

Le rôle clé des (micro-)organismes pour le fonctionnement du sol et sa fertilité

B. Hardy, (CRA-W) b.hardy@cra.wallonie.be



Photosynthèse vs respiration

Le cycle de la matière organique, deux processus qui s'opposent



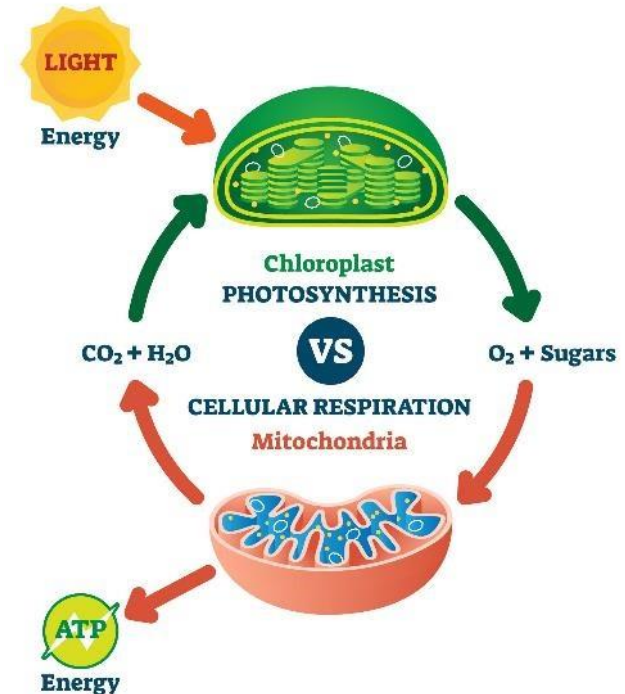
Fixation du C atm. Par
photosynthèse catalysée
par l'énergie solaire

Autotrophes



Hétérotrophes

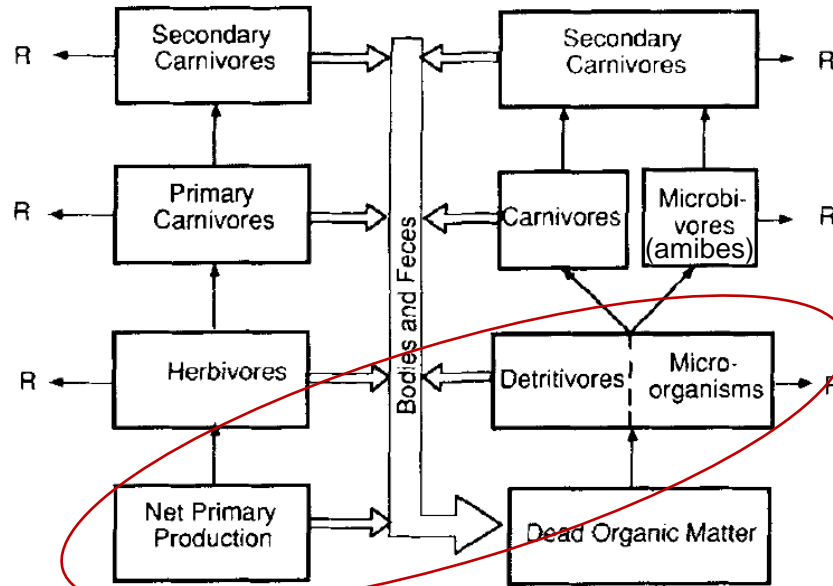
Décomposition de la MO par
respiration ou fermentation,
pour l'acquisition d'E (ATP)
ou de carbohydrates



<http://www.moomoomathblog.com/2020/04/relationship-between-photosynthesis-and.html>; Consulté le 25/02/2022

La chaîne alimentaire...

La base de la pyramide contrôle les flux de matière...

