

Chapitre 2 : Influence du sol sur la microflore tellurique

Les facteurs édaphiques (du sol) ont une grande influence sur la répartition, la diversité et l'activité de la microflore tellurique.

Ces facteurs sont d'ordre physique, chimique ou biologique (voir chapitre 3)

1. Facteurs énergétiques

□ **Le sol** est un environnement qui reçoit son énergie sous forme de :

➤ Substrats énergétiques **organiques**

Les sources sont essentiellement des plantes vertes photosynthétiques par l'apport des débris végétaux (litière, exsudats racinaires) et des animaux (cadavres, déjections).

➤ Substrats énergétiques **minéraux**

Il s'agit de composés minéraux libérés lors du processus de minéralisation ou libérés directement de la roche mère. Ils sont à l'origine de la totalité de l'énergie transmise aux microorganismes.

a- Les substrats énergétiques organiques (S.E.O)

❖ La plupart des micro-organismes du sol utilisent la matière organique comme source d'énergie (Chimiohétérotrophes et Chimioorganotrophes).

❖ Deux classes de S.E.O:

➤ La matière organique fraîche : Débris végétaux, déjections et les cadavres animaux, facilement métabolisables par les microorganismes chimioorganotrophes.

➤ Les substances humiques : Ils sont difficilement métabolisables

b- Les substrats énergétiques minéraux (S.E.M)

❖ Le nombre de microorganismes utilisant les S.E.M via les réactions d'oxydation des substrats minéraux (composés inorganiques) est très limité :

➤ Les chimioautotrophes utilisant le CO_2 ou carbonate CaCO_3 comme source de Carbone.

➤ Les chimiolithotrophes :

- Les bactéries nitrifiantes : utilisant de composés azotés réduits (nitrites et nitrates).
- Les bactéries sulfoxydantes: utilisant de composés soufrés réduits.
- Les ferrobactéries: utilisant du fer ferreux
- Les bactéries hydrogène-oxydantes: utilisant l'hydrogène gazeux (H_2).

2. L'eau

- C'est un élément indispensable à la vie des microorganismes. Il permet le transport des substances hydrosolubles verticalement et latéralement dans le sol (AA + hydrates de carbone issus de la litière).
- Transport de microorganismes et de spores flagellées de certains microorganismes.
- La plupart des microorganismes tolèrent un potentiel hydrique jusqu'à 400 bars (sol très desséché). Alors que la plupart des plantes ne dépassent pas 15 bars (point de flétrissement permanent des plantes)
- Le potentiel hydrique = succion augmente lorsque le sol se dessèche. Il est lié aux forces de rétention suivantes :
 - ❖ Forces osmotiques: résultant de la présence dans l'eau de substances dissoutes.
 - ❖ forces matricielles: résultant de l'attraction des molécules d'eau sur les particules solides.
 - ❖ Il y a 2 types de sol :

↳ **Sol à forte humidité** = sol submergé = sol hydromorphe

- ❖ Teneur en O₂ est faible ; par conséquent le potentiel d'oxydoréduction est faible
- ❖ Type d'activité présente :



Exemple : une rizière présente un horizon supérieur caractérisé par des processus aérobie et un horizon inférieur caractérisé par des processus anaérobies.

❖ **Aérobie** :

Dans l'horizon Supérieur où les échanges gazeux sont permis, la **microflore aquatique** (algues), les **bactéries nitrifiantes** et les **fixateurs d'azote moléculaire** atmosphérique sont favorisés.

❖ **Aérobie modérée** :

Les bactéries **dénitrifiantes** sont favorisées, défavorables aux champignons et aux fixateurs aérobie d'azotes atmosphérique (*Rhizobium*).

❖ **Anaérobie stricte** :

Potentiel d'oxydoréduction du sol est très faible (peut atteindre 0 mV) favorable aux **bactéries sulfato-réductrices** (formation d'hydrogène sulfuré à partir de sulfates_ cycle du soufre).

↳ **Sol à faible humidité**

- ❖ Succion est forte entre 4 à 400 bars (400 bars = point limite).
- ❖ Au-delà de 15 bars seuls les actinomycètes et les champignons qui résistent. Les autres bactéries sont plus exigeantes en eau (*Azotobacter*, les **bactéries nitrifiantes** = arrêt de l'activité à 15 bars).

- ❖ Les **ammonifiants** (parmi eux des champignons) sont plus tolérants que les nitrifiants.
- ❖ Dans les sols en cours de dessèchement s'observe une accumulation d'azote ammoniacal (NH_4^+).

