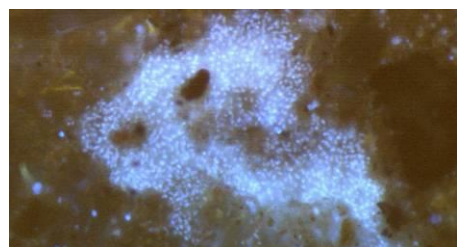
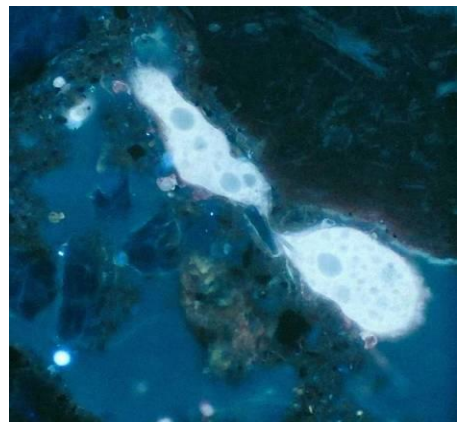
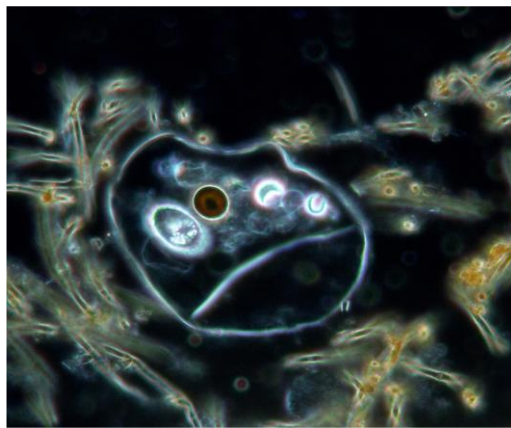


# LE SOL EST VIVANT!





# QU'EST-CE QUE LA BIODIVERSITE ?

BIODIVERSITE est un terme qui décrit la variété de l'ensemble des organismes vivants dans tous les environnements.



Le terme BIODIVERSITE a été inventé en 1980 par trois scientifiques américains (Lovejoy, Norse et Mc Manus) pour un projet dont les a chargés le Président Jimmy Carter, qui visait à suivre les stocks de poissons marins.

## NIVEAUX DE BIODIVERSITE

On peut parler de biodiversité

- Au sein des espèces (ex. organes, tissus, cellules, etc.)
- Parmi les espèces (ex. chats, chiens, vaches, moutons, etc. – le concept le mieux compris)
- Au sein d'écosystèmes (ex. différentes espèces de plantes dans une forêt)

## COMBIEN D'ESPECES Y A-T-IL SUR TERRE ?

D'après certains chercheurs, le nombre d'espèces vivant sur la planète se situe entre 5 millions et 50 millions. Une estimation couramment utilisée est 12,5 millions.

Actuellement, seulement 1,5 million d'espèces ont été identifiées ! En fait, notre connaissance et compréhension d'un grand nombre de ces espèces est limitée à leur nom, l'endroit où elles vivent et quelques fonctions vitales.

## CONCLUSION

Il est clair que des études supplémentaires sont indispensables pour identifier et comprendre le reste des espèces qui peuplent notre planète.

# LA PERTE DE BIODIVERSITE

## LE TAUX D'EXTINCTION NATUREL

Si le Terre était à l'équilibre, le taux d'extinction naturel (évolution normale) serait d'environ une espèce sur un million tous les ans. Cela signifie qu'environ 12 espèces disparaîtraient chaque année. Toutefois, ce n'est pas toujours le cas!

## LES EXTINCTIONS DE MASSE

On peut trouver des traces d'extinctions de masse sur la planète grâce à l'analyse de fossiles. Cinq épisodes d'extinctions de masse ont été identifiés :

1. L'extinction de l'Ordovicien, il y a environ 435 millions d'années
2. L'extinction du Dévonien, il y a environ 360 millions d'années
3. L'extinction du Permien, il y a environ 240 millions d'années, la fin des trilobites et des placodermes
4. L'extinction du Trias, il y a environ 200 millions d'années, 96% de l'ensemble des espèces marines
5. L'extinction du Mésozoïque, il y a environ 65 millions d'années, les dinosaures et les ammonites



Ces extinctions de masse ont probablement été causées par des facteurs naturels comme de grosses météorites, l'activité volcanique, l'évolution des insectes, etc.

## LA 6<sup>ème</sup> EXTINCTION DE MASSE

Aujourd'hui, nous vivons une 6<sup>ème</sup> extinction de masse.

Actuellement, la perte d'espèces est estimée entre 15 000 et 30 000 par an !

Au cours des 50 dernières années, des centaines de milliers d'espèces ont été perdues.