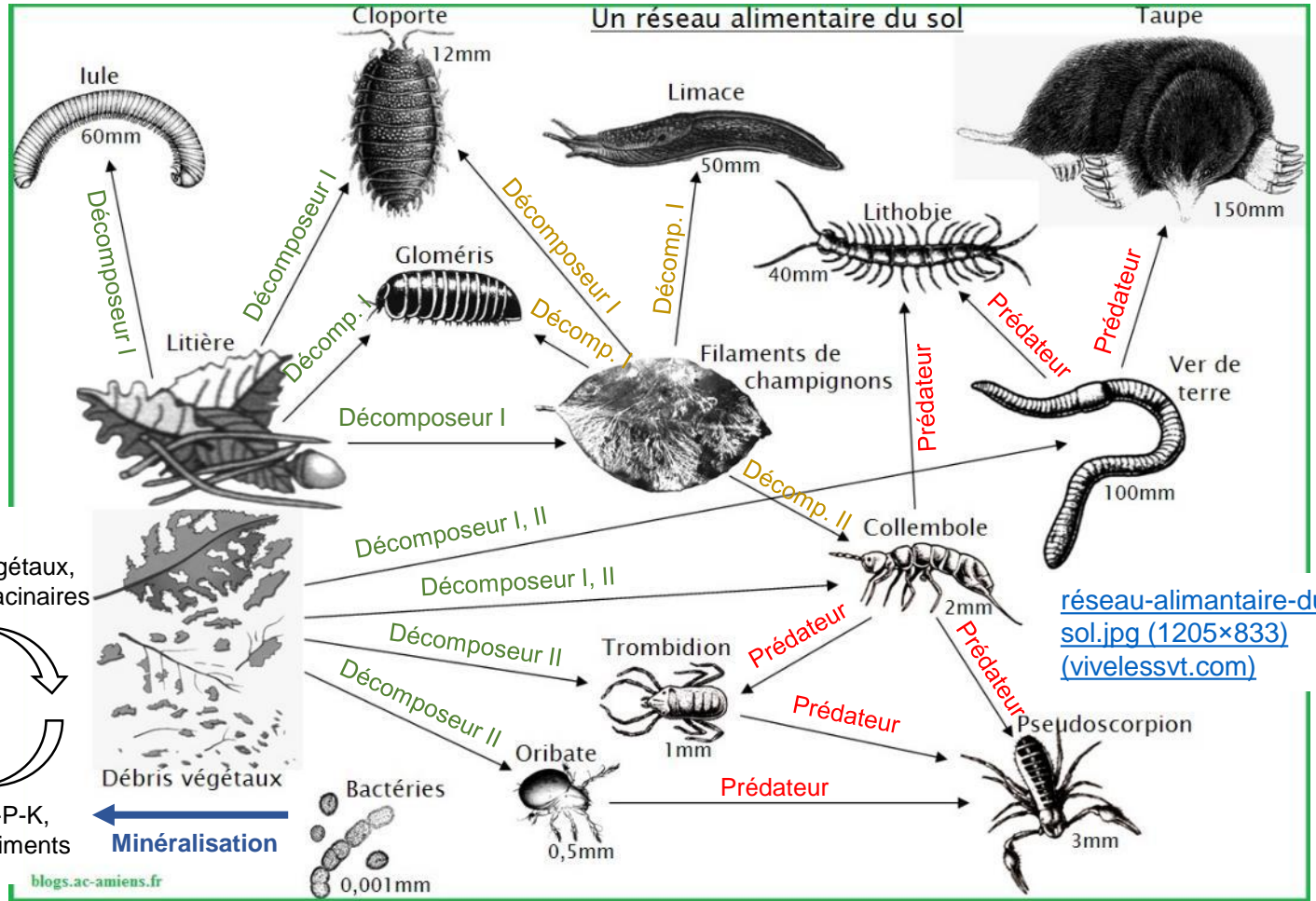


- « Les espèces ont évolué car aucune n'est compétitive dans tous les environnements »
- « En évoluant, les espèces créent des niches écologiques pour d'autres espèces »
- « Les autotrophes nourrissent les hétérotrophes, les organismes hôtes conditionnent l'évolution des parasites »
- Dans les écosystèmes terrestres, **seul ~10 % de l'énergie est exploité par le niveau trophique suivant**
- L'énergie résiduelle de chaque niveau est exploitée par les détritviores et les microorganismes
- La **vie du sol**, ce sont des organismes **décomposeurs et des microorganismes**, qui consomment des **nécromasses et des déjections d'origine végétale, animale ou microbienne**
- La **base de la pyramide alimentaire (autotrophes et détritviores)** contrôle l'essentiel des flux de matière organique

La vie du sol...