3 La température

La température du sol est directement liée aux températures optimales de la croissance et de l'activité biosynthétique des microorganismes qui varient selon les espèces :

- Les microorganismes **mésophiles** : $25 < T^{\circ}\text{opt} < 45$ °C, ne peuvent pas se développer au-dessous de 25°C et au-dessus de 45°C.
- Les micro-organismes **psychrophiles** : $T^{\circ}\text{opt} < 20$ °C.
- Les micro-organismes **thermophiles**: $45 < T^{\circ}\text{opt} < 65$ °C.

Exemple :

Lorsque les T° sont faibles $< 5^{\circ}\text{C}$, s'accumule dans le sol de l'azote ammoniacal (NH_4^+) du fait que les bactéries **ammonifiantes** sont actives alors que les bactéries **nitrifiantes** (plus exigeantes en T°) sont en état de repos.

4. Les éléments chimiques

- Le sol est formé de :
 - **Phase solide** : particules (sable, limon, argile) qui déterminent la porosité du sol.
 - **Phase gazeuse** : espaces libres occupés par les gaz constituant l'atmosphère du sol
 - **Phase liquide** : l'eau
- En plus de la phase gazeuse, les gaz sont aussi dissous dans la phase liquide ou adsorbés à la phase solide

a- L'oxygène

- Les teneurs en O_2 dans le sol (20%) sont nettement plus faibles que dans l'atmosphère.
- Les microorganismes **aérobies stricts** : L' O_2 est **indispensable** car représente l'accepteur final des électrons de la chaîne respiratoire
- Les microorganismes **aérobies facultatifs** : Se développent en présence ou en absence de l' O_2
- Les microorganismes **anaérobies stricts** : Inhibés par l' O_2 même à faibles concentrations
- Les microorganismes **microaérophiles** = micro-organismes **aérobies stricts** dont la croissance est favorisée à de faibles concentrations en O_2
- Lorsque le taux d' O_2 baisse dans des sols mal aérés, ce sont les bactéries des groupes **anaérobies stricts** et **microaérophiles** qui l'emportent.
- Exemple :

- La nitrification : Processus aérobie qui nécessite un taux élevé en oxygène (sol bien aérés, de texture lâche et non submergés)
- La dénitrification : Processus anaérobie se réalise lorsque le taux en oxygène est faible (inférieur à 7% jusqu'à 2 %)
- Lorsque le taux d'oxygène est nul commence l'activité des bactéries sulfato-réductrices
- Les bactéries fixatrices d'azote atmosphériques N_2 , aérobies ont une activité maximale à des taux d' O_2 faibles (2 à 3 % pour *Azobacter*)

b- CO_2

- Les teneurs en CO_2 dans le sol (0.3 à 0.5 %) sont nettement plus importantes (10 à 50 fois) que dans atmosphère (0.03%)
- Certains microorganismes sont favorisés par des teneurs élevées en CO_2 : *Fusarium* (champignon phytopathogène)
- D'autres sont inhibés par le CO_2 : *Sclerotinia minor* (champignon phytopathogène)

c- La salinité

- Le sol contient des ions tels que Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , SO_4^{--} , Cl^- .

Une teneur élevée en ions est défavorable du fait de la pression osmotique engendrée.

- La nitrification est très sensible alors que la sulfato-réduction est favorisé surtout lorsqu'au le sol est riche en sulfates.

d- pH

- Microorganismes indifférents (plusieurs champignons)
- Microorganismes neutrophiles (*Azobacter*, *Nitrobacter*)
- Microorganismes acidophiles (*Thiobacillus* : bactéries sulfoxydantes).

e- les colloïdes argileux

Ce sont des agrégats de tailles variables permettant les phénomènes suivants :

- ✓ Adsorption des composés organiques par : des liaisons de Van de Waals et par des liaisons chimiques, de ce fait, la matière organique complexée à l'argile (complexe organo-minéraux) est moins disponible et plus résistante à la dégradation par les microorganismes.
- ✓ Adhésion des microorganismes.
- ✓ Abaissement du pH au voisinage des particules argileuses : les particules argileuses chargées négativement attirent les H^+ . Au voisinage des particules, le pH est plus acide.

Le pouvoir tampon : les fluctuations du pH sont atténuées par les particules argileuses, permet de maintenir l'activité microbienne.

Chapitre 3 : Les interactions microbiennes au niveau du sol

I. Introduction

Les microorganismes telluriques sont susceptibles d'interagir entre eux et avec d'autres organismes au niveau du sol. Ces interactions revêtent plusieurs aspects et permettent essentiellement un rôle **régulateur** de la densité des organismes au niveau du sol en prévenant que certains organismes se multiplient sans cesse et sans contrôle en profitant des conditions écologiques favorables à leur développement.

