

Microbiologie d'environnement



*Présenté par Mme
GAOUAR Sara Université
Abou Bekr Belkaid
Tlemcen Faculté SNV/STU
Département de biologie
Email : sarah.
gaouar@outlook.fr
01-03-2024*

Table des matières

Objectifs	3
Introduction	4
I - Chapitre 1 : La microbiologie du sol	5
1. Propriétés et caractéristiques du sol	5
2. La microflore du sol (principaux groupements)	6
3. Les relations entre les micro organismes dans un écosystème	8
4. Les associations entres les micro-organismes et les végétaux	8
5. Les différents facteurs influençant les interactions plante-sol-microorganismes	9
6. Principales fonctions de la microflore du sol	10
Abréviations	14
Bibliographie	15

Objectifs

Les objectifs d'étude de la microbiologie d'environnement :

1. Comprendre la diversité microbienne dans différents milieux environnementaux, y compris l'eau, le sol et les environnements intérieurs.
2. Explorer les rôles écologiques des micro organismes dans ces différents habitats.
3. Examiner l'impact des micro organismes sur la santé humaine, en particulier dans le contexte de la microbiologie du tube digestif, et la microbiologie de l'eau.
4. Développer des compétences en recherche et en analyse pour comprendre les complexités des écosystèmes microbiens et proposer des solutions innovantes pour les défis environnementaux et sanitaires associés.

Introduction

Les micro organismes sont une composante essentielle de tout **écosystème**, ils occupent des micro-habitats spécifiques convenant à leurs besoins. Dans ces micro-habitats, les micro organismes ont établi différents types de relations entre eux et avec d'autres organismes, ils affectent ou non, positivement ou négativement, le développement des autres membres de la communauté biotique. Les micro organismes Ils sont donc nécessaires aux fonctionnements des écosystèmes telluriques et aquatiques, qui peuvent accomplir des tâches aussi importantes que méconnues indispensables au bon fonctionnement des cycles biogéochimiques de la matière, comme la transformation des déchets, l'oxydation, la réduction, la précipitation et la solubilisation des ions minéraux, la production des composés organiques, la fixation de l'azote moléculaire, ...etc.

Dans **l'environnement**, les micro organismes jouent le rôle de producteurs ou de décomposeurs. Les germes producteurs sont photolithotrophes ou chimiolithotrophes. Ils tirent leur énergie de la lumière ou des composés inorganiques et synthétisent des matières organiques, en raison de ces propriétés, ils constituent le point de départ de nombreuses chaînes alimentaires. Les micro organismes décomposeurs sont chimiolithotrophes. Par leurs activités métaboliques, ces derniers dégradent les matières organiques en matières minérales. Ce recyclage permanent entretient la vie en rendant les éléments nutritifs constamment disponibles bien qu'ils soient en quantités limitées dans l'environnement (1).*

A partir de **la microbiologie environnementale**, les chercheurs ont développé des applications tendant à utiliser des micro organismes dans les différents domaines d'intérêt de l'homme : industrie agro-alimentaire, pharmacologie, agriculture bio remédiation, épuration des eaux usées...etc. C'est ce que nous allons développer dans ce document.

I Chapitre 1 : La microbiologie du sol

Le sol est un écosystème dynamique et considéré comme l'habitat le plus complexe sur la terre. Le sol est défini par la partie de croûte terrestre où la géologie et la biologie se rencontrent. Cet habitat est l'un des principaux réservoirs de la diversité biologique de notre planète, il est estimé que le sol contient un tiers de tous les organismes (org+)* vivants et régule l'activité des organismes responsables du fonctionnement et de l'évolution des autres écosystèmes (2)*. Il a une capacité intrinsèque lui permettant à la fois de soutenir la vie terrestre et de fournir un habitat pour l'existence et l'évolution interdépendantes des organismes du sol.

