

Chapitre II : Microbiologie du sol

Le sol est constitué de roches altérées par des organismes vivants et représente. La microbiologie du sol se concentre sur l'étude des micro-organismes présents dans le sol, leurs interactions avec ce dernier et leurs fonctions.

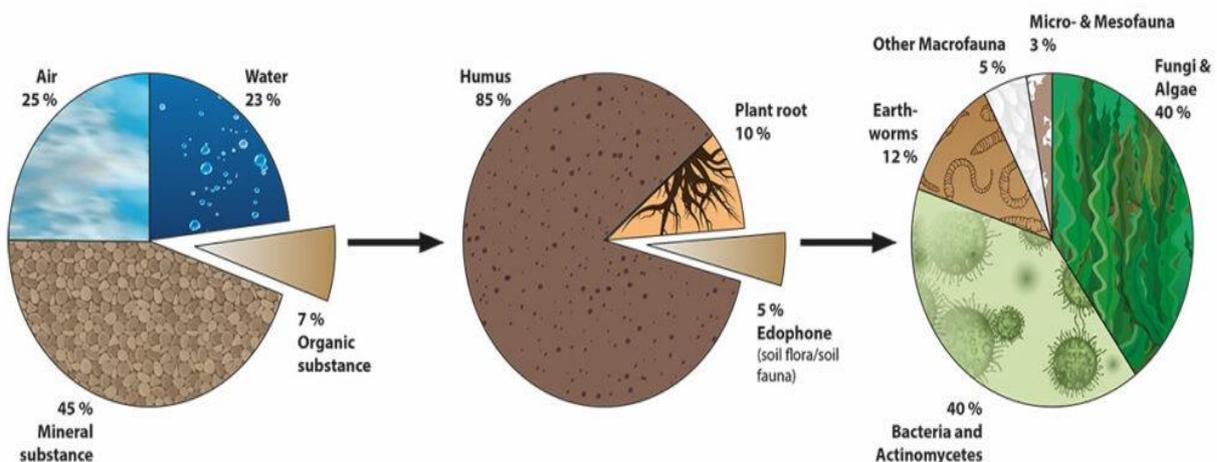
I. Spécificité du système tellurique :

Le sol est formé suite à l'intervention de plusieurs actions chimiques et physiques qui mènent à l'altération de la roche mère, celle-ci se transforme en une couche minérale superficielle riche en nutriments et en minéraux, ce qui la rend plus propice à la croissance des plantes. Avec le temps, les matières organiques provenant des débris végétaux et animaux se décomposent pour former de l'humus, qui est une substance riche en nutriments et en matière organique. Au fur et à mesure que la couche minérale superficielle s'épaissit, elle devient également plus meuble : « sol ».

Le sol est composé de :

- Particules solides : minérales (45%) et organiques (7%)
- Air
- Solutions
- Organismes vivants : édaphone (5%)

La composition minérale du sol peut varier considérablement en fonction de la région géographique, du type de roche parentale, de la topographie, de la température, de l'humidité et d'autres facteurs environnementaux.



- **La matière organique** : elle comporte des matières grossières non dégradées et des substances résultantes de la dégradation biologique de la matière organique : **l'humus**.

- **La matière minérale** : elle se compose de constituants primaires issues de la roche mère (silice, aluminium...) et d'autres secondaires résultants de la transformation chimique des constituants primaires
- **La solution du sol** : Elle se compose d'eau, des substances organiques et minérales dissoutes ainsi que des gaz. L'eau est retenue dans le sol grâce aux forces capillaires contenues dans ses agrégats. La composition chimique de la solution du sol change sous l'influence de plusieurs facteurs tels que la température et le volume d'eau diluant ou concentrant la solution. Cette eau offre des conditions favorables à la vie de divers organismes en transportant les nutriments et l'énergie le long des capillaires, les micro-organismes ont un accès constant aux nutriments et aux minéraux (monosaccharides, acides aminés, ammonium, phosphate et de potassium ...).
- **L'atmosphère du sol** : l'air remplit les espaces sans eau entre les particules solides et sature les colloïdes du sol. Il est généralement saturé de vapeur d'eau et contient 10 fois plus de CO₂ que l'air de l'atmosphère.
- Lorsque la concentration d'O₂ diminue en dessous de 1%, le métabolisme aérobie ne peut se produire, il y aura donc un passage vers le métabolisme anaérobie (réduction des sulfates, dénitrification). Les gaz présents en permanence sont : N₂, O₂ et CO₂. Les gaz transitoires sont : NH₃, H₂, CO, NO_x, SO₂, H₂S, CH₄, C₂H₆ ainsi que d'autres substances organiques volatiles (acide butyrique, alcool, esters).

