



# LE POTAGER *du Curieux*

## JARDINER AVEC LE VIVANT

Comprendre et préserver  
la vie du sol

12 fiches illustrées pour comprendre comment fonctionne un sol vivant, quels organismes l'habitent, comment les préserver, et comment votre potager peut nourrir à la fois vos plantes, votre microbiote et la planète.

## **Le sol, un monde vivant**

Sous nos pieds se cache un univers complexe et fascinant, souvent invisible mais essentiel à la vie du potager. Le sol n'est pas qu'un simple support pour les plantes : c'est un écosystème vivant, en perpétuelle évolution, où interagissent organismes, matières et éléments minéraux. Héliantis humanis souhaite vous accompagner dans la compréhension de son fonctionnement, et vous aider à apprendre à jardiner en respectant ses équilibres naturels.

### **Fiche 1 - Le biote du sol**

Le biote du sol regroupe l'ensemble des êtres vivants qui habitent la terre : bactéries, champignons, insectes, vers et micro-organismes. Cette biodiversité joue un rôle essentiel dans la décomposition de la matière organique et la fertilité du sol. Un sol riche en vie est un sol en bonne santé.

### **Fiche 2 - Le cycle d'une feuille morte**

Lorsqu'une feuille tombe au sol, elle est progressivement décomposée par les micro-organismes et les petits animaux. Elle se transforme en humus, une matière riche qui nourrit les plantes. Ce cycle naturel recycle les nutriments et enrichit le sol.

### **Fiche 3 - Les vers de terre**

Les vers de terre sont de véritables ingénieurs du sol : ils creusent des galeries qui aèrent la terre et facilitent la circulation de l'eau. En digérant la matière organique, ils produisent des déjections très fertiles. Leur présence est un indicateur de sol vivant.

### **Fiche 4 - Les champignons et les mycorhizes**

Les mycorhizes sont des associations entre les racines des plantes et certains champignons. Elles permettent aux plantes de mieux absorber l'eau et les nutriments, notamment le phosphore. En échange, les plantes fournissent des sucres aux champignons.

### **Fiche 5 - L'importance des racines**

Les racines ne servent pas seulement à ancrer les plantes : elles absorbent l'eau et les nutriments nécessaires à leur croissance. Elles participent aussi à structurer le sol et à nourrir les micro-organismes via leurs exsudats. Un bon système racinaire favorise un sol vivant.

### **Fiche 6 - Structure du sol et complexe argilo-humique**

La structure du sol correspond à l'organisation des particules (sable, limon, argile) en agrégats. Le complexe argilo-humique est une association entre argile et matière organique qui retient les nutriments. Il constitue une réserve essentielle pour la fertilité du sol.

### **Fiche 7 - L'eau dans le sol et la rétention hydrique**

Le sol agit comme une éponge capable de retenir l'eau après la pluie. Sa capacité de rétention dépend de sa texture et de sa teneur en matière organique. Une bonne gestion de l'eau est essentielle pour éviter sécheresse et excès d'humidité.

### **Fiche 8 - Le pH du sol**

Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité du sol sur une échelle de 0 à 14. Il influence la disponibilité des nutriments pour les plantes. La plupart des cultures potagères préfèrent un pH légèrement acide à neutre.

### **Fiche 9 - Le cycle de l'azote dans le sol**

L'azote est un élément essentiel à la croissance des plantes. Il circule dans le sol grâce à des transformations réalisées par les micro-organismes. Ce cycle permet de rendre l'azote assimilable par les plantes.

### **Fiche 10 - Les minéraux du sol**

Les minéraux proviennent de la dégradation des roches et constituent la base du sol. Ils apportent des éléments nutritifs comme le potassium, le calcium ou le magnésium. Leur équilibre est crucial pour la santé des cultures.

### **Fiche 11 - Favoriser la vie dans le sol**

Pour préserver un sol vivant, il est important de limiter le travail du sol, d'apporter de la matière organique et de couvrir la terre. Ces pratiques protègent les organismes et améliorent la fertilité. Un sol respecté devient naturellement productif.

### **Fiche 12 - Le sol face au réchauffement climatique**

Le sol joue un rôle clé dans la régulation du climat en stockant du carbone. Des pratiques adaptées permettent d'augmenter cette capacité et de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Préserver les sols est donc un enjeu écologique majeur.

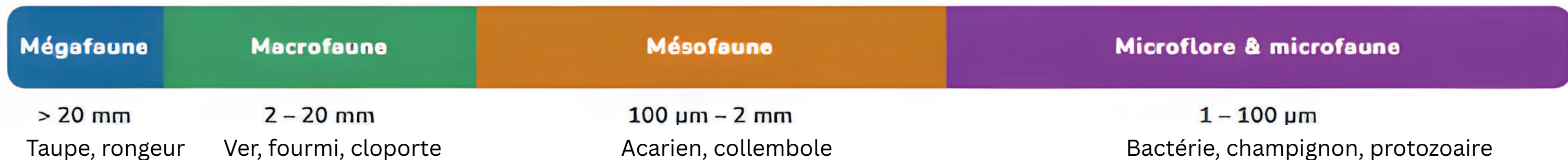
*Vous trouverez à la fin de ce document un glossaire des termes utilisés*

# 1- Le biote du sol

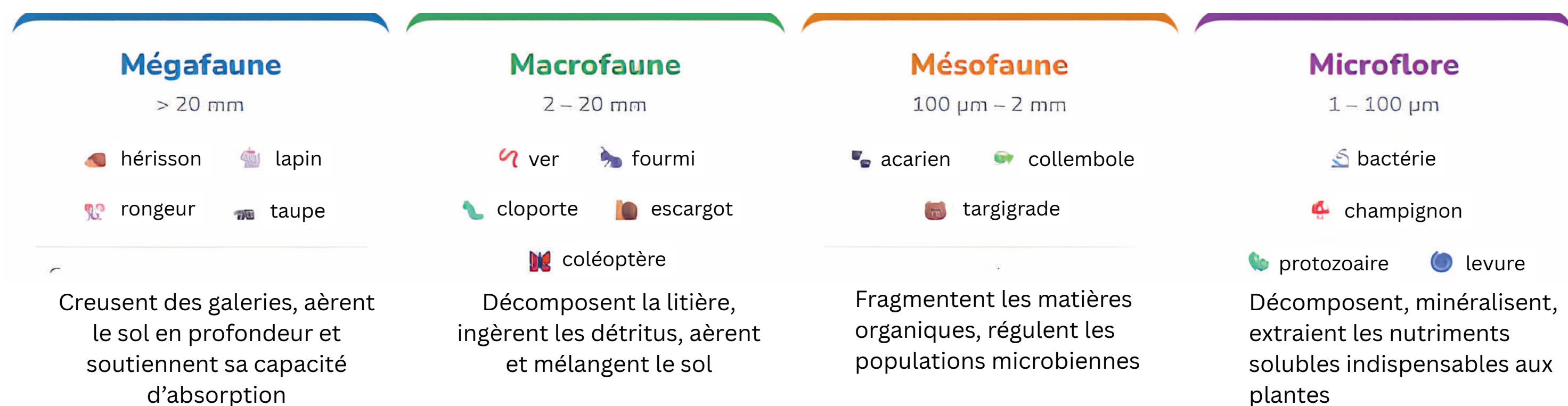
## Qui vit sous nos pieds et pourquoi ?

Sans les organismes du sol, les matières organiques s'accumuleraient en surface et les plantes manqueraient de nutriments. Chaque être vivant du sol joue un rôle précis dans ce grand cycle de fertilité.

### DU PLUS GRAND AU PLUS PETIT- L'ÉCHELLE DU VIVANT SOUTERRAIN



### LES 4 GRANDES FAMILLES DU BIOTE



### LES RÔLES CLÉS DANS LA FERTILITÉ DU SOL



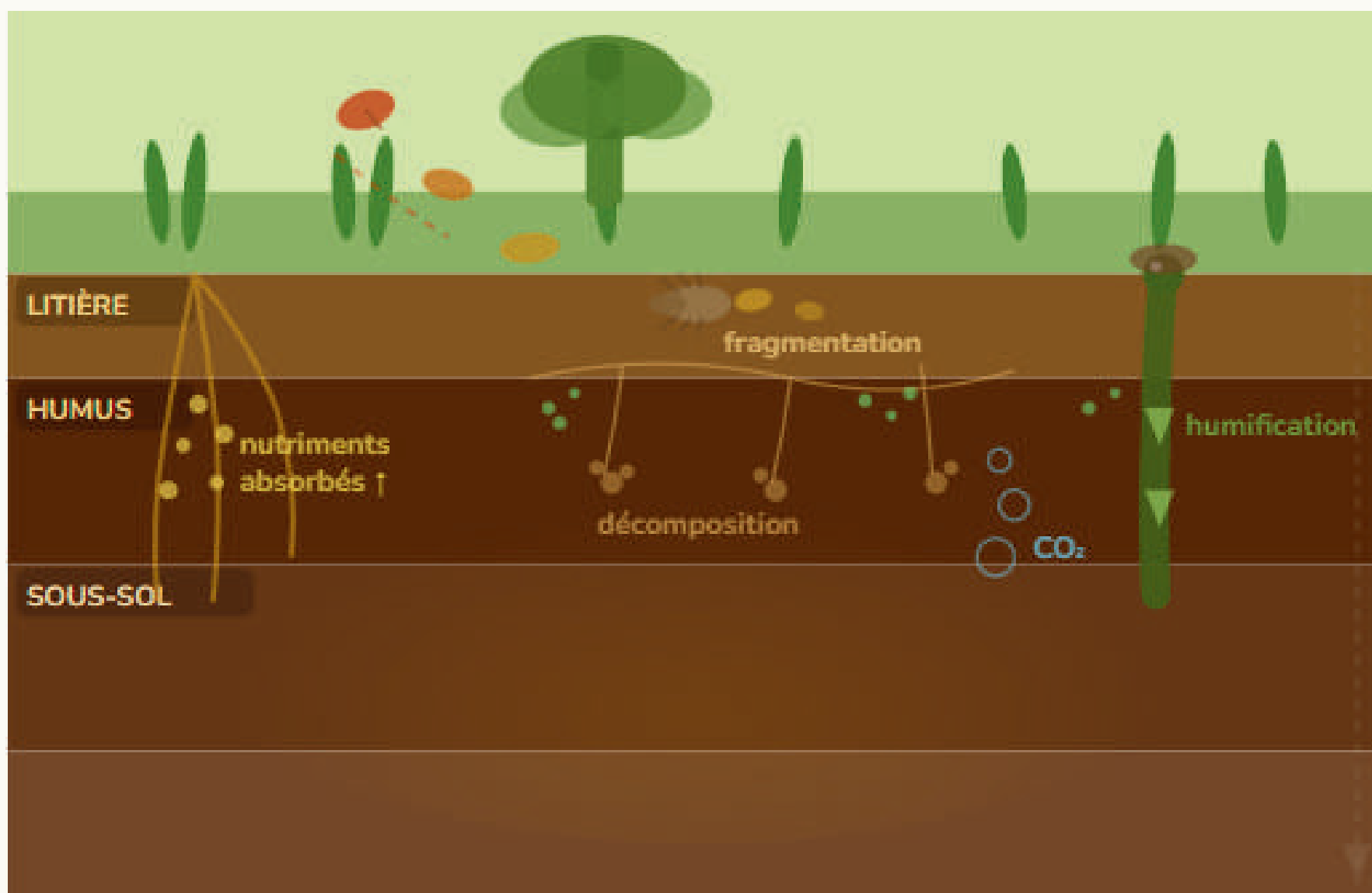
### LE CYCLE DE DÉCOMPOSITION - DE LA FEUILLE AU NUTRIMENT