Objectifs de la microbiologie du sol :

1. Comprendre l'énorme diversité du milieu tellurique comme étant un habitat riche en micro organismes.
2. Étudier les interactions entre les communautés microbiennes et avec les autres composants de l'écosystème (sol-végétation).
3. Explorer le rôle des micro organismes dans les cycles biogéochimiques et examiner leurs bienfaits sur les plantes.
4. Évaluer l'importance des micro organismes dans la fertilité du sol et leur impact sur la santé humaine.

1. Propriétés et caractéristiques du sol

Les sols sont composés d'au moins quatre composantes à savoir la matière minérale, la matière organique ; air et eau ; organismes vivants (3)*.

a- La matière inorganique minérale qui proviennent de la dégradation de la roche mère et qui représente typiquement 40% ou plus du volume du sol. Cette fraction minérale est formée de particules de taille variables classées selon leur granulométrie en : roches et graviers, supérieur à 2mm, sables dont la taille se situe entre 0.5 et 2mm, limons dont la taille se situe entre 0.02 et 0.05mm, argile dont la taille inférieure à 0.002mm).

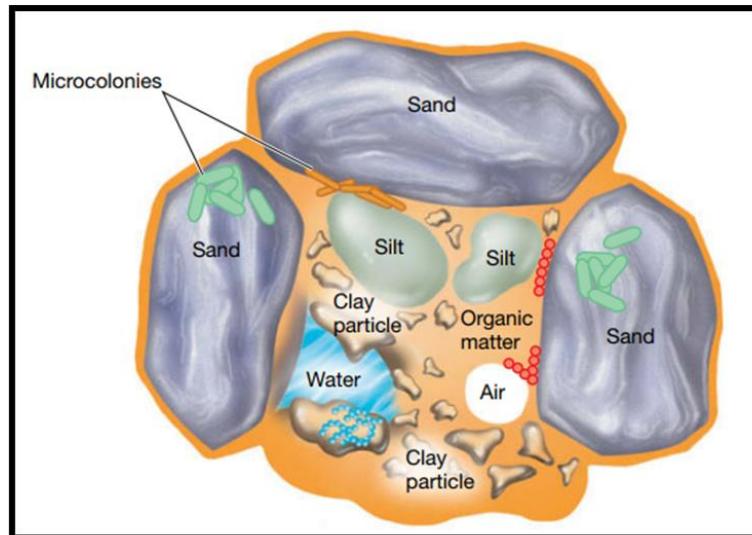
b- La matière organique qui forment l'humus provenant des organismes morts en décomposition représentant habituellement d'environ 5%.

c- L'eau et l'air (oxygène et autres gaz), plus ou moins 50% du volume du sol. L'eau est un élément très variable du sol, et la teneur en eau du sol dépend de la composition du sol, des précipitations, du drainage et la couverture végétale. L'espace libre qui se trouve entre les agrégats est occupé par la phase gazeuse, les sols ont des

concentrations nettement supérieures en CO₂ plus que l'O₂. Ces gaz proviennent des activités des organismes vivants, la concentration de l'azote est très voisine de ceux qui l'est dans l'air. Les autres gaz comme H₂S et le NH₃ se trouvent dans les conditions de forte anaérobiose.

d- Les organismes vivants, des micro-organismes (μog^+)^{*} et des macro-organismes représentent environ 5%.

L'air et l'eau forment presque la moitié du volume du sol. La fraction minérale forme près de l'autre moitié et le reste est constitué de la matière organique entre 3 à 6% et les organismes vivants qui forment 1% (4).^{*}



Les caractéristiques du sol

Remarque

Les sols sont caractérisés par des couches d'épaisseur et de structure variable, s'agissant de couleur, de texture, de structure, de porosité, de pH, contenu organique et minérale, ces propriétés distinctes influent sur l'humidité, le contenu gazeux et biologique de différentes strates du sol.

2. La microflore du sol (principaux groupements)

Une seule particule de sol peut contenir de nombreux micro*environnements différents et peut ainsi favoriser la croissance de plusieurs types physiologiques de micro-organismes. En général, le sol peut abriter 5 grandes classes de micro*organismes : bactéries, mycètes, algues, protozoaires, virus.