II. Propriétés du sol

II.1. pH du sol

- La solution du sol est caractérisée par des propriétés tampons qui lui permettent de résister aux changements de pH
- La valeur du pH du sol dépend de sa composition chimique, et de la décomposition de la matière organique.
- Le changement du pH affecte la diversité microbienne, et le déroulement des processus microbiologiques dans le sol tel que les activités enzymatiques.
- Le pH du sol influence la solubilité et la disponibilité des nutriments. L'acidité du sol peut augmenter à la suite de pluies acides, de la fertilisation et aux activités microbiennes.

II.2. La température

L'augmentation de la température favorise la minéralisation des matières organiques ou la décomposition des résidus végétaux en augmentant la vitesse des réactions physiologiques et en accélérant la diffusion des substrats solubles dans le sol. Son augmentation peut également induire un changement dans la composition de la communauté microbienne.

II.3. La pression

Le développement des micro-organismes est influencé par la pression osmotique liée à l'humidité du sol qui augmente progressivement au fur et à mesure que le sol se dessèche. Dans les sols moyennement humides, la pression de la solution varie entre 0,5 et 5 atm. Dans les sols salés, elle peut atteindre 100 atm. La pression osmotique est plus élevée dans la solution du sol qu'à l'intérieur des cellules microbiennes (3 à 6 atm), elle ralentit leur croissance.

III. Microflore tellurique

Les micro-organismes telluriques transforment la matière organique en créant une biomasse de leurs propres cellules et en collectant des substrats essentiels pour reconstituer les réserves d'humus. Ils décomposent et minéralisent les composés organiques, ce qui fait circuler les éléments indispensables à la production végétale basée sur l'assimilation du CO₂ de l'atmosphère.

Ces microorganismes sont représentés par des protozoaires, des algues microscopiques, des champignons, des bactéries, des actinomycètes, des cyanobactéries et des virus.

- **Les bactéries** constituent la grande partie de la biomasse du sol. Il existe des bactéries autochtones qui sont les typiques pour chaque type de sol, et celles zymogènes qui ne se développent qu'après le rejet d'une grande quantité de matière organique dans le sol
- **Les actinomycètes** sont très abondants dans la matière organique dont certains participent à la fixation de l'azote atmosphérique. Leur forme hyphale facilite la colonisation des particules du sol et le déplacement vers les sources de nutriments. Leur capacité de croissance à des températures de 40-50°C leur confère un large potentiel de décomposition de diverses substances.
- **Les algues** vivent principalement dans les couches supérieures du sol (entre 0 et 10 cm)
- **Les cyanobactéries** sont productrices d'oxygène, elles utilisent l'azote minéral des nitrates, nitrites et sels ammoniacaux. Les bactéries rouges se développent en anaérobiose et en aérobie, alors que les bactéries vertes ne se développent qu'en anaérobiose_ (exemple : bassins de décantation).
- **Les champignons** se trouvent essentiellement dans les couches supérieures du sol, Ils se développent fortement dans les sols **acides**. les plus courants sont les genres *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Zygorhynchus*..

- **Les protozoaires** peuvent se développer largement dans les sols suffisamment **humides**. Ils se trouvent essentiellement dans l'horizon de surface aérobie et se nourrissent de la biomasse bactérienne.

IV. Interactions avec la faune, les eaux et les végétaux

Elles incluent les interactions des microorganismes entre eux, avec la faune, la flore et leur milieu, ces interactions peuvent être bénéfiques ou bien négatives :

Interaction « Microorganismes-Milieu »

- Les microorganismes du sol aident à la décomposition de la matière organique et à la formation de l'humus.
- Ils contribuent à la création de structures de sol comme les agrégats qui améliorent la circulation de l'eau et de l'air.
- Ils libèrent des nutriments tels que l'azote, le phosphore et le potassium, ce qui les rend disponibles pour les plantes.
- Ils peuvent aider à la dégradation des polluants tels que les hydrocarbures, les métaux lourds et les xénobiotiques synthétiques, contribuant ainsi à la décontamination des sols pollués.