Cette fois, les causes des changements environnementaux drastiques ne sont pas toutes naturelles, mais causées par :

- L'augmentation de la population humaine
- La destruction et la fragmentation des habitats
- Les pratiques agricoles
- Les invasions d'espèces exotiques
- La pollution
- Le changement climatique

## CONCLUSIONS

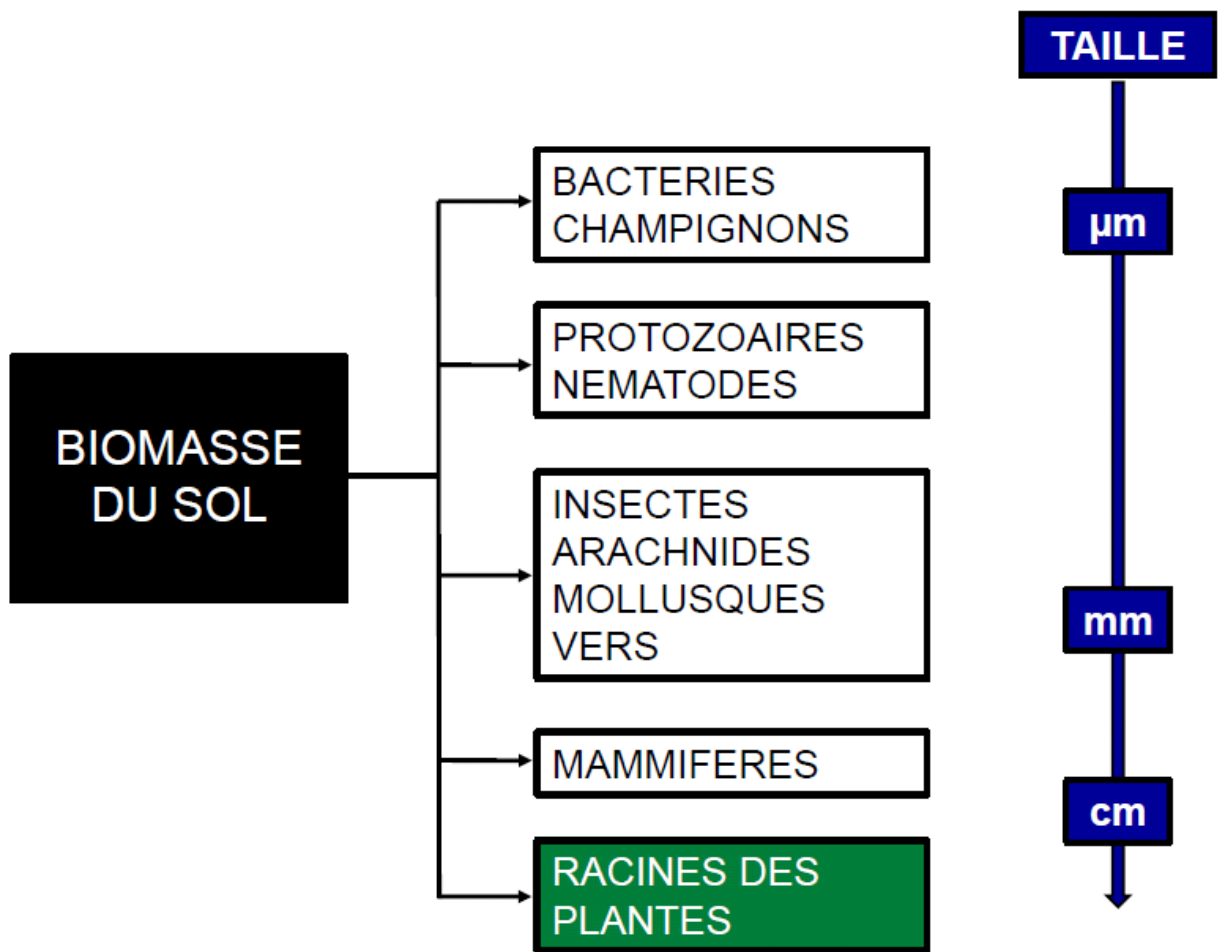
Sans aucun contrôle, d'ici 2099, nous aurons réduit le nombre d'espèces sur la planète de 50 à 60% ! Est-ce le risque le plus grand pour la vie sur Terre telle que nous la connaissons ?



# QU'ENTENDONS-NOUS PAR BIODIVERSITE DU SOL?

L'éventail d'organismes présents dans le sol.

La variété et la variabilité parmi les organismes vivants et les complexes écologiques dans lesquels ils existent.



D'après Karl Ritz

Le sol est un milieu pour une grande variété d'organismes, qui interagit étroitement avec l'ensemble de la biosphère ; le maintien d'un sol fertile est l'un des services écologiques les plus vitaux produits par le monde biologique, puisque les compartiments minéraux et organiques du sol doivent être constamment renouvelés au fur et à mesure que les plantes consomment ces éléments pour les introduire dans la chaîne alimentaire.



# POURQUOI LA BIODIVERSITE DES SOLS EST-ELLE IMPORTANTE?

Les organismes du sol fournissent un certain nombre de biens et de services écosystémiques particulièrement importants pour l'environnement :

- La production alimentaire et de biomatériaux
- La décomposition de la matière organique en éléments minéraux et en nutriments
- La transformation des polluants
- Les cycles d'éléments essentiels comme l'azote et le carbone



Les organismes du sol ont un effet positif sur la fertilité du sol et la croissance des plantes. Toutefois, l'action des organismes du sol sur les processus écosystémiques sont largement méconnus !



**Le sol est menacé par la croissance de la population humaine, une mauvaise gestion des terres et la pollution. La Stratégie Thématique européenne pour la Protection des Sols vise à préserver les sols à travers l'Europe.**

# COMBIEN DE VIE Y A-T-IL DANS LE SOL?

Dans une poignée de terre (environ 200 g), il y a environ 0,5 g de matière vivante, dont la plupart est trop petite pour être visible à l'œil nu (ex. les microorganismes).