1- Les bactéries : elles sont ubiquitaires et elles présentent une population très abondante dans le sol, leur activité est principalement concentrée dans les premiers centimètres du sol. On trouve quatre principaux groupes dans le sol : les eubactéries, les bactéries ferrugineuses filamenteuses, les bactéries sulfureuses, les myxobactéries.

• **Les eubactéries** : sont classées en 4 groupes selon la source d'énergie utilisée (énergie lumineuse ou réactions redox) et la nature du donneur d'électron (organique ou minéral):

* les photolithotrophes : exemple : algues, cyanobactéries (sont rares dans le sol).

*les photoorganotrophes : exemple : Rhodospseudomonas (rares dans le sol).

*les chimiolithotrophes (peu abondant dans le sol) : bactéries nitrifiantes (Nitrosomonas, Nitrobacter) et les bactéries dénitrifiantes (Pseudomonas et Bacillus).

*les chimio-organotrophes qui constituent la majorité des microorganismes telluriques : parmi les bactéries les plus abondantes sont *Arthrobacter*, l'habitat majeur de ces derniers est le sol, ils sont adaptés à cette niche écologique car ils sont très résistants à la dessiccation (sécheresse) et au manque de nourritures, ils sont caractérisés par un épuisement enzymatique très perforant pouvant même dégrader des pesticides. Le développement de ce genre est caractérisé par une alternance entre la forme bacillaire et cocoïde. En phase de croissance exponentielle se sont les bacilles irréguliers et ramifiés qui se divisent par cassure, en phase stationnaire, les cellules prennent la forme cocoïdes, lorsque ces bactéries sont transformées sur un nouveau milieu, les cocoïdes produisent les excroissances et de nouvelles formes de bâtonnets en croissance active.

- **les bactéries ferrugineuses filamenteuses** : elles se caractérisent par la présence d'une gaine qui entoure les cellules en chaînes. Elles se colorent en jaune rouille sous l'influence de l'oxydation du fer ferreux (Fe^{2+}) contenu dans le milieu.

- **Les bactéries sulfureuses filamenteuses** : Organismes filamenteux, capables de mouvement de glissement (ressemblent aux cyanobactéries). Leur habitat est sensiblement le même que celui des bactéries ferrugineuses avec lesquelles elles sont fréquemment associées. Elles en diffèrent par l'oxydation des formes réduites du soufre (H_2S) en soufre élément (S), puis en sulfures.

- **Myxobactéries** : sont des bacilles à Gram négatif, glissantes et extrêmement flexibles se différencient des bactéries par : Leur mobilité très particulière (glissement) et La flexibilité due à la finesse de leur paroi cellulaire. Elles sont caractérisées par la dégradation de la cellulose et la chitine.

- Actinomycètes : Ce sont des bactéries filamenteuses hétérotrophes (*Nocardia*, *Streptomyces* et *Micromonospora*), le second genre est caractérisé par leur capacité à dégrader la matière organique difficilement décomposable, ce sont les producteurs actifs des antibiotiques et de vitamines, sont particulièrement efficaces dans la dégradation de la cellulose, la chitine, et la lignine.

2-Les champignons : Les champignons sont des organismes pluricellulaires, parfois unicellulaires, aérobie, plus résistants aux conditions difficiles. Leur Taille est très variable.

a- Les champignons filamenteux : moisissures ; qui sont présents dans les sols en proportions importantes, ils se développent à la surface et s'insèrent dans les couches superficielles par prolongement des cellules mycéliennes, ils possèdent un équipement enzymatique actif pour la dégradation de la cellulose et de la lignine (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Fusarium*).

b- Les levures : ce sont des mycètes unicellulaires, leur présence est liée à la végétation et à la présence de matière organiques peu transformée (*Saccharomyces*, *Cryptococcus*).

3- Les algues : tous les sols renferment des algues unicellulaires ou filamenteuses et certains d'entre elles sont typiquement terrestres, les groupes les plus courants sont des Chlorophycée et certaines diatomées qui sont particulièrement présent dans les milieux humides.

