



Université Internationale
de Casablanca

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Cours Environnement et Ecologie Le Sol et son Environnement

Année universitaire 2018

1

Chap. Le Sol et son environnement

□ Définition

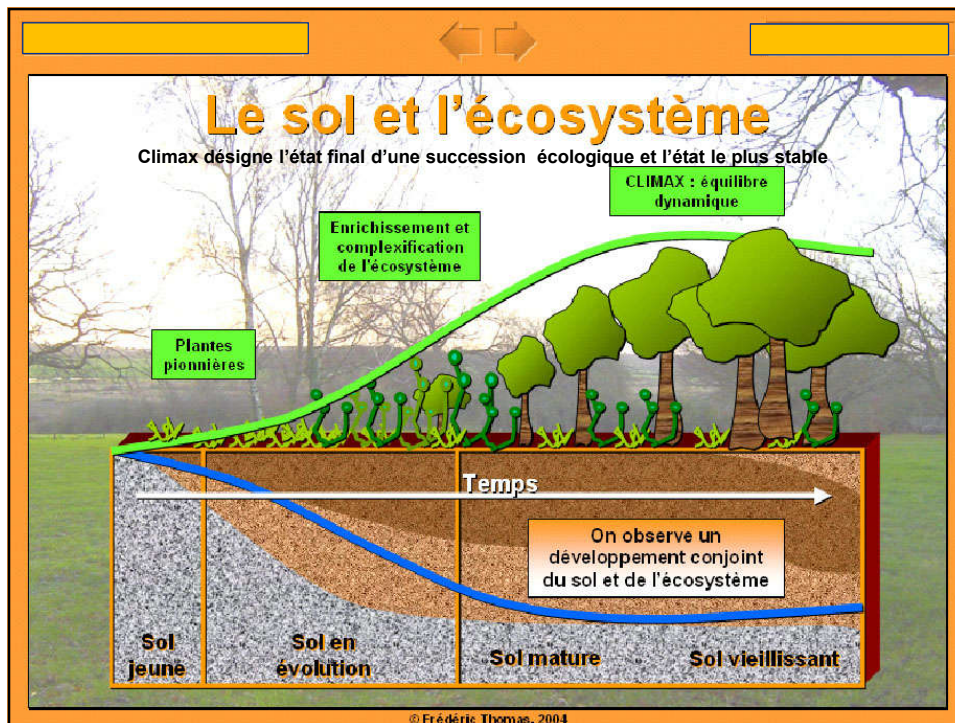
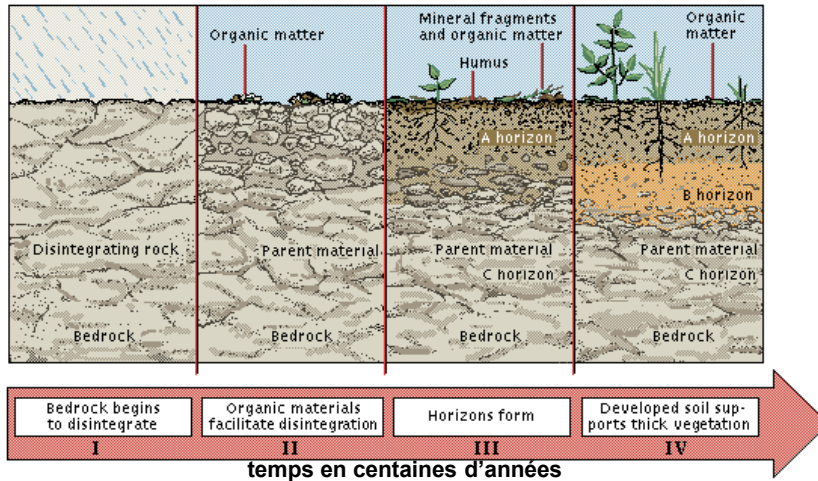
Le Sol: C'est la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants.

La science qui étudie les sols, leur formation, leur constitution et leur évolution, est la PEDOGENESE.

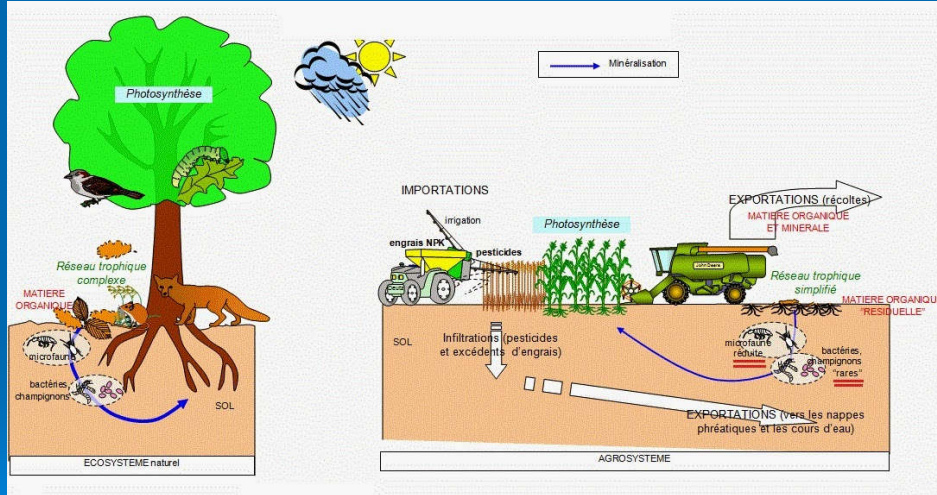
Le sol met très longtemps à se constituer (plusieurs milliers d'années). Dans certaines conditions, la roche mère, élément minéral est altérée par l'air et l'eau. Cela permet l'installation de premières plantes pionnières. Ensuite, la matière organique provenant de plantes et d'animaux morts forme en surface une litière. Décomposée par la faune du sol, elle est transformée en humus. Puis mélangé à des éléments minéraux, le sol devient cultivable, c'est ce que l'on appelle de la terre arable.

2

FORMATION DU SOL



Le Sol: Ecosystème et Agrosystème:



Cartographie verticale du Sol

1. VÉGÉTATION :

En surface, la litière constituée des feuilles mortes encore identifiables avec beaucoup d'air, abritent plantes et animaux vivants.

2. L'HUMUS :

Une terre noire et souple, riche en matières organiques. L'humus désigne la matière issue de la décomposition de matières organiques brutes comme les feuilles, les branches et les tontes de gazon qui s'accumulent à la surface du sol. Cette décomposition réalisée par les organismes du sol rend au sol des nutriments vitaux que les végétaux peuvent utiliser.

3. LA COUCHE ARABLE :

La couche dite arable, que l'homme peut travailler : mélange riche en humus et en minéraux.

4. LE SOUS SOL :

Généralement pauvre en humus, avec peu de traces de vie.