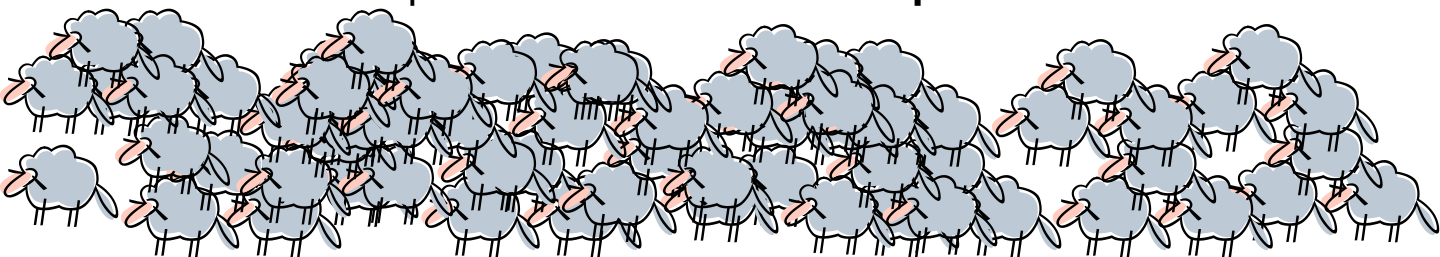
Ce qui représente 5 tonnes par hectare.

**C'est l'équivalent de 100 moutons sur un hectare !**



La densité habituelle de moutons sur une prairie est d'environ 20 par hectare !

Au niveau d'une prairie, la quantité d'organismes du sol est environ 20 fois supérieure = **2000 moutons par hectare!**





# UNE POIGNEE DE SOL EST VIVANTE!

Dans le sol, il y a tout un monde d'organismes, d'animaux et de plantes qui nous sont pour la plupart inconnus. Cette « boîte noire » est essentielle à la vie et devrait être préservée ou protégée.

Dans cette motte de terre on trouve:

**5 000 individus**  
**100 - 500 espèces**

**Des mammifères!**  
**Taupes, souris...**

**100 000 individus**  
**100- 500 espèces**

**INSECTES – ARACHNIDES**  
**VERS – MOLLUSQUES**

**PROTOZOAIRE – NEMATODES**

**RACINES DES PLANTES**

**BACTERIES**  
**CHAMPIGNONS**

**500 mètres**  
**10-50 espèces**

**100 000 000 000 individus**  
**10 000 espèces**

**50 km de filaments**  
**500-1000 espèces**

**10 000 individus**  
**50-100 espèces**

## BIODIVERSITE ET QUALITE DU SOL

Un niveau de biodiversité moyen à élevé est en général le signe d'un sol de bonne qualité. Cependant, la relation entre la qualité du sol et sa biodiversité n'est pas toujours claire. En effet, comment mesurer tout ce qui vit et interagit dans le sol? Les scientifiques cherchent ainsi des méthodes nouvelles et originales pour évaluer la biodiversité du sol.

# LE SOL EST UN HABITAT

## LE LABYRINTHE SOUTERRAIN

Le sol est (par lui-même, de façon indépendante) un habitat très complexe.

Les organismes du sol ont besoin d'un espace pour vivre.

La plupart des organismes se trouvent dans les 2-3 premiers cm du sol, où les concentrations en matière organique sont les plus élevées.



## QUI HABITE OU ?

Les vers de terre et les mammifères peuvent creuser des galeries dans le sol.

Les champignons forment des réseaux d'hyphes, qui peuvent s'étendre à travers le sol sur plusieurs mètres.

Les bactéries tendent à se concentrer au cœur des agrégats du sol où elles sont protégées des prédateurs comme les protozoaires ou les acariens

Les bactéries peuvent être entraînées profondément dans le sol par les eaux de percolation.





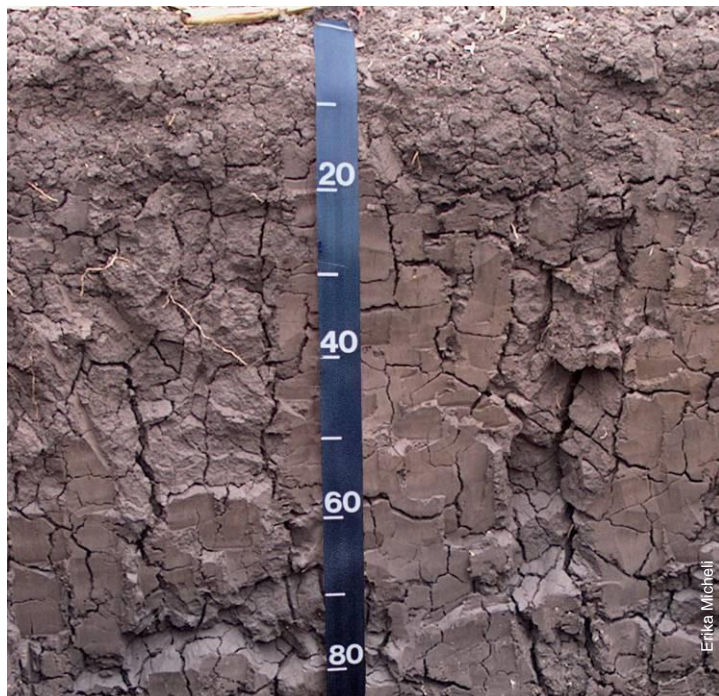
# LE SOL EST UN HABITAT

## LE RESEAU PORAL

Alors qu'il paraît continu, le sol regorge de « vides » (appelés « pores ») où vous pouvez vivre si vous êtes tout petit.