4- Les protozoaires : sont ubiquitaires, ils influencent le cycle des éléments nutritifs en se nourrissant des micro-organismes et ce processus donne des taux supérieurs de minéralisation ainsi que la disponibilité des nutriments pour la croissance végétale (Némathodes, Acariens).

5- Les virus : les virus du sol sont essentiellement pathogènes pour les végétaux, on peut trouver également des phages.

3. Les relations entre les micro organismes dans un écosystème

Dans un écosystème, une espèce microbienne ne vit jamais seule, elle partage cet environnement (sol) avec d'autres espèces en formant une dynamique au sein duquel le comportement de chaque groupe est influencé par celui des autres. Il existe deux types d'interactions microbiennes :

*Les interactions conflictuelles ont un effet négatif sur l'un ou plusieurs partenaires. Parmi elles, on trouve la compétition, le parasitisme.

*Les interactions bénéfiques sont au contraire bénéfiques sur l'un ou plusieurs intervenants. Parmi elles, on trouve la coopération, mutualisme, symbiose, commensalisme.

a) Interactions conflictuelles : sont la plupart des cas basées sur des aspects trophiques car les ressources sont toujours limitées.

* **Compétition** : dans ce type d'interaction deux ou plusieurs micro-organismes ont une même ressource environnementale limitée qu'il s'agisse d'un élément nutritif ou d'espace vital. La compétition permet la diversité microbienne. En effet, elle modifie l'équilibre entre les populations en stimulant des populations microbiennes à diversifier leur capacité métaboliques.

* **Parasitisme** : cette interaction est souvent décrite comme relevant de la prédation. En outre la bactérie *Bdellovibrio bacteriovorus* commence par pénétrer le périplasme de l'hôte et sceller le pore d'entrée. Elle se réplique ensuite à l'intérieur pour donner les cellules filles.

b) Les interactions bénéfiques :

* **Commensalisme** est une interaction où un micro-organisme en tire un bénéfice mais l'autre n'en tire aucun. On peut citer l'exemple de bactérie chimolithotrophe nitrifiante *Nitrosomonas* transforme l'ammonium en nitrite alors que la bactérie chimolithotrophe nitrifiante *Nitrobacter* transforme le nitrite en nitrate. Par conséquent *Nitrobacter* dépend de ce que *Nitrosomonas* lui fournit alors que le bénéfice que cette dernière tire de la présence de *Nitrobacter* est moins évident.

* **Coopération** les bactéries ont en général des systèmes métaboliques complémentaires. certains isolats bactériens du sol incapables individuellement de métaboliser des composés polycycliques aromatiques, mais qui deviennent capables de la faire quand ils sont cultivés en consorsium. Ce dernier est un ensemble de souches capables de compenser les inhibitions provoquées par un composé en le dégradant.

* **Mutualisme** C'est le cas de bactéries thermophiles *Symbiobacterium thermophilum* et *Bacillus*. *Symbiobacterium* ne peut être cultivée sans la présence de *Bacillus* qui lui fournit du CO₂ issue de sa respiration. Le CO₂ permet à *Symbiobacterium thermophilum* de compenser l'absence d'anhydrase carbonique, enzyme responsable de plusieurs processus comme la photosynthèse.

* **Symbiose** il y'a des bactéries qui colonise le rumen (flore intestinale) des herbivores permettent la digestion de la cellulose par ces animaux. La présence des bactéries dans l'intestin permettent la digestion de la cellulose par ces animaux ; mais les bactéries fabriquent également des vitamines comme la vitamine K et la biotine.