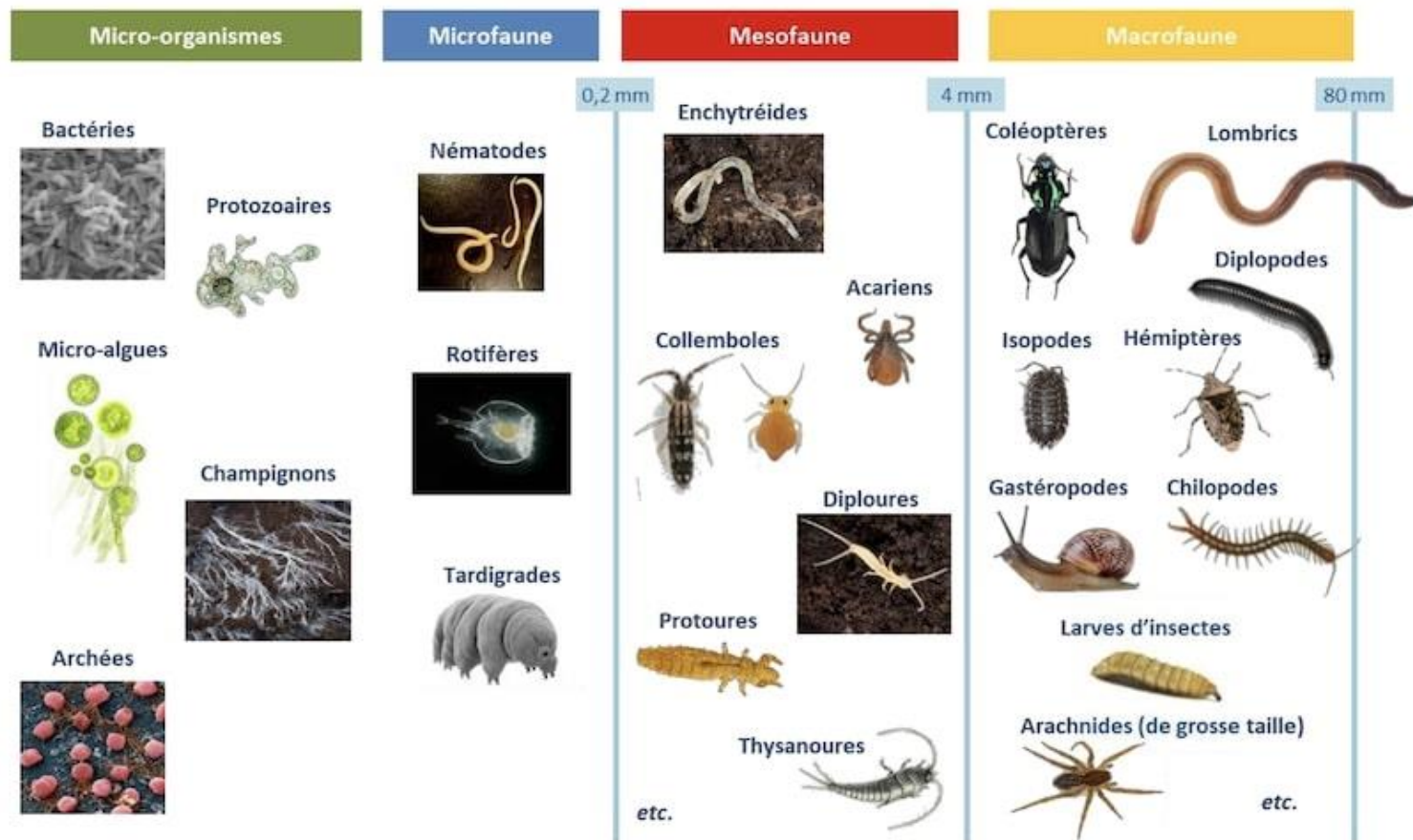
Une chaîne alimentaire alimentée par la plante

Plantes
(+ Algues
cyanobactéries)



La vie du sol en chiffres...

Microorganismes, microfaune, mésofaune, macrofaune, ...



Mégafaune

(vertébrés)

- Rongeurs
- Amphibiens
- Reptiles
- Oiseaux

[La biodiversité des sols - Encyclopédie de l'environnement \(encyclopedia-environnement.org\)](http://encyclopedia-environnement.org)

La vie du sol en chiffres...

Abondance et diversité des organismes du sol

Weil & Brady (2017)	Nombre/m ²	Kg/ha
Microorganismes		
Bactéries et Archées	10 ¹⁴ -10 ¹⁵	400-5000
Actinomycètes	10 ¹² -10 ¹³	400-5000
Champignons	10 ⁶ -10 ⁸ m	1000-15000
Algues	10 ⁹ -10 ¹⁰	10-500
Faune		
Protozoaires	10 ⁷ -10 ¹¹	20-300
Nématodes	10 ⁵ -10 ⁷	10-300
Collemboles	10 ³ -10 ⁶	2-500
Vers de terre	10-10 ³	100-4000
Araignées	10-200	10-100

Sol agricole
« grandes culture »



Dans 1 gramme de sol :

- Entre 1 et 10 milliard de bactéries, comprenant jusqu'à 9000 espèces différentes!
- Jusqu'à 1000 m d'hyphes mycéliens et 300 espèces de champignons

1 ha de prairie → jusqu'à 4-5 tonnes de vers de terre!