Cet espace poral est déterminé par la structure (*i.e.* l'assemblage des mottes) et la texture (*i.e.* les quantités respectives d'argile, de limon et de sable dans un sol).

Un sol argileux renferme souvent plus de bactéries qu'un sol sableux car l'argile crée beaucoup de petits pores (espaces) qui offrent une protection aux bactéries.



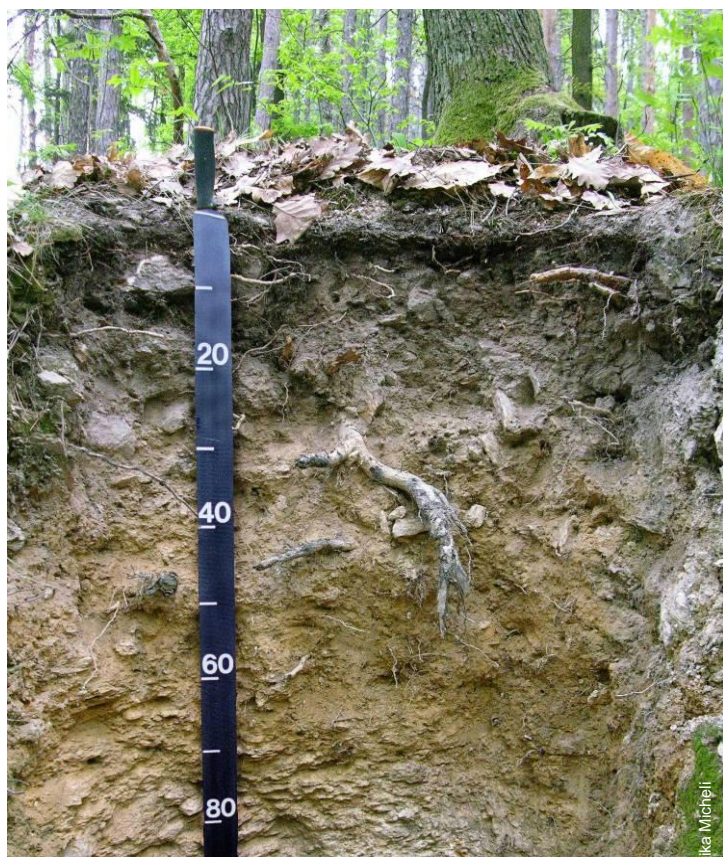
## LA ZONE RACINAIRE

La **rhizosphère** est la partie du sol sous influence des racines des végétaux.

De nombreux organismes préfèrent vivre près des racines.

Les racines des plantes libèrent des composés organiques dans le sol. Ces composés, appelés exsudats, augmentent la disponibilité des nutriments dans la rhizosphère et sont également une source de carbone pour les microorganismes hétérotrophes.

Ainsi, le nombre de microorganismes dans la rhizosphère est plus grand que dans le reste du sol.

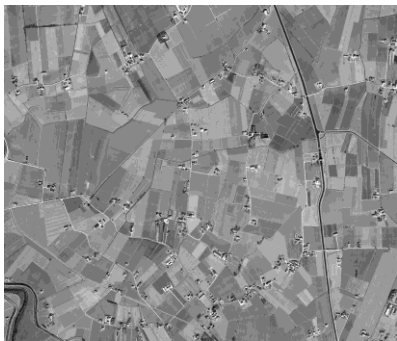


# L'ECHELLE SPATIALE DES FONCTIONS DE LA BIODIVERSITE DU SOL



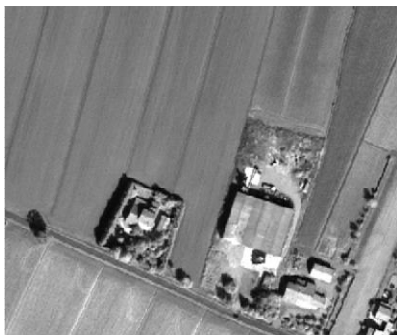
Niveau global:

- Régulation des cycles biogéochimiques (transfert de l'azote vers les plantes, stockage du carbone organique, etc.);
- Valeur d'usages ou de fonctions associée à divers aspects de la biodiversité, possibles mais encore inconnues.



Niveau régional/national:

- Assure la sécurité alimentaire à court et long terme ;
- Augmente l'esthétique des paysages ruraux, en supposant une relation positive entre la diversité souterraine et la diversité épigée.



