

# **COURS de PEDOLOGIE**

## **Deuxième année écologie et environnement**

UED, Crédits : 2, Coefficient : 2

### **Table des matières**

#### **Introduction**

Définitions : Pédologie, sol...

#### **Chapitre 1 – Eléments constitutifs du sol**

- 1-1- Formation des sols
- 1-2- Constituants minéraux
- 1-3- Constituants organiques
- 1-4- Complexes colloïdaux

#### **Chapitre 2 – Organisation morphologique du sol**

- 2-1- Organisation élémentaire
- 2-2- Horizons pédologiques
- 2-3- Profiles pédologiques
- 2-4- Couverture pédologique
- 2-5- L'eau du sol
- 2-6- Atmosphère du sol
- 2-7- Température du sol
- 2-8- Couleurs du sol

#### **Chapitre 3 – Propriétés chimiques du sol**

- 3-1- Propriétés électro- ioniques du sol

3-2- Phénomène d'échange des ions

#### **Chapitre 4 - Propriétés biologiques du sol**

4-1- Organismes du sol

4-2- Transformations d'origine microbienne

#### **Chapitre 5 – Classification des sols (Notions)**

5-1- Les différentes classifications (Russe, Américain, Française, FAO)

5-2- Aperçu sur les sols d'Algérie et leurs relations avec le climat et la géomorphologie

## INTRODUCTION (Définitions)

**1 - La PEDOLOGIE** ou science des sols : étudie la formation, la genèse, les propriétés et la classification des sols. Elle trouve de nombreuses applications notamment dans les domaines d'agronomie et d'écologie. (*Pédologie, du grec pédon ou sol et logie lógos ou science, étude*).

**2 - Le SOL** est la couche la plus **externe de la croûte terrestre** résultant de **l'interaction** entre la **LITHOSPHERE, L'ATMOSPHERE, L'HYDROSPHERE** et la **BIOSPHERE**. (*Tous les sols qui prennent ou ont pris naissance à la surface de la lithosphère forment la **pédosphère***).

Le **sol** est le matériel plus ou moins friable où les plantes, au moyen de leurs racines, trouvent leur nourriture et leurs autres conditions de croissance (HILCARD, 1914).

Albert Demolon (1932) a défini le sol comme étant « la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants ».

Le **sol est vivant**, il autorise la coexistence de très nombreux organismes de tailles très diverses et fait du sol un réservoir unique de **biodiversité microbienne, animale et végétale**. *Il résulte de la transformation de la couche superficielle de la **ROCHE-MERE**, dégradée et enrichie en **apports organiques** par les processus vivants de **pédogenèse**. Le sol est une **ressource naturelle, peu ou lentement renouvelable**. On différencie le sol de la croûte terrestre par la présence significative de **VIE**.*

Pour l'écologie, le sol est un habitat et un élément de **l'écosystème** qui est le produit et la source d'un grand nombre de processus et interactions **chimiques, biochimiques** et **biologiques**. On a d'ailleurs de plus en plus tendance à considérer.

## 3 - FONCTIONS DES SOLS

Un sol est considéré comme sain lorsqu'il parvient à la fois à :

- Héberger un écosystème (le sol), fortement lié aux écosystèmes terrestres et parfois aquatiques via notamment la rhizosphère, et parce que le sol abrite de nombreuses espèces qui y effectuent une partie de leur cycle de vie (hibernation ou estivation notamment),
  - Produire des récoltes,
  - Stocker le carbone et l'azote de l'atmosphère,
  - Retenir les eaux de pluie et de ruissellement. *Par sa capacité à retenir les eaux de ruissellement, un sol doté d'une bonne structure permet de lutter contre l'érosion, notamment l'érosion en nappe. Les sols de qualité limitent également les risques de salinisation,*
  - Le sol joue aussi un rôle très important dans la fixation, la dispersion et la biodégradation des polluants.
- 
- Le sol est un acteur-clé des cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote, du potassium, du calcium, du phosphore, des métaux,
  - Le sol est un puits de carbone (*le CO<sub>2</sub> émis par les microbes constitue l'essentiel du flux de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) émis de la surface du sol vers l'atmosphère – Plantes près de 50 % carbone - protocole de Kyoto*)
  - Par la richesse de ses fonctions, la diversité des formes de vie qu'il abrite et les services écosystémiques qu'il assure, le sol est considéré comme un patrimoine essentiel dont la conservation est le garant de la survie de l'humanité.