Le sol abrite **25 % de la biodiversité mondiale**

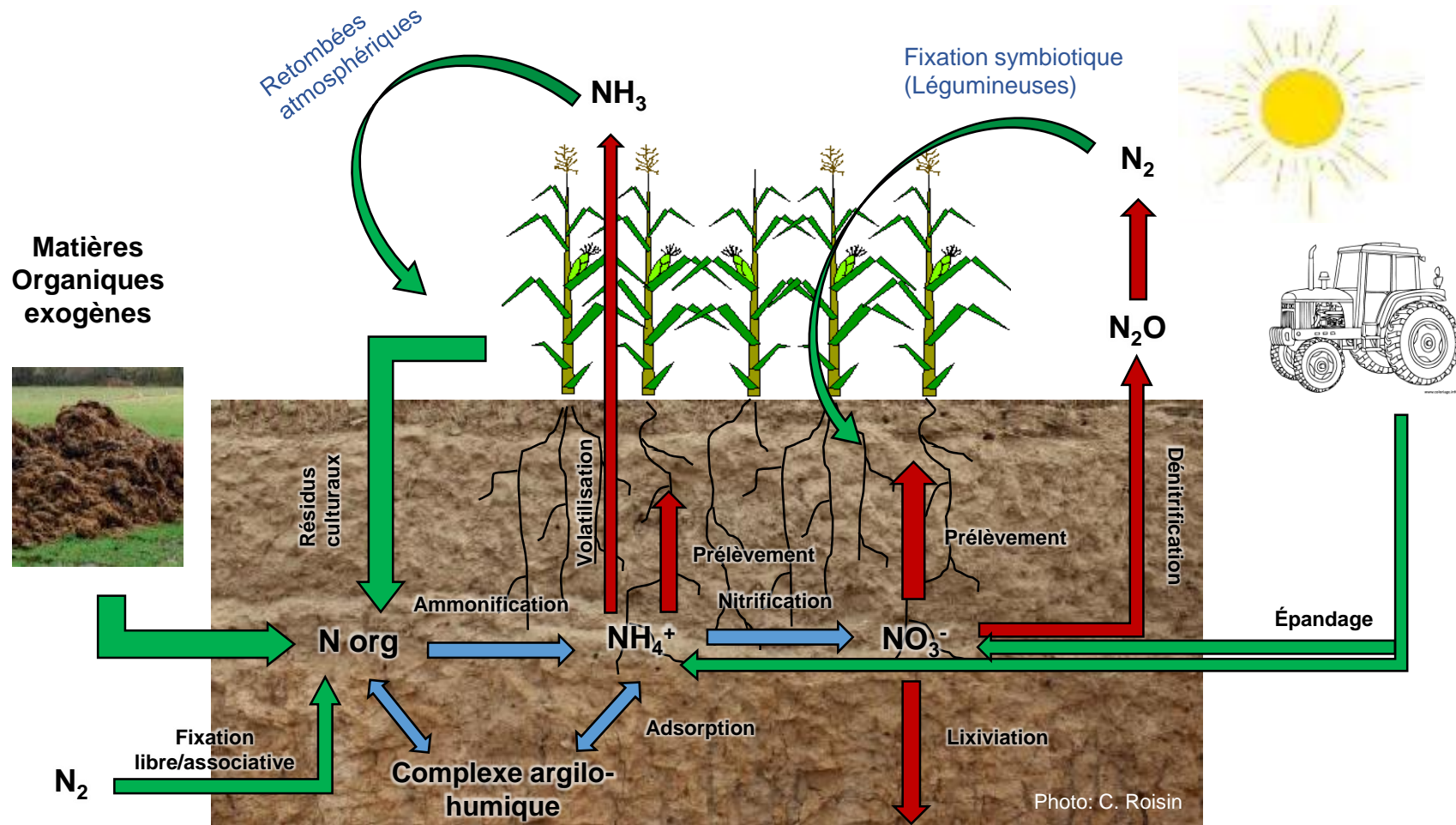
< 1 t/ha

