

GESTION DU SOL EN AGROÉCOLOGIE

Dr. Sabrina HATTAB
CRRHAB

Agro-écologie

Respectueuse de l'environnement;
Economiquement performante;
Porteuse de développement humain



Imitation de la nature

Comment ?

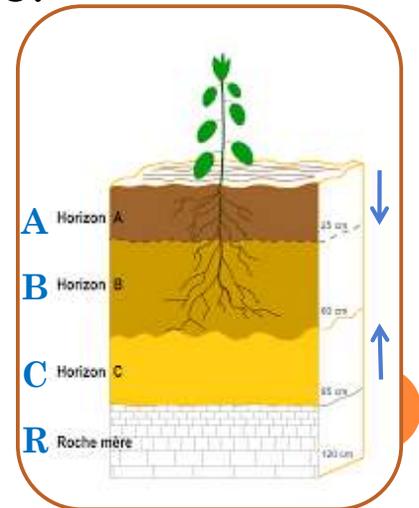
ÉQUILIBRE DURABLE DU SYSTÈME SOL-CULTURE

OBJECTIFS

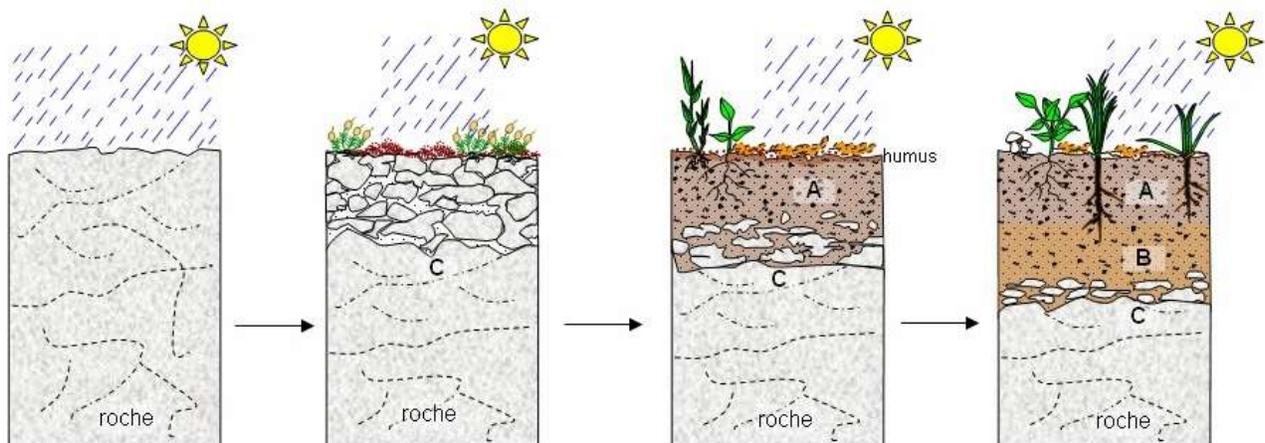
- Considérer le sol comme un milieu biologique: un véritable **milieu vivant** hautement complexe,
- Comprendre les rôles / **intérêts agronomiques** de la vie des sols.
- Principaux facteurs affectant la vie du sol
- La phytoremediation

QU'EST CE QU'UN SOL ?

- Le sol est la couche superficielle de la croûte terrestre.
- Le sol est le support naturel de la vie animale et végétale sur Terre.
- Un sol est structuré en différentes couches (horizons)



LA FORMATION D'UN SOL



Dégradation physique et altération chimique
Différentiation

Humification

0

10000 / 100000
ans

LA FORMATION D'UN SOL

La naissance du sol

100 ans

1 000 ans

10 000 ans

100 000 ans et plus



La roche nue est soumise à différents agents agressifs, ...



... la végétation pionnière s'installe dans les fissures ...

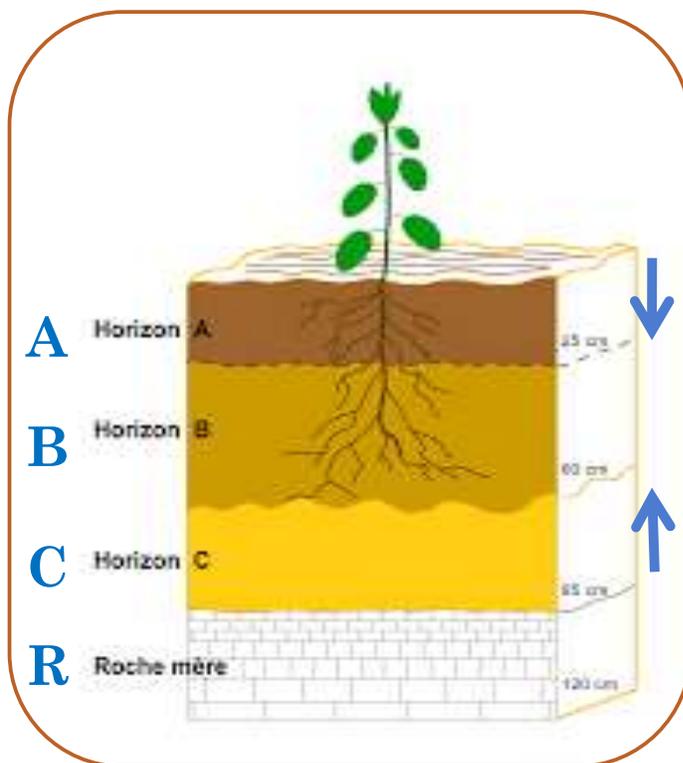


... le matériau s'altère, la matière organique s'accumule, ...

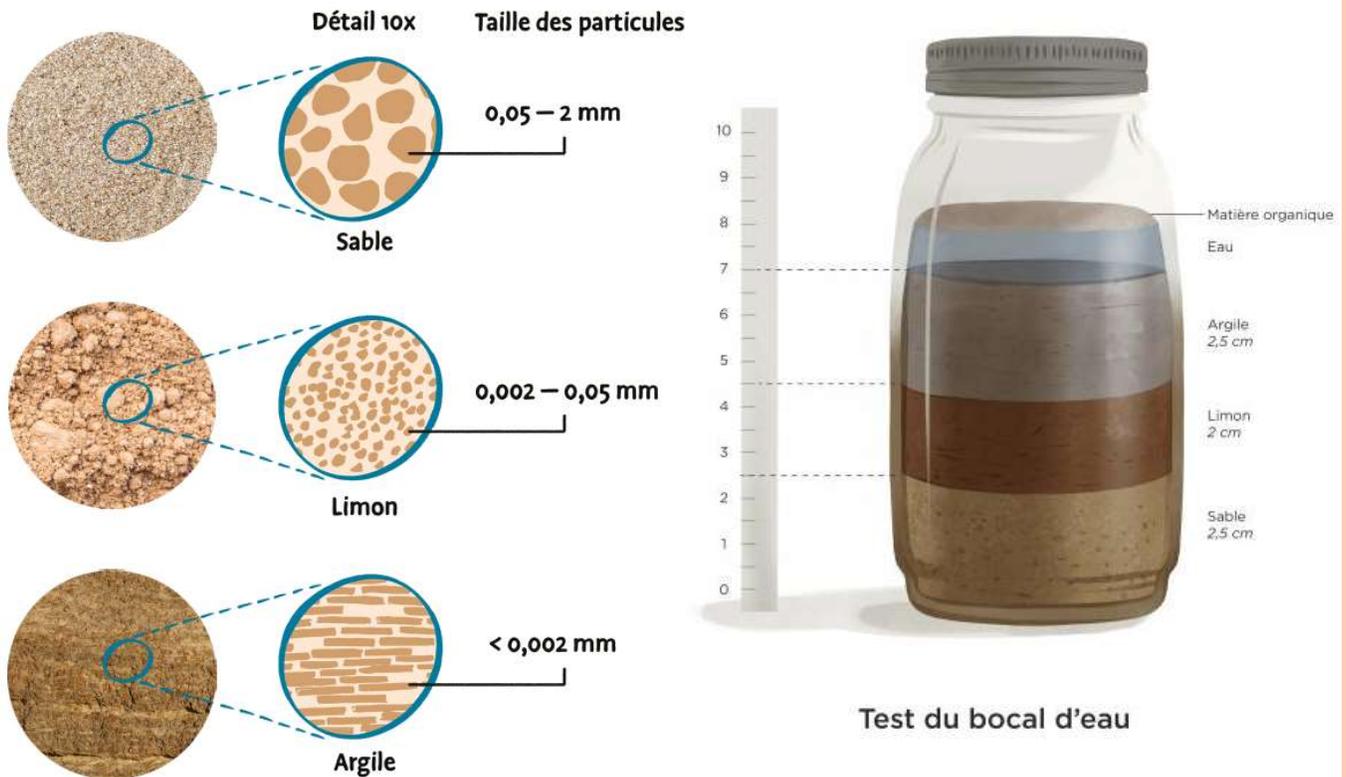


... le sol s'approfondit et se différencie en horizons.

