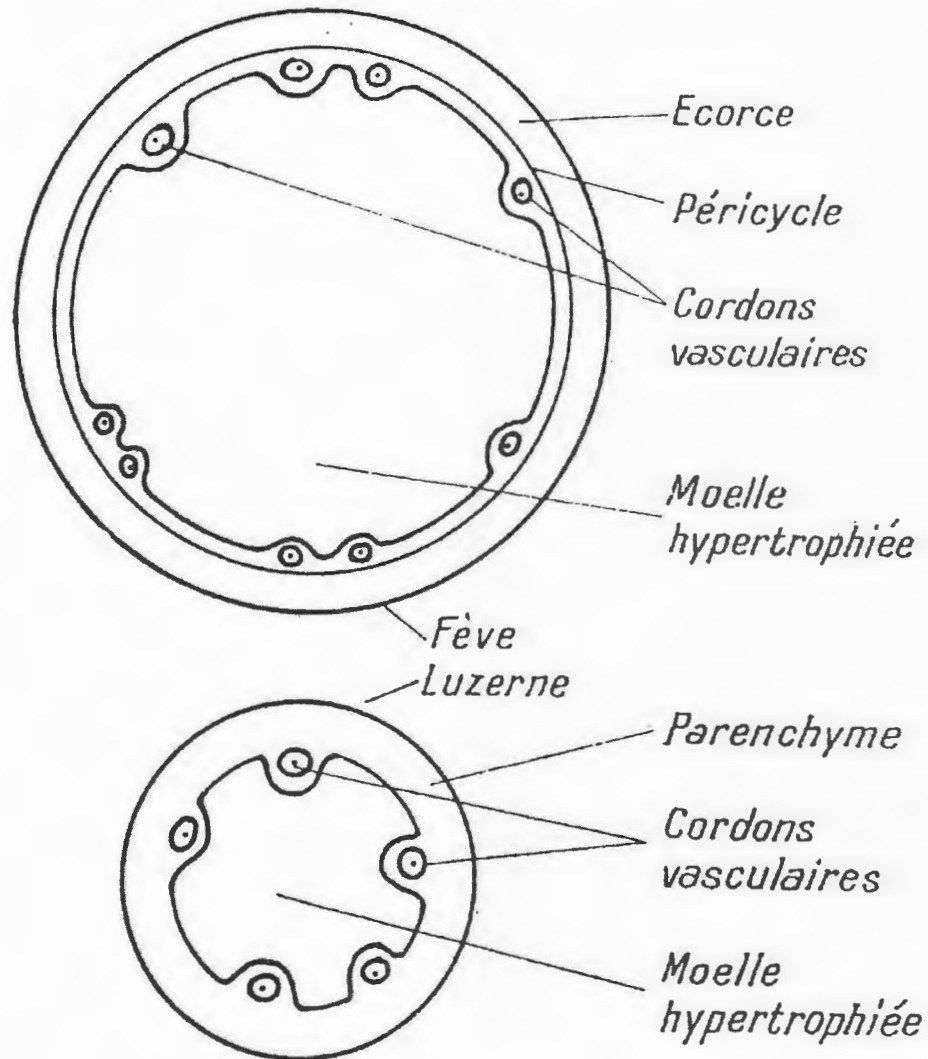


Figure 6 : coupes transversales de nodosités (PIERRE et al, 1980).

Une coupe longitudinale de la nodosité, fait apparaître les zones vues sur la coupe transversale ainsi que le raccordement des différents tissus précédents à ceux de la racine.

La moelle des nodosités est colorée en rose par la leghémoglobine, substance synthétisée par les cellules hôtes envahies (figure 7) (PIERRE et al, 1980).