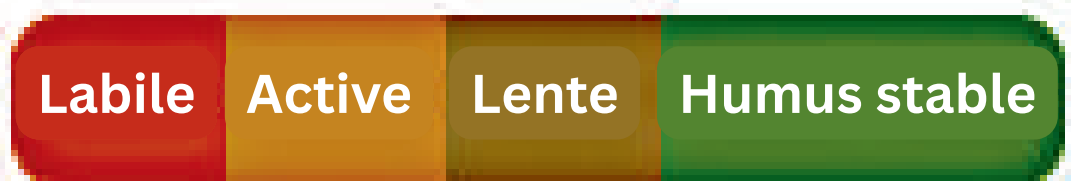
# 2- Le voyage d'une feuille morte

Une feuille qui tombe n'est pas un déchet. C'est le point de départ d'un voyage fascinant qui, en quelques mois ou quelques années, fournira les plantes, structurera le sol et stockera du carbone.

## Du sol à l'humus - Comment la vie recycle tout



### Les fractions de la MO



#### Durée de vie

- Labiles** - Semaines (Résidus frais)
- Active** - Mois (Détritus)
- Lentes** - Années (Humines)
- Stable** - Décennies (Humus)

## LES ACTEURS DU CYCLE - QUI FAIT QUOI

<p><b>Macro-fragmenteurs</b></p> <p>Cloportes, mille-pattes, collemboles : découpent les feuilles en petits morceaux, multipliant les surfaces d'attaque</p> <p><b>Etape 2- Litière</b></p>	<p><b>Champignons</b></p> <p>Décomposent la cellulose et la lignine grâce à leurs enzymes. Premiers à attaquer les matières dures</p> <p><b>Etape 3- Décomposition</b></p>	<p><b>Bactéries</b></p> <p>Minéralisent les fragments organiques en ions assimilables (<math>\text{NH}_4^-</math> - <math>\text{PO}_4^-</math>)</p> <p><b>Etape 3 &amp; 5</b></p>
<p><b>Vers de terre</b></p> <p>Ingèrent les détritux mélangés à la terre, produisent un humus de grande qualité (turricules)</p> <p><b>Etape 4- Humidification</b></p>	<p><b>Actinobactéries</b></p> <p>Transforment les détritux en humus stable. Responsables de l'odeur de terre fraîche (géosmine)</p> <p><b>Etape 4- Humus</b></p>	<p><b>Plantes</b></p> <p>Absorbent les nutriments minéralisés. Leurs racines mortes nourrissent à leur tour les décomposeurs</p> <p><b>Etape 5- Bouclage</b></p>

## VITESSE DE DÉCOMPOSITION - LE RAPPORT C/N

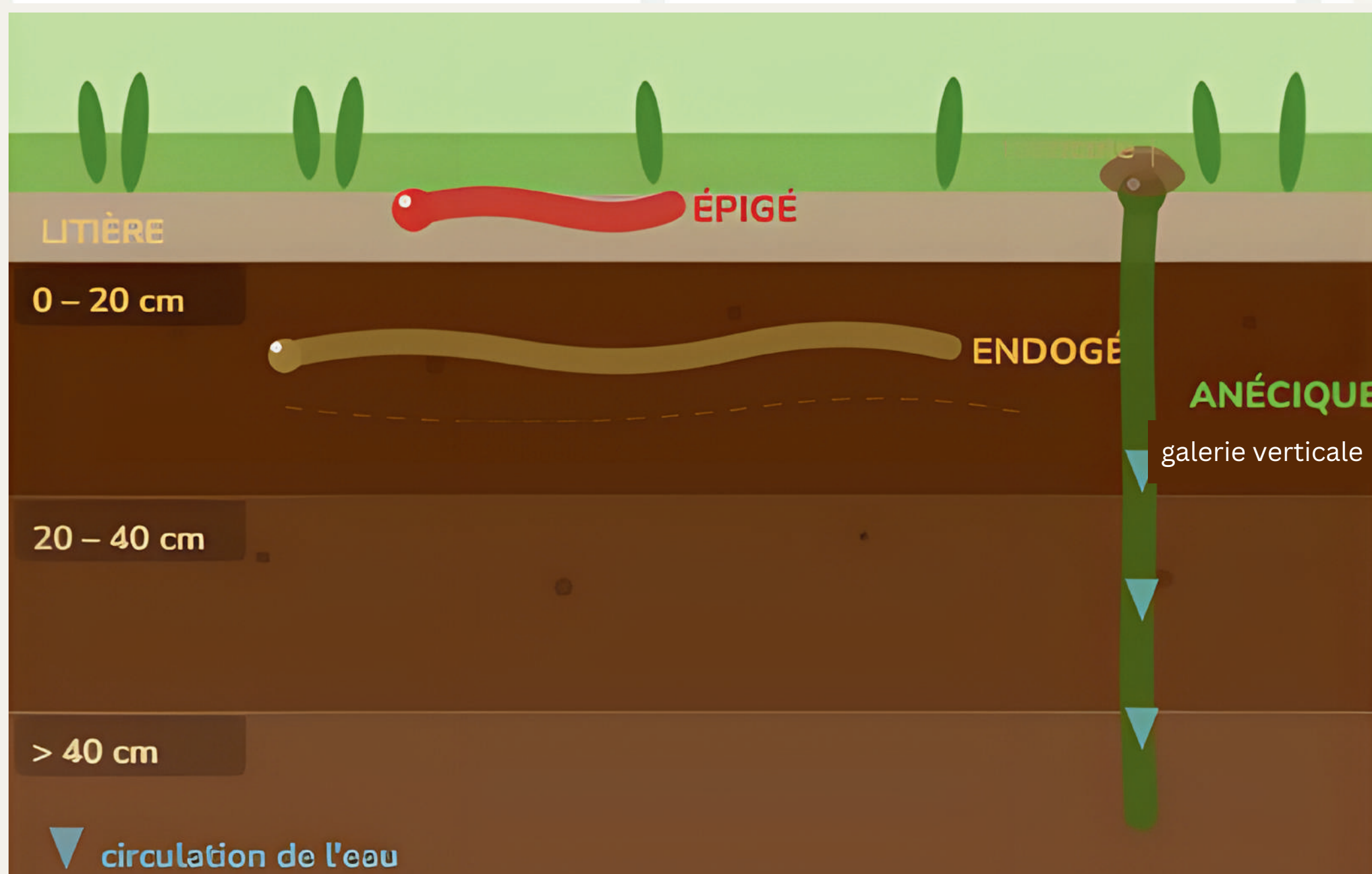


## 3- Les vers de terre

Les vers de terre sont les ingénieurs du sol. Ils aèrent, mélangent, fertilisent et structurent la terre. Un turricule de vers contient jusqu'à 10 x plus de potassium disponible que le sol environnant.

### LES 3 FAMILLES DE VERS DE TERRE

<p><b>Epigés</b> Vers du compost</p> <p><b>Surface du sol</b></p> <p>Vivent à la surface, dans la litière et les résidus végétaux. Très actifs, ne creusent pas vraiment le sol</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Fragmentation de la matière organique</li> <li>● Décomposition des résidus végétaux</li> </ul> <p><i>Très colorés (rouges) sur tout le corps, petite taille, très actifs</i></p>	<p><b>Endogés</b> Vers des couches profondes</p> <p><b>0-20 cm dans le sol</b></p> <p>Vivent exclusivement dans les 20 premiers centimètres. Creusent des galeries sub-horizontales. Se nourrissent de matières organiques dégradées</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Décomposition de la matière organique</li> <li>● Aération du sol</li> </ul> <p><i>Très peu colorés, taille petite à moyenne</i></p>	<p><b>Anéciques</b> Grands ingénieurs verticaux</p> <p><b>Surface &lt;-&gt; 70+ cm</b></p> <p>Font la navette entre la surface (nuit, alimentation) et les horizons profonds (repos, protection). Leurs galeries verticales canalisent l'eau et les racines</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Décomposition et aération du sol</li> <li>● Brassage organique / minéral</li> <li>● Galeries = voies d'eau et de racines</li> </ul> <p><i>grande taille, tête colorée, reste du corps plus pâle</i></p>
---	---	--



**Le turricule, mine de nutriments**

Magnésium	x2
Azote	x4
Phosphore	x6
Potassium	x10

vs sol non remanié à proximité - nutriments directement disponibles pour les plantes

### CHIFFRES CLES

<b>200</b> à 2000 vers par m <sup>2</sup> dans un sol sain	<b>70 cm</b> de profondeur pour les galeries des anéciques	<b>500 kg</b> de biomasse de vers par hectare de sol fertile	<b>x10</b> de potassium disponible dans les turricules
---	---	---	---

### TRAVAIL DU SOL ET VERS DE TERRE

<p><b>⚠ Ce qui les perturbe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Travail du sol en automne en pleine activité - Coupe les vers et détruit leurs galeries</li> <li>Sol nu sans matière organique - Les épigés et anéciques disparaissent faute de nourriture</li> <li>Pesticides et fongicides - Réduisent les populations durablement</li> <li>Tassement du sol - Détruit les galeries et chasse les vers</li> </ul>	<p><b>✅ Ce qui les favorise</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Labour peu profond en hiver - Les vers de terre sont en dormance à 40cm, peu impactés</li> <li>Apports réguliers de résidus végétaux, couverts végétaux, compost - Nourriture abondante</li> <li>Sol toujours couvert - maintien humidité et température favorables</li> <li>Zéro pesticides - Laisse les populations se reconstituer naturellement</li> </ul>
--	---

# 4- Les champignons et les mycorhizes

Plus de 90% des plantes cultivées peuvent former une alliance avec des champignons mycorhiziens. Une symbiose gagnant-gagnant qui démultiplie les capacités de la plante à se nourrir et à se défendre.