LA FORMATION D'UN SOL



TEXTURE ?



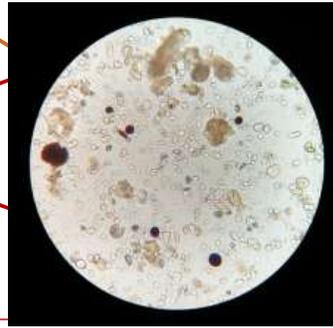
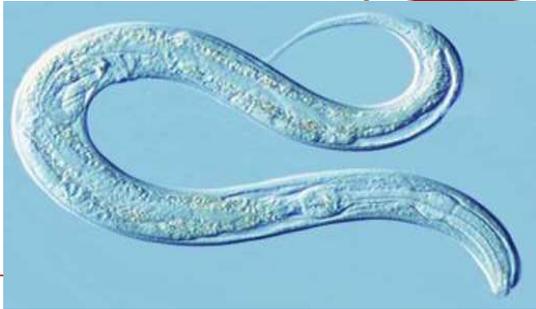
LA FERTILITÉ DU SOL

- **Fertilité Chimique (CAH-CEC)**
- **Fertilité Physique (profondeur-texture-structure)**
- **Fertilité biologique (capacité des organismes vivant dans le sol à contribuer à la nutrition végétale).**





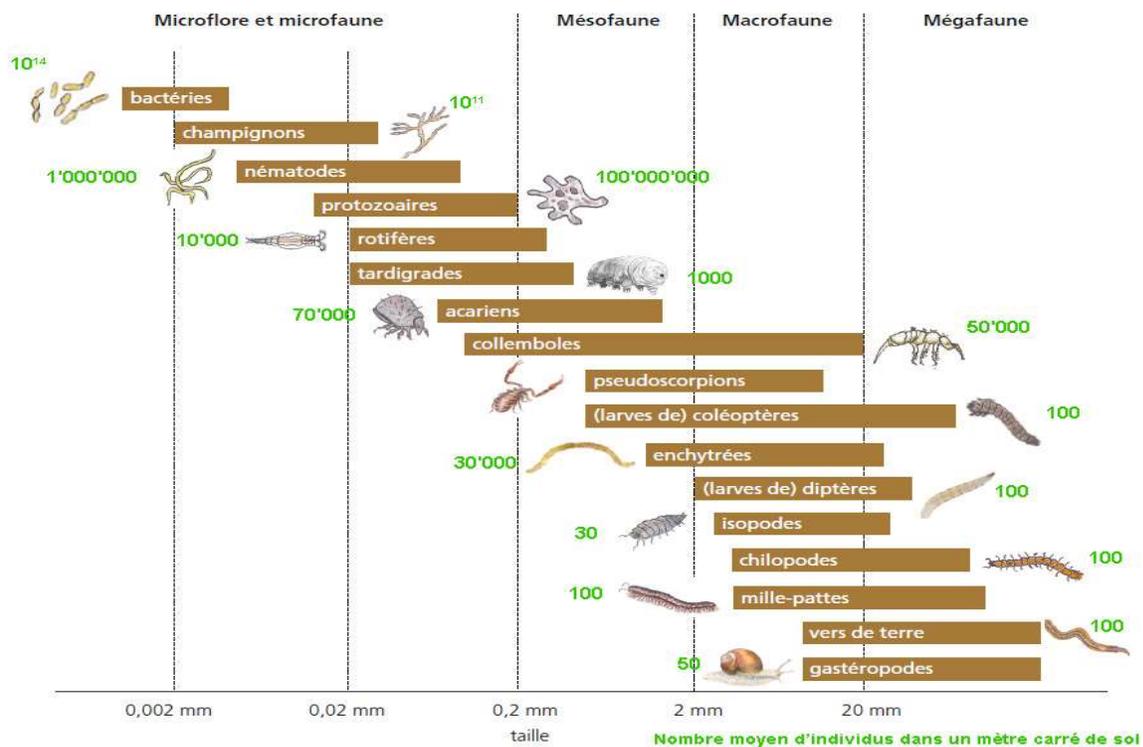
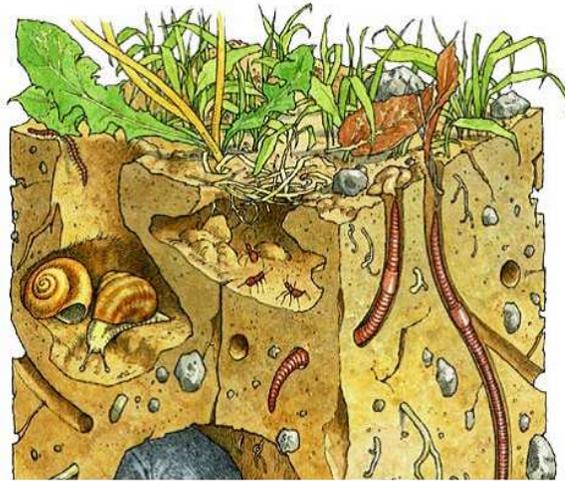
**La fertilité
biologique**



Le Sol Vivant

LES ORGANISMES DU SOL

Les organismes du sol sont des êtres vivants qui réalisent au moins une partie de leur cycle biologique dans le sol ou à sa surface dans la matière organique en décomposition.



TAILLE DES ORGANISMES DU SOL, OU DIAMÈTRE DES HYPHES DES CHAMPIGNONS (D'APRÈS BRIONES 2014) ET NOMBRE MOYEN D'**INDIVIDUS** CHEZ LES ORGANISMES DU SOL LES PLUS IMPORTANTS DANS UN MÈTRE CARRÉ DE SOL (D'APRÈS DUNGER 1983).

LA DIVERSITÉ DES ORGANISMES DU SOL

La diversité des **espèces** que l'on peut retrouver dans un sol est fonction du type de sol, du climat, du type de végétation, de l'usage du sol ...



Nombre d'espèces dans le sol en forêt tempérée (prof. 20 cm) d'après Torsvick et al. (1994), Hawksworth (2001), Schaefer et Schauer mann (1990)

LA DIVERSITÉ DES ORGANISMES DU SOL

Concernant les bactéries et les champignons, on arrive à quantifier la **diversité spécifique** grâce à des outils moléculaires (extraction d'ADN). On estime ainsi à plusieurs milliers d'espèces de bactéries et de champignons qui peuvent coexister dans un gramme de sol de forêt tempérée.

	Nombre approximatif d'individus par gramme de sol sec
Bactéries	$10^6 - 10^9$
Champignons	$10^4 - 10^6$
Protozoaires	$10^4 - 10^6$

Nombre d'individus par gramme de sol sec

Chacune de ces espèces n'est pas représentée que par un seul individu mais par une multitude d'individus. Dans 1 g de sol, on peut ainsi compter jusqu'à 1 milliard de bactéries et 1 million de champignons et de protozoaires.