1-2 t/ha

< 2 t/ha

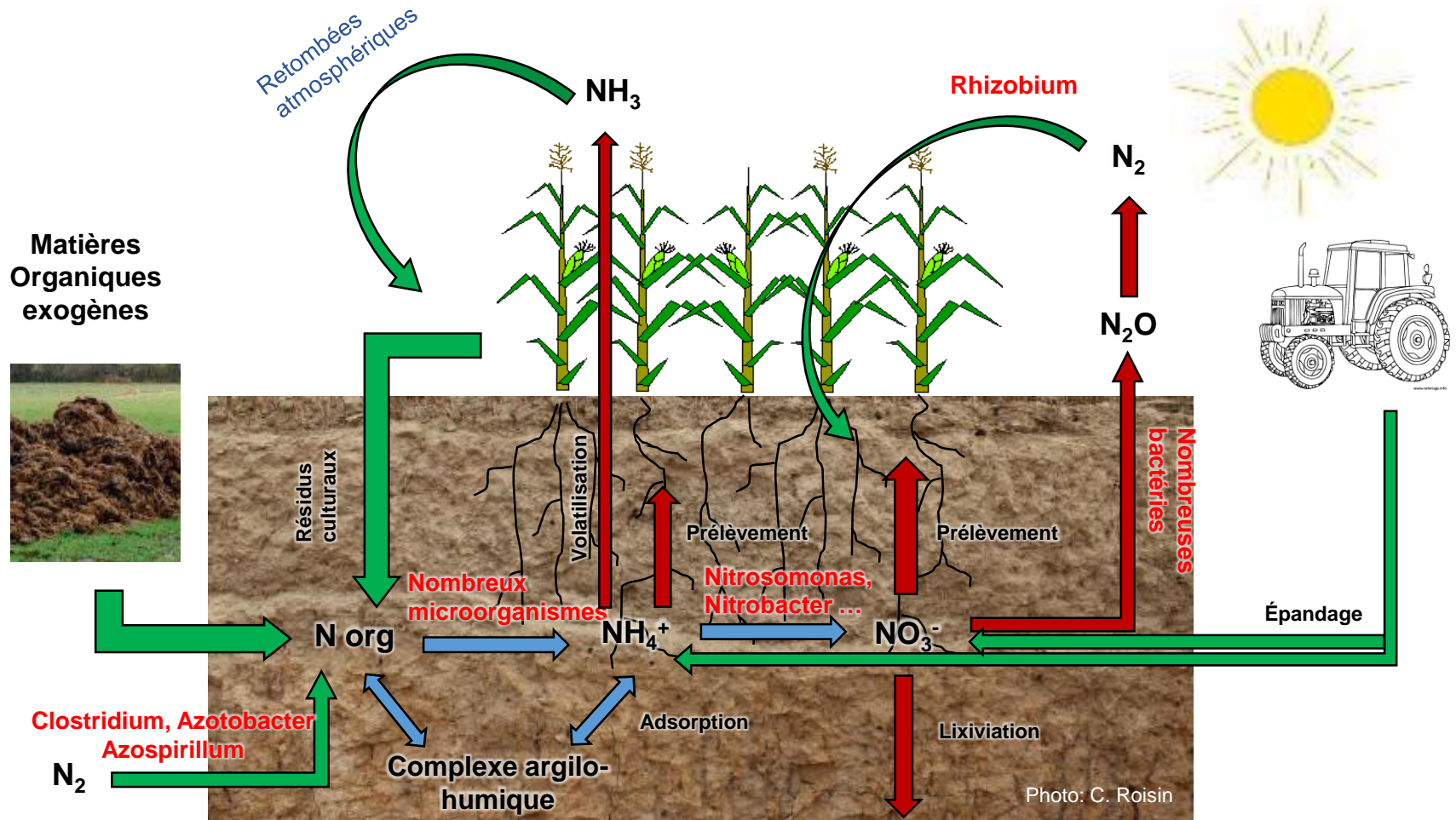
Sans vie du sol, le système ne fonctionne pas!