Interaction « Milieu-Microorganismes »

La composition de la microflore tellurique est influencée par :

- La disponibilité d'eau
- La teneur en oxygène du sol
- La température du sol
- Le pH du milieu : certaines espèces de microorganismes préfèrent des sols acides, tandis que d'autres se développent mieux dans des sols alcalins
- L'abondance des nutriments et la présence des xénobiotiques : exemple : la teneur en azote et en phosphore qui affecte considérablement l'abondance des microorganismes du sol
- La texture du sol : elle influence la capacité du sol à retenir l'eau et les éléments nutritifs, exemple : les sols argileux peuvent avoir une capacité de rétention d'eau plus élevée que les sols sableux, ce qui peut favoriser la croissance de certaines espèces de microorganismes.

Interaction « Microorganismes-Plantes »

a. Les interactions négatives

- Les microorganismes pathogènes facultatifs peuvent vivre de manière saprophyte
- Les agents pathogènes obligatoires, ils ne peuvent se développer qu'en présence de leur plante hôte.

b. Les interactions bénéfiques : Exemple de la symbiose « Rhizobium-légumineuse »

La symbiose rhizobium-légumineuse est un exemple classique de mutualisme dans le règne végétal, où les deux partenaires bénéficient de l'association. Les plantes reçoivent de l'azote sous une forme utilisable, tandis que les bactéries bénéficient de l'environnement nutritif fourni par la plante. Cette symbiose est d'une importance cruciale pour l'amélioration de la fertilité du sol et la croissance des légumineuses

Rhizobium est un genre de bactéries fixatrices d'azote qui établissent une symbiose bénéfique avec les plantes de la famille des légumineuses (Fabaceae). Cette symbiose est appelée la symbiose rhizobium-légumineuse. Elle permet aux plantes hôtes de tirer profit de l'azote atmosphérique (N_2) sous forme de nitrate (NO_3^-) que les bactéries peuvent convertir en ammonium (NH_4^+), une forme d'azote assimilable par les plantes. Cette association est cruciale car l'azote est un élément essentiel pour la croissance des plantes, mais la plupart des plantes ne peuvent pas utiliser directement l'azote atmosphérique.

Voici comment se déroule la symbiose rhizobium-légumineuse de manière scientifique :

1. Reconnaissance et infection :

- Les bactéries Rhizobium colonisent les racines des légumineuses, attirées par les composés émis par les racines des plantes.
- Les poils absorbants des racines libèrent des composés chimiques appelés flavonoïdes qui agissent comme des signaux pour attirer les Rhizobium.
- En réponse aux flavonoïdes, les Rhizobium produisent des molécules appelées nod-facteurs, qui sont des signaux spécifiques reconnus par les plantes hôtes.

2. Formation de nodules racinaires :

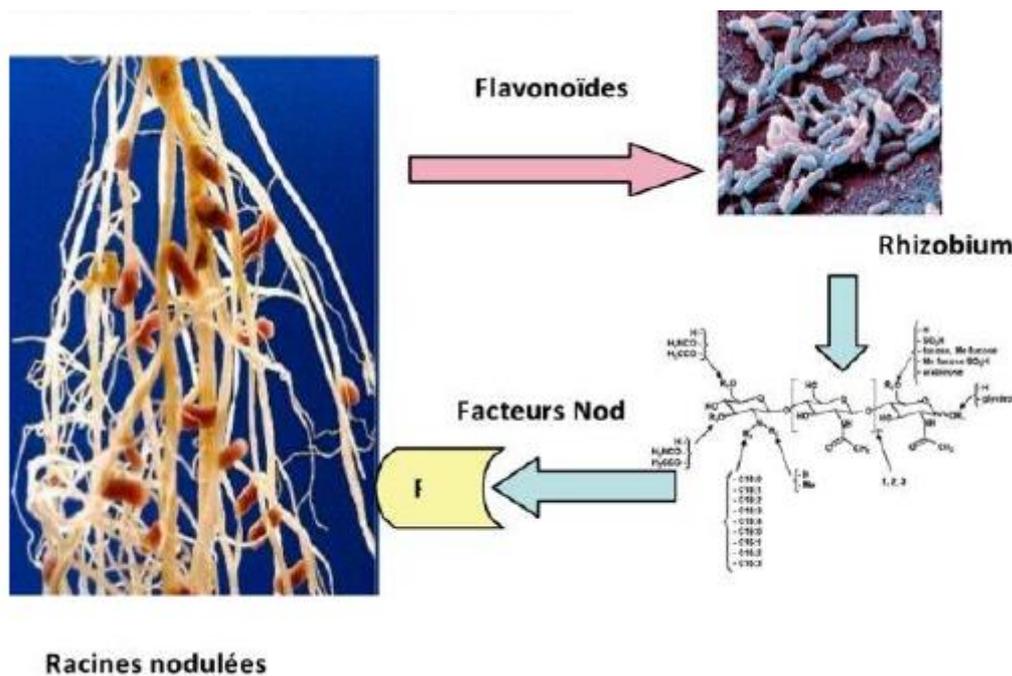
- Les nod-facteurs induisent des changements morphologiques dans les racines de la plante, conduisant à la formation de structures nodulaires.
- Les bactéries Rhizobium pénètrent dans ces nodules et établissent une relation symbiotique à l'intérieur des cellules de la plante hôte.