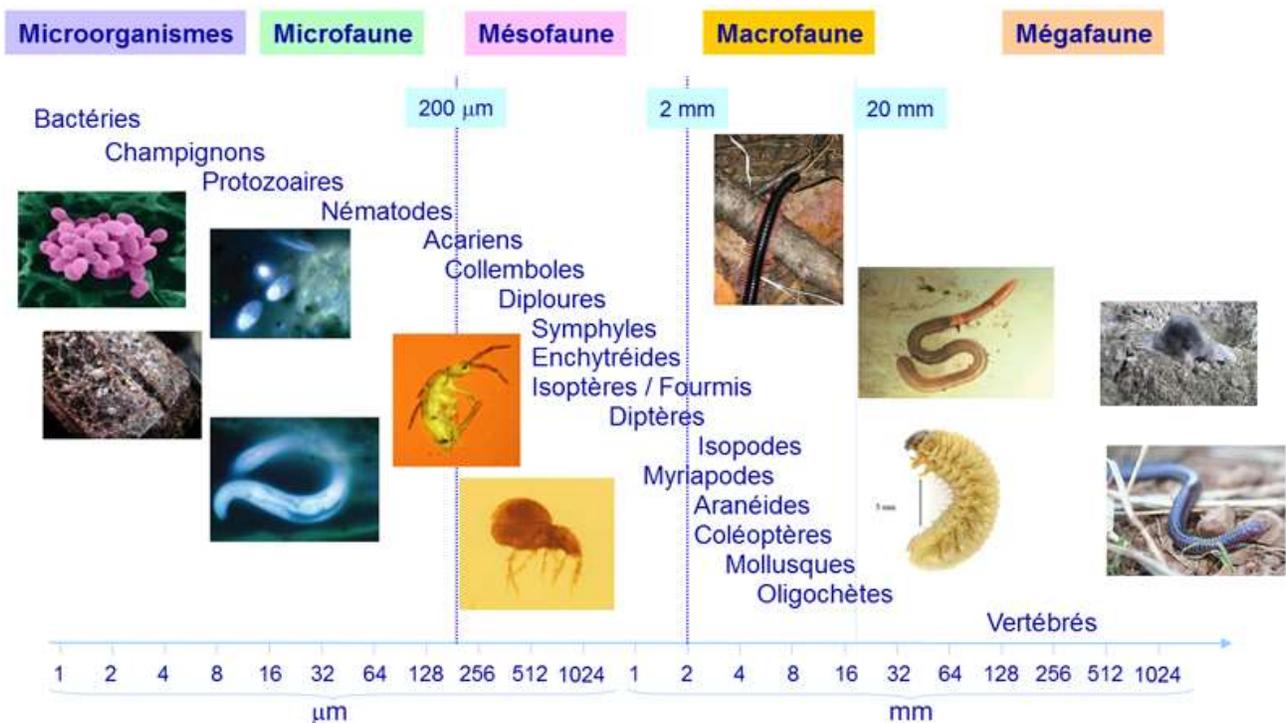
LA BIOMASSE VIVANTE DU SOL

L'ensemble des organismes vivants dans le sol représente la biomasse vivante du sol qui peut atteindre selon les écosystèmes plusieurs tonnes par hectare (**pour 30 cm de profondeur**).

Le tableau montre que la biomasse de bactéries et de champignons peut dépasser le poids de vers de terre maximum rencontrés dans une parcelle.

	Biomasse moyenne (kg/ha)
Bactéries	1500
Champignons	3500
Protozoaires	150 - 700
Nématodes	10 - 300
Acaréens	2 - 40
Collemboles	1 - 20
Larves d'insectes	0 - 50
Myriapodes	10 - 250
Isopodes	0 - 40
Vers de terre	200 - 4000

Classification par taille des organismes du sol



CLASSIFICATION TAXONOMIQUE DES ORGANISMES DU SOL

Chacun de ces domaines, règnes et groupes taxonomiques est constitué d'une extraordinaire diversité d'espèces . Par exemple, on connaît dans le sol, 4000 espèces de bactéries, 30.000 espèces de nématodes...

Le sol est un milieu encore mal connu du point de vue de cette biodiversité et il reste encore beaucoup d'espèces à décrire.

					Nb espèces connues	Nb espèces estimé
Bactéries					4.000	5.000.000
Archées					NE	NE
Eucaryotes	Protozoaires				30.000	300.000
	Champignons				8.000	800.000
	Plantes				280.000	
	Animaux	Annélides		Enchytréides	700	2.000
				Vers de terre	4.000	10.000
	Nématodes			30.000	1.000.000	

LES VERS DE TERRE



LES VERS DE TERRE : LA CLÉ DE LA FERTILITÉ DU SOL

- Ingénieurs-Architectes
- leur présence dans le sol est le premier signe de sa fertilité.



VERS DE TERRE : QUE DES AVANTAGES

- Alimentation: débris végétaux morts et matière organique dispersée qu'ils répartissent dans le sol (galeries)

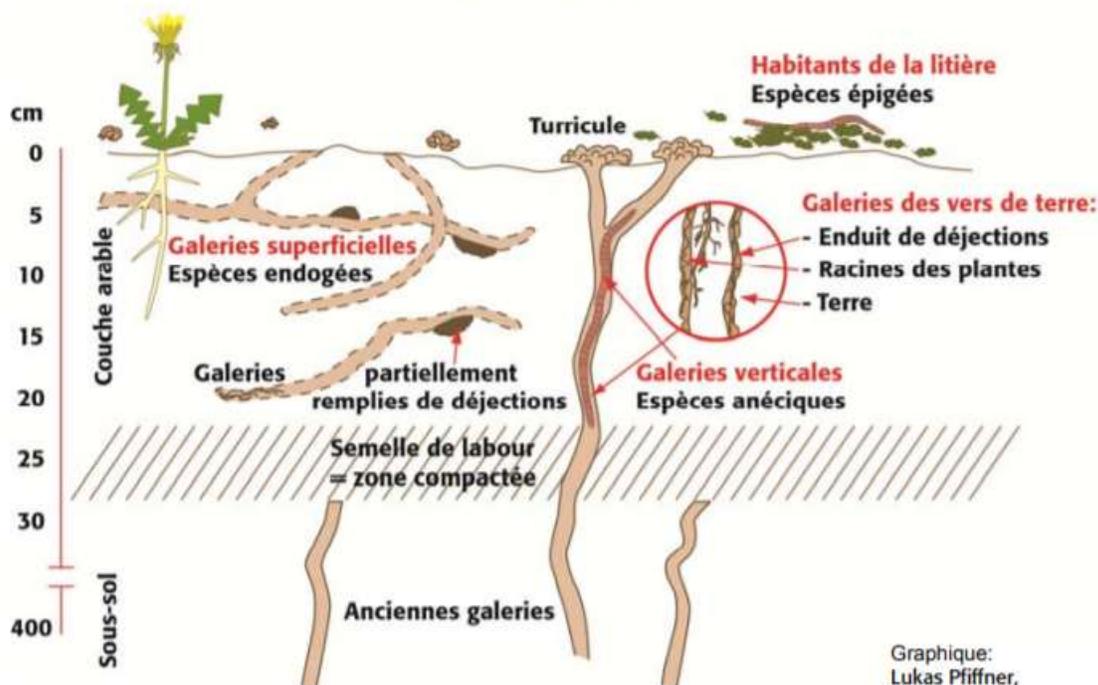


Trois groupes écologiques

Groupes	Épigés	Endogés	Anéciques
	Espèces qui habitent dans la litière de surface	Espèces qui creusent des galeries horizontales et superficielles	Espèces qui creusent des galeries verticales et profondes
Représentants			
Habitat	Dans la litière de surface, surtout dans les prairies, la forêt et le compost. Se trouvent rarement dans les sols labourés puisqu'il ne peut pas s'y former de couche de litière durable.	Couche arable (5–40 cm), sols minéraux humiques. Surtout galeries horizontales et instables. Les jeunes vers se trouvent généralement assez haut dans la zone des racines des plantes.	Toutes les couches du sol jusqu'à 3–4 m de profondeur. Creusent des galeries verticales et stables (Ø 8–11 mm) de diamètre où ils séjournent normalement pendant toute leur vie. Importants dans les sols agricoles.
Grandeur	Petits, le plus souvent 2–6 cm de longueur	Petits ou jusqu'à 18 cm de longueur	Le plus souvent grands, 15–45 cm de longueur
Alimentation	Petits morceaux de plantes restés à la surface du sol	Déchets de plantes mélangés à la terre de la couche arable	Tirent de grands déchets de plantes dans leurs galeries d'habitation
Multiplification	Forte	Limitée	Limitée
Durée de vie	Courte: 1–2 ans	Moyenne: 3–5 ans	Longue: 4–8 ans
Sensibilité à la lumière	Faible	Forte	Modérée
Couleur	Globalement rouge-brunâtre	Pâle	Rouge-brun, tête plus foncée
Exemples	Ver du compost, Ver rouge du marécage	Octolasion lacteum, Allolobopora caliginosa	Lombric, Ver à tête noire

GROUPES ÉCOLOGIQUES

Les zones où vivent les trois grands groupes de vers de terre



EFFETS SUR LA FERTILITÉ DU SOL



Galerie de ver de terre tapissée de déjections (les taches brunes sont des traces d'humus et les points blancs des éléments nutritifs cristallisés).

- Dépôt de **10 kg** de déjections /m² / an dans la terre et à la surface
- Aération du sol
- Amélioration de l'absorption, stockage, infiltration et drainage de l'eau (≠ ruissellement et érosion)

EFFETS SUR LA FERTILITÉ DU SOL



Galerie de ver de terre tapissée de déjections (les taches brunes sont des traces d'humus et les points blancs des éléments nutritifs cristallisés).

