



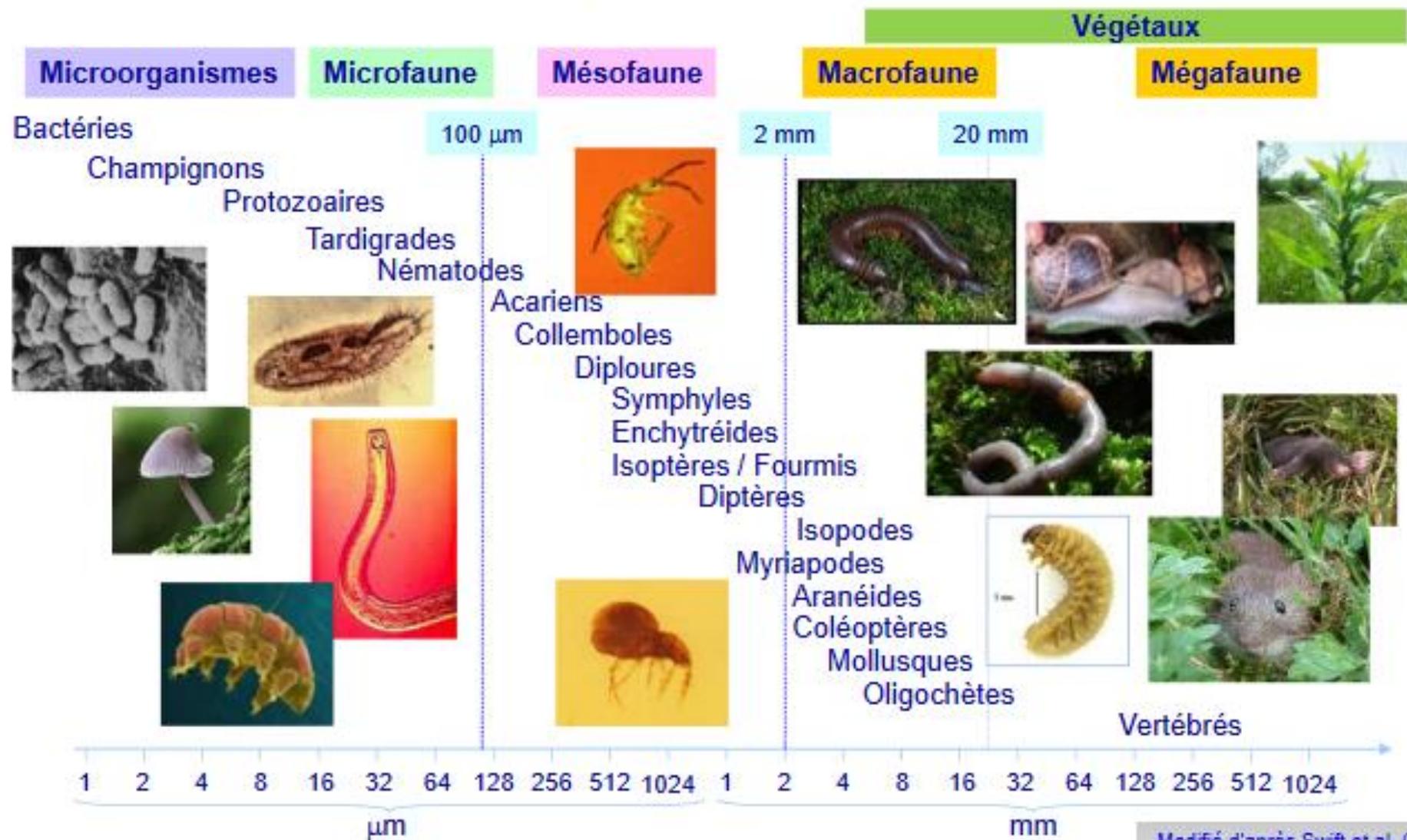
# La vie du sol



# Les acteurs de la vie du sol



de l'infiniment petit au visible



Modifié d'après Swift et al. (1979)

# Les acteurs de la vie du sol

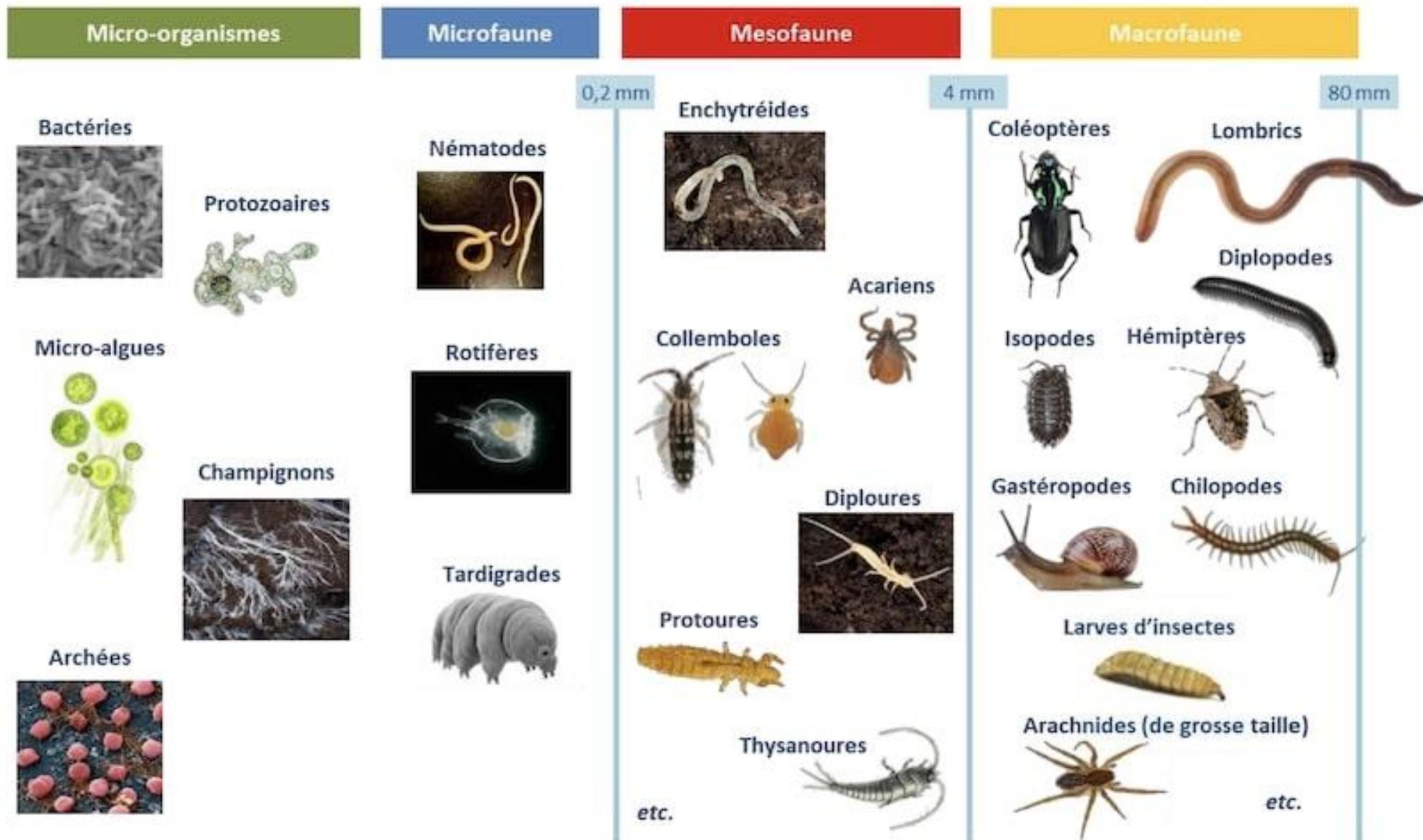


Figure 1. Schéma des différents groupes de la biodiversité du sol classés par taille. [Source : © Quentin Vincent – Étude des paramètres abiotiques, biotiques et fonctionnels, et de leurs interactions dans des sols délaissés