Niveau de l'exploitation agricole:

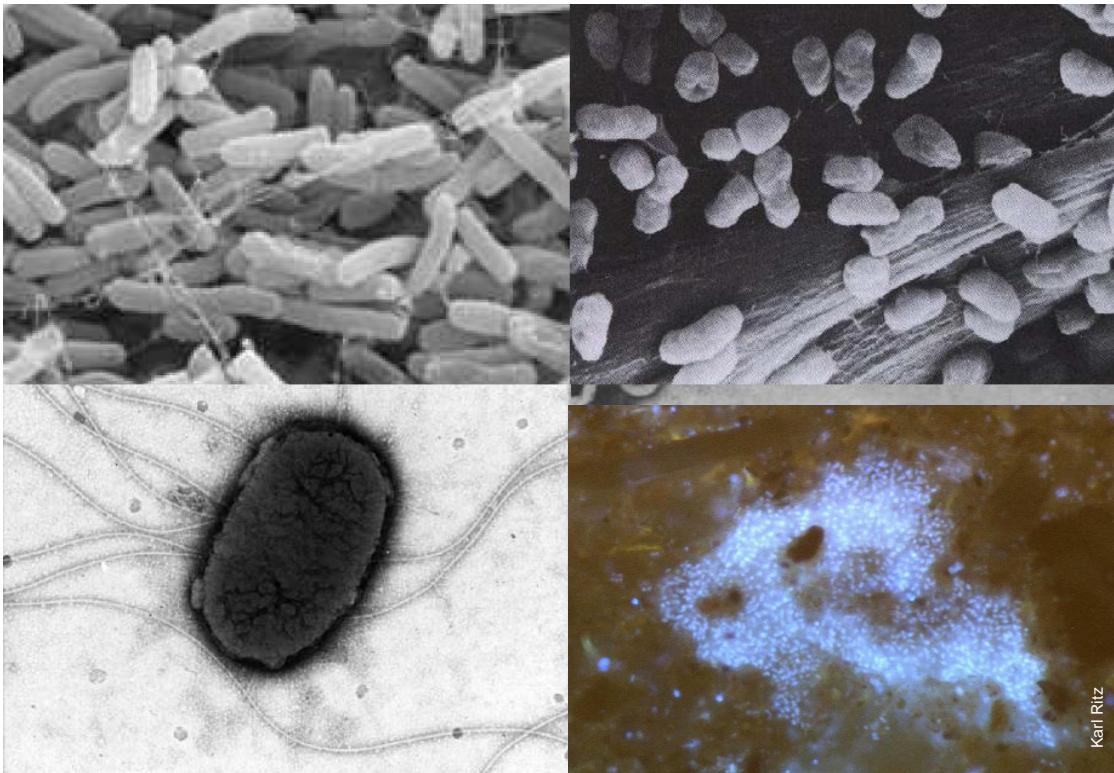
- Contribue à la capacité productive du système en assurant la minéralisation des nutriments à partir des ressources organiques et de la fixation de l'azote;
- Tamponne les fonctions du sol et leur résilience face aux risques climatiques et environnementaux.

(Modifié d'après Izac A.M.)



# LES BACTERIES: MINUSCULES MOTEURS DE LA VIE

Les bactéries sont de tout petits organismes unicellulaires – en général d'1  $\mu\text{m}$  de large (0.001 mm!) et un peu plus en longueur. Les bactéries ne sont pas visibles à l'œil nu mais sont présentes partout !



La plupart des bactéries sont des décomposeurs qui consomment des composés carbonés comme la litière organique. Par ce processus, les bactéries convertissent l'énergie de la matière organique du sol en énergie utilisable par l'ensemble des organismes de la chaîne alimentaire du sol. Certaines bactéries peuvent décomposer des pesticides et des polluants du sol. Les bactéries sont particulièrement importantes pour immobiliser ou retenir les nutriments dans leurs cellules, évitant ainsi la perte de nutriments, comme l'azote, dans la zone racinaire. Certaines bactéries modifient le mouvement de l'eau en produisant des substances qui aident les particules du sol à s'associer pour former de petits agrégats. La stabilité de ces agrégats améliore l'aération du sol et l'infiltration de la pluie. La capacité de rétention en eau est aussi favorisée, ce qui permet d'alimenter les plantes en période de sécheresse.

# LES CHAMPIGNONS DU SOL

Les champignons sont des organismes microscopiques qui forment de longs filaments dans le sol. Ces filaments, dont le diamètre ne dépasse normalement pas quelques microns, sont appelés des hyphes, mais un seul hyphe peut mesurer plusieurs mètres de long.

Certains hyphes forment une masse appelée mycélium ou des rhizomorphes épais qui ressemblent à des racines. Ce qu'on appelle vulgairement champignon (que l'on peut consommer) correspond en fait aux « fruits » produits à partir du mycélium. Ces fruits ou carpophores ont des structures en lamelles sur lesquelles se forment les spores. Un même champignon peut donner de nombreux carpophores sur une surface aussi étendue qu'un terrain de football.



500  $\mu$ m

Karl Ritz

Les champignons fournissent de nombreux services liés à la dynamique de l'eau, au cycle des nutriments et aux maladies. Avec les bactéries, les champignons sont des décomposeurs importants dans la chaîne trophique du sol. Ils transforment des matériaux organiques difficiles à digérer en composés que d'autres organismes peuvent utiliser.

Les hyphes des champignons lient les particules du sol les unes aux autres pour créer des agrégats stables qui augmentent l'infiltration de l'eau et la capacité de rétention en eau du sol.



# PROTOZOAIRES ET NEMATODES

Les **protozoaires** sont des organismes unicellulaires qui se nourrissent principalement de bactéries, d'autres protozoaires, de matière organique soluble et parfois de champignons.

Ils sont plusieurs fois plus grands que des bactéries – allant de 5 à 500  $\mu\text{m}$  de diamètre.

Comme ils absorbent des bactéries, les protozoaires libèrent l'azote en excès, qui peut être utilisé par les plantes et d'autres organismes de la chaîne alimentaire.

Les amibes sont un type de grands protozoaires.



Karl Ritz



Roberto Cenci

Les **nématodes** sont de petits vers cylindriques très abondants dans les couches superficielles du sol.