- Hygiénisent le sol: multiplication des bactéries et champignons édaphiques utiles dans leurs galeries et turricules
- Décomposition de certaines formes hivernantes des organismes nuisibles entraînés dans les galeries.
- Favorisent la croissance des racines (colonisation des galeries)

EFFETS SUR LA FERTILITÉ DU SOL



Décomposition des débris végétaux morts.

Déjection = Turricules : mélange de particules organiques et minérales concentrés et facilement assimilables par les plantes.

EFFETS SUR LA FERTILITÉ DU SOL



Eléments chimiques	Teneur du Sol (%)	Teneur des Turricules (%)	Rapport Turricules vs Sol
Calcium (Ca)	19,90%	27,90%	1,40
Magnésium (Mg)	1,62%	4,92%	3,04
Azote (N)	0,04%	0,22%	5,50
Phosphore (P)	0,09%	0,67%	7,44
Potassium (K)	0,32%	3,58%	11,19

EFFETS SUR LA FERTILITÉ DU SOL



Il y a beaucoup de turricules à la surface du sol: de nombreux vers de terre sont actifs et le sol ne souffre pratiquement pas de la battance (essai DOC, Therwil: sol labouré cultivé en bio depuis 20 ans).



Il n'y a presque pas de turricules. Le sol a tendance à être battant (sol labouré cultivé en production intégrée depuis 20 ans dans le cadre de l'essai DOC à Therwil).

- Diminution de la battance : formation et stabilité des agrégats du sol: une structure grumuleuse (mélange de mucus, MO, MM, microorganismes ...)
- Rajeunissement du sol : transport des matières du sous-sol à la couche arable.

LES VERS DE TERRE

- Bioindicateurs de fertilité du sol
- Bioindicateurs de POLLUTION



PRINCIPALES COMPOSANTES MICROBIENNES DU SOL

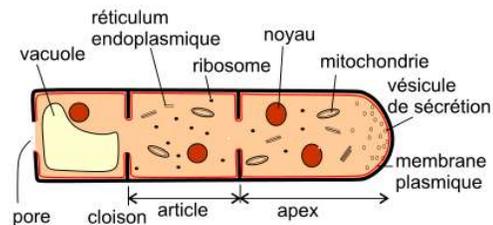
Les quatre groupes de microorganismes constitutifs de la microflore du sol (ordre de taille croissante)

- Les Bactéries
- Champignons
- Actinomycètes
- Algues

➔ Ce sont des groupes qui n'ont pas la même position dans la classification taxonomique

LES CHAMPIGNONS

- Connus comme pathogènes ou comestibles,
- Eucaryotes
- Les champignons sont des organismes microscopiques qui forment de longs filaments dans le sol.
- Les Hyphes forment le mycélium et confèrent aux champignons une certaine mobilité spatiale.



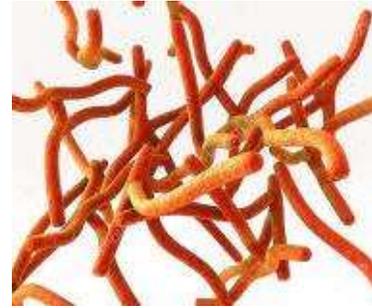
Hyphe



Mycelium

ACTINOMYCÈTES

- Les **actinobactéries** (*Actinobacteria*) sont un groupe d'eubactéries Gram Positives. Elles sont principalement telluriques.
- Ce sont des bactéries qui développent des filaments très fins 0,5 µm tout autour de la spore d'origine.



- Ils abondent dans la matière organique en décomposition et dans le sol auquel ils donnent **l'odeur caractéristique** que l'on perçoit au moment du labour.

ACTINOMYCÈTES

La majorité des espèces sont

- **Saprophytes**: capables de se nourrir (par absorption) de matière organique non vivante. pouvant provoquer la décomposition de cette matière en libérant des enzymes digestives.
- Quelques-unes vivent en **symbiose** à l'intérieur des plantes pour lesquelles elles fixent l'azote de l'air.

FRANKIA

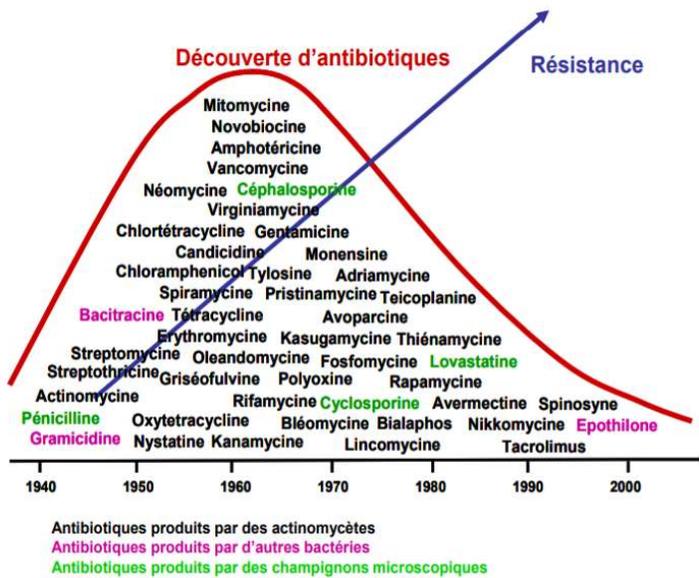
- *Frankia* est un genre de bactéries actinomycètes capables de fixer l'azote atmosphérique en association symbiotique avec les racines de plantes non légumineuses appelées "**plantes actinorhiziennes**"



Plantes actinorhiziennes

L'importance de ces espèces tient surtout au fait qu'elles sont responsables d'une partie importante de la fixation biologique de l'azote et que ce sont des espèces capables de réhabiliter des sites dégradés ou de protéger les sols contre diverses formes d'érosion.

LES ACTINOMYCÈTES, SOURCE DE BIOMOLÉCULES D'INTÉRÊT: LES ANTIBIOTIQUES



Sur 8100 molécules qui ont été recensées vers la fin de l'année 1999, 45,6% ont été produites par le genre *Streptomyces*, 16,0% par des actinomycètes autres que *Streptomyces*, 16,9% par d'autres bactéries et 21,5% par des champignons.

Age d'or de la découverte des antibiotiques, Hopwood (2007).

LES ACTINOMYCÈTES, SOURCE DE BIOMOLÉCULES D'INTÉRÊT: LES ENZYMES

Dans le sol les actinomycètes jouent un rôle important dans la décomposition et la minéralisation des matières organiques (lignine, cellulose...), grâce à la production de nombreuses enzymes lytiques extra cellulaires comme par exemple les amylases (brise les polysaccharides: les sucres), les xylanases, les lipases.

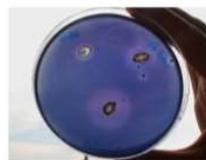
Après obtention de cultures pures sur milieu gélosé, les bactéries sont soumises à une batterie de tests biochimiques devant permettre de mettre en évidence la production de biomolécules d'intérêt.



test amylase



test caséinase



test xylanase



recherche de la β -lactamase

Tests biochimiques

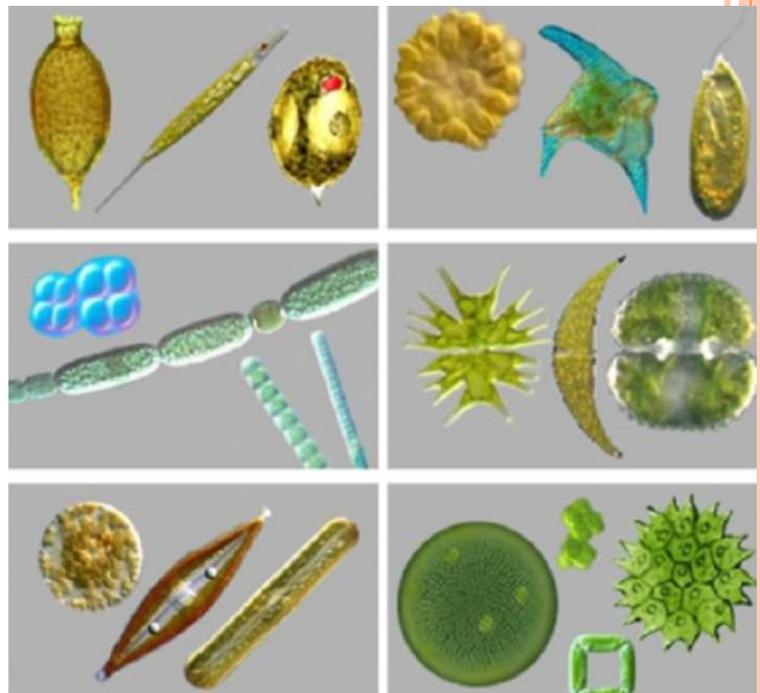
LES ALGUES

Ecosystèmes aquatiques
uniquement ?