## UNE SYMBIOSE GAGNANT - GAGNANT

**La Plante donne...**

**Le gîte et les sucres**

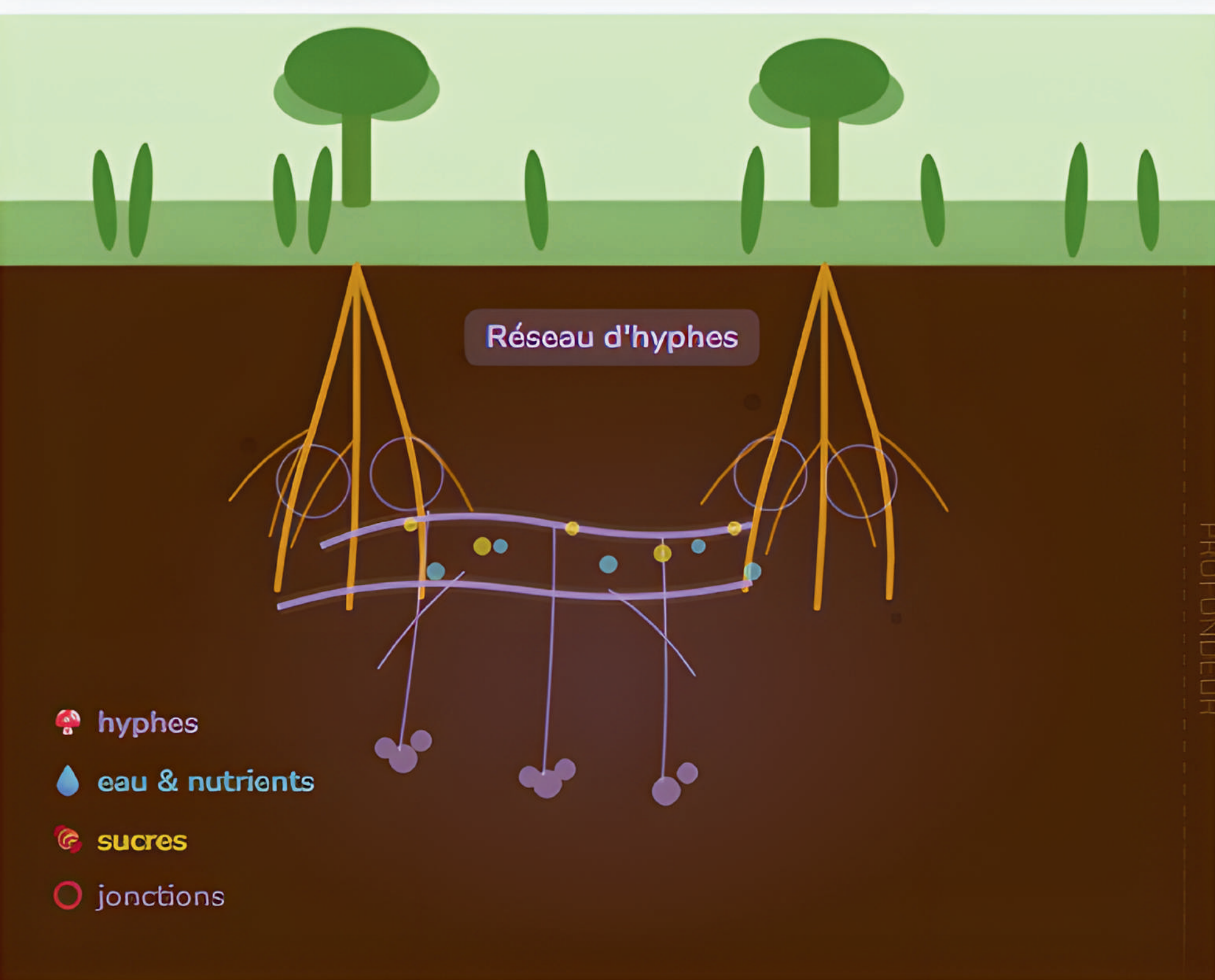
Jusqu'à 20% de ses sucres issus de la photosynthèse sont fournis au champignon comme source d'énergie

**Alliance mutuelle**

**Le Champignon donne...**

**Eau et nutriments**

Il étend le rayon de protection racinaire et protège contre les bioagresseurs en occupant la place



- CE QUE LA PLANTE GAGNE**
- Rayon de prospection x1000**  
Les hyphes atteignent des zones inaccessibles aux racines seules
  - Eau & minéraux**  
Phosphore, azote, calcium : le champignon les capte et les transfère à la plante
  - Protection des racines**  
En colonisant la racine, le champignon occupe la place et bloque les bioagresseurs
  - Communication inter-plantes**  
Le réseau connecte plusieurs plantes et permet le partage de ressources et d'alertes

## 2 TYPES DE MICORHYZES

**Ectomycorhizes**

Le champignon entoure la racine sans entrer dans les cellules  
Surtout sur les arbres forestiers. Forme un manchon protecteur autour de la racine

Chêne Hêtre Pin Bouleau

**Endomycorhizes (MAV)**

Le champignon pénètre à l'intérieur des cellules racinaires  
90% des plantes cultivées. Forme des arbuscules dans les cellules pour l'échange de nutriments

Légumes Céréales Tournesol Colza Betterave

## CHIFFRES CLÉS

**90%**  
des plantes cultivées forment des mycorhizes

**x10**  
surface d'absorption racinaire multipliée

**20%**  
des sucres de la plantes fournis au champignon

**400M**  
années d'existence de cette symbiose sur terre

## 5- L'importance des racines


Les racines ne servent pas qu'à ancrer la plante. Elles sont des actrices essentielles du sol vivant : elles le structurent, le nourrissent et stimulent toute la vie microbienne qui l'entoure.

### LES 3 GRANDS RÔLES DES RACINES DANS LE SOL




**Porosité et minéraux**

En explorant le sol, les racines créent des galeries qui améliorent la porosité et participent aux cycles des éléments



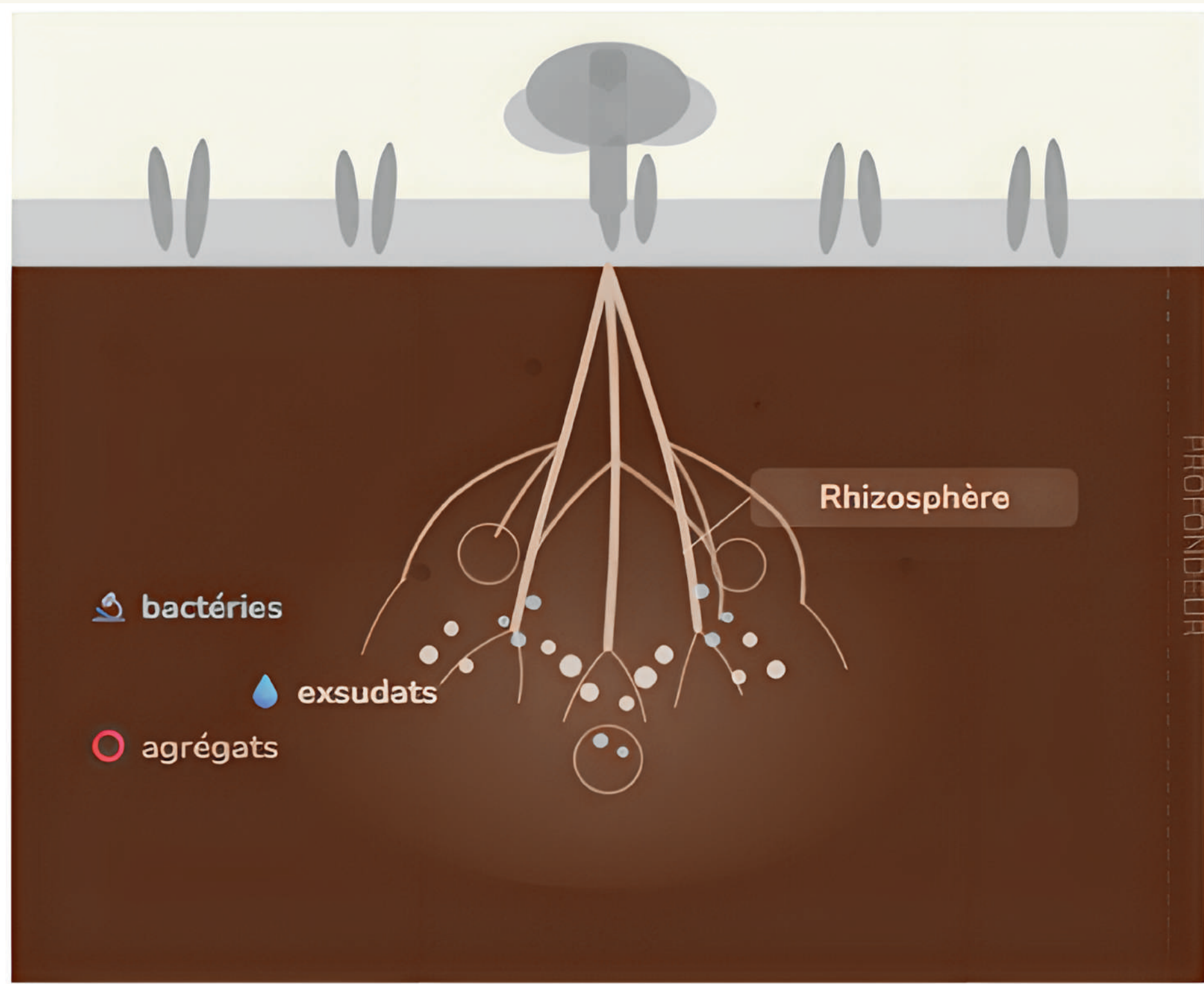
**Exsudats racinaires**

Les racines sécrètent des sucres, protéines et acides aminés qui nourrissent la microflore et favorisent la formation des agrégats



