

Chapitre 2 : Typologie et propriétés des sols

2.1. Introduction

La connaissance des différents types de sols et de leurs propriétés constitue une base essentielle pour comprendre leur fonctionnement écologique, leur aptitude agricole et leur rôle dans la sécurité alimentaire. Les sols présentent une grande diversité à l'échelle mondiale, résultant des variations climatiques, géologiques, biologiques et anthropiques. Leur classification et l'analyse de leurs propriétés permettent d'évaluer leur potentiel productif, leur sensibilité à la dégradation et leur capacité à fournir des services écosystémiques durables.

2.2. Classification des sols

Pour résoudre les problèmes liés aux sols, il est important de caractériser un sol mais aussi de les classer, c'est à dire de les mettre dans un groupe ayant des comportements similaires. Il existe de par le monde de nombreuses classifications. La classification des sols regroupe les terres selon leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques, principalement en sols minéraux (sable, limon, argile) et organiques. Cette dernière vise à organiser la diversité pédologique en unités homogènes, facilitant leur étude, leur cartographie et leur gestion.

2.2.1. Système international WRB (World Reference Base for Soil Resources)

La WRB, développée sous l'égide de la FAO, est un système de référence international largement utilisé. Elle repose sur des diagnostics morphologiques, chimiques et minéralogiques, observables dans le profil du sol.

Les sols sont regroupés en Groupes de Référence des Sols (RSG), parmi lesquels :

- **Chernozems** : sols riches en matière organique, très fertiles,
- **Luvisols** : sols à accumulation d'argiles,
- **Acrisols** : sols acides, pauvres en nutriments,
- **Calcisols** : sols riches en carbonates,
- **Gypsisols** : sols à accumulation de gypse,
- **Solonchaks** : sols salins,
- **Leptosols** : sols peu profonds.

Intérêt du système WRB :

Le système **WRB** constitue aujourd'hui une référence internationale pour la classification des sols à l'échelle mondiale. Développé sous l'égide de la FAO, il vise à harmoniser le langage scientifique utilisé dans les études pédologiques afin de faciliter la comparaison des sols entre différentes régions du monde, indépendamment des systèmes nationaux de classification.

Son utilisation repose sur l'identification d'horizons diagnostiques et de propriétés spécifiques permettant de regrouper les sols selon leurs caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques.

Le système WRB présente plusieurs avantages majeurs :

- **Applicable à l'échelle mondiale** : Il permet de classer tous les types de sols, qu'ils soient présents en zones tropicales, tempérées ou arides. Cette universalité facilite les échanges scientifiques et techniques entre pays et institutions de recherche.
- **Outil d'aide à la gestion durable des terres** : En fournissant une description normalisée des sols, le WRB permet d'évaluer leur aptitude à différents usages agricoles, forestiers ou pastoraux, et d'identifier les contraintes telles que la salinité, l'acidité ou la faible profondeur.
- **Contribution à la sécurité alimentaire** : La connaissance précise des types de sols et de leurs propriétés permet d'adapter les pratiques culturales (fertilisation, irrigation, choix des cultures) aux conditions locales. Cela favorise une meilleure productivité agricole tout en limitant la dégradation des terres, notamment dans les zones vulnérables comme les régions semi-arides.
- **Appui à la planification territoriale** : Le WRB est largement utilisé dans les programmes de cartographie des sols et de gestion des ressources naturelles, contribuant ainsi à une utilisation rationnelle et durable des terres agricoles.

Ainsi, le système WRB constitue un outil essentiel pour la compréhension des potentialités et des limitations des sols dans le cadre d'une agriculture durable et résiliente face aux changements climatiques.

2.2.2 Le système de classification des sols Soil Taxonomy

Le système de classification des sols **Soil Taxonomy**, développé par le Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA), constitue l'un des systèmes de référence les plus utilisés au monde pour la description, l'interprétation et la cartographie des sols. Il repose sur une approche morphologique et analytique basée sur des critères mesurables tels que les propriétés physiques, chimiques et minéralogiques du sol, ainsi que sur la présence d'horizons diagnostiques.

Ce système hiérarchique permet de classer les sols selon leur degré d'évolution pédogénétique, leur régime hydrique et thermique, et leurs caractéristiques morphologiques observables sur le terrain ou en laboratoire.

Structure hiérarchique

Elle comprend six niveaux de classification permettant une description progressive et de plus en plus précise des sols :

1. **Ordre** : Niveau le plus général, basé sur les processus majeurs de formation du sol (pédogenèse).
2. **Sous-ordre** : Il prend en compte les conditions climatiques dominantes telles que l'humidité ou la température.
3. **Grand groupe** : Il précise le degré de développement du profil pédologique et certains processus spécifiques.
4. **Sous-groupe** : Il représente des transitions entre différents types de sols.
5. **Famille** : Elle intègre des propriétés physiques et chimiques importantes pour l'utilisation agronomique (texture, minéralogie, température).
6. **Série** : Niveau le plus détaillé, utilisé pour la cartographie locale des sols.

Parmi les 12 ordres de sols identifiés dans la Soil Taxonomy, on distingue notamment :

- **Entisols** : Sols jeunes caractérisés par une absence ou une faible différenciation des horizons. Ils se rencontrent souvent dans les zones récemment formées ou soumises à l'érosion.

- **Inceptisols** : Sols faiblement développés présentant les premiers stades de différenciation des horizons pédologiques.
- **Mollisols** : Sols riches en matière organique, généralement associés aux prairies naturelles, caractérisés par une grande fertilité.
- **Aridisols** : Sols typiques des régions arides et semi-arides, présentant souvent une accumulation de sels ou de carbonates. Ils sont largement répandus dans les zones steppiques du sud algérien.
- **Ultisols** : Sols fortement altérés, acides et pauvres en bases échangeables, rencontrés principalement dans les régions humides.

Intérêt du système USDA

Le système Soil Taxonomy présente plusieurs avantages :

- une **grande précision descriptive** permettant de distinguer des sols ayant des propriétés similaires mais des potentiels agronomiques différents ;
- une **standardisation internationale** facilitant la comparaison des études pédologiques ;
- une **large utilisation en recherche agronomique**, en aménagement du territoire et en gestion des ressources naturelles ;
- une **aide à la prise de décision** pour l'irrigation, la fertilisation et la conservation des sols, notamment dans les milieux arides et semi-arides.

Ainsi, la Soil Taxonomy constitue un outil fondamental pour la compréhension du fonctionnement des sols et pour la mise en œuvre de pratiques agricoles adaptées aux contraintes environnementales locales.

2.2.3. Comparaison et intérêt des classifications

Les systèmes WRB et USDA sont complémentaires :

- la **WRB** est plus synthétique et internationale,
- l'**USDA** est plus analytique et détaillée.

Leur utilisation permet une meilleure compréhension des contraintes pédologiques et une gestion durable des sols agricoles et naturels.

Tableau 2.1 : Comparaison générale des systèmes WRB et USDA

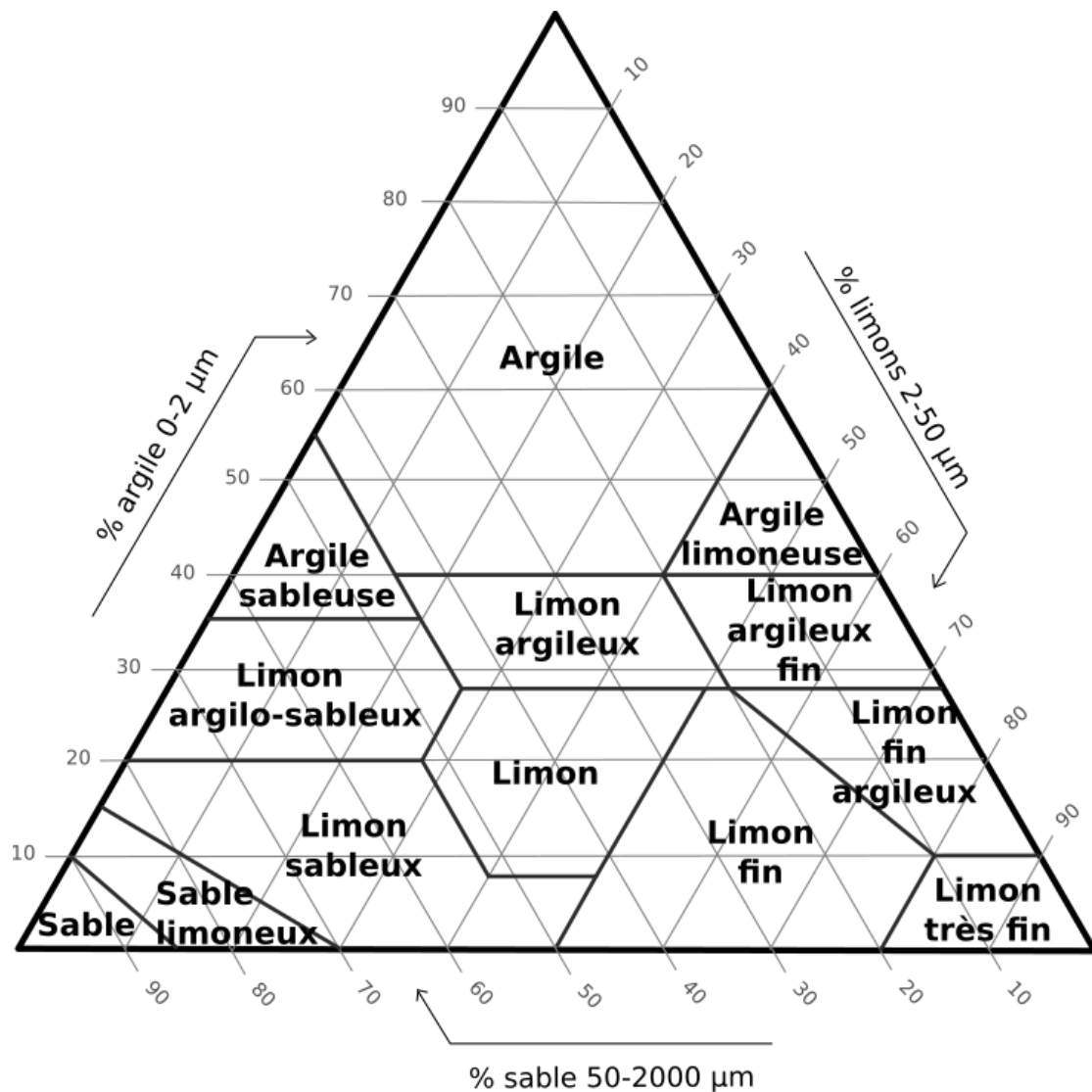
Critère	WRB (World Reference Base)	USDA – Soil Taxonomy
Portée	Internationale (FAO)	Principalement utilisée en Amérique du Nord
Objectif	Référence mondiale harmonisée	Classification détaillée et hiérarchique
Approche	Diagnostic (horizons, propriétés)	Hiérarchique et analytique
Niveau principal	Groupes de Référence des Sols (RSG)	Ordres de sols
Nombre d'unités principales	~32 RSG	12 ordres
Utilisation	Cartographie globale, gestion des terres	Recherche, agronomie, aménagement
Facilité pédagogique	Élevée	Moyenne à élevée

2.3. Propriétés des sols

Les propriétés des sols déterminent leur fonctionnement écologique, leur fertilité, leur résilience face aux perturbations (érosion, sécheresse, salinisation) ainsi que leur aptitude à soutenir la biodiversité et la production agricole.

Elles sont classiquement regroupées en :

- propriétés **physiques**,
- propriétés **chimiques**,
- propriétés **biologiques** (qui seront développées ultérieurement).



Triangle des textures

Figure 2.1 : Schémas explicatifs des propriétés des sols

2.3.1. Propriétés physiques

Les propriétés physiques du sol jouent un rôle fondamental dans son fonctionnement hydrique, mécanique et biologique. Elles contrôlent directement :

- la circulation de l'eau à travers le profil du sol,
- les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère (O_2 / CO_2),
- la pénétration et le développement du système racinaire,
- la résistance à l'érosion hydrique et éolienne,

- la capacité du sol à stocker l'eau et le carbone organique.

Ainsi, ces propriétés conditionnent la fertilité physique du sol, la productivité agricole et la stabilité des écosystèmes terrestres. Dans les zones semi-arides, comme celles rencontrées en Algérie, elles déterminent également la capacité du sol à faire face aux épisodes de sécheresse et à limiter les pertes en eau par ruissellement..

a) Texture du sol

La texture du sol correspond à la proportion relative des différentes fractions granulométriques minérales qui le composent, à savoir :

- **le sable** (diamètre compris entre 2 mm et 0,05 mm),
- **le limon** (diamètre compris entre 0,05 mm et 0,002 mm),
- **l'argile** (diamètre inférieur à 0,002 mm).

Ces particules se distinguent par leur taille, leur surface spécifique et leur capacité à interagir avec l'eau et les éléments nutritifs.

La texture influence plusieurs propriétés essentielles du sol :

- **la rétention en eau** : Les sols riches en argile possèdent une forte capacité de rétention en eau grâce à leur surface spécifique élevée, contrairement aux sols sableux qui drainent rapidement l'eau.
- **l'aération** : Les sols sableux présentent une porosité plus importante, favorisant la circulation de l'air et limitant les risques d'asphyxie racinaire.
- **la disponibilité des nutriments** : Les sols argileux et limoneux retiennent mieux les éléments nutritifs que les sols sableux, souvent pauvres en capacité d'échange.

En conditions méditerranéennes, les sols sableux sont plus sensibles au déficit hydrique, tandis que les sols argileux peuvent présenter des problèmes de compaction et de drainage.

La texture est considérée comme une **propriété intrinsèque et stable** du sol, héritée du matériau parental. Elle évolue très lentement au cours du temps et reste difficilement modifiable à l'échelle humaine, contrairement à d'autres propriétés telles que la

structure ou la teneur en matière organique qui peuvent être améliorées par des pratiques de gestion adaptées.

➤ **Influence de la texture**

Fraction dominante	Caractéristiques principales	Conséquences agronomiques
Sable	Grosses particules, drainage rapide	Faible rétention en eau, lessivage des nutriments
Limon	Texture intermédiaire	Bonne réserve utile mais sensible au tassement
Argile	Particules fines, forte surface spécifique	Forte rétention en eau et nutriments, risque d'engorgement

➤ **Exemple méditerranéen / Algérie**

- Les **sols sableux sahariens** : très perméables, faible fertilité naturelle.
- Les **sols limoneux des plaines telliennes** : productifs mais sensibles à l'érosion hydrique.
- Les sols argileux vertiques (Hauts Plateaux) : fissuration en saison sèche, gonflement en saison humide.

b) Structure du sol

La structure du sol correspond à l'organisation des particules minérales (sable, limon, argile) et de la matière organique en unités appelées **agrégats**. Contrairement à la texture, qui dépend principalement de la nature du matériau parental, la structure est une propriété dynamique influencée par les pratiques culturales, l'activité biologique et les conditions climatiques.

Selon la manière dont les particules s'assemblent, on distingue plusieurs types de structures :

- **Structure grumeleuse** : Formée de petits agrégats arrondis et friables, elle est caractéristique des sols riches en matière organique. Elle favorise une bonne circulation de l'eau et de l'air.
- **Structure massive** : Elle correspond à un sol compact où les particules sont fortement liées entre elles sans organisation apparente. Ce type de structure limite l'infiltration de l'eau et entrave la croissance racinaire.

- **Structure prismatique** : Elle se caractérise par des agrégats allongés verticalement. Elle est souvent observée dans les horizons argileux soumis à des alternances de dessiccation et d'humidification.

Une **bonne structure du sol** présente de nombreux avantages :

- elle améliore **l'infiltration de l'eau**, réduisant ainsi le ruissellement ;
- elle assure la **stabilité du sol** face aux contraintes mécaniques ;
- elle augmente la **résistance à l'érosion hydrique et éolienne** ;
- elle facilite la pénétration des racines et les échanges gazeux.

Dans les zones agricoles semi-arides, le maintien d'une structure stable constitue un enjeu majeur pour limiter la dégradation des sols et améliorer leur capacité de rétention en eau. L'apport de matière organique et la réduction du travail du sol contribuent à préserver cette organisation structurale.

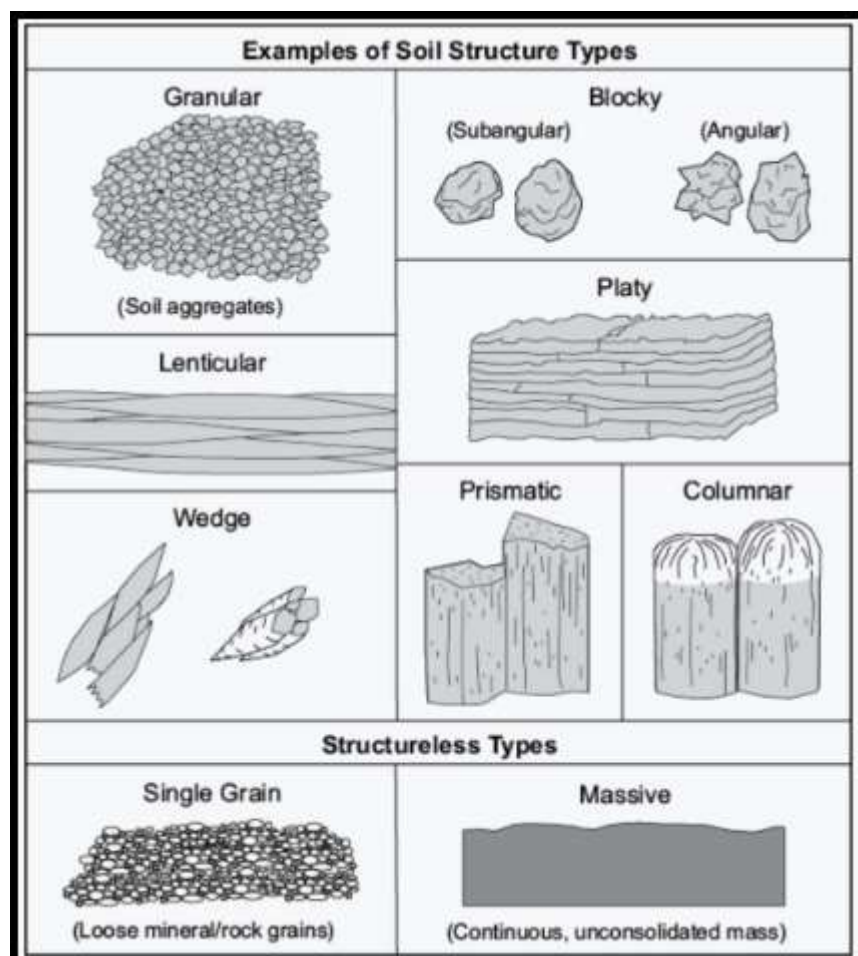


Figure 2.2: Types de la structure du sol

2.3.2 Principaux types de structure du sol

Selon l'organisation des particules minérales et organiques, plusieurs types de structures peuvent être observés dans les horizons du sol :

- 3 **Structure grumeleuse (granulaire)** : Constituée de petits agrégats arrondis et bien individualisés, elle est considérée comme la plus favorable pour l'agriculture. Elle assure une bonne aération, facilite l'infiltration de l'eau et permet un développement optimal du système racinaire.
- 4 **Structure polyédrique (en blocs)** : Elle se caractérise par des agrégats anguleux ou sub-anguleux. Elle est souvent observée dans les horizons intermédiaires et peut offrir des conditions acceptables pour la croissance des plantes si elle n'est pas trop compacte.
- 5 **Structure prismatique** : Composée d'agrégats verticaux allongés, elle se développe généralement dans les sols argileux soumis à des cycles alternés d'humidification et de dessiccation.
- 6 **Structure massive (compacte)** : Elle correspond à un état où les particules sont fortement liées sans organisation en agrégats. Cette structure est défavorable car elle limite la circulation de l'eau et de l'air, et entrave la croissance racinaire.

a) Rôle de la structure du sol

Une bonne structure du sol est essentielle au bon fonctionnement des systèmes agricoles et naturels. Elle favorise :

- l'infiltration de l'eau dans le profil du sol,
- la stabilité structurale face aux pluies intenses,
- la résistance à l'érosion hydrique,
- l'activité biologique du sol,
- le développement racinaire en profondeur.

En revanche, une structure dégradée peut entraîner plusieurs effets négatifs :

- augmentation du ruissellement,
- formation de croûtes de battance en surface,
- compaction du sol,

- diminution de la productivité agricole.

Ces phénomènes sont particulièrement fréquents dans les sols soumis à un travail mécanique intensif ou à une faible restitution de matière organique.

b) Rôle de la matière organique

La matière organique joue un rôle déterminant dans la formation et la stabilisation des agrégats du sol. Elle agit comme un agent liant qui favorise l'adhésion entre les particules minérales, contribuant ainsi à l'amélioration de la structure.

En agriculture méditerranéenne, l'apport de :

- compost,
- fumier,
- résidus de culture,
- couverts végétaux,

permet d'augmenter la stabilité structurale, d'améliorer la porosité et de limiter les risques de dégradation physique du sol. Ces pratiques sont particulièrement importantes dans les régions semi-arides où la teneur naturelle en matière organique est généralement faible.

c) Porosité et densité apparente

La porosité et la densité apparente traduisent l'architecture interne du sol et conditionnent ses propriétés hydriques et mécaniques.

- **Porosité** : Elle correspond au volume total des pores présents dans le sol, occupés par l'air ou l'eau. Une porosité élevée favorise la circulation de l'eau et des gaz, essentielle à l'activité biologique et à la respiration des racines.
- **Densité apparente** : Elle représente la masse de sol sec par unité de volume. C'est un indicateur du degré de compaction. Une densité apparente élevée traduit une réduction de la porosité, limitant ainsi l'infiltration de l'eau et la croissance racinaire.

On distingue généralement :

- les **macropores**, favorisant la circulation de l'air et le drainage de l'eau,
- les **micropores**, responsables de la rétention de l'eau utile pour les plantes.

L'équilibre entre ces différents types de pores est essentiel pour garantir une bonne qualité physique du sol.

Un bon sol agricole présente 45–60 % de porosité totale.

La densité apparente (Da) = masse de sol sec / volume total

Valeurs indicatives :

Type de sol	Densité apparente (g/cm ³)
Sol sableux	1,5 – 1,7
Sol limoneux	1,3 – 1,6
Sol argileux	1,1 – 1,4
Sol compacté	> 1,7

Exemple en Algérie

Dans certaines zones céréalières des Hauts Plateaux :

- mécanisation intensive
- absence de rotation culturale
 - augmentation de la densité apparente
 - diminution de l'infiltration
 - accentuation de l'érosion hydrique.

2.3.2. Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques du sol déterminent sa **fertilité chimique**, c'est-à-dire sa capacité à fournir aux plantes les éléments nutritifs indispensables à leur croissance et à leur développement. Elles influencent directement la disponibilité des nutriments, les réactions biologiques et les processus d'échange entre la solution du sol et le complexe argilo-humique.

Dans les systèmes agricoles méditerranéens, notamment en zones semi-arides, la gestion de ces propriétés constitue un levier essentiel pour maintenir la productivité des sols tout en limitant les risques de dégradation tels que la salinisation ou l'alcalinisation.

a) pH du sol

Le pH du sol correspond à son degré d'acidité ou d'alcalinité. Il est généralement classé comme suit :

- **Sols acides** : $\text{pH} < 6$
- **Sols neutres** : $\text{pH} \approx 7$
- **Sols alcalins** : $\text{pH} > 7$

Le pH constitue un facteur déterminant de la disponibilité des éléments nutritifs. Par exemple :

- un pH acide peut entraîner une toxicité de certains éléments comme l'aluminium,
- un pH alcalin, fréquent dans les sols calcaires d'Algérie, peut limiter l'assimilation du phosphore, du fer et du zinc.

De plus, le pH influence fortement l'activité des micro-organismes du sol, responsables de la minéralisation de la matière organique et du recyclage des nutriments.

b) Capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique (CEC) est un indicateur fondamental de la fertilité chimique du sol. Elle représente la capacité du sol à retenir et à échanger les ions nutritifs chargés positivement tels que :

- le calcium (Ca^{2+}),
- le magnésium (Mg^{2+}),
- le potassium (K^+),
- l'ammonium (NH_4^+).

Ces éléments sont adsorbés à la surface des particules d'argile et de matière organique formant le complexe argilo-humique. Une CEC élevée signifie que le sol peut stocker davantage de nutriments et les restituer progressivement aux plantes, limitant ainsi les pertes par lessivage.

c) Matière organique

La matière organique constitue un élément clé de la fertilité chimique du sol. Elle provient de la décomposition des résidus végétaux et animaux et joue plusieurs rôles essentiels :

- **amélioration de la fertilité chimique** grâce à la libération progressive des nutriments ;
- **augmentation de la stabilité structurale** par la formation d'agrégats stables ;
- **amélioration de la capacité de rétention en eau**, particulièrement importante en conditions de déficit hydrique.

Elle contribue également à l'augmentation de la CEC et favorise l'activité biologique du sol. Dans les sols agricoles méditerranéens, souvent pauvres en matière organique, les apports réguliers de compost ou de fumier permettent de restaurer ces fonctions essentielles et d'améliorer durablement la productivité.

2.3.3. Propriétés biologiques

Les propriétés biologiques du sol correspondent à l'ensemble des organismes vivants qui y résident ainsi qu'aux processus biologiques qu'ils assurent. Contrairement aux propriétés physiques et chimiques, souvent considérées comme relativement stables à court terme, les propriétés biologiques sont très dynamiques et réagissent rapidement aux changements d'usage des terres, aux pratiques agricoles et aux conditions climatiques. Elles jouent un rôle fondamental dans le maintien de la fertilité des sols, la décomposition de la matière organique, le recyclage des nutriments et la stabilité structurale.

Dans les écosystèmes agricoles méditerranéens et semi-arides, comme ceux rencontrés en Algérie, l'activité biologique du sol constitue un indicateur clé de la durabilité des systèmes de production face aux contraintes telles que la sécheresse, la salinisation et la faible teneur en matière organique.

La biomasse microbienne représente la fraction vivante de la matière organique du sol constituée principalement de bactéries, de champignons, d'actinomycètes et de

microalgues. Elle constitue le moteur des transformations biochimiques dans le sol et intervient activement dans :

- la minéralisation de la matière organique,
- la libération des éléments nutritifs (azote, phosphore, soufre),
- la formation de complexes argilo-humiques,
- la stabilisation de la structure du sol.

Une biomasse microbienne élevée traduit généralement une bonne qualité biologique du sol et une forte activité de décomposition. À l'inverse, dans les sols dégradés ou soumis à des pratiques intensives (labour excessif, usage massif d'engrais chimiques), cette biomasse diminue, ce qui entraîne une réduction de la fertilité naturelle.

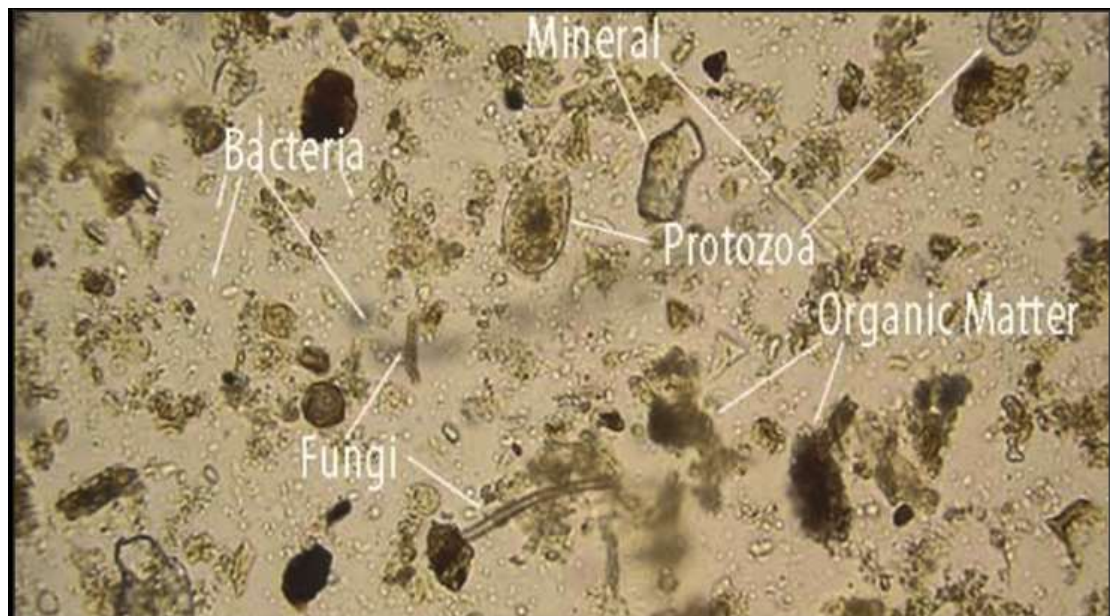


Figure 2.3 : sol sous microscope

Exemple en zones semi-arides algériennes : Dans les sols cultivés en céréales dans les Hautes Plaines, l'apport de fumier ou de compost permet d'augmenter significativement la biomasse microbienne, améliorant ainsi la disponibilité en azote assimilable pour les cultures.

b) Activité enzymatique

L'activité enzymatique constitue un indicateur fonctionnel de l'intensité des processus biologiques se déroulant dans le sol. Les enzymes du sol, produites par les micro-organismes et les racines des plantes, catalysent les réactions biochimiques impliquées dans la dégradation de la matière organique et le cycle des nutriments.

Parmi les principales enzymes du sol :

- **Uréase** : impliquée dans le cycle de l'azote ;
- **Phosphatase** : favorise la libération du phosphore ;
- **Déshydrogénase** : indicateur global de l'activité microbienne ;
- **Cellulase** : participe à la décomposition des résidus végétaux.

Une activité enzymatique élevée indique un sol biologiquement actif capable d'assurer une nutrition équilibrée des plantes. En conditions arides, cette activité peut être limitée par le déficit hydrique, d'où l'importance des pratiques de conservation (paillage, agriculture de conservation) pour maintenir l'humidité et stimuler l'activité biologique.

c) Faune du sol

La faune du sol regroupe l'ensemble des organismes animaux vivant dans le sol, tels que :

- les vers de terre (lombrics),
- les insectes (coléoptères, termites),
- les acariens,
- les nématodes.

Ces organismes jouent un rôle essentiel dans l'amélioration des propriétés physiques et biologiques du sol. Les vers de terre, par exemple, creusent des galeries qui :

- favorisent l'aération du sol,
- facilitent l'infiltration de l'eau,
- améliorent le drainage,
- stimulent l'activité microbienne,

- contribuent à la formation d'agrégats stables.

En milieu agricole, leur présence est souvent associée à des pratiques respectueuses du sol telles que la réduction du travail du sol et l'apport de matières organiques.

Exemple en agriculture méditerranéenne : Dans les vergers d'oliviers conduits en agriculture biologique, l'abondance de la macrofaune du sol est généralement plus élevée que dans les systèmes conventionnels, ce qui se traduit par une meilleure structure et une plus grande résilience face à l'érosion.

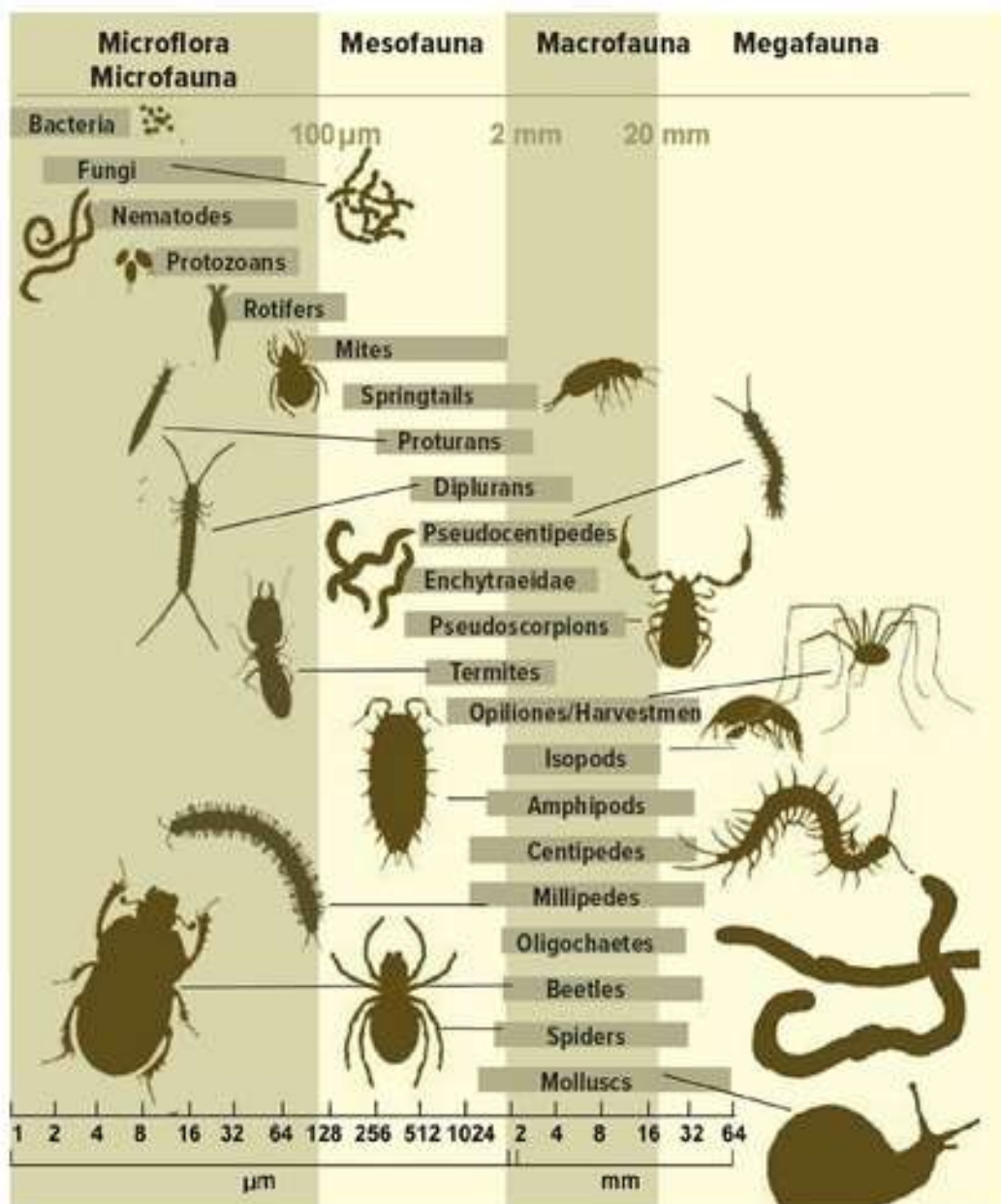


Figure 2.4: Différents catégories de la faune du sol

Ainsi, les propriétés biologiques constituent un pilier fondamental de la fertilité des sols et doivent être prises en compte dans toute stratégie de gestion durable des terres, notamment dans les contextes vulnérables aux changements climatiques comme les régions semi-arides d'Algérie.

2.4. Indicateurs de qualité des sols

La qualité du sol correspond à son aptitude à assurer, de manière durable, ses principales fonctions écologiques (stockage de l'eau, recyclage des nutriments, support de la biodiversité) et productives (croissance des cultures, maintien des rendements). Un sol de bonne qualité contribue non seulement à la sécurité alimentaire, mais également à la régulation des cycles biogéochimiques et à l'atténuation des effets du changement climatique.

Dans les régions méditerranéennes et semi-arides, notamment en Algérie, la qualité des sols est souvent menacée par l'érosion, la salinisation, la baisse de la matière organique et la compaction. L'utilisation d'indicateurs permet d'évaluer leur état de santé et d'orienter les pratiques agricoles vers une gestion plus durable.

2.4.1. Indicateurs physiques

Les indicateurs physiques renseignent sur l'organisation et le fonctionnement structural du sol. Ils déterminent la capacité du sol à permettre la circulation de l'eau, de l'air et le développement racinaire.

- **Stabilité structurale** : Elle mesure la résistance des agrégats du sol à la désagrégation sous l'effet de l'eau (pluie, irrigation) ou des contraintes mécaniques. Une bonne stabilité structurale favorise la porosité du sol, limite la formation de croûtes de battance en surface et réduit les risques d'érosion hydrique, particulièrement dans les zones céréalières du nord de l'Algérie.
- **Densité apparente** : Cet indicateur permet d'évaluer le degré de compaction du sol. Une densité élevée signifie une réduction de l'espace poreux, ce qui limite la pénétration des racines et la circulation de l'eau. La compaction est souvent

observée dans les sols soumis à un travail intensif ou au passage fréquent des machines agricoles.

- **Infiltration de l'eau** : Elle exprime la capacité du sol à absorber l'eau de pluie ou d'irrigation. Une infiltration insuffisante entraîne un ruissellement important et accentue les phénomènes d'érosion. À l'inverse, une infiltration adéquate améliore la recharge hydrique du sol, essentielle en conditions de déficit pluviométrique.

2.4.2. Indicateurs chimiques

Les indicateurs chimiques sont directement liés à la fertilité du sol et à sa capacité à fournir les **العناصر** nutritifs indispensables à la croissance des plantes.

- **pH du sol** : Le pH influence la solubilité et la disponibilité des éléments nutritifs. Dans les sols calcaires fréquemment rencontrés en Algérie, un pH alcalin peut réduire l'assimilation du phosphore et de certains micronutriments comme le fer ou le zinc.
- **Teneur en matière organique** : Elle constitue un élément clé de la fertilité du sol. La matière organique améliore la structure, augmente la capacité de rétention en eau et favorise l'activité biologique. Sa diminution est souvent associée à des pratiques agricoles intensives ou à des conditions climatiques arides.
- **Capacité d'échange cationique (CEC)** : La CEC représente la capacité du sol à retenir les cations nutritifs tels que le calcium (Ca^{2+}), le potassium (K^{+}) et le magnésium (Mg^{2+}). Une CEC élevée permet de stocker les éléments fertilisants et de les rendre disponibles progressivement aux plantes.
- **Disponibilité en nutriments** : Elle concerne les éléments majeurs nécessaires au développement végétal, notamment l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Un sol équilibré sur le plan nutritionnel assure une croissance optimale des cultures et une meilleure résistance aux stress environnementaux.

2.4.3. Indicateurs biologiques

Les indicateurs biologiques traduisent l'intensité de l'activité vivante dans le sol et sont particulièrement sensibles aux changements liés aux pratiques culturales.

- **Biomasse microbienne** : Elle représente la quantité de micro-organismes vivants dans le sol. Ces derniers assurent la décomposition de la matière organique et participent au recyclage des nutriments. Une biomasse élevée indique un sol biologiquement actif et fertile.
- **Diversité de la faune du sol** : La présence d'organismes tels que les vers de terre, les insectes et les nématodes contribue à l'amélioration de la porosité, de la structure et de l'aération du sol. Une biodiversité élevée est souvent synonyme de résilience écologique.
- **Activité enzymatique** : Elle reflète la capacité fonctionnelle du sol à transformer la matière organique en éléments assimilables par les plantes. Cette activité dépend fortement de la teneur en matière organique et des conditions d'humidité du sol.

L'évaluation de la qualité des sols repose sur la combinaison de ces indicateurs, permettant d'anticiper les risques de dégradation et d'orienter les stratégies de gestion durable.

L'évaluation conjointe de ces indicateurs permet d'établir un diagnostic global de la qualité des sols et d'adapter les pratiques agricoles (apports organiques, réduction du travail du sol, gestion de l'irrigation) afin de préserver leur fertilité à long terme, notamment dans les écosystèmes fragiles des zones arides et semi-arides.

Conclusion du chapitre

La typologie des sols et l'analyse de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques constituent des outils essentiels pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes et assurer une gestion durable des terres. Les indicateurs de qualité des sols permettent d'évaluer leur état, de prévenir leur dégradation et de renforcer leur contribution à la biodiversité et à la sécurité alimentaire.