# La Microfaune et la Mésofaune

---



La Microfaune: vit dans le film d'eau entourant les particules du sol

- ❖ **Les nématodes** : les bactérivores, les fongivores, les omnivores (se nourrissent de bactéries et de champignons), les phytoparasites (parasites des plantes) et les prédateurs.
- ❖ **Les Protozoaires** se nourrissent essentiellement de bactéries

La Mésofaune:

- ❖ Les collomboles sont des décomposeurs se nourrissent d'hyphes (champignons) et MO

<https://youtu.be/EfQmlKoEjjE>

- ❖ Les acariens sont des prédateurs (se nourrissent d'autres animaux), des parasites (plantes et animaux), décomposeurs et même Taxi.

# La Macrofaune



*Figure 8. Les quatre groupes écologiques de la macrofaune....*



## Les vers de terre

LES ÉPIGÉS	LES ENDOGÉS	LES ANÉCIQUES
Appelés aussi vers du compost, ils vivent à la surface du sol. Ils se nourrissent de résidus végétaux fragmentés.	Ils vivent exclusivement dans le sol (sur les 20 premiers centimètres) et se nourrissent de matières organiques déjà bien dégradées. Ils creusent des galeries plutôt sub-horizontales.	Ils font la navette entre la surface où ils vont se nourrir de résidus végétaux la nuit et les horizons profonds (à plus de 70 cm parfois) où ils se reposent et se protègent des intempéries. Leurs galeries verticales sont des voies privilégiées de circulation de l'eau mais également des racines.
RÔLES PRINCIPAUX DANS LES SOLS		
Fragmentation de la matière organique.	Décomposition de la matière organique. Aération du sol.	Décomposition de la matière organique. Aération du sol. Brassage entre l'organique et le minéral.
LES RECONNAÎTRE		
Très colorés (rouges) sur la totalité du corps. Très actifs. De petite taille.	Très peu colorés. De taille petite à moyenne.	Vers de grande taille. Surtout colorés au niveau de la tête.



## Les 3 types de vers



Remonte l'argile et descente de l'humus.

Le tout se mélange se lie dans leur intestin  
→ turricules.

Glande de moraine  
 $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CAH}$

Dans les pays tropicaux les termites.

Arrière de leur corps



LPINFOGRAPHIE, C. TÊCHE

# Les micro-organismes

---



## Les champignons

- ❖ 2 groupes : les levures, unicellulaires, et les champignons, pluricellulaires
  
- ❖ Les pluricellulaires forment des ramifications de filaments fins et blancs appelées hyphes.
  - On les observe très souvent à la surface du sol ou des feuilles lors d'une promenade en forêt.
  
  - Ces filaments constituent une biomasse très importante (plusieurs tonnes par hectare) et aussi un réseau impressionnant circulant à travers le sol sur de longues distances : un mètre carré de sol de prairie ou de forêt contient plusieurs kilomètres d'hyphes.
  
- ❖ Pour des raisons pratiques, les champignons peuvent également être classés selon leur mode d'alimentation dans le sol : **saprophyte, mycorhizien, endophyte et pathogène**

# Les champignons



## ❖ Saprophytes

- Se nourrissent de **Matières Organiques Mortes**

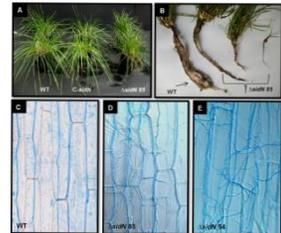


## ❖ mycorhiziens

- Forment des ramifications avec les racines de la plante. Le champignon reçoit sucre et vitamines de la plante et la plante reçoit principalement le phosphore ce qui lui permet d'augmenter sa masse de racine

## ❖ endophytes

- Colonisent la structure interne des cellules de la plante favorise croissance et résistance au stress thermique, hydrique, salin, en carence de minéraux, du aux pulvérisations de produits phyto.
- Parmi ces champignons se trouve les Trichoderma

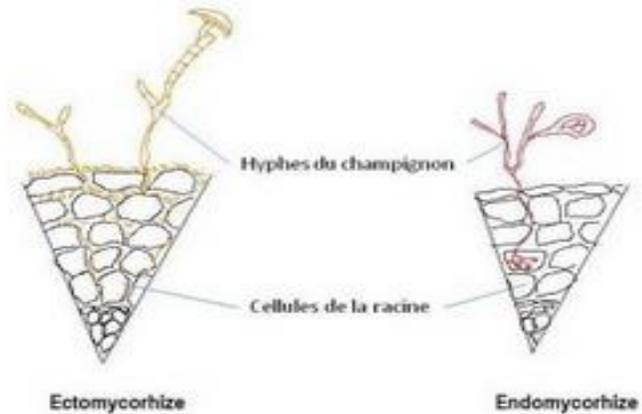


## ❖ pathogènes

- Ils sont des parasites d'autres champignons, des pathogènes des animaux ou des pathogènes des plantes.
- **infectent les racines**, ou **s'introduisent** dans **ses systèmes vasculaires** et colonisent l'ensemble de l'organisme en remontant les vaisseaux de xylème, même s'ils s'attaquent surtout aux parties aériennes



# Les champignons Mycorhiziens



Éctomycorhize Endomycorhize  
Schéma d'une ectomycorhize et d'une endomycorhize  
(@Équipe projet ingénieur, d'après Nil-the-Frogg,  
Wikimedia Commons)

Équipe PEI



Mycorhizes sur racine (@Wikimedia Commons, André-  
PH, D. Picard)

André-PH, D. Picard

- La mycorhize est le résultat d'une symbiose entre un champignon et une plante.
- Le champignon va coloniser les racines de la plante par ses hyphes, de fins filaments capables d'explorer un grand volume de sol
- 80 % des plantes vasculaires sont associées en endomycorhize
- 5% sont associé en ectomycorhizes: les hyphes du champignon ne rentrent pas à l'intérieur des cellules racinaires.

# Le rôle des champignons : les mycorhizes

---



- **Mise à disposition du phosphore soluble pour la plante**
  - Elles libèrent du Pi (phosphate inorganique) à partir de formes insolubles du sol
  - Elles sont plus efficaces pour son absorption que la plante elle-même.
  - Le réseau d'hyphes permet une meilleure exploration du sol.
  
- **Un lieu de stockage de polyphosphates** qui seront dégradés et transférés à l'hôte en cas de besoin.
  