4. Les associations entre les micro-organismes et les végétaux

1- La rhizosphère :

La rhizosphère est définie comme le volume de sol soumis à l'influence de la racine, c'est une zone d'intense activité microbienne. La plante, via les exsudats racinaires, met à la disposition de la microflore des substrats (sucres et acides aminés), qui favorisent le développement de ces micro-organismes, qu'ils soient pathogènes ou bénéfiques. Les micro-organismes de la rhizosphère servent une source importante d'éléments nutritifs. De nombreuses interactions, bénéfiques sont observées au niveau de la rhizosphère :

-La symbiose mycorhizienne : Les associations symbiotiques entre les champignons du sol et les racines des végétaux sont très répandues dans la nature ; elles sont appelées « mycorhizes ». Ces champignons apportent à la plante des éléments nutritifs, essentiellement le phosphore, utiles à sa croissance, ils renforcent également ses défenses naturelles vis-à-vis des stress d'origine biotique ou abiotique. Comme exemple de ces symbiotes, les genres *Glomus*, *Gigaspora*, *Pezizella* et *Rhizoctone*. Les mycorhizes Englobants deux grandes classes à savoir les ectomycorhizes et les endomycorhizes (5).*

-Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)* : d'autres micro-organismes, en particulier les bactéries du genre *Bacillus* ou *Pseudomonas* qualifiées de « **PGPR** » , sont également capables de stimuler la croissance des plantes et de s'opposer à l'activité d'agents pathogènes. Les bactéries fixatrices d'azote des genres *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* et *Azorhizobium* fixent l'azote atmosphérique pour le réduire en ion ammonium qui assimilé par la plante hôte et intégré dans la synthèse de ses acides aminés pour construire ses propres protéines (6).*

2- Les actinorhizes : la fixation de l'azote est assurée par association aussi de *Frankia* et la plupart des arbustes ligneux.

3-Les association tri et tétrapartite : ces associations s'établissent lorsque la même plante développe des relations avec 2 ou 3 types de différents micro-organismes, elles impliquent l'interaction des micro-organismes symbiotiques entre eux et avec l'hôte végétale. Il existe plusieurs types d'associations titrapartites : Endomycorhize + actinorhize + racine, Endomycorhize + Ectomycorhize + *Frankia* + hôte végétale.

5. Les différents facteurs influençant les interactions plante-sol-microorganismes

1-Influence du sol sur la plante

*La texture du sol : la texture grossière du sol favorise l'enracinement ; on a noté chez le blé que le nombre de racines secondaires est 5 fois plus élevé dans le sol sableux (0.2 mm) que dans le sol argileux (<0.002 mm).

*la porosité : elle influe sur l'aération du sol et l'enracinement de la plante. Pour une porosité de 30% la longueur de racine doit être 6.4 cm et porosité de 50% la longueur de racine est 10.8 cm.

*Teneur du milieu en ions minéraux : Les éléments minéraux (azote, phosphore, potassium) sont importants pour la croissance des plantes, qui fixent le carbone atmosphérique par photosynthèse. Les éléments minéraux doivent impérativement être apportés par le milieu dans lequel pousse la plante.

2-Influence du sol sur les μog^+ *

*L'humidité du sol est nécessaire pour la vie des micro-organismes et leur déplacement.

*L'apport de matière organique dans le milieu tellurique favorise la croissance des micro-organismes hétérotrophes.

*Les amendements apportés au sol pour améliorer les qualités physiques et l'acidité du sol modifient et influe le peuplement microbien.

3-Influence de la plante sur les μog^+ *

La plante exerce un effet sélectif sur la microflore rhizosphérique. La sélection se fait en fonction de la nature des exsudats racinaires. Certains exsudats stimulent certaines bactéries telle que Azotobacter qui est stimulé par les exsudats du balisier rouge (Canna indica) .D'autres exsudats inhibent la croissance microbienne comme la production d'importante quantité de substances toxiques pour les micro-organismes par les racines des plantes au moment de leur phase active de croissance (germination), comme les substances phénoliques : Acide isochlorogénique et l'acide gallique.