Les nématodes sont de loin les invertébrés les plus nombreux dans le sol, à la fois en terme de nombre d'individus que de diversité d'espèces.

Ils peuvent s'adapter dans à peu près tous les types d'habitats.

Certains nématodes sont des parasites et peuvent causer des pertes économiques importantes en agriculture, non seulement par une diminution des rendements, mais aussi du fait du coût des produits chimiques utilisés pour stériliser le sol.

# ARTHROPODES

Les arthropodes sont des invertébrés (i.e. ils ont une protection externe dure appelée exosquelette au lieu d'une colonne vertébrale). Ils tiennent leur nom de leurs pattes (*podos*) articulées (*arthros*).

Les arthropodes peuvent être microscopiques ou atteindre plusieurs centimètres. Ils comprennent des insectes comme les collemboles, les scarabées et les fourmis; des arachnides comme les araignées, les scorpions et les acariens; des myriapodes (mille-pattes) comme les diploptides et les chilopodes. Les crabes et autres crustacés sont aussi des arthropodes.



Du fait de leurs fonctions dans le sol, les arthropodes peuvent être regroupés en détritivores, prédateurs, herbivores ou fongivores (voir les acariens **à gauche**). La plupart des arthropodes du sol se nourrissent de champignons, de vers et d'autres arthropodes.

Ce collembole, **en bas à gauche**, est un arthropode qui se nourrit de champignons et vit dans les horizons de surface de sols naturels et agricoles du monde entier alors que les diploptides, **en bas à droite**, sont des détritivores qui mastiquent des résidus organiques.



Lorsqu'ils se nourrissent, les arthropodes aèrent et mélangent le sol, régulent la taille des populations d'autres organismes et déchiquent les résidus organique.



# VERS DE TERRE

Les vers de terre sont des invertébrés mous et fins (sans colonne vertébrale) et sont probablement les plus connues des créatures vivant dans le sol.

Ce sont des acteurs majeurs de la décomposition de la matière organique qui se nourrissent de bactéries et de champignons. Ils fragmentent la matière organique et contribuent de façon importante au recyclage des nutriments.

Il y a plus de 7000 espèces répertoriées.

Leur longueur varie de 1 à 40 cm et on les rencontre à toutes les profondeurs du sol.

En termes de biomasse et d'activité globale, les vers de terre dominent le monde des invertébrés du sol, incluant les arthropodes.



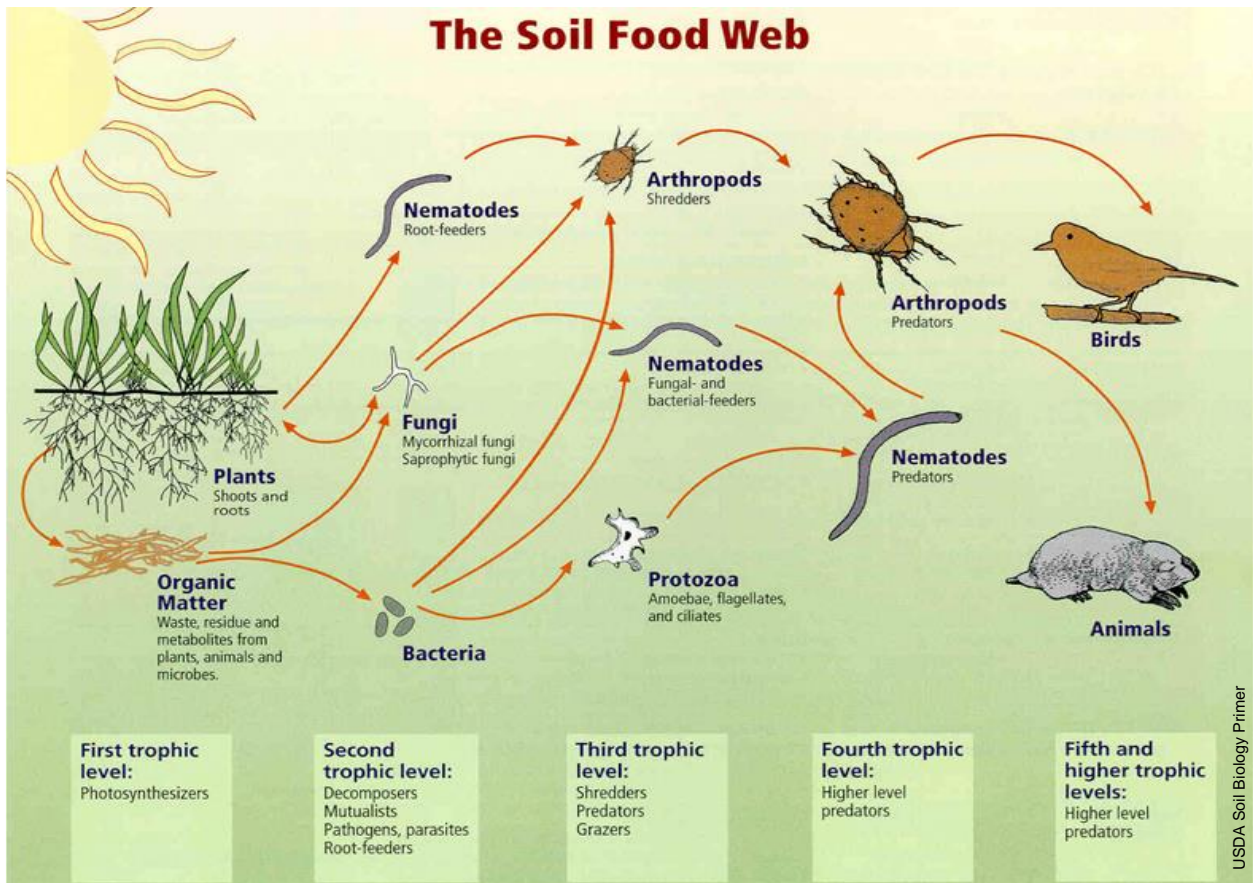
Les vers de terre réalisent de nombreuses fonctions bénéfiques pour le sol. Ils améliorent de façon significative la structure du sol, le mouvement de l'eau, les dynamiques des nutriments et la croissance des plantes.