3. Fixation de l'azote :

- À l'intérieur des nodules, les bactéries Rhizobium fixent l'azote atmosphérique en utilisant une enzyme appelée nitrogenase.
- L'azote fixé est converti en ammonium, qui est alors fourni à la plante sous une forme assimilable.

4. Apport de nutriments :

- Les plantes fournissent aux bactéries des nutriments tels que des sucres provenant de la photosynthèse, créant ainsi une relation mutualiste.



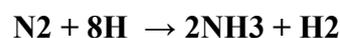
V. Cycle de l'azote

L'azote se trouve sous plusieurs formes dans le sol : NO_3 , NO_2 , NH_4^+ , N_2 ...etc. La transformation de l'azote d'une forme à une autre est assurée par les microorganismes

V.1. Fixation de l'azote :

L'azote atmosphérique N_2 est la forme la plus répandue de l'azote sur terre

Quelques bactéries et archées peuvent l'utiliser grâce à leur « Nitrogénase » (complexe de la dinitrogénase et la dinitrogénase réductase) en formant l'ammoniac (gaz) :



L'azote atmosphérique peut être fixé par :

- Les bactéries libres dans le sol : Azotobacter, Cyanobactéries.
- Les bactéries en association symbiotiques : *Rhizobium* qui induisent les légumineuses à former des nodules racinaires dans lesquels ils prolifèrent et secrètent l'azote.

V.2. Ammonification :

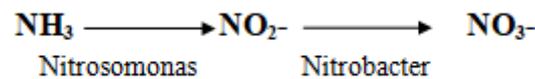
L'ammoniac (NH₃) est libéré suite à la décomposition des matières organiques (Acides aminés, nucléotides..) : c'est l'ammonification.

- Dans un sol sec, le NH₃ s'échappe
- Dans un sol humide, il y a formation de NH₄⁺ :



V.3. Nitrification :

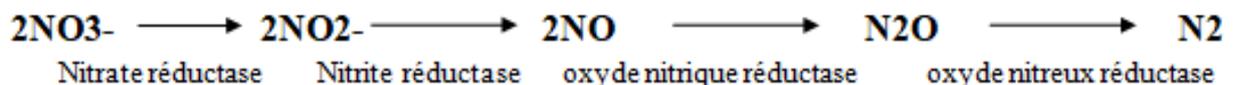
C'est l'oxydation microbienne de l'ammoniac en NO₂⁻ et NO₃⁻



En anaérobie, les microorganismes anammox (*Brocadia*, *Kuenenia*, *Scalindua*, *Anammoxoglobus* et *Jettenia*..) oxydent le NH₃ en N₂. Ça se produit généralement dans les eaux usées, les bassins de décantation et les sédiments.

V.4. Dénitrification :

C'est la réduction du nitrate en azote gazeux (NO, N₂O, N₂), ce qui assure la fermeture du cycle et le retour de l'azote à l'atmosphère.



Ces enzymes sont inhibés par l'oxygène, ce processus se produit alors dans les sols engorgés d'eau

Les microorganismes dénitrifiants du sol sont ; *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Agrobacterium* et *Flavobacterium*