4-Influence des μog^+ sur la plante

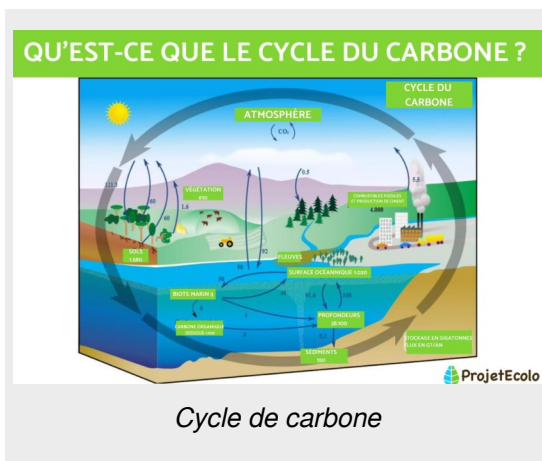
Les micro-organismes rhizosphériques ont plusieurs effets positifs vis-à-vis des plantes. Cependant, certains peuvent être des pathogènes (phytopathogènes). Les plantes peuvent absorber par leurs racines de nombreuses substances organiques telles que les phytohormones, acides aminés, vitamines, antibiotiques, dérivés phénoliques, enzymes et protéines, pesticides provenant de l'activité métabolique des micro-organismes telluriques.

6. Principales fonctions de la microflore du sol

1-Biosynthèse de la matière organique : les micro-organismes producteurs soient photolithotrophes comme les cyanobactéries soient les chimiolithotrophes comme les bactéries sulfoxydantes et les bactéries fixatrices de l'azote ; ces germes synthétisent la matière organique par une série de réaction métabolique complexe, le CO_2 puisé dans le milieu est utilisé pour former des oses qui peuvent être transformés selon le besoin en glucides de réserve en acides aminées, en acides nucléiques.

2-Minéralisation de la matière organique : tous les microorganismes chimioorganotrophes décomposent la matière organique qu'ils trouvent dans l'eau et le sol pour obtenir une énergie et la matière nécessaire à leurs activités et aussi participent au recyclage de la matière organique de l'écosystème dans lequel vivent et rendent les éléments nutritifs disponibles même si ces derniers se trouvent en quantité limité dans l'environnement.

3- Intervention dans les cycles biogéochimiques : on peut définir ces cycles biogéochimiques comme l'ensemble des transformations chimiques cycliques qui intéressent tous les éléments qui la constituent c'est-à-dire les composés du carbone, les substances azotées, les composés du carbone, les composés soufrés, phosphorés, etc. il s'effectue dans une petite partie seulement du volume de la planète qu'on l'appelle « biosphère », au cours desquels les éléments qui entrent dans la composition de la matière vivante sont continuellement redistribués et réutilisés.



a-Cycle de carbone : ce cycle comporte trois étapes :

- *Fixation : le CO_2 est transformé en composé organiques par les micro-organismes lithotrophes.
- *Minéralisation : les composés organiques qui sont dégradés tout de la respiration et la fermentation que réalisent les producteurs, consommateurs et décomposeurs.
- *Respiration et fermentation : libèrent le CO_2 .

Cf. "cycle de carbone vidéo"

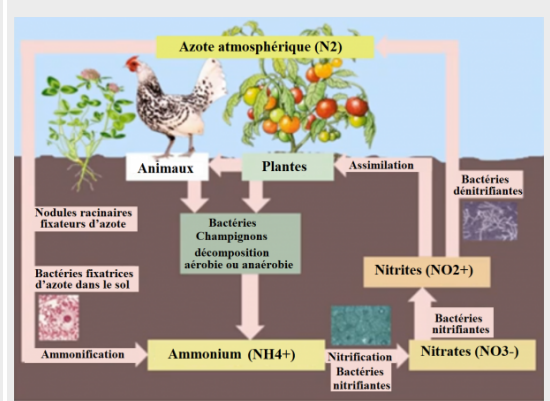
b- Cycle de l'azote : plusieurs microorganismes jouent un rôle capital dans le cycle de l'azote et interviennent dans les quatre étapes qui constituent le cycle d'azote (figure 3) :

*Fixation : l'azote de l'air (N_2 , NO, N_2O) est transformé en NH_3 qui subit une nitrification, il est converti en nitrite qui est le composé clé du cycle de l'azote. Le nitrate est soit dénitrifié par les bactéries soit assimilé par les végétaux.