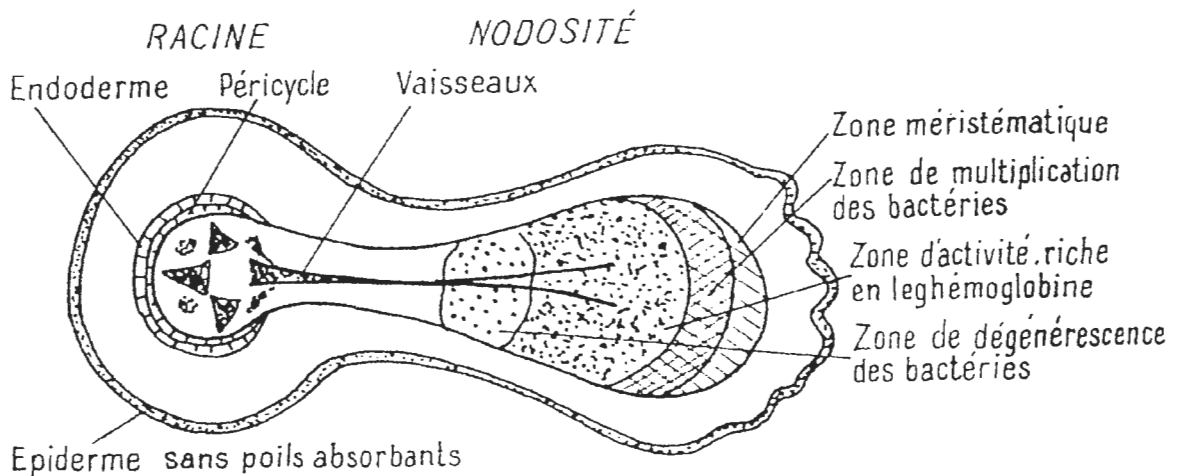


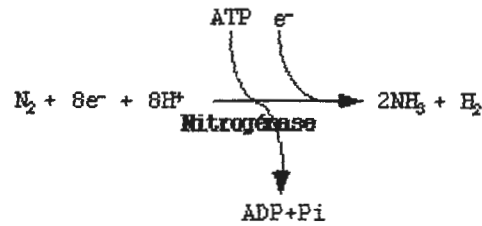
Figure 7 : coupes longitudinale d'une racine et d'une nodosité efficiente (PIERRE et al, 1980).

III-5-2-1-1-2- La formation des nodosités :

La plante produit des composés (des flavonoïdes) qui attirent et activent les bactéries fixatrices d'azote autour des racines. Par un phénomène de reconnaissance, les bactéries s'agglutinent sur les poils absorbants et forment un cordon infectieux qui va pénétrer dans la racine. Sous l'action des bactéries, le poil absorbant se déforme selon une allure bien particulière. Arrivées au niveau des vaisseaux conducteurs les bactéries provoquent le développement d'une tumeur qui formera la nodosité. Certaines cellules de la racine vont se différencier et retourner à l'état de méristème. Elles ne vont alors que se diviser. Rapidement la nodosité se forme. C'est logiquement à l'extrémité de cette nodosité que l'on trouve les cellules méristématiques. Plus à l'intérieur se trouve une zone riche en bactéries. C'est à cet endroit qu'elles s'enkystent, augmentent de volume et changent de forme. On parle alors de bactéroïdes. Bien qu'à l'intérieur des cellules végétales, ces bactéroïdes sont entourés par une membrane pér bactéroïdienne qui les isole, en partie, du cytoplasme cellulaire. A ce stade, ces micro-organismes fabriquent la nitrogénase, l'enzyme responsable de la fixation du diazote.

C'est au centre de la nodosité que les bactéroïdes vont fixer le diazote. Pour cela, ils synthétisent en collaboration avec la plante une protéine, l'hémoglobine, dont le rôle est de fixer l'oxygène pour protéger la nitrogénase (les bactéroïdes produisent l'hème tandis que la

plante produit la globine). Cette protéine peut représenter plus de 40 % des protéines d'une nodosité. Ce pigment présente la particularité de ne pas fixer entièrement l'oxygène ce qui permet aux bactéries de continuer la respiration sans gêner la fixation d'azote.



Le NH₃ formé est alors assimilé par la plante (ANONYME, 2008).

III-5-2-1-1-3- Étapes du développement des nodules :

Les activités coordonnées d'une légumineuse et d'une bactérie du genre *Rhizobium* dépendent des réactions chimiques entre les deux partenaires symbiotiques.

Premier étape : infection

Les racines sécrètent des substances chimiques de type flavonoïdes et isoflavanoïdes, qui attirent les bactéries de type *Rhizobium* du voisinage. En réponse, les bactéries synthétisent et émettent des facteurs de nodulation, dits facteurs *nod*. Sous leur action, les poils absorbants changent leur direction de croissance et forment une structure en croix de berger, qui enferme les rhizobiums. Les bactéries peuvent ainsi pénétrer dans l'écorce (parenchyme cortical), via un filet infectieux. Au même moment, la racine commence à répondre à l'infection par une division des cellules de l'écorce et du péricycle du cylindre central. Les vésicules contenant les bactéries bourgeonnent dans les cellules de l'écorce à partir de l'extrémité du filet infectieux ramifié.

Deuxième étape : développement de la nodosité

La croissance se poursuit dans les régions infectées de l'écorce et du péricycle, jusqu'à ce que ces deux masses de cellules fusionnent et forment la nodosité. Les bactéries provoquent des invaginations de la membrane plasmique qui vont fusionner avec l'appareil de Golgi, ce qui permet l'avancée de la bactérie vers le cortex racinaire.