Exemple : le développement de microorganismes non pathogènes peut limiter celui de microorganismes pathogènes aux plantes.

Les interactions sont de divers types (positifs ou négatifs) :

- Microbe-microbe
- Microbe-végétal
- Microbe-animal

II. Interactions négatives

1-compétition

Lorsque deux organismes vivant dans un même milieu présentent une demande d'une source d'énergie et de nutriment dont la disponibilité est limitée (FE Clarck, 1965).

- ✓ Au niveau du sol, la compétition se fait essentiellement pour le substrat (source de nutriments) qui est généralement limitant (insuffisant pour tous les microorganismes) mais aussi pour l'eau et l'espace.

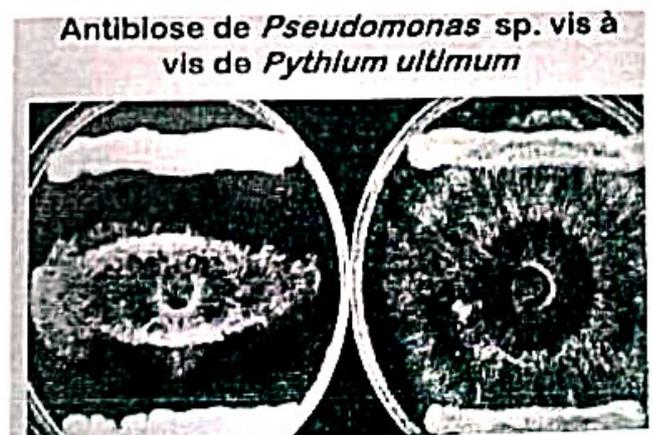
□ Exemple : Compétition pour l'O₂ :

- ✓ Si le sol est inondé (pauvre en O₂, asphyxiant), la compétition tend à favoriser les microorganismes aérobies facultatifs ? et les microaérophiles ? et les anaérobies aux dépens d'aérobies strictes.

2-Antagonisme

L'antagonisme est un phénomène où un microorganisme inhibe ou limite la multiplication ou le développement d'un autre microorganisme par production de métabolites biochimiques

- ❖ Lorsque l'antagonisme se fait par le biais d'antibiotiques, il est appelé **antibiose**.
- ❖ Les bactéries productrices d'antibiotiques sont :
 - ✓ *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* (actinomycètes)...
- ❖ Les champignons producteurs d'antibiotiques :
 - ✓ *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Fusarium*...



D'autres substances permettent l'antagonisme :

- ✓ Acides organiques peuvent inhiber la croissance des champignons dans les sols acides
- ✓ Le CO_2 produit par la respiration peut inhiber le développement de certains microorganismes : *Sclerotinia minor* (champignon phytopathogène).

Les bactéries ammonifiantes :

- ✓ produisent l'ammonium= NH_4^+ lors du processus de la minéralisation à partir de la matière organique par désamination des AA des protéines contenus dans cette matière organique.
- ✓ inhibent la croissance de la bactérie nitrique *Nitrobacter* dans certains sol (*Nitrobacter* : nitrite $\text{NO}_2^- \rightarrow$ nitrate NO_3^-) et le nitrite NO_2^- accumulé par conséquent peut nuire à d'autres bactéries et même les plantes.

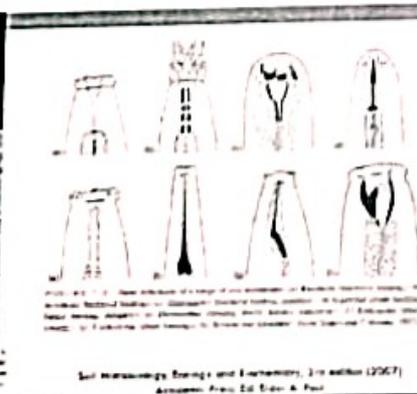
3-Prédation

Un organisme est consommé par un autre comme source d'énergie et de nutriments nécessaires à sa biosynthèse

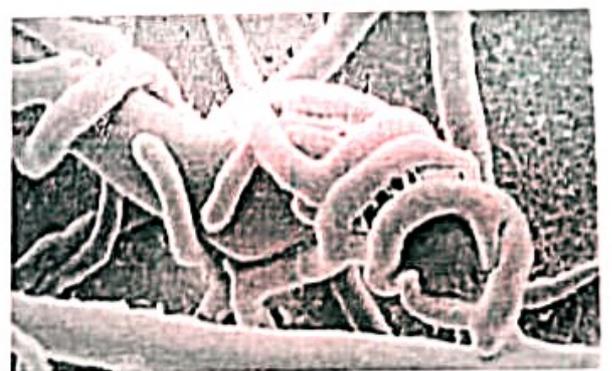
Exemples :