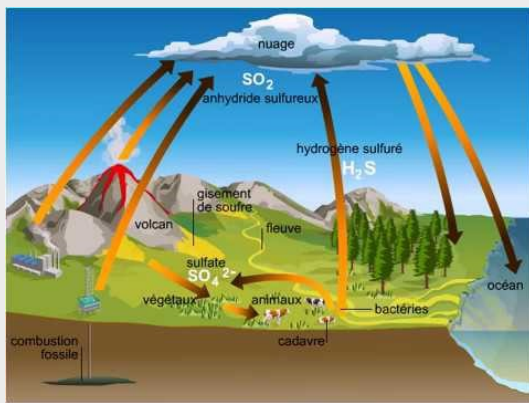
*Dénitrification : a pour but de libérer l'azote qui retourne dans l'atmosphère.

*Assimilation : conduit à la production des composés organiques azotés qui entrent dans la constitution de tous les organismes vivants. A leur mort, les producteurs et les consommateurs sont la proie des décomposeurs qui assurent l'ammonification.

*Ammonification : l'azote des composés organiques est transformé en ammoniac puis en nitrate.



Cycle de l'azote



Cycle de soufre

c- Cycle de soufre : comprenant quatre étapes essentielles :

*Assimilation : le soufre est assimilé par les plantes sous forme de sulfate. Il est immédiatement réduit ayant d'être incorporé dans les composés organiques par exemple sous forme de groupement sulfhydryle dans les acides aminés soufrés.

*Minéralisation : les constituants organiques soufrés provenant des plantes et des animaux qui se sont développés aux dépens des végétaux sont décomposés à leur mort par les micro-organismes. Cette décomposition conduit à la formation de sulfure d'hydrogène (H_2S), d'odeur nauséabonde, se dégageant fréquemment des eaux stagnantes contenant des matières organiques ou encore des eaux d'égout.

*Oxydation : l'hydrogène sulfuré résultant de cette putréfaction est dans sa presque totalité reconverti en sulfates dans la biosphère par l'intermédiaire des micro-organismes aérobies comme *T. thioxydans* ou en anaérobiose par les bactéries sulfurées pourpres ou vertes.

*Réduction intermédiaire des sulfates : le cycle de soufre est fermé au cours de l'étape précédente.

Cependant, l'hydrogène sulfuré peut être aussi formé grâce à l'activité des bactéries réductrices de sulfates du genre *Desulfovibrio*. Ces bactéries anaérobies stricts peuvent oxyder les matières organiques en utilisant les sulfates comme accepteurs d'électron.

4- Dégradation des polluants et état sanitaire : Certaines bactéries et certains champignons agissent sur les pesticides et autres polluants en les dégradant. Ils sont les seuls à pouvoir dégrader des contaminants particuliers très résistants, comme le chlordécone. Par ailleurs, des micro-organismes étant en compétition pour les habitats ou les ressources nutritives avec des pathogènes des plantes, ils peuvent contribuer, par leur présence nombreuse, à limiter leur prolifération ou leur implantation. D'autre part, certains participent aussi à la stimulation de la défense des plantes (7)*.

5-Contribution à l'équilibre des organismes supérieurs : en vivant en association étroite avec une hôte particulier, certains micro-organismes symbiotiques contribuent au fonctionnement harmonieux des organismes pluricellulaires et dans certain cas leur permettent même de survivent.

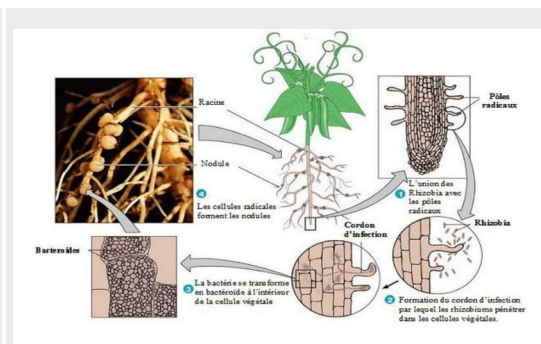
🔗 Exemple : Digestion de la cellulase :

les ruminants ne possèdent pas le gène codant pour la production de la cellulase, c'est la flore digestive constituée de milliards de bactéries commensales qui ont la faculté de pouvoir digérer la cellulose, composant principale des ribosomes (8)*.