# Chapitre I – Éléments constitutifs du sol

## 1 – 1 - Formation des sols

Les éléments minéraux qui composent le sol peuvent avoir deux origines. Ils proviennent soit des matériaux (roches) en place, par désagrégation et altération physico-chimique (dépôts autochtones) soit de matériaux étrangers amenés à cet endroit par divers phénomènes, entre autres les cours d'eau, l'eau de ruissellement (dépôts allochtones).

La formation du sol passe par **trois** stades :

- **Le premier stade** : Décomposition de la roche mère (**désagrégation physique + Altération chimique**)

La **désagrégation physique** ou fragmentation de la roche mère s'effectue selon divers processus de décomposition: par action de la chaleur solaire et des variations de température, par échauffement différentiel des minéraux des roches et apparition de fissurations (climat froid ou sec), par action corrosive du vent chargé de débris minéraux, par action érosive des cours d'eau et de la mer, par écartèlement des fissures sous l'effet du gel et des racines. le résultat est la formation du squelette du sol, constitué d'ELEMENTS SABLEUX : cailloux, graviers, sables grossiers et fins et limons.

**Altération chimique** ou transformation des minéraux de la roche par dissolution d'un ou plusieurs minéraux constituant la roche (eau + gaz carbonique, *exemple : un grès calcaire se décompose par dissolution du ciment calcaire*), par hydrolyse (eau + acides ou bases). Elle s'effectue aussi par hydratation de certains minéraux en produit de nouveaux.

- **Le deuxième stade** : L'enrichissement en matières organiques

Durant ce stade, le sol est colonisé par les végétaux (bactéries, algues, lichens, champignons, végétaux supérieurs) et les animaux (protozoaires ; vers, insectes...). La matière organique se décompose par, l'humus, par son acidité, poursuit l'altération des minéraux, la nutrition des plantes devient possible par les minéraux rendus assimilables par les microorganismes.

L'argile et l'humus s'associent pour former le complexe argilo-humique.

A la fin de ce stade, le sol est désormais formé. Il a un profil homogène : c'est un sol JEUNE ou NON EVOLUE.

Le déroulement des deux premiers stades et le type de sol formé, sont variables selon : la roche mère, le climat, le relief, la végétation et le temps.

Le sol  $S = f(Cl, o, r, p, t)$  où : Cl = Climat ; o = Organismes vivants ; r = Topographie ; p = Roche mère ou matériel parental ; t = Temps.

- **Le deuxième stade** : Différenciation des horizons par les migrations et les accumulations

L'eau d'infiltration peut lessiver les éléments solubles ou fluides, qui peuvent s'accumuler en profondeur. Le lessivage dépend de la pluviométrie, de la perméabilité et de la nature de l'humus formé. Les migrations ascendantes, ou remontées, sont possibles, pour les éléments solubles, surtout sous les climats à forte évaporation.

Ces migrations et accumulation font évoluer le sol et permettent la différenciation des horizons : horizon de surface riche en matière organique, horizon lessivé ou appauvri en colloïdes et horizon d'accumulation enrichi en argile et oxydes de fer.