- **Amélioration de la nutrition hydrique et azotée des plantes**
  
- **Une accumulation de métaux lourds**
  
- **Une augmentation de la résistance aux pathogènes.**

films

# QUIZ champignons



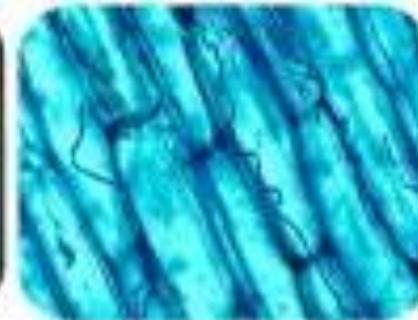
Donner les 4 grands types d'alimentation des champignons



Saprophytes



Mycorhiziens



Endophytes



Pathogènes

l'Hyphe Kesako ?

filaments fins et blancs

Qu'est ce qu'une mycorhize?

Ramification de hyphes

Que signifie plante endomycorhizées?

Les filaments ou hyphes pénètrent dans la cellule de la plante

Toutes les plantes sont elles mychorizables?

OUI

NON

→ ex: Crucifères

5% plantes (surtout ligneuses tempérées) sont ectomycorhizées

80% des plantes (moy. sous toutes les latitudes) sont endomycorhizées

# QUIZ champignons



Quels rôles jouent les champignons mycorhiziens?

Exploration du sol

Augmente la matière végétale

Augmente la nutrition azoté

Augmente la nutrition hydrique

fournir le phosphore sous forme assimilable à la plante

Peuvent devenir Pathogènes

Empêcher la plante de grandir

Permet la transmission de l'information

Augmente la résistance aux pathogènes

Les endophytes sont ils des dangereux pour la plante?

OUI



NON



Citez un champignon endophyte utilisé aujourd'hui en grande culture pour lutter contre le botrytis ou autres champignons pathogènes?

TRICHODERMA

# Les micro-organismes : Les bactéries

---



- ❖ Elles agissent dans la rhizosphère des plantes, elles créent des **symbioses** avec des végétaux et elles peuvent être également **pathogènes**, autant pour les animaux que pour les végétaux
  
- ❖ Les rôles clés :
  - Dans le recyclage des nutriments ce qui permet d'augmenter la disposition d'éléments nutritifs par la symbiose
  - le développement (par la formation de symbioses), ou encore la structuration du sol
  - Dans la régulation des maladies
  - La dépollution des sols contaminés en métaux lourds ou en composés organiques comme les hydrocarbures qu'elles minéralise partiellement
  - Acteurs principal de la boucle microbienne

# Les micro-organismes : Les bactéries

---



- ❖ **Par la minéralisation elles jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des sols**
  - minéralisation de la matière organique,
  - oxydo-réduction de composés inorganiques,
  - solubilisation ou précipitation de minéraux,
  - transformation de composés organiques plus ou moins récalcitrants
  - Elles sont ainsi à la base de la régulation des principaux cycles biogéochimiques des sols → carbone, azote, phosphore, soufre...
    - ❖ réduire les sulfates en sulfures qui permettent la synthèse des AA soufrés (bactéries sulfato-réductrices)
    - ❖ oxyder le soufre (*Thiobacillus* par exemple)
    - ❖ fixer l'azote atmosphérique (diazotrophie seule ou en symbiose avec des plantes)
    - ❖ produire des nitrates (bactéries nitrifiantes)
    - ❖ rendre disponible le phosphore

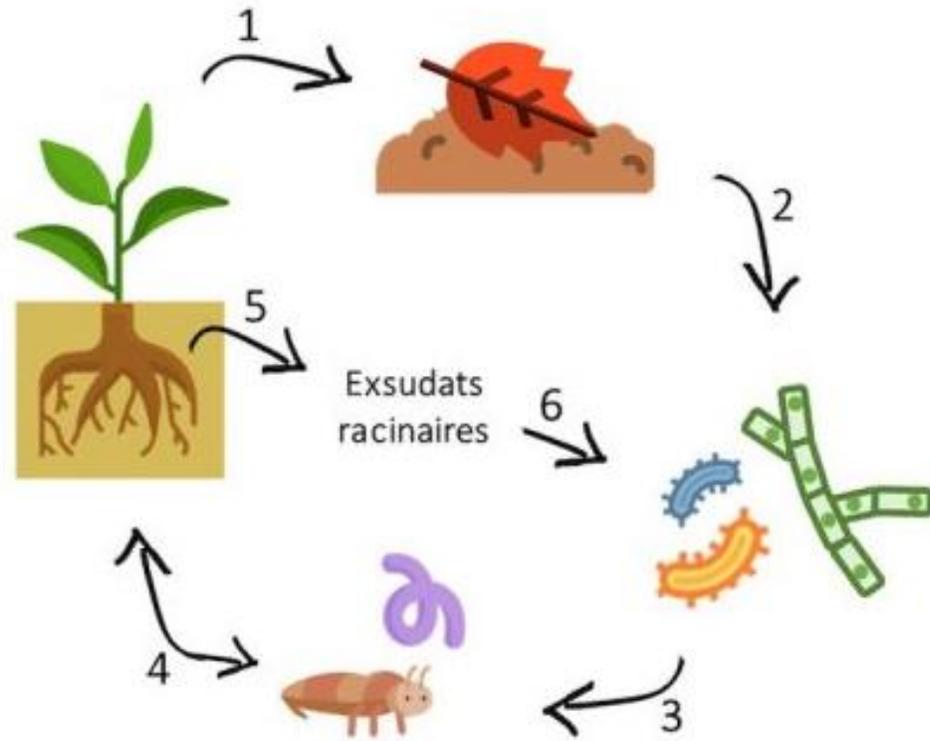


Schéma simplifié de la boucle microbienne

Source encyclopédie environnement

❖ Lorsque les Bactéries sont prédatées par la microfaune et mesofaune il y a libération prolongées et/ou rapide des nutriments.

❖ Les actinomycètes ou actinobacteria

- renouvellent les réserves de nutriments de la terre
- Elles décomposent la Matière Organique → l'humus.

- ✓ Frankia → Aulne.
- ✓ Odeur terre retourné → Actinomycètes huile pollution
- ✓ Entre dans le cycle du carbone
- ✓ Production d'antibiotiques

# QUIZ Bactérie



Quels rôles jouent les Bactéries?

Exploration du sol

Augmente la matière végétale

Augmente la nutrition azoté

Augmente la nutrition hydrique

fournir le phosphore sous forme assimilable à la plante

Peuvent devenir Pathogènes

Rendre le soufre assimilable par la plante

Permet la transmission de l'information

Augmente la résistance aux pathogènes

Permet de fixer l'azote atmosphérique

Permet la dépollution des sols

Contribue au cycle de l'azote

Les actinomycètes sont elles des bactéries importantes ?

OUI



NON



Citez une bactérie qui vit en symbiose avec les plantes au niveau des racines des légumineuses ?

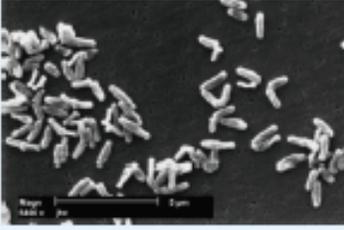
*Rhizobium leguminosarum*

Qu' est ce que la boucle microbienne?