🔗 Exemple : Fixation symbiotique de l'azote :

les Rhizobium pénètrent dans les poils absorbantes des racelles des légumineuses et induisent la formation d'un filament infectieux, ce dernier s'efforce dans les issus radiculaire profond et t'introduit les bactéries, ces bactéries stimulent la multiplication des cellules de la racine ce qui entraîne la formation des nodules dans ces structures identiques à des tumeurs. Les Rhizobium captent et fixent l'azote de l'air et le transforment en nitrate assimilable par la plante.

Les bactéries qui interviennent dans le processus de transformation de l'azote de l'air sont :Rhizobium, Azotobacter, Frankia. Ces bactéries vivent en symbiose avec les cellules des racines et induisent la formation des nodules, ces bactéries bénéficient des éléments puisés dans le sol par la plante mais leur donne en contrepartie le nitrate qu'elle doit fabriquer à partir de l'azote de l'air.



Fixation symbiotique de l'azote

pour plus de détails sur la fixation symbiotique d'azote [cliquer ici](#)

* *

*

Les rapports qui peuvent exister entre les bactéries, d'une part, et les substances organiques présentent dans la biosphère d'autre part, peuvent évoluer dans un sens favorable ou défavorable.

Les micro-organismes présents dans le sol en quantité appréciable et jouent des multiples fonctions essentielles à l'équilibre de la planète et constituent un maillant vital de tout milieu vivant, les associations symbiotiques des bactéries et des légumineuses constituent un exemple remarquable de ces effets bénéfiques.

A l'inverse, certains micro-organismes du sol peuvent jouer un rôle néfaste en parasitant les espèces végétales et en provoquant des altérations, parmi ces bactéries ; *Agrobacterium tumefaciens* est responsable de tumeurs (crown galls) bien connues horticulteurs. Les *Erwinia* produisent des nécroses, des ramollissements, des pourritures chez certaines plantes ou sur des fruits. C'est aussi le cas des champignons phytopathogènes, de virus (mosaïque du tabac).

Abréviations

μog+ : micro- organismes

org+ : organismes

PGPR : Plant Growth Promoting Rhizobacteria

Bibliographie

Benaisa Asma. Polycopie de cours de microbiologie appliquée et environnementale. 2023

DJENADI, Sihem et AIDER, Meriem. Etude bibliographique de l'effet de la pollution du sol par les hydrocarbures sur les propriétés microbiologiques du sol. Thèse de doctorat. Université Tizi-ouzou. 2020.

GOBAT, Jean-Michel, ARAGNO, Michel, et MATTHEY, Willy. Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols. PPUR Presses polytechniques, 2010.

DAVET, Pierre. Vie microbienne du sol et production végétale. Editions Quae, 1996.

SAHRAOUI, A. L. La Mycorhize à arbuscules: quels bénéfices pour l'homme et son environnement dans on contexte de développement durable?. Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie, vol. 26, p. 06-19. 2013.

ALMAGHRABI, Omar A., MASSOUD, Samia I., et ABDELMONEIM, Tamer S. Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. Saudi journal of biological sciences, vol. 20, no 1, p. 57-61.2013.

MHADHBI, Takoua. Dynamique des pesticides au sein d'un écosystème lagunaire (lagune de Bizerte, Tunisie): identification des sources de contaminations et processus de transformation des contaminants. 2019. Thèse de doctorat (Tunisie).

TAP, Julien. Impact du régime alimentaire sur la dynamique structurale et fonctionnelle du microbiote intestinal humain. Impact du régime alimentaire sur la dynamique structurale et fonctionnelle du microbiote intestinal humain, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6). 2009.