### **Eléments constitutifs du sol**

*Le sol est constitué d'une fraction solide (composée de matières minérales et de matières organiques, cette fraction est insoluble dans l'eau), d'une fraction fluide (solution du sol contenant les éléments minéraux sous forme d'ions ou de molécules), et d'une fraction gazeuse (appelée atmosphère du sol, porosité, aération...).*

*En moyenne, la phase solide (constituée à de plus de 95 % par la fraction minérale) occupe 40 % (sol très fragmenté) à 70 % (sol très compacté) du volume du sol, le reste correspondant à la phase fluide (liquide et gazeuse). Les proportions des phases gazeuse et liquide dépendent de l'hydratation du sol. La fraction minérale solide représente 93 à 95 % du poids total du sol.*

### **1 - 2 - Constituants minéraux**

La fraction minérale représente l'ensemble des produits de l'altération physico-chimique de la roche mère. Elle est composée d'une fraction grossière (éléments grossiers) et d'une fraction fine (terre fine).

On peut classer les constituants minéraux par diamètres en :

- **Eléments grossiers** (diamètre supérieur à 2 mm)

De 2 à 20 mm : graviers,

De 20 mm à 75 mm : cailloux,

De 75 mm à 250 mm : pierres,

> 250 mm : blocs.

-**Terre fine** (diamètre inférieur à 2 mm)

Particules < 2 $\mu$  : **argile**,

Entre 2 et 50  $\mu$  : **limon**,

Entre 50 et 200  $\mu$  : **sable fin**,

Entre 200 et 2000  $\mu$  : **sable grossier**.

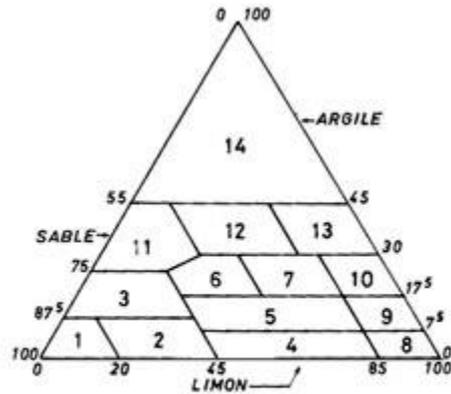
Les particules dont le diamètre supérieur à deux micromètres (les graviers et cailloux, les sables, les limons) constituent le squelette du sol (élément sableux). Cette fraction est sans intérêt immédiat pour les plantes, mais est primordiale pour la porosité. Elle finira par se transformer en fraction fine par altération.

Les particules dont le diamètre inférieur à 2  $\mu$ m (argile et oxyde de fer et d'alumine) sont biologiquement et chimiquement actives. Elle est constituant les colloïdes minéraux du sol.

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).



Diagrammes de texture (d'après JAMAGNE)

1. Sable ; 2. Sable limoneux ; 3. Sable argileux ; 4. Limon léger sableux ;  
 5. Limon moyen sableux ; 6. Limon sablo-argileux ; 7. Limon argilo-sableux ;  
 8. Limon léger ; 9. Limon moyen ; 10. Limon argileux ; 11. Argile sableuse ;  
 12. Argile ; 13. Argile limoneuse ; 14. Argile lourde.

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/forums/glossary/img-texture-sol>

**Figure 1 : Diagramme de texture**

### 1-3- 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). Elle se répartit en quatre groupes :

- 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,
- les débris d'origine végétale (résidus végétaux ou litière, exsudats racinaires), animale (déjections, cadavres) et microbienne (cadavres, parois cellulaires, exsudats) appelés **matière organique fraîche**,
- des composés organiques intermédiaires ou en cours de décomposition, appelés **matière organique transitoire** (évolution de la matière organique fraîche),
- des composés organiques stabilisés, les matières humiques ou **humus**, provenant de l'évolution des matières précédentes.

La décomposition des débris végétaux, qui constituent la litière ou horizon organique, se fait sous l'action de la microflore et de la faune du sol, et produit l'humus et des composés minéraux. Les deux processus de décomposition sont :

- la **minéralisation** produit des composés minéraux tels que le K, Ca, Mg, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>.... Ces molécules simples peuvent prendre cinq destinations, elles peuvent être : perdues dans l'atmosphère, absorbées par les plantes, fixées par les argiles et l'humus, perdues par lessivages, ou reprises par des micro-organismes. La **minéralisation primaire (M1)** porte sur environ 90% de la matière organique fraîche. Sous l'effet d'autres micro-organismes les composés humique subissent une **minéralisation secondaire (M2)** et finissent par repasser à l'état de molécules simples qui sont elles aussi perdues dans l'atmosphère, absorbées par les plantes, fixées par les argiles et l'humus, perdues par lessivages, ou reprises par des micro-organismes.

- et l'**humification** aboutit à la formation de l'humus (fraction colloïdale), elle comporte trois voies ou types :

**L'humification par héritage** : porte sur les constituants à base de lignine, et produit l'humine résiduelle.

**L'humification par néo synthèse microbienne** : à la mort des micro-organismes, il reste des substances insolubles fortement aux matières minérales, appelées humine de néo synthèse microbienne.

**L'humification par insolubilisation** : les composés phénoliques solubles subissent une série d'oxydation et de condensation (polymérisation oxydative), donnant des molécules de plus en plus grosses, d'abord solubles (acides créniques, acides hymatomélaniques et acides fulviques), puis insolubles (acides humiques et humine). Le terminus est une sorte de pâte insoluble, humine insolubilisation.

**Les principaux types d'humus** : selon le milieu et le type de végétation, nous distinguons :

- Le **mor** : En milieu peu actif, la décomposition des litières est lente, l'horizon organique est épais, brun noir, fibreux et acide.

- Le **moder** : En milieu biologiquement plus actif mais sans bioturbation, l'horizon organique est moins épais et constitue un moder.

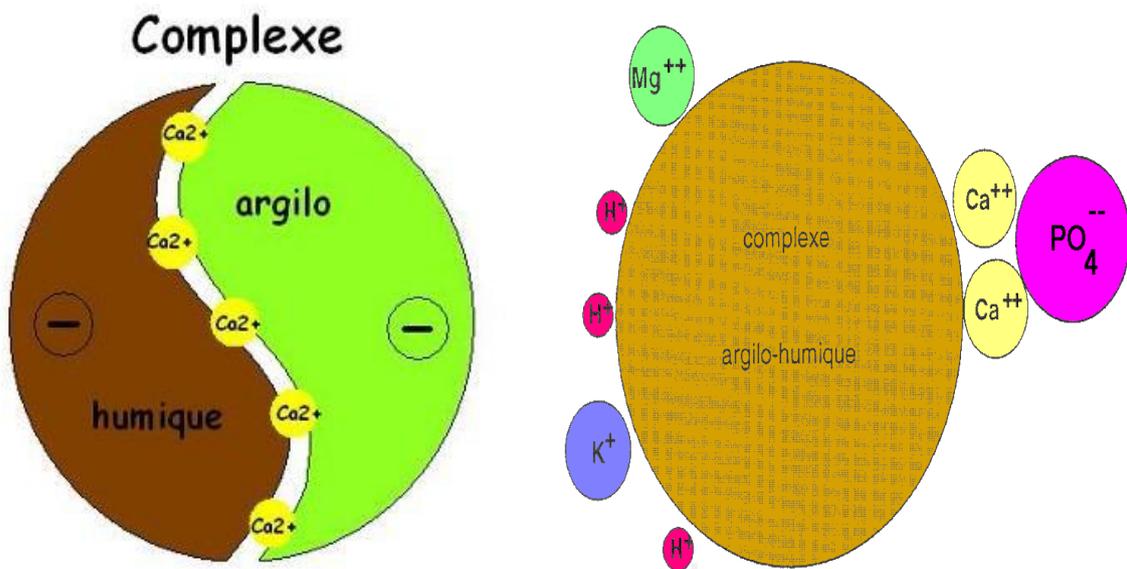
- Le **mull** : En milieu biologiquement très actif, la décomposition est très rapide, l'horizon organique disparaît et apparaît un horizon A (horizon de surface) grumeleux, composé d'agrégats argilo-humiques à fer et aluminium.

## 1-4- Complexes colloïdaux

Le complexe colloïdal ou complexe argilo-humique (CAH) est une association d'argile et d'humus (colloïdes du sol) chargés négativement, et d'ions minéraux chargés positivement (cations) liant l'humus et l'argile entre eux (ponts calcique ou ferrique).

Il s'agit d'un complexe adsorbant qui a la propriété de retenir des cations présents dans la solution du sol ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $H^+$ ) par des interactions électrostatiques. Ces éléments chargés positivement peuvent alors attirer des anions ou groupements anioniques : les phosphates  $PO_4^{3-}$ . On parle d'adsorption. La capacité d'échange cationique (CEC) des CAH, exprimée en milliéquivalents par 100g de terre fin, avec le milieu environnant a 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.



[http://www.aquabase.org/member/album/pictures/5454846B247F68E7546A4BAAEDE136D3\\_full.jpg](http://www.aquabase.org/member/album/pictures/5454846B247F68E7546A4BAAEDE136D3_full.jpg)

[http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/sol\\_fichiers/sol-6.gif](http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/sol_fichiers/sol-6.gif)

Figure 2 : Complexes colloïdaux

## Chapitre 2 – Organisation morphologique du sol

### 2-1- Organisation élémentaire

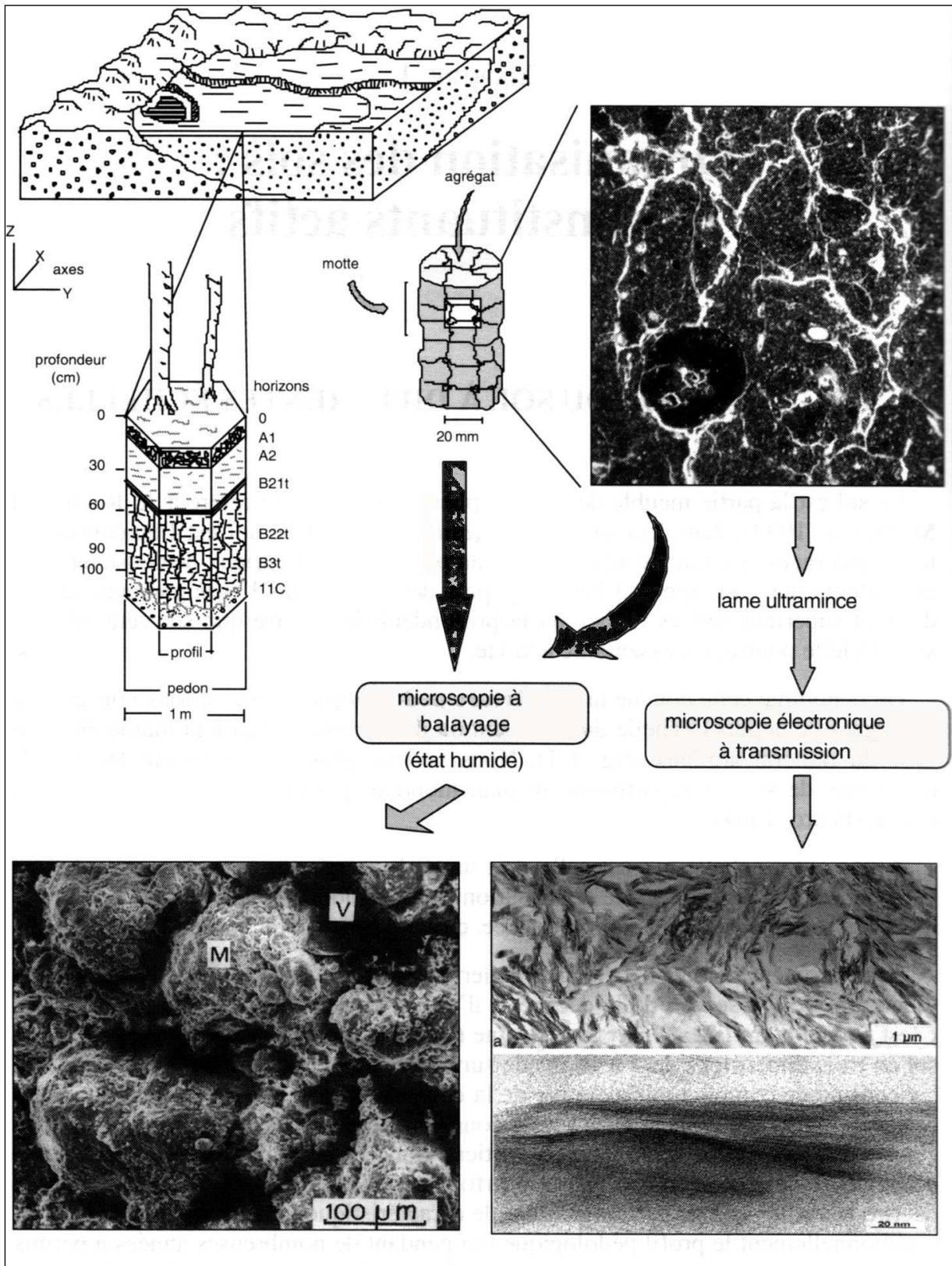
Le sol est un milieu structuré à différentes échelles de fonctionnement. Sur le terrain, on distingue plusieurs niveaux d'organisation. Le plus fin est l'agrégat (une association de particules minérales et organiques), de quelques mm à quelques dm. Ces agrégats s'associent pour former des mottes puis des couches plus ou moins parallèles à la surface, d'épaisseurs variables. Ces couches constituent les différents horizons d'un sol. Le niveau d'organisation supérieur est le profil pédologique, une superposition des différents horizons du sol.