La libération des minéraux qui composent les bactéries lorsqu'elles sont prédatées

# Les acteurs de la vie du sol



LES FRAGMENTATEURS	LES RÉGULATEURS	LES INGÉNIEURS CHIMISTES	LES INGÉNIEURS GÉNÉRALISTES
 <p>Collemboles</p>  <p>Acariens Photos : M. Fouchard - INRA</p>	 <p>Nématodes Photo-M Laumond-INRA</p> <p>Et protozoaires</p>	 <p>Champignons</p>  <p>Bactéries © Janice Carr. Public Health Image Library. + algues</p>	 <p>Vers de terre épigés</p>  <p>Vers de terre anécique Et les fourmis, les coléoptères....</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fragmentation de la matière organique.</li> <li>■ Micro-brassage.</li> <li>■ Structuration du sol en surface.</li> <li>■ Régulation des champignons.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Régulation des populations microbiennes et des parasites du sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Modification chimique de la matière (minéralisation – humification) ⇒ action centrale dans les cycles du carbone de l'azote et du phosphore.</li> <li>■ Action physique sur la structure et la stabilité des sols.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Action sur l'ensemble des piliers de fertilité du sol : macro-brassage (bioturbation), porosité, décomposition de la MO, stimulation de la vie du sol par une digestion mutualiste (= en commun avec des micro-organismes).</li> </ul>

# La vie du sol dans 1 g de sol



Marc-André Sélosse Biologiste

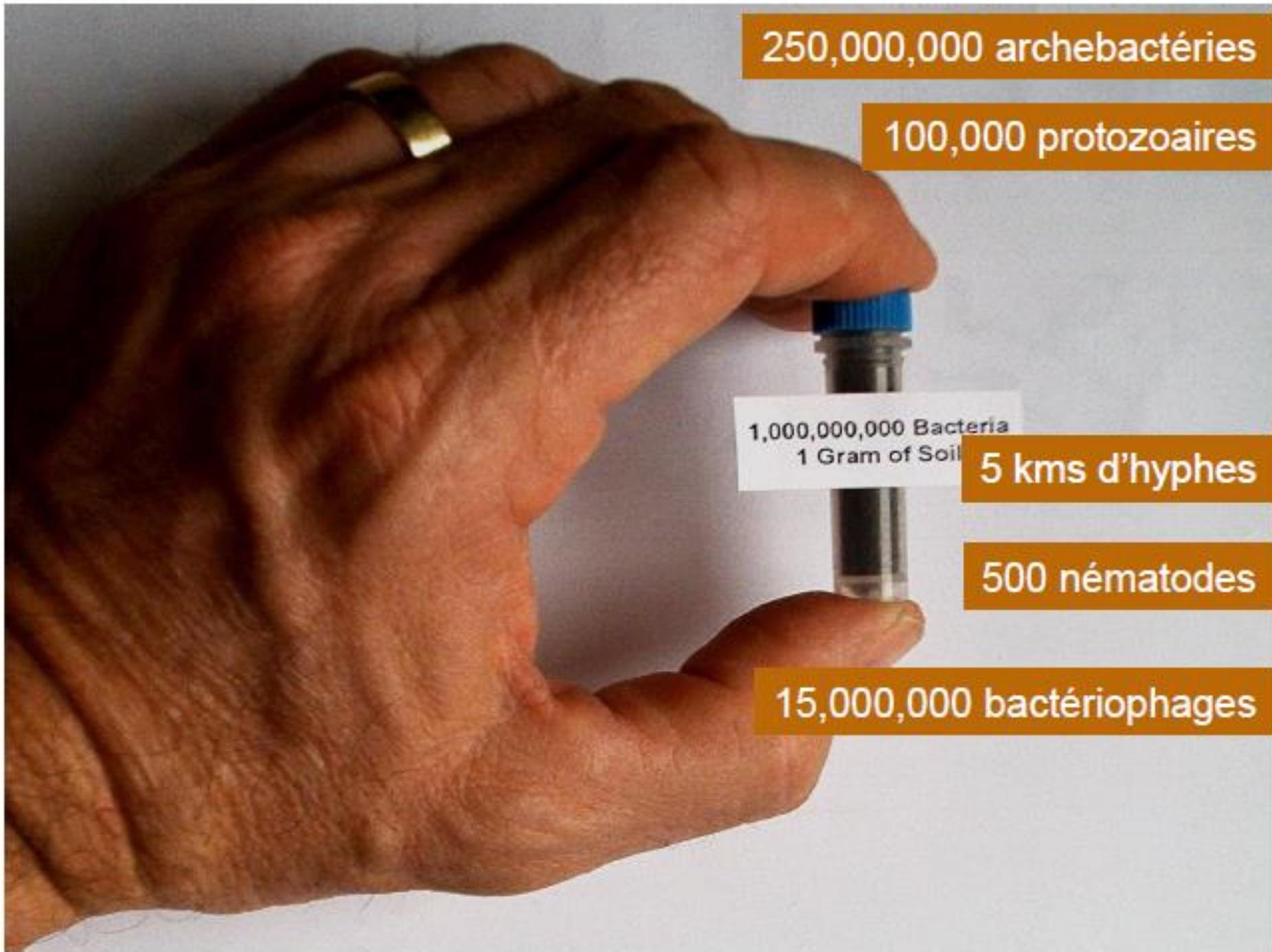
Professeur, université de Montpellier II, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive du CNRS



Micro organismes, vers de terre /ha	Sol riche	Sol pauvre
<i>Bactéries</i>	2 tonnes	20 kg
<i>Champignons</i>	1,5 tonne	50 kg
<i>Vers de terre</i>	1 tonne	10 kg
<i>Algues</i>	200 kg	5 kg
<i>Nématodes</i>	100 kg	1 kg