L'exemple du cycle de l'azote



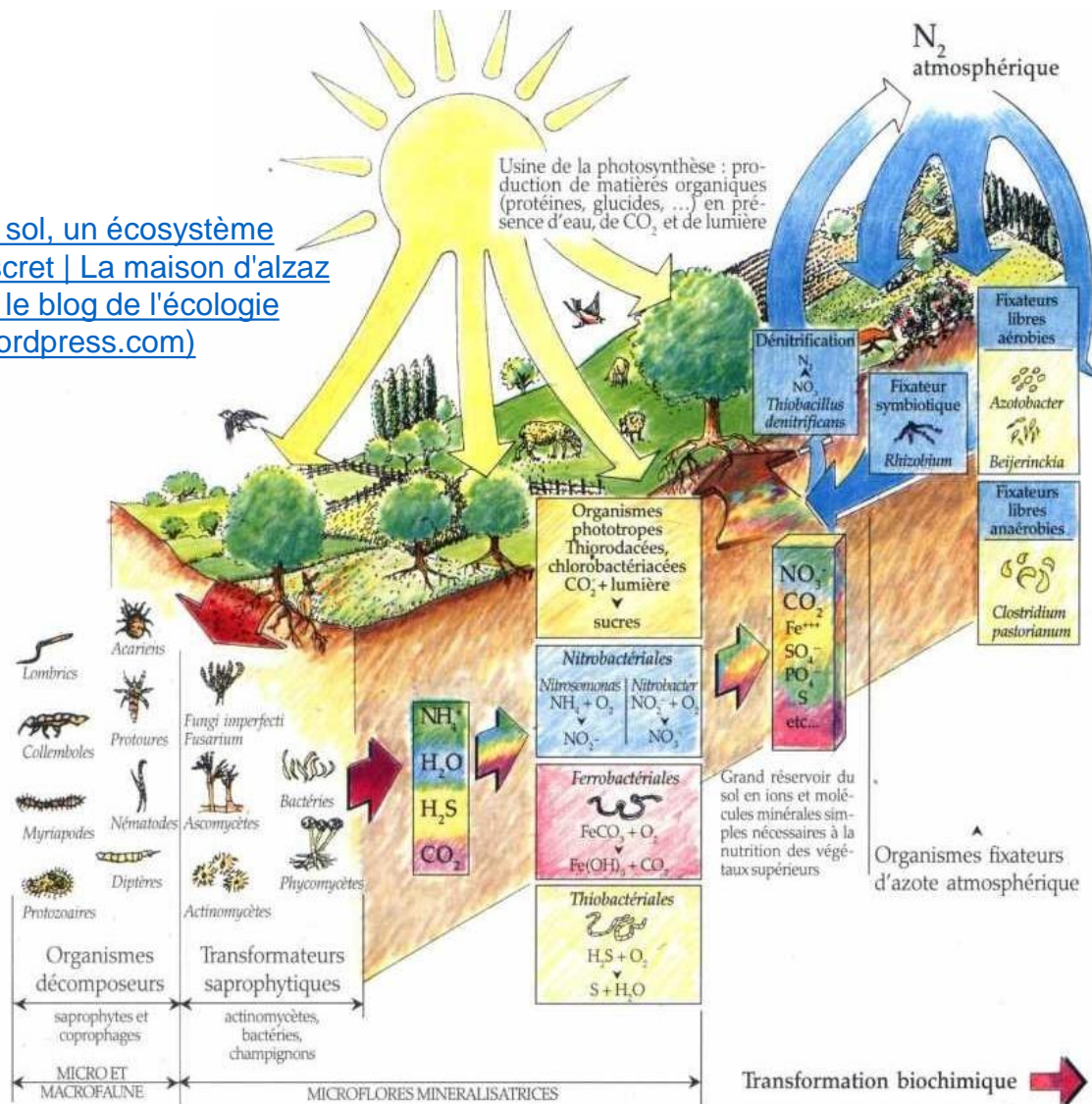
Le cycle de l'azote

Les principales réactions sont l'œuvre de micro-organismes!



La vie du sol, acteur clé des cycles biogéochimiques

[Le sol, un écosystème discret | La maison d'alzaz ou le blog de l'écologie \(wordpress.com\)](#)



« Le sol est une machinerie vivante aux multiples rouages qui **régle le fonctionnement des cycles biogéochimiques: C, N, P, S.**

Ces éléments sont incorporés dans la **matière organique morte** sous des formes moléculaires complexes, qui d'étapes en étapes orchestrées par des **organismes spécialisés**, subissent une sorte de dégraissage dont il émerge des **molécules simples ou des ions.**

Certains, tels les nitrates, seront réutilisés directement en tant que **nutriment par les végétaux**, d'autres repartiront dans l'atmosphère sous forme de **gaz: CO_2, O_2, N_2, \dots** D'autres seront stockés dans l'**humus** du sol à plus long terme »

[La maison d'alzaz ou le blog de l'écologie | Le blog pour apprendre et pour comprendre l'écologie \(wordpress.com\)](#)

Les (micro-)organismes catalyzent des réactions redox...

... Pour extraire de l'énergie ou des carbohydrates!



symbiotech.over-blog.com/

Schlesinger &
Bernhardt (2020)

- Par leur activité enzymatique, les **(micro-)organismes catalysent des réactions d'oxydo-réduction** pour extraire de l'énergie ou des hydrates de carbone
- Certaines réactions endothermiques nécessitent un apport d'énergie extérieur (ex. photosynthèse)

Élément oxydé par la réaction

Élément réduit par la réaction

	H ₂ O/O ₂	C	N	Fe	S
H ₂ O/O ₂	X	Photosynthesis $\text{CO}_2 \rightarrow \text{C}$ $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2$	Respiration cellulaire (hétérotrophes)		
C	Respiration $\text{C} \rightarrow \text{CO}_2$ $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	X	Denitrification $\text{C} \rightarrow \text{CO}_2$ $\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$	Iron-Reducing Bacteria $\text{C} \rightarrow \text{CO}_2$ $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	Sulfate-Reduction $\text{C} \rightarrow \text{CO}_2$ $\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$
Fe	Fe \rightarrow Fe ₂ O ₃ (rust)	Chemoautotrophy Nitrification $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ $\text{CO}_2 \rightarrow \text{C}$	Anammox $\text{NH}_4 + \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	Feammox $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$ $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$?
S	Thiobacillus Thiooxidans $\text{S} \rightarrow \text{SO}_4^{-2}$ $\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ (Acid-mine Drainage)	Iron Photosynthetic Bacteria $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ $\text{CO}_2 \rightarrow \text{C}$	Thiobacillus denitrificans and Thioploca $\text{S} \rightarrow \text{SO}_4$ $\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2/\text{NH}_4$	$\text{SO}_3^{-2} \rightarrow \text{SO}_4^{-2}$ $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	X