**Source de carbone**

15 à 20% de la masse végétale se trouve dans le sol. 40% des entrées de carbone sont liés au système racinaire



**Les exsudats racinaires**

- Sucres
- Protéines
- Acides aminés
- Mucilages

**Stimulent la microflore**  
Ressource énergétique directement disponible pour les micro-organismes du sol

**Forment des agrégats**  
Les mucilages cimentent les particules de sol en agrégats stables qui améliorent la structure

**Créent la rhizosphère**  
Zone de 1 à 3 mm autour de la racine. 100x plus riche en micro-organismes que le reste du sol

### CHIFFRES CLÉS

- 15-20%** de la masse végétale se trouve dans le sol
- 40%** des entrées de carbone liées au système racinaire
- 100x** plus de microbes dans la rhizosphère que dans le reste du sol
- 3 mm** épaisseur de la rhizosphère autour de la racine

**Les zones autour de la racine**

Endorhizosphère	Rhizoplan	Rhizosphère
● Intérieur de la racine	● Surface de la racine	● Sol influencé par les exsudats

**Entrées de carbone dans le sol**

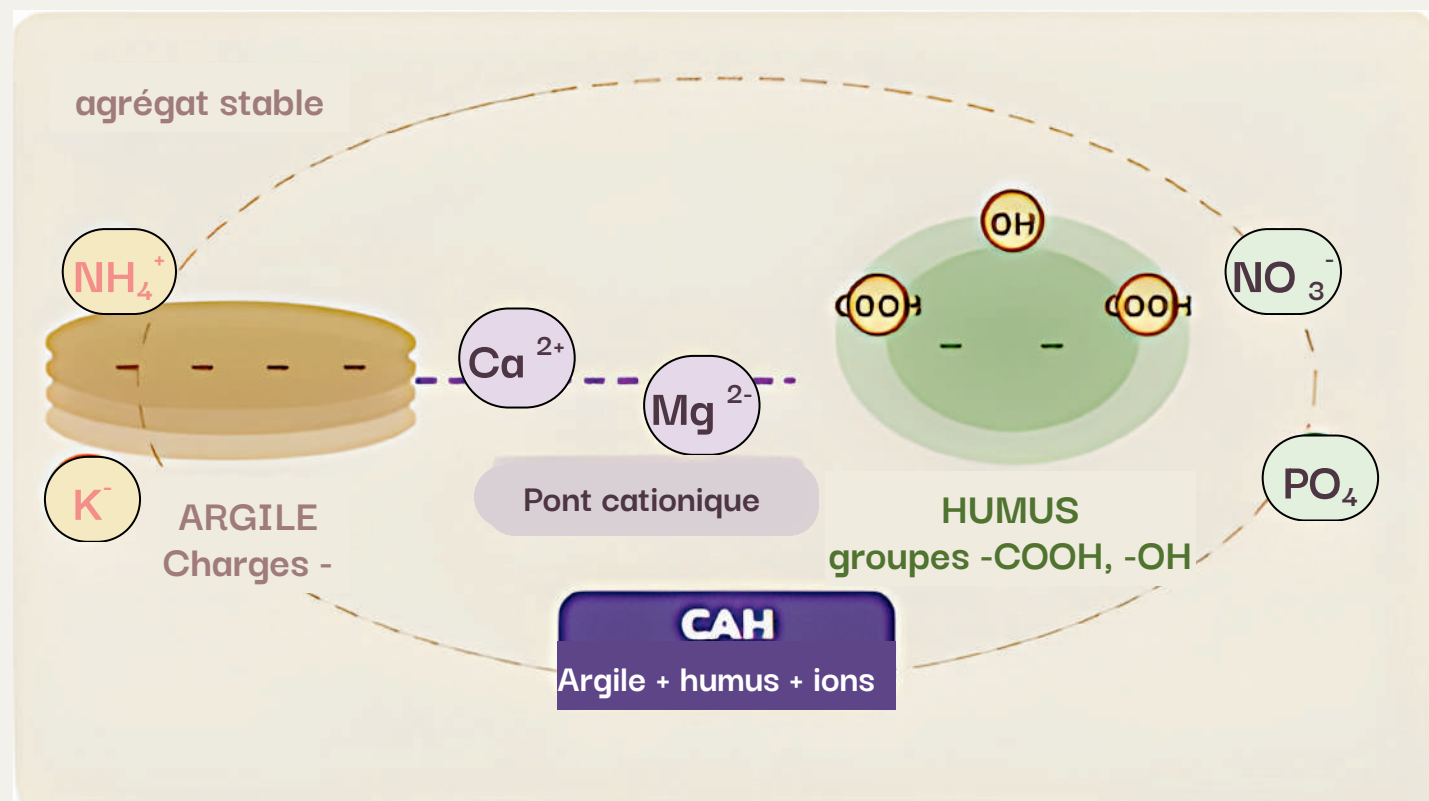
Rhizodéposition (exsudats + racines)	40 %
Matière organique aérienne décomposée	30 %
Amendements et apports extérieurs	20 %
Autres voies biologiques	10 %

# 6- Structure du sol et complexe argilo-humique

## Le ciment invisible de la fertilité

Le complexe argilo-humique (CAH) est la clé de voûte d'un sol fertile. Il résulte de l'union entre l'argile minérale et l'humus organique, et c'est lui qui retient, libère et distribue les nutriments aux plantes.

### LE COMPLEXE ARGILO-HUMIQUE - SCHÉMA



- 80 %** de la CEC du sol assurée par le CAH (capacité à retenir les nutriments)
- 3x** plus d'eau retenue dans un sol bien structuré
- 1 500** m<sup>2</sup> de surface d'échange par gramme d'argile montmorillonite
- 2 %** de MO minimum pour qu'un CAH stable se forme dans le sol

### LES 3 COMPOSANTES DU COMPLEXE ARGILO-HUMIQUE

L'argile	L'humus	Le CAH
<i>Fraction minérale fine (&lt;2µm)</i>	<i>Fraction organique stable</i>	<i>Union argile + humus par ions <math>\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}</math></i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Feuilles chargés négativement (--)</li> <li>● Forte capacité de rétention d'eau</li> <li>● Retient les cations : <math>\text{Ca}_2^+</math>, <math>\text{Mg}_2^+</math>, <math>\text{K}^+</math>, <math>\text{NH}_4^+</math></li> <li>● Plasticité : gonfle mouillée, se rétracte sèche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Acides humiques et fulviques chargés (-)</li> <li>● Groupes --COOH et --OH réactifs</li> <li>● CEC 3 x supérieure à l'argile</li> <li>● Colle les agrégats, améliore la structure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Agrégats stables résistants à l'érosion</li> <li>● Réservoir tampon de nutriments disponibles</li> <li>● Régule le pH du sol entre 6 et 7,5</li> <li>● Stocke le carbone sur des décennies</li> </ul>

**✓ Sol bien structuré (agrégats stables)**

- Porosité équilibrée**  
Macropores (air, drainage) + micropores (rétention d'eau) bien répartis
- Vie microbienne active**  
Les agrégats protègent les micro-organismes et les racines
- Résistance à l'érosion**  
Les agrégats stables ne se délitent pas sous la pluie
- Nutriments disponibles**  
Le CAH libère progressivement N, P, K, Ca, Mg aux racines

**⚠ Sol dégradé (structure détruite)**

- Battance et croûte de surface**  
Les agrégats éclatés colmatent les pores et bloquent l'infiltration de l'eau
- Compaction**  
Densité élevée, racines qui ne pénètrent plus, asphyxie de la faune
- Perte de capacité d'échange cationique**  
Sans l'humus, le sol ne retient plus les nutriments qui partent en lessivage
- Erosion et perte de carbone**  
Le sol nu et sans agrégats part avec la pluie et le vent