Importance du carbone

5 T/ha  
8 vaches par hectare



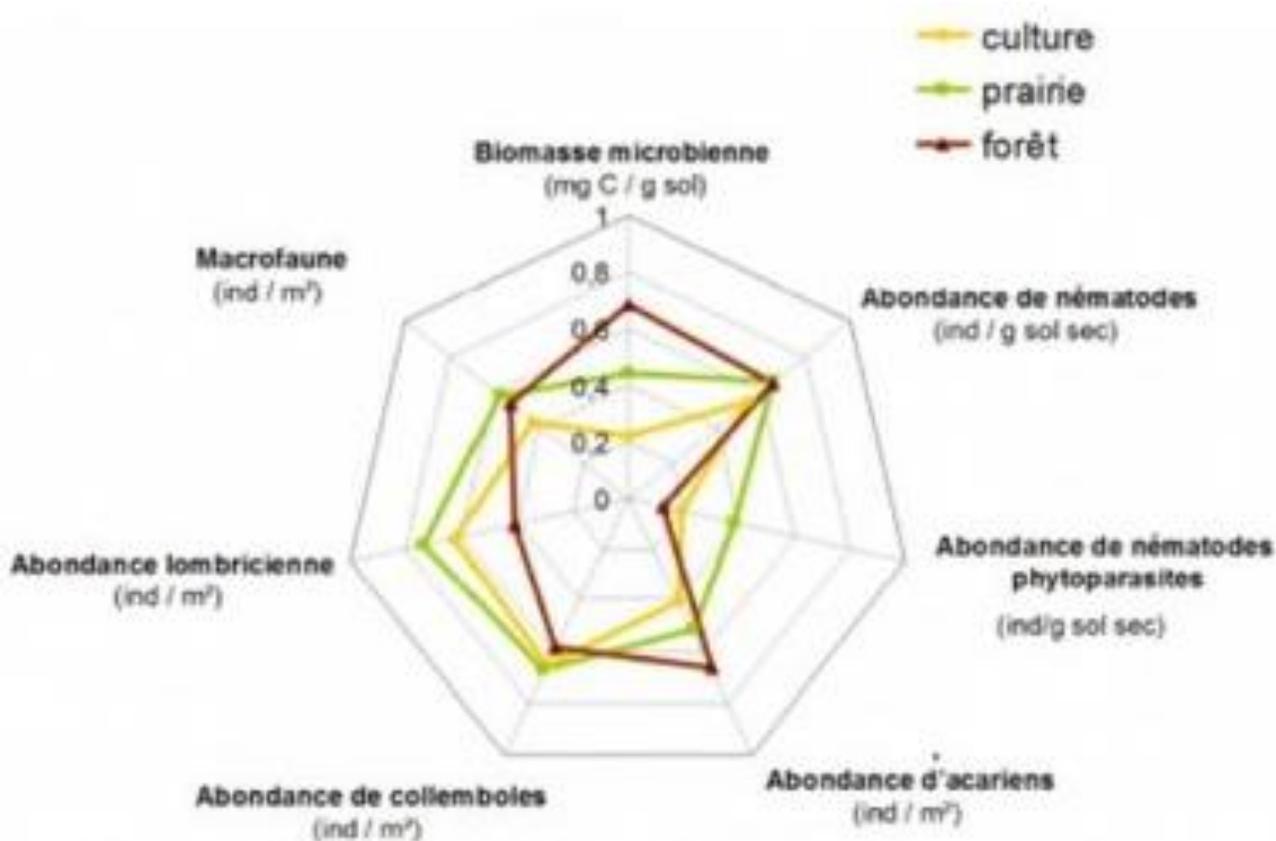


Quelques ordres de grandeur de la biomasse microbienne d'un sol

*en mg de carbone / kg de terre*

- PRAIRIES LONGUE DURÉE > 1 000
  - SOLS CULTIVÉS 0 à 1 000
- DONT GRANDES CULTURES 200 à 800
  - DONT VITICULTURE 50 à 300

# Qu'est ce qu'un sol riche PAR HA



## Est-ce un sol fertile? Nombre de turricules/m<sup>2</sup>

1 turricule → faible

10 turricules → bonne activité lombriciennes

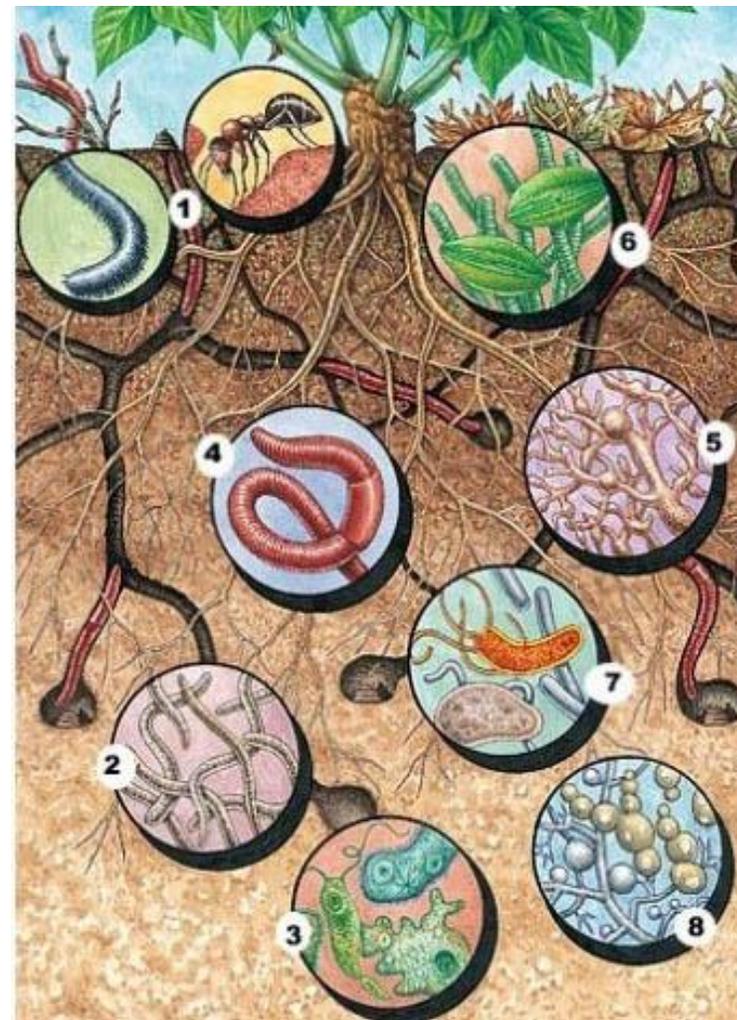
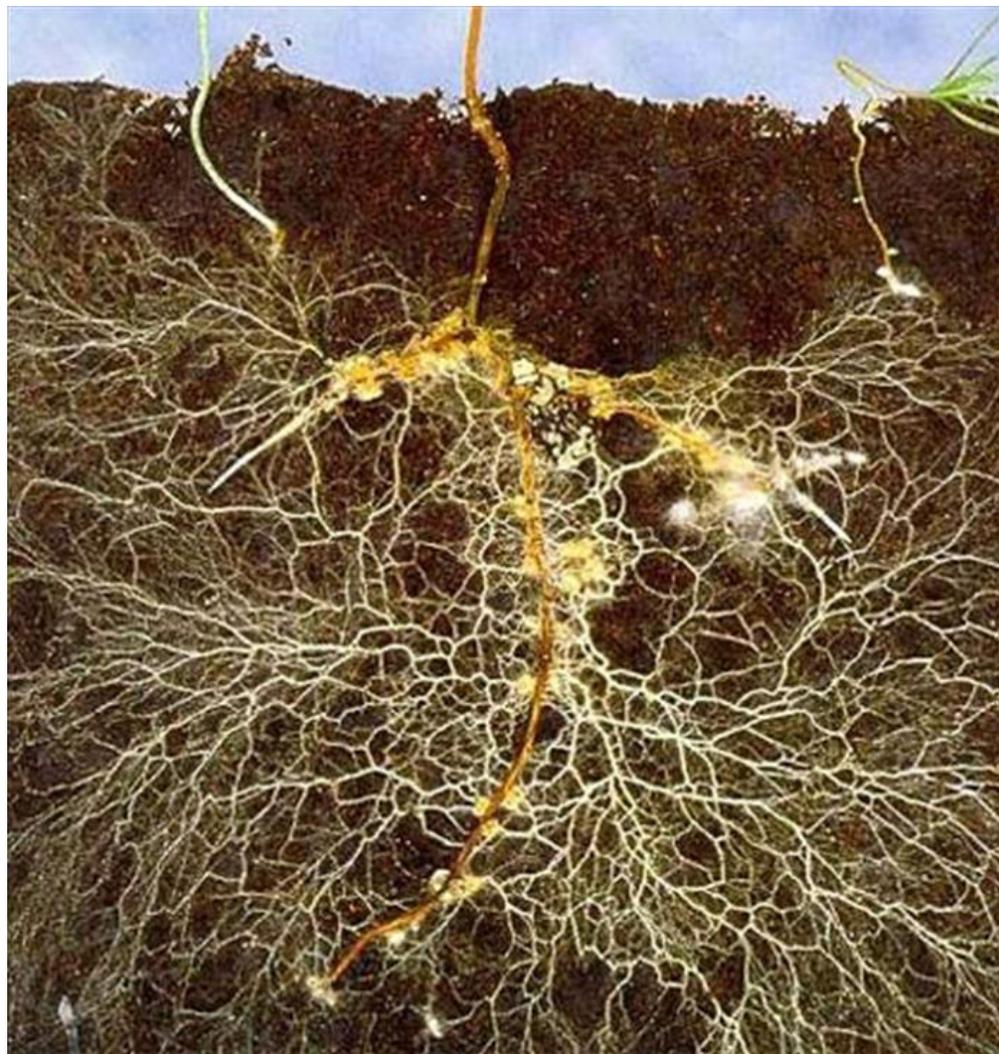
50% recouvert → bonne activité biologique