Troisième étape : maturation de la nodosité

La nodosité continue sa croissance, alors que le tissu conducteur reliant la nodosité au xylème et au phloème du cylindre central se développe. Ce tissu conducteur apporte à la nodosité les glucides et autres substances organiques nécessaires au métabolisme cellulaire. Il transporte aussi les composés azotés produits dans la nodosité vers le cylindre central, qui les distribuera dans toute la plante (ANONYME, 2008).

III-5-2-1-1-4-Les échanges rhizobium – fabacées :

Le rhizobium utilise la matière carbonée synthétisée par la plante chlorophyllienne pour fabriquer son cytoplasme à partir de l'azote gazeux du sol. La fixation d'azote atmosphérique se fait grâce à la nitrogénase, enzyme complexe, riche en fer et molybdène, située sur la membrane de la cellule hôte. L'azote atmosphérique, grâce à la nitrogénase, se transforme en ammoniac NH_3 .

Cet ammoniac est libéré dans la nodosité et se transforme en acides aminés en se fixant sur les acides organiques. Il est utilisé par les bactéries et par la plante hôte. Les fabacées en digérant les vieilles bactéries, profitent des protéines synthétisées par le rhizobium. La nodosité offre ainsi un abri aux rhizobiums et leur apporte l'azote gazeux du sol qui pénètre dans les racines par les poils absorbants et les tissus (CLAUDE et al, 1998).

Chapitre IV

*L'interaction des êtres vivants
avec les plantes*

IV-1-Introduction :

Les plantes n'interagissent pas seulement avec l'environnement abiotique (sol, climat) mais également avec autres êtres vivants .on parle alors d'associations du vivants (symbiose, mutualisme, parasitisme).

Leur interaction, interspécifique, constitue une composante nouvelle, important à tous les niveaux d'intégrations de l'organisme et de l'écosystème.

Cette interaction set d'abord présenté au plan anatomique et en suite, lorsque cela est possible .aux plans moléculaire physiologique, agronomique voir évolutif.

Trois grands types d'interactions sont traits dans cet ouvrage :

- les interactions plantes symbioses (nodules fixateurs d'azote et symbioses mycorhiziennes).
- les interactions plantes parasites.
- les interactions plante-plante (ANONYME, 2000).

IV-2-Le mutualisme ou coopération :

C'est une association bénéfique pour les deux membres de l'association qui permet souvent de se procurer nourriture et défense contre les prédateurs.

IV-2-1-Quelque exemple de mutualisme :**IV-2-1-1-La pollinisation croisée :**

Les fleurs entomophiles, c'est-à-dire polonisée par les insectes, attient ceux-ci par différents procédés :

- leurs couleurs sont voyants : jaune, rouge, blanche, bleue
- leurs odeurs est développée
- leurs taille est important ou alors, si elles sont petite elles se groupent en inflorescences : ombelle des apiécées (ombelle frées) capitale des astéracées (composées) elle possède du nectar et du pollen que les insectes recherchent les glandes à nectar sont

toujours situées au fond de la fleur forçant ainsi l'insecte à pénétrer profondément dans celle-ci ce qui lui permet d'assurer en même temps de pollinisation ;

- le pollen est généralement gros et ornementé, il s'accroche ainsi aux palis des insectes qui le transportent, il est aussi visqueux des dispositifs particuliers peuvent se trouver chez quelque fleurs favorisant particulièrement la pollinisation :

- les primevères possèdent, les une un style long (fleurs long stylée) des étamines courtes, du pollen fin, des papilles stigmatique développées les autres un style court (fleurs brévistyles), des étamines longue, du pollen gros des papilles stigmatique courtes. Ces deux tapes nécessitent la visite par l'insecte d'un type de fleur puis de l'autre ce qui favorise la pollinisation croisée entre les deux types de fleurs et rend difficile l'autofécondation ;

- la sauge à des étamines à buttoir que l'insecte heurte en pénétrant pour chercher du nectar. Ce qui fait basculer les sacs pollinique sur son dos et favorise le transport de pollen sur son Stigmate.

Les orchidées ont leur pollen enferme dans deux pollinies, munies d'une base collante, que l'insecte touche en pénétrant dans la fleur, ce qui lui permet d'extraire les sacs à pollen et de les transporter dans une fleur voisine, ou le stigmate les collera. Mais si la pollinisation par un insecte n'a pas lieu. La fleur peut s'autoféconder.

Les ophrys abeille ou mouche, orchidées-vont même jusqu'à mimer la forme et la couleur des insectes, pour les attirer et certaines émettent un parfum identique à celui de l'insecte pollinisateur (ce sont des phéromones attractives spécifique) (CLAUDE et al ,1998).