Couplage de réactions d'oxydation et de réduction impliqué par différentes voies métaboliques cellulaires

Le rôle de la vie du sol



Processus, fonction et propriétés en lien

Processus / organisme	Fonction / propriété
Décomposition de la MO, minéralisation	Formation d'humus, Recyclage des nutriments N, P, K, S, Mg, Ca + micronutriments
Fixation d'N atmosphérique	Entrée d'azote dans le système sol-plante
Transformations inorganiques (ex. phosphate solubilizing microorganisms)	Disponibilité en nutriments (ex. P) / diminution de la toxicité (ex. Cr)
Rhizobactéries PGPR	Biocontrôle/phytoprotection, prélèvement de nutriments, stimulation hormonale
Champignons mycorhiziens à arbuscule	Biocontrôle, nutrition hydrique et minérale, stabilité des agrégats, ...
Activité biologique, hyphes, racines	Formation d'agrégats stables
Bioturbations (vers de terre, fourmis, ...)	Mélange, incorporation, (macro-)porosité → drainage, infiltration, aération
Décomposition de substances toxiques	Dépollution



« véritables laboureurs biologiques, les vers de terre brassent, enfouissent et rendent assimilables les éléments nutritifs nécessaires aux végétaux ; ils aèrent et drainent le sol ; ils entrent dans les réseaux alimentaires car ils sont mangés par de nombreux animaux » [source: https://laimaisondalzaz.wordpress.com](https://laimaisondalzaz.wordpress.com)

Diagnostiquer la vie du sol

Abondance, activité, espèces indicatrices et diversité...

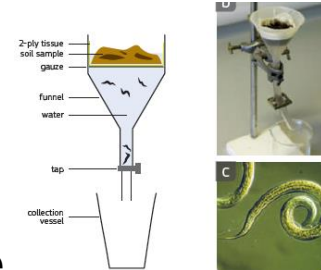
Procaryotes:

- Bactéries
- Archées

Eucaryotes:

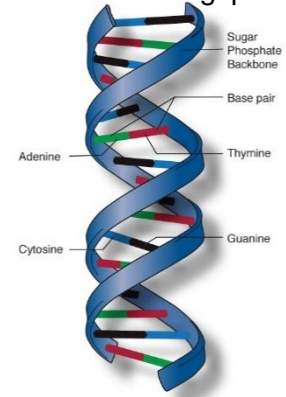
- Protistes
- Champignons
- Lombrics
- Carabes
- Nématodes
- Collembolés
- Arachnides (araignées, acariens, pseudoscorpions)

Source: Global
soil biodiv. Atlas



Abondance
Diversité
Espèces indicatrices

Source:
xsierrav.blogspot.com



Source: OPVT, 2015

Activité:

- Respirométrie, Minéralisation de l'N, tea bag index, ...
- Activités enzymatiques (beta-glucosidase, phosphatase, protéase, ...)
- Colonisation racinaire par les CMA, activité des vers de terre, ...

Proxies chimiques

- C organique total, labile, stable, C & N microbien, ...

Intérêts et limites pour le conseil agronomique

Coût, versatilité et difficulté d'interprétation...

- Quelle(s) mesure(s) choisir ?
- Analyses généralement coûteuses, peu accessibles
- Représentativité ! Hétérogénéité spatiale (macrofaune), évolution temporelle rapide (micro-organismes)
- Résultat très tributaire des conditions de prélèvement, de stockage, ...
- Difficulté d'interprétation (manque de référentiels)
- Difficulté de traduire le diagnostic en schéma de réponse (pratiques de gestion)



Principes pour préserver la vie du sol

... Néanmoins, les bonnes pratiques sont connues!