## Le temps de décomposition des résidus

3 mois très bien si enfoncé à 10cm si en surface excelle  
3 à 6 mois bien si enfoncé à 10cm si en surface bien  
+ 6 mois mauvais et moyen en surface.

Mesure des indicateurs biologiques des sols Cluzeau D., M. Guernion, R. Chaussod, F. Martin-Laurent, C. Villenave, et al. Integration of biodiversity in soil

# La plante : La Rhizosphère



- 1 Arthropodes**
- 2 Nématodes**
- 3 Protozoaires**
- 4 Lombrics**
- 5 Actinomycètes**
- 6 Algues**
- 7 Bactéries**
- 8 Champignons**

- 10 millions à 1 milliard de bactéries/g de sol s'y retrouve.

# La plante : La Rhizosphère



Lucien Seguy

# Les Exsudats racinaires



Eau, sels minéraux (phosphore, potassium, etc.), glucides, acides organiques (acide formique pour l'orge et le cresson, acide malique pour le pois et le maïs, etc.), des acides aminés, des enzymes, des vitamines..

→ alimentation des micro-organismes du sol.

Varie:

- nature de la plante,
- de son stade de développement
- des conditions de milieu
- peuvent nuire à des végétaux

# Chaîne alimentaire du sol



- **MOF** = Matière Organique Fraiche = macro - molécules

• **décomposition**

Lombrics myriapodes acariens isopodes

Champignons / bactéries (équilibre)  
humus / nitrates/phosphore



racines

- **MO labile** Libres Molécules Simples

minéralisation

• **humification**

CO<sub>2</sub>-, NH<sub>4</sub>+, Ca<sup>2+</sup>

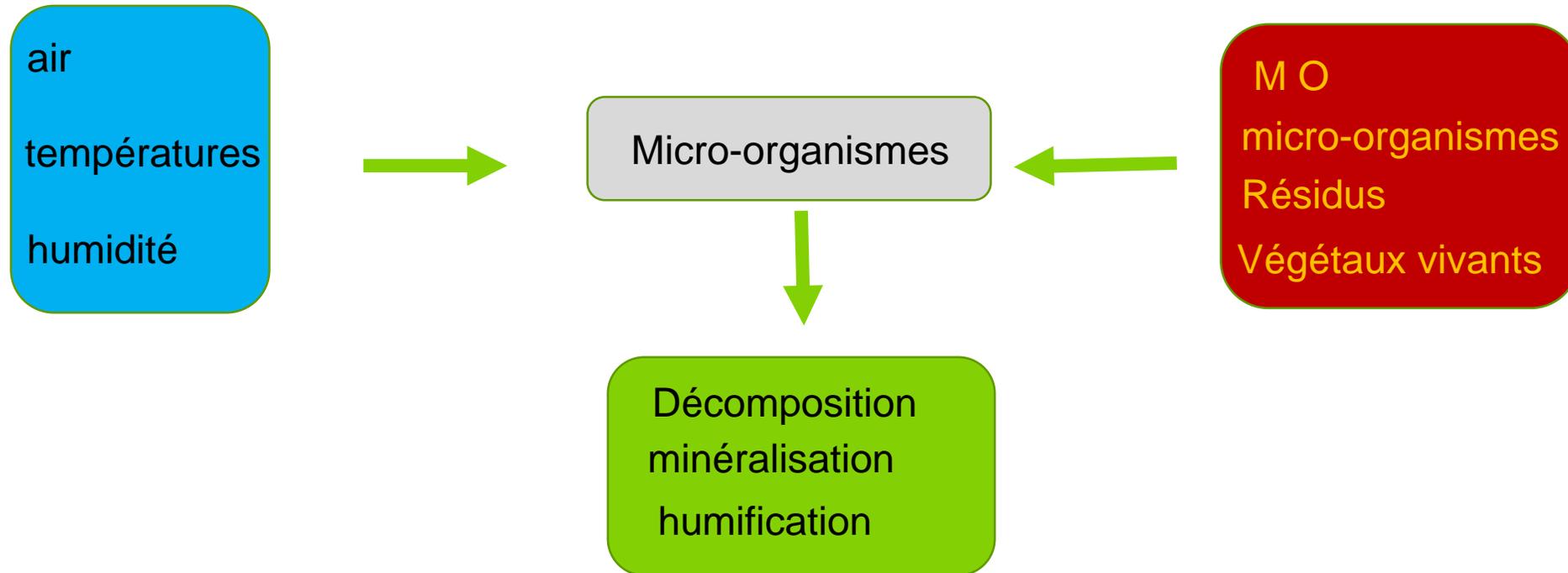
- **Humus**

Minéralisation secondaire

Matières minérales  
Composés organiques



# Les besoins et résultats de la Chaîne alimentaire du sol



Présences d'autres éléments notamment l'azote sous forme d'ammoniac  $\text{NH}_4^+$  de nitrates  $\text{NO}_3^-$  ou d'urée  $\text{CON}_2\text{H}_4$ .



ACS résilience au changement climatique



Labour : Sol et Culture très sensibles aux aléas climatiques



Sol battant, faim de matières organiques

On n' enfuit pas la MO:

- les racines ne sont pas capables de la dégrader,
- les organismes endogés ne sont pas capables de la détruire



## ❖ fertilité du sol :

- c'est un « carburant », de l'énergie pour les micro-organismes du sol ;
- c'est un « garde-manger » qui stocke de nombreux éléments fertilisants (azote, phosphore, oligo-éléments...)

## ❖ à court ou long terme

- c'est une « éponge » qui améliore la rétention en eau et la capacité d'infiltration des sols ;
- c'est une « colle » via l'activité biologique qui permet de structurer, d'aérer le sol et de le rendre moins sensible aux phénomènes d'érosion, de tassement et de battance.

❖ Présentes sous des formes physiques et chimiques très variées, les matières organiques ont des propriétés bien différentes.

