

## **Chapitre III - Propriétés chimiques et biologiques du sol**

### **Table des matières**

1. Introduction
2. Propriétés chimiques du sol
  - 2.1. Le complexe adsorbant et les échanges ioniques
  - 2.2. La Capacité d'Échange Cationique (CEC)
  - 2.3. Le pH du sol : Acidité active et potentielle
  - 2.4. L'effet tampon
  - 2.5. La conductivité électrique et la salinité
3. Propriétés biologiques du sol
  - 3.1. Les organismes du sol : Diversité et classification
  - 3.2. Transformations microbiennes et cycles biogéochimiques
  - 3.3. Rôle dans la fertilité et interactions sol-plante
4. Conclusion

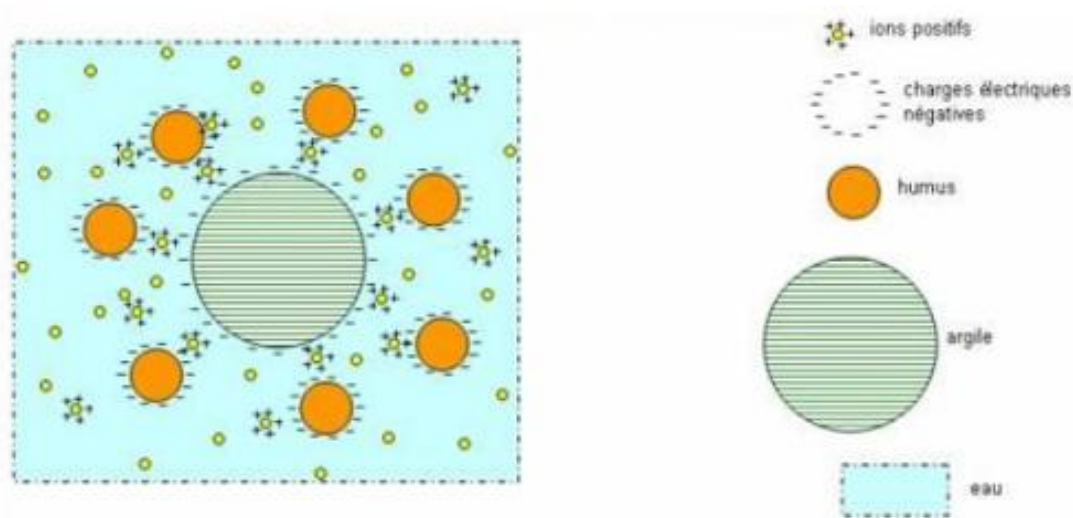
## 1. Introduction

Le sol n'est pas un support inerte, mais un système physico-chimique et biologique complexe en constante interaction. Ses propriétés chimiques, dominées par les phénomènes d'échanges d'ions, déterminent la disponibilité des nutriments pour les plantes. Parallèlement, sa composante biologique, véritable « moteur » du sol, assure le recyclage de la matière organique et la santé globale de l'écosystème. Ce chapitre explore ces mécanismes fondamentaux pour comprendre la fertilité et la gestion agronomique des terres.

## 2. Propriétés chimiques du sol

### 2.1. Le complexe adsorbant et les échanges ioniques

Le **Complexe Argilo-Humique (C.A.H.)** est l'élément central de la chimie du sol. Chargé négativement, il possède un « pouvoir adsorbant » qui lui permet de fixer et de retenir des ions à sa surface, comme on peut le voir sur la figure 1.



**Figure 1** : Schéma du Complexe Argilo-Humique montrant la fixation des cations en périphérie des feuillets d'argile et des micelles d'humus

#### 2.1.1. Le pouvoir adsorbant et les mécanismes d'échange

Le pouvoir adsorbant du sol désigne la capacité des constituants solides du sol,

en particulier les argiles et la matière organique, à fixer des ions à leur surface. Cette propriété est liée à la présence de charges électriques négatives portées par le complexe argilo-humique, qui attire et retiennent les cations de la solution du sol ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ).