IV-2-1-2-Dissémination des semences :

Les oiseaux frugivores rejettent souvent intactes de leur tube digestif les graines non digérées. Le gui est ainsi propagé dans les arbres par les grives et les mésanges.

Les mammifères transportant des fruits et graines accrochés à leur pelage :

- Fruits des aigremaines

- Des benoites

- Des gaillets

- Des bardanes

Les fourmis et les écureuils réalisent des provisions en déplaçant et en emmagasinant des graines, ce qui favorise la dispersion des semences.

Les fourmis champignonnistes font pousser des champignons sur des morceaux de feuilles qu'elles ont accumulés et s'en nourrissent. Le champignon profite d'une multiplication plus facile car les feuilles sont à sa disposition. L'homme par, ses nombreuses interventions disperse également les semences. Il le fait volontairement lors des semis et des reboisements mais aussi involontairement par les défrichements creusements, nivellements, déplacement de terre (CLAUDE et al, 1998).

IV-3- La symbiose :

La symbiose est une association durable, sinon constante, nécessaire et à bénéfices réciproques, unissant des espèces déterminées à besoins complémentaire.

Cette association peut se réaliser entre :

- Deux espèces végétales
- Une espèce végétale et une espèce animales
- Des bactéries de l'association sont appelés symbiontes (ou symbiose).

IV-3-1-Les mycorhizes :

Les mycorhizes sont des organes mixtes formes par des racines et des champignons symbiotiques du sol.

L'arbre apporte une partie des substances organiques qu'il a fabriquées par la photosynthèse. Cet apport est in portant en à la tomme et permet la fructification des champignons. En routeur, le champignon en augmentation la surface des racines de l'arbre, multiple sa capacité d'absorption et donc sa nutrition en sels minéraux : phosphates, ammonium, oligo-éléments (cuivre et zinc) qui sont souvent difficilement accessibles aux racines au déficit hydrique accrue. De plus les mycorhizes semblent retenir les métaux lourds permettant ainsi une meilleure résistance des plantes à ces éléments toxiques. Il en est de même pour la tolérance au calcaire qui est favorisée (PIERRE, 1996).

IV-3-2-Les lichens :

Longtemps considérés comme des êtres simples, ils sont en réalité forme de l'union d'un champignon et d'une algue ce qui explique leur répartition si vaste et si particulière.

On les trouve en effet communément sur les troncs d'arbre, les murs, les fruits les rochers, ils sont présente des régions subpolaires à l'équateur, ils peuvent supporter la sécheresse, le froid ou des fortes variations de température, ou d'éclairement.

Les lichens sont des végétaux pionniers colonisant les sols récemment mis à nu (CLAUDE et al, 1998).

IV-3-3-Les nodosités :

Les différentes espèces de bactéries *rhizobiums*, qui sont capables d'infecter les racines des *légumineuses*, sont spécifiques de certaines plantes-hôtes.

Les bactéries provoquent la formation de morosités sur les racines en pénétrant par les poiles racinaires, et ce transformant en « bactéroïde »de plus grand taille, les morosités sont les sièges d'une activité symbiotique dont laquelle la plante fournie les sucres et les énergies issus de la photosynthèse, et bénéficié en retour des acides amimies qui sont produits (ANONYME, 2008).

IV-4- Parasitisme :

C'est une relation interspécifique dans la quelle un des individus de l'association, le parasite, vit aux dépens de celui qui l'héberge.

L'hôte dont il tire sa nourriture, parmi les moyens d'exploitation d'une espèce par une autre, le parasitisme est extrêmement répondu, on le rencontre dans les deux règnes et dans la plupart des groupes systématiques pour le commun, il est symbolisé par les poux, la puce, le ténia ou encore le légendaire coucou qui pond ses œufs dans le nid de petits oiseaux.

Un certain nombre de caractères communs se retrouvent chez tous les parasites, parce qu'ils sont liés à l'adaptation à ce mode de vie. Nous noterons en particulier une simplification voir une disparition des organes et des fonctions qui cessent d'être fonctionnels et une sophistication et une hyperfonction des organes reproducteurs.

À titre d'exemple, nous développerons chacun de trois types de parasitisme :

- Le parasitisme des végétaux par des végétaux.
- Le parasitisme des animaux par des végétaux.
- Le parasitisme des végétaux par des animaux.

Mais il ne faut pas oublier que les microbes ; virus, bactéries pathogène, protozoaires ou champignons peuvent parasiter tous les groupes (MEYER et al, 2004).