FAUX

LES MICROALGUES

- microorganismes unicellulaires indifférenciés,
- Photosynthétiques,
- Plusieurs millions d'espèces,
- Libres ou en colonies.
- Eucaryotes (**Microalgues eucaryotes**) sauf pour les **cyanobactéries** qui sont procaryotes.



MICROALGUES ET CYANOBACTERIES DES SOLS: BIOINDICATEURS DE PRESSION PHYTOSANITAIRE

Intérêt des micro-algues des sols en
bioindication:

- Sensibilité élevée aux stress herbicides ... et pratiques culturales
- Rendent compte d'effets directs et intègrent l'exposition passée et présente

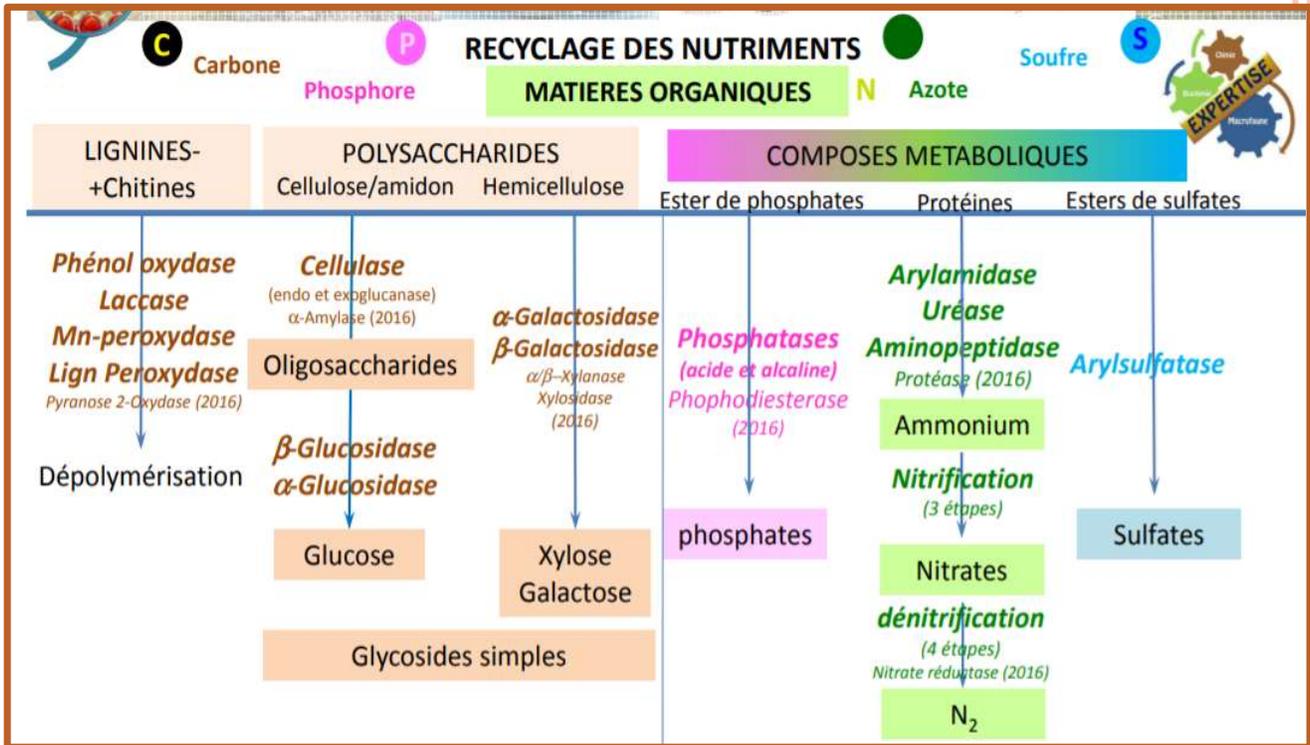


LES ENZYMES: INDICATEURS DE QUALITÉ DES SOLS

Les micro-organismes sont la principale source d'enzymes dans le sol. Ces enzymes sont les **médiateurs et les catalyseurs de processus biochimiques** importants dans le fonctionnement du sol tels que la minéralisation et le cycle des nutriments, la décomposition et la formation de la matière organique et la décomposition de xénobiotiques tels que les pesticides.



LES ENZYMES DU SOL



TRANSFORMATIONS MICROBIENNES DES PROPRIÉTÉS DES SOLS



FORMATION D'UN AGRÉGAT DE SOL

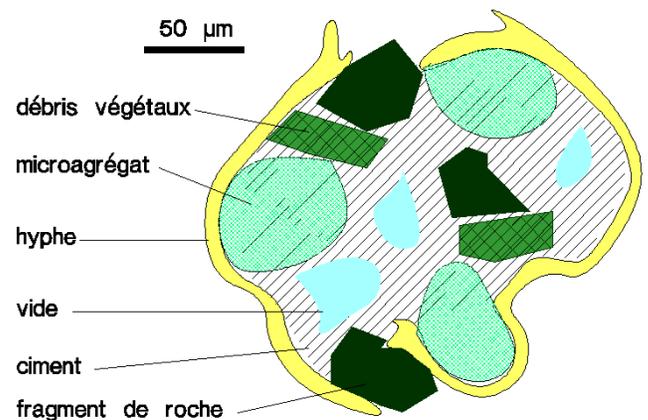
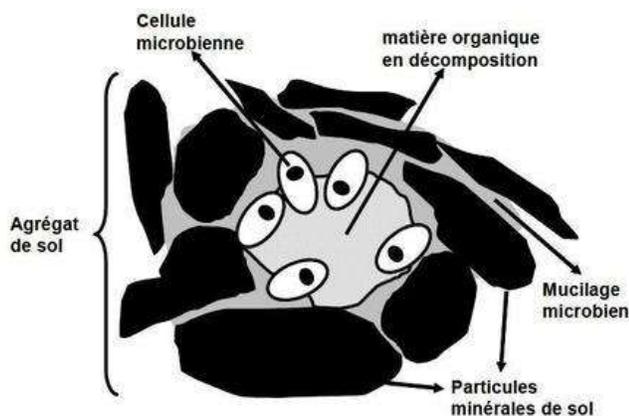
Les communautés microbiennes jouent un rôle dans le **maintien de l'état structural du sol.**

➔ La sécrétion de mucilages (composés de glucides et de protéines) par les bactéries permet de stabiliser les **micro-agrégats** dans le sol grâce à leur propriété collante.

➔ Le développement des hyphes de champignons permet de stabiliser les **macro-agrégats**.

FORMATION D'UN AGRÉGAT DE SOL

structure grumeleuse + capacité à stocker de l'eau + une moindre sensibilité à l'érosion.



Agglutination et formation d'un **microagrégat** de sol suite à l'activité microbienne de décomposition d'une particule de MO.

Structure schématique d'un **macro-agrégat.**

LES SYMBIOSES

LES SYMBIOSES: ACTEURS

Certains micro-organismes fixateurs d'azote peuvent s'associer symbiotiquement aux plantes vertes ; on en connaît trois groupes :

Les *Rhizobium*, bactéries associées aux Légumineuses ;

Les *Frankia*, actinomycètes associés aux plantes actinorhiziennes (par exemple *Alnus*, *Casuarina*) ;

Les cyanobactéries (*Nostoc*, *Anabaena*) associées à des plantes supérieures (cycadales) ou à de petites fougères aquatiques (*Azolla*).

LES SYMBIOSES

Certaines symbioses se manifestent par la formation d'organes spécialisés comme **les nodules**. D'autres, **ne donnent pas** naissance à la formation de structures spécialisées visibles, c'est le cas des cyanobactéries symbiotiques d'*Azolla*



LES SYMBIOSES : INTÉRÊT

L'intérêt majeur des symbioses fixatrices d'azote réside dans le fait qu'elles permettent aux légumineuses et plantes actinorhiziennes de **croître normalement dans des sols carencés en azote**, sans qu'il soit nécessaire d'apporter des engrais azotés coûteux et souvent source de pollution.

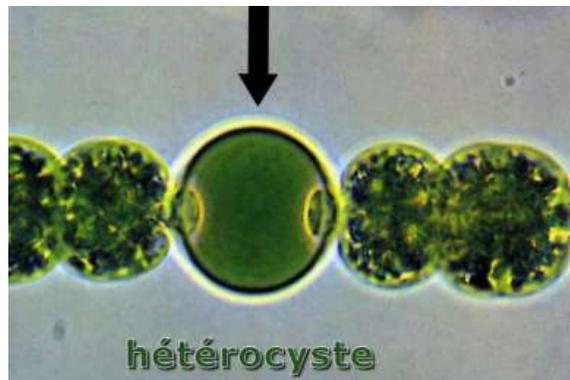


Les cyanobacteries: photosynthétiques et fixatrices d'azote

Les cyanobactéries (algues bleues) sont capables de fixer l'azote atmosphérique (eau Sol / symbiotiques ou pas).



- La fixation de N_2 intervient seulement lorsqu'il y a une déficience en azote minéral. En particulier, la formation des hétérocystes, cellules spécialisées dans la fixation de N_2 chez certaines formes de cyanobactéries, est inhibée par des sources d'azote combiné telles que les nitrates ou l'ammonium.



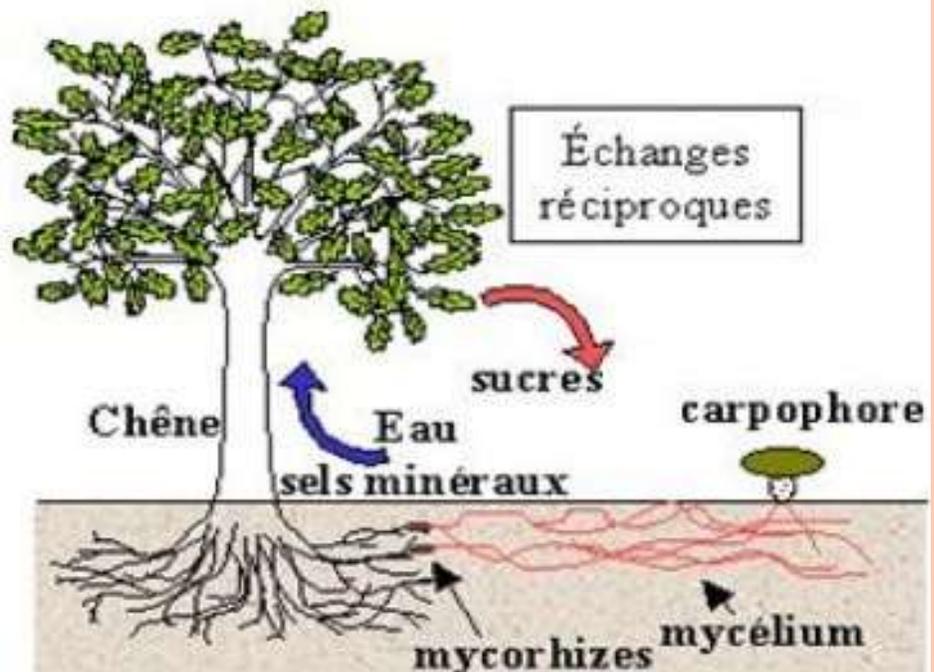
LES MYCORHIZES



SYMBIOSE MYCORHIZIENNE

association d'un organisme photosynthétique et d'un champignon filamenteux.

Les hyphes permettent de parcourir des **distances** beaucoup plus longues que les racines des plantes, ce qui leur donne accès à des nutriments **inaccessibles** par les racines.



LES MYCORHIZES: BÉNÉFICES POUR LES CHAMPIGNONS

- A l'intérieur de la racine, il est à l'**abri des agressions extérieures** : variations de température, prédateurs, pathogènes ...
- **La plante lui fournit, en quantités importantes, des composés carbonés directement assimilables**, essentiels à la vie du champignon, mais qu'il est incapable de synthétiser lui-même (Hétérotrophe)
- La plante apporte également au champignon de petites quantités d'acides aminés et de vitamines.



LES MYCORHIZES: BÉNÉFICES POUR LES PLANTES HÔTES

Grâce au mycélium très dense et ramifié qu'il développe autour des racines, **le champignon multiplie par 1000 la surface de contact entre le sol et la racine**, améliorant les **capacités d'absorption de l'eau par le système racinaire**.

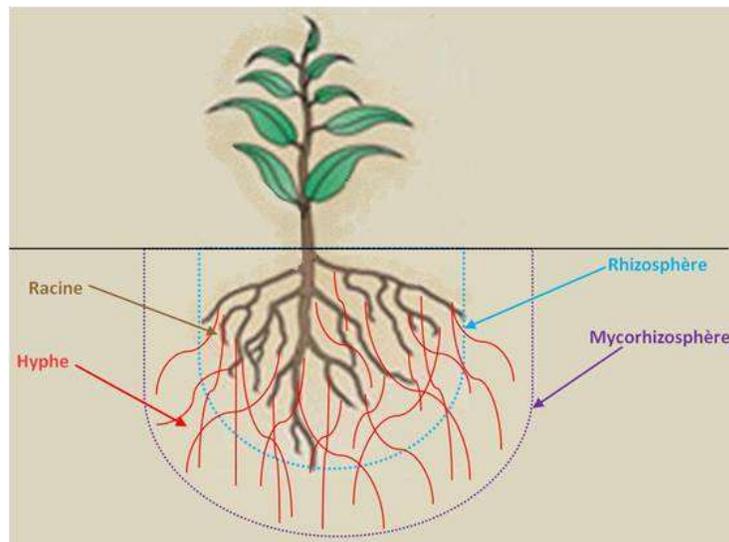


LES MYCORHIZES: BÉNÉFICES POUR LES PLANTES HÔTES

De plus les très fins filaments du mycélium peuvent s'insinuer dans les pores les plus petits du sol et en extraire l'eau, chose que les racines, plus épaisses, ne peuvent pas faire : en cas de sécheresse , ces micro-pores du sol constituent une réserve d'eau précieuse. Grâce aux mycorhizes, **la plante hôte est donc moins sensible au manque d'eau**.



LES MYCORHIZES: BÉNÉFICES POUR LES PLANTES HÔTES



Représentation schématisée du volume de sol influencé par les racines et les microorganismes associés (rhizosphère) et du volume de sol qui environne une racine colonisée par un champignon mycorhizien (mycorrhizosphère)

LES MYCORHIZES: BÉNÉFICES POUR LES PLANTES HÔTES

Le champignon aide la plante à **absorber les éléments nutritifs présents dans le sol:**

- Solubilisation des **minéraux** contenus dans les fragments de roche,
- Décomposition des matières organiques du sol,
→ **les rendant ainsi disponibles pour la plante.**

LES MYCORHIZES: BÉNÉFICES POUR LES PLANTES HÔTES

les plantes mycorhizées présentent un système racinaire plus dense, elles poussent plus vite, offrent une floraison et une fructification plus abondantes et supportent mieux les épisodes de sécheresse ou les sols peu fertiles.

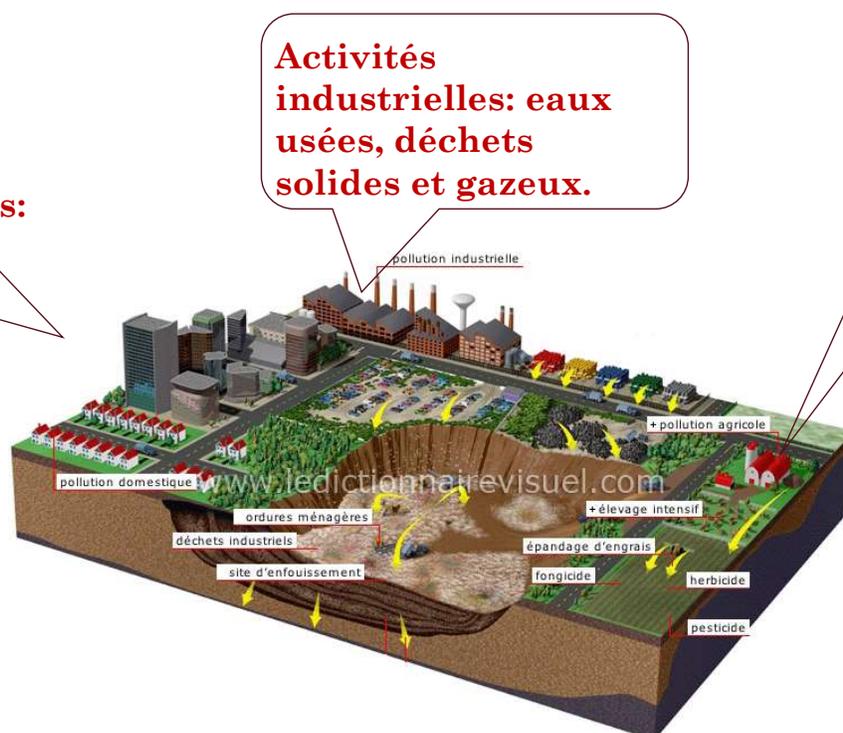
Inoculation ?