### LES TEXTURES DU SOL - L'ÉQUILIBRE ARGILE / LIMON : SABLE

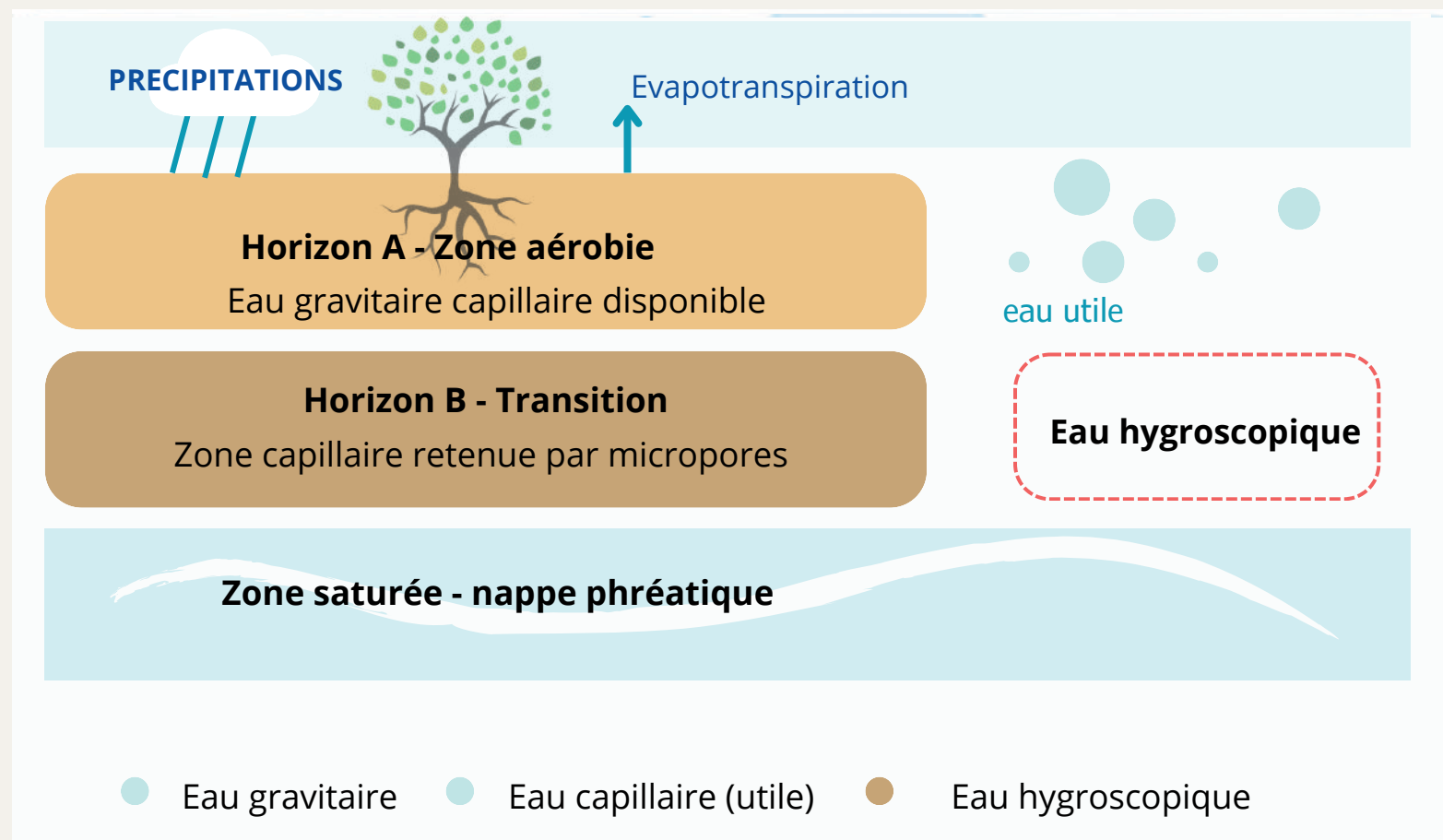
Sableux	Limoneux	Argileux	Argilo-limoneux
Drainant, pauvre en nutriments, se réchauffe vite	Riche, mais risque de battance et de compaction	Riche en CEC, retient l'eau, lourd à travailler	Texture idéale - Bon équilibre eau, air, nutriments

## 7- L'eau dans le sol et la rétention hydrique

### Le réservoir invisible des plantes

L'eau du sol n'est pas uniforme : elle se répartit en 3 formes aux rôles très différents. Comprendre comment le sol la capte, la retient et la libère est essentiel pour irriguer moins, mieux et maintenir une vie biologique active.

### PROFIL HYDRIQUE DU SOL RÉPARTITION DE L'EAU



**50 %**  
du volume d'un sol sain est constitué de pores dont la moitié retient l'eau

**pF 2-4.2**  
plage de pF correspondant à l'eau utile pour les plantes (eau capillaire)

**+40 %**  
de capacité de rétention en plus pour chaque 1% de matière organique ajoutée

**70 mm**  
réserve en eau utile (RU) typique d'un sol limoneux équilibré sur 30 cm

### LES 3 FORMES DE L'EAU DANS LE SOL

#### Eau gravitaire

pF < 2 - pores larges (> 50 µm)

- Circule librement sous l'effet de la gravité
- Draine rapidement après une pluie
- Peu accessible aux plantes (trop rapide)
- Recharge les nappes phréatiques

#### Eau capillaire

pF 2 à 4.2 - pores fins (0.2 - 50 µm)

- Retenue par les forces capillaires du sol
- Eau utile absorbable par les racines
- Disponible entre CC et point de flétrissement
- Favorisée par les sols riches en MO

#### Eau hygroscopique

pF > 4.2 - micropores (< 0.2 µm)

- Film adsorbé sur les particules d'argile
- Lié très fortement - non disponible
- Cause le point de flétrissement permanent
- Plus élevée dans les sols argileux

#### Favoriser l'infiltration

- Couvrir le sol en permanence**  
Paillage, couverts végétaux - Évite la battance et protège la structure
- Stimuler les macropores biologiques**  
Lombrics, racines profondes, champignons - créent des galeries d'infiltration
- Éviter la compaction**  
Limiter le tassement par engins lourds qui colmatent les pores conducteurs
- Maintenir la MO**  
Chaque 1% de MO en plus = +20l d'eau retenue par m<sup>3</sup> de sol

#### ⚠ Risques hydriques à éviter

- Ruissellement et érosion**  
Sol nu + pluie = croûte de battance, perte de terre et d'eau
- Engorgement (asphyxie)**  
Sol imperméable ou mal drainé = manque d'O<sub>2</sub>, mort des racines, anaérobiose
- Sècheresse rapide**  
Sol sableux sans MO = réserve d'eau insuffisante, stress hydrique fréquent
- Lessivage des nutriments**  
Excès d'eau gravitaire = nitrates et potassium perdus dans la nappe

### LEVIERS POUR AMÉLIORER LA RÉSERVE EN EAU UTILE DU SOL

#### Matières organiques

Compost, paillis, couverts végétaux - augmentent la CRU et structurent le sol

#### Faune du sol

Lombrics creusent des galeries profondes, macropores d'infiltration

#### Couverts végétaux

Racines profondes brisent la semelle, couvrent en hivers, limitent le tassement

#### Moins de labour

Conservation des agrégats, des galeries et du réseau fongique

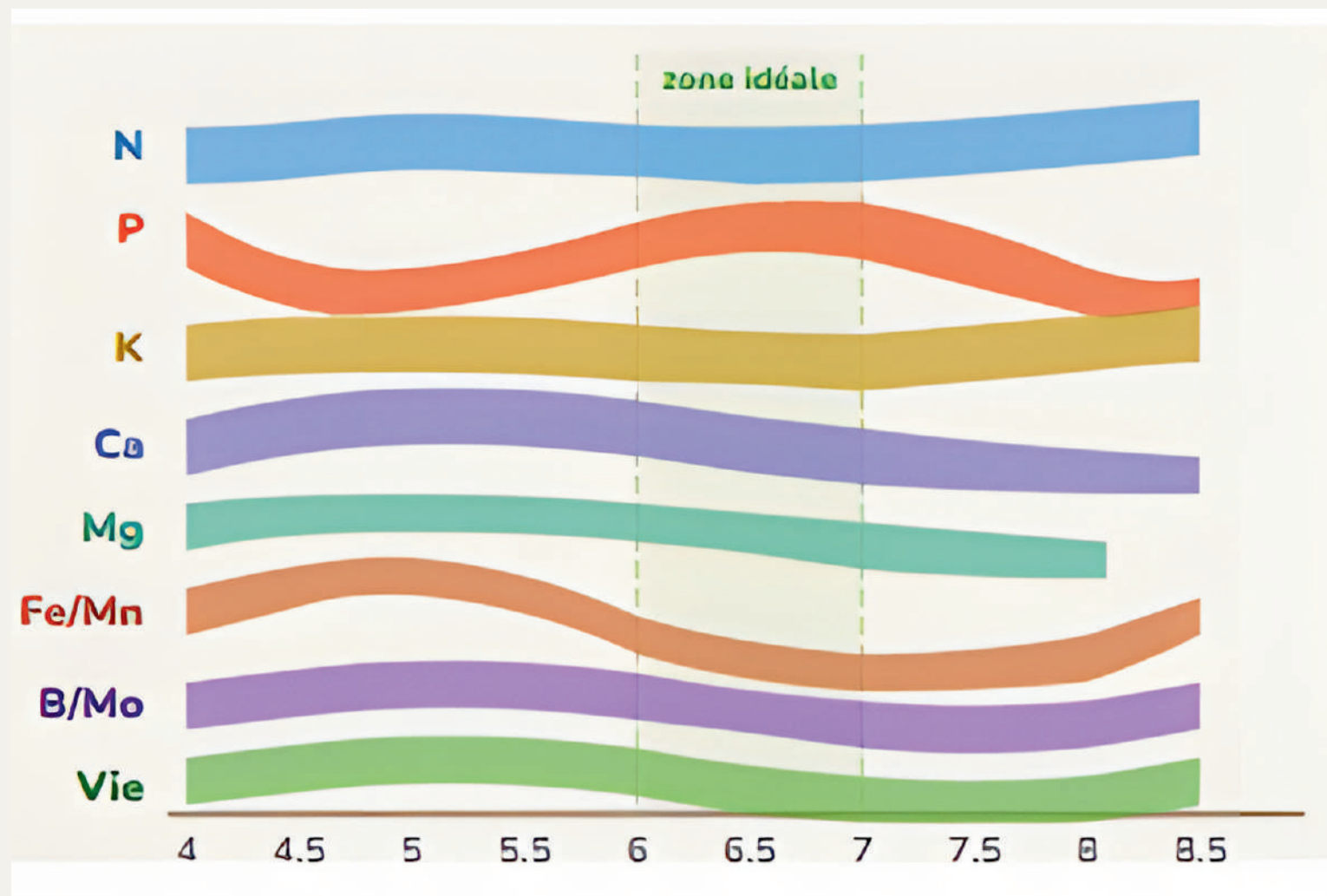
Un sol vivant est une éponge - nourrir la MO, c'est remplir ce réservoir

## 8- Le pH du sol

### Le chef d'orchestre

Le pH est la mesure de l'acidité du sol. Il conditionne la disponibilité de presque tous les nutriments, l'activité des micro-organismes et la structure même du sol. Un pH mal ajusté rend inutile tout apport d'engrais ou d'amendement.

#### DISPONIBILITÉ DES NUTRIMENTS SELON LE PH



**x10**

Différence de concentration en  $H^+$  entre chaque unité de pH - Échelle logarithmique

**6-7**

Plage de pH idéale pour la majorité des cultures maraîchères et grandes cultures

**-30 %**

d'efficacité des engrais azotés sur un sol à pH 5 vs pH 6.5 (P bloqué)

**2 t/ha**

de chaux vive typique pour relever le pH d'une unité sur sol limoneux

#### TROIS PROFILS DE SOL SELON LE PH

##### pH < 6

**Sol acide**

- P, Ca, Mg bloqués- carence fréquente
- $Al^{3+}$  et Mn libérés en excès + toxiques
- Bactéries réduites, champignons dominants
- MO peu dégradée, humus de type Mor/moder

Myrtille, pomme de terre, fraises

##### pH 6-7.5

**Sol neutre à légèrement acide** ✓

- Tous les nutriments disponibles
- Biologie maximale : bactéries + champignons
- Lombrics très actifs, CAH stable
- Minéralisation efficace, humus de type Mull

La grande majorité des légumes, céréales, prairies

##### pH > 7.5

**Sol alcalin / calcaire**

- Fe, Mn, Zn bloqués->chlorose
- Phosphore précipité sous forme  $Ca_2(PO_4)_2$
- Structure dégradée si excès de  $Na^+$  (sel)
- Activité bactérienne très ralentie

Lavande, romarin, asperge, betterave, artichaud

#### CORRIGER LE PH

##### ↑ Relever le pH — sol trop acide

###### Chaux vive ( $CaO$ ), 100 à 300g/m<sup>2</sup>

Action rapide et puissante à fractionner, risque de choc biologique si excès

###### Chaux agricole / Calcaire broyé ( $CaCO_2$ )

Action douce et durable sur 3 à 5 ans. A privilégier au jardin

###### Dolomie ( $CaMg(CO_2)_2$ )

Apporte Ca et Mg simultanément, idéal si carence en magnésium

###### Cendres de bois

Alcalinisantes douces (pH11) riche en K et Ca - Utiliser à faible dose

##### ↓ Acidifier le pH — sol trop alcalin

###### Soufre élémentaire

Oxydé en  $H_2SO_4$  par bactéries thiobacillus - action lente (3-6 mois)

###### Tourbe blonde (à limiter pour des raisons écologiques)

Action temporaire, pH 3,5-4 - Recours non renouvelable, à éviter

###### Apport de MO acide

Compost de feuilles de chêne, écorces de pins, aiguilles de résineux - effet doux et durable

###### Engrais acidifiants

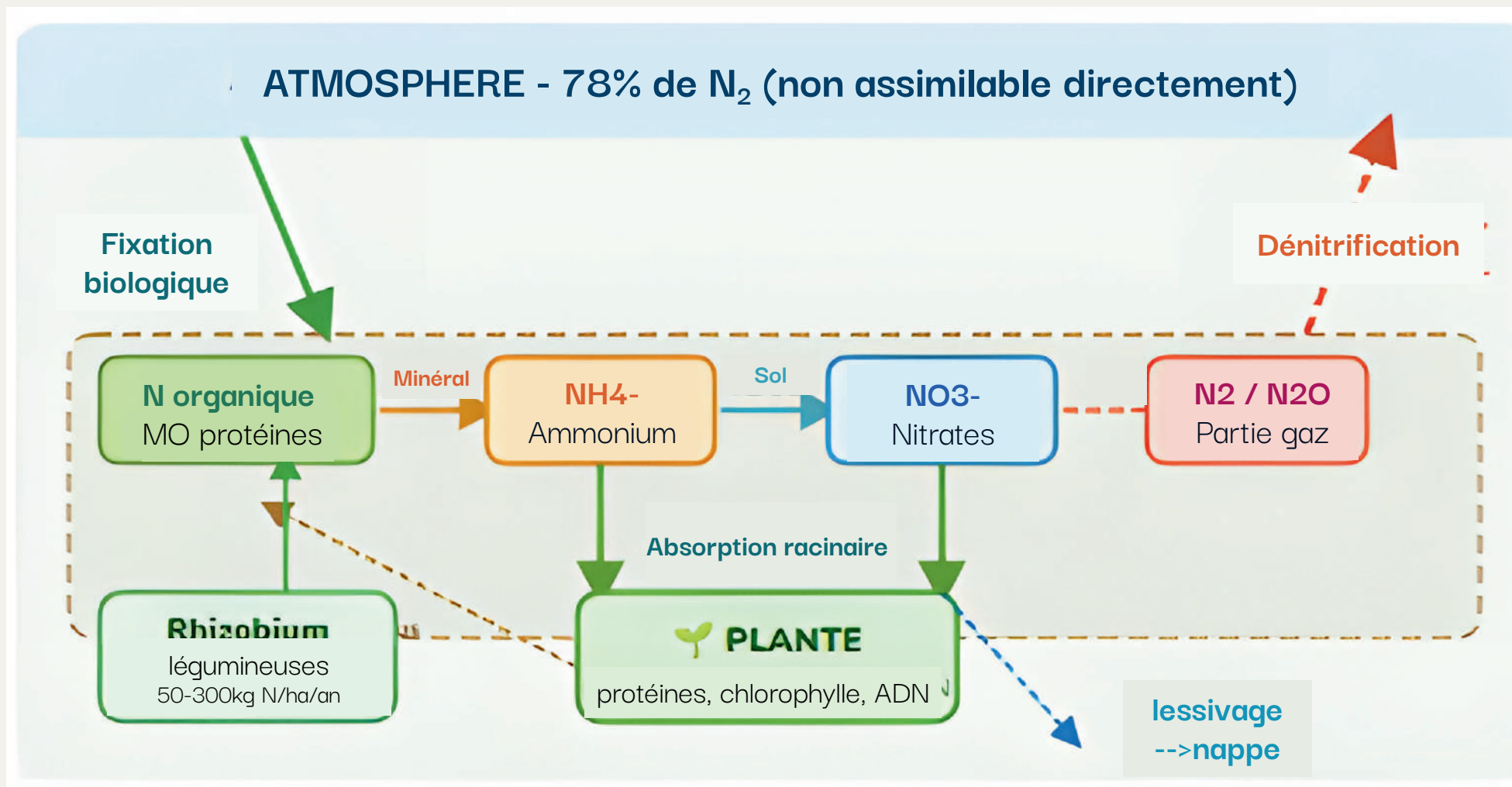
Sulfate d'ammonium, nitrate ammoniacal - légère acidification à long terme

# 9- Le cycle de l'azote dans le sol

## Du N<sub>2</sub> atmosphérique à la plante

L'azote est essentiel à la croissance des plantes, mais il doit être transformé par les micro-organismes pour être assimilable. Le cycle de l'azote regroupe ces transformations naturelles qui rendent le sol fertile.

### LE CYCLE COMPLET DE L'AZOTE DANS L'ÉCOSYSTÈME SOL



- 78 %** de NO<sub>2</sub> dans l'atmosphère - inaccessible sans biologie fixatrice
- 300 kg** d'azote par ha/an fixés par les fabacées avec rhizobium
- 30 %** de l'azote apportés peut partir en lessivage sur sol nu ou compacté
- C/N 10** ratio optimal pour une minéralisation nette d'azote disponible

### LES ÉTAPES CLÉS DU CYCLE DE L'AZOTE

<p><b>1</b></p> <p><b>Fixation</b></p> <p><math>N_2 \rightarrow NH_4^+</math></p> <p>Rhizobium (Fabacées), azotobacter (libre), cyanobactéries</p>	<p><b>2</b></p> <p><b>Minéralisation</b></p> <p><math>N\text{-org} \rightarrow NH_4^+</math></p> <p>Bactéries et champignons dégradent protéines, acides aminés</p>	<p><b>3</b></p> <p><b>Nitrification</b></p> <p><math>NH_4^+ \rightarrow NO_2^-</math></p> <p>Nitrosomonas (<math>NH_3^- \rightarrow NO_2^-</math>) puis nitrobacter (<math>NO_2^- \rightarrow NO_3^-</math>)</p>	<p><b>4</b></p> <p><b>Dénitrification</b></p> <p><math>NO_3^- \rightarrow N_2</math></p> <p>En anaérobiose (sol gorgé d'eau) : Pseudomonas Thiobacillus</p>	<p><b>5</b></p> <p><b>Immobilisation</b></p> <p><math>NH_4^+ \rightarrow N\text{-bio}</math></p> <p>Micro-org. immobilisent N si C/N élevé (paille, sciure : C/N&gt;30)</p>
--	---	--	---	---

### LES 4 FORMES DE L'AZOTE DANS LE SOL ET LEUR DISPONIBILITÉ

<p><b>N-org</b></p> <p>Azote organique</p> <p>Liée à la M, protéines, acides aminés. Non directement assimilable - Réserve à long terme</p> <p><b>Réserve</b></p>	<p><b>Nh<sub>4</sub><sup>+</sup></b></p> <p>Ammonium</p> <p>Fixé sur le CAH (charge -). Peu lessivable. Absorbable par les plantes. Produit par minéralisation</p> <p><b>Semi-dispo</b></p>	<p><b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b></p> <p>Nitrates</p> <p>Très solubles, très mobile. Absorbé rapidement par les plantes, mais lessivable en cas d'excès d'eau</p> <p><b>Dispo - Risque lessivage</b></p>	<p><b>N<sub>2</sub>O</b></p> <p>Oxyde nitreux</p> <p>Gaz à effet de serre (298xCO<sub>2</sub>). Emis par dénitrification en conditions saturées ou compactées</p> <p><b>Perte - GES</b></p>
---	---	---	---

**Optimiser l'azote par la biologie**

**Légumineuses dans les rotations**  
Trèfle, vesce, luzerne, féverole - fixent 50-300kg N gratuit/ha/an

**Ajuster le ratio C/N des apports**  
Mélanger résidus riches en C (Paille, feuilles) avec N (fumier) pour un C/N 20-30

**Couverts en hiver**  
Captent les nitrates résiduels et les restituent au printemps par minéralisation

**Fractionnement des apports**  
Apporter l'azote en plusieurs fois, en phase avec les besoins de la culture

**Les pertes d'azote à éviter**

**Lessivage des nitrates**  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mobile-->nappe si sol nu en automne hiver ou apports excessifs

**Volatilisation ammoniacale**  
Épandage d'urée par temps chaud sans incorporation → perte de NH<sub>4</sub>

**Dénitrification en anaérobiose**  
Sol gorgé d'eau → NO<sub>3</sub><sup>-</sup> transformé en N<sub>2</sub>O (GES puissant)

**immobilisation par C/N élevé**  
Paille enfouie sans azote → les microbes prélèvent tout l'azote disponible

# 10- Les minéraux du sol NPK et oligo-éléments

Les plantes ont besoin de 17 éléments essentiels. Certains sont nécessaires en grandes quantités (macro-éléments), d'autres en traces infimes (oligo-éléments). Un seul élément manquant suffit à limiter leur croissance. C'est la loi du minimum.