IV-4-1-Végétal sur végétal :

Quelques végétaux supérieurs ne peuvent vivre qu'en Prélèvent la sève d'autre plantes le plus connu est le gui qui se fixe sur les arbres mais il faut aussi citer la cuscute que l'on rencontre sur les genêts ou les ajoncs des légumineuses ou des graminées.

Toute fois la majorité des végétaux qui parasitent les plantes sont des champignons qui leur communiquent des maladies cryptogamiques et contre les quelles il faut lutter avec des fongicides. Les plus connus sont mildious et oïdiums, qualifiés de blancs, la tavelure ou pourriture des fruits, le charbon du maïs ou l'ergot du seigle l plupart accomplissent leur cycle sur la même plante d'autre doivent assurer une partie de leur développement sur un hôte intermédiaire c'est le cas de la rouille du blé qui passe par l'épine vinette (RENE et al, 1977).

IV-4-2-Végétaux sur animal :

Beaucoup de dermatoses sont provoquées par des bactéries ou des réactions allergiques comme les eczémas mais les dermatoses les plus courantes sont celles qui sont produites par des champignons, ceux-ci parasitent parfois des animaux et déclenchent chez eux des maladies appelées mycoses.

Les plus connues sont les teignes ou dermatophyties localisées dans le derme elles s'installent dans le cuir chevelu comme la teigne tonsurant ou encore dans les muqueuses humides. Les organes les plus atteints sont l'appareil génital, le tube digestif, les orteils, et parfois les ongles, qui finissent par tomber elles provoquent de fortes démangeaisons et sont difficiles à éliminer le soleil toute fois freine leur développement grâce aux ultra violets.

D'autres champignons se développent dans les poumons et sont l'agent de maladies de l'homme voisines de la tuberculose, l'aspergillose ou provoquent chez les animaux l'aspergillose ovaire et l'avortement mycosique des bovidés (PIERRE, 1996)

IV-4-3-Animal sur végétal :

Tous les végétaux sauf ceux qui sécrètent des pesticides naturels, sont un jour ou l'autre les hôtes, d'un parasite qui vit à leurs dépens il serait fastidieux d'en faire la liste tellement leur nombre est important nous nous contenterons de prendre l'exemple des zoocécides ou galles des végétaux (CLAUDE et al, 1998 ; PIERRE, 1996).

IV-4-3-1-Les zoocécides ou galles des végétaux :

Les galles de végétaux, qu'il ne faut pas confondre avec la gale qui est une parasitose de la peau des animaux par un acarien, le sarcopte, sont des excroissances apparaissant sur les végétaux par suite de la piquée d'un arthropode. Ces Zoocécides sont des parasites cécidogènes qui les provoquent.

Tous les organes des plantes peuvent être le siège de galles, mais une espèce déterminée d'Arthropode envahit toujours la même partie de la plante, le résultat se traduit par une hypertrophie localisée des tissus du végétal. Il se produit une prolifération cellulaire locale déclenchée après la ponte d'un ou plusieurs œufs par le parasite, les larves issues de ces œufs émettent des sécrétions qui perturbent le métabolisme enzymatique du plant.

Normalement, l'auxine synthétisée par les méristèmes est assez rapidement détruite dans les tissus végétaux sous l'action de l'auxine-oxydase. Les sécrétions des larves cécidogènes inhibent cette destruction ce qui entraîne une multiplication rapide et une augmentation de la taille des cellules très localisée puisque l'AIA stimule la méiose et l'auxèse. Ces

hypertrophies sont la plus du temps spécifiques d'insectes hyménoptères de la famille des cynipidés, ou encore d'insectes diptères et lépidoptères mais aussi d'acariens (CLAUDE et al, 1998).

Chapitre V

*Production d'inoculum de
rhizobium*

V-1-Introduction :

L'interaction symbiotique entre bactéries de la famille des *Rhizobiaceae* et leurs plantes-hôte de la famille des légumineuses conduit à la formation de nouveaux organes racinaires, les nodosités, dans lesquelles les bactéries fixent l'azote atmosphérique pour former de l'ammonium.

Medicago Truncatula qui forme une symbiose avec *Sinorhizobium Meliloti*, est adoptée comme légumineuse modèle pour les études concernant les symbioses entre plantes et microorganismes.

L'interaction commence avec la colonisation de jeunes poils absorbants par les rhizobia et un échange de molécules-signal. Les bactéries reconnaissent des flavonoïdes et d'autres molécules qui sont sécrétées par la plante hôte. Ces molécules induisent la production de facteurs Nod par les *rhizobia*, qui déclenchent le programme de nodogenèse chez la plante-hôte.