# Fractionnement granulométrique de la matière organique

---



- ❖ Il s'agit, tout comme pour la texture d'un sol, de classer la matière organique par taille de particules.
  
- ❖ On en déduit ensuite la nature des matières organiques présentes dans le sol. Plus les particules sont de grande taille, plus elles sont facilement dégradées.
  - MO liée, peu disponible ..... taille < 50  $\mu\text{m}$
  - MO transitoire, libre.....taille 50 à 200  $\mu\text{m}$
  - MO libre, facilement dégradable ..... taille > 200  $\mu\text{m}$
  
- ❖ la composition chimique très importante dans la vitesse de dégradation des matières organiques.
  
- ❖ fractionnement chimique de la MO : sucres / hémicellulose / cellulose /lignine et cutine.

# Des matières organiques



<p>Matière vivante</p>	<p>La MO libre grossière Turnover de 2-5 ans</p>	<p>Résidus de culture Couverts végétaux</p>	<p>Stimule la vie du sol Libère rapidement ses éléments minéraux (azote, P, K...) Effet structurant limité et éphémère</p>
<p>Matière fraîche</p>	<p>La MO libre fine Turn-over entre 5 à 20 ans</p>	<p>Matière organique déjà bien décomposée, BRF1, composts mûrs</p>	<p>Minéralisation plus lente liée à sa composition chimique (ex. :lignine) ou à sa protection physique dans des macro-agrégats.</p>
<p>Matière transformée La MO stable, liée = humus</p> <p>Attention à la MO archaïque trop stable...</p>	<p>La MO stable, liée = humus Temps de résidence de 20 à 100 ans Fraction majoritaire dans les sols cultivés</p>	<p>MO liée chimiquement ou physiquement avec la fraction minérale (micro-agrégats) du sol</p>	<p><b>Stable</b> → Rôle essentiellement physique = meilleure capacité à résister aux tassements, à l'érosion ou à la battance. <b>Réserve en eau</b> → Amélioration de la capacité d'infiltration et de rétention en eau. Amélioration de la CEC du sol (complexe argilo-humique) <b>Garde mangé</b> → Réservoir long terme d'éléments fertilisants.</p>

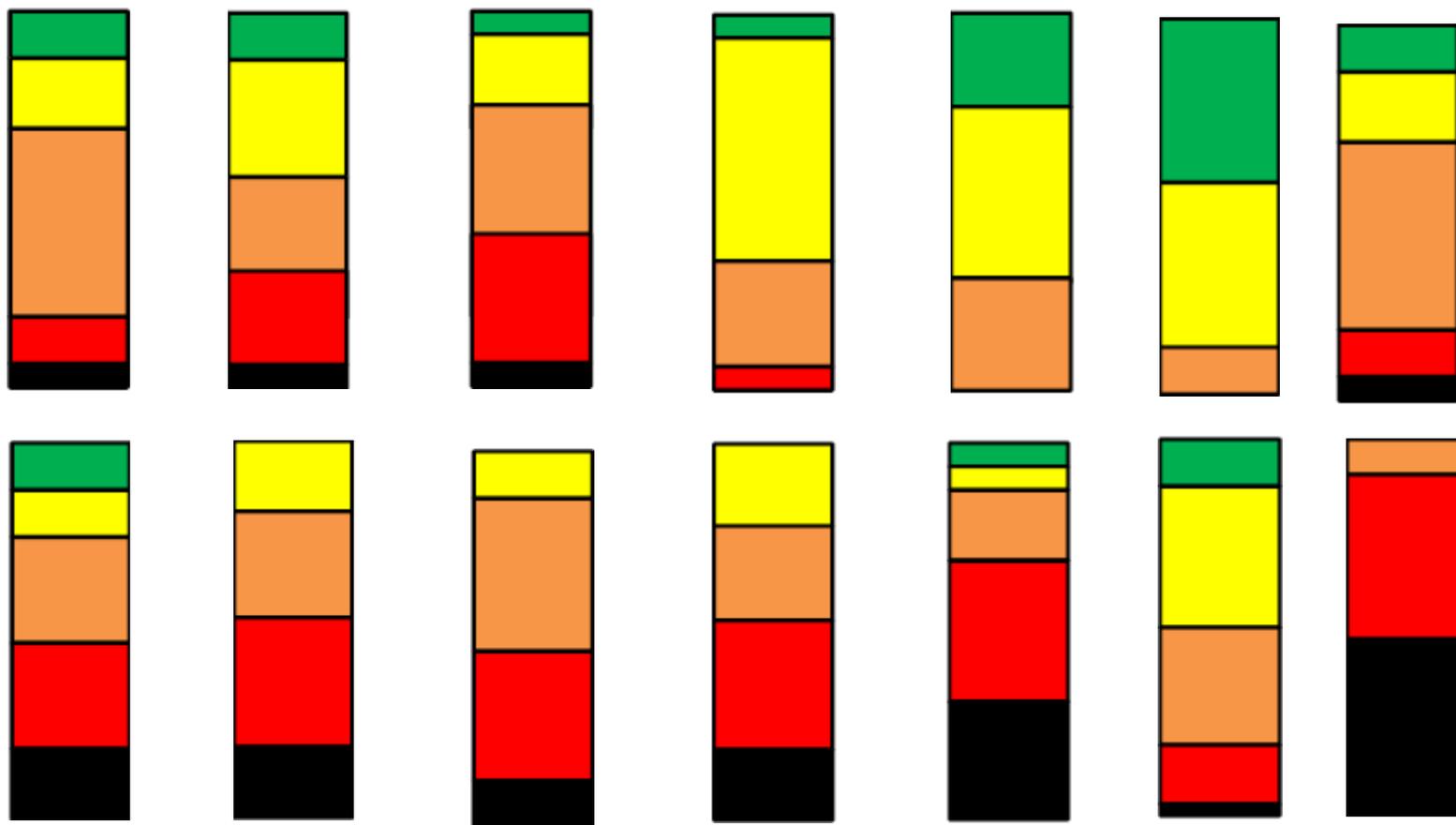


- ❖ **Donner à manger aux organismes vivants**
  - Laisser les résidus de récolte.
  - Apports organiques : attention à la nature de la MO apportée en fonction des effets recherchés.
  
- ❖ **Stimuler la vie du sol** : préférer des matières rapidement dégradables (engrais verts, fumier frais peu pailleux).
  
- ❖ **Reconstituer le stock d'humus** : miser sur des matières organiques plus mûres et à C/N élevé (composts, BRF, foin, paille...).



- ❖ **Développer les couverts végétaux et le PTD**
  
- ❖ Successions de cultures et prairies.
  - Laisser le sol respirer
  - Éviter les tassements pour maintenir la porosité et la structure du sol.
  