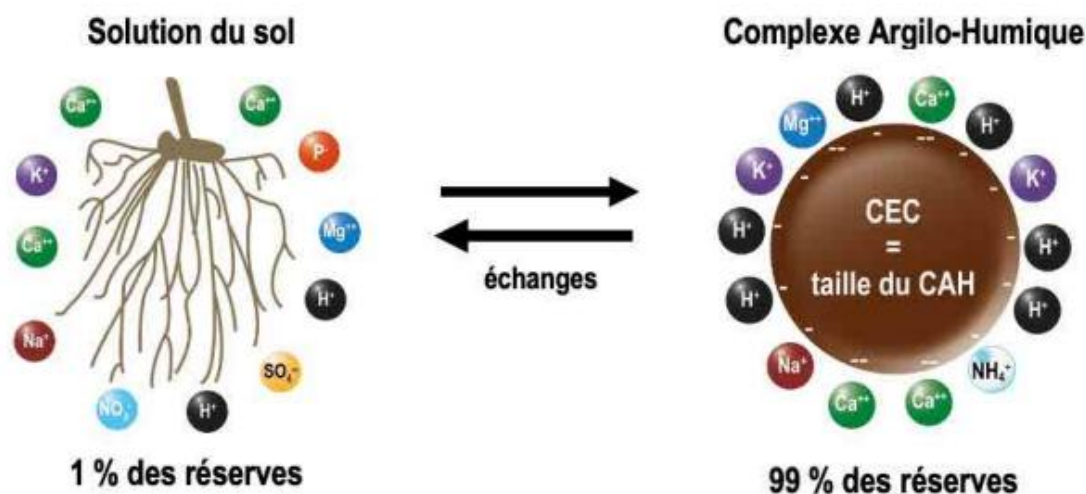
Le C.A.H. agit comme un véritable "réservoir" magnétique. En raison de ses charges négatives, il attire et retient les cations (ions chargés positivement comme le Potassium  $\text{K}^+$ , le Calcium  $\text{Ca}^{2+}$  ou le Magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ ). Cela empêche ces nutriments d'être emportés par les eaux de pluie (phénomène de lessivage).

L'adsorption est un phénomène de surface, réversible, qui joue un rôle fondamental dans la rétention des éléments nutritifs et dans la limitation de leur lessivage.

Il existe un équilibre dynamique entre : les ions fixés sur le complexe adsorbant et les ions présents dans la solution du sol. Toute modification de la solution du sol entraîne donc :

- ✓ adsorption (fixation d'ions)
- ✓ désorption (libération d'ions)

La figure ci dessous, illustre l'échange d'ions entre la solution du sol et le Complexe Argilo-Humique.



**Figure 2:** échange d'ions entre la solution du sol et le Complexe Argilo-Humique.

### 2.1.2. La forme assimilable par la plante

Pour qu'un élément nutritif puisse traverser les membranes cellulaires des racines, il doit impérativement être dissous dans la solution du sol.

La règle de l'ionisation : La quasi-totalité des éléments minéraux sont absorbés sous forme ionisée (sous forme de cations comme  $\text{NH}_4^+$  ou d'anions comme  $\text{NO}_2^-$ ). La plante "pompe" ces ions grâce à des transporteurs spécifiques.

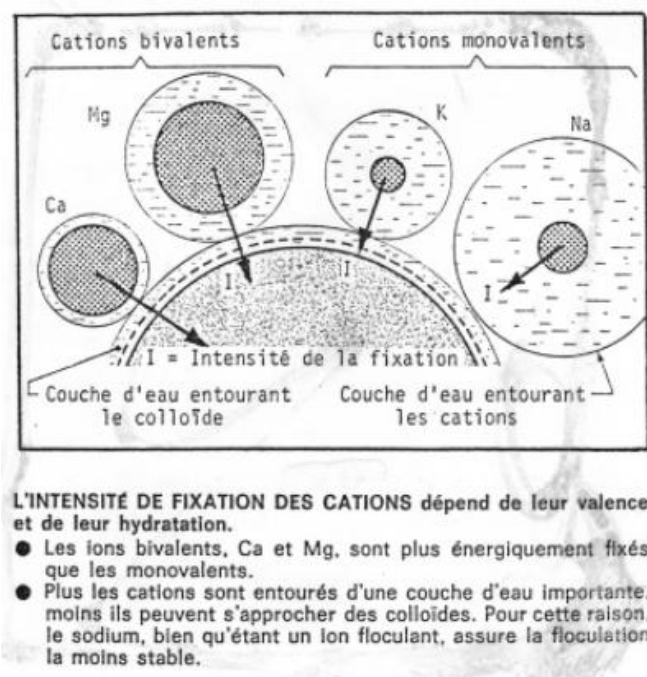
**NB:** L'exception du Bore, le Bore (B) est une exception notable. Dans la majorité des sols (pH compris entre 5 et 9), le bore n'est pas ionisé. Il se présente sous forme de molécule neutre.