Suite à l'action des facteurs Nod, les poils absorbants changent leur direction de croissance et forment une structure de crosse de berger qui enferme les rhizobia. A partir de cette niche, les *rhizobia* pénètrent la cellule végétale. Cordon d'infection qui est formé à travers d'abord le poil absorbant et se ramifie ensuite dans les cellules corticales guidant ainsi les bactéries vers les couches cellulaires intérieures.

Simultanément à l'infection des poils absorbants, certaines cellules du cortex interne dédifférencient et se divisent à plusieurs reprises, formant un primordium, certaines cellules arrêtent de se diviser et entrent dans des cycles répétés d'endoréduplication. Elles sont envahies par des *rhizobia* qui est relâchés des cordons d'infection. Finalement, les cellules végétales infectées et les bactéries infectantes se différencient en cellules capables de fixer et d'assimiler l'azote.

La formation des nodosités est un processus très complexe qui nécessite un contrôle très strict dans le temps et l'espace. L'un des niveaux de régulation le plus important est la

transcription contrôlée des gènes végétaux et bactéries qui codent pour les protéines impliquées dans la nodulation. Des réseaux transcriptionnels assurent ce contrôle spatial et temporel. ces réseaux opèrent façon d'une hiérarchie avec typiquement des régulateurs maitres qui dirigent Des événements en aval (ANONYME, 2002).

V-2-Les méthodes utilisées pour de la production d'inoculum :

L'amélioration de l'intensité de la fixation de l'azote atmosphérique par la symbiose légumineuse-rhizobium comprend la sélection des souches de rhizobium très infectives (ayant l'aptitude à former des nodosités sur les racines de plantes hôte), très efficaces (pouvant fixer l'azote) et très compétitives (ayant une bonne inéfectivité en présence d'autre souches de la même espèce et pouvant survivre au sein d'une microflore diversifiée) ; elle comprend aussi la sélection de cultivars spécifiques, génétiquement compatibles avec ces souches (ANONYME, 2002).

V-2-1-Characterisation des souches de rhizobium des pois chiche (*Cicer arietinum L*) Isolées de différents sols :

Une collection de souche de rhizobium pouvant induire la formation de nodosités sur les racines du pois chiche (*Cicer arietinum L*) a été constituée, après l'isolement des souches d'échantillons de sols provenant de différentes régions bioclimatique. L'isolement des souches de rhizobium est obtenu par la technique de l'infection de la plante hôte. Cette technique consiste à piéger le rhizobium par la légumineuse cultivée dans des pots contenant les sols originaires. En l'absence de critère biochimique absolu, le seul critère d'appartenance au genre rhizobium est la capacité des souches isolées de provoquer la formation de nodosités observables sur les racines de la légumineuse d'origine (en environnement stérile) après réinoculation (ANONYME, 2002).

V-2-2-Etudes des isolats de rhizobium :**V-2-2-1-L'étude de l'efficience :**

Permis de classer les souches selon leur capacité fixatrice d'azote. L'efficience des souches de rhizobium peut être évaluée de façon satisfaisante en déterminant le poids de matière sèche des parties aériennes des plantes inoculées avec ces souches et en comparant les résultats obtenus à ceux des témoins (plantes non inoculées et aux quelles on apporte de l'azote combiné ou non). lorsque l'azote est le seul facteur limitant de la croissance, la teneur en azote total et le rendement en matière sèche présentent une corrélation nette. Chaque souche de rhizobium est inoculée à seize plantules de taille uniforme, réparties dans 4 pots. Bien que Norris ait avancé l'hypothèse que les rhizobiums à croissance rapide se trouvaient de préférence dans les sols des régions tempérées.

La température : Détermination de la température maximale de croissance de la des souches.

Le pH : Détermination du pH optimum de croissance des bactéries.

Diversité sérologique : La réponse spécifique pour chaque souche de bactérie à l'antibiotique (ANONYME, 20002).

V-2-2-2-L'évaluation de l'infectivité :

Peut être faite en dénombrant les nodosités induites par la souche sur les racines de la plante hôte. Les pots sont ensuite recouverts avec du gravier stérile à fin de limiter l'évaporation de l'eau, répartis dans 4 blocs aléatoires complets et maintenus dans des conditions naturelles.

Sept semaines après l'inoculation, les plantes sont déracinées pour effectuer le dénombrement des nodosités et la détermination, du poids de matière sèche des parties aériennes (ANONYME, 20002).

V-3- Intérêt agronomique :

Cette symbiose est très intéressante et fort connue en agronomie. En effet les fabacées peuvent se développer sur terrain pauvre en azote mais contenant des rhizobiums. On peut les inoculer aux semences ou les enrober dans de la tourbe pulvérisée mélangée aux graines pour le soja si le sol est trop pauvre ou dépourvu de la bonne espèce de rhizobium.