Selon Camuzard (2006), les différents niveaux d'organisation du sol sont :

- celle des particules minérales ou organiques (minéraux argileux, oxyhydroxydes, édifices organiques) qui définit le plasma argileux,
- celle de l'assemblage lacunaire squelette-plasma à géométrie variable observable en lame mince au microscope (analyse micromorphologique),
- celle de l'organisation en pèdes ou agrégats, des vides, des concentrations, regroupés sous le terme d'organisations élémentaires. L'arrangement de ces organisations élémentaires définit la structure du sol,
- celle des assemblages définis comme l'ensemble des relations qui existent entre les organisations élémentaires,
- celle du solum d'organisation d'horizons distincts par leur nature physico-chimique et biologiques,
- et celle de la distribution des sols dans le paysage, la couverture pédologique. (Figure 3)

### La structure du sol

La structure du sol est le mode d'arrangement des particules minérales du sol en agrégats sous l'effet de liaisons par des colloïdes minéraux et organiques du sol. Elle peut être particulière, comme pour le sable meuble ; fragmentaire ou grumeleuse (cas le plus courant ; exemple structure grumeleuse); ou massive (ou continue) comme le limon battant et les argiles. Décrire la structure d'un horizon, c'est noter la présence ou non d'agrégats, leur forme, leurs dimensions et leur netteté. Elle est caractérisée par des données mesurables, tels que la porosité, la perméabilité et la rétention en eau.



Camuzard J.P., 2006 ; <https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/LESOLUNMILIEUCOMPLEX>

**Figure 3 : Les différents niveaux d'organisation du sol**

## 2-2- Horizons pédologiques

Les horizons pédologiques sont les couches superposées du sol, homogène et plus ou moins parallèle à la surface. Ils sont constitués de matière minérale et organique. Leur nombre varie en fonction de l'état d'évolution du sol. Les horizons diffèrent les uns des autres par leur couleur, leur texture, l'abondance d'éléments grossiers, l'arrangement spatial des constituants (solides, liquides, gazeux) et des vides associés.

L'horizon est le niveau d'appréhension le plus pratique pour observer et échantillonner une couverture pédologique. Il est considéré comme entité de base permettant d'identifier, de caractériser, de définir et de modéliser une couverture pédologique.

### Horizons de référence

Les horizons de référence sont dénommés, selon une nomenclature internationale, par des lettres: O, A, B,... On distingue deux groupes d'horizons : Les horizons humifères ou organiques et Les horizons minéraux.