## LES 3 MACRO-ELEMENTS PRINCIPAUX - N, P, K

### N

#### Azote - Nitrogène

**Croissance végétative**

- Constituant des protéines, enzymes, chlorophylle et ADN
- Forme  $NH_4^+$  (fixé sur CAH) et  $NO_3^-$  (mobile, lessivable)
- Provient de la minéralisation de la MO et de la fixation biologique

**Carence : feuilles jaunes (chlorose), croissance ralentie, tiges grêles**  
Corriger : compost, engrais vers, fabacées, purin d'ortie

### P

#### Phosphore

**Racines et floraison**

- Constituant de l'ATP (énergie cellulaire) et des membranes
- Peu mobile dans le sol - capté via les mycorhizes
- Bloqué à pH < 5,5 et > 7,5 (précipitation Ca ou Al)

**Carence : reflet violacé des feuilles, racines peu développées**  
Corriger : compost mûr, phosphate naturel, mycorhizes

### K

#### Potassium

**Qualité des fruits**

- Régule l'ouverture des stomates et la transpiration
- Améliore la qualité gustative et la conservation des fruits
- Retenu par le CAH comme cation k- - Peu lessivable

**Carence : bord de feuilles brûlés (nécrose marginale), fruits fades**  
Corriger : cendres de bois, compost, poudre de roche, purin de consoude

## LES 3 ÉLÉMENTS SECONDAIRES

### Ca

#### Calcium - charpente cellulaire

- Solidifie les parois cellulaires (pectate de Ca)
- Lié au pH : apport via chaulage
- Carence → pourriture apicale tomate, tip-burn laitue
- Corriger : calcaire, gypse, coquilles d'œufs broyées

### Mg

#### Magnesium - coeur de la chlorophylle

- Atome central de la molécule de chlorophylle
- Activateur de nombreuses enzymes
- Carence → jaunissement internervaire (vieilles feuilles)
- Corriger : dolomie, kiesérite, sulfate de magnésie

### S

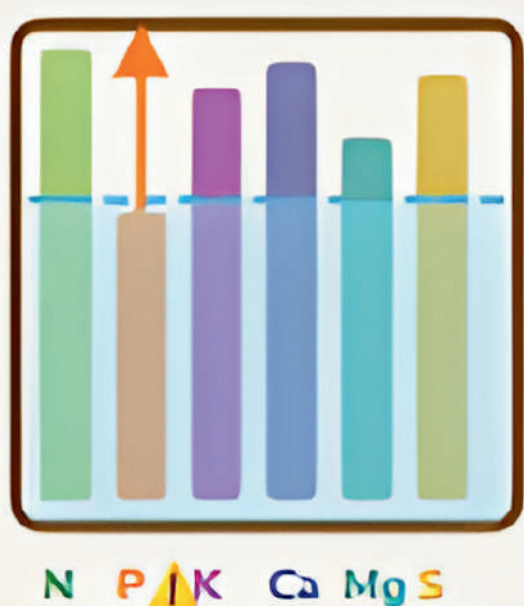
#### Soufre - protéines & arômes

- Constituant des acides aminés (cystéine, méthionine)
- Responsable des arômes ail, oignon, crucifères
- Carence : chlorose des jeunes feuilles
- Corriger : sulfate de K, soufre agricole, compost

## LES OLIGO-ÉLÉMENTS - ESSENTIELS EN TRACES, TOXIQUE EN EXCÈS

<h3>Fe</h3> <p><b>Fer</b></p> <p>Synthèse chlorophylle, enzymes respiratoires</p> <p><b>Chlorose jeunes feuilles (pH élevé)</b></p>	<h3>Mn</h3> <p><b>Manganèse</b></p> <p>Photosynthèse, activation enzymes</p> <p><b>Taches claires internervaires</b></p>	<h3>Zn</h3> <p><b>Zinc</b></p> <p>Auxines, division cellulaire, protéines</p> <p><b>Feuilles petites, entre noeuds courts</b></p>	<h3>B</h3> <p><b>Bore</b></p> <p>Parois cellulaires, pollinisation, fructification</p> <p><b>Coeur creux betterave, brocoli noir</b></p>	<h3>Mo</h3> <p><b>Molybdène</b></p> <p>Fixation <math>N_2</math> (rhizobium) réduction <math>NO_3^-</math></p> <p><b>Rare - Feuilles en cuillère (chou)</b></p>	<h3>Cu</h3> <p><b>Cuivre</b></p> <p>Enzymes oxydases lignification, fonçislase</p> <p><b>Excès (bouillie bordelaise) toxique</b></p>
---	--	---	--	---	--

## LA LOI DU MINIMUM DE LIEBIG



**Principe du tonneau :**  
La production est limitée par l'élément le plus rare, même si les autres sont en excès

**Ex : si P manque, ajouter plus de N n'aide pas**

### Nourrir le sol sans intrants — sources naturelles

- **Compost mûr - source universelle**  
Apporte N,P,K, Mg et S et tous les oligo-éléments de façon équilibrée et lente
- **Poudre de roche - basalte, granite, greensand**  
Libèrent K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn sur plusieurs années par altération biologique
- **Fumier et fientes (compostés)**  
Fientes de volailles : N fort, fumier de cheval : C/N équilibré, fumier de mouton : riche en K
- **Purin de plantes**  
Ortie → N+Fe, consoude → K+Ca, prêle → silice + fongistase naturelle
- **Fabacées dans la rotation**  
Azote

## 11- Favoriser la vie dans les sols Les gestes essentiels

Un sol vivant ne s'entretient pas au hasard. Chaque pratique culturale a un impact direct sur les micro-organismes, les vers de terre et la structure du sol.

### NOURRIR LES ORGANISMES DU SOL



#### Laisser la matière organique sur place



##### Résidus de récolte

Ne pas exporter les fanes, tiges et feuilles mortes - C'est la nourriture directe des décomposeurs



##### Litière de surface

Les résidus en surface protègent et alimentent les épigés et la microflore de la litière



#### Couverts végétaux et successions



##### Couverts végétaux et successions

Sol toujours couvert = exsudats racinaires continus qui nourrissent la rhizosphère



##### Successions et prairies

La diversité des cultures entretient la diversité microbienne et la résilience du sol

### BIEN CHOISIR SES APPORTS ORGANIQUES - L'OBJECTIF DÉTERMINE LE PRODUIT

#### ⚡ Stimuler la vie



Engrais verts



Fumier frais



Résidus verts

Matières rapidement dégradables, C/N bas. Boostent immédiatement la biomasse microbienne et l'activité biologique

VS



#### Reconstituer l'humus



Compost mûr



BRF



Paille

Matières mûres, C/N élevé. Reconstituent le stock d'humus stable sur le long terme et améliorent la structure du sol

### LES 4 PILIERS POUR UN SOL VIVANT



#### Résidus et litières

Laisser les résidus de récolte sur place - Première source de nourriture pour les décomposeurs



#### Couverts végétaux

Sol vivant toute l'année - Les racines nourrissent la rhizosphère en continue



#### Porosité du sol

Eviter le tassement - Maintenir les galeries des vers et la circulation de l'air et de l'eau



#### Limiter le travail

Réduire les passages répétés, engins lourds et labours profonds. Surtout maintenir sol humide

### TRAVAIL DU SOL - CE QU'IL FAUT ÉVITER ET POURQUOI

#### ⚠ Pratiques à éviter

##### Passages répétés avec engins lourds

Compactage des couches profondes, destruction des galeries, asphyxie des micro-organismes

##### Labour en sol non ressuyé (humide)

Tassement irréversibles, formation d'une semelle de labour imperméable

##### Labours profonds répétés

Sectionne les réseaux de vers de terre et de champignons, inverse des horizons biologiquement différents

##### Sols nus entre les cultures

Perte d'humidité, absence d'exsudats racinaires, érosion de la vie microbienne de surface

#### ✅ Pourquoi c'est important

##### Risques concrets du travail intensif

- Tassement et compactage qui asphyxie la faune du sol
- Stimulation excessive de la minéralisation --> perte rapide de matière organique
- Destruction des populations de vers de terre (épigés et anéciques surtout)
- Chute des populations de micro-organismes et de champignons mycorhiziens

##### Laisser le sol respirer

Un sol non compacté retient mieux l'eau, s'échauffe plus vite au printemps et nourrit mieux les plantes

##### Compenser un labour par des apports

Des apports réguliers de matières végétales compensent largement les effets d'un labour raisonné

## 12- Le sol face au réchauffement climatique

Les sols contiennent 3 fois plus de carbone que l'atmosphère. Selon la façon dont on les gère, ils peuvent aggraver le réchauffement climatique, ou en être l'une des principales solutions

### LE SOL EN CHIFFRES - UN ACTEUR CLIMATIQUE MAJEUR

**x3**

plus de carbone dans le sol que dans l'atmosphère+

**4‰**

d'augmentation annuelle suffirait à compenser les émissions humaines de CO<sub>2</sub>

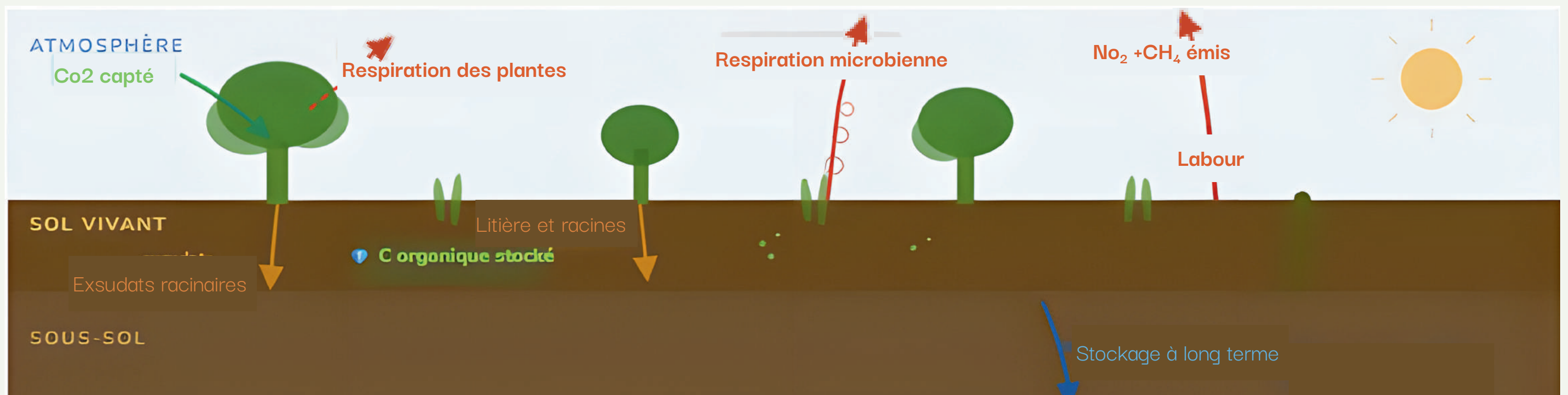
**20-30%**

des émissions mondiales de gaz à effet de serre viennent des sols agricoles dégradés