La présence de fabacées enrichit d'autre part le sol en azote car les vieilles nodosités se détachent et sont minéralisées. Les racines laissées dans le sol assurent ainsi un apport supplémentaire, les rhizobiums sont cependant sensibles à l'apport de nitrates et de sels ammoniacaux dans les sols qui inhibent leur développement.

Les fabacées sauvages, grâce à leurs nodosités, sont compétitives dans des milieux pauvres. C'est le cas des ajoncs, robiniers, genêts, coronilles ... trouvés sur des sols pauvres en azote.

A l'échelon planétaire, ces symbioses produisent autant d'ammoniac que l'ensemble des industries d'engrais azotés (CLAUDE et al, 1998).

Conclusion

Conclusion

L'azote joue un rôle essentiel dans la synthèse de la matière vivante à partir de la matière minérale. Dans le protoplaste des cellules, il est combiné avec d'autres éléments fondamentaux pour former les substances organiques azotés (les protéines). Il est un des principaux constituants de la chlorophylle, qui commande l'opération fondamentale de la photosynthèse. Les plantes ne peuvent pas absorber l'azote de l'air pour la synthèse de leurs tissus.

Seules certaines algues et bactéries sont capables de fixer directement l'azote atmosphérique. On distingue des bactéries fixatrices se développant dans le sol en milieu anaérobie : *Clostridium pastriianum*, ou en milieu aérobie : Azotobacter. Le rôle des clostridiens est faible, celui des azotobacters est limité sous les climats tempérés.

Les bactéries fixatrices liées au système racinaire des végétaux : il s'agit du Rhizobium des légumineuses, vivant en symbiose avec elle dans les nodosités racinaire. Des lipo-chito-oligosaccharides produits par Rhizobium (appelés facteurs nod) jouent un rôle clef pendant les étapes précoces de l'association induisant des réponses à la fois morphogènes et organogènes chez les légumineuses hôtes.

Un gène symbiotique végétal qui s'exprime après 1 à 2 h après l'induction par le facteur nod. Le Rhizobium fixe l'azote de l'air et approvisionne la légumineuse qui fournit à la bactérie, sous forme de glucides, l'énergie dont elle a besoin. L'azote organique stocké dans les nodosités des racines est libéré après leur mort et se transforme progressivement en azote minéral. Les légumineuses contribuent donc, par voie indirecte, à enrichir le sol en azote minéral.

Les végétaux peuvent absorber de faibles quantités d'azote sous forme d'ammoniaque (NH_4^+) ou de nitrite (NO_2^-), ce sont des produits généralement transitoires dans le sol, car l'ammoniaque est oxydé en nitrites et ceux-ci, à leur tour transformés en nitrates (NO_3^-) par l'activité microbienne du sol.

Les nitrates, très soluble dans l'eau ne sont pas retenus par le pouvoir absorbant ils suivent l'eau dans ses déplacements. En effet, de forte dose de fertilisation azoté peuvent provoquer une pollution des nappes phréatiques, qui ont un effet négatif sur la santé des être animal et humaines.

Références bibliographiques



Références bibliographiques:

1. ANONYME; 2000: <[http://fr.wikipedia.Org/wiki/les interaction](http://fr.wikipedia.Org/wiki/les_interaction) >.
2. ANONYME; 2002: <[http://fr.wikipedia.Org/wiki/production d'inoculum](http://fr.wikipedia.Org/wiki/production_d'inoculum)>.
3. ANONYME; 2007 : < <http://fr.wikipedia.Org/wiki/Rhizobium>>.
4. ANONYME; 2008 : < <http://fr.wikipedia.Org/wiki/nodosité% C3 % A9>>.
5. CIRAD G ; 2002 : mémento de l'agronome, Paris, p 601-625.
6. CLAUDE F ; CHRISTAINE F ; PAUL M ; et JEAN D ; 1998 : écologie approche scientifique, édition Denver, Paris, p190-207.
7. GUET G ; 2003 : mémento d'agriculture guide pratique à usage professionnel, 2ed, Paris, p 225.
8. HELLER R ; ESNAULT R ; LANCE C ; 1989 : la nutrition azotée, in : physiologie végétale. 1. nutrition, édition Masson, Paris, p 125 – 129.
9. HENRI L ; ALPHONE M ; JOSE D ; 1995 : morphologie et structure des microorganismes, cours de microbiologie générale, édition Dion, Paris, p 16-18.
10. HOPKINS W ; 2003: les plantes et l'azote, in : physiologie végétale, 2 éd. édition université des sciences et technologie de Lille, p 99 – 102.
11. ISODORO C ; CRISTINA D ; EDUARDO V : 2003, technician en agriculture,2 ed, Madrid, p 331- 460.
12. MEYER S ; REEB C ; BOSDEVEIX R ; 2004 : botanique, biologie et physiologie végétales, 27.rue l'école – de médecine – 75006, Paris, p150.
13. MICHEL M ; 1996 : le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement, édition. Masson, Paris, p 126.
14. NICKLIN J ; CRAEME C ; PAGET T ; et KILLINGTON R ; 2000 : la structure et la fonction des bactéries, in : microbiologie, édition Bertin, Paris, p 74.
15. PIERRE J ; PROST ; PAUL M ; et JACQUELINE M ; 1980 : nutrition azotée, in, la botanique et ses applications agricoles et horticoles tome II, édition j- b. Bailliére 10, vue thénard, Paris, p 67 – 76.
16. PEIRRE P ; 1996 : vie microbienne du sol et production végétale, édition Ira, Paris, p150.
17. RAVEN ; EVERT ; EICHHORN ; 2000 : biologie végétale, édition POECK, Paris, P 334-736.
18. RAVAN M ; 2008 cycle de l'azote en ligne. in : encyclopédie libre, disponible sur : < [http://fr.wikipedia.org/wiki/cycle de l'azote](http://fr.wikipedia.org/wiki/cycle_de_l'azote)> (consulté le 15-04-2008).
19. RENE H ; ROBERT E ; CLAUDE L ; 1977 : physiologie végétale -2-développement, p 337.

20. SINGLETON P ; 2005 : les bactéries en ligne. in : encyclopédie libre, 6 ed. édition Dunod, disponible sur : < [http://fr. wikipedia. Org/ wiki/ Bact % C3 % A 9 rie](http://fr.wikipedia.org/wiki/Bact%C3%A9rie) > (consulté le 15-04-2008).

Présenté par : MEKHALFA KARIMA SAAID HADJER	date de soutenance : 28/06/2008
--	--

Thème :
Fertilisation azotée et production d'inoculum de Rhizobium

Résumé :

Notre travail consiste à une étude théorique de l'intérêt de la fertilisation pour les plantes cultivées, de principaux réserves d'azote dans les écosystèmes terrestres. Ainsi nous avons abordés l'interaction symbiotique entre les bactéries et certaines espèces en particulier la famille des fabacées.

Les bactéries fixatrices d'azote liées au système racinaire des végétaux : il s'agit du Rhizobium des légumineuses, vivant en symbiose avec elles dans les nodosités racinaire. Des l'opochito-oligosaccharides produit par le Rhizobium (appelé facteur nod) jouent un rôle clef pendant les étapes précoces de l'association induisant des réponses à la fois morphogénèse et organogènes chez les légumineuse hôtes. Finalement les méthodes utilisées pour l'isolation et l'étude de cette partie en vu d'une application agronomique.

Mots clés : fertilisation, azote, symbiose, Rhizobium, inoculum.

Abstract:

Our theatrical study of fertilization interest the cultivate plants, principal reserves of nitrogen on the earth ecosystems.

The symbiosis interaction between batteries and other spaces of particular fabaces the fixed bacteria's are connected (vegetables) roots system: they are Rhizobium legumes. Lived on symbios with her root nodules. During the recursive stapes of association are created answer both morphogenesis and organogenesis on the legumes hosts.

At the end the methods used for the isolation and study of this bacteria for the application agricultural.

Key words: fertilization, nitrogen, symbiosis, Rhizobium, inoculum.

ملخص:

يتمحور عملنا هذا حول الدراسة النظرية لأهمية تخصيب النباتات المزروعة و أهم مصادر الأزوت في النظم البيئية و كذلك التعايش بين البكتيريا و بعض الأنواع النباتية خاصة العائلة البقولية.

البكتيريا المثبتة ترتبط بالجزء الجذري للنباتات وتعرف بـ (Rhizobium) البقوليات و هي تعيش بتكافل مع العقدا الجذرية، و (l'opochito-oligosaccharides) المنتج من طرف (Rhizobium) يسمى عامل Nod بحيث يلعب دورا رئيسيا أثناء المراحل الأولى للتفاعلات المحرصة للتشكل وتكوين الأعضاء عند البقوليات، وأخيرا الأساليب المستعملة لعزل ودراسة هذه البكتيريا في ضوء التطبيقات الزراعية.

الكلمات المفتاح: التخصيب ، الأزوت، التعايش، Rhizobium inoculum.

Encadré par:
Mr. Chahreddine S.