5. LA ROCHE MÈRE :

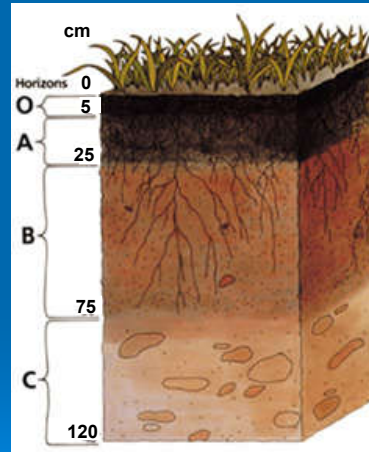
100% minérale, sans air, sans vie.



LES HORIZONS DU SOL

Horizons

- O** : litière, MO
- A** : gradients décroissants de MO
- B** : zone d'accumulation. Les éléments lessivés de A (MO, Fe, Ca) se concentrent en B.
- C** : zone de transition vers la roche-mère. Pas de MO.

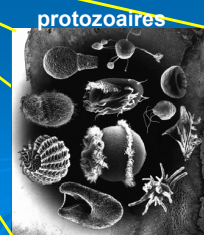
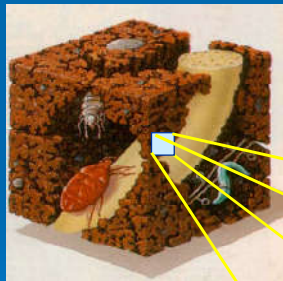


LA TERRE VEGETALE EST L'EQUIVALENT D'UN INTESIN EXTERNE POUR LA PLANTE

Digestion de la MO par les enzymes secrétées par la microflore et absorption des nutriments par la gigantesque surface des poils et des mycorhizes (Assoc. Champ.+Racines+Bactérie).

1 cm³ de terre

contient:



- 1 - 5 km d'hyphes fongiques
- 10⁶ - 10⁹ bactéries
- 10 - 60'000 protozoaires
- 50 - 100 nématodes
- < 1 collembole
- < 1 insecte

Chap. Le Sol et son environnement

□ TEXTURE DU SOL (1)

Le sol comporte 3 phases: une phase solide (minérale et organique), une phase liquide (solution du sol) et une phase gazeuse (air, CO₂, CH₄).

On appelle texture la résultante du mélange de terres fines et grossières dont les pourcentages varient d'un sol à l'autre.

Terre fine				Terre grossière		
Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers	Graviers	Cailloux
< 2 µm	2 – 20 µm	20 – 50 µm	50 – 200 µm	0.2 – 2 mm	2 – 20 mm	> 20 mm

Les particules les plus intéressantes en agriculture sont les terres fines.

Échelle granulométrique de la texture du sol

9

TEXTURE DU SOL (2)

Propriétés des minéraux argileux:

- très petite taille, haute porosité, grande surface, structure en feuillets, charge négative.
- forment des solutions colloïdales qui flocculent quand leurs charges sont neutralisées par des cations comme Ca²⁺.

Conséquences:

- adsorbe beaucoup d'eau réversiblement → réserve d'eau non liquide pour les plantes.
- grande capacité d'échange cationique (CEC) et d'éléments nutritifs, fonctionne comme une résine adoucisseuse d'eau. La CEC est **fonction** de la teneur en argile, mais aussi de la matière organique) MO.

Types principaux de minéraux argileux dans un sol: illite > chlorite > smectites > vermiculite > kaolite. Au cours du temps illite et chlorite peuvent se transformer en vermiculite et smectites. Attention à la notion de "terroir" !

Minéral	Surface totale m ² /g	CEC mEq/100g
Illite K Al ₂ (OH) ₂ (Al, Si ₃ (O,OH) ₁₀)	100 - 175	10 - 40
Chlorite Mg ₅ (Al, Fe)(OH) ₈ (Al, Si) ₄ O ₁₀	100 - 175	10 - 40
Smectites 2Al ₂ O ₃ .8SiO ₂ .2H ₂ O.nH ₂ O Montmorillonite (Mg,Ca) O, Al ₂ O ₃ , 5SiO ₂ , nH ₂ O	700 - 800	80 - 150
Vermiculite	760	100 - 150
Kaolite Al ₂ O ₃ , 2SiO ₂ .2H ₂ O	10 - 30	5 - 10

10

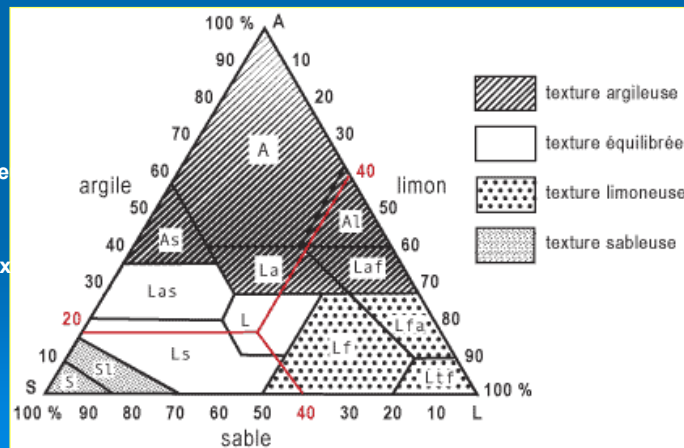
Chap. Le Sol et son environnement

□ TEXTURE DU SOL (3)

Triangle des textures

La texture du sol est définie par la grosseur des particules qui le composent : % sable, % limon et % argile.

A : argileux
As : argilo-sableux
Al : argilo-limoneux
La : limono-argileux
Laf : limono-argileux-fin
Las : limono-argileux-sable
L : limoneux
Ls : limono-sableux
Lfa : limoneux fins argileux
Lf : limoneux fins
Ltf : limoneux très fins
Sl : sablo-limoneux
S : sableux



Chap. Le Sol et son environnement

□ TEXTURE DU SOL (4)

Les roches du sol sont composées principalement de **silicates (Si)** d'**aluminium (Al)** hydratés (argiles), de **quartz (SiO₂)**, d'oxydes et d'hydroxydes de Fe et d'Al, de sulfure de Fe, de carbonate de Ca et Mg et d'éléments traces.

Les argiles confèrent au sol sa texture et ses propriétés **mécaniques**.

Elles sont généralement à l'état **floculé par l'action des ions Ca²⁺, Mg²⁺** ce qui donne au sol ses **bonnes qualités agronomiques**: légère, bonne perméabilité à l'air et à l'eau, retrait modéré à la dessiccation.

Ce phénomène est **réversible**: les argiles se dispersent lorsque les ions **Ca²⁺ et Mg²⁺ sont remplacés** (lessivage, excès d'engrais) par des cations plus petits, plus labiles, comme **Na⁺, K⁺, H⁺, NH₄⁺** (chargés négativement, les argiles se repoussent).

Mouillée, **cette terre devient compacte, collante, asphyxiante** et imperméable à l'eau et à l'air. Sèche, l'argile développe une tension de succion importante pour l'eau qui peut s'opposer à celle des racines des plantes.

Remède : on ajoute du **Ca²⁺** sous forme de sulfates (gypse) ou de la matière organique (MO) pour re-floculer les argiles.

Chap. Le Sol et son environnement

□ STRUCTURE DU SOL (1)

La structure du sol correspond à la façon dont les **argiles** et la **Matière Organique (MO)** et plus particulièrement l'**humus** sont **imbriqués** dans le sol.