## 2.2. La Capacité d'Échange Cationique (CEC)

La CEC exprime la quantité maximale de cations qu'un sol peut adsorber (exprimée en meq/100g de sol sec). Elle dépend de la teneur en argile, en humus et du pH.

### 2.2.1. Ordre de fixation

Les ions ne sont pas tous fixés avec la même force. L'intensité de fixation dépend de **la valence** et du **degré d'hydratation**. Par exemple, le Calcium  $\text{Ca}^{2+}$  est plus fortement retenu que le Sodium  $\text{Na}^+$ . La figure ci-dessous illustre l'intensité de fixation des ions.



**Figure 2 :** Intensité de fixation des cations selon leur valence et leur degré d'hydratation.

### 2.2.2. Mécanismes d'échanges cationique:

Le mécanisme repose sur une substitution équivalente entre ions : un cation en solution peut remplacer un cation adsorbé sur le complexe, en respectant l'équilibre des charges.

✓ **Exemple 1 :** apport de calcium (Chaulage)

$\text{Ca}^{2+}$  remplace  $\text{H}^+$  → diminution de l'acidité

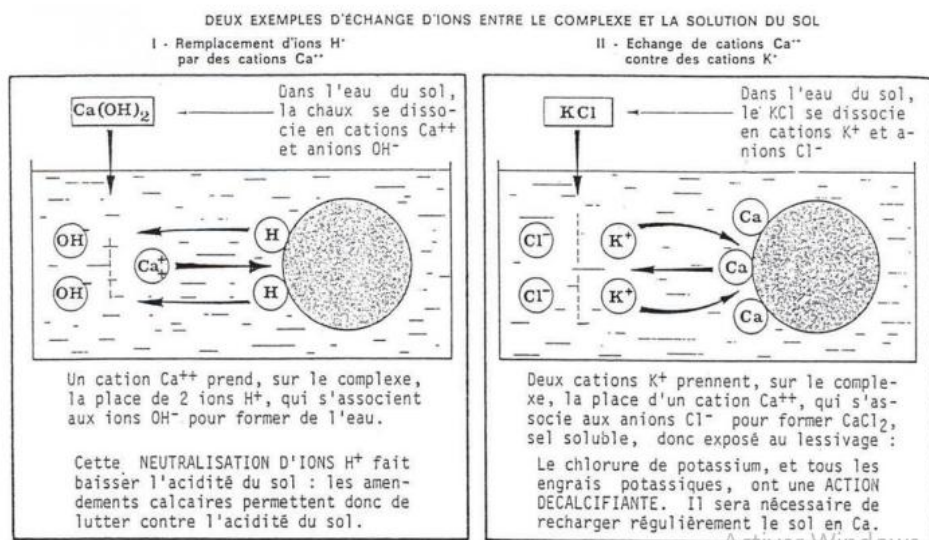
Réaction :  $\text{C.A.H-H}^+ + \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{C.A.H-Ca}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$  (neutralisation de l'acidité)

✓ **Exemple 2:** L'échange de cations  $\text{Ca}^{2+}$  contre des cations  $\text{K}^+$

Réaction:  $\text{C.A.H-Ca}^{2+} + \text{K}^+ \rightarrow \text{C.A.H-K}^+ + \text{Ca}^{2+}$

Si dans ce sol enrichi en calcium par le chaulage, on introduit du chlorure de potassium ( KCl), engrais potassique ), ce sel se dissout, puis se dissocie en anions Cl et cations  $\text{K}^+$ . Ces derniers, augmentant la concentration en ions  $\text{K}^+$  de la solution, provoquent un échange avec le complexe : ils prennent sur celui-ci la place d'ions

$\text{Ca}^{2+}$ , à raison de 2  $\text{K}^+$  pour 1  $\text{Ca}^{2+}$ . Ces cations  $\text{Ca}^{2+}$  remis en solution forment, avec les anions  $\text{Cl}$  du  $\text{CaCl}_2$ , sel soluble qui peut être lessivé : cet apport d'engrais potassique a provoqué une décalcification du sol : c'est l'action décalcifiante des engrais potassiques voir figure ci-dessous)



**Figure 4:** illustration de deux exemples d'échanges entre le CAH et la solution du sol.

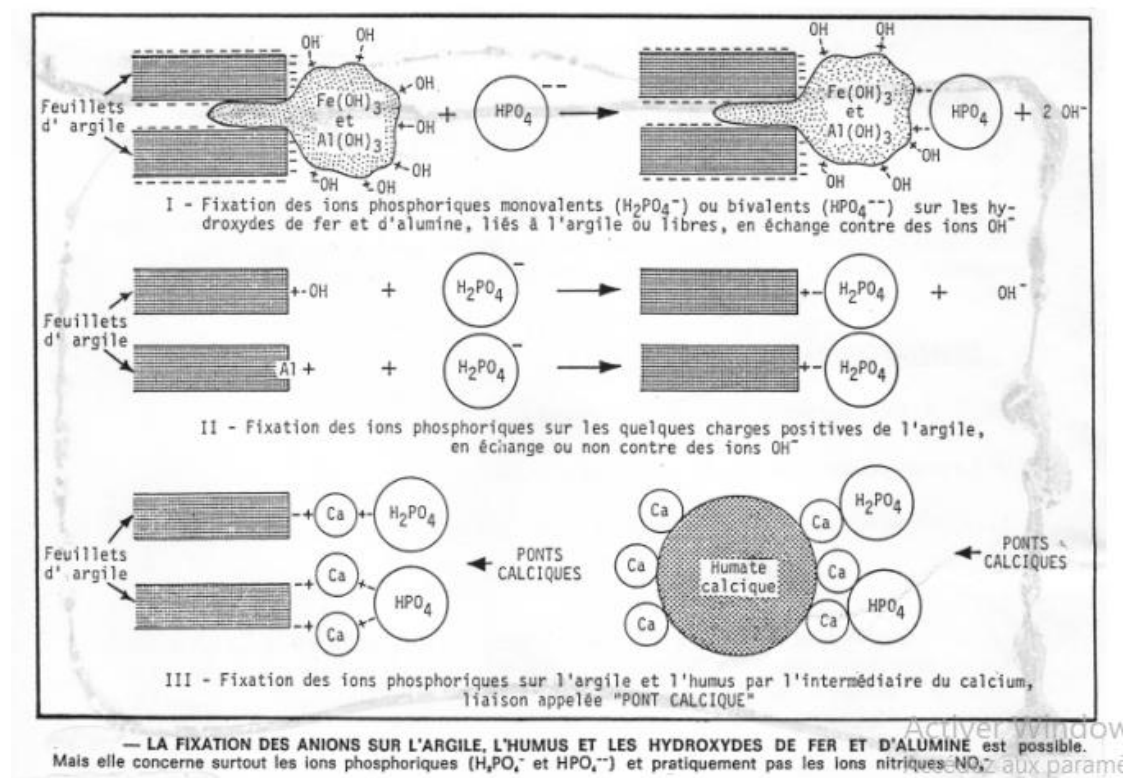
### 2.2.3. Sorption des anions:

Alors que les cations sont énergiquement retenus par le Complexe Argilo-Humique (C.A.H.) en raison de sa charge négative, les **anions** (ions chargés négativement) se comportent différemment. La majorité des anions sont repoussés par les charges négatives du complexe. Restant libres dans la solution du sol, ils sont très mobiles.

**Exemple du Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) :** C'est la forme ionisée de l'azote la plus assimilée par les plantes. Cependant, n'étant pas fixé au complexe, il est extrêmement sensible au **lessivage** (entraînement vers les nappes phréatiques par les eaux de pluie). Contrairement aux nitrates, les phosphates sont fortement retenus dans le sol, ce qui limite leur mobilité mais aussi leur disponibilité immédiate. On distingue trois modes principaux de fixation :

- **Sur les hydroxydes de Fer (Fe) et d'Aluminium (Al) :** Ce mécanisme est prédominant dans les sols acides. Les phosphates se lient chimiquement à ces surfaces.
- **Sur les bords des argiles :** Au niveau des cassures des feuillets d'argile, des charges positives accidentelles peuvent attirer et fixer les anions phosphates.
- **Via des ponts calciques :** Dans les sols calcaires, où le pH s'élève parfois jusqu'à 8, le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) sert de "colle" entre le complexe (négatif) et le phosphate (négatif). C'est ce qu'on appelle la rétrogradation du phosphore.

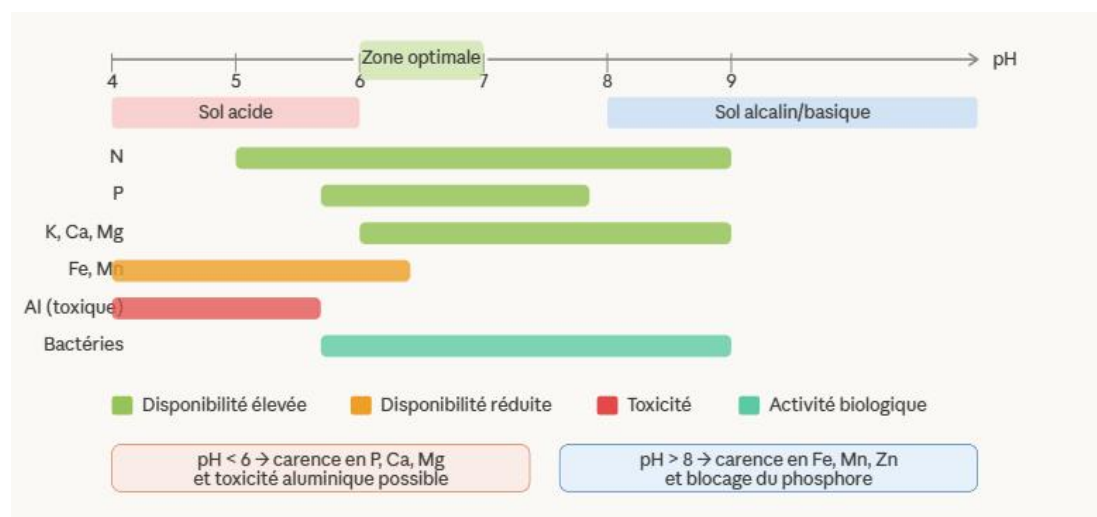
La figure 5, illustre les 3 modes fixation des cations sur le C.A.H .



**Figure 5 :** Mode fixation des anions sur le l'Argile et l'Humus.

### 2.3. Le pH du sol :

Le pH conditionne directement la disponibilité des éléments nutritifs. La zone optimale pour la majorité des cultures se situe entre **pH 6 et 7**, comme illustré par la figure 6.



**Figure 6 :** Diagramme de la disponibilité des éléments nutritifs en fonction de l'échelle de pH

#### Risques d'un sol acide (pH < 6) :

- ✓ Blocage du phosphore  $PO_4^{3-}$  (rétrogradation).
- ✓ Carences en éléments minéraux (jaunissement des feuilles)
- ✓ Toxicité aluminique  $Al^{3+}$  (devient très soluble), inhibition de la croissance racinaire (Nanisme).
- ✓ Inhibition de la nitrification biologique (inhibition de l'activité des Bactéries aérobies, elles cessent de travailler en dessous de pH 5,5).

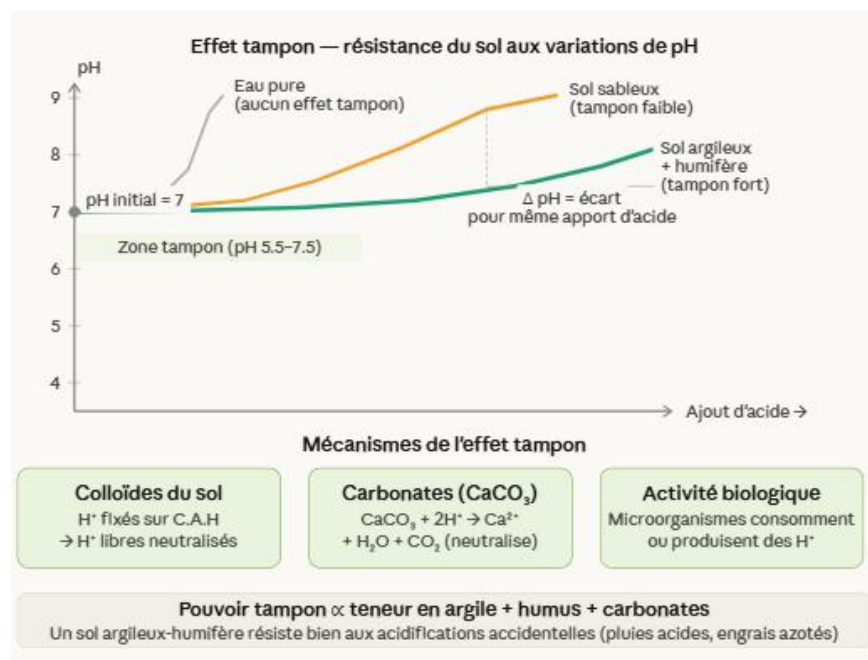
#### 2.4. L'effet tampon

Le pouvoir tampon est la capacité du sol à résister aux variations de pH. Il est essentiel pour la stabilité chimique face aux pluies acides ou aux engrais. Ce pouvoir augmente avec la teneur en argile, en humus et en calcaire.

En résumer: sol sableux → faible tampon, acidification rapide

sol argileux/humifère → fort tampon, correction lente mais stable.

La figure en bas démontre l'écart de résistance aux apports d'acide par différents types de sols.



**Figure 7:** Effet tampon-résistances des sols aux variations du pH.

## 2.5. La conductivité électrique (CE) et la salinité

La CE mesure la concentration totale en ions solubles. Elle est directement proportionnelle à la concentration totale en ions solubles, c'est donc l'indicateur de référence de la salinité du sol. Un sol est jugé salin dès que la CE dépasse **2 dS/m** pour les cultures sensibles, ce qui provoque un stress osmotique (difficulté à absorber l'eau).

## 3. Propriétés biologiques du sol

### 3.1. Les organismes du sol :

Par définition, c'est l'ensemble des organismes animaux vivant tout ou partie de leur cycle de vie dans le sol, participant aux processus biologiques, physiques et chimiques qui assurent le fonctionnement des sols.

La faune du sol est classée par taille (figure 8). Les organismes les plus abondants (en nombre) sont les micro-organismes, mais les plus visibles et structurants sont les lombrics, un sol sain peut en contenir jusqu'à 1 million par hectare.

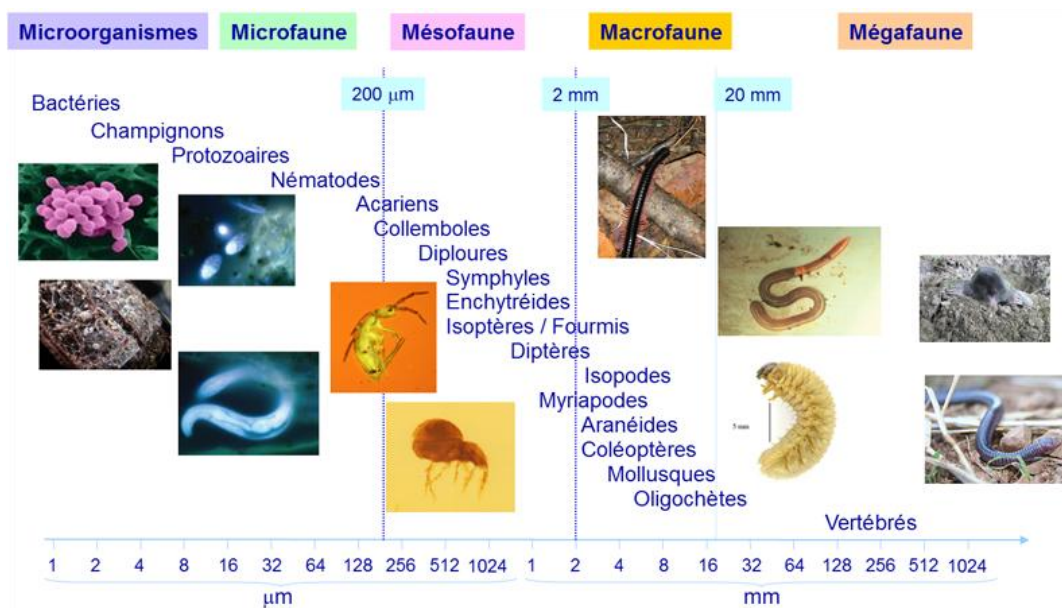


Figure 8: Classification des organismes du sol par taille

### 3.2. Transformations microbiennes et cycles biogéochimiques

Les microorganismes transforment la matière organique via deux processus :

- ✓ **Humification** : Création de molécules organiques stables (humus).
- ✓ **Minéralisation** : Transformation de la matière organique en ions minéraux assimilables.

L'ensemble des transformations est résumé dans la figure 9.

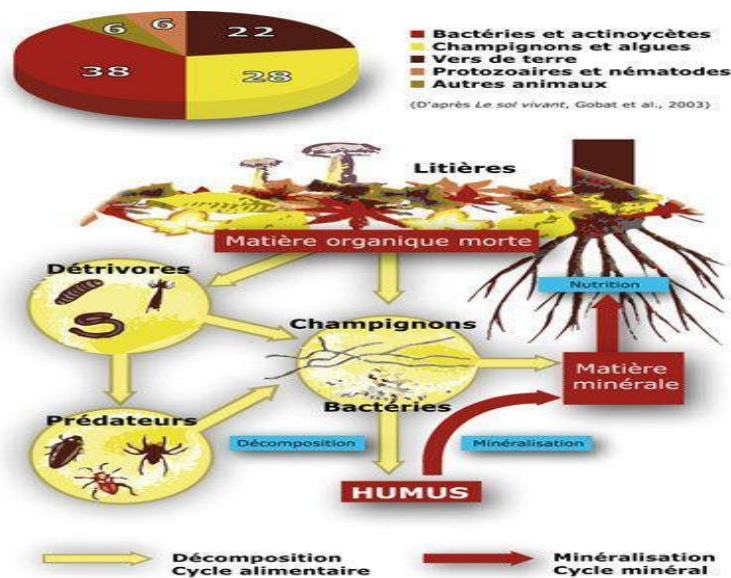


Figure 9 : Transformation de la MO par les organismes du sol

**Décomposition de la matière organique:** Les micro-organismes dégradent les résidus végétaux et animaux (feuilles, racines, débris organiques). c'est donc une transformation de composés complexes (cellulose, lignine) en composés plus simples

Résultat : formation de l'humus, élément clé de la fertilité du sol

**Minéralisation** correspond à la transformation de la matière organique en éléments minéraux assimilables :

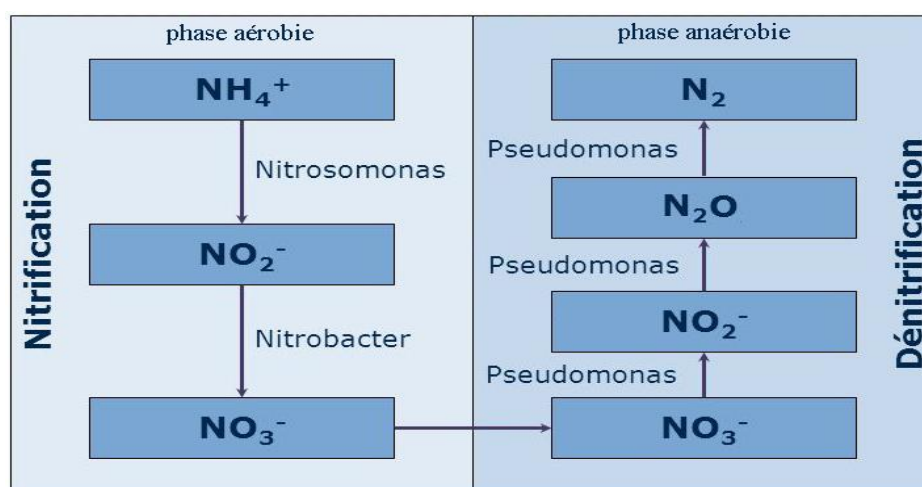
- ✓ Azote organique  $N \rightarrow NH_4^+$  (ammonium)
- ✓ Phosphore organique  $P \rightarrow PO_4^{3-}$
- ✓ Soufre organique  $S \rightarrow SO_4^{2-}$

**Immobilisation :** Les macro-organisme captent parfois les minéraux pour eux-mêmes, entrant en compétition avec la plante.

**Transformation de l'Azote:** Les micro-organismes jouent un rôle particulièrement important dans le cycle de l'azote :

on peut distinguer 3 types de transformation de l'azote; a savoir:

1. Ammonification : transformation de l'azote organique en  $NH_4^+$  (Ammonium)
2. Nitrification :  $NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$  (forme assimilable)
3. Dénitrification :  $NO_3^- \rightarrow N_2$  (perte d'azote dans l'atmosphère) (figure 10).



**Figure 10 :** Schéma complet du cycle de l'azote (Nitrification, Dénitrification).

**Conclusion**

La fertilité d'un sol repose sur l'équilibre entre ses propriétés chimiques (stockage et pH) et son activité biologique (recyclage). Une gestion durable doit préserver ces deux piliers pour garantir la nutrition des cultures.