**2 Gt**

de CO<sub>2</sub> stockées par les sols chaque année (avec les bonnes pratiques)

### LE CYCLE DU CARBONE DANS LE SOL - CE QUI ENTRE ET CE QUI SORT



#### 🔥 Quand le sol aggrave le problème

##### ● Labour intensif et sol nu

Libère le CO<sub>2</sub> stocké dans l'humus par oxydation brutale de la matière organique

##### ● Rizières et sols engorgés

Émettent du méthane, 2x plus puissant que le CO<sub>2</sub> comme gaz à effet de serre

##### ● Excès d'engrais azotés

Produisent du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) 300X plus puissant que le CO<sub>2</sub>

##### ● Réchauffement --> accélération

La hausse des températures accélère la décomposition de l'humus → boucle de rétroaction positive

#### 🌱 Quand le sol devient la solution

##### ● Stockage de carbone organique

Un sol bien géré piège le CO<sub>2</sub> atmosphérique durablement dans l'humus et les agrégats

##### ● Agroforesterie et prairies

Combinent stockage racinaire profond et litière de surface pour maximiser le carbone enfoui

##### ● Mycorhizes et humus stable

Les champignons forment de la globaline, une protéine qui cimente le carbone dans les agrégats pour des décennies

##### ● Sol vivant = sol résilient

Une bonne structure hydrique absorbe les pluies extrêmes et résiste mieux aux sécheresses

### PRATIQUES POUR FAIRE DU SOL UN ALLIÉ DU CLIMAT



#### Couvert végétal permanents

Pompe le CO<sub>2</sub>, nourrit la rhizosphère, protège l'humus de l'oxydation



#### Compost et restitution MO

Chaque tonne de compost enfoui = carbone stabilisé hors de l'atmosphère



#### Limiter le travail du sol

Chaque labour libère du CO<sub>2</sub>. Le semis direct peut stocker 0,3 t de Carbone/an/ha



#### Agroforesterie

Les racines profondes des arbres stockent le carbone à plusieurs mètres de profondeur

### LA BALANCE CARBONE DU SOL - TROUVER L'ÉQUILIBRE

#### 📉 Le sol émet

● CO<sub>2</sub> par respiration microbienne

#### 📈 Le sol stocke

● Carbone des racines et exsudats

# Glossaire du sol vivant

## - A

**Acarien** : Petit arthropode du sol, invisible à l'œil nu, qui participe à la décomposition de la matière organique.

**Agrégat** : Assemblage de particules de sol (argile, limon, sable) liées entre elles, formant des structures favorables à l'air et à l'eau.

**Argile** : Particule très fine du sol, capable de retenir l'eau et les nutriments grâce à sa charge électrique.

## - B

**Bactérie** : Micro-organisme essentiel du sol qui participe à la décomposition de la matière organique et aux cycles des nutriments.

**Battance** : Formation d'une croûte dure en surface du sol après une pluie, limitant l'infiltration de l'eau et la levée des plantes.

**Biodiversité** : Ensemble des êtres vivants présents dans un milieu. Dans le sol, elle garantit son équilibre et sa fertilité.

**Biote** : Ensemble des organismes vivants du sol (faune, flore, micro-organismes).

## - C

**Capacité de rétention (en eau)** : Aptitude du sol à retenir l'eau après une pluie ou un arrosage.

**CAH (Complexe argilo-humique)** : Association entre argile et humus qui retient les nutriments et améliore la fertilité du sol.

**CC (Capacité au champ)** : Quantité maximale d'eau que le sol peut retenir après drainage naturel.

**CEC (Capacité d'échange cationique)** : Capacité du sol à retenir et échanger des éléments nutritifs chargés positivement (calcium, potassium...).

**Champignon (micro-organisme)** : Organisme du sol jouant un rôle clé dans la décomposition et les symbioses avec les plantes.

**Cloporte** : Petit crustacé terrestre qui se nourrit de matière organique en décomposition.

**Collembole** : Minuscule insecte du sol participant à la fragmentation de la matière organique.

**Compost BRF (Bois Raméal Fragmenté)** : Amendement organique issu de jeunes branches broyées, favorisant la vie du sol.

**CRV (Capacité de rétention en eau disponible)** : Quantité d'eau réellement utilisable par les plantes.

## - D

**Dolomie** : Roche riche en calcium et magnésium utilisée pour corriger l'acidité du sol.

## - E

**Écosystème** : Ensemble formé par un milieu (comme le sol) et les êtres vivants qui y interagissent.

**Endomycorhize** : Type de mycorhize où le champignon pénètre à l'intérieur des cellules des racines.

**Ectomycorhize** : Type de mycorhize où le champignon entoure les racines sans y pénétrer.

**Exsudat** : Substance libérée par les racines, servant de nourriture aux micro-organismes du sol.

## - G

**GES** : Gaz à effet de serre

## - H

**Humus MOR** : Humus acide, peu décomposé, souvent présent en milieu forestier pauvre.

**Humus Moder** : Humus intermédiaire, avec une décomposition partielle de la matière organique.

**Humus Mull** : Humus riche et bien décomposé, très favorable aux cultures.

**Hyphe** : Filament constituant le réseau des champignons dans le sol.

## - K

**Kiésérite** : minéral naturel composé de sulfates de magnésium

## - L

**Labile** : Qualifie une matière organique facilement dégradable par les micro-organismes.

**Lessivage** : Entraînement des éléments nutritifs vers les profondeurs du sol par l'eau.

**Limon** : Particule de taille intermédiaire entre sable et argile, sensible au tassement.

## - M

**Micro-organisme** : Être vivant microscopique (bactérie, champignon, protozoaire...) essentiel au fonctionnement du sol.

**Mycorhize** : Association symbiotique entre racines de plantes et champignons.

## - N

**Nutriment** : Élément indispensable à la croissance des plantes (azote, phosphore, potassium...).

## - P

**pF** : Indice mesurant la force avec laquelle l'eau est retenue dans le sol.

**pH** : Mesure de l'acidité ou de l'alcalinité du sol.

**Point de flétrissement** : Niveau d'humidité du sol en dessous duquel les plantes ne peuvent plus absorber d'eau.

**Protozoaire** : Micro-organisme unicellulaire qui se nourrit de bactéries et régule leur population.

**Purin de plante** : Préparation liquide issue de la fermentation de plantes, utilisée pour fertiliser ou protéger les cultures.

## - R

**Rapport C/N** : Rapport entre carbone et azote dans la matière organique, influençant sa décomposition.

## - S

**Sable** : Particule grossière du sol, favorisant le drainage mais retenant peu l'eau.

**Saprotrophe** : Organisme qui se nourrit de matière organique morte.

**Semelle de labour** : Couche compactée du sol formée par le travail répété à la même profondeur.

**Structure du sol (texture)** : Répartition des particules minérales (argile, limon, sable) dans le sol.

**Symbiose** : Relation bénéfique entre deux organismes, comme entre plantes et champignons mycorhiziens.

## - T

**Tardigrade** : Micro-animal du sol, très résistant, vivant dans les films d'eau.

**Texture du sol** : Proportion de sable, limon et argile dans un sol.

**Tips brun** : sol riche en matière organique en décomposition

**Turricule** : Déjections des vers de terre à la surface du sol riches en éléments nutritifs

## Héliantis humanis

# Cultiver l'avenir ensemble

## Une philosophie du sol

Héliantis Humanis affiche une conviction profonde : la terre n'est pas un simple support de culture, c'est un être vivant à part entière. Cultiver sans détruire, c'est choisir de travailler avec le sol plutôt que contre lui, comprendre ses équilibres fragiles, respecter ses habitants invisibles, et préserver sa richesse pour ceux qui viendront après nous.

Cette philosophie du sol n'est pas une contrainte, c'est une invitation à renouer avec l'essentiel : un jardinage qui nourrit autant qu'il protège.

### Le CAPBIOSOL, une innovation pour évaluer l'activité biologique du sol



Pour observer concrètement cette vie du sol qu'Héliantis Humanis s'attache à protéger, l'association a imaginé son propre outil de mesure : CapBioSol – Capteur de mesure de l'activité Biologique du Sol.

Un carré de tissu en coton est enserré entre deux plaques de grillage de 10 × 10 mailles, puis enterré pendant une période définie. (en général 3 mois). À l'extraction, il suffit de compter les mailles où le tissu a disparu pour obtenir directement un taux de dégradation en pourcentage, reflet direct de l'activité biologique du sol. Héliantis assure cette mesure avec une application d'analyse d'image open source ImageJ

Plus simple que la méthode du sachet de thé, plus précise que la méthode du slip, CapBioSol ne nécessite ni pesée, ni laboratoire, un outil à la portée de tous, aussi bien pédagogique que scientifique.

L'association Héliantis Humanis est une association loi 1901 qui a pour objectif de fédérer les jardiniers de Bergerac au sein d'un réseau qui promeut la solidarité et l'éco responsabilité. L'association dispose de deux potagers dans l'enceinte des jardins des Restos du Cœur de Bergerac :

- **un potager pédagogique** (Potager du Curieux) où sont cultivés des légumes oubliés ou exotiques renouvelés chaque année
- **un potager partagé** destiné à faciliter les échanges sociaux entre les membres à travers la culture de légumes.

Le potager du curieux

