

ETUDE BIOLOGIQUE DU SOL

I / Les êtres vivants du sol

La population du sol est :

- **nombreuse** : bien que très variable d'un sol à l'autre, le poids de matière vivante à l'hectare est environ de 2,5 tonnes.
- **variée** : il y a une grande diversité d'espèces, de tailles et de modes de nutrition.
- **en équilibre** : vivant en communauté, ces être vivants sont tantôt en concurrence, tantôt en association et sont très sensibles aux conditions du milieu.

A- La faune du sol

A-1- Sa composition

La faune du sol peut être classée en deux sous-groupes :

- **la macro-faune** : elle est constituée par des animaux mesurant plus de 2 mm.
 - mammifère, rongeur et insectivore
 - vers de terre
 - arthropodes (insectes, arachnides et myriapodes)
 - mollusques (escargots, limaces)
- **la micro-faune** : elle est constituée par des animaux mesurant moins de 2 mm.
 - nématodes
 - rotifères et tardigrades
 - protozoaires

A-2- Son rôle

Le rôle de la faune dans le sol est triple :

- **une action sur l'état physique du sol :**

- création de galeries, aération, drainage,
- fragmentation de la matière organique
- brassage énergétique de ces fragments
- malaxage et transport des matières organiques dans tout le profil du sol, : formation d'agrégats stables et amélioration de la porosité, donc de la structure et de la stabilité structurale du sol (par le biais de la fabrication d'humus).

- **une action chimique :**

- lutte contre le lessivage en remontant les éléments minéraux lessivés hors d'atteinte des racines, et enrichissement en minéraux assimilables. Leurs déjections sont considérablement plus riches en potassium, phosphore et magnésium assimilables.
- amélioration de l'assimilabilité des éléments minéraux grâce à cette pré-digestion notamment par les vers de terre.
- mobilisation sous forme organique d'une partie des éléments minéraux présents dans le sol.

- **une action biologique :**

- stimulation de la flore microbienne du sol avec une sélection et un rajeunissement permanents des souches les mieux adaptées.
- limitation d'invasions extérieures par des parasites.

B- La flore du sol

B-1- Composition et classement

On retrouve dans cette flore :

- **les algues** : leur chlorophylle les rend autotrophes. Elles vivent dans les deux premiers centimètres du sol.
- **les champignons** : 1000 à 1500 kg/ha. Ce sont des êtres hétérotrophes.

- **les actinomycètes** : ce sont des êtres unicellulaires ramifiés comme les moisissures.

- **les bactéries** : on en trouve de quelques kg à plusieurs tonnes à l'hectare.

On peut les classer :

- en fonction de leur milieu de vie :

- **aérobies** : ont besoin d'air pour vivre

- **anaérobies** : vivent sans air

B-2- Les facteurs favorisant la flore du sol :

- l'aération : la plupart des micro-organismes utiles ont besoin d'air, donc ils sont aérobies.

- l'humidité (même niveau pour les racines que pour les micro-organismes)
Elle doit être en moyenne de 18 à 20 %.

- la température :

- activité nulle à 0°C

- moyenne à 10 - 15°C

- optimale à 30°C.

- le pH (optimum de 6 à 7.5) : voisin de la neutralité. Si trop acide : destruction de la flore.

- la présence de calcium échangeable (pour neutraliser les acides organiques formés lors de l'activité microbienne)

- la quantité de matières organiques : un apport stimule la flore du sol mais une quantité élevée peut-être un signe de mauvaise la décomposition.

- la présence de la faune.

Enfin, le mode d'exploitation peut plus ou moins favoriser l'activité de la flore (et de la faune) du sol . Par exemple des apports d'engrais ou d'amendements auront un effet bénéfique alors que le tassement lié à des interventions en conditions

humides et l'emploi de pesticides (en particulier s'il s'agit de produits de désinfection du sol) auront un effet dépressif.

II/ Les grandes fonctions de l'activité biologique du sol

A. Transformation des matières organiques

Dans un premier temps, les matières organiques arrivant au sol (« matières organiques fraîches » provenant d'apports de fumier par exemple et de débris végétaux ou animaux) subissent, au contact du sol, une série de transformations rapides : minéralisation primaire et humification.

Dans un deuxième temps, commence très lentement la minéralisation secondaire (de l'ordre de 1,5 à 2% par an selon le type de sol). Celle-ci concerne l'humus formé lors de l'étape précédente.

A-1 La décomposition des matières organiques jeunes ou minéralisation primaire

Elle s'effectue de la manière suivante :

- décomposition des sucres et de l'amidon : attaqués les premiers, ils sont une source d'énergie très accessible aux micro-organismes.
- décomposition de la **cellulose** : la cellulolyse
- décomposition de la **lignine** : la lignolyse
- décomposition des **lipides** : (phase la plus difficile)

- la **protéolyse** transforme les grosses molécules de protéines en acides aminés (qui sont les constituants de base des protéines), puis en urée

Protéine → Acides aminés → Urée

- l'**ammonisation** transforme cette urée en ammoniac

Urée → Ammoniac

- la **nitrification** transforme l'ammoniac en ion nitrate en deux étapes : la nitrosation (par les bactéries nitrosomonas) et la nitratisation (par les bactéries nitrobacter).

Ammoniac → Nitrates

A-2 L'humification et la minéralisation secondaire

L'humification est un ensemble de synthèses faisant suite à la décomposition des matières organiques fraîches.

C'est un ensemble de synthèses, de restructurations qui aboutissent à l'édification de molécules complexes : **l'humus stable**.

La synthèse et la minéralisation de l'humus : les coefficients K1 et K2

Le stock d'humus que l'on a dans un sol varie dans le temps.

Chaque année, le stock d'humus d'un hectare de terre est l'objet d'entrées et de sorties :

- **entrées** : C'est ce que l'on apporte en matières organiques .En effet, un certain tonnage de matière est apporté au sol (résidus de cultures, racines, fumiers, composts, engrais organiques). Un pourcentage de cette matière est transformé en humus.

- **sorties** : une partie des stocks d'humus est minéralisée chaque année. Cette minéralisation dite secondaire s'ajoute à la minéralisation primaire des matières organiques jeunes.

Pour que le stock d'humus reste à peu près égal, il faut donc que les entrées compensent les sorties.

Il est donc intéressant de connaître pour un sol :

- quel pourcentage du tonnage de matière organique apportée au sol est transformé en humus. On appelle ce pourcentage le **coefficient isohumique K1 représentant les entrées**.
- quel pourcentage du stock d'humus stable est minéralisé par an. On appelle ce pourcentage le **coefficient de minéralisation de l'humus K2 représentant les sorties**.

Le coefficient isohumique K1 dépend :

- **de la nature de la matière sèche enfouie** : plus la matière sèche est riche en glucides complexes (lignine), c'est à dire que le rapport entre carbone et azote (C/N) est élevé, plus le rendement en humus par rapport à la matière sèche apportée sera élevé (formation d'une quantité importante d'humus). Plus elle est riche en sucres solubles et en matières azotées (C/N faible), plus elle est rapidement minéralisée et moins elle donne d'humus. Dans ce dernier cas le K1 est faible.
- **du sol** : dans les sols riches en calcaire actif, la minéralisation primaire est accrue, si bien que le rendement en humus est plus faible.
- **de l'état biologique du sol (faune et flore)**.

Le coefficient de minéralisation K2 dépend :

- **du type de sol** : de 2,5% par an en sol sableux, il descend à 1,5% par an en sol limoneux et à 1% par an en sol argileux. Et si le sol est calcaire, il chute davantage et tombe à 0,5% par an. **Plus il y a de sable, plus la minéralisation annuelle est importante. Donc, plus il y a d'argile, moins la minéralisation est rapide.**
- **de l'intensité de la culture** : plus le sol est travaillé, donc aéré, plus il reçoit des apports activateurs, plus la minéralisation de l'humus tend à augmenter.

Rappel1— les propriétés colloïdales de l'humus

L'observation du comportement d'une solution de sol humifère, en suspension dans de l'eau, montre que l'humus a les propriétés d'un colloïde (corps chimique capable de prendre l'état colloïdal, c'est-à-dire l'apparence de la colle ou de la gelée, lorsque ses molécules dispersées dans un solvant se regroupent en micelles portant des charges électriques de même signe).

l'humus est un colloïde électronégatif

Il ne peut être flocculé que par des cations bivalents : Ca^{++} et à moindre effet Mg^{++} . Le nombre de charges négatives à la périphérie étant très important, il faut 4 à 5 fois plus de cations pour le saturer qu'avec l'argile (¹).

l'humus est un colloïde hydrophile

L'humus peut retenir jusqu'à 15 fois son poids d'eau. Toutefois, cette eau est plus énergiquement retenue que par l'argile.

Pour en savoir plus sur l'humus :

<http://www.u-picardie.fr/~beaucham/mst/humus.htm>

Rappel2— les associations organo-minérales

Les complexes organo-minéraux jouent un rôle fondamental dans la fertilité des sols, par leurs fonctions dans l'édification des structures, dans la mise en réserve et la libération des éléments nutritifs.

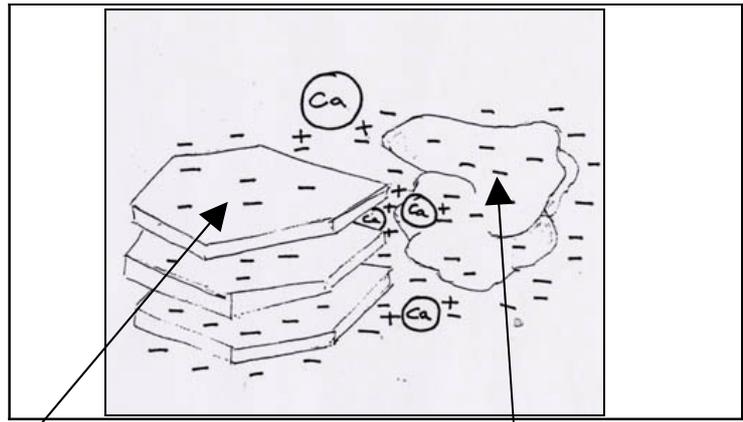
Le complexe argilo-humique

L'argile peut se lier à l'humus pour former le complexe argilo-humique (C.A.H.) appelé aussi "complexe adsorbant". Les micelles d'humus forment alors une enveloppe protégeant l'argile des effets dispersants d'une trop forte humidité.

L'argile et l'humus étant tous deux des colloïdes électronégatifs, ils ont tendance à se repousser l'un l'autre. La liaison entre les deux est due à 2 procédés :

↳ la liaison par "pont calcique" :

les ions Ca^{++} agissent comme une sorte de double crochet; cette liaison est particulièrement énergique et explique la forte stabilité des structures formées en sols calcaires et humifères

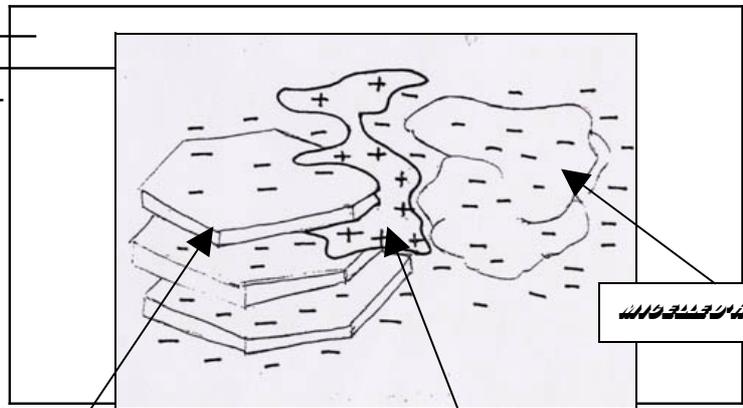


FEUILLES D'ARGILE

HUMUS

↳ la liaison par l'intermédiaire des hydroxydes de fer et d'alumine :

si cette liaison est moins forte que la précédente, elle reste cependant particulièrement efficace.



FEUILLES D'ARGILE

HYDROXYDE DE FER

HUMUS

Les propriétés des substances humiques confèrent à la fraction organique du sol des qualités intervenant dans la formation d'agrégats. Les substances organiques jouent ainsi un rôle essentiel dans l'édification de la structure du sol et dans les conséquences qui en résultent sur le végétal (perméabilité, teneur en eau, aération).

Les matières organiques sont une source d'éléments nutritifs pour la plante, grâce au processus de minéralisation; deux caractères essentiels caractérisent ce processus :

- sa continuité, par opposition à l'irrégularité des apports nutritifs par les engrais
- son rythme, la période de minéralisation coïncidant avec les besoins importants des plantes.

Les M.O. sont également une réserve énergétique pour les micro-organismes du sol..

B. Les associations nutritives avec la plante

Certaines bactéries participent à la nutrition des plantes en leur fournissant des éléments minéraux sous forme facilement assimilable :

B-1 La symbiose Rhizobium - légumineuse

Les rhizobiums sont des bactéries du sols qui vivent en **symbiose** avec les légumineuses. La symbiose désigne un type d'association pour lequel le bénéfice est réciproque. Dans le cas des rhizobiums et des légumineuses :

- les rhizobiums prélèvent sur les légumineuses de l'énergie (sucres) dont ils ont besoin ;
- les rhizobiums fournissent aux légumineuses des molécules azotées synthétisées à partir de l'azote de l'air. Ils fournissent aussi des phytohormones stimulant la croissance des plantes.

La symbiose s'effectue à l'intérieur des nodosités se trouvant sur les racines des légumineuses (pois, haricot, trèfle, luzerne, soja,...).

L'établissement et l'entretien de la symbiose légumineuse-Rhizobium exige des conditions :

- le rhizobium **spécifique** de la légumineuse cultivée doit être présent : celui du haricot va être inactif sur la luzerne ou sur le trèfle. L'inoculation peut être nécessaire dans les terres n'ayant jamais porté de légumineuses.
- le sol ne doit **pas être trop acide**. Le pH ne doit pas descendre en dessous de 6 si possible.

B-2 Les azotobacters et les clostridium

Ces bactéries du sol présentent également la particularité de fixer l'azote atmosphérique.

- les **Azotobacter** en milieu aérobie jouent un rôle très important. la fourniture annuelle d'azote par les Azotobacter peut largement dépasser 10 à 15 U d'azote par ha.

- les **Clostridium** sont surtout présents en milieu anaérobie (elles sont responsables des fermentations butyriques des mauvais ensilages) ;

B-3 Les bactéries associées de la rhizosphère

La rhizosphère désigne l'environnement de la racine.

Les bactéries qui y vivent semblent participer de façon étroite à la nutrition et à la protection des plantes.

Le mécanisme des échanges nutritifs entre les racines et la microflore rhizosphérique serait le suivant :

Quand la plante pousse, elle produit des substances racinaires, qui favorisent le développement de certains microbes. En retour, ces microbes participent à l'alimentation de la plante en solubilisant certains minéraux à proximité des racines.

B-4 L'association plante (arbre) - Actinomycète

Les bactéries ne sont pas les seules à pouvoir vivre en association bénéfique avec les plantes. Les arbres développent également des symbioses nutritives avec certains champignons.

B-5 Comment stimuler les associations bénéfiques ?

Certains facteurs du mode d'exploitation des sols favorisent les associations bénéfiques. On peut, par exemple citer :

- les rotations faisant intervenir des cultures de légumineuses,
- l'entretien de la richesse organique des sols (apports réguliers),
- le maintien d' une structure aérée par les techniques appropriées de travail du sol,
- le maintien d' un pH proche de la neutralité,
- des apports modérés d'engrais, avec une préférence donnée aux formes organiques.
- la limitation de l'emploi des herbicides, fongicides et insecticides de synthèse, dont l'action perturbatrice sur les bactéries de la rhizosphère peut persister même à des dilutions très élevées.

C. La réorganisation microbienne de l'azote nitrique

Les nitrates formés pendant l'été et l'automne, risquent d'être lessivés par les pluies de l'hiver.

Certaines bactéries sont capables de protéger ces nitrates en les consommant et en les transformant en azote organique.

Au printemps suivant, cet azote organique sera facilement minéralisé à la mort des microbes et donc mis à la disposition des plantes.

D. La dénitrification

Dans les sols froids et humides, des microbes anaérobies peuvent réduire les nitrates en nitrites, puis en sels ammoniacaux et enfin en azote gazeux perdu dans l'atmosphère.

La dénitrification conduit donc à une perte d'azote .