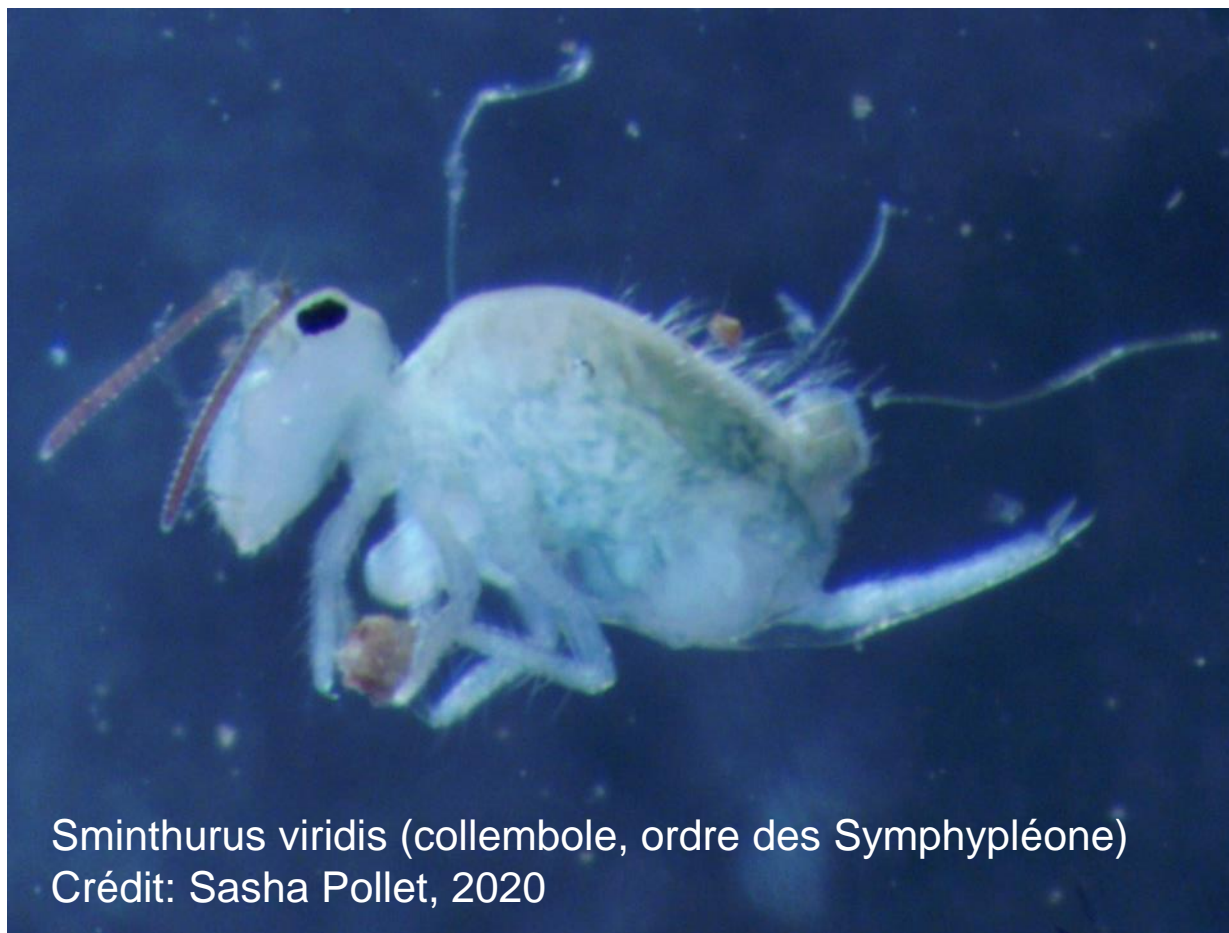


Principes	Exemples
1. Minimiser les perturbations	Réduire le travail du sol
2. Minimiser la compaction	Utiliser des plantes à racines puissantes, par exemple : luzerne, mélilot, radis fourrager
3. Maximiser les racines vivantes	Ajout d'intercalaires ou d'engrais verts
4. Maximiser la couverture du sol	Ajout d'intercalaires, d'engrais verts, de paillis organique
5. Maximiser la biodiversité	Utiliser des mélanges pour les intercalaires et les engrais verts/diversifier les rotations même si de longue durée
6. Apporter des amendements organiques/du compost	Compost, fumier, biosolides
7. Utiliser les principes de la lutte intégrée	Dépister et utiliser les seuils d'intervention
8. Fertiliser de façon durable	La bonne source d'engrais, la bonne dose, au bon moment et au bon endroit



[8 principes pour maintenir la vie du sol et un sol en santé - Réseau québécois de recherche en agriculture durable \(RQRAD\)](#)

Merci de votre attention!



Sminthurus viridis (collembole, ordre des Symphypléone)

Crédit: Sasha Pollet, 2020

Unité Sols, Eaux & Productions Intégrées



rue du bordia 4, 5030
Gembloux
Belgique

Brieuc Hardy
b.hardy@cra.wallonie.be
081/874340