Facteurs affectant la biofertilité du sol : La Pollution

Activités domestiques: eaux usées, ordures ménagères.

Activités industrielles: eaux usées, déchets solides et gazeux.

Activités agricoles: emploi abusif de pesticides + apports massifs d'engrais.





Le Sol Vivant

+
POLLUTION

CONTAMINANT

VS

POLLUANT



UN CONTAMINANT

- **Un contaminant est un élément qui a été ajouté dans un milieu.** De part sa nouvelle présence même, il a modifié l'état initial du milieu, celui-ci n'est plus le même.

UN POLLUANT

- **Un polluant est un contaminant qui a dégradé l'état du milieu, qui l'a perturbé, qui a eu un effet délétère sur son fonctionnement, dont l'action s'est avérée toxique, qui empêche l'usage qui en est fait habituellement... en résumé, qui a eu un impact négatif mesurable.**

POLLUTANT VERSUS CONTAMINANT

Pollutant is a harmful or poisonous substance that pollutes something.

Contaminant is a foreign substance or impurity that contaminates something.

Pollutants always create harmful effects.

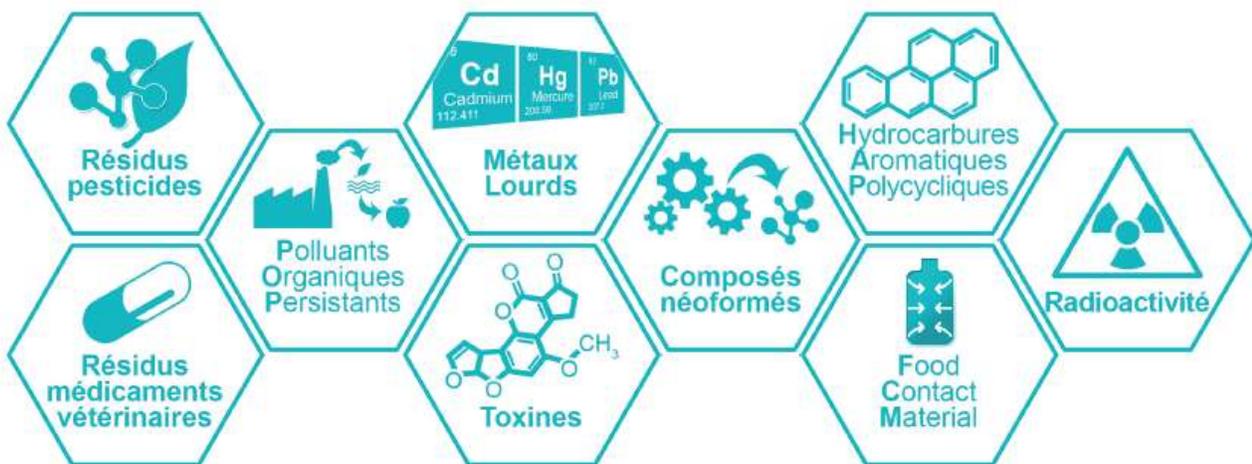
Contaminants do not always create harmful effects.

Pollutants can be either foreign substances or a component of the original substance that has exceeded the harmless level.

Contaminants usually refer to foreign matter that are introduced from the outside.

Pediaa.com

PRINCIPAUX POLLUANTS



LES MICROPLASTIQUES ?



LES MICROPLASTIQUES ?



Taille < 5 mm
nanoparticules
Partout ... omniprésents
Timidement étudiés



LES MICROPLASTIQUES: CONCENTRÉS DE CONTAMINANTS

Porteurs des polluants constitutifs (chlore, plomb, colorants, retardateurs de flammes....)

Concentrent (éponges), divers contaminants (métaux, hydrocarbures, pesticides ...), des perturbateurs endocriniens ...

Des biofilms ...



LES MICROPLASTIQUES: CONCENTRÉS DE CONTAMINANTS

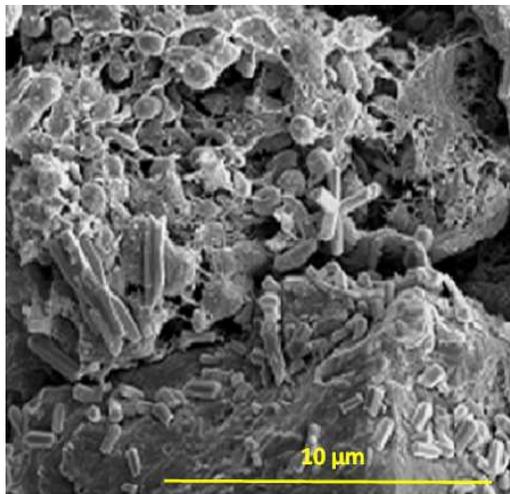


Fig. Image de microscopie électronique à balayage de la communauté de biofilm adsorbée aux particules de plastiques prélevés de sol irrigué par les eaux usées traitées.



LES MICROPLASTIQUES DANS LE SOL EN TUNISIE

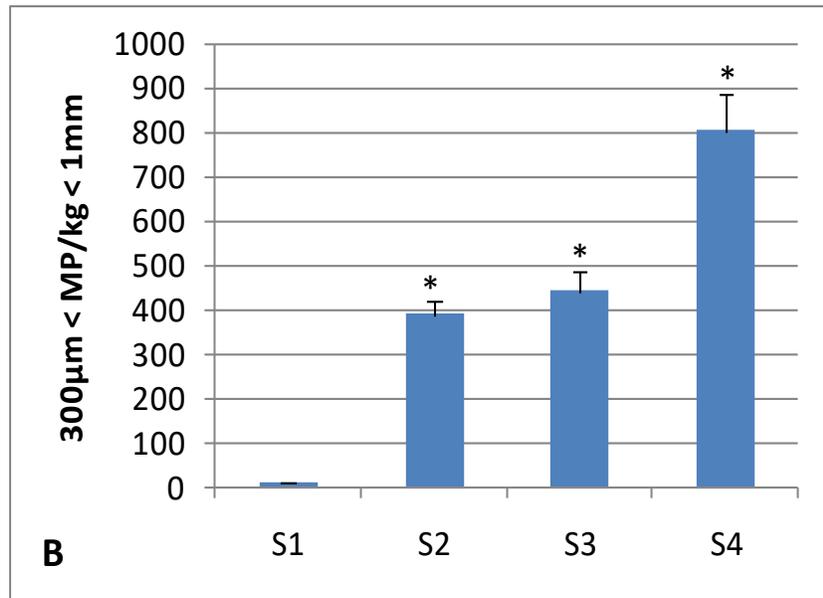
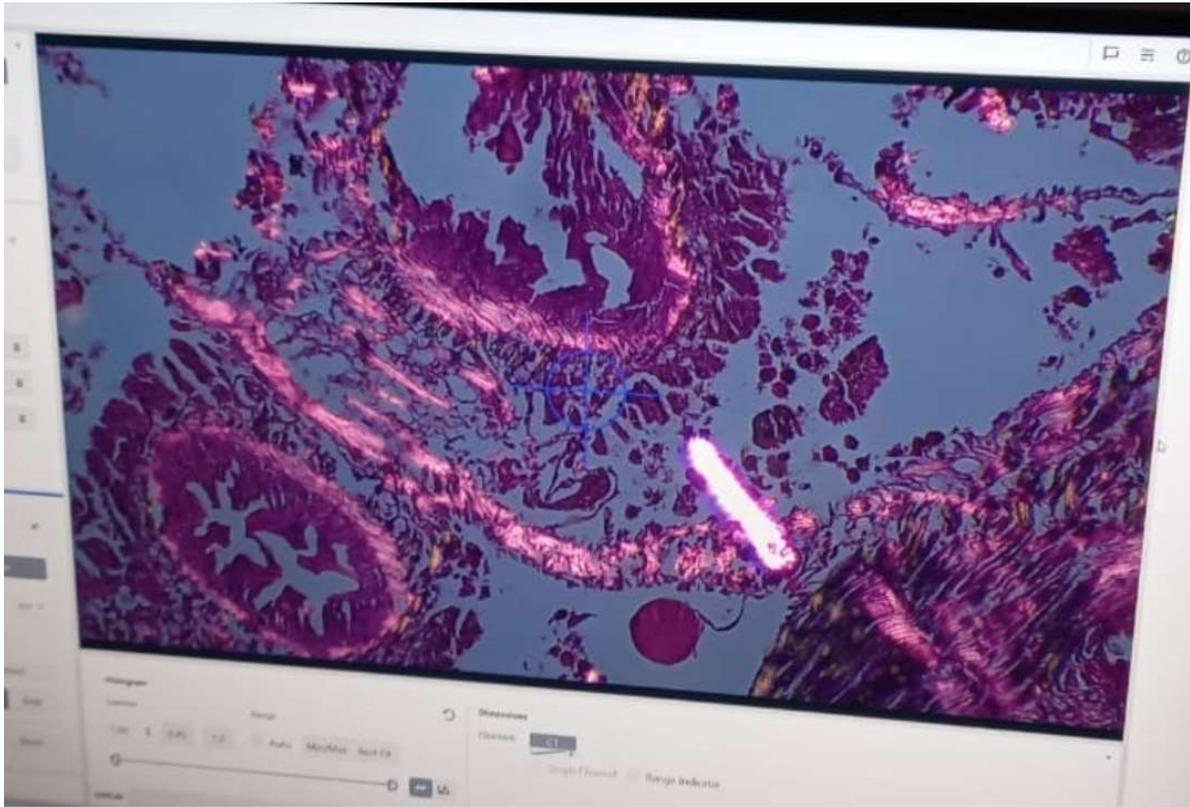