Leur présence indique généralement un système sain.

# LA CHAÎNE ALIMENTAIRE DU SOL

## L'ÉNERGIE DANS LE SOL

La chaîne alimentaire du sol est la communauté d'organismes vivant dans le sol. Le schéma de chaîne alimentaire ci-dessous montre la série de conversions d'énergie et de nutriments (représentées par des flèches) lorsqu'un organisme en mange un autre !



Les producteurs primaires (ex. plantes, lichens, mousses) utilisent l'énergie solaire pour fixer le  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère. Ces producteurs primaires ainsi que la plupart des êtres vivants produisent des composés organiques tout au long de leur vie. Ces composés fournissent la « matière organique » du sol.

Les bactéries, les champignons et les autres habitants du sol transforment et décomposent cette matière organique. Celle-ci constitue ainsi un réservoir de nutriments, de carbone et d'énergie utilisé par les plantes et la plupart des organismes du sol tout au long de la chaîne trophique.

En retour, ces organismes jouent un rôle déterminant dans la conversion d'une partie de la matière organique du sol en « humus », une forme de carbone relativement stable qui peut-être séquestrée dans le sol pendant des décennies.



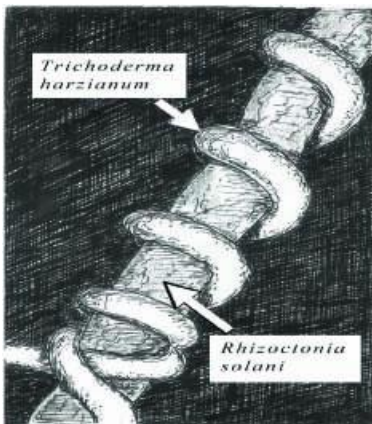
# LA VALEUR ECONOMIQUE DE LA BIODIVERSITE DU SOL

*Estimation des bénéfices économiques totaux de la biodiversité, avec une attention spéciale aux services que l'activité des organismes du sol fournit dans le monde (modifié d'après Pimentel et al., 1997)*

Activité	Biodiversité du sol impliquée dans ce type d'activité	Bénéfices économiques mondiaux liés à la biodiversité (x \$10 <sup>9</sup> /an)
Recyclage des résidus	Divers invertébrés saprophytes et se nourrissant de litière (détritivores), champignons, bactéries, actinomycètes et autres organismes	760
Formation du sol	Divers organismes du sol facilitent la formation du sol (ex. vers de terre, termites, champignons, etc.)	25
Fixation d'azote	Fixation biologique de l'azote par les bactéries diazotrophes	90
Bioremédiation des produits chimiques	Maintenir la biodiversité dans les sols et l'eau est impératif pour conserver, voire améliorer, l'efficacité de la bioremédiation	121
Biotechnologies	Presque la moitié des bénéfices économiques des biotechnologies liées à l'agriculture impliquant les bactéries fixant l'azote, l'industrie pharmaceutique, etc.	6
Biocontrôle des espèces nuisibles	Le sol fournit des microhabitats pour les ennemis naturels des espèces nuisibles, les organismes du sol (ex. mycorhizes) contribuent à la résistance des plantes hôtes et au contrôle des pathogènes des plantes.	160
Pollinisation	De nombreux pollinisateurs passent certaines phases de leur vie dans le sol	200
Autres aliments naturels	(ex. champignons, vers de terre, petits arthropodes, etc.)	180
<b>Total</b>		<b>1 542</b>

# BIODIVERSITE DES SOLS ET CONTROLE DES NUISIBLES

Les cultures sont menacées par des maladies présentes dans le sol, qui peuvent causer les diminutions de rendements et des pertes économiques importantes.



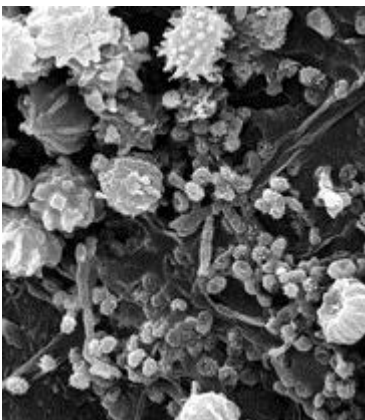
Le sol peut potentiellement limiter l'effet de ces maladies. Cette capacité suppressive est une composante majeure de la santé du sol.

D'après ATTRA: National Sustainable Agriculture Information Service

Les sols suppressifs peuvent être définis comme des sols dans lesquels la gravité ou l'incidence des maladies reste faible, malgré la présence d'un pathogène, d'une plante hôte et de conditions climatiques favorables au développement de maladies.