- ✓ Les protozoaires peuvent phagocyter des particules et mêmes des organismes entiers (cellules entières).
- ✓ Les champignons prédateurs de nématodes : l'amas de filaments forme un piège pour les nématodes, le filet d'hyphes collants engluie les nématodes qui seront pénétrés par les hyphes trophiques.
- ✓ Un autre dispositif est la formation de nœuds qui gonflent autour du nématode et l'étranglent (*Arthrobotrys*, *Dactylella*, *Dactylaria*).

Aperçu: nématodes (long.=80 μm -8m!)



Trichoderma en action



4-Parasitisme

Un organisme obtient les sources d'énergie et de nutriments d'un autre organisme. Un parasite vit soit dans l'organisme hôte ou sur l'organisme hôte. L'hôte est ainsi à la fois un habitat et un substrat au parasite.

Exemples :

- ❖ Mycoparasitisme = champignons parasites d'autres champignons.
- ❖ Bactéries parasites des champignons par des enzymes lytiques :

Bdellovibrio: Un vibron de très petite taille, après son attachement à la surface de l'hôte, il pénètre et se multiplie entre la paroi et la membrane cellulaire. Cette bactérie permet le contrôle de la densité des hôtes.

III. Interactions positives

1-Commensalisme

Les organismes établissent une association où uniquement un seul organisme bénéficie alors que l'autre n'est pas affecté

Exemple :

- Les premiers microbes qui colonisent le débris végétal (colonisateurs premiers = pionniers) décomposent la matière organique complexe végétale (cellulose) et libèrent des substances plus simples favorisant la colonisation d'autres matières organiques (colonisateurs secondaires).
- La multiplication de la majorité des bactéries telluriques dépend des exsudats racinaires, d'où leur densité au niveau de la rhizosphère est importante par rapport à celle du sol extrarhizosphérique
- Généralement les cycles du C, d'N, ou de S font intervenir des microorganismes qui libèrent des substances permettant à d'autres de boucler le cycle :
- Les **bactéries ammonifiantes** libèrent NH_4^+ à partir des AA qui sert à l'activité des bactéries nitrifiantes :
 - **Nitrosomonas** (Nitrosation : Ammonium $\text{NH}_4^+ \rightarrow$ Nitrite NO_2^-).
 - Le NO_2^- fournit par les bactéries nitrifiantes (transformation de l'ammonium NH_4^+ en nitrite NO_2^-) sert à l'activité des bactéries nitrifiantes **Nitrobacter** (nitratation : transformation du nitrite $\text{NO}_2^- \rightarrow$ Nitrate NO_3^-).
 - Les bactéries aérobies réduisent le taux d' O_2 au niveau du sol permettant à des bactéries anaérobies strictes tel que *Clostridium* de se multiplier dans le sol.

2-Mutualisme=Coopération

C'est le phénomène inverse de la compétition : deux organismes sont coopératifs et complémentaires et les deux bénéficient de cette coopération.

- Les cas de mutualismes les plus connus sont ceux qui associent les microorganismes aux plantes :
- On parle du **protomutualisme** quand l'association n'est pas obligatoire.

Exemple :

- Les bactéries **Azobacter** sont des fixateurs libres d'N et nécessitent de simples composés organiques (sucres simples) comme substrat.
 - Les bactéries décomposeurs des composés complexes tels que la cellulose peuvent fournir de tels sucres simples à **Azobacter**.
 - **Azobacter** fournit à son tour de l'azote à ces bactéries décomposeurs de cellulose.
- ✓ On parle du **Mutualisme au sens strict** lorsque l'association est intime et obligatoire pour les deux organismes au point qu'il est difficile de distinguer les 2 partenaires.

Exemple:

- Les lichens (association entre champignonnes et algues)
- Les nodules et les mycorhizes
- L'association entre champignons et algues (lichens) est très répandue (17000 espèces) dont la majorité sont formés d'une seule algue et d'un seul champignon.
- Les algues : ce sont généralement des algues vertes (chlorophycées) ou bleu-vertes (cyanophycées ou cyanobactéries).
- Les champignons sont des Ascomycètes.
- On les rencontre partout, sur les pierres, le sol, les arbres ou les rochers.