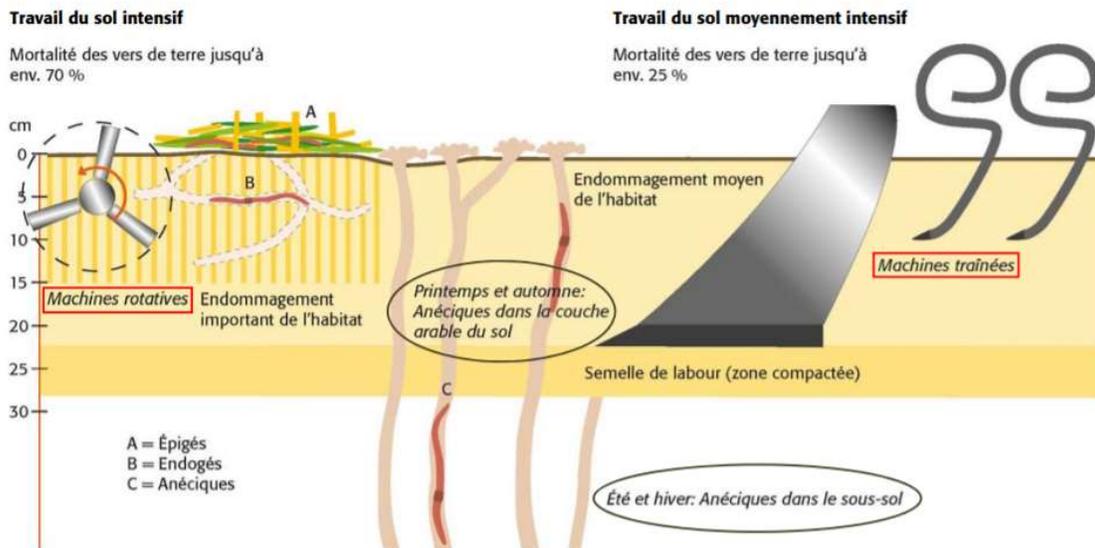
Fig : Distribution granulométrique des microplastiques (MP) retrouvés dans des sols de différentes origines (particules/kg de sol sec). B: microplastiques (MP) de taille $300 \mu\text{m} < \text{MP} < 1 \text{mm}$. S1: Sol biologique sans paillage plastique (Témoin); S2: Sol des cultures sous-serres; S3: Sol avec paillage plastique; S4: Sol irrigué par les eaux usées traitées.

* Différence significative par rapport au témoin ($p < 0.05$)





Facteurs affectant la biofertilité du sol :



Pratiques culturales inadéquates ...

AMÉLIORATION DE LA FERTILITÉ DU SOL

- Utilisation rationnelle et raisonnée des intrants chimiques
- Retourner le moins possible le sol
- Eviter le maximum la pression sur le sol et le tassement.



Le labour hors-raie (aussi quelque fois appelé «hors-sillon») aide à éviter les tassements dans la zone de la semelle de labour.



Ne pas utiliser des combinaisons de machines trop lourdes aide à ménager les vers de terre.

AMÉLIORATION DE LA FERTILITÉ DU SOL

- Les amendements organiques avec une orientation préférée vers le **compostage**



AMÉLIORATION DE LA FERTILITÉ DU SOL

- Les rotations culturales diversifiées comportant un engrais vert:

L'introduction d'une culture de légumineuse dans la rotation favorise le **maintien de la fertilité du sol** car elle a l'avantage de capter l'azote dans l'air et de la retransmettre au sol au profit de la culture suivante.



PRINCIPES CLÉS DE L'AGROÉCOLOGIE

Quatre grandes catégories :

- La préservation des ressources naturelles et de la biodiversité,
- La limitation des externalités négatives,
- La génération de revenus sûrs et locaux
- La valorisation de l'humain et des dynamiques sociales.

LA PRÉSERVATION DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA BIODIVERSITÉ

- Le système **eau-sol-plante**, qui est à la base de toute activité agricole, est **considéré dans sa globalité** et il est exploité de façon **durable** (pérennité du système productif).
- Ainsi, plusieurs techniques relèvent de l'agroécologie et permettent de limiter l'érosion des sols et d'utiliser au mieux la ressource en eau (techniques de gestion de l'eau et du sol, couverture végétale permanente, haies vives, agroforesterie...).

LA PRÉSERVATION DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA BIODIVERSITÉ

- L'agroécologie s'appuie sur le **recyclage des biomasses**.
- Les associations polyculture-élevage sont encouragées puisqu'elles s'enrichissent l'une l'autre (alimentation du bétail/ fertilisation organique).
- L'agroécologie encourage la diversification des productions agricoles et des espèces, et elle promeut les bénéfices tirés des **bonnes associations culturelles**.

LA PRÉSERVATION DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA BIODIVERSITÉ

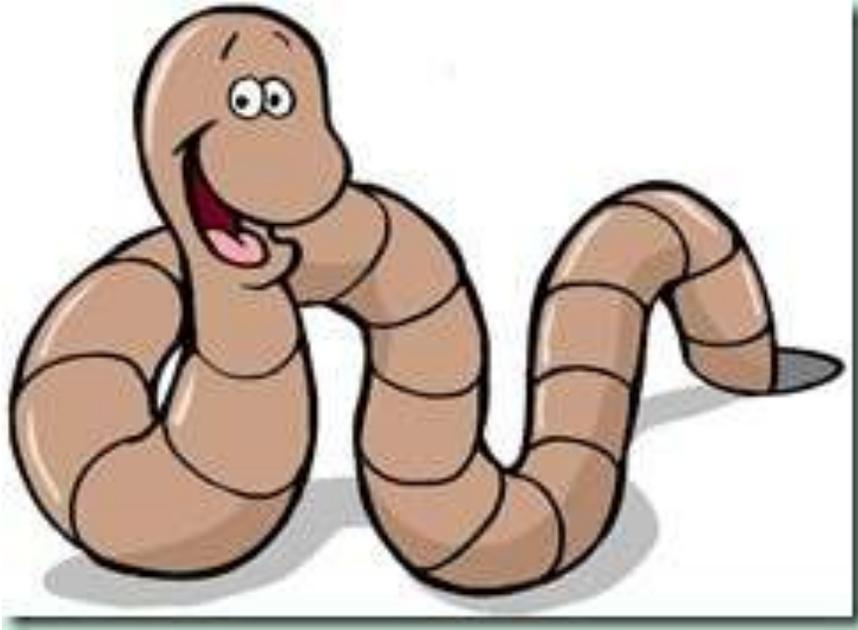
- L'agroécologie permet de réduire les dépendances aux facteurs externes, en promouvant la **régulation biologique**, l'utilisation de **traitements naturels** ou **la lutte intégrée** contre les ravageurs.

Tout ceci conduit les systèmes de production agroécologiques à mieux résister en cas de phénomènes climatiques extrêmes.

LA SENSIBILISATION



22 avr. 2019



MERCI POUR VOTRE ATTENTION !!