- ❖ **Limiter le travail du sol intensif** (passages répétés, avec des engins lourds, labours profonds, passage en conditions humides...)
  - tassement, compactage
  - minéralisation excessive perte de MO
  - diminution des micro organismes

# Représentations schématiques de MO fermières

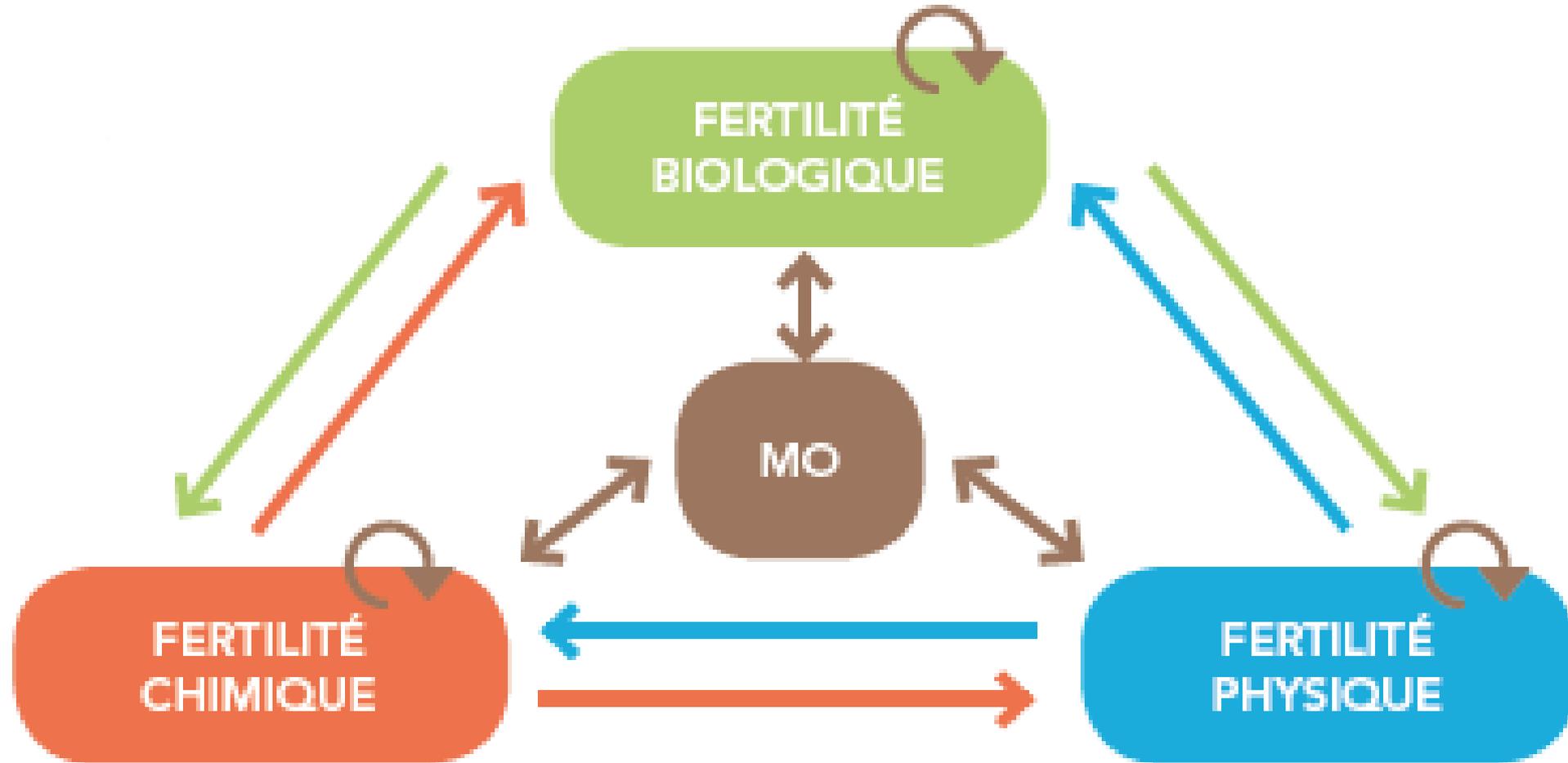


Adapté de Yves Hérody

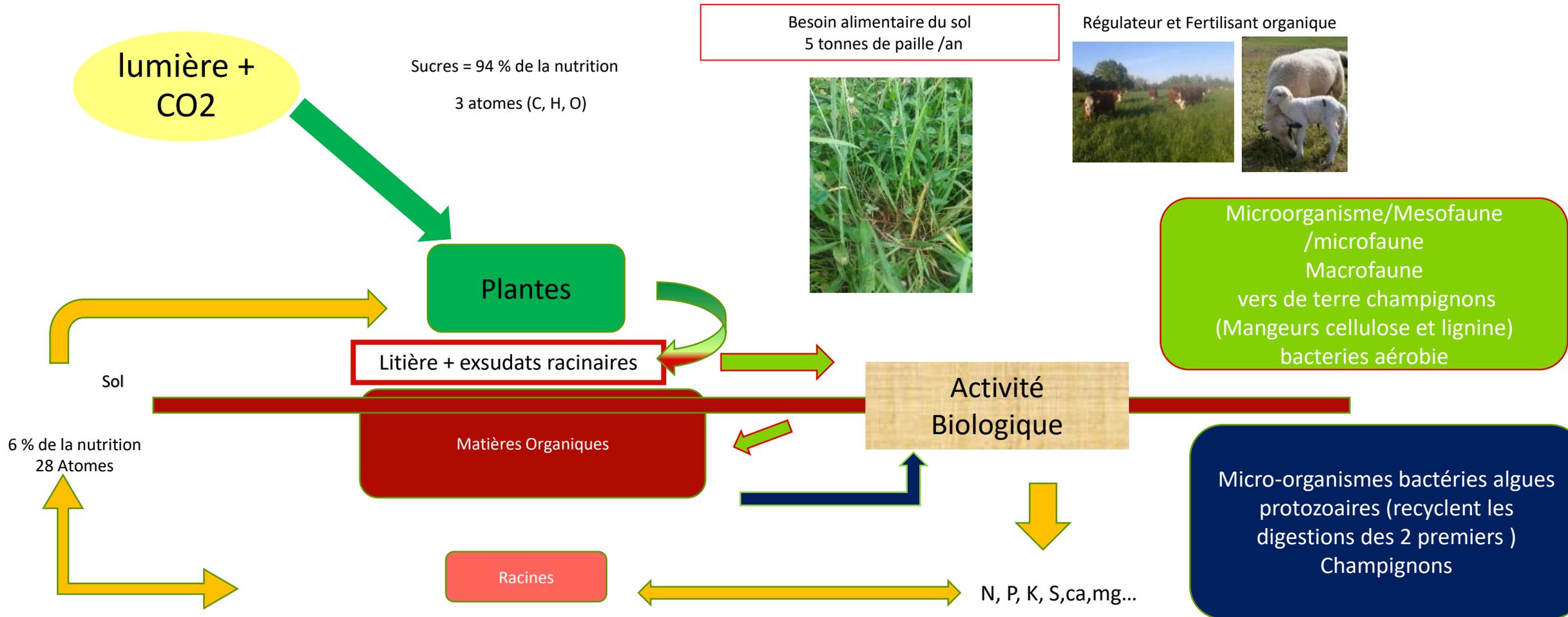
Reproduction et diffusion soumis à  
autorisation [contact@hums.fr](mailto:contact@hums.fr)

**hum's**  
des hommes & des sols

# Un équilibre à trouver entre les trois piliers de la fertilité



# SOL+VEGETAL+ANIMAL= FERTILITE OPTIMUM





# La vie du sol