Seule la structure du sol peut être modifiée par ajout de MO et/ou de Ca^{2+} . La texture ne peut être modifiée à l'échelle humaine !

En présence de sels minéraux (Fe/Al) et de MO les argiles forment des **Complexes Argilo-Humiques (CAH)**.

Les argiles peuvent fixer la MO (humus) par adsorption sur/dans leurs feuillets par l'intermédiaire des oxydes et hydroxydes d'Al et de Fe qui forment un revêtement pelliculaire. Plus les argiles sont fins, plus la MO est retenue, et plus la minéralisation est lente.

Les CAH s'agglomèrent en agrégats en incorporant des filaments mycéliens, du mucus bactérien (polysaccharides) et des radicelles.

STRUCTURE DU SOL (2)

Structure fragmentaire

Les agrégats permettent à la fois une rétention de l'eau et des échanges chimiques avec la solution du sol et les racines. C'est la structure la plus intéressante pour l'agriculture.

Structure particulaire

Les particules de terre sont trop grandes et il n'y a pas d'agrégation entre elles (la plage de sable). Sa capacité d'infiltration est très élevée mais sa capacité de rétention très réduite, le sol est donc incultivable.

Structure compacte

À l'opposé de la structure particulaire, les particules sont très fines (grande proportion d'argiles) et s'agglomèrent, elle limite fortement l'infiltration de l'eau dans le sol qui s'engorge, on le dit saturé en eau. Ce sol s'appauvrit en oxygène et devient difficilement pénétrable par les racines.

1_ Structure granulaire et grumeleuse. Les particules individuelles de sable, limon et argile s'agrègent en petits grains presque sphériques. L'eau circule très facilement dans ces sols. On les trouve couramment dans l'horizon A des profils pédologiques.

2_ Structure anguleuse et subanguleuse. Les particules s'agrègent en blocs presque cubiques ou polyédriques, dont les angles sont plus ou moins tranchants. Des blocs relativement gros indiquent que le sol résiste à la pénétration et au mouvement de l'eau. On les trouve couramment dans l'horizon B où l'argile

3_ Structures prismatique et en colonne. Les particules ont formé des colonnes ou piliers verticaux, séparés par des fentes verticales minuscules mais bien visibles. L'eau circule avec beaucoup de difficulté et le drainage est médiocre. On les trouve couramment dans l'horizon B où s'est accumulée l'argile

4_ Structure lamellaire. Les particules s'agrègent en fines plaquettes ou lamelles superposées horizontalement. Les plaquettes se chevauchent souvent, gênant considérablement la circulation de l'eau. On les trouve fréquemment dans les sols forestiers, dans une partie de l'horizon A et dans les sols à claypan*.

Chap. Le Sol et son environnement

☐ HUMUS: définition

L'humus se trouve principalement dans la couche supérieure du sol créée et entretenue par la (1) **décomposition** de la matière organique (MO) fraîche de la **litière**. Cette décomposition s'effectue par des **bactéries, des champignons, des protozoaires** (microfaune du sol). Les produits de cette décomposition sont (2) **restructurés par polymérisation** (réaction de Maillard, rien à voir avec des molécules du vivant) en nouveaux produits **plus stables**, plus complexes, que sont les **substances humiques ou humus** (acides fulviques et humiques, humine et autres).

L'humus (mélange de polymères) forme des micelles **chargées négativement** réagissant fortement avec les cations comme Ca^{2+} apportant un **effet structurant au sol**.

L'humus est décomposé lentement (**minéralisation + CO_2**) par la microfaune en présence d' O_2 apportant des **nutriments (N,P,S, autres)** pour la plante.

Si la séquestration de l'humus est forte dans les particules d'argile, sa minéralisation sera d'autant plus lente.

La vitesse d'humification comme sa minéralisation est plus rapide avec l'augmentation de l'activité de la microfaune, de la température, de l'humidité et de la quantité d'oxygène.

Chap. Le Sol et son environnement

□ HUMUS: propriétés

C'est une matière souple, aérée, d'aspect brun foncé à noir (pas forcément dû au Fe), à odeur caractéristique, et qui est relativement résistante à la décomposition.

C'est un excellent agent **d'amendement naturel des sols** (aération, ameublement, décompactant).

Il adsorbe bien l'eau et joue un rôle primordial dans la rétention des cations K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , etc. (CEC) en diminuant leur lessivage. C'est un bon support pour les microbes.

L'humus est dispersé dans les horizons du sol par les fissures, l'eau et par les animaux fouisseurs (vers de terre) pour générer la terre végétale. Il forme avec les argiles les complexes argilo-humiques (CAH) qui retardent encore plus sa décomposition.

L'humus se décompose lentement, mais s'il n'est pas renouvelé par la litière, le sol perdra ses propriétés de terre végétale.

L'humus (les acides organiques qu'il contient) solubilisent à leur tour les roches du sol et altèrent la roche-mère.

17

Chap. Le Sol et son environnement

□ HUMUS: rôle dans le sol

L'humus et le CAH sont un réservoir de MO et donc d'éléments nutritifs pour les racines de la plante.

Son aspect micellaire et sa lente décomposition en font un agent d'amendement. Il améliore la qualité physique de la terre puis génère lentement par minéralisation C, N, P, S, K.

Si l'humus est enfoui trop profondément par labour ou est asphyxié dans un sol régulièrement inondé, il se dégrade dans des conditions anaérobies et devient bleuâtre ou verdâtre (réduction du Fe^{3+} en Fe^{2+} , sent mauvais (CH_4 et H_2S) et devient toxique pour les racines.

Humus et compost vieux c'est la même chose.

Il est utile de connaître la quantité totale d'humus et sa qualité. La mesure du coefficient CEC, comme le rapport C/N, donnent une indication sur la qualité du sol.

Les acides organiques qui constituent l'humus lui confèrent les propriétés d'une résine échangeuse de cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , K^+ , comme les argiles.

En agriculture, pour conserver les propriétés du sol, il faudra procéder à des apports compensatoires de MO.

18

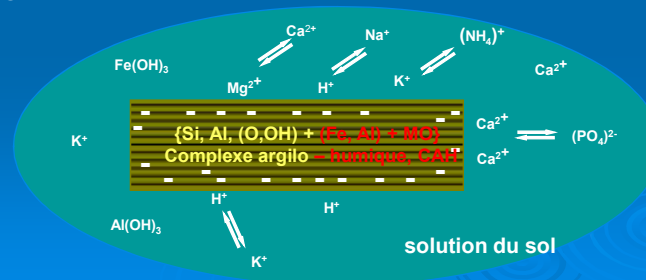
Chap. Le Sol et son environnement

□ COMPLEXE ARGILO – HUMIQUE (CAH)

Le CAH est formé d'argiles colloïdales en feuillets dans lesquels sont adsorbés réversiblement la **MO humique** et des **hydroxydes de Fe et d'Al**.

Ces argiles colloïdales peuvent à leur tour lier et échanger les cations en solution dans le sol qui seraient lessivés sans l'interaction de ces complexes. **D'où leur importance cruciale dans l'alimentation racinaire des plantes.**

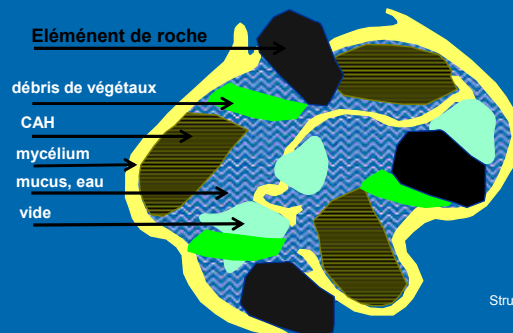
Les CAH sont ensuite agglomérés avec d'autres particules du sol (mycélium, polysaccharides, mucus, bactéries, protozoaires, débris, radicules) en agrégats plus volumineux. La structure du sol est l'arrangement de ces macro-agrégats.



19

Chap. Le Sol et son environnement

□ STRUCTURE D'UN AGREGAT



Ces agrégats s'assemblent plus ou moins sous l'action conjuguée des cycles de dessiccation – humectation, de l'activité de la microfaune du sol, du gel-dégel et des racines, pour former des sols à structure (i) grumeleuse, (ii) lamellaire, (iii) polyédrique.

Leurs analyses permet d'estimer les propriétés mécaniques, la circulation de l'eau (et sels dissouts) ainsi que des gaz dans le sol.

20

Chap. Le Sol et son environnement

MATIERE ORGANIQUE (MO)

MO = plante + CO₂ + E solaire + H₂O + azote (élément limitant)

MO localisée dans les horizons du sol :

MO active O = MO fraîche, minéralisation rapide

MO lente A = humus (MO réarrangée, polymérisée, minéralisation lente)

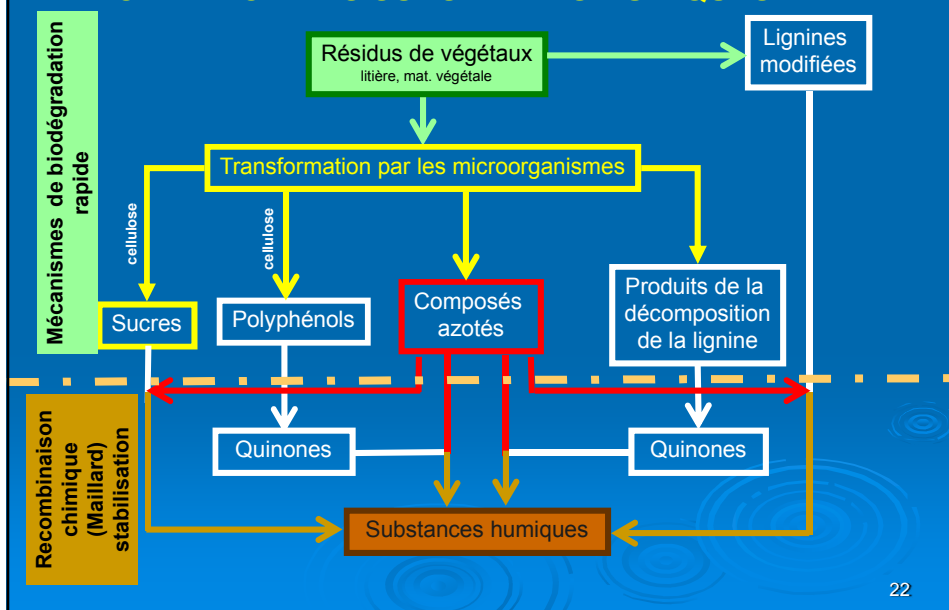
MO passive B = humus adsorbé aux très fines particules d'argile dans l'horizon B

(peut minéraliser dans des conditions spéciales par apport de MO fraîche).

21

Chap. Le Sol et son environnement

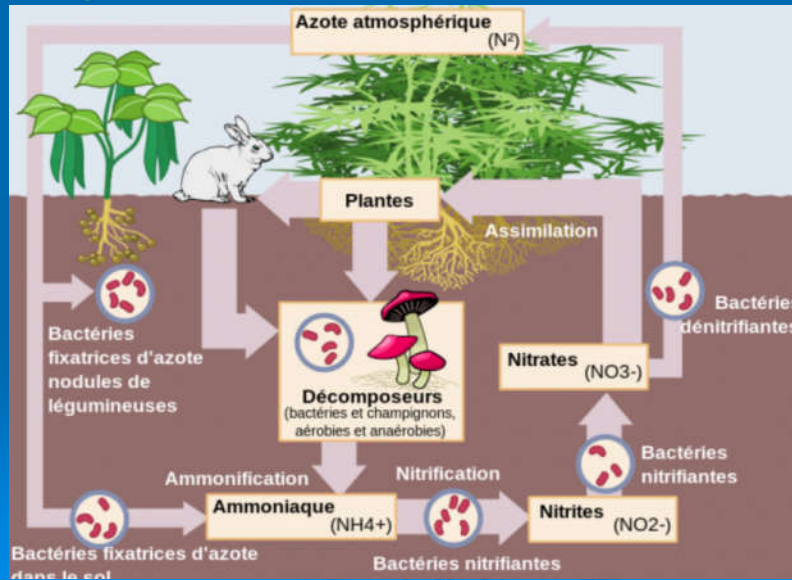
FORMATION DES SUBSTANCES HUMIQUES:



22

Chap. Le Sol et son environnement

□ Cycle de l'Azote



23

Chap. Le Sol et son environnement

□ TERRE VÉGÉTALE

Mélange en proportions très variables d'humus, de terre (argiles, limons, sables, graviers), de roches calcaires, d'oxydes /hydroxydes de Fe, d'Al et d'autres éléments traces.

C'est un milieu nutritif (bouillon de culture) qui, humide, permet la vie d'une microfaune et macroflore e et favorise le développement racinaire.

Structure: cycles gel/dégel, floculation des argiles, CAH

La rétention des pesticides par le sol (adsorption) est augmentée lorsque la MO du sol est aussi élevée. Mais leur dégradation est plus rapide à la surface du sol qu'en sous-sol à cause de l'augmentation de l'activité biologique près de la surface (biodégradation).

Chap. Le Sol et son environnement

□ LE COMPOST

Pourquoi humus et compost vieux sont une même chose.

Le compost reproduit en accéléré (effet de masse) les étapes de transformation de la litière en humus du sol : composter, c'est produire des substances humiques.

Tout ce qui a été dit pour l'humus est valable pour le compost.

Généralement, le compostage se déroule en deux phases : (1) une phase de dégradation dominée par une intense activité microbologique qui s'accompagne d'une élévation de température (minéralisation rapide). Puis, (2) la diminution de l'activité biologique due à l'épuisement de leur source en nourriture abaisse la température progressivement et fait place aux processus d'humification (phase de restructuration / polymérisation) qui peut durer des semaines.

Un compost vieux et mûre conduira à une minéralisation lente dans le sol concomitant à un relargage lent de nutriments.

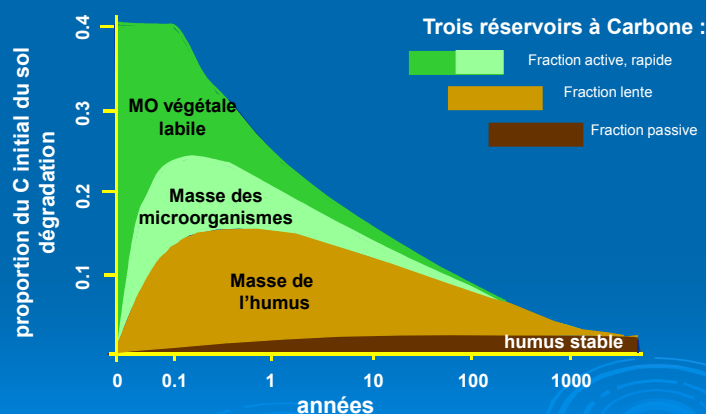
Au contraire, un compost immature (phase 1) donc encore trop riche en carbone facilement assimilable, provoquera une surconsommation d'azote par les bactéries du sol ou une faim "temporaire" d'azote » pour finir sa maturation.

25

Chap. Le Sol et son environnement

□ TEMPS DE RESIDENCE DU CARBONE DANS LE SOL

20 à 30 % du C ajouté au sol y restera après un an

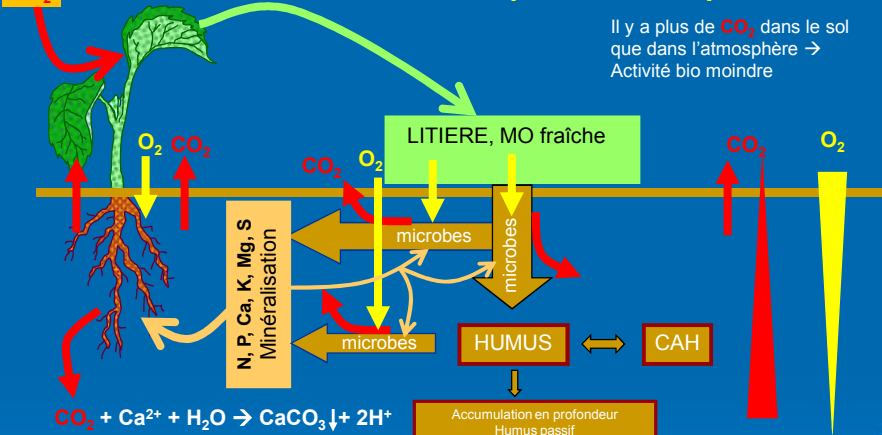


Les pratiques agricoles peuvent se comporter comme des puits ou des sources de C.

26

Chap. Le Sol et son environnement

CO₂ □ CYCLE DU CARBONE (dans le sol)



Le carbone de la litière sert de carburant aux microbes qui produisent l'azote et les minéraux pour la plante. Si trop d'oxygène dans le sol (par des labours) → augmentation de la biomasse et donc de la minéralisation de l'humus → rejet de CO₂. Phénomène plus actif dans la zone superficielle. Le CO₂ plus lourd que l'air est toxique pour les racines. Inactivation du CO₂ par le Ca²⁺ en carbonate insoluble.

www.domainedevens.com

27

Chap. Le Sol et son environnement

□ LES RACINES (1)

Ce sont les **jeunes** racines (elles possèdent la structure primaire de la plante) qui effectuent les échanges avec le sol. Mais seuls les **poils absorbants** qui sont situés près de l'**extrémité de la racine** effectuent ces échanges avec le sol (eau, minéraux, exsudats).

Les racines âgées possèdent une **écorce imperméable** et ne servent qu'au transport de la sève brute et à l'ancrage de la plante.

Pour avoir un bon contact entre les poils absorbants et le sol, il est indispensable d'avoir des **particules très fines** comme les complexes argilo-humiques (**CAH**) du **mucus** bactérien (polysaccharides) et des **mycorhizes**. Les limons et sables sont moins efficaces.

Ce sont les **racines près de la surface du sol** qui sont les plus actives pour l'absorption des nutriments (plus proches du feuillage, moins de CO₂, plus proches de la zone d'activité de la microflore). D'où les problèmes de labours! Un **travail du sol trop profond > 20 cm** peut détruire les jeunes racines.

Les racines profondes pompent plutôt de l'eau. Car l'absorption des nutriments est énergivore et nécessite de l'O₂. En profondeur le CO₂ est élevé, les nutriments disponibles sont plus rares. L'absence de CAH, d'humus et une microflore très réduite ne sont pas favorables à l'absorption des minéraux.

28

Chap. Le Sol et son environnement

LA RHIZOSPHERE (1)

Les racines modifient physiquement le sol en poussant dans les fentes et dans les zones de faible résistance. L'exsudat qu'elles sécrètent favorise le développement d'une myriade de microorganismes. Dans des conditions normales, les racines des plantes annuelles (céréales) peuvent descendre jusqu'à 2 m de profondeur alors que les racines des plantes pérennes ligneuses peuvent descendre à plus 5 m.

On néglige trop souvent l'importance et le rôle des résidus racinaires dans le sol. Par exemple, dans une prairie, environ 50 - 60% de la production nette de biomasse sont racinaires. En terre arable, la masse de racines restant dans le sol après une récolte de céréales représente environ 15 - 40 % de la masse de la récolte en grains. Ce qui peut signifier un apport en MO d'environ 3 t/ha selon le type de céréale.

On appelle **rhizosphère** la zone d'environ 2 mm autour de la surface extérieure de la racine. Les caractéristiques chimiques et biologiques de cette zone peuvent être très différentes de la zone de sol adjacente.

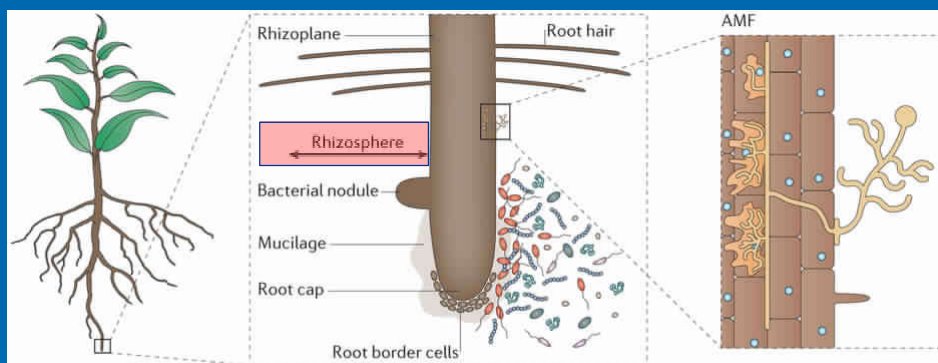
On appelle **rhizo-déposition** le relargage par les racines de substances organiques (i) de bas poids moléculaire (acides organiques, sucres, acides aminés, composés phénoliques allélopathiques et facteurs de croissance) et (ii) de composés de haut poids moléculaire (mucilages, débris cellulaires) qui forment le mucigel avec son cortège de microbes. Il joue le rôle de lubrifiant et de milieu de culture entre racines et particules d'argile.

Le nombre de microbes dans la rhizosphère est de ~ 10 fois supérieur à celui de la zone de sol adjacente.

29

Chap. Le Sol et son environnement

LA RHIZOSPHERE (1)



Nature Reviews | Microbiology

30

Chap. Le Sol et son environnement

□ LA RHIZOSPHERE (2)

Poils absorbants: ne sont présents que sur les très jeunes racines (100-400 mm Ø); ils sont nombreux et microscopiques (10-50 mm Ø), et augmentent considérablement la surface d'absorption (>100 fois la surface feuillaire) de la plante.

L'absorption par les poils est favorisée par:

- un bon contact physique des poils avec les particules du sol
- la finesse des particules de terre, CAH, argiles, MO versus limon, sable, gravier, pierres.
- la présence d'une zone d'humidité (hydrosphère) constituée par les bactéries et leur mucus, les mycorhizes et les CAH qui en cas de sécheresse prolongée vont restituer à la plante l'eau qui est retenue.
- Un faible taux de nutriments.

Mucus bactérien : importance de la vie bactérienne du sol (1 cuillère à café de sol contient 5 milliards de bactéries sans compter les virus (encore plus nombreux). Ces bactéries sécrètent des mucus (polysaccharides, biofilms) très hydratants.

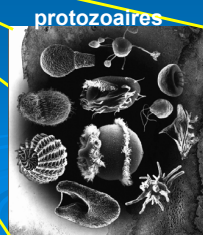
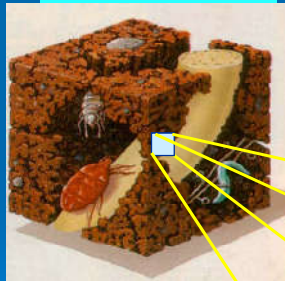
31

Chap. Le Sol et son environnement

□ La Terre végétale: Dynamique:

- La Terre végétale est l'équivalent d'un intestin externe pour la plante
- La Digestion de la MO par les enzymes secrétées par la microflore et absorption des nutriments par la gigantesque surface des poils et des mycorhizes.

1 cm³ de terre



contient:

- 1 - 5 km d'hyphes fongiques
- 10⁶ - 10⁹ bactéries
- 10 - 60'000 protozoaires
- 50 - 100 nématodes
- < 1 collembole
- < 1 insecte

www.domaineevens.com

32

Chap. Le Sol et son environnement

□ACTIVATION DE LA PRODUCTION DE RACINES

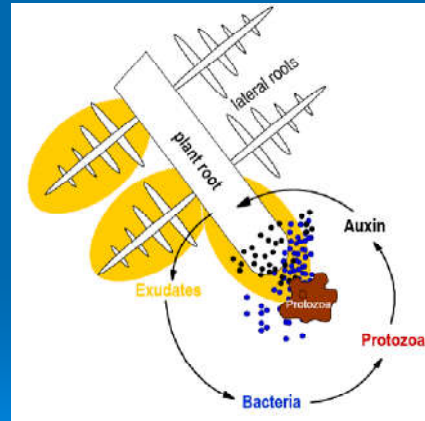
Les protozoaires affectent la croissance de la plante en modifiant la croissance des racines.

L'exsudation racinaire stimule la croissance:

-(1) d'une communauté bactérienne variée et

-(2) de protozoaires bactérivores. La prédation sélective des bactéries par les protozoaires favorise les bactéries qui produisent l'hormone auxine.

La libération d'auxine induit la croissance des racines latérales qui, à leur tour, sécrètent plus d'exsudat qui va stimuler la croissance bactérienne.



33

Chap. Le Sol et son environnement

□LES MYCORHIZES (1)

Mycorhizes : relation symbiotique mutualiste entre un poil adsorbant et le mycélium d'un champignon.

Le mycélium (microscopique) du champignon possède des ramifications filamenteuses (hyphes) qui s'étendent dans le sol à plusieurs centaines de mètres de la racine permettant une énorme augmentation de la surface d'échange racinaire (plus de 1000 x).

Les mycéliums peuvent atteindre une taille considérable et vivre longtemps. Par exemple, une colonie d'armillaires occupe 5 ha, pèse dix tonnes et a 1500 ans, selon les estimations. Ainsi, les champignons font partie des plus gros et des plus vieux organismes vivants.

Le mycélium peut former des fructifications, qui sont les champignons proprement dits. Ils ont besoin d'une source de carbone organique pour s'alimenter. L'arbre fournit au champignon les sucres, et ce dernier lui offre en échange des éléments nutritifs N, P, K, Cu, Zn et de l'eau qu'il a prélevés, à l'aide de ses hyphes qui couvrent une surface considérable.



mycorhizes



34

Chap. Le Sol et son environnement

□ LES MYCORHIZES (2)

Les plantes mycorhizées tolèrent mieux les facteurs stressants.

Le champignon élabore:

- **des sucres** (mannitol, arabitol), qui rendent les racines plus résistantes au gel.
- **des antibiotiques** et des substances qui augmentent le pouvoir défensif des plantes contre les pathogènes (nématodes, champignons toxiques) contenus dans le sol.
- **des phytohormones** (auxine, gibérelline, cytokynine, éthylène) qui favorisent la croissance des plantes.

Dans la vigne, on a probablement des endomycorhizes (hyphe du champignon formant des arbuscules dans les cellules de l'écorce de la racine et invisible à l'oeil nu).

Les **concentrations élevées d'azote sont défavorables aux mycorhizes**. Le champignon et la plante échangent moins d'éléments nutritifs entre eux, et la santé de la plante peut en subir les conséquences. **L'utilisation de N est donc délicate.**

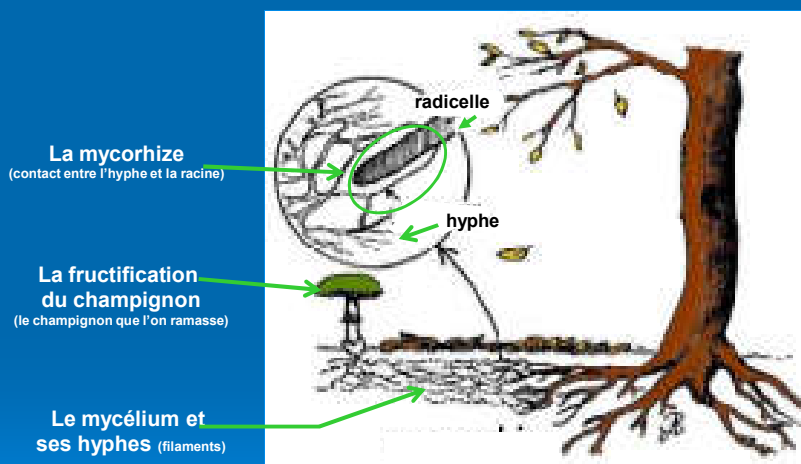
Les fongicides (systémiques) ont eux aussi certainement un effet négatif sur les mycorhizes.



35

Chap. Le Sol et son environnement

□ LE CHAMPIGNON

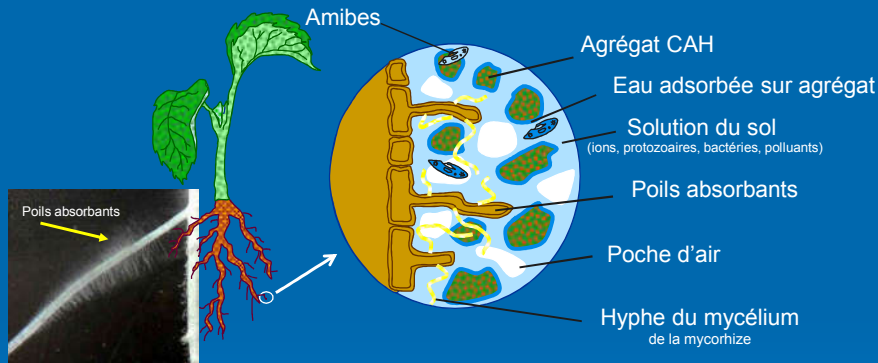


Ce que nous voyons sur le sol n'est qu'une infime partie du champignon.

36

Chap. Le Sol et son environnement

□ L'ÉCHANGE DE L'EAU



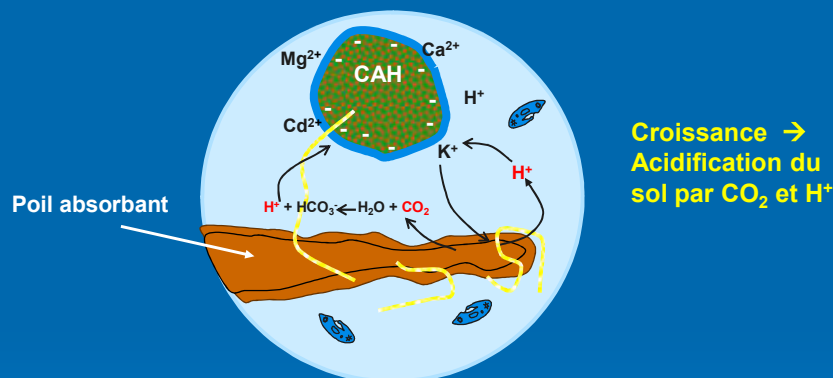
En cas de sécheresse : dans un premier temps, les poils absorbants pompent l'eau de la solution du sol, puis celle de la couche d'eau adsorbée sur les agrégats (CAH) et finalement l'eau restituée par la microflore qui se déshydrate en mourant (mycélium, protozoaires, bactéries, etc.) → importance d'avoir un sol riche et sain pour un effet tampon hydrique maximum.

www.domaineevens.com

37

Chap. Le Sol et son environnement

□ L'ÉCHANGE DE CATIONS



L'absorption et la sélection des cations du sol par les racines **coûtent en énergie**. Il est préférable que les nutriments soient en concentration optimum dans le sol (MO, microbes, apports ext.).

L'absorption des cations fait suite au **relargage de H⁺** par les racines qui abaisse le pH du sol.

La respiration racinaire **relargue du CO₂** qui, dissout dans l'eau, **acidifie le sol**. Il est donc important de mesurer le pH du sol au niveau des racines.

www.domaineevens.com

38

Chap. Le Sol et son environnement

□ LA TRANSPIRATION

Un érable de taille moyenne perd plus de 200 L d'eau par heure durant l'été. Le système racinaire doit par conséquent pomper aussi 200 L d'eau par heure dans le sol. Deux mécanismes entrent en jeu :

1. Poussée racinaire: La plante absorbe plus d'eau par osmose au niveau des racines qu'elle n'en transpire, d'où fuite par les pores spéciaux des feuilles (la nuit), ce qui provoque la guttation. La guttation des graminées de l'enherbement joue un rôle dans l'humidification de la litière et de la couche superficielle du sol. Pleurs de la vigne après la taille.

2. Aspiration de la sève brute: L'évapotranspiration au niveau des stomates des feuilles provoque une aspiration qui tire la sève brute du xylème (contre la gravitation) en pompant l'eau du sol par les poils absorbants des racines.

Importance de l'hydrosphère racinaire



39

LA BIOMASSE

D'une manière générale, les animaux vivant dans le sol représentent une plus grande biomasse que ceux qui vivent en surface.

Sous 1 ha de terre vivent en moyenne :

1 t de bactéries

1 t de champignons

1 t de vers de terre

0.5 t d'isopodes, de collemboles, etc.

TOTAL 3 ou 4 t d'organismes vivants



Pour entretenir cette biomasse dont les déjections nourrissent les végétaux, combien faut-il de MO/ha/an ?

On estime que 10 kg de MO donnent 1 kg d'organismes vivants.

Il faudrait donc mettre 20 - 40 t /ha/an de MO pour nourrir tout ce monde.

Aujourd'hui, en Bourgogne, on met en moyenne 1 - 2 t/ha de fumier frais. Il y a 20 ans, on en mettait 150 t/ha. Vit-on sur le capital de nos ancêtres ?

Quelle est la quantité de MO critique pour la viticulture ?

Chap. Le Sol et son environnement

□ LA FIXATION DE L'AZOTE

De nombreux **végétaux** (légumineuses) établissent des relations symbiotiques mutualistes (bénéfiques pour les 2 partenaires) avec des bactéries fixatrices d'azote.

Leurs racines portent des renflements (nodosités) dans lesquelles vivent les bactéries anaérobiques fixatrices de N_2 (genre Rhizobium). Chaque espèce de légumineuse s'associe à une espèce de bactéries Rhizobium.

Une molécule d'azote donne 2 molécules d'ammoniac.



Cette réaction est très consommatrice d'énergie (16 ATP). Ces bactéries poussent donc dans des sols riches en MO qui fournissent l'énergie de la respiration cellulaire.

La leghémoglobine (contient du Fe) des nodosités tamponne l' O_2 impliqué dans l'intense respiration.

Conséquences: ces bactéries fournissent de l'azote assimilable, mais majoritairement des acides aminés qui passent dans le xylème pour se rendre dans le système caulinaire. En retour, la légumineuse leur procure des glucides et des substances organiques.

L'AZOTE, N

L'azote est souvent le nutriment limitant dans le sol. Il est recyclé plusieurs fois par les organismes avant son assimilation par la plante.

Lorsqu'on ajoute de l'azote dans le sol, il faut le faire pour les microbes et non pour la plante. Il s'agit toujours de petites quantités (10-20 U/ha) à mettre juste avant le démarrage de l'activité des microbes.

Théorie du feedback litière-azote-plante (Vitousek)

Un sol pauvre reste un sol pauvre :

Si un sol est pauvre en N, le C/N de la flore tend à augmenter.

→ Le C/N de la litière produit par cette flore tend à augmenter aussi.

→ La litière se décomposera moins vite (recyclage de N car microbes en faible quantité).

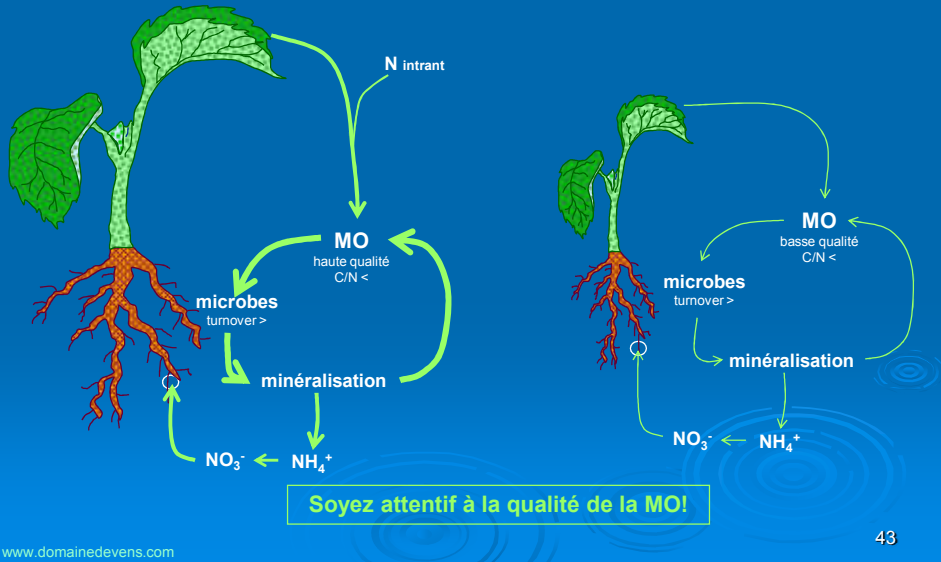
→ La minéralisation sera également faible donc moins de N disponible pour la flore → d'où sol pauvre.

La réserve de phosphore disponible est essentiellement dans la roche.

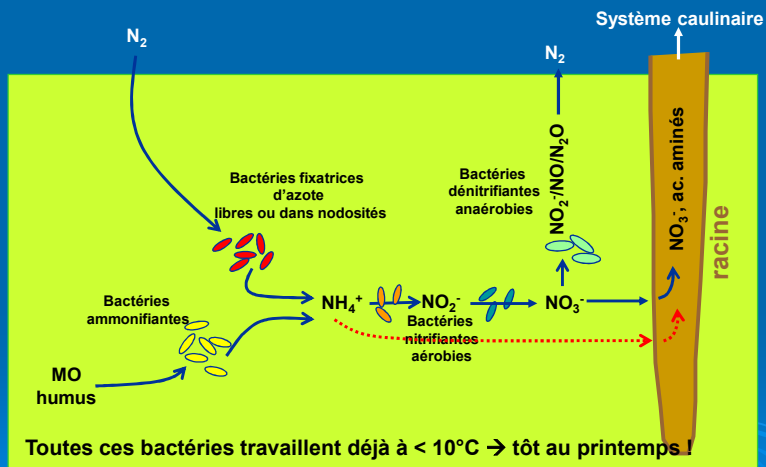
L'AZOTE, ELEMENT CLEF

Un sol riche en N minéralise et libère N.

Un sol pauvre en N mobilise N.



AZOTE - BACTERIES



LES VERS DE TERRE (1)



Les températures optimales de l'activité des vers de terre se situent entre 10° et 15° C, c'est-à-dire au printemps et en automne (nombreux turricules en surface).

Il n'est pas rare de trouver 200 à 250 vers de terre par m² dans des prairies. Mais, certains terrains sont passés de 2 tonnes de vers de terre à l'hectare à 50 kg en raison des labours et de la monoculture.

(Un ver de terre coupé en 2 ne donne pas forcément 2 vers !)

Il est primordial d'avoir une quantité suffisante de nourriture sous forme de MO morte pour leur développement.

Leurs déjections sous forme de turricules contiennent en moyenne 5 fois plus d'azote, 7 fois plus de phosphore, 11 fois plus de potassium, 2 à 3 fois plus de magnésium et 1.5 fois plus de calcium que la terre environnante.

45

LES VERS DE TERRE (2)

Tapissées d'excréments, les galeries de vers de terre sont plus stables et peuvent durer des années. Les racines recherchent ces galeries pour les nutriments accumulés et pour la faible résistance qui s'oppose à leur croissance.

Les traitements au cuivre, comme les produits phytosanitaires, sont mortels et peuvent nuire à leurs prédateurs. Le tassement provoqué par un poids de 1000 kg sur un sol mouillé peut avoir des conséquences asphyxiantes jusqu'à plus d'un mètre de profondeur.

L'accumulation de ces excréments dans le sol et en surface provoque un mélange intensif de la couche supérieure du sol. Ce sol transformé biologiquement possède bien d'autres qualités qu'un sol ameubli mécaniquement : même lorsqu'il pleut fort, un turricule ne change pas de forme et ne peut donc pas se désagréger aussi facilement en boue.

Les galeries peuvent descendre jusqu'à plus de 2 m de profondeur dans le sol. Elle permettent de faire entrer l'O₂ et de faire sortir le CO₂.

46

LES VERS DE TERRE (3)

Dans une prairie abritant 400 individus par m², le turnover des vers de terre peut libérer près de 30 kg d'azote /ha/an. Cette quantité correspond environ à l'apport d'azote par l'atmosphère.

Des expériences ont démontré qu'une population de vers de terre de 2 t / ha peut très bien enfouir dans le sol jusqu'à 40 t de litière pendant le semestre d'hiver.

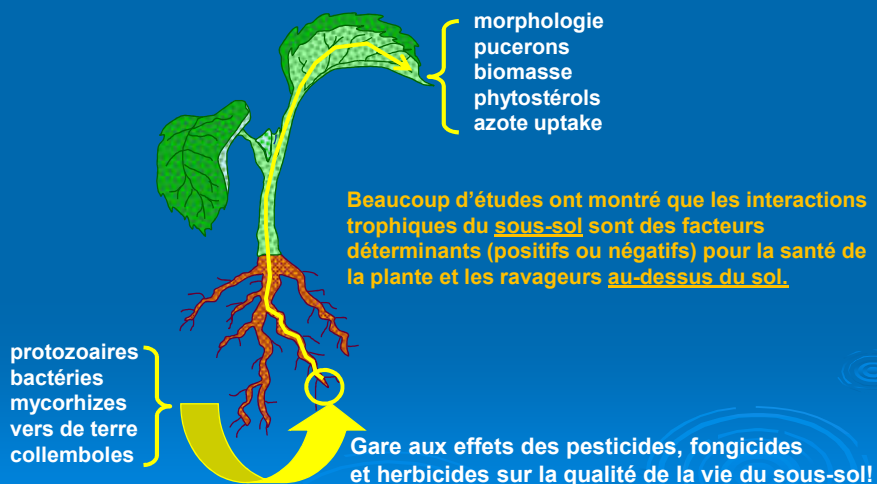
Dans une prairie, 2 t de vers de terre (soit 8 à 10 millions d'individus) produisent jusqu'à 400 t d'excréments par ha et par an et forent un réseau de 9'000 km de long, correspondant à un volume de 90 m³. Ils consomment tout le sol en quelques années.



Turricules de vers de terre

47

LA VIE DU SOL MODIFIE LE FONCTIONNEMENT DE LA PLANTE



48