Source: Wageningen University



Source: CSIRO

Des données suggèrent que la biodiversité du sol lui confère une capacité de contrôle des maladies.



# BIODIVERSITE DES SOLS ET MEDICAMENTS

Alors que de nombreuses personnes reconnaissent les services importants fournis par le sol dans nos vies quotidiennes, la plupart ne réalisent pas que le sol est utile comme source majeure d'antibiotiques utilisés couramment.



Le sol est en effet un laboratoire presque parfait pour la création de médicaments naturels.

L'actinomycine, la néomycine et la streptomycine sont des antibiotiques communs dérivés de certaines bactéries du sol: les actinomycètes.



De nombreux scientifiques étudient la biodiversité du sol, en particulier dans des endroits reculés, afin de découvrir les médicaments les plus prometteurs du futur.

# DECOUVRIR LA BIODIVERSITE DES SOLS DANS VOTRE JARDIN

Les taupes font partie de la famille de mammifères des *Talpidae*. Une taupe de 80 g a besoin de 50 g de vers de terre par jour. Les taupes peuvent être bénéfiques en chassant les larves d'insectes nuisibles, tandis que les tunnels facilitent le drainage et l'aération de sols lourds. Les taupinières sont le signe d'un sol en bonne santé.



Comptez les vers de terre en faisant percoler dans le sol une solution de moutarde et d'eau. La solution de moutarde irrite la peau des vers de terre et ils remontent à la surface pour y échapper. Ils peuvent ensuite être collectés et identifiés.

Coupez une bouteille plastique en deux. Insérez le col de la bouteille dans sa base comme un entonnoir et scotchez le joint. Enterrez la bouteille dans le sol pour que le haut coïncide avec la surface du sol. Laissez-la pour la nuit. Le matin, voyez qui est tombé dedans !





# REDUIRE LES MENACES SUR LA BIODIVERSITE DES SOLS

**La Stratégie Thématique de l'Union Européenne pour la Protection des Sols encourage une utilisation durable du sol.**



Karl Ritz

**Pour minimiser les menaces sur la biodiversité du sol, la Stratégie propose :**

**Augmenter la teneur en matière organique:** Des apports réguliers de matière organique améliorent la structure du sol, augmentent la capacité de rétention de l'eau et des nutriments, protègent le sol contre l'érosion et le tassement et soutiennent le développement d'une communauté saine d'organismes du sol. Certaines pratiques agricoles augmentent la teneur en matière organique du sol comme le maintien des résidus de culture en surface, les rotations qui incluent des plantes à fort taux de résidus, l'application de compost et les systèmes avec peu ou pas de labour.

**Réduire le travail du sol:** La diminution du labour réduit la perte de matière organique et permet la protection de la surface du sol par une couverture végétale. Le labour détruit la structure du sol et les habitats des organismes du sol, tout en augmentant les vitesses de décomposition, la perte de matière organique et la menace d'érosion.

**Limiter les intrants agro-chimiques:** Les pesticides et les fertilisants chimiques ont des bénéfices mais peuvent endommager les organismes du sol. Même les nutriments provenant de sources organiques peuvent polluer s'ils sont mal appliqués, ou en trop grande quantité. Des approches non chimiques de gestion des nuisibles et des nutriments sont de plus en plus utilisées.

**Prévenir le tassement du sol:** Le tassement du sol par des passages d'engins répétés, par le poids des machines, ou par le passage d'engins sur un sol mouillé diminue les quantités d'air, d'eau et l'espace disponible pour les racines et les organismes du sol. Comme la remédiation est difficile voire impossible, la prévention est essentielle.

**Minimiser le risque d'érosion:** Un sol nu est sensible à l'érosion par le vent et l'eau, au dessèchement et à l'encroûtement. La végétation protège le sol, fournit des habitats pour les organismes du sol et peut améliorer la disponibilité en eau. Le sol peut être protégé en laissant les résidus de culture en surface ou en installant des plantes de couverture. En plus de la couverture du sol, les plantes de couverture fournissent de la matière organique additionnelle, un couvert continu et de la nourriture pour les organismes du sol.

## **Pour plus d'informations sur ce que vous avez vu ici, n'hésitez pas à contacter:**

Arwyn Jones  
European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy  
Tel.: +39 0332 78 9162  
Fax.: +39 0332 78 6394  
E-mail: [arwyn.jones@ec.jrc.europa.eu](mailto:arwyn.jones@ec.jrc.europa.eu)

Alberto Orgiazzi  
European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy  
Tel.: +39 0332 78 9671  
Fax.: +39 0332 78 6394  
E-mail: [albert.orgiazzi@ec.jrc.europa.eu](mailto:albert.orgiazzi@ec.jrc.europa.eu)

Luca Montanarella  
European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy  
Tel.: +39 0332 78 5349  
Fax.: +39 0332 78 6394  
E-mail: [luca.maontanarella@ec.jrc.europa.eu](mailto:luca.maontanarella@ec.jrc.europa.eu)

Martha Bonnet Dunbar  
European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy  
Tel.: +39 0332 78 5908  
Fax.: +39 0332 78 6394  
E-mail: [martha.dunbar@jrc.ec.europa.eu](mailto:martha.dunbar@jrc.ec.europa.eu)

European Commission: Environment  
[http://ec.europa.eu/environment/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/index_en.htm)

European Commission: JRC – SOIL  
<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu>