

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد الصديق بن يحي جيجل-
Université Mohammed Seddik Ben Yahia -Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : des Sciences de l'Environnement et
des Sciences Agronomiques



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم: علوم المحيط والعلوم الفلاحية

Polycopié de cours

Eco-pédologie UEF 3.1.1

Destiné aux étudiants de troisième année Ecologie et
Environnement

Préparé par :

DR. Roula Salah-Eddine

Grade : MCA

2025/2026

Tables des matières

1. Introduction	1
1.1 Objet de la pédologie	1
1.2 Définition du sol	1
1.3 Aperçus sur la formation des sols	2
1.4 fonctions du sol	3
2. Les éléments constitutifs du sol	5
2.1 les constituants de la fraction solide	5
2.1.1 Les constituants minéraux	6
2.1.2 La texture du sol	8
2.1.3 Définition des argiles	9
2.2 Les constituants organiques	13
2.2.1 Evolution des matières organiques dans le sol	14
2.2.2 Définition de l'humus	16
2.3 Les rôles de la matière organique dans les sols	20
2.3 Les complexes colloïdaux	20
3. L'organisation morphologique des sols	23
3.1 Les organisations élémentaires	23
3.2 L'horizon pédologique	25
3.3 Les profils pédologiques	26
3.4 La couverture pédologique	29
3.5 Le sol et l'eau	29
3.6 L'atmosphère du sol	30
3.7 La température du sol	31
3.8 La couleur du sol	32
4. Les propriétés chimiques du sol	37
4.1 Les phénomènes d'échanges des ions	37
4.1.1 Le pouvoir adsorbant et les mécanismes d'échange	37
4.2 Les propriétés électroniques du sol	39
4.2.1 le pH du sol	39
4.2.2 Le pouvoir tampon et la résistance du sol aux variations du Ph	40
5. Les propriétés biologiques du sol	44

5.1 Les organismes du sol.....	44
5.1.1 la classification des organismes du sol	44
5.2. Les transformations d'origine microbiennes	45
5.2.1 Les rôles de la faune et de la microflore du sol.....	45
5.2.2 Le rôle des représentants les plus importants de la faune du	45
6. Classification des sols.....	53
6.1 Les différentes classifications (Russe, Américaine, Française	53
6.1.1 Le système de classification dans le monde	53
6.1.2 Les critères de classification.....	53
6.1.3 La classification adoptée par la majorité des écoles	54
6.2 Les sols d'Algérie et leur relation avec le climat et la géomorphologie	56
7. Relations sols végétation.....	59
7.1 L'influence du pH du sol sur la croissance des plantes.....	59
7.1.2 Facteurs Clés de l'Influence du Sol sur la Végétation	59
7.2 l'Influence de la végétation sur le sol	60
7.2.1 Interactions et Dynamique (Phytosociologie	60
7.2.3 les principaux impacts de la végétation sur le sol	60
Références Bibliographiques.....	61

1. Introduction

La science des sols s'intéresse à l'étude de la formation et la composition des sols et aussi les facteurs qui conduisent à leur dégradation, pollution, disparition...etc. D'une part, d'autre part c'est une science pratique qui permette de connaître les sols propres à l'agriculture et la conservation de leurs fertilités.

L'état des sols dans le monde est en dégradation continue et surtout les sols fertiles. L'érosion, l'augmentation du pâturage dans les zones naturelles, les inondations, l'envasement des barrages, salinisation des sols, la désertification, urbanisation (bétonisation), conduit à la réduction de terres cultivées et par conséquent diminution de la production alimentaire mondiale. Donc la science des sols est la base de la conservation des sols dans le monde, le sol se forme pendant des milliers d'années et l'homme le détruit dans quelques années.

La pédologie : « Science des sols » du Grec de **pedon** = le sol, est la science qui étudie la formation et l'évolution des sols et permette de classer les types de sols et d'expliquer leurs origines et leurs influences sur la fertilité des sols.

1.1 L'objet de la pédologie

Le sol est l'objet d'étude de la pédologie.

1.2 Définition du sol

Le sol est la formation superficielle de l'écorce terrestre, d'une construction sensible, d'une épaisseur variable (de quelques centimètres à quelques mètres), résultant de la transformation de la roche mère sous l'effet de différents facteurs : physiques, chimiques et biologiques. Après une longue formation il entre en équilibre avec le milieu (plantes, animaux...climat) et sont matériaux d'origine.

La pédologie comporte deux divisions fondamentales :

La première repose sur l'aspect statique du sol (étude des constituons et des propriétés du sol), la seconde à son aspect dynamique (pédogénèse et formation des sols)

1.3 Aperçus sur la formation des sols

1.3.1 Les trois étapes de la formation d'un sol

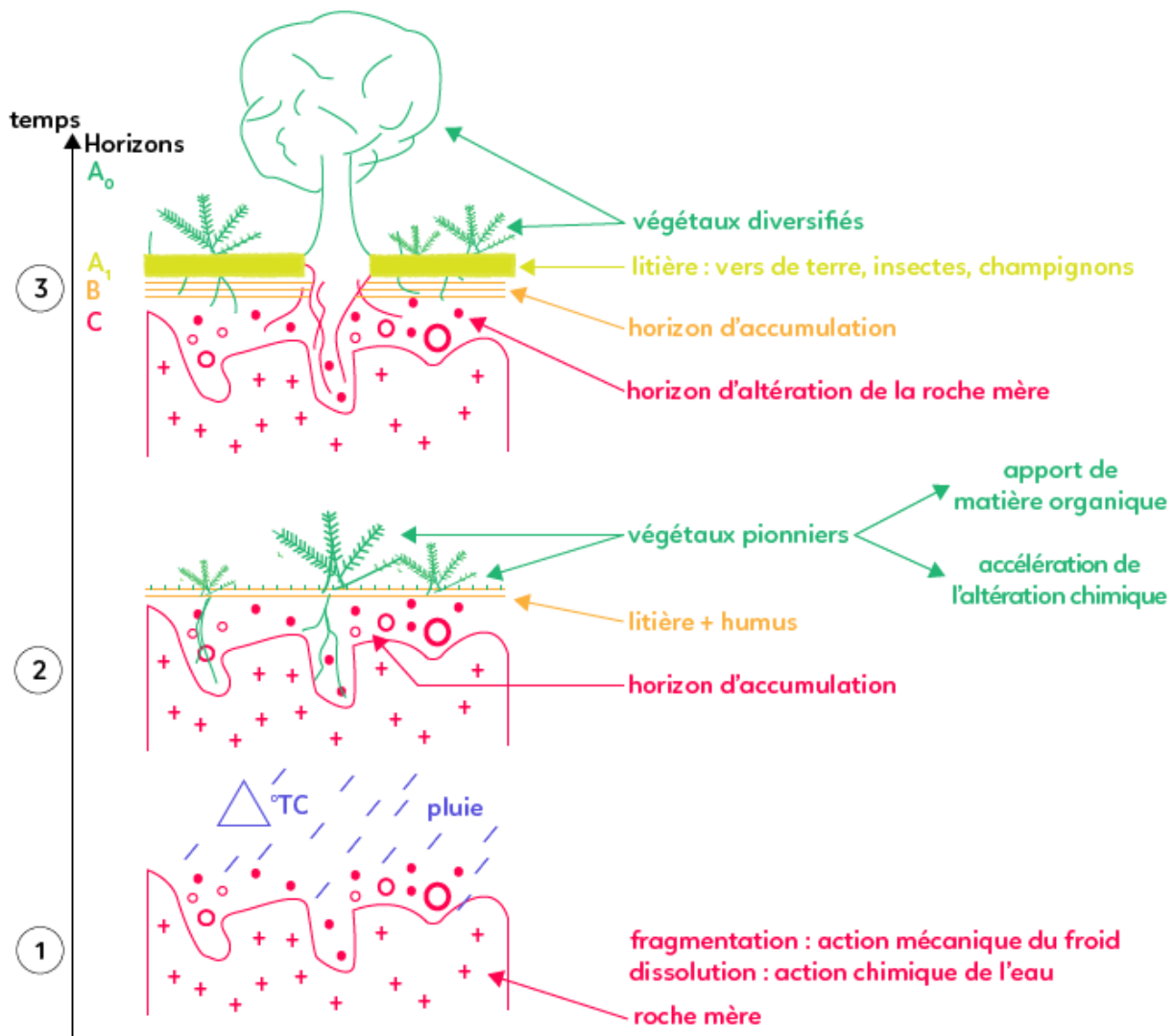


Figure 1 : les étapes de la formation d'un sol (Gobat et al, 2010)

Étape 1 : la roche mère originelle (désagrégation et altération d'une roche)

Tout commence au niveau d'une **roche mère**, comme une roche mère continentale, du granit par exemple. Par le biais d'**altérations mécaniques et chimiques**, cette roche mère **se fracture**, se dégrade et s'altère. Le gel et le dégel engendrent des craquements et des craquelures au sein de la roche, des fractures. La **pluie** induit une altération chimique : une dissolution des minéraux présents dans la roche. Au temps 1, il y a donc une fragmentation de cette roche mère par l'action mécanique du **froid**, du **gel** et du **dégel** ou encore du **vent**, et une dissolution par le biais de l'**eau de pluie** plus ou moins **acide**. (Figure 1).

En générale un sol provient de la décomposition d'une roche que l'on appelle pour cette raison « roche mère » remarquons qu'il peut s'agir aussi bien d'une roche dure (granite, schiste, grès), que d'une roche tendre (craie, marne, argile.) ou d'une roche meuble (sable éboulis, loess...). L'intensité de la désagrégation (phénomène physique) et de l'altération (phénomène chimique) dépend du climat

véritable moteur de la formation des sols, le résultat de ces deux phénomènes est d'abord un mélange :

- ☐ Des matériaux plus ou moins désagrégés mais non altérés comme (les blocs, pierre, gravier, grains de sable poudre de limon, ...)
- ☐ Des matériaux sous forme de pâte (complexe d'altération) provenant de l'altération chimique des minéraux comme (pâte d'argile, composée par des oxydes de fer, sels de calcium de magnésium de sodium..... sous des formes plus ou moins solubles.

Étape 2 : la mise en place du sol

Le temps passe, et apparaît un début de colonisation de cette roche par des végétaux pionniers, qui sont peu exigeants d'un point de vue écologique. (Lichens, mousses fougères...). Ces végétaux pionniers apportent de la matière organique. Par le processus de la photosynthèse, on voit changer au niveau du sol du carbone minéral en carbone organique ces végétaux par leurs racines principalement, accélèrent le processus d'altération de la roche. Les racines exercent une action mécanique et altèrent la roche en poussant. Elles exercent également une action chimique puisque l'absorption racinaire produit des sorties d'ions, notamment des ions H^+ très acides qui altèrent la roche chimiquement. Il y a alors la création d'une litière, un ensemble de débris végétaux, associés en dessous à l'humus, un mélange de matière organique en processus de décomposition par des microorganismes décomposeurs et matière minérale. Enfin un horizon d'accumulation commence à se créer : des éléments lessivés par l'eau s'accumulent. C'est le début de la mise en place au sens strict du sol avec un ensemble de strates parallèles avec du mélange organique du mélange minéral. En d'autres termes le sol ne prend naissance que lorsque à ces minéraux s'ajoutent des constituants organiques c'est-à-dire provenant d'organismes végétaux et animaux, à partir de ce moment, les débris organiques (surtout végétaux) aboutissent à la formation des substances noires, plus ou moins pâteuses, réunies sous le nom d'humus

Étape 3 : les migrations des substances font évoluer le sol

Enfin, le temps passe, et si le climat est propice à l'installation de la végétation, se développent des végétaux très diversifiés comme des arbres, des arbustes et des herbes. Ces végétaux sont accompagnés d'une faune importante. Au niveau de la faune, des organismes indispensables à l'aération du sol sont les vers de terre, aussi appelés lombrics. Autres organismes, les insectes, les champignons et les bactéries qui jouent un rôle important dans la décomposition de l'humus. La litière s'épaissit en dessous l'horizon d'accumulation est toujours présent. En dessous l'horizon d'altération de la roche mère continue de se creuser. En d'autres termes, dans ce sol encore jeune et qui continue à s'approfondir, les mouvements de l'eau vers le bas et vers le haut vont faire subir aux éléments solubles et colloïdaux (sels de calcium, oxydes de fer, argiles, humus) des déplacements appelés « migration »

- ☐ Les déplacements vers le bas constituent le lessivage, et dominent sous climat à forte pluviométrie
- ☐ Les déplacements vers le haut ou « remontées », dominent au contraire sous climat à forte évaporation

L'intensité de ces migrations dépend de nombreux facteurs parmi lesquels : la pluviométrie, la teneur du sol en ions calcium....

Remarque :

La formation d'un sol est un phénomène multidimensionnel, contrôlé par une combinaison de cinq facteurs : le climat, le matériel parental, les êtres vivants et leur matière organiques, le temps et le relief.

1.4 Les fonctions du sol

- ☐ Un support pour les êtres vivants (plantes, animaux)
- ☐ Assure l'alimentation en eau et en sel minéraux des plantes
- ☐ Système épurateur des substances toxiques
- ☐ Support de l'activité agricole
- ☐ Source des minéraux bruts (argile, sable...)
- ☐ Source des matières organiques
- ☐ Fonction écologique (production primaire, habitat)
- ☐ Lieu de transformation de la matière organique
- ☐ Cycle des éléments nutritifs
- ☐ Régulation du climat
- ☐ Stocker le carbone et l'azote de l'atmosphère
- ☐ Contrôle des cycles des éléments et de l'énergie en tant que compartiment des écosystèmes.

2. Les éléments constitutifs du sol

Le sol est constitué de trois fractions :

a- Fraction solide :

Composée de deux sortes d'éléments :

a1- les éléments minéraux (éléments mécaniques) : le sable grossier, sable fin, limon, argile, calcaire, oxydes de fer...etc. Ces éléments proviennent surtout de la désagrégation et de l'altération de la roche mère, mais peuvent aussi provenir d'apport par l'homme, par exemple : apport de sable, d'amendements, calcaire...

a2- les éléments organiques (matières organiques du sol) : débris végétaux, animaux et humus. Ces éléments proviennent d'organismes surtout végétaux produit par le sol ou apportés par l'homme par exemple le fumier.

b- Fraction liquide : ou solution du sol

Substances solubles provenant à la fois deux :

-l'altération des roches, de la décomposition de la matière organique, de l'apport de l'homme (apport d'engrais solubles par exemple) et par la pluie (Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{NO}_3\text{---}$...)

c- Fraction gazeuse : ou atmosphère du sol

Composée de mêmes gaz que l'air a en plus les gaz provenant de la décomposition des matières organiques.

Remarque :

Les principaux constituants de l'air sont : l'azote (N_2), l'oxygène, l'hydrogène et le CO_2 et des gaz issus de la décomposition des matières organiques et de la respiration des êtres vivants exemple (le méthane CH_4 , CO_2 ...)

2-1 les constituants de la fraction solide

Ces constituants représentent plus de 80 % du poids de la terre humide et peuvent être classées :

- ☐ Soit d'après leurs grosseur (taille, diamètre)
- ☐ Soit d'après leur nature minéralogique ou chimique

Les constituants de la fraction solide se divisent en deux types :

- ☐ les éléments minéraux
- ☐ les éléments organiques (matière organique)

Les éléments minéraux sont classés aussi à leurs tours par granulométrie :

La granulométrie classe les éléments de la fraction minérales du sol d'après leurs grosseur (taille, diamètre) donc c'est l'analyse granulométrique du sol ou (analyse mécanique ou physique) qui consiste à classer les éléments minéraux du sol d'après leurs grosseurs et à déterminer le pourcentage de chaque fraction.

2.1.1 Les constituants minéraux (éléments grossiers et la terre fine) : le passage au tamis à trous de 2 mm de la terre séchée permet de séparer d'abord (Figure 2) :



Figure 2 : Séparation de la terre fine et de la terre Grossière (Baize, 2018)

- **La terre fine ou (éléments fins) : $\emptyset < 2\text{mm}$**
- **La terre grossière ou (éléments grossiers) : $\emptyset > 2\text{mm}$**

a- Les éléments grossiers : sont classés en :

Gravier : $\emptyset$ 2mm – 2cm

Pierres : $\emptyset$ 2 cm – 7,5 cm

Cailloux : $\emptyset$ 7,5 cm – 20 cm

Blocs : $\emptyset > 20$ cm

b- Les éléments de la terre fine (éléments fins) : sont aussi classés d'après leurs grosseurs (taille), selon l'échelle internationale d'ATTERBERG (1926)

Le but de cette analyse ou (classification) est de connaître la texture ou la fraction minérale du sol par la détermination de la proportion des particules élémentaires classées par catégories de grosseur, car la texture intervient pour la détermination de la porosité et le régime hydrique du sol : selon l'échelle d'ATTERBERG qui a classés les particules de la manière suivante (**voir tableau 1**) :

Tableau 1 : classification des éléments de la terre fine selon ATTERBERG (1926)

Eléments	(Ø) Diamètre des particules	
	(mm)	(µm)
Sable grossier	2 mm- 0,2 mmm	2 mm- 0,2 mmm
Sable fin	0,2 mm- 0,02 mm	0,2 mm- 0,02 mm
Limon	0,02 mm – 0,002 mm	0,02 mm – 0,002 mm
Argile	$\emptyset < 0,002$ mm	$\emptyset < 0,002$ mm

(Duchaufour,2001)

La terre fine représente toutes les particules inférieures à 2 mm, et celles supérieures à 2 mm sont appelées éléments grossiers. Les constituants de la terre fine sont classés selon une échelle granulométrique

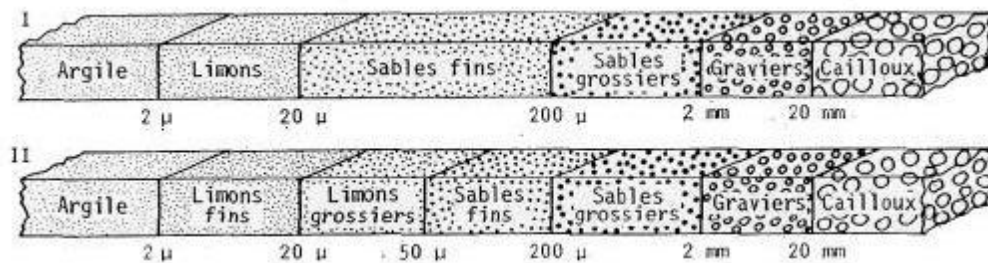


Figure 3 : Echelle granulométrique (Duchaufour, 2001)

Ces différents constituants sont en proportions très variables dans les sols et leur répartition influence de nombreuses propriétés du sol.

Dans ces deux groupes de fractions (fraction grossière et fraction fine) on peut trouver deux groupes de minéraux :

a- Des minéraux inaltérés : c'est-à-dire ayant la même composition de la roche mère dont ils proviennent, comme les pierres, graviers, blocs, cailloux, limon, sable on les nomme les éléments inaltérés.

a.1 Propriétés des éléments inaltérés :

Les pierres les graviers et les blocs ne font que réduire la proportion de la terre fine et la disparition des racines en favorisant le drainage naturel des sols, ils forment le squelette ils ne participent pas à l'alimentation minérale de la plante, ils augmentent la perméabilité à l'air et à l'eau du sol, les sables grossiers favorisent la pénétration de l'eau et de l'air, facilitent aussi les échanges de température tandis que les sables fin et les limons rendent le sol battant c'est-à-dire la tendance à se tasser en surface sous l'effet des pluies et à former une croûte (glas sage en surface), ils ont tendance à retenir l'eau en s'opposant à son infiltration en profondeur, le sol est imperméable en surface et asphyxiant pour les racines.

b-Des minéraux altérés : c'est-à-dire provenant d'une modification chimique des minéraux de la roche mère en même temps que d'une diminution extrême de leurs tailles. Les particules minérales qui ont résultent sont si fines qu'elles se présentent sous la forme d'une sorte de pâte d'une sorte de colle que l'on nomme « **argile** »

On donne le nom colloïde du grec (Kolla) à toutes substances qui comme l'argile ont cet aspect collant, mais l'argile n'est pas le seul colloïde minéral du sol, il est souvent mélangé à :

- des débris de quartz
- de la Silice plus ou moins hydratée
- des oxydes de fer et d'alumine

-des cristaux de calcaire très fin.

L'ensemble constitue les colloïdes minéraux que l'analyse granulométrique range dans la fraction argile.

Remarque : parmi les colloïdes du sol :

Certains proviennent de l'altération de la roche mère ce sont les **colloïdes minéraux** exemple : l'argile.

D'autres proviennent de la décomposition des matières organiques des sols, ce sont les **colloïdes organiques** des sols exemple : l'humus.

2.1.2 La texture du sol :

La texture est définie par les proportions relatives (%) de particules argileuses, limoneuses et sableuses qui constituent la terre fine du sol. Elle peut être appréciée au toucher sur terrain ou déterminée au laboratoire (analyse granulométrique) où l'échantillon de sol subit divers traitements :

- Tamisage afin d'éliminer le squelette (fractions > 2 mm),
- Destruction de la matière organique,
- Destruction du calcaire,
- Dispersion et agitation afin de démonter les agrégats,
- Sédimentation différentielle et séparation des différentes fractions,
- Dessiccation, tamisage et pesée des différentes fractions.

Les classes de texture peuvent être délimitées graphiquement dans un triangle dont chaque côté soutient une échelle graduée (argile, limon ou sable).

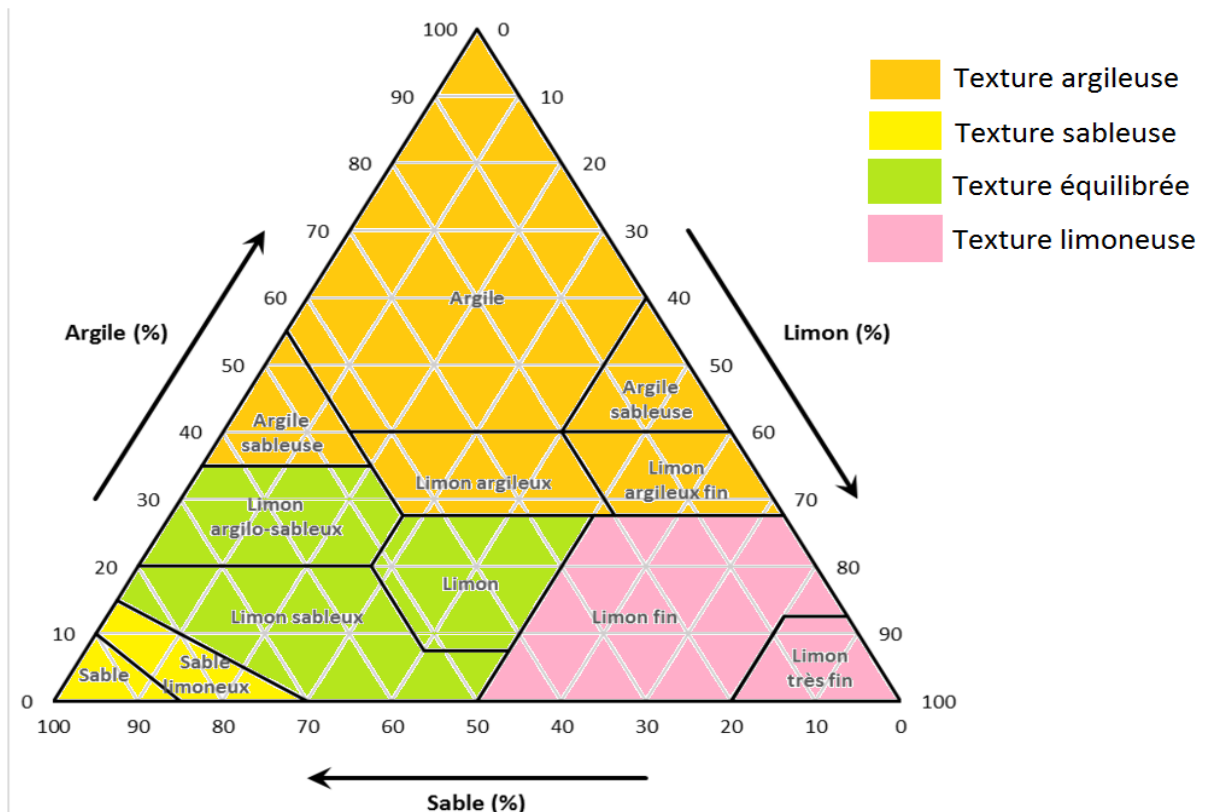


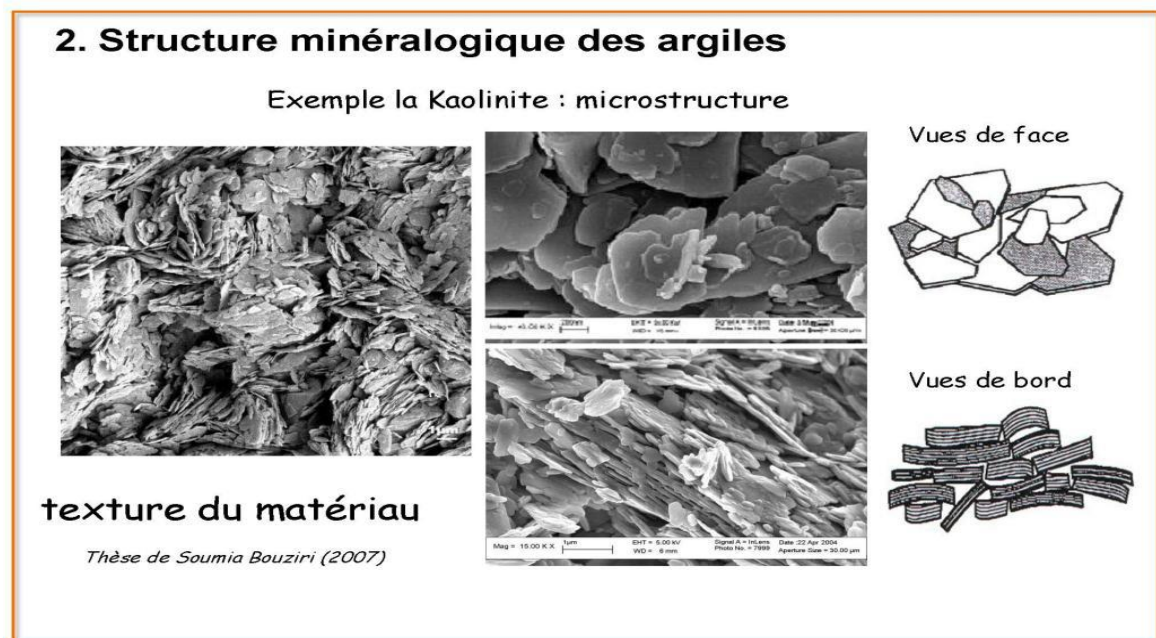
Figure 4 : Triangle de Texture du sol (Baize, 2000)

2.1.2.1 Mode d'usage du triangle de texture

Il faut porter sur les trois axes les pourcentages d'argile, de limons et de sables. Pour chacun des points ainsi trouvés, mener une parallèle à l'axe précédent. L'intersection de ces trois parallèles désigne la classe du sol.

2.1.3 Définition des argiles :

Les minéraux argileux sont fondamentalement constitués de silicium, aluminium, oxygène et ions hydroxyles. Ce sont des phyllo silicates d'alumine hydratés, le préfixe « phyllo » désignant des minéraux qui prennent des formes de feuillets. Observées au microscope, les argiles apparaissent sous forme de plaquettes superposées. On parle de structure minéralogique en feuillets (**figures 5 et 6**). Les minéraux argileux sont des cristaux ioniques (porteurs d'une charge électrique) constitués par une **superposition de couches** siliceuses de forme tétraédrique et de couches alumineuses ou magnésiennes de forme octaédrique.



9

Figure 5 : structure minéralogique des argiles (Grim, 1968)

Remarque :

On appelle **feuillet élémentaire** (**figure 8**) l'ensemble formé d'une couche octaédrique, associé à une ou deux couches tétraédriques.

Type 1/1 Type 2/1, Si AL ou Si Al Si

Kaolinite et Illite Une argile est du type 1/1 quand la lamelle est constituée d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. Elle est du type 2/1 quand la lamelle est constituée de deux couches tétraédriques pour une couche octaédrique.

2.1.3.1 Origine des argiles :

Elles peuvent avoir plusieurs origines :

- L'altération des minéraux silicatés, exemple : Mica, Amphibole, Feldspath, Pyroxène... qui est la première source des argiles (Feldspath : $2\text{Si}3\text{Al}3\text{k}$), en d'autres termes : Les argiles ont une origine géologique secondaire, elles ont été formées par la dégradation des roches volcaniques dues à des phénomènes d'érosion et d'altération chimique sous l'action des agents atmosphériques dépend du climat (précipitation et température) plus la température et les précipitations sont importantes plus l'altération géochimique est rapide intense.

- Héritées de la roche-mère (une argilite, marnes, ...) : La roche-mère est déjà riche en argiles et se retrouvent dans le sol.

2.1.3.2 Constitutions des argiles (structure) :

Les argiles sont constituées de fin cristaux feuilletés dans le microscope électronique montre la forme hexagonale (**figure 6**) ou irrégulière, constituées des feuillets (micelles), dont la constitution chimique l'épaisseur et l'écartement varie avec le type d'argile de [7 Å à 20 Å] (**figure 7**)

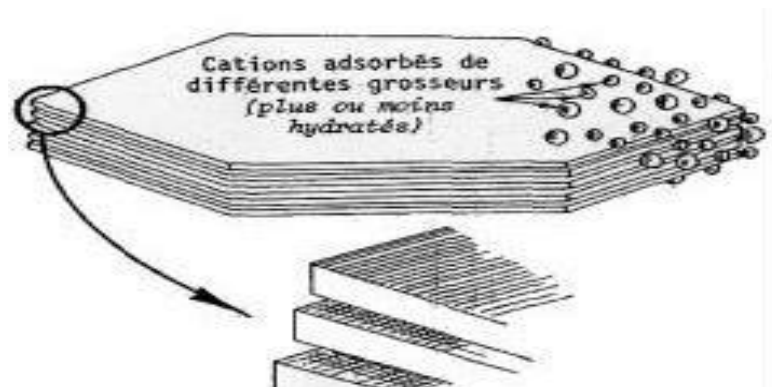


Figure 6 : forme hexagonale des argiles (structure feuilletée) (Pedro, 1974)

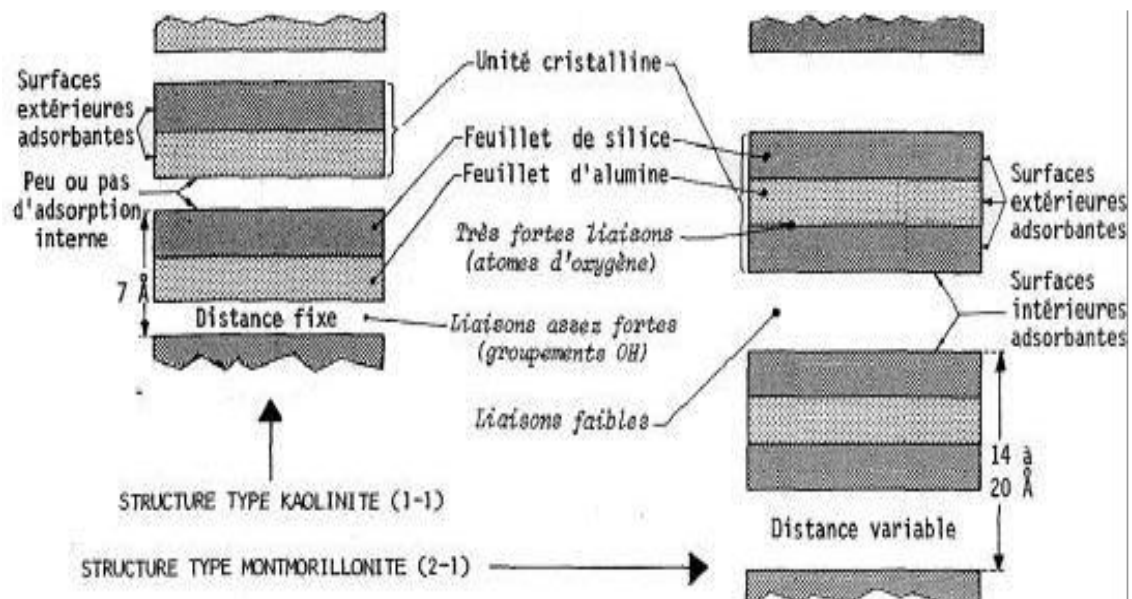


Figure 7 : Structure détaillée des feuillets d'argile (Pedro, 1974)

Chaque feuillet se présente comme une superposition de plans ioniques organisés suivant deux types précis de couches : le type tétraédrique (Te) et le type octaédrique (Oc) (**figure 8 et 9**). L'association d'un feuillet et d'un espace inter foliaire représente l'unité structurale du minérale phylliteux (**figure 5**). Quatre ions principaux forment la structure des feuillets : les ions Si^{4+} ; Al^{3+} , O^{2-} et OH^- . De plus, selon le type d'argile, d'autres ions sont également rencontrés tels que : Fe^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} .

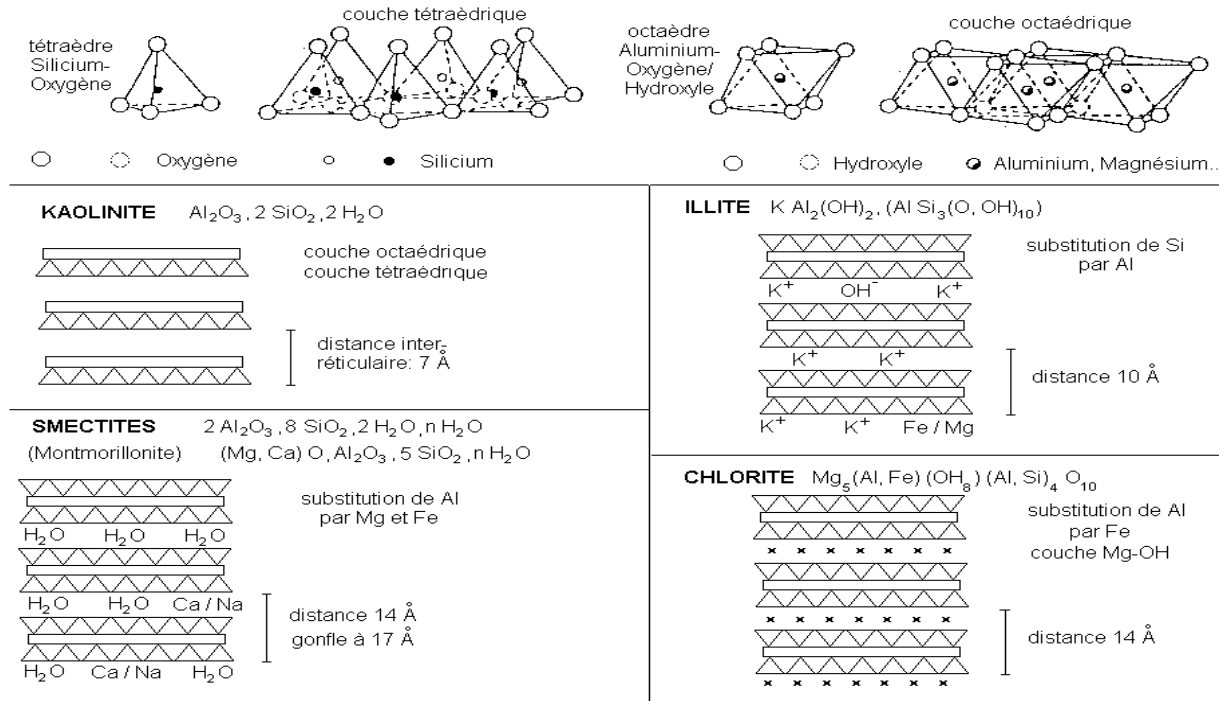
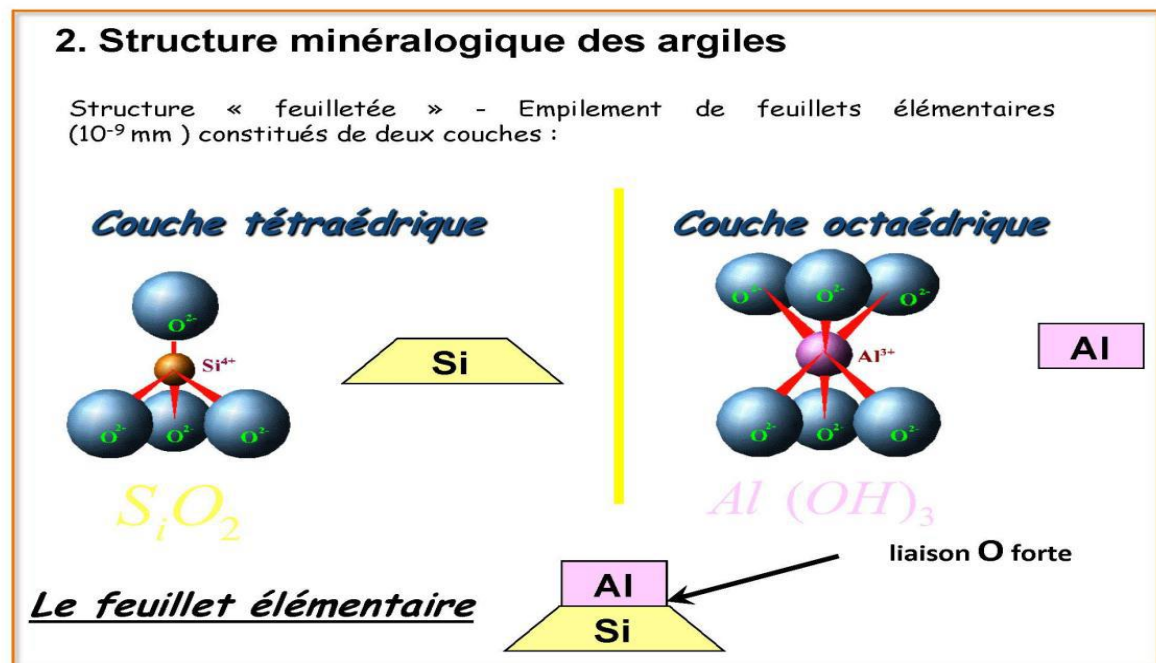


Figure 8 : Structure des argiles (Morel,1996)



6

Figure 9 : structure tétraèdre et octaèdre des argiles (Morel, 1996)

2.1.3.3 Classification des minéraux argileux :

Il est possible de classer les minéraux argileux selon plusieurs critères :

- * Le nombre de couches octaèdre et tétraèdre dans le feuillet élémentaire.
- * La distance entre deux feuillets dans les conditions normales.
- * La variabilité de la distance inter-foliaire sous l'effet des traitements variés.

Les argiles sont classées en trois grandes classes de minéraux selon l'épaisseur de leurs feuillets :

* Groupe minéraux à 7 A° ou 1 :1 (T-O)

Leur feuillet est composé d'une couche de cations tétraédriques et une autre couche de cations octaédriques, le minéral représentatif de ce groupe est la Kaolinite

*Groupe minéraux à 10 A° ou 2 :1 (T-O-T)

Leur structure est un peu complexe que celui du groupe à 7 A°, cela est dû à la présence d'une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques, parmi ces minéraux il y'a les smectites et les illites.

*Groupe minéraux à 14 A° ou 2 :1 :1 (T-O-T-O)

Ce sont les argiles les plus complexes et on les rencontre le plus souvent en forage, constituées de deux couches tétraédriques et deux couches octaédriques, parmi ces minéraux

il y'a chlorites.

2.1.3.4 Propriétés des argiles

☐ chargées négativement, elles retiennent des cations sous forme échangeable, mais la localisation et l'abondance des charges varie d'un type d'argile à l'autre

Exemples :

La kaolinite : elle ne présente des charges négatives qu'on bordure des feuillets et sa capacité de fixation est faible.

La montmorillonite : sa capacité de fixation et d'échange est élevée (10 à 15 fois plus forte que celle de la kaolinite) les ions pouvant se fixés et s'échangés sur les surfaces extérieurs mais aussi à l'intérieurs des feuillets.

Remarque : l'argile possède des charges positives (+) bien que beaucoup moins nombreuses que les charges négatives

☐ elles peuvent absorber de l'eau entre leurs feuillets → gonflables

☐ Les argiles sont hydrophile : c'est-à-dire l'aptitude de fixer l'eau (au tour des micelles, puis ils pénètrent entre les feuillets qui s'écartent plus ou moins selon le type d'argile, cette aptitude à fixer de l'eau entraîne trois autres propriétés des argiles :

☐ Le gonflement et le retrait : aptitude de l'argile de changer de volume selon l'humidité la montmorillonite est plus apte à gonflé que l'illite et surtout que la kaolinite.

□ L'espace entre les différentes couches ou feuillets de minéraux peut accueillir de l'eau et des ions conférant aux argiles leurs propriétés de dilatation et rétraction. On distingue trois familles d'argiles, en fonction de l'épaisseur des feuillets, de leurs minéraux constitutifs et de la distance inter feuillets.

□ Toutes les familles de minéraux argileux ne présentent pas la même prédisposition au phénomène de retrait-gonflement. La smectite, la vermiculite et la montmorillonite sont des minéraux dits sensibles, du fait de leur potentiel de déformation élevé, alors que ce dernier est plus faible pour des minéraux tels que l'illite et la kaolinite.

□ elles peuvent se retrouver dans le sol à l'état dispersés ou à l'état floculé (figure 10)

L'argile est de taille inférieure à 2 microns, possède les propriétés d'un colloïde.

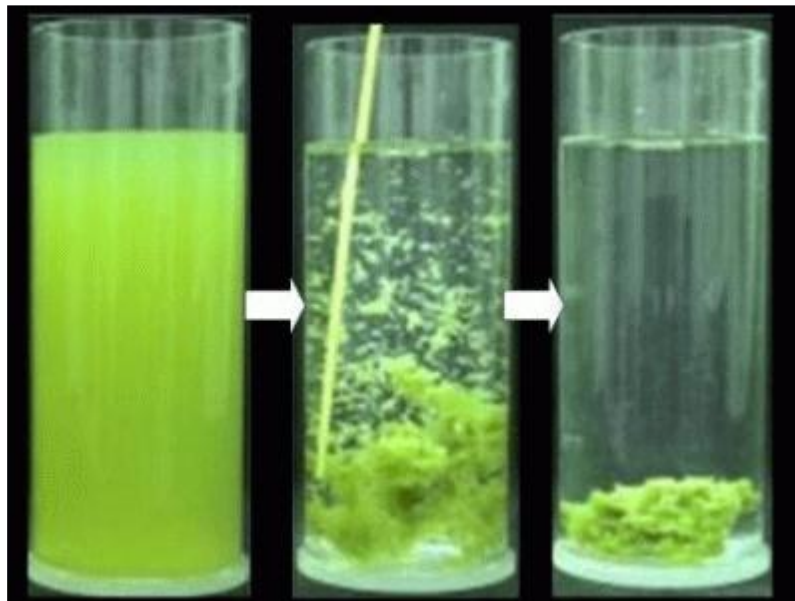


Figure 10 : l'état dispersé caractérisant la suspension (a) l'état floculé (b) (Pham, 2009)

□ elles peuvent former des liaisons avec la matière organique (=ciment)

□ De par leur constitution, les argiles retiennent les éléments minéraux. On parle d'adsorption.

2.2 Les constituants organiques :

La matière organique du sol peut être définie comme une matière carbonée provenant de la décomposition et du métabolisme d'êtres vivants végétaux, animaux et microbiens (fongiques, bactériens). Les matières organiques sont multiples et difficiles à définir, on peut les classer d'après leur degré d'évolution en quatre groupes :

A- la matière organique vivante, animale (faune du sol), végétale (organes souterrains des plantes) et microbienne (bactéries, champignons, algues du sol), qui englobe la totalité de la biomasse en activité, sur le sol elle représente plusieurs tonnes / hectare.

B- les débris d'origine végétale (résidus végétaux ou litière, exsudats racinaires), animale (déjections, cadavres) et microbienne (cadavres, parois cellulaires, exsudats) appelés **matière organique fraîche**, qui retombe au sol ont sensiblement la même composition des tissus vivants dont ils sont produits, elle se compose de substances hydrocarbonées (composées de C-O- H), sucres solubles, amidon, cellulose,

lignine (polyphénol), matières grasses comme les résines et les tanins, des matières azotées surtout sous formes des protéines composées de (C-O-H-N-S-P) et des sels minéraux (cendres), toutes ces substances peuvent se différencier par leur vitesse de décomposition

*certaines matières organiques sont faciles à décomposer serviront surtout d'aliments énergiques et plastiques aux micro-organismes (bactéries) et disparaîtront très vite, ce sont les sucres simples, les protéines ...

*d'autres au contraire seront attaquées plus lentement et moins complètement laissant d'important résidus il s'agit de la lignine, des matières grasses et des tanins

C- des composés organiques intermédiaires ou en cours de décomposition, appelés matière **organique transitoire** (évolution de la matière organique fraîche), partant des matières organiques fraîches à très grosses molécules et aboutissant à des substances minérales simples à très petites molécules (CO_2 , H_2O , NO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} ...), et d'autres molécules plus complexes de la lignine, elle subit une décomposition bactérienne (multiplication des bactéries) qui dégradent la matière organique, après un deuxième stade (décroissance bactérienne), donc un produit transitoire est composé de (corps de bactéries mortes, matière organique complètement décomposée et matières organiques incomplètement décomposées)

En conclusion : dans le sol on trouve deux types de matières organiques selon la composition et le degré de décomposition :

*matière organique simple (facile et rapide à décomposer)

*matière organique complexe (difficile et lente à décomposer).

D - des composés organiques stabilisés, **les matières humiques ou humus**, provenant de l'évolution des matières précédentes.

2.2.1 Evolution des matières organiques dans le sol :

Partant des matières organiques tombées au niveau du sol, ces dernières peuvent subir plusieurs transformations (**figure 10**)

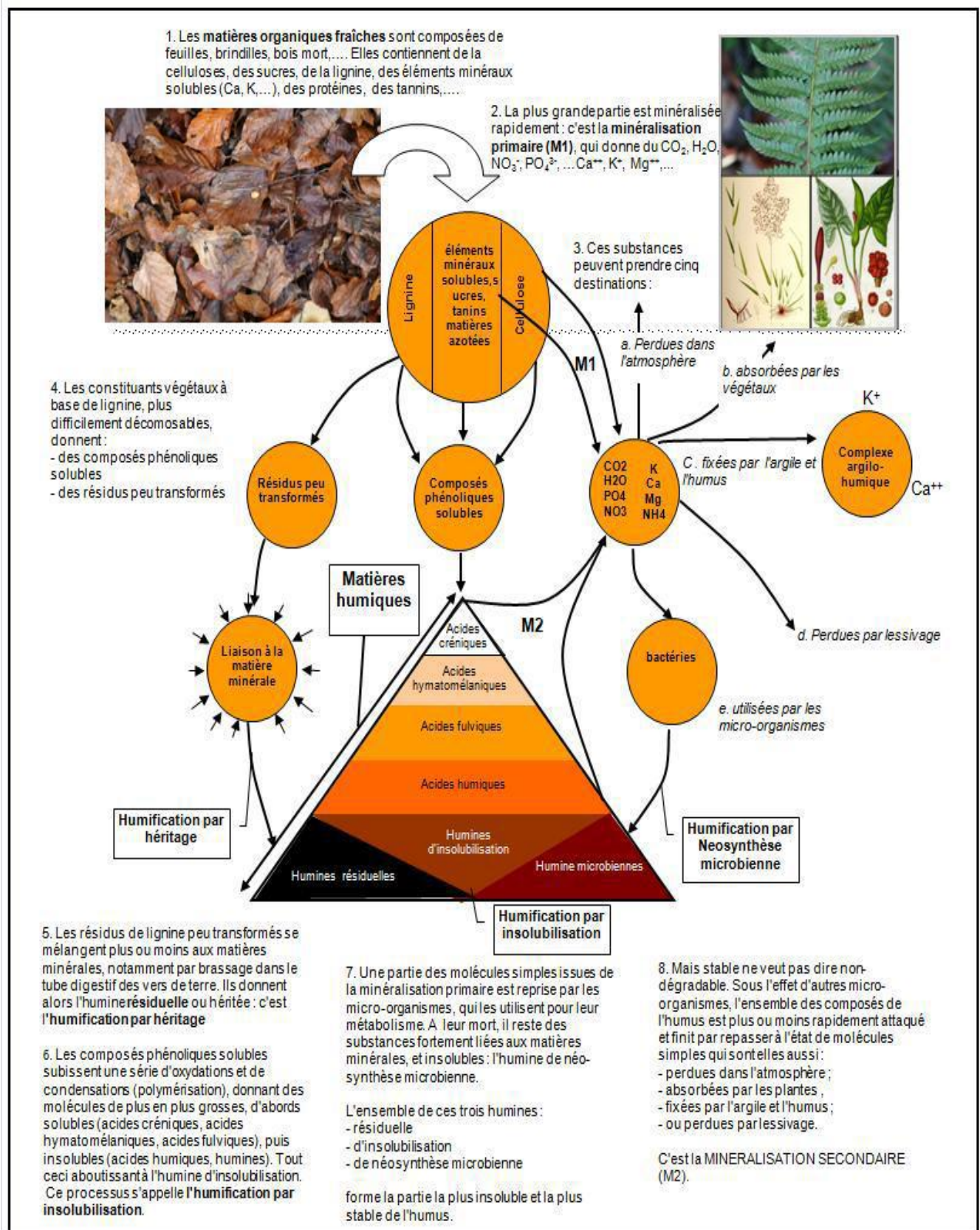


Figure 10 : Evolution générale des matières organiques dans le sol (Soltner, 1992)

A- minéralisation primaire : transformation de la matière organique simple directement en matière minérale (CO_2 , H_2O , NO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} ...), qui est un processus rapide

Ces molécules simples peuvent ensuite prendre cinq destinations :

- perdues dans l'atmosphère ;
- absorbées par les plantes ;
- fixées par l'argile et l'humus (colloïdes négatifs) ;
- perdues par lessivage ;
- reprises par des micro-organismes

B- humification : la transformation des matières organiques composées comme la lignine en humus suivants les étapes : les composés phénoliques solubles subissent une série de condensation (polymérisation) et d'oxydation donnant des molécules de plus en plus grosses d'abord solubles (acides créniques, acides hymatomélaniques et acide fulviques) puis insolubles (acides humiques et humines) le terminus est une sorte de pâte insolubles (humine d'insolubilisations c'est l'humification par insolubilisations ou (humus d'insolubilisations) (Figure 11).

Remarque : il Ya aussi d'autres types d'humification :

***Humification par néo-synthèse bactériennes (microbiennes) appelé aussi réorganisation bactériennes :** au niveau du sol la plante absorbe la quantité des éléments chimiques dont elle a besoin le reste qui n'est pas absorbé et pour qu'il ne sera pas perdu il sera réorganisé en humine par les bactéries réorganisatrices

*** Humification par héritage :** les matières organiques à base de lignine plus difficilement décomposées donnent des résidus peu transformés qui se mélangent aux matières minérales notamment par brassage dans le tube digestif des vers de terre et se trouvent superposés a la matière organique et bloquées par une cause quelconque, ils donnent alors l'humine résiduelle ou héritée : c'est l'humification par héritage.

Le blocage de ces matières pourrait provenir de :

Un excès d'acidité, manque d'oxygène, le froid, un excès de calcaire forme autour de la lignine une carapace calcaire

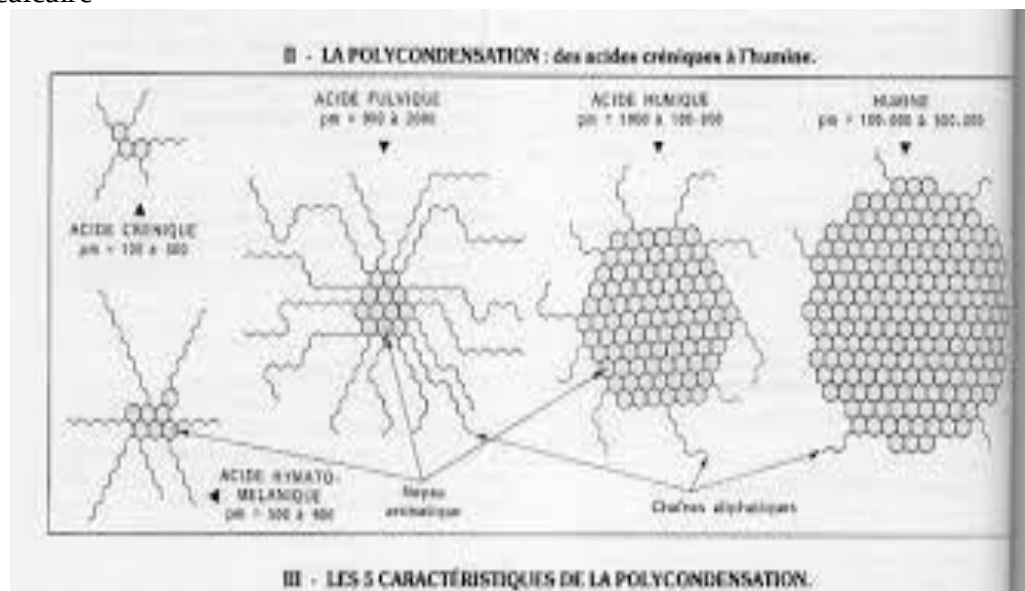


Figure 11 : la polycondensation des acides créniques à l'humine (Soltner, 1992)

C-Minéralisation secondaire : c'est la transformation de l'humus en matière minérale qui est un processus assez lent et cette transformation est stable (annuellement la quantité d'humus qui se transforme en matière minérale égale à 1,5 jusqu'à 2 % par hectare du poids total d'humus).

2.2.2 Définition de l'humus :

Couche supérieure du sol créée et entretenue par la décomposition de la matière organique, essentiellement par l'action combinée des animaux, des bactéries et des champignons du sol. L'humus est une matière souple et aérée, qui absorbe et retient bien l'eau, de pH variable selon que la matière organique est liée ou non à des minéraux, d'aspect foncé (brunâtre à noir), à odeur caractéristique, variant selon qu'il s'agit d'un humus forestier, de prairie, ou de sol cultivé.

2.2.2.1 Propriétés de l'humus :

C'est l'humus qui représente la matière organique la plus importante dans le sol car :

Il est stable : sa minéralisation est de l'ordre de 1 à 2 % par an sous climat tempéré ; 3 à 5 % sous climat tropical

L'humus est hydrophile, il peut retenir beaucoup d'eau que l'argile jusqu'à 15 fois de son poids.

L'humus est un colloïde électronégatif ces charges négatives sont celle des groupements COOH, Pouvoir de fixation des ions plus élevé que l'argile

Favorise le réchauffement du sol grâce à sa couleur sombre

Remarque : Le taux de matières organiques du sol :

L'analyse de terre permet de calculer le taux de matières organiques et aide au pilotage des apports de produits organiques pour l'entretien ou le redressement de ce taux.

Le taux de MO d'un sol est calculé à partir de la mesure du carbone organique total d'un échantillon de terre.

$MO\% = \text{carbone organique \%} \times 1,72$ (sol forestier)

$MO\% = \text{carbone organique \%} \times 2$ (sol agricole)

2.2.2.2 Classification des humus :

Les conditions d'humification sont tellement variées (nature de la végétation, l'humidité, pH, ...) que les types d'humus sont nombreuses et il est possible de classer en familles selon les critères suivants :

A- D'après leurs aspects (morphologie) :

L'épaisseur de la litière traduisant l'activité biologique générale souvent en relation avec l'aération, l'humidité, le pH et la température d'après leur aspects et degré d'évolution on peut distinguer trois grandes familles d'humus.

A1-Humus de type Mort

Sont des humus de sols acides. Dans ces sols, la transition très brutale entre l'horizon OH et l'horizon sous-jacent est un critère diagnostique important.

En plaine, l'horizon OH peut présenter des épaisseurs importantes : de quelques cm à parfois plus de 50 cm. (Figure 12).

Litières acidifiantes (matière organique composée, résineux)

Les mors correspondent à des milieux où l'activité biologique (faunique) est beaucoup plus faible que dans les moders ; les horizons OF et OH sont en conséquences plus pauvres en boulettes fécales et au contraire riches en filaments mycéliens et résidus. La transformation de la matière organique est très lente et faible, les échanges entre horizons organiques et minéraux quasi-nuls, l'incorporation de la matière organique au sol minéral ne peut se faire que par diffusion de ces composées.

Les conditions écologiques correspondent à des conditions très défavorables à toute activité animale : forte acidité du sol, présence de végétaux à résidus difficilement biodégradables ou à sécrétions toxiques (éricacées), climat limitant l'activité biologique (froid), sol mal aéré.

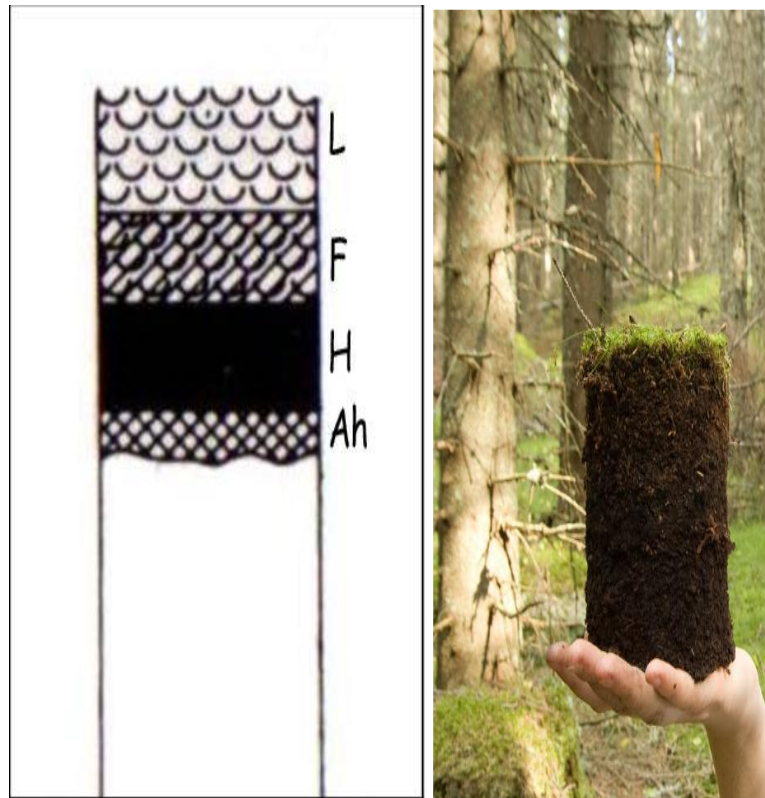


Figure 12 : humus de type mor (Brêthes, 1992)

Les mors ont un faible niveau trophique : pH très bas (<4,5), taux de minéralisation très faible (minéralisation par héritage domine). De plus ils constituent un " obstacle " à l'infiltration de l'eau et sont défavorables à la germination (toxicité et sécheresse).

Ces humus se rencontrent :

- * **sous climat très humide** (landes bretonnes par exemple) ;
- * **sous climat froid** (alpin ou boréal par exemple) ;
- * **sur roches-mères sableuses** (sables, grès quartzeux, arène granitique,), pauvres en bases et en fer (donc acides), pauvres en argile (donc incapables de former un complexe argilo-humique), et filtrantes (donc favorisant le lessivage) ;
- * à partir de végétation acidifiante ou acidiphile à C/ N très élevé

Le MOR se caractérise par la superposition de la matière organique au-dessus de la matière minérale.

A-2 Humus de type Moder

Dans le cas du MODER, la décomposition est meilleure, et la matière organique est un peu plus mélangée à la matière minérale, sans pour autant être liée à celle-ci par des liaisons physico-chimiques (Figure 13)

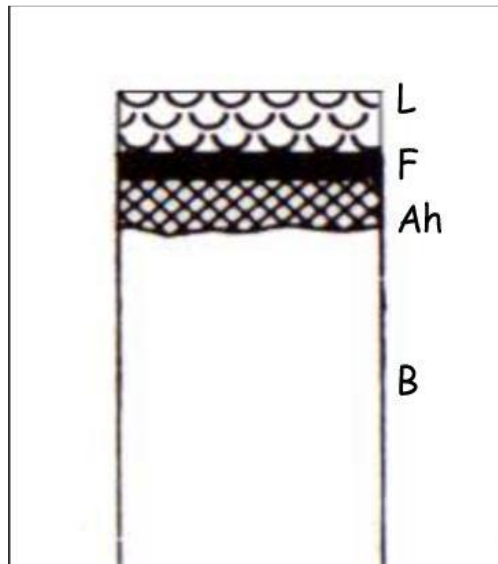


Figure 13 : humus de type Moder (Brêthes, 1992)

A-3 Humus de type Mull

Sont des humus bien aérés et qui évoluent tout au long de l'année en conditions aérobies. L'horizon A est généralement épais (de quelques centimètres à plus de 20 cm d'épaisseur).

On qualifie de mull les humus formés en présence d'une activité biologique élevée. Mais c'est le seul caractère commun des mull, qui diffèrent selon leur degré d'évolution et la vitesse de leur minéralisation. Ce qui frappe au premier abord chez le mull acide et surtout dans les mull doux, c'est la minceur de la couche humifère. C'est le signe que la minéralisation primaire des matières organiques fraîches et la minéralisation secondaire de l'humus sont actives que l'humine héritée est peu représentée dans l'humus : la lignine est complètement décomposée ; que l'humification se fait surtout par les deux voies de l'in solubilisation (humine d'in solubilisation abondante) et de la néo synthèse microbienne (l'humine microbienne peut représenter 10 % de l'humine, ce qui est important). (Figure 14).

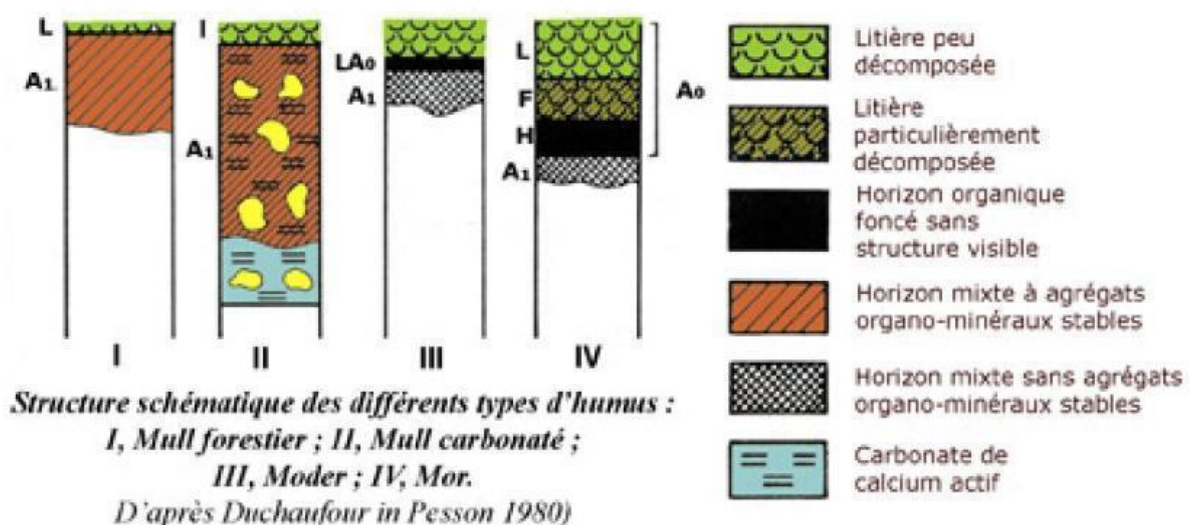


Figure 14 : les différents types d'humus (Brêthes, 1992)

Remarque

Les tourbes

Une tourbe est le résultat de l'accumulation d'une grande quantité de matière organique très peu décomposée. En effet, en milieu asphyxiant, l'activité biologique est très réduite. La minéralisation primaire et la libération de composés phénoliques solubles restent donc très faibles et limitées à la surface du sol plus aérée ; tandis que s'accumule une grande quantité de matière organique peu décomposée, donc **d'humine résiduelle**.

2.3 Les rôles de la matière organique dans les sols

2.3.1- les matières organiques améliorent les qualités physiques des sols :

Elles améliorent la structure des sols trop légers (sol sableux) dont elles cimentent les particules en agrégats stables, elles améliorent aussi la structure des sols lourds (sol argileux) dont elles diminuent l'adhésivité en les rendons plus friables. Donc elles régularisent l'humidité de tous les types de sols en favorisant l'évacuation de l'eau en excès des sols argileux, et en augmentant la capacité de rétention en eau des sols sableux.

La matière organique contribue à permettre aux sols de résister aux phénomènes de désagrégation, de tassement (stabilité de la structure) et de compaction grâce à sa capacité à former des complexes organo-minéraux stables qui confèrent au sol des propriétés plastiques. Elle contribue ainsi à assurer la capacité de respiration des sols (porosité), c'est à dire la bonne circulation des flux gazeux et liquides qui sont les conditions de bon fonctionnement des sols.

Elles ont un rôle central dans la structuration du sol et participent à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique.

Elles favorisent le réchauffement du sol (coloration plus sombre des matières organiques)

Elles contribuent à la perméabilité, l'aération du sol et la capacité de rétention en eau.

Protéger les sols contre l'érosion, disposer d'un couvert végétal ou d'un mulch de résidus en surface du sol et éviter les périodes où le sol reste nu

Préserver la structure du sol, favoriser l'aération et drainer l'excès d'eau

2.3.2- les matières organiques améliorent les qualités chimiques des sols

Par leurs réactions acides, ses propriétés colloïdales et leurs minéralisations continues, sources d'aliments pour la plante. Fournir au sol du carbone organique et des éléments nutritifs.

Elles participent à la fertilité du sol en favorisant la formation du complexe argilo-humique qui est responsable de la rétention des éléments minéraux important pour l'alimentation de la plante (La matière organique des sols est un produit colloïdal réactionnel chargé négativement qui peut fixer des cations).

2.3.3-- les matières organiques améliorent les qualités biologiques des sols :

Elles sont le support et l'aliment des êtres vivants du sol (bactéries champignons...), Elles stimulent l'activité biologique, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol.

2.3.4-les matières organiques jouent un rôle très important dans la pédogénèse :

La matière organique est surtout l'humus jouent un rôle très important la formation et l'évolution des sols

2.3 Les complexes colloïdaux (complexe Adsorbant argilo-humique)

Les micelles d'humus comme celles de l'argile chargées électro-négativement (de même signe). Ce pendant elles peuvent se lier en un complexe, cette liaison étant rendue possible par trois procédés (figures 15 et 16) :

1- l'intermédiaire des ions Ca^{2+} , formant un pont entre l'argile et l'humus (pont calcique) c'est une liaison très forte

2- l'intermédiaire des ions Fe^{+++} , c'est liaison faible

3- par fixation de l'humus sur certaines charges de l'argile est vice versa formant ainsi une liaison faible

Les cations (Ca^{++} , Mg^{++} ...) et les anions (NO_3^- , Cl^- ...) peuvent être retenues (fixés, adsorbés) par le complexe adsorbant argilo-humique (CAH) du sol c'est-à-dire l'ensemble des colloïdes du sol (argile, humus...) dotés des charges négatives.

Les ions (cations et anions) seront retenus sous une forme **échangeable**

Donc le CAH joue un rôle très important dans la fertilité du sol par son pouvoir adsorbant est échangeable.

L'humus et l'argile sont associés en un complexe : le Complexe Argilo-Humique. L'humus protège l'argile : en retenant l'eau, il évite sa dispersion. L'argile protège l'humus de l'action des micro-organismes en ralentissant sa minéralisation. Le tout forme un colloïde qui permet de stabiliser un sol.

Il s'agit d'un complexe adsorbant qui a la propriété de retenir des cations présents dans le sol (Mg^{2+} , Ca^{++} , K^+ , H^+) par des interactions électrostatiques. Ces éléments chargés positivement peuvent alors attirer des anions ou groupements anioniques, notamment les phosphates PO_4^{3-} . On parle d'adsorption (Figure 16). La capacité d'échange cationique (CEC) des CAH, exprimée en milliéquivalents par 100g de terre fin, avec le milieu environnant à une influence sur la fertilité chimique des sols. Le complexe argilo-humique sert aussi de ciment entre les particules les plus grosses et détermine la structure du sol c'est-à-dire mode d'agencement des particules minérales et organiques.

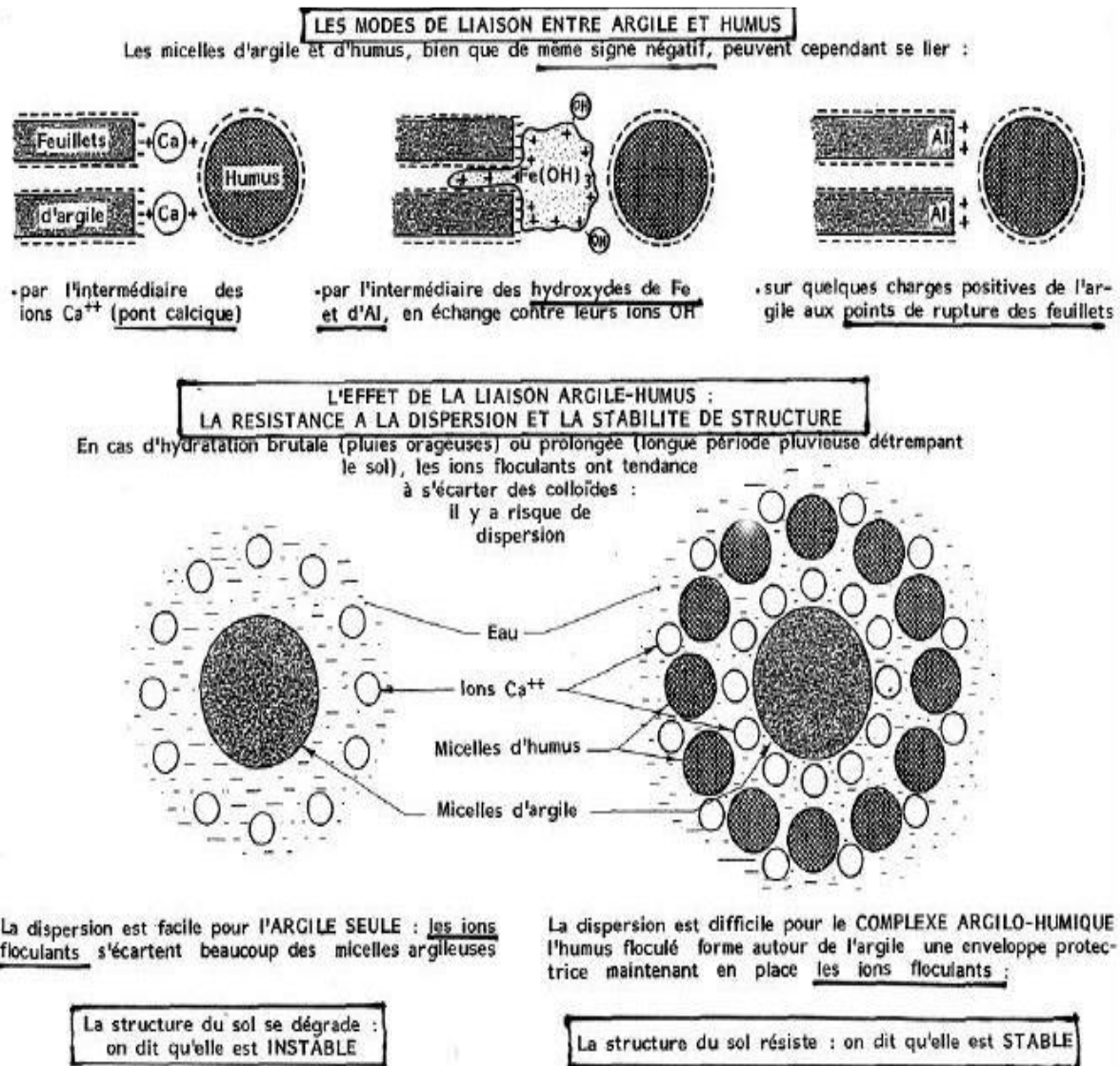


Figure 15 : Mode de liaison de l'argile et l'humus (complexe argilo-humique) (Soltner, 2003)

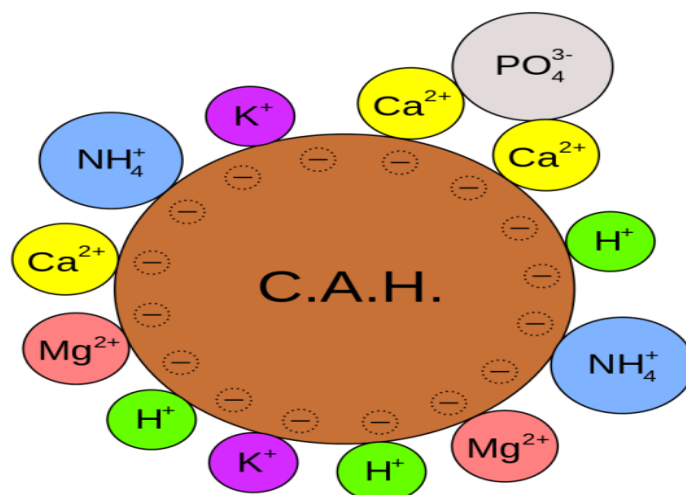


Figure16 : Complexe argilo-humique et fixation des cations et anions (Soltner, 2003)

3. L'organisation morphologique d'un sol

3.1 Les organisations élémentaires

En moyenne un sol est composé de :

- * 50% de matériel solide et 50 % d'espace porale
- * l'espace porale contient 25 % d'eau et 25 % d'air
- * le matériel solide est composé de matière organique et matière minérale avec 45 à 48 % pour les matières minérales et 2 à 5% pour la matière organique (Figure17).

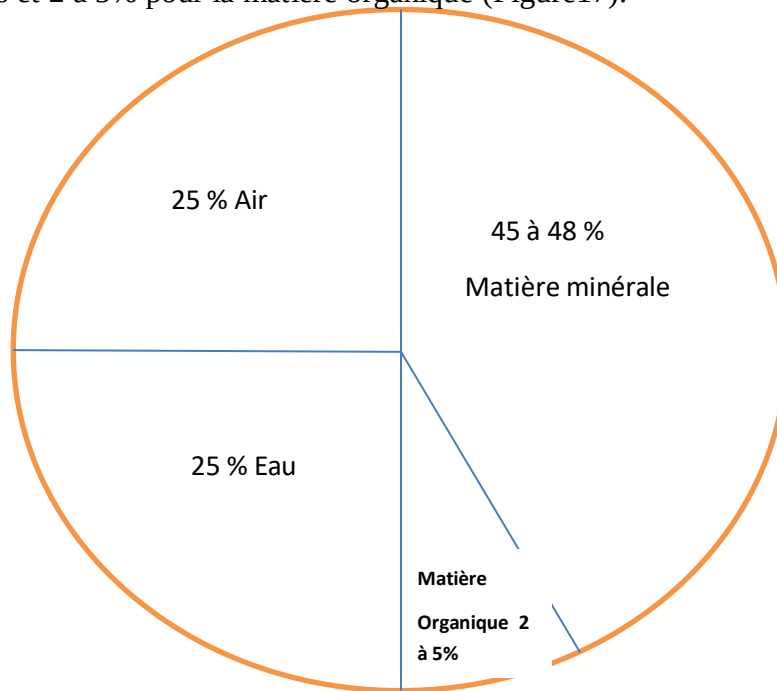


Figure 17 : composition volumétrique moyenne d'un sol

Donc les organisations élémentaires sont des volumes pédologiques qui assemblent les constituants. Ces organisations sont partiellement visibles à l'oeil nu, c'est à l'aide de microscope que l'on peut voir et décrire les particules primaires (argile, limon, sable, vides, couleur, trace d'activité biologique...etc)

Remarque : des constituants organiques et inorganiques sont associés de diverses manières pour constituer des ensembles qui confèrent au sol, ce qu'on appelle la structure

3.1.1 Les assemblages

Les particules minérales élémentaires (argile, limon, sable) forment des assemblages que l'on appelle agrégats et des mottes (sous l'effet de la matière organique, l'activité biologique, la chaleur, l'humidité ...etc).

On utilise parfois des expressions :

Particules primaires : éléments élémentaires

Particules secondaires : les agrégats, assemblage, mottes

Les assemblages, les agrégats et les mottes sont associés à leurs tours dans des ensembles plus grands appelés horizons du sol qui ont eu même une disposition bien déterminée, à la disposition verticale correspond le profil du sol et à la disposition latérale correspond l'organisation de la couverture du sol (Figure 18).

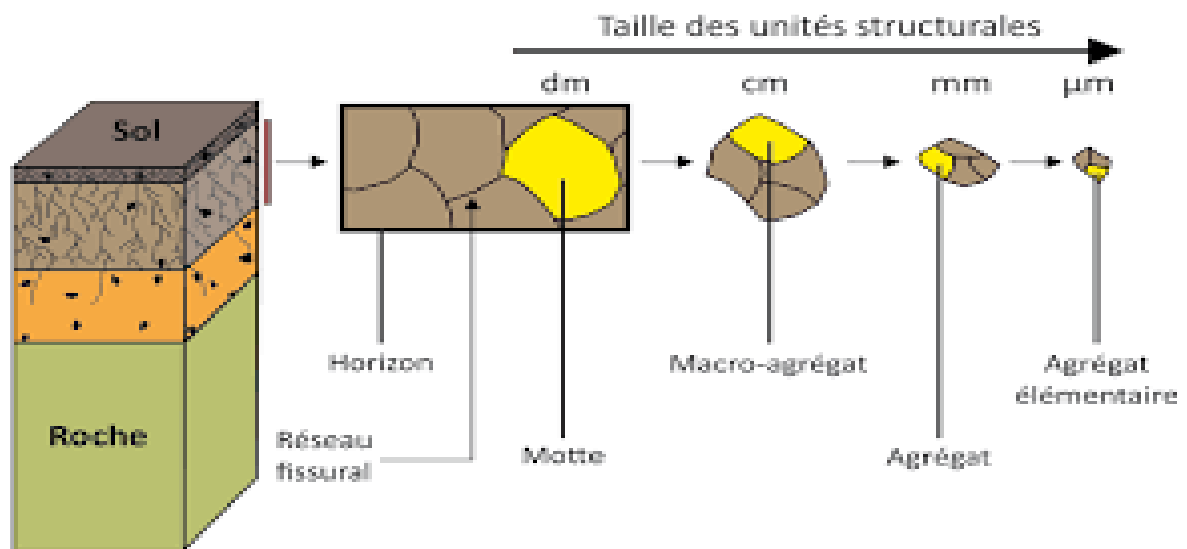


Figure 18 : taille des unités structurale d'un sol (Soltner, 2003)

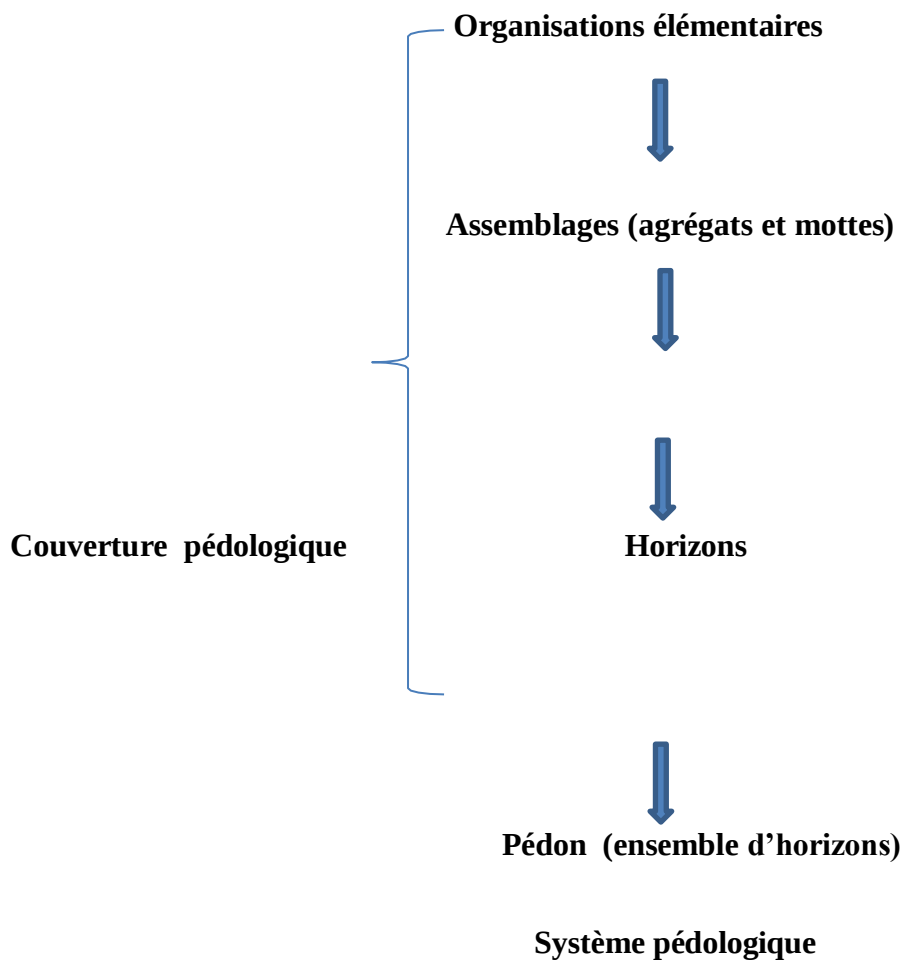


Figure 17 : organisation morphologique d'un sol

3.2 L'horizon pédologique

C'est un volume pédologique plus ou moins parallèle à la surface du sol, chaque horizon se décrit en termes d'un ou plusieurs types d'assemblage et leur relation.

L'horizon est généralement considéré comme l'unité de base de la caractérisation locale de la couverture du sol. Au total, il est distingué par sa couleur, sa structure, la nature de ses constituants, sa granulométrie...etc. (Figure 18 et 19).

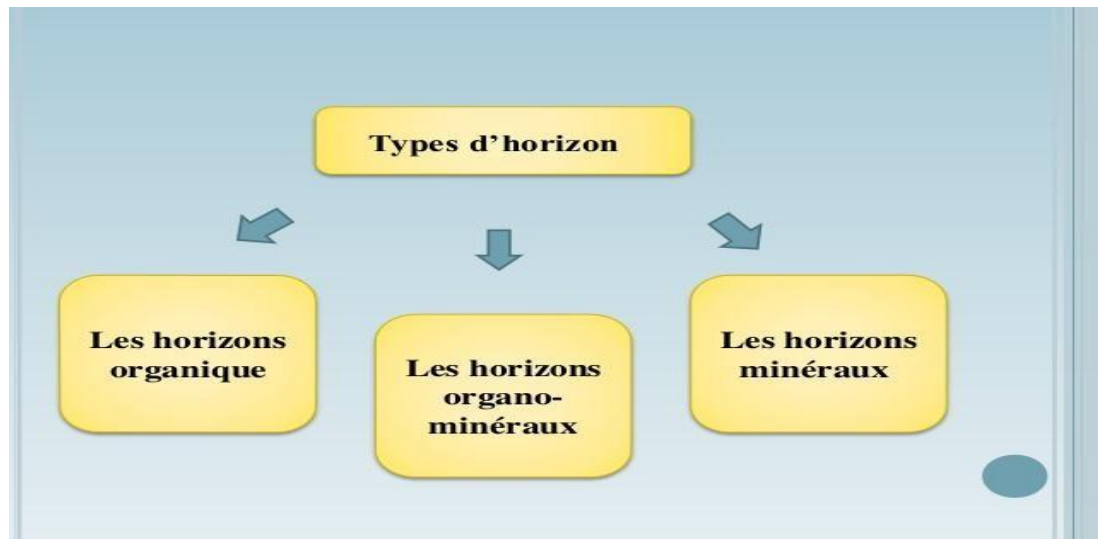


Figure 18 : les grands types d'horizons (AFES, 1995)

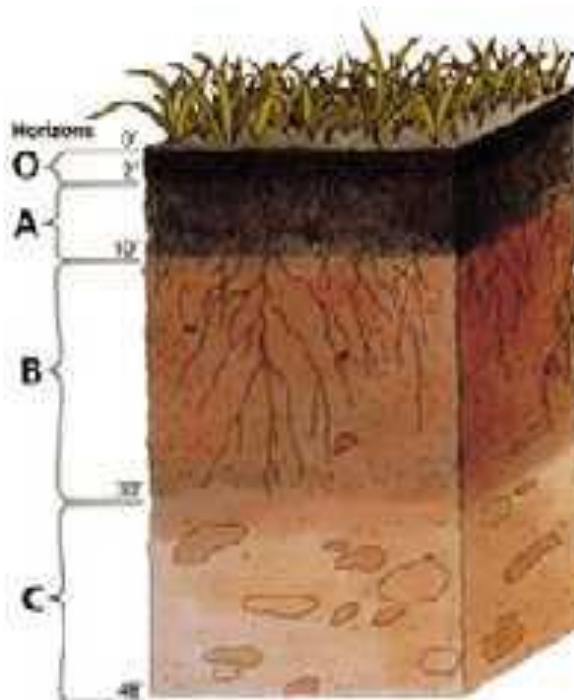


Figure 19 : Les différents horizons d'un profil de sol (AFES, 1995)

3.2.1 Horizon O

L'horizon O (O pour organique), appelé aussi horizon humifère ou horizon organique dans lequel les débris végétaux s'accumulent à la surface du sol, formant des débris plus ou moins dégradés, mais restent reconnaissables. Selon la composition et l'épaisseur qui varient avec l'intensité de l'activité biologique (action des détritivores saprophages, coprophages et nécrophages dans la dégradation et l'humification), et le climat (ou la présence d'inhibiteurs tels que certains métaux lourds ou toxiques), les pédologues distinguent plusieurs types :

OL : litière, couche de feuilles ou d'aiguilles mortes, encore reconnaissables. Cette couche de feuilles peut être divisée en deux parties suivant la vitesse de décomposition :

OLn : feuilles de l'année encore entières ;

OLv : feuilles vieilles, blanchies par un début de décomposition et commençant à être fragmentées.

OF : Couche de fragmentation dans laquelle les débris ne sont plus reconnaissables.

OH : Couche humifiée, absence de toute structure végétale reconnaissable à l'œil.

3.2.2 Horizon A

L'horizon A (appelé aussi horizon organo-minéral ou communément couche arable), est un horizon composé d'éléments minéraux et d'humus. Sa structure dépend de l'incorporation plus ou moins rapide de l'humus. Les horizons minéraux sont les moins riches en organismes vivants.

3.3.3 Horizon E

L'horizon E (E pour éluvial) est lessivé en argile ou en fer.

Remarque

L'illuviation est l'accumulation progressive de diverses substances (éléments organiques ou minéraux) dans l'horizon d'un sol sous l'action de l'écoulement hydrique vertical ou horizontal. Cet apport de matières provient d'autres horizons situés au-dessus (illuviation verticale) ou plus haut sur le versant (illuviation latérale ou oblique)

L'éluviation est l'appauvrissement d'un horizon supérieur, qui résulte de l'entraînement (le plus souvent vers un horizon inférieur dit horizon illuvial) de ces substances. Ces deux transports de matière forment des processus d'élu-illuviation.

Ce déplacement de matière dans la masse d'un sol (le long du profil ou selon la pente) concerne aussi bien des particules organiques et minérales non solubles ou solubles (les pédologues parlent de lessivage pour désigner ce déplacement). Lorsque le transport ne concerne que les éléments dissous, il s'agit de lixiviation. Lorsque cela concerne des particules en suspension, les pédologues emploient de préférence le terme d'illuviation.

Habituellement, l'argile, l'humus se lessivent et forment des lignes de cohérence et de couleur différentes, constituant des figures d'illuviation. Ces lignes sont importantes pour l'étude de la composition et l'âge des strates rocheuses. L'entraînement des argiles est plus spécifiquement appelé argilluviation.

3.2.4 Horizon B

L'horizon B (appelé aussi horizon minéral, horizon illuvial ou communément sous-sol), correspond à une accumulation de divers constituants, selon les cas : argile, fer, matière organique, carbonate de calcium, etc. Dans certains cas plutôt rares, il s'agit d'apports en provenance du haut du profil ou bien latéraux (exemple : carbonate de calcium). Mais, bien souvent, il s'agit d'un enrichissement plus apparent que réel. Il résulte pour une part de la transformation in situ des minéraux primaires issus de la roche sous-jacente et encore présents dans cet horizon B (néoformation d'argiles, libération et oxydation du fer...), et d'autre part, il apparaît comme résultant d'un contraste lié au fait que l'horizon E sus-jacent est lui, réellement appauvri.

3.2.5 Horizon C

C'est un horizon d'altération de la roche-mère dans lequel la transformation de celle-ci reste limitée si bien que nombre de ses caractères originels (litage, schistosité, minéraux) sont encore très visibles. Elle résulte de la météorisation mécanique (cryoclastie, thermoclastie, haloclastie et hydroclastie...), chimique (pourrissement de la roche par les transformations minérales, via divers processus impliquant essentiellement l'eau : hydratation-déshydratation, hydrolyse, oxydo-réduction, carbonatation par l'action du dioxyde de carbone, dissolution karstique) mais aussi biologique (biométéorisation commandée par des organismes vivants (flore, faune et microorganismes tirant leur alimentation du pourrissement de la roche). L'évolution minéralogique a déjà commencé ainsi que les pertes de matière sous forme d'ions solubles (altération chimique qui passe inaperçue).

3.2.6 Horizon R

Roche non altérée située à la base du profil. Elle est qualifiée de roche-mère dans le cas où elle est bien à l'origine du sol. Dans le cas contraire, celui-ci résulte d'un apport de matériaux par transfert latéral (exemple : coulée boueuse) ou bien à une origine fluviale ou encore éolienne.

Remarque 1

Agrégat : bloc de dimension < 1 cm

Motte : pour les blocs de dimension > 1 cm

Remarque 2

Les agrégats et les mottes sont des éléments de la structure on les appelle les éléments structuraux

3.3 Les profils pédologiques

Creuser un tranchant à partir de la surface jusqu'à la roche mère, suffisamment large pour qu'on puisse y descendre.

On remarque différentes couches horizontales ou horizons que l'on désigne par des lettres majuscules O, A, B, C. Ces horizons différents les uns des autres par leur : (couleur, épaisseur, texture, quantité de matière organique, activité biologique...). Ces caractéristiques sont observables à l'œil nu, sont utilisées par le pédologue lors de son étude sur terrain, pour repérer les limites de chaque horizon verticalement.

L'épaisseur d'un horizon varie de quelques centimètres à plusieurs mètres.

La superposition des horizons forme un profil pédologique (Figure 20).



Figure 20 : Profils pédologiques (Duchaufour , 1977).

Tableau 1 : fiche descriptif du profil pédologique

Profondeur (cm)	Test HCl	Couleur	Texture	structure	Matière organique	Activité biologique	Racines
O : cm	Négatif positif	Rouge Gr marron etc	Argile Sa Limon gravier	Compacte Aération ect	<u>Type</u> : anim ou végét <u>Aspect</u> Composé Décomposé Non ou p Odeur	<u>Nature</u> : V de ter insectes, animaux <u>Importance</u> Beaucoup, peu, ou non	Traçantes Profondes Mixtes <u>Quantité</u> <u>dense</u>
A : cm							
B : cm							
C : cm							

En plus de ça il faut mentionner : le lieu (coordonnées géographiques), la température, pluviométrie, la date, l'heure, l'altitude, l'exposition, la pente, le type de végétation, nature de la

roche mère sa dureté (Tableau 1).

3.4 Couverture pédologique

La couverture pédologie est ensemble des sols qui recouvrent le globe terrestre. Elle est en continuelle évolution, et se développe à la fois à partir de la roche mère profonde et à partir de la matière organique de surface. Pour déterminer et classer les différents types de sol qui la constituent, il faut procéder à des sondages et à description de profils pédologiques. Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques sont déterminées au laboratoire sur les échantillons de sol prélevés sur terrain

3.5 Le sol et l'eau

3.5.1 Généralité

L'apport d'eau au sol se fait sous forme de pluies, neige, rosée et brouillard. La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol, lorsque tous les vides et les pores sont remplis d'eau, le sol est saturé.

3.5.2 Les états de l'eau dans le sol

L'eau peut se trouver dans trois états à l'intérieur d'un sol, ces états se distinguent essentiellement par l'intensité des forces qui lient l'eau et les grains et selon sa disponibilité pour la plante. Les molécules d'eau sont soumises à trois forces : la pesanteur(P), l'attraction par les solides (F) et la succion par les racines (S). On distingue :

A- L'eau de gravité ou de saturation : contenue dans les espaces lacunaires, cette eau s'écoule par gravité, peut circuler dans les pores du sol sous l'effet de la force de gravité. La pesanteur entraîne cette eau tant que P est supérieur à F, ces deux forces s'égalisant au point de ressuyage. Ce point correspond à la quantité d'eau que le sol peut retenir, dépend de la texture du sol et son taux d'humus. Le point de ressuyage correspond à la capacité de rétention en eau ou **capacité au champ**. (Figure 21)

B- L'eau utilisable par la plante ou réserve utile (R.U.) : retenue sous forme de films assez épais autour des particules terreuses ou dans de fins capillaires. Cette eau est facilement absorbée par les racines (S est supérieure à F) jusqu'au point de flétrissement, où la force d'attraction par les solides (F) devient supérieure à la succion par les racines (S).

C- L'eau inutilisable par la plante : retenue sous forme de films très minces autour des particules terreuses, cette eau, trop énergiquement retenue, ne peut être absorbée par les racines.

Les trois forces s'exerçant sur l'eau du sol

Les molécules d'eau sont soumises à trois forces :

- La pesanteur P
- L'attraction par les solides F
- La succion par les racines S

La pesanteur entraîne l'eau tant que P est supérieure à F, ces 2 forces s'égalisant au point de

ressuyage. L'eau est alors disponible pour les racines. Mais au point de flétrissement, F devient supérieure à S : l'eau n'est plus utilisable

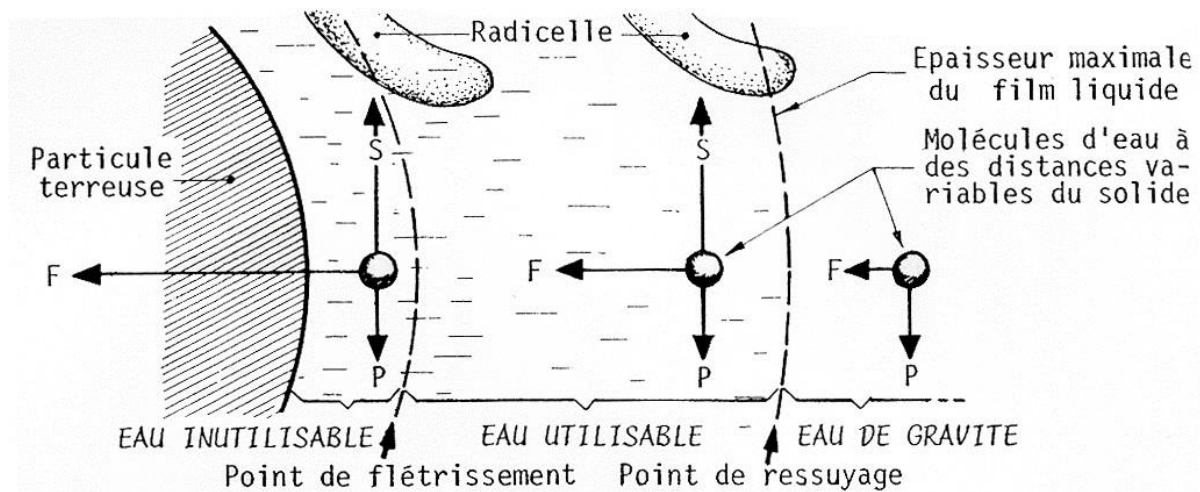


Figure 21 : les Etats de l'eau dans le sol (Soltner, 2003)

3.5.3 Les mouvements de l'eau du sol.

Ils sont de trois types ; mouvements descendants (action de la pesanteur sur l'eau de gravité), mouvements ascendants (capillarité) et mouvements latéraux (circulation oblique de l'eau gravitaire).

a. Mouvements descendants et latéraux.

Ils correspondent aux processus d'infiltration des eaux dans les sols et les formations superficielles. Cette infiltration est liée à la perméabilité du substratum et est exprimée par la vitesse d'infiltration de l'eau gravitaire. La perméabilité d'un sol est d'autant plus élevée que la porosité non capillaire (macroporosité) est importante. D'où l'influence prépondérante à cet égard de la texture du sol mais aussi sa structure et de sa stabilité.

Si la perméabilité du sol est élevée, son ressuyage est rapide. A l'opposé, si cette perméabilité est faible, particulièrement dans les horizons profonds, le drainage profil devient déficient et il se forme une nappe dite perchée, par engorgement plus ou moins prolongé des horizons de surface. Cet excès d'eau, même temporaire, est à l'origine de processus d'hydromorphie qui influencent fortement la pédogenèse (milieu réducteur, anaérobiose, accumulation de matière organique mal décomposée, dynamique particulière de fer, etc.).

La circulation latérale des nappes est liée à une topographie de versant. Les pédologues utilisent parfois le terme de « lessivage oblique » pour désigner les mouvements latéraux des nappes. Cette circulation latérale des eaux d'infiltration joue un rôle important dans la formation de certains sols à horizons profonds indurés (cuirasses ferrugineuses tropicales, sols isohumiques à croûtes calcaires, etc.).

b. Mouvements verticaux ascendants.

Ils s'effectuent par remontées capillaires lorsque l'évaporation est suffisante pour déclencher le mouvement ascendant de la solution du sol. Ce mouvement peut être entretenu par la présence d'une nappe phréatique peu profonde.

3.6 L'atmosphère du sol

Le sol est un matériau poreux. Les constituants gazeux (contenus dans les cavités du sol), appelés atmosphère du sol, proviennent de l'air de l'atmosphère externe, de la vie des organismes et de la décomposition des composés organiques. L'air du sol est constitué de plusieurs gaz : Azote, l'oxygène, le gaz carbonique, méthane...

Tableau 2 : Composition de l'air et de l'atmosphère du sol (Soltner, 2003)

Constituant	Constituant Air du sol (%)	Atmosphère extérieure (%)
Oxygène	18 à 20,5 en sol bien aéré, 10 après une pluie	21
Azote	78,5 à 80	78
Gaz carbonique	0,2 à 3,5 5à 10 dans la zone autour des racines	0,03
Vapeur d'eau	variable	variable
Gaz rares	1%	traces

L'air du sol est en contact avec l'atmosphère via un réseau de pores interconnectés. La diffusion de cet air est freinée en proportion de la profondeur, de la taille des pores et de leur remplissage par l'eau du sol. Cet air « atmosphérique » est ensuite modifié par les organismes qui y respirent, en particulier les racines des végétaux (la moitié de la respiration du sol est d'origine végétale) et les microorganismes (bactéries, champignons).

3.7 Température du sol

- **Le soleil** : est la source principale de la chaleur du sol (les rayons solaires sont la principale source de chaleur du sol, mais l'atmosphère qu'ils traversent retient plus de la moitié, donc la chaleur reçue dépend de sa couleur : la couleur noire du sol riche en humus les rendent plus chauds, les sols de couleur claire s'échauffent plus lentement)

La quantité de chaleur reçue par le sol varie en fonction de :

- L'humidité de l'air,
- La couverture du sol (végétation),
- La couleur du sol (un sol de couleur sombre se réchauffe plus rapidement qu'un sol clair),
- Son humidité (un sol sec se réchauffe plus rapidement qu'un sol humide),
- Son exposition (le sol exposé au sud se réchauffe plus rapidement que le sol exposé au nord).

- **L'inclinaison** : liée à la latitude à l'heure du jour et à la topographie
- **L'humidité** : l'eau à la chaleur spécifique la plus élevée
- **La couverture du sol (les végétaux et la matière organique)** : qui limite sont réchauffement et sont refroidissement.

Il existe aussi d'autres sources de chaleur du sol :

*la chaleur interne du globe

* la chaleur dégagée par la fermentation et la respiration des êtres vivants Il existe des **sols chauds** et des **sols froids** :

Les sols froids : sont des sols humides, une couleur claire est une mauvaise exposition, peuvent ralentir le réchauffement

3.9 Les couleurs du sol : La couleur est un critère variable avec l'état d'humidité du sol. On la décrit classiquement à l'état humide ; un sol sec sera au préalable ré humidifié. Les couleurs sont relevées de préférence à l'ombre, ou avec le soleil dans le dos. On donne la ou les teinte(s) générale(s) de l'horizon ainsi que celle d'éventuelles taches. Voyons à travers quelques exemples, ce que nous indiquent les couleurs du sol :

3.9.1 Noir

La couleur gris-noire est généralement associée à la présence de matières organiques dans le sol. On observe très souvent un gradient décroissant des teneurs en matières organiques le long des profils de sol en lien avec les apports de qui s'effectuent à la surface du sol (fumier, lisier, feuilles mortes, etc.). Dans des conditions bien spécifiques, on peut également observer, en profondeur, des horizons très riches en matière organique. C'est le cas des sols tourbeux dans lesquels la saturation permanente en eau du sol entraîne une accumulation de matière organique.

3.9.2 Blanc

Elle est caractéristique d'une accumulation de sels dans le sol et est utile pour détecter des sols carbonatés ou salés.

3.9.3 Couleurs vives associées au fer

Le fer est un des constituants déterminant dans la couleur des sols. Selon la forme sous laquelle il se trouve dans le sol, cet élément prend des couleurs contrastées et différentes. Ainsi, en présence d'oxygène dans le milieu, on trouve le fer sous sa forme oxydée, le fer ferrique Fe^{3+} , qui forme des taches dont la palette de couleurs est assez large (du jaune-orangées au rouge-brun). Quand les êtres vivants du sol n'ont plus assez d'oxygène à disposition, il arrive qu'ils utilisent celui qui est fixé au fer. Ce dernier passe alors sous sa forme réduite, le fer ferreux Fe^{2+} , et prend alors des teintes gris-vert.

3.9.4 Couleurs pâles

Elles traduisent des phénomènes d'appauvrissement du sol en certains éléments colorants tels que le fer ou les argiles. En effet, nous avons vu que sous forme réduite le fer devient mobile. Il peut alors migrer dans le profil et s'accumuler à un autre endroit (transport vertical, latéral). Des phénomènes de migration d'argile associée au fer peuvent également se produire, depuis des horizons « éluviaux », qui s'appauvrissent, vers des horizons « illuviaux », d'accumulation. Ce processus est appelé lessivage. Des couleurs pâles s'observent également dans des sols qui se développent sur une roche pauvre en fer (exemple. : des argiles blanches). Les sols présentent donc une grande diversité de couleurs dont l'étude nous permet de formuler des hypothèses sur leur composition et leur fonctionnement. Certaines sont héritées de la roche mère (par exemple, le calcaire peut colorer le sol en blanc), d'autres résultent de mécanismes complexes qui se déroulent au cours de la vie du sol. La couleur du sol est déterminée par référence avec un code de couleurs. Les pédologues utilisent pratiquement tous le code Munsell (Figure 22).

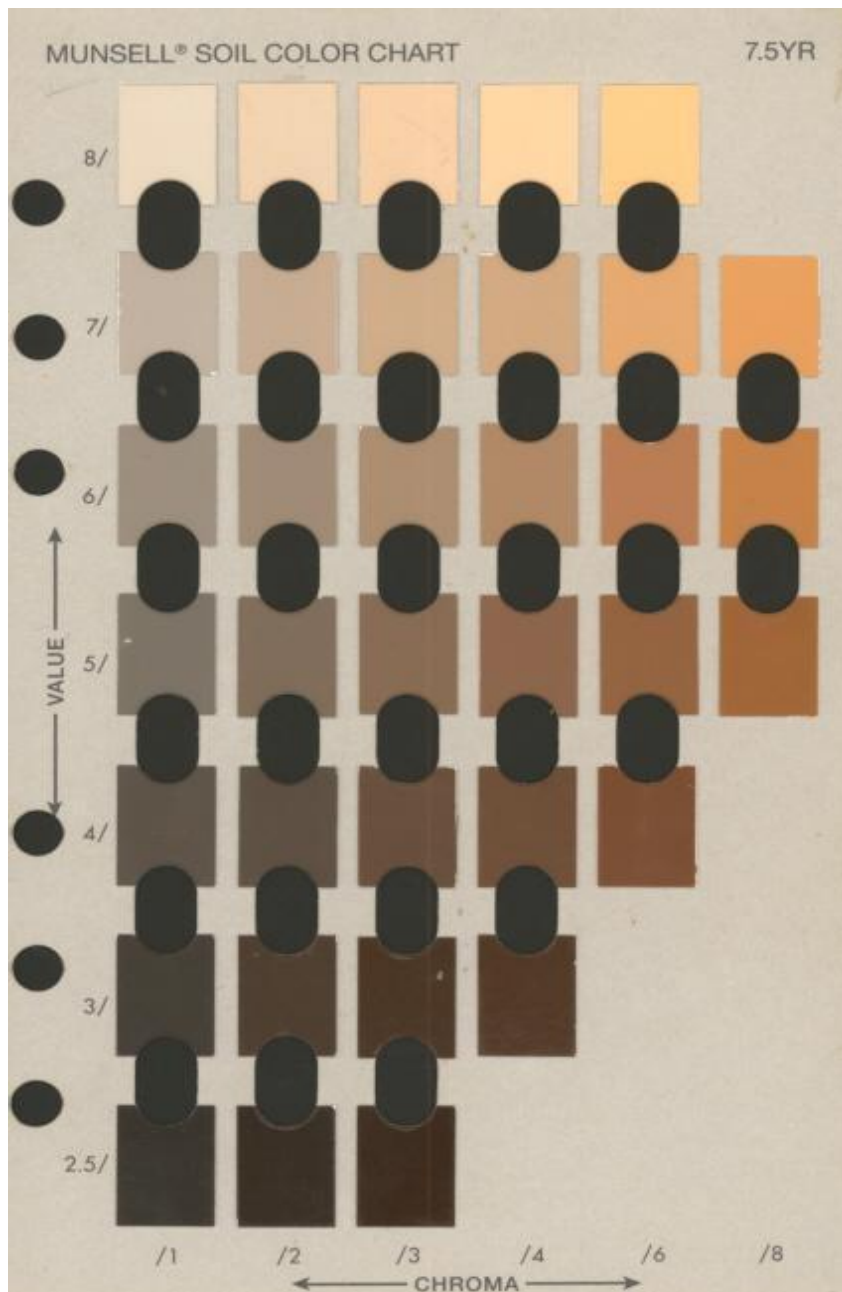


Figure 22 : Chart des couleurs des sols (Duchaufour , 1977).

3.10 Structure

Est une propriété physique du sol qui peut être définie comme suit :

C'est le degré et mode d'agrégation des particules élémentaires des sols c'est-à-dire le taux de cimentations des particules du sol pour former une unité secondaire en d'autres termes la structure est l'arrangement spatiale des particules minérale du sol et leurs modes de liaison par la matière organique (humus) et les éléments minéraux simples ou complexes (Ca^{++} , Mg^{++} , hydroxydes de fer.).

Deuxième définition : La structure d'un sol est le mode d'assemblage, à un moment donné, de ses constituants solides. Les colloïdes minéraux et organiques agissent comme des ciments qui soudent les particules de sable et de limon pour former des mottes et des agrégats. La structure se caractérise par la dimension, la forme et la disposition des agrégats les uns par rapport aux autres. Contrairement à la texture, la structure n'est pas stable dans le temps ; elle fluctue selon

l'humectation et la dessiccation du sol, selon les interventions culturales, les effets des systèmes racinaires des espèces cultivées, etc.

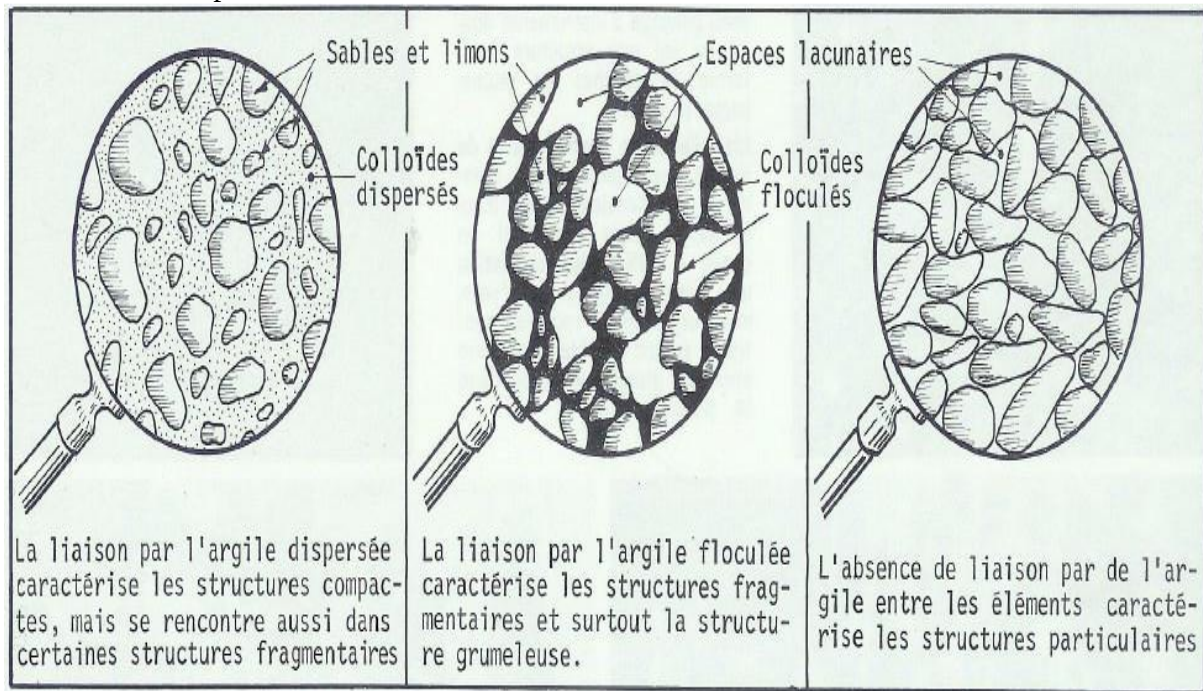


Figure 23 : Les trois grands types de structure d'un sol (Soltner, 1992)

3.10.1 Les structures particulaires (élémentaires)

Faute de colloïdes minéraux ou organiques, les particules élémentaires de sable et de limon sont entassées les unes à côté des autres sans aucune liaison. Il n'y a pas d'agréats ou de motte. Il s'agit d'une absence de structure.

Donc c'est une structure défavorable :

- si la texture est sableuse, le sol est filtrant mais ne retient pas l'eau ;
- si la texture est limoneuse, le sol a tendance à se tasser, à être peu perméable. (Figure 23)

3.10.2 Les structures compactes

Ce type de structure se forme dans les sols qui contiennent des argiles en proportion parfois très importante. Toute la couche de sol forme un bloc unique, les agrégats et les mottes ont une forte cohésion. Aucun vide n'existe entre les particules qui forment un bloc.

Donc c'est une structure défavorable :

- manque de perméabilité à l'eau et à l'air ;
- grande résistance à la pénétration des racines ;
- difficultés de travail du sol

3.10.3 Les structures fragmentaires

C'est le type de structure le plus fréquemment observé dans les sols cultivés. Les constituants du sol sont assemblés en agrégats et mottes plus ou moins gros.

Les constituants sont rendus solidaires par le complexe C.A.H. ils constituent des agrégats plus ou moins gros, entre lesquels se trouvent des vides permettant la circulation de l'air et de l'eau et la pénétration des racines.

3.11 Porosité

La porosité totale représente le volume des espaces lacunaire remplis d'air ou d'eau exprimée en pourcent (%) du volume total de la terre en place.

Elle est donnée par la formule : $P \% = D - D_a \times 100$. Dont laquelle D est la densité réelle du sol sec, c'est-à-dire des particules solides (il est de l'ordre de 2,5 à 2,6 kg/dm³, un peu moins pour les sols très calcaires ou très humifères, ces deux éléments étant plus légers que les constituants d'origine siliceuse) ; et Da ou (D') la densité apparente du sol en place (variant généralement entre 1,2 à 1,6)

Il existe trois types de porosité selon la taille des pores :

- **Microporosité (m)** : la taille des pores $\varnothing < 0,2 \mu\text{m}$ elle retient l'eau inutilisable
- **Méso-porosité (m')** : ou **porosité capillaire, ou capacité de rétention en eau** : correspond aux volumes des pores dont le $\varnothing [0,2 \text{ à } 50 \mu\text{m}]$ retient l'eau utile pour la plante
- **Macroporosité (M)** : ou porosité non capillaire : correspond à l'ensemble des pores les plus grands remplis d'air $\varnothing > 50 \mu\text{m}$

La porosité totale = m + m' + M

3.11.1 Mesure de la porosité d'un sol

La figure 24 montre les différentes étapes de mesure de la porosité d'un sol.

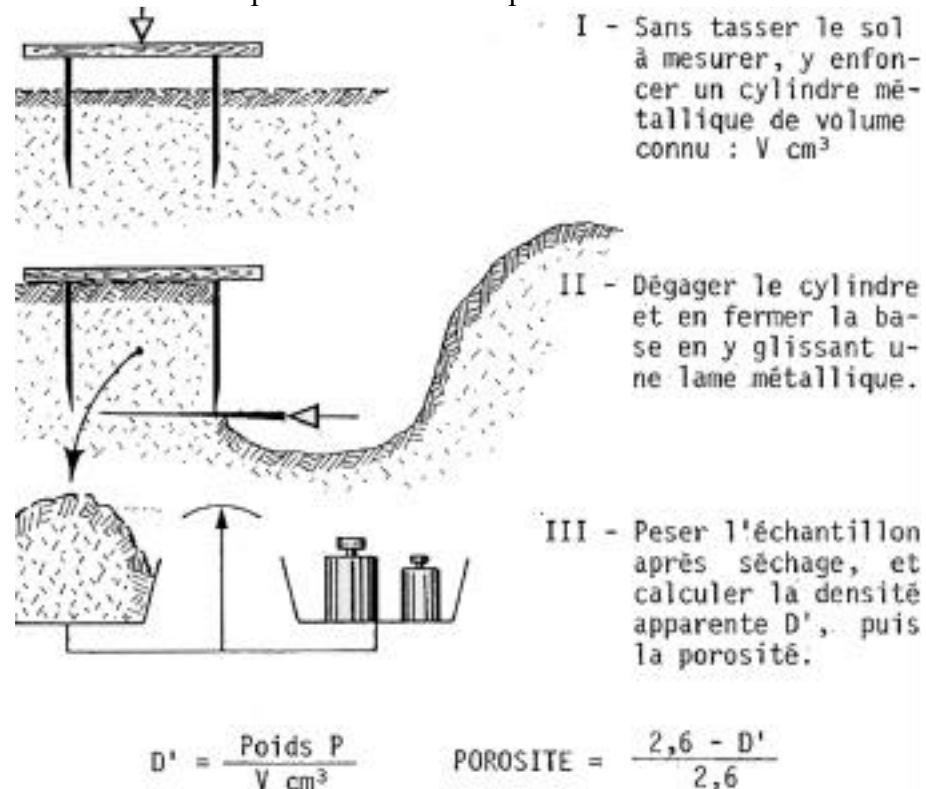


Figure 24 : Etapes de mesure de la porosité d'un sol (Baize, 2000)

La structure d'un sol dépend :

- de la répartition granulométrique
- de la nature minéralogique des argiles
- des oxydes de fer
- des successions dessiccation-humectation
- de la matière organique
- de l'activité biologique : faune, microflore, racines
- des actions humaines : pratiques et outils (tassement, semelle, scellement de la porosité).

3.12 La perméabilité du sol

Elle dépend de la texture du sol mais surtout de sa structure, la perméabilité d'un sol est d'autant plus importante que sa porosité (macroporosité est plus importante) donc

les sols perméables sont des sols :

- Soit à Texture grossière ou domine les sables et gravier
- Soit à structure fragmentaire est surtout particulière

Les sols imperméables :

- Soit des sols à texture fine (argile, limon)
- Soit des sols à structure compacte ou domine l'argile
- Soit des sols reposant sur un horizon imperméable (roche mère imperméable)

4. Les propriétés chimiques du sol

4.1 Les phénomènes d'échanges des ions

4.1.1 Le pouvoir adsorbant et les mécanismes d'échange

Le pouvoir adsorbant est une propriété des colloïdes, en effet les cations et les anions peuvent être retenus par le complexe adsorbant du sol c'est-à-dire l'ensemble des colloïdes (substances humiques, argile etc) dotés des charges négatives, les ions sont retenus sous la forme

Échangeable. En d'autres termes si on traite un sol par une solution contenant des ions différents ils seront retenus par le sol et il y aura un échange entre les ions du complexe adsorbant et ceux de la solution du sol.



L'adsorption ionique dans le sol peut être considérée comme réversible.

Les ions échangeables du complexe adsorbant sont en équilibre avec la solution du sol. Toute modification de la composition de la solution du sol provoque un changement de cet équilibre donc le pouvoir adsorbant est la propriété que possède le complexe C.A.H du sol de retenir à sa surface des ions provenant de la solution du sol (Figure 25).

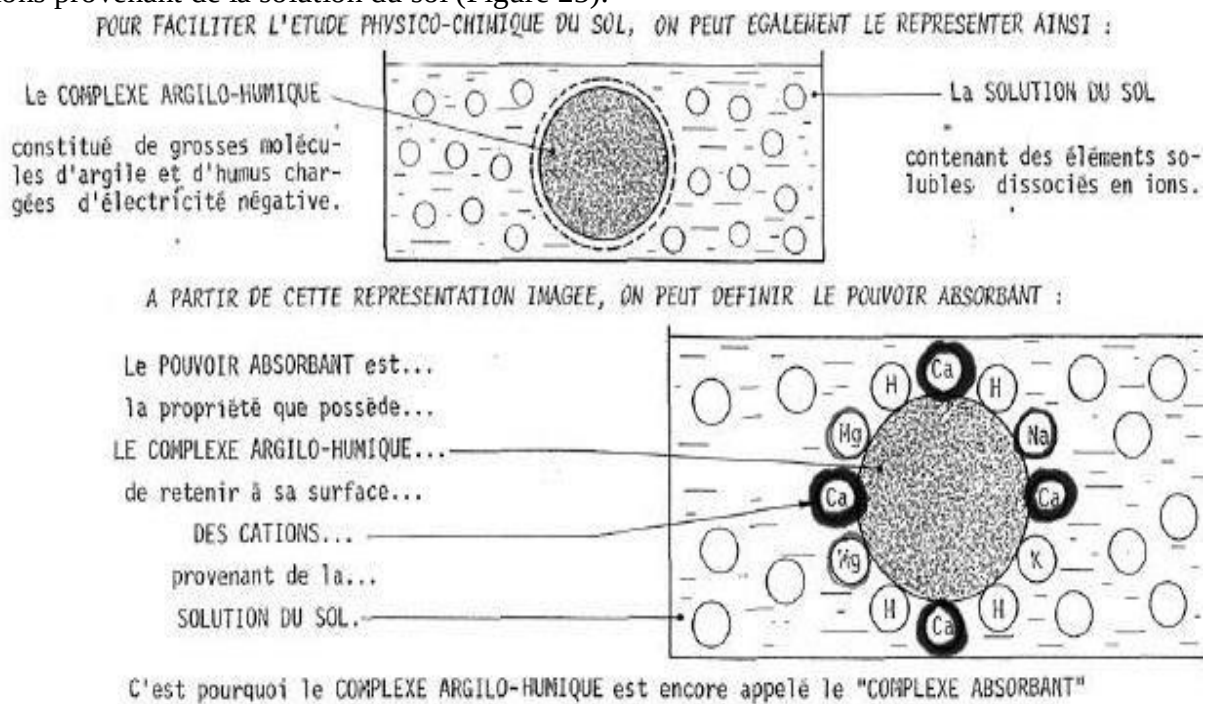


Figure 25 : le pouvoir adsorbant (Soltner, 2003)

On mesure la quantité des cations métalliques retenus dans un sol (le maximum correspondant à la capacité d'échange cationique (CEC) de ce sol) en unités « milliéquivalents » (Meq) : l'équivalent d'un corps est le rapport masse atomique/valence de ce corps, et le milliéquivalent en est le millième. Par exemple, un sol qui a une capacité d'échange de 20 Meq pourrait retenir : en Ca : $20 \text{ Meq} \times 40/2 = 400 \text{ mg de Ca/100 g de sol}$

en Na : $20 \text{ Meq} \times 23/1 = 460 \text{ mg de Na/100 g de sol}$ La fixation des ions sur les colloïdes du sol

Le complexe argilo-humique échange constamment des ions avec la solution du sol, l'intensité de fixation des cations dépend de leur valence et de leur hydratation

4.1.2 Fixation selon la valence et l'état d'hydratation des ions

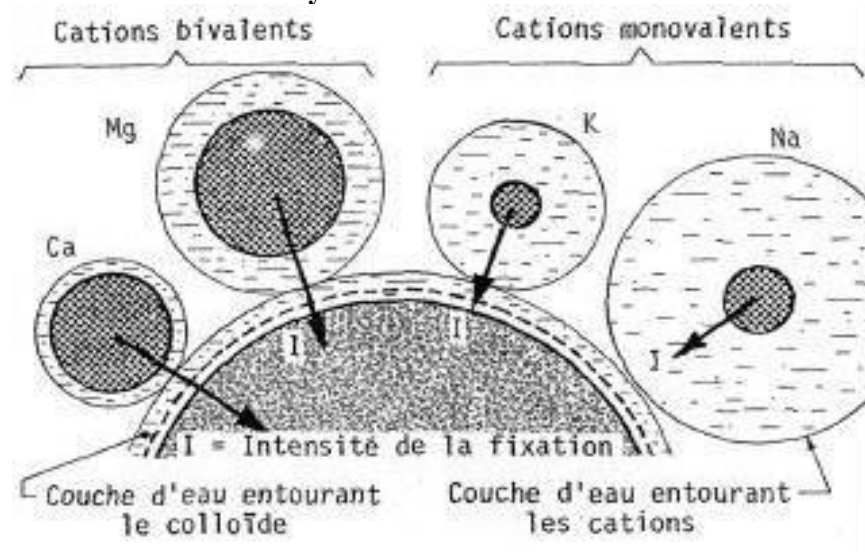


Figure 26 : Fixation des ions en fonction de la valence (Soltner, 2003)

Les ions bivalents Ca et Mg, sont plus énergiquement fixés que les monovalents. Plus les cations sont entourés d'une couche d'eau importante, moins ils peuvent s'approcher des colloïdes. Pour cette raison, le sodium, bien qu'étant un ion flocculant, assure la flocculation la moins stable (figure 26).

4.1.3 Les mécanismes d'échanges d'ions entre le complexe et la solution du sol Exemple 1 : remplacement d'ions H^+ par des cations Ca^{2+}

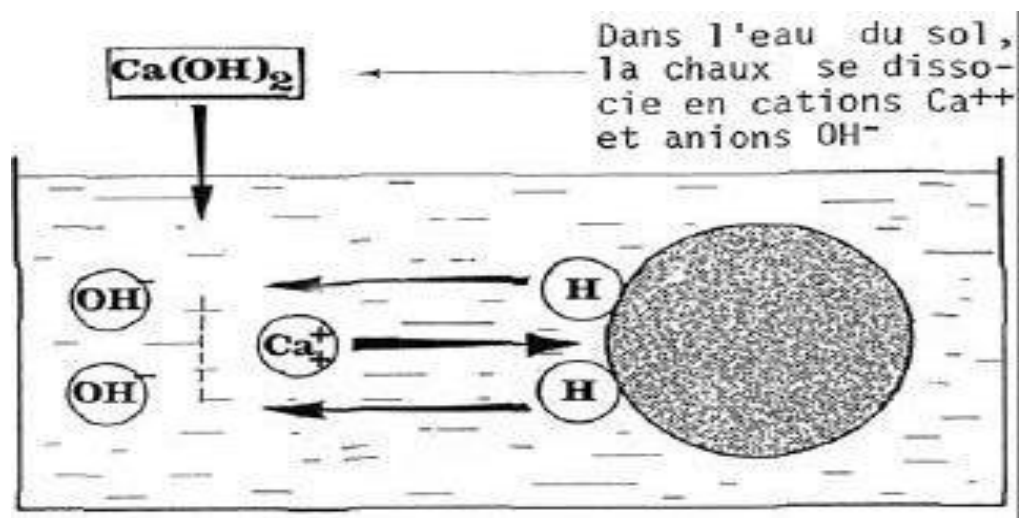


Figure 27 : Remplacement d'ions H^+ par des cations Ca^{2+} (Soltner, 2003)

Un cation Ca^{++} prend sur le complexe la place de deux ions H^+ , qui s'associent aux ions OH^- pour former de l'eau. Cette neutralisation d'ions H^+ fait baisser l'acidité du sol ; les amendements calcaires permettent donc de lutter contre l'acidité du sol

Complexe $H^+ + Ca^{++} + (2OH^-)$ Complexe $Ca^{++} + 2H_2O$ (Figure 27)

Exemple 2 : échange de cations Ca^{2+} contre des cations K^+ (Figure 28)

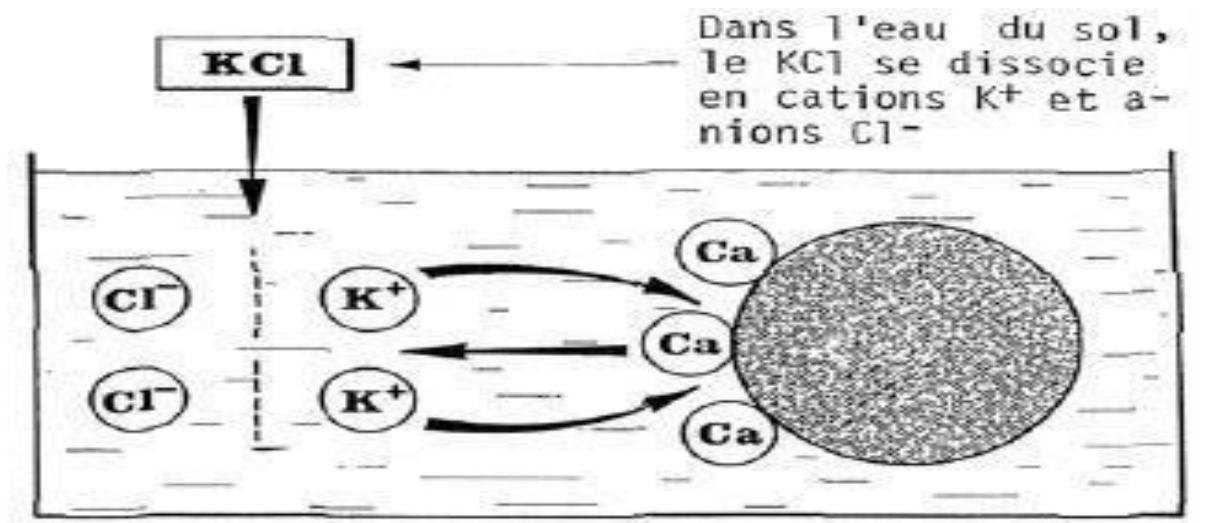


Figure 28 : Echange de cations Ca^{2+} contre des cations K^+ (Soltner, 2003)

4.1.4 Les valeurs caractéristiques du complexe adsorbant a- La capacité d'échange cationique (CEC) ou (T) :

C'est la quantité maximale des cations qu'un sol peut adsorber (pour 100 g de matière sèche), c'est-à-dire le totale des charges négatives du sol disponible pour la fixation :

- Des ions H^+ , ...
- Des cations appelés les bases échangeables : Ca^{++} , Mg^{++} , K^+

La CEC d'un sol dépend de la nature des colloïdes de ce sol et du pH de ce sol.

b- La somme des bases échangeables (S) :

C'est la somme des quantités des cations basiques échangeables fixés sur le complexe C.A.H à un certain moment

c- Le taux de saturation (V % ou S/T) :

C'est le rapport de la somme des bases échangeables sur la CEC exprimé en %. Il est variable d'un sol à l'autre et au sein et pour un même sol d'une année à l'autre (saison)

Remarque :

La fixation des ions suit un ordre préférentiel, les cations habituellement fixés sur le complexe C.A.H sont :

- Les ions H^+
- Les cations métalliques tel que Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ fixés en quantité importante, d'autres en quantité limités tels que les ions ammonium NH_4^+ les oligo-éléments tels que Fe^{+++} , Cu^{++} etc

Les cations : $\text{Na} < \text{Mg} < \text{Ca} < \text{K} < \text{Ba} < \text{H}$

Remarque : le sol peut aussi fixer des anions sur le C.A.H : $\text{SO}_4^- > \text{F}^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^-$.

4.2. - Les propriétés électroniques du sol

4.2.1 Le pH du sol

Le pH d'une solution est la quantité des ions H^+ libres qu'elle contient

Le pH d'une solution (potentiel hydrogène) est égal à l'opposé du logarithme (base 10) de sa concentration en ions H^+ .

$$\text{pH} = -\log_{10}([\text{H}^+])$$

Le pH de l'eau varie de 0 à 14, cependant la réaction d'un sol ne concerne pas que sa solution

Définition de l'acidité du sol :

C'est la présence plus ou moins de grande quantité des ions H^+ fixés par le C.A.H par rapport aux ions OH^-

L'acidité est le principal facteur qui joue sur la dynamique des éléments minéraux et leur disponibilité (absorption) pour la plante.

Exemple :

* $pH < 6$ certains éléments seront bloqués (deviens sous une forme insoluble) donc la plante ne peut pas les absorber (capter) comme le phosphore on assiste à un phénomène de carence (manque) chez la plante.

* $pH > 8$ certains éléments comme le fer et le Mg leur solubilité deviens excessive (éléments deviens en abondance) et on assiste à un phénomène de toxicité.

Remarque : le pH du sol joue un rôle dans l'activité biologique (pH acide freine l'activité des bactéries).

4.2.2 Le pouvoir tampon et la résistance du sol aux variations du pH

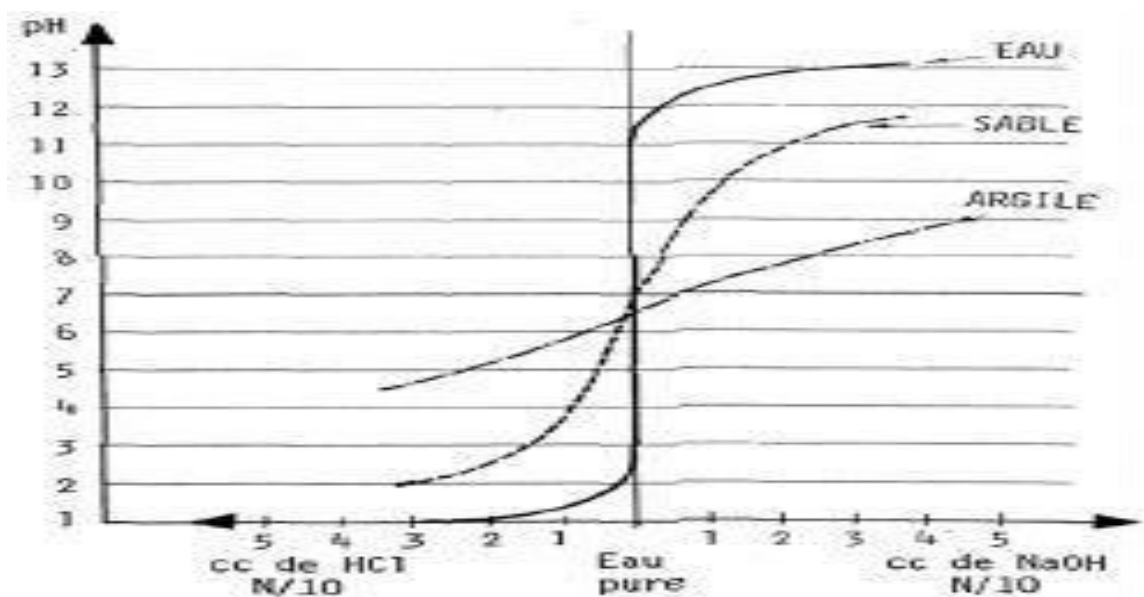


Figure 29 : le pouvoir tampon d'un sol (Soltner, 2003)

A la suite d'une introduction dans une solution, d'une quantité Q de

base, 1cc de soude N/10 par exemple ou d'un acide 1cc de HCL N/10, le pH de cette solution passe :

- de pH 7 à pH 12,5 dans l'eau pure (le pH varie brusquement pour une goutte de base) et de 7 à 1 pour une goutte d'acide
- de pH 7 à pH 9,5 dans une solution d'eau + terre sableuse (le pH varie moyennement)
- de pH 7 à pH 7,3 dans une solution d'eau + terre argileuse (le pH varie très lentement)

On dit que la terre argileuse a un pouvoir tampon plus élevé que la terre sableuse, car elle résiste mieux aux causes de variation du pH ce pouvoir est lié a la présence des colloïdes du sol (argiles, humus...)

4.2.3 Les éléments chimiques du sol :

On distingue les nutriments de base absorbés souvent en grandes quantités par les plantes ce sont les éléments majeurs qui sont indispensables a la croissance de la plante comme par exemple : N.P.K.Ca. Mg....., les éléments mineurs qui sont aussi indispensables mais

Demandés en petites quantités comme par exemple : Fe, Cu, Mn, On peut ranger les éléments

chimiques en quatre groupes :

A- Les principaux cations métalliques : (bases échangeables) Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ A1-Le Calcium :

Aliment des microorganismes, des plantes et même des animaux, il participe à :

La maturité des fruits, joue un rôle dans la pédogenèse et un rôle dans la formation du C.A.H Il existe plusieurs formes du calcium dans le sol :

Le calcaire inactif : ce sont les carbonates de calcium à l'état grossier (bloc, gravier) non soluble ou à solubilité faible dans l'eau et se dégrade par les acides

Le calcaire actif : c'est le carbonate de calcium mais à l'état pulvérulent, ces particules sont fines de taille du limon ou de l'argile, sont facilement attaqués et solubilisés dans l'eau et les acides carboniques

Le calcium échangeable : représente les ions Ca^{++} adsorbés sur le complexe CAH

Le calcium soluble : comme la chaux $\text{Ca}(\text{OH}_2)$

A2-le Magnésium :

Principale associé avec le calcium, ce trouve dans les mêmes formes que le calcium sous forme complexe insoluble et sous forme soluble et échangeable, il est abandon dans la dolomie.

A3-Le Potassium :

Il se présente sous deux formes :

***le potassium insoluble ou inassimilable**

-le potassium échangeable ou assimilable

C1- le potassium inassimilable : comprend deux formes :

Le potassium insoluble : lié aux minéraux de la roche mère (les minéraux silicatés de type Mica, Feldspath) et aux argiles proches des Mica comme l'illite

Le potassium rétrogradé : ou fixé entre les feuillets d'argile de type Montmorillonite, il devient difficilement échangeable.

C2- le potassium échangeable ou assimilable : c'est la forme facilement utilisable à l'état des ions libres dans la solution du sol ou adsorbé sur le C.A.H

B- les principaux anions (Azote, phosphore, soufre)

B1- Le Phosphore :

Le phosphore dissout dans la solution du sol est assimilable : (en fonction de la valeur du pH)

P_2O_5 facilement assimilable

$H_2PO_4^-$ à pH acide

$H_2PO_2^-$ à pH basique supérieur à 8

- **le phosphore adsorbé** : est plus ou moins échangeable fixé sur l'argile et l'humus

- **le phosphore peu soluble ou insoluble** : contenue dans les roches mères

- **le phosphore organique**

B2- l'Azote : il ya trois sources principales d'azote :

Source atmosphérique (azote gazeux N_2)

Source organique : (protéines, acides aminés peptides...)

Azote des engrais

Il se présente sous trois formes :

Azote organique : est la réserve d'azote du sol sous forme d'humus **Azote**

ammoniacale : NH_4^+ forme transitoire, mais retenue par le C.A.H **Azote**

nitrique : NO_3^- c'est la forme principalement d'adsorption d'azote

C- le soufre

D'origine organique et minérale : la minéralisation de la matière organique libère des ions SO_4^{2-} et l'altération des roches mères peut donner des sulfates.

Les trois éléments aux rôles pédologiques et physiologiques capital

Le fer : joue un rôle très important dans l'alimentation de la plante, la respiration (cycle de creps) ..ect.

Le fer renseigne par sa couleur que donne au sol sur ces différentes formes, sur son état d'oxydation et son degré de lessivage

Il existe deux formes de fer :

- **en milieux pauvre en oxygène** : le fer prend l'état d'oxyde-ferreux $Fe=O$ de couleur gris bleuté
- **en milieux riche en oxygène** : le fer prend l'état d'oxyde-ferrique

Fe₂O₃ : O-Fe-O-Fe=O de couleur rouille Il existe aussi la forme insoluble Fe⁺⁺⁺

D- Aluminium

Principale constituant des minéraux et des argiles, il est libéré par la dégradation des argiles, l'excès de Al échangeable est soluble est toxique pour la plante et bloque l'absorption des cations bivalents comme le calcium et le magnésium.

E- Manganèse

Il présente un comportement semblable à celui du fer, comme le fer il existe sous la forme bivalent et trivalent, comme le fer il devient plus mobile en milieu acide.

5. Les propriétés biologiques du sol

5.1 Les organismes du sol

Peu nombreuses sont en effet les réactions purement chimiques du sol, la plupart sont des réactions biochimiques c'est-à-dire dont le déroulement est conditionné par la présence des êtres vivants et de leurs enzymes.

Les microorganismes du sol sont les intermédiaires quasi obligatoires entre la matière organique et minérale du sol et la plante.

Les populations du sol sont nombreuses et variées

5.1.1 la classification des organismes du sol

La classification des organismes vivants du sol se fait généralement par taille (voir figure ci-dessous) :

Les bactéries, et les champignons appartiennent au groupe des microorganismes (<10µm).

La microfaune qui comprend principalement les protozoaires et les nématodes mesure entre 10 et 200µm.

La mésofaune regroupe les individus de 200µm à 2mm dont les acariens, les enchytréides et les collemboles.

Ensuite, entre 2mm et 20mm, on trouve les vers de terre, les fourmis, les araignées, les larves d'insectes, les myriapodes, les limaces appartenant à la macrofaune. (Figure 30).

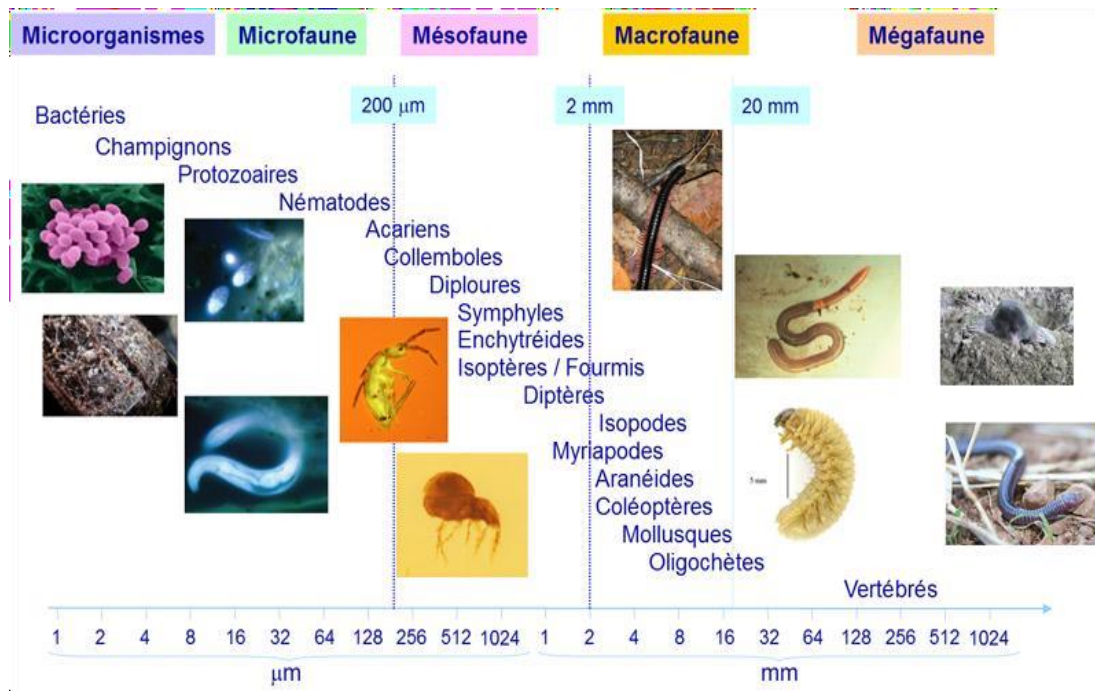


Figure 30 : Classifications des organismes du sol (Girard, 2005)

Pour finir, le groupe de la mégafaune, qui n'est pas toujours pris en compte pour la classification, comprend les vertébrés comme la taupe, le campagnol, les orvets, ...

La flore du sol (bactéries, champignons) et la pédo-faune, fragmentent et transforment les résidus végétaux et animaux. Agents de l'humification, ils interviennent tour à tour dans un réseau trophique complexe et encore peu connu jusqu'à nos jours.

Les uns (lombrics, enchytraeides, myriapodes) fragmentent les débris végétaux, lesquels sont ensuite transformés par les bactéries.

D'autres animaux (acariens, collembolés) ne fragmentent que les débris « prédigérés » par la microflore.

5.2 Les transformations d'origine microbiennes

5.2.1 Les rôles de la faune et de la microflore du sol.

A. La microflore du sol :

a) Les algues :

Les algues autotrophes (possèdent de la chlorophylle) abondent surtout dans les deux premiers centimètres du sol. Certaines espèces sont cependant hétérotrophes et vivent dans des couches plus profondes, dégradant les matières organiques.

Les algues fabriquent un mucilage qui les entoure et qui héberge de nombreuses bactéries.

b) Les bactéries :

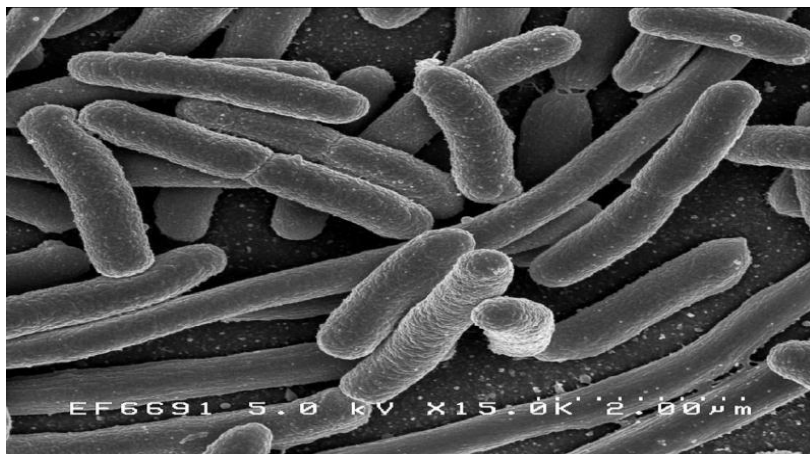


Figure 31 : la forme bâtonnet des Bactéries (Gobat et al., 1998)

Leur rôle est très important dans les processus d'humification. Du point de vue pédologique, une des principales distinctions à faire entre bactéries est leur répartition entre organismes aérobies et anaérobies.

Les **bactéries aérobies** interviennent de manière prépondérante dans l'**humification** proprement dite. On ne peut cependant exclure l'activité des bactéries anaérobies durant les périodes humides de l'année ou dans les microsites mal aérés d'un sol « normal ».

Les **bactéries anaérobies** interviennent surtout dans les processus de **tourbification** et de **Putréfaction**.

Les bactéries aérobies prolifèrent dans les milieux les plus riches en azote, et peu acides ; elles

sont surtout abondantes autour des racines de certaines plantes (graminées, légumineuses), au sein de la Rhizosphère. La plupart d'entre elles sont hétérotrophes et saprophytes, elles décomposent les celluloses, les sucres, qui constituent des sources d'énergie, et sont pour la plus grande part, minéralisées sous forme de gaz carbonique. Certaines bactéries, plus spécialisées, sont autotrophes : elles tirent leur énergie de l'oxydation de certains composés (soufre, ammoniac, fer ferreux,) et assimilent le carbone du CO₂.

c) Actinomycètes :

Intermédiaires entre bactéries et champignons, les actinomycètes jouent un rôle important dans la décomposition des litières d'une part, dans l'humification d'autre part. Ils semblent jouer un grand rôle dans la transformation de certains composés organiques et minéraux du sol, mais ce rôle est encore mal connu : ils seraient susceptibles de décomposer les composés de la M.O.F. tels que la lignine et certains tannins, et d'élaborer certains acides humiques.

Les actinomycètes ont aussi d'autres fonctions : certaines espèces, en particulier *Frankia alni*, forment des nodosités avec les racines des aulnes, et sont à l'origine d'une fixation active d'azote atmosphérique qui explique le rôle améliorant de cette espèce.(Figure 32).



Figure 32 : Actinomycètes (Gobat et al., 1998)

D) Champignons :

Ils résistent mieux que les bactéries à la sécheresse et à l'acidité, et constituent la microflore quasi exclusive de certains mors secs et acides. Mais à la différence des bactéries, ils sont toujours hétérotrophes et aérobies ; et ne prolifèrent pas dans les milieux mal aérés. Leur rôle dans le sol est considérable et très varié : il exerce surtout dans la phase de décomposition de la M.O.F., qui précède l'humification : la plupart sont aptes à décomposer la cellulose, certains sont capables de décomposer des composés phénoliques plus résistants tels que la lignine et les tannins.

Les pourritures brunes ou molles décomposent les celluloses préférentiellement aux composés phénoliques : la lignine, libérée est peu transformée. Les pourritures blanches, au contraire, s'attaquent à la lignine et aux tannins, libérant des composés phénoliques, à petites molécules, donc solubles (appelés souvent « précurseurs » des composés humiques). Certains

champignons sont associés aux racines des plantes et des arbres, en formant des mycorhizes, à vie symbiotique, qui facilitent la croissance et la nutrition des espèces concernées.(Figure 33).

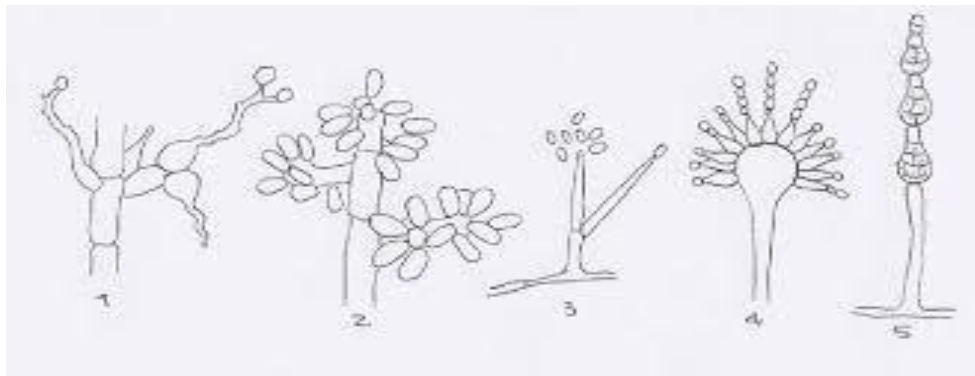


Figure 33 : Champignons du sol (Gobat et al., 1998)

B. La faune du sol :

Elle est divisée suivant la taille des organismes, en micro-, méso- et macrofaune (figure 33) :

Microfaune (moins de 0,2 mm) : constituée essentiellement de protozoaires et de nématodes : ils sont abondants dans les milieux très humides et s'attaquent à la flore bactérienne et aux actinomycètes.

Mésafaune (0,2 mm à 2-4mm) : Acariens et Collembolles qui caractérisent surtout les milieux acides. On y trouve aussi des nématodes.

Macrofaune (taille supérieure à 2-4 mm) : on y trouve :

- * les lombrics qui jouent un rôle essentiel dans la structuration des horizons A des mull actifs et peu acides.

- * les enchytraéides, qui caractérisent surtout les milieux acides.

- * les larves d'insectes (diptères, coléoptères) : plus abondants dans les milieux acides et secs (moder).

Mégafaune : mammifères (taupes, mulots,...).

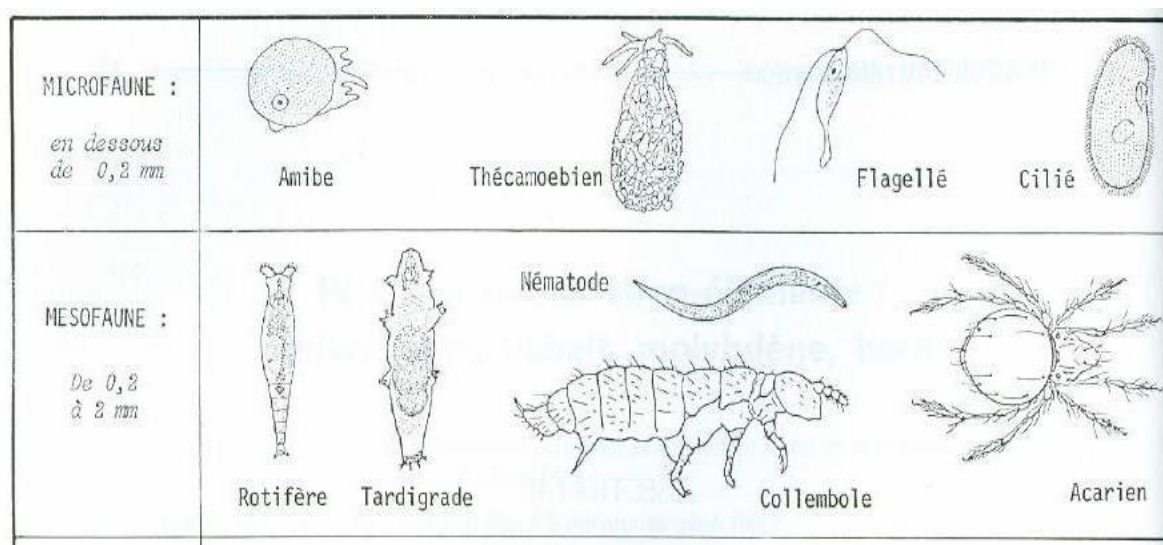


Figure 34 : classification de la faune du sol en fonction de la taille (Gobat et al., 1998)

5.2.2 Le rôle des représentants les plus importants de la faune du sol :

a) Protozoaires :

Ces organismes sont très nombreux dans le sol. Leur pullulation exige l'existence d'un haut degré d'humidité. Ils s'enkystent par sécheresse. Ils se nourrissent surtout de bactéries. A ce titre, ils jouent un rôle important dans la composition et les activités microbiologiques du sol.

b) Nématodes (Vers inférieurs, embranchement des Némathelminthes) :

Ce sont des petits vers ronds de taille variant entre 0,5 et 2 mm. Ils sont nombreux dans le sol et dans les litières : après les protozoaires, ce sont les plus abondants colonisateurs du sol.

Ils s'enkystent dès que l'humidité du sol devient insuffisante.

On distingue parmi les nématodes plusieurs espèces se différenciant par leur mode d'alimentation, on distingue en effet des espèces :

parasites de végétaux (problèmes bien connus en agriculture et en horticulture) ;

saprophages : interviennent dans la décomposition des débris végétaux et animaux

prédateurs : se nourrissent de protozoaires ;

bactériophages ;

mycétophages : se nourrissent de mycéliums.

Les nématodes bactériophages et mycétophages exercent donc un certain contrôle sur la microflore.

c) Mollusques :

Un certain nombre de gastéropodes pulmoné (limaces et escargots) vivent dans les litières forestières ou dans les anfractuosités du sol, toujours en milieu humide. Beaucoup sont herbivores ou saprophages. Ils exercent une certaine activité de décomposition (cellulose) et de brassage de la matière organique.

d) Les Annélidés (embranchement) :

Ce sont des agents très actifs d'humification, surtout en ce qui concerne certaines familles appartenant à la classe des Oligochètes.

e) Les Enchytraéides : Ce sont des vers minuscules (de 5 à 15 mm), de couleur généralement

blanchâtre et abondants dans les litières. Ils se nourrissent essentiellement de petits débris végétaux peu décomposés. Ces vers sont les principaux agents d'humification dans les milieux forestiers acides (moder ou mor).

Leurs déjections sont à l'origine de la formation des boulettes fécales constituant l'horizon OH. Ils ne forment que peu de complexes organo-minéraux (car ils ne possèdent pas de gésier comme les lombrics) : on aura alors dans l'horizon de transition caractérisant les moder, qu'une simple juxtaposition entre matière organique et matière minérale (mélange entre ces deux types de matières mais peu ou pas de liaisons).

f) Les Lombricidés : ILS réagissent rapidement aux modifications du milieu. Leur présence est donc un excellent reflet des conditions écologiques. En effet, les conditions favorables à leur développement sont :

- *une humidité modérée ;
- * une bonne aération ;
- * un PH voisin de 6-7.

Les lombrics jouent un rôle essentiel dans la structuration des horizons A des mull actifs et peu acides. Ils décomposent la litière (ils sont saprophages et coprophages) et l'incorporent au sol minéral. Par leur transit digestif, ils facilitent la formation de complexes organo-minéraux (liens entre argile et humus notamment) et assurent leur cohésion. Les lombrics sont donc importants pour la structure du sol (grumeleuse).

Les lombrics ont besoin de calcium pour le fonctionnement de leurs glandes, ils ne peuvent donc vivre dans les milieux à PH trop acides (PH inférieur à 4,2).

Certains d'entre-eux (dits anectiques) descendent profondément dans les horizons minéraux et ramènent en surface une partie des argiles et des ions (Ca^{++} ,..) entraînés.

Par ailleurs, par leurs galeries, les lombrics assurent une bonne aération du sol. (Figure 35).

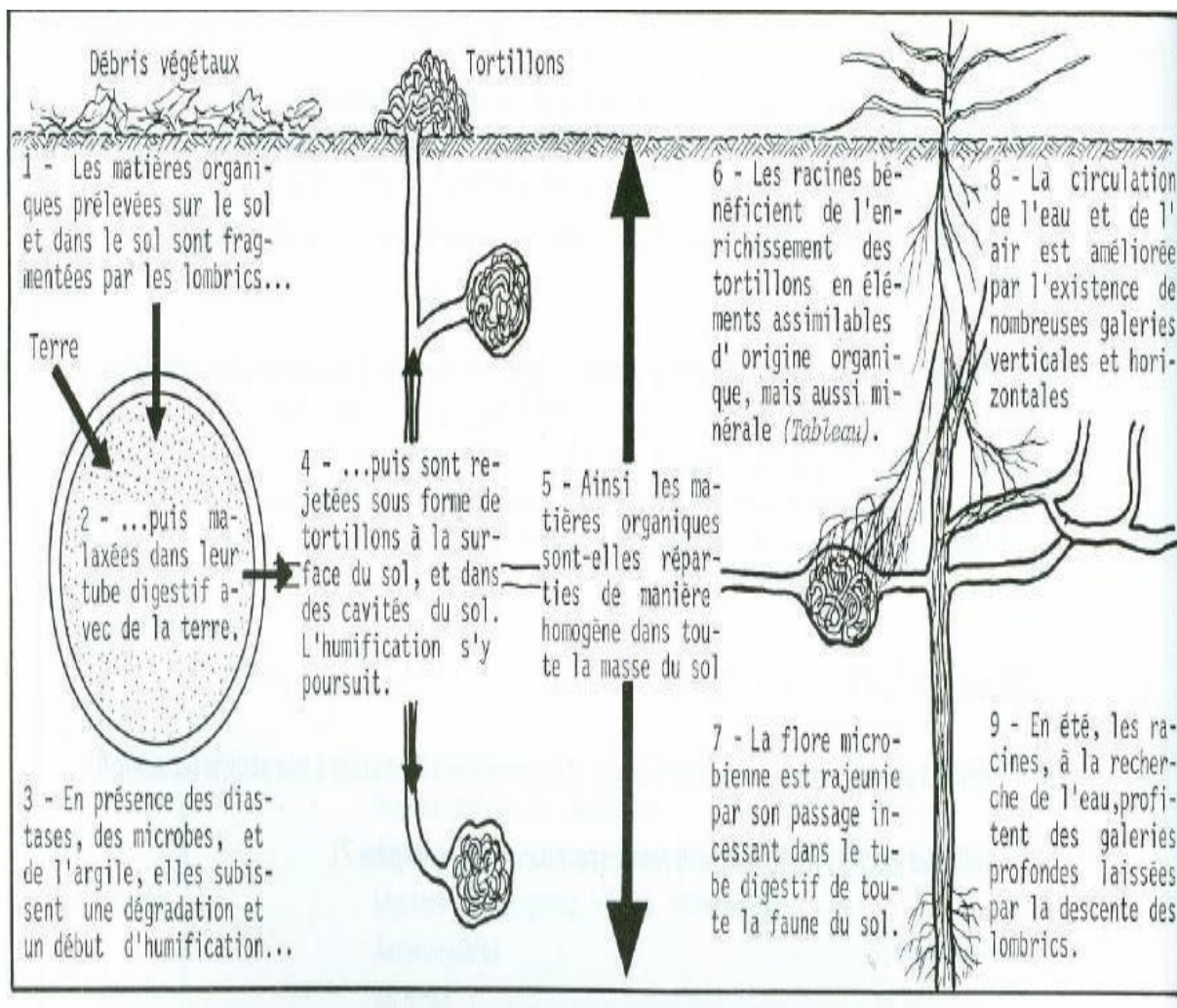


Figure 35 : Les rôles des Lombricides dans le sol (Soltner, 2003)

g) Les Arthropodes :

On regroupe ici les insectes, les arachnides, les crustacés (cloportes,...) et les myriapodes. Ils peuvent être assez nombreux dans les sols. Ils vivent surtout dans les litières qu'ils fragmentent et ingèrent. Ils produisent des boulettes fécales. Certaines espèces se nourrissent également de champignons (mycétophages), de bactéries et d'algues (microphytophages), de déjections animales (coprophages), de proies vivantes (prédateurs ou parasites).

Contrairement aux vers de terre, ils ne mélangent pas à la terre minérale les aliments qu'ils ingèrent. En revanche, ils fragmentent ceux-ci plus finement, augmentant ainsi la surface d'attaque pour l'action des champignons et bactéries.

Les larves d'insectes et d'arthropodes supérieurs sont plus abondantes dans les milieux acides et secs (moder).

b) Les Mammifères : taupes, mulots, etc. Ils ont un rôle mécanique.

5.2.4 Synthèse sur les rôles de la faune du sol :

a) Action mécanique : formation d'agrégats stables et amélioration de la porosité

La faune du sol **fragmente les matières organiques** : à la division sommaire des vers de terre, succède le broyage microscopique des myriapodes puis des collemboles, des acariens et des nématodes. L'augmentation de surface qui en résulte favorise l'attaque bactérienne et enzymatique. Puis le **brassage** énergétique que subissent ces fragments dans le tube digestif des lombrics, les mélange aux éléments minéraux et aux micro-organismes qui y trouvent des conditions favorables à leur prolifération. **Ce malaxage par les vers de terre contribue profondément à la construction d'agrégats stables.**

En effet, ces animaux mettent parfaitement en contact d'une part la terre qu'ils ingèrent, d'autre part les substances organiques qui la cimenteront en agrégats ou les débris végétaux qui donneront naissance à ces substances. Il suffit d'ailleurs pour s'en convaincre d'observer la résistance à la dégradation des tortillons des lombrics.

Ce malaxage s'accompagne aussi **d'un transport des matières organiques dans tout le profil**. Plus que tout travail mécanique du sol par les instruments de culture, celui des vers de terre permet la dissémination parfaite des matières organiques.

A l'**augmentation de porosité** qui résulte de cette formation d'agrégats, s'ajoute la **meilleure circulation de l'eau et de l'air** au travers des galeries verticales des lombrics.

b) Action chimique : lutte contre le lessivage et enrichissement en minéraux assimilables

Remontant en surface une partie des éléments lessivés, notamment du calcium, les vers de terre auraient tendance à limiter la décalcification du sol. Mais le plus important encore semble leur rôle d'intermédiaire entre le sol et la plante : leurs déjections en effet sont considérablement plus riches en potassium, phosphore et magnésium assimilables. On peut penser que cet enrichissement vient de l'attaque de minéraux par les enzymes digestifs, et de la décomposition des matières organiques incorporées.

c) Une action biologique : stimulation de la flore microbienne des sols.

Tous les animaux du sol sont microphytophages, c'est-à-dire consomment des bactéries, algues et champignons. Agissant ainsi, ils opèrent une sélection qui rajeunit et stimule la flore microbienne. Ce rôle semble indispensable à l'humification : on remarque que les matières

organiques contenues dans les déjections des animaux du sol s'humifient plus facilement que les autres débris végétaux : leur passage dans le tube digestif semble avoir fait proliférer une flore humifiante, et éliminer une flore destructrice des matières organiques.

6. Classification des sols

La classification des sols a pour but, le regroupement des sols ayant une gamme similaire de propriétés (chimiques, physiques et biologiques) dans des unités qui peuvent être géo- référencées et cartographiées. Les sols sont une ressource naturelle très complexe, beaucoup plus que l'air et l'eau. Les systèmes de classification des sols ont été développés dans des buts différents :

- La Soil Taxonomy pour interpréter les études de sols ;
- Légende FAO pour représenter la répartition mondiale et la géographie des sols ;
- Base de référence mondiale pour faciliter les corrélations entre les différents systèmes de classification des sols.

Il existe :

- une classification en agriculture : dépendante de l'élément dominant (argile, limon et sable)
- Une classification en science pédologique : établit selon deux aspects fondamentaux
 - aspect scientifique (génétique) : processus de genèse et d'évolution des sols
 - aspect pratique : caractères morpho-bio-physico-chimiques Dans ce système de classification :
 - *les aspects génétiques (pédogénèse) : définition des unités supérieurs (classe + ordre)
 - *l'aspect pratique : définition des unités inférieurs (sous classes, familles, groupes)

6.1. Les différentes classifications (Russe, Américaine, Française)

6.1.1 Le système de classification dans le monde

A. L'école Russe : influence du cadre écologique en particulier le climat

B. L'école occidentale (France, Allemagne) : influence des caractères internes du sol et de la station (type de profil, complexe adsorbant, pH. . etc)

C. L'école anglo-saxonne (U.S.A, Belgique.) : influence des facteurs minéralogiques, chimiques et biologiques (USDA 1971, FAO 1973)

6.1.2 Les critères de classification

a- Le degré du développement du profil :

- Profil A-C : sol très peu évolué
- Profil A-(B)-C : sol peu évolué
- Profil A-B-C : sol évolué

b- Composition du complexe d'altération

acidolyse : le type d'argile, les oxydes et les hydroxydes formés (Al, Mn..)

c- Les mouvements des matières dans les sols :

Lessivage, lixiviation, illuviation...ect

d- Le pédo-climat et le facteur temps :

L'école Russe (le plus ancien système de classification) a pris en considération les facteurs climatiques dans sa classification et distingue trois grandes classes :

***les sols zonaux :** liés principalement au climat et à la végétation

***les sols intra zonaux :** liés aux caractéristiques locales de la station

***les sols azonaux :** concerne les sols peu évolués

6.1.3 La classification adoptée par la majorité des écoles

6.1.3.1 Les sols peu évolués :

Ce sont des sols jeunes de profil A-C, caractérisé par une faible quantité de matière organique, altération faible, présentant différents origines (climat, érosion, apport)

a- Sols peu évolués climatiques (aridosols) :

- Absence totale de matière organique
- Résultant d'une désagréation physique comme : le reg, hamada, erg
- Sols aride et semi-aride qui contiennent une croûte gypso-calcaire
- Sols de Toundra qui sont gelés perpétuellement à une profondeur bien déterminée, accumulation de la matière organique engorgé d'eau comme les tourbes

b- : sol peu évolués d'érosion :

Comprennent les zones de pentes donc ils sont pauvres en matières organiques, appelés **rego-sols** en bas des pentes, se forment sur des roches tendres de calcaire et des dépôts argileux.

c- Les sols peu évolués d'apport : Exemple : les sols alluviaux :

Occupent une grande partie du monde, des dépôts récents inondables de temps en temps, riche par les différents minéraux accompagnés d'eau, des milliers de ces sols se composent de limon ou du limon argileux, épaisseur 1 cm.

6.1.3.2 Les sols calci-magnésieux

Se trouvent sur une roche calcaire ou magnésique, qu'on ces roches libèrent des quantités importantes de calcaire actif, elles influencent les propriétés du sol, Il ya plusieurs types des sols calcimagnésiques :

Sols calcimagnésiques humifères : profil A-C (**rendzine**) Sols calcimagnésiques peu humifères brune : profil A-(B) –C Sols calcimagnésiques très humifères : profil A° -C

L'humus est de type mull

6.1.3.3 les sols humifères non saturés :

Sur roche mère cristalline (**Rankers, andosols**), profil A-C bien claire formés sous climat humide de montagnes ou littorale

Les rankers et les andosols se caractérisent par leurs horizons humifères noir épais, non saturé et acide déposés sur des roches silicatés (rankers) et volcaniques (andosols) L'humus est de type Moder

6.1.3.4 Les sols bruns et les sols lessivés

a- les sols bruns :

les roches silicatées libèrent des bases (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) qui se concentrent sur la couche d'humus, donc le pH augmente, l'activité biologique augmente donc la matière organique se décompose rapidement et se relie à l'argile même les roches silicatées libèrent des ions de fer constituant ainsi des ponts entre l'humus et l'argile.

b- Les sols lessivés :

Le lessivage des argiles constitue le premier état de la dégradation des sols bruns qui est dû à plusieurs facteurs (défrichement, incendies), les incendies répétés des forêts, l'enlèvement de la végétation ce qui conduira à une diminution de l'humus et les résultats un grand lessivage des argiles.

6.1.3.5 Les sols hydro morphes :

Caractérisés par la présence d'eau d'une façon temporaire ou permanente, ce qui conduit à la formation des sols dont le fer prend la forme réduite (**sol à gley**), ou se forme la tourbe

6.1.3.6 Les sols podzoliques (podzo-sols)

Le fer est oxydé et touche aussi l'aluminium, l'horizon B n'est pas bien différencié et quand il devient clair et bien organisé, on parle de podzols, l'horizon gris donne le non podzols, entre A-C l'horizon prend l'aspect de cendre, pH acide, sous climat froid et humide

6.1.3.7 Les sols iso-humiques :

Comprennent les : chernozem, Brunizem, sols marrons

a- Chernozem :

D'Ukraine se caractérise par sa grande profondeur, et une couleur noire homogène, se reposant sur une roche mère tendre appelé Löss, (dépôts de limon argileux calcaire), horizon de type A-C, ce sont des sols de type zonaux c'est-à-dire leur formation est liée au climat et à la végétation, le climat continental qui présente des grandes différences donc le sol gelé en hiver qui se fusionne au printemps et sec en été.

Les plantes caractéristiques sont les graminées qui produisent de grande quantité de matière organique en surface et en profondeur ce qui les rendent des sols très fertiles.

b- Brunizem :

On distingue les plaines d'Amérique du nord, on trouve les plantes steppiques (les graminées), se forment sous climat continental très humide.

L'horizon A est noir et moins épais que le chernozem

L'horizon B moins foncé ou se dépose l'argile lessivée, ce sont des sols très fertiles

6.1.3.8 Les vertisols :

Se forment sous climat aride et sous minéraux riches en magnésium, riche en humus et un grand taux d'argile, ce sont des sols intra zonaux liés à la station.

L'évaporation (drainage) est massive, se forment surtout dans les dépressions où elles seront engorgées d'eau en saison humide. Les vertisols sont considérés parmi les sols les plus fertiles de la zone équatoriale

6.1.3.9 Les sols riches en sesquioxydes (sols rouges)

Se forment sous climat méditerranéen, équatoriale aride et équatoriale humide, ces sols présentent des propriétés communes :

Décomposition rapide des matières organiques Très riches en oxydes de fer et en aluminium

Exemple : les sols rouges méditerranéens (sols rouge fersiallitiques)

Comme le climat doux et chaud du type méditerranéen (saison humide en hiver et sèche en été caractérisé par les forêts de feuillus)

Se forment sur roche mère calcaire ou cristalline dans les zones équatoriales, on trouve **les sols ferrugineux**, peu acides et les **sols ferralitiques** acide, l'argile riche en silice de type 1-2.

6.1.3.10 Les sols sal sodiques (sols salins) :

la formation des sols salins est liée à la présence de sodium, sous forme de sels (NaCl) ce qui exige la présence d'une source de sodium :

des eaux sous terraines, des roches salées, ils dépendent d'un climat aride qui permet la sauvegarde des ions Na⁺ dans le sol.

6.2 Les sols d'Algérie et leur relation avec le climat et la géomorphologie

a- sols des régions Sahariennes :

La formation des sols dans cette région est entièrement dominée par les conditions climatiques où le vent joue un rôle prépondérant. D'où formation des deux types de sols éoliens.

- **Sols éoliens d'ablation** sans terre fine et dont le caractère essentiel, l'absence de terre fine ne dépend pas de la roche mère. L'enlèvement de toutes les parties de roches suffisamment fines pour être entraînées ne laisse sur place que des cailloux plus ou moins grossiers qui se concentrent en surface et donnent ce qu'on appelle à tort un **reg**. Le reg est par excellence un sol zonal, son caractère est constant : surface couverte de cailloux éolisés reposant sur une épaisseur très variable d'alluvions plus ou moins meubles.
- **Sols éoliens d'accumulation** formés par les particules entraînées par le vent qui s'accumulent dans les zones abritées formant des dépôts de sable plus ou moins développés : **rehboub, ncbk, dune, jusqu'au Ergs.**

c- Les sols des régions semi-arides :

En Algérie caractérisés par la présence de l'armoïse blanche et l'alfa qui constituent la végétation de ces régions ont un enracinement assez profond pour pouvoir résister à la sécheresse. Les sols de cette région peuvent ainsi être fixés par cette végétation steppique mais leur évolution est freinée par le manque d'eau de percolation. La pluviosité n'est pas assez forte pour modifier le complexe absorbant qui reste dans un état primitif.

Les roches mères sont en générale calcifères, des sols contenant du calcaire ou du gypse (**sols calciques**) et des sols qui n'en contiennent pas (**sols en équilibres**), mais ces derniers sont rares.

- d- **Les sols calciques** ne présentent qu'un seul horizon différencié peu épais. Ils sont plus ou moins riches en calcaire, leur complexe absorbant est riche en ions Ca^{++} et le pH est toujours compris entre 7 et 8 et ils contiennent des doses appréciables de matières organiques (entre 0,3 et 1 %), mais pas de sels solubles. A côté des sols calciques on observe aussi des sols gypseux.

Ils présentent les caractères suivants : texture légère, bonne perméabilité mais faible capacité de rétention en eau due à leur relative pauvreté en colloïdes.

Les sols en équilibres : sols ayant les mêmes caractères que les sols calciques mais formés sur des roches mères non calcifère. Ces sols sont rares en Algérie car les roches calcaires ou gypseuses couvrent 90 % de la surface des zones semi-arides mais il est fréquent de rencontrer des **sols salins** dans les bas-fonds mal drainés ou alimentés par des nappes phréatiques.

e- Les sols des régions telliennes humides

Les sols de ces régions humides peuvent se définir par leur mode de formation original : Entraînement des substances en profondeur sous l'action des eaux d'infiltration mais cette migration est conditionnée par la nature de la roche mère, très variable dans le Tell algérien du fait de sa structure plissée. D'où une grande variété des sols dans le seul caractère commun est lessivage plus ou moins poussé et que l'on classe en trois grands groupes.

Le groupe calcaire comporte tous les sols formés à partir de roches calcaire

Groupe non calcaire qui comporte les sols formés sur une roche non calcaire. Deux types principaux : sols insaturés (les granites de Nadroma) par exemple et sols podzoliques se sont des sols très acides se rencontre dans le nord de l'Algérie sur les grès de Numidie, les gneiss et certaines dunes et supportent de belles forêts acidophiles (chênes) avec sous-bois dense bruyère, dyss ou la pluviométrie est supérieur à 500mm/an

Le groupe des terres rouges méditerranéennes :

A peu près toutes les variétés des sols azonaux se retrouvent en Algérie : sols des marais, sols dunaires, sols d'éboulis, sols alluviaux, divers etc.

Les sols à encroutement sont particulièrement nombreux en Algérie. Ils ne constituent pas un type de sol original. Mais se caractérisant par la formation d'une croûte. Plus ou moins épaisse et souvent très dure au sommet du profil, formant un encroutement calcaire, gypseux ou salin. Ces encroutements résultent d'une remontée capillaire des substances dissoutes dans l'eau. Dans tous les profils à encroutement calcaire le matériau encrouté n'est pas en surface mais à une certaine profondeur.

Les sols salins très répandus dans le Tell algérien ce sont surtout des solontchaks ou les chlorures de sodium sont en quantité telles (plus de 0,2 %) que la végétation naturelle de la région laisse place à une végétation halophyte qui disparaît elle-même lorsque la proportion de sels augmente trop. Très nombreux sont les affleurements des roches salifères en Algérie : gypse triasique, grès du Crétacé moyen, marne sénonienne dans le sud constantinois, grès et limon rougeâtre.

7. Relations sols végétation

La relation sol-végétation est une interaction bidirectionnelle fondamentale (éco pédologie) : le sol fournit ancrage, eau et nutriments aux plantes, tandis que la végétation protège le sol, enrichit sa matière organique et structure son profil via les racines. Ce lien forme un écosystème fonctionnel (rhizosphère) essentiel à la biodiversité.

Le sol est un élément essentiel de l'environnement et joue un rôle clé dans la croissance des plantes. Il est constitué de matières organiques et inorganiques, notamment de minéraux, d'eau et d'organismes vivants. En dehors de fournir des nutriments pour les plantes, le sol aide aussi réguler la température, retenir l'humidité et fournir un soutien physique aux racines. L'importance du sol dans la nature est inestimable. La fertilité du sol dépend de sa composition ; plus il contient de matière organique, plus il est fertile. Un facteur tout aussi important qui influence la qualité des cultures est la réaction du sol, c'est-à-dire son pH.

7.1 L'influence du pH du sol sur la croissance des plantes

La réaction du sol affecte, entre autres : sur l'activité des micro-organismes qui l'habitent, le taux de minéralisation et donc disponibilité des nutriments pour les plantes. La plupart des plantes ont besoin de terre pour pousser pH compris entre 5,5 et 7,5 (ce sont des sols allant de légèrement acides à neutres). Les sols dont le pH est inférieur à 5,0 contiennent trop de manganèse actif et d'aluminium, ce qui empêche les racines de se développer pleinement. Les plantes dont le système racinaire est réduit absorbent moins d'eau et de nutriments et, par conséquent, leur croissance se détériore, produisent des récoltes plus faibles et souffrent même de divers types de maladies.

Chaque espèce végétale a une plage de pH optimale.

7.1.2 Facteurs Clés de l'Influence du Sol sur la Végétation :

Facteurs Physiques : La texture (sable, limon, argile) et la structure du sol influent sur la capacité de rétention en eau et l'aération, essentielles pour le développement racinaire.

Facteurs Chimiques : Le pH du sol détermine la disponibilité des nutriments. Par exemple, un pH trop élevé (alcalin) peut bloquer l'absorption du phosphore. La teneur en matière organique améliore la fertilité.

Facteurs Biologiques : Les symbioses, notamment avec les champignons mycorhiziens, augmentent l'absorption des nutriments par les racines. La faune du sol (lombrics) structure le sol et le rend plus fertile.

7.2 Influence de la Végétation sur le Sol

La végétation façonne le sol à travers des actions physiques et chimiques :

- **Protection et Structure :** Les racines fixent le sol, évitant l'érosion, et favorisent l'infiltration de l'eau (macroporosité).
- **Apport Organique :** La décomposition des litières (feuilles, bois) enrichit le sol en matière organique (humus).
- **Rhizosphère :** Zone d'interaction intense où les racines sécrètent des composés organiques (exsudats) qui nourrissent les micro-organismes.

Scribd +4

7.2.1 . Interactions et Dynamique (Phytosociologie)

- **Symbiose :** Les plantes s'associent souvent à des champignons (mycorhizes) pour mieux puiser les nutriments du sol.
- **Toposéquence :** La végétation change le long d'une pente en fonction du type de sol.
- **Adaptation :** Dans les milieux arides, la végétation est adaptée à des sols pauvres et secs (xérophilie)

Autrement dit :

La végétation influence le sol en le protégeant contre l'érosion, en enrichissant sa matière organique, et en facilitant l'infiltration de l'eau par le système racinaire. Elle crée un microclimat, stabilise la structure du sol et nourrit la biodiversité nécessaire à sa fertilité. Le couvert végétal limite l'érosion hydrique et éolienne.

7.2.3 les principaux impacts de la végétation sur le sol :

- **Protection physique :** La couverture végétale protège le sol contre l'impact direct des gouttes de pluie (érosion hydrique) et limite l'action du vent (érosion éolienne).
- **Structuration et enracinement :** Les racines fissurent le sol, facilitant l'infiltration de l'eau en profondeur et l'oxygénation, ce qui favorise la faune et la flore du sol.

- **Enrichissement organique (Humus) :** La décomposition des débris végétaux (feuilles, bois) apporte de la matière organique qui améliore la fertilité du sol.
- **Gestion de l'eau :** Les plantes agissent comme des pompes biologiques, transférant l'eau du sol vers l'atmosphère par transpiration, influençant l'humidité du sol.
- **Action sur le pH :** La végétation influence le pH du sol, notamment par la libération d'acides organiques lors de la décomposition de la litière

Références Bibliographiques

AFES- Association Française pour l'étude des sols (1995). *Référentiel Pédologique*.

Baize, D. (2000). *Guide des analyses en pédologie*. INRA Éditions. Un ouvrage de référence pour la méthodologie des analyses de sol, y compris la granulométrie.

Baize, D. 2018. *Guide des analyses en pédologie* (2e éd.). Versailles : Éditions Quae. (Référence majeure pour l'interprétation des résultats d'analyses).

Brêthes, A., et al. 1992. *Le référentiel pédologique*. INRA. (Propositions de classification des humus).

Duchaufour P, 1977. *Pédologie Et Classification*. Ed. Masson, Paris, P. 477.

Duchaufour P, 2001. *Introduction à La science du sol : Sol,végétation,environnement* 6e éd, Editeur paris Dunod, collection sciences sup, ISBN/ISSN/EAN, 978-2-10-048390-7

Girard, M. C., et al. 2005. (Adaptation sur la classification par taille/habitat).

Gobat, J.M., Arango, M., et Matthey, W. 1992. *Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes

Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W., 2010. *Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols et gestion durable*. Presses polytechniques et universitaires romandes

Grim, R. E. 1968. *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill (ouvrage fondamental sur la structure et propriétés)

Morel R. 1996. *Les sols cultivés*. Lavoisier. Paris.

Pédro, G. 1974. Structure et réactivité des argiles. Bulletin du Groupe français des argiles, 26, 9-55.

Pham, T. L. 2009. Érosion et dispersion des sols argileux par un fluide. Thèse de doctorat, ENPC.

Soltner, D. 1992. *Les bases de la production végétale Tome 1 : Le sol et son*. 19e édition, Sciences et Techniques Agricoles, Sainte Gemmes sur Loire.

Soltner, D., 2005. *Les bases de la production végétale, Tome I LE SOL et son amélioration*, 23ème édition, Sciences et techniques agricoles, SAINTE-GEMMES-SUR LOIRE.