**Tableau1 : Les principaux horizons de référence**

Groupes d'horizons	Symb- oles	Caractéristiques
Les horizons humifères ou organiques sont les horizons les plus riches en êtres vivants. Ils contiennent plus de 17% de carbone organique	O	Comprenant la litière et les matières organiques en cours de transformation. En contact avec l'atmosphère, de couleur sombre. L'épaisseur varie avec l'intensité de l'activité biologique et le climat. Selon son épaisseur, l'horizon O se divisent en trois couches superposées : OL, Of et Oh. En fonction du nombre de couches présentes, on utilise les mots: mull, moder ou mor.
	Ol	Ou litière, composée de débris bruts (restes de bois, de feuilles et de fleurs fanées) non décomposés. Les formes originelles sont facilement reconnaissables.
	Of	Horizon où les débris végétaux sont partiellement décomposés par l'activité biologique. La température et l'humidité y sont optimales.
	Oh	Horizon humifié, les végétaux sont transformés en humus. Les formes originelles ne sont plus reconnaissables.

Horizon mixte organo-minéraux	A	Composé d'éléments minéraux et d'humus. Sa structure dépend de l'incorporation plus ou moins rapide de l'humus. De couleur foncée, situé sous l'horizon O.
Les horizons minéraux sont les moins riches en organismes vivants. Ils contiennent moins de 17% de carbone organique	E	Horizon lessivé (ou éluvial), appauvri par l'eau d'infiltration en ions, en argiles, en composés humiques et en hydroxydes de fer et d'aluminium. Il est sous l'horizon A, de couleur claire, sol lessivé.
	B	Horizon d'accumulation (illuvial). Il est riche en éléments fins (argiles, hydroxydes de fer et d'aluminium, humus), situé sous l'horizon E.
	S	Horizon d'altération. Il est le siège de processus physico-chimiques et biochimiques aboutissant à la destruction des minéraux du sol (altération minérale)
	C	Roche-mère plus ou moins altérée.
	R, M, ou D	Roche-mère non altérée. Couche géologique à partir de laquelle se sont formés les sols. R : roches dures, M: roches meubles et tendres, D: roche remaniée ayant donnée naissance ou non au matériau sus-jacent.

### 2-3- Profils pédologiques

Le profil pédologique est l'ensemble des horizons d'un sol donné ; chaque horizon étant une couche repérable et distincte par ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques. Ces horizons sont d'autant plus distincts que le sol est évolué. On parle aussi de solum ou des horizons du sol (Fig. 3). L'étude d'un sol repose donc sur l'identification des horizons et leurs descriptions.

L'expression "profil de sol" est aussi utilisée en agronomie pour parler du profil cultural, qui ne concerne que les sols cultivés.

## 2-4- 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.

## 2-5- L'eau du sol

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.

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. 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 :

- **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**.

- **L'eau utilisable par la plante** ou **réserve utile (R.U.)** : retenue sous forme de films assez épais autour des particule 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).

- **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.

## 2-6- 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 comparée de l'air du sol et de l'atmosphère extérieure (Gobat et *al.*, 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

Selon Ponge et Bartoli (2009), 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).

## 2-7- Température du sol

Le bilan de la radiation solaire, depuis l'atmosphère jusqu'au sol, montre qu'un tiers (33%) seulement de l'énergie solaire pénètre dans le sol. La plus grande partie (40%) de cette énergie est réfléchiée par la couche atmosphérique supérieure, 17% sont absorbés par l'atmosphère et 10% réfléchies par le sol et la végétation.

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).

## **Bibliographie**

### *Principales références*

- Duchaufour, P., Bonneau M. et Souchier B., 1997. Pédologie : Constituants et propriétés du sol. Tome 2 - 2ème édition.
- Duchaufour, P., 1977. Pédologie : Pédogenèse et classification. Tome 1, Paris, Masson, 477 p, 92 fig..
- Soltner D., 2014. Les bases de la production végétale. Tome I : le sol et son amélioration. Collection sciences et techniques agricoles.

### *Autres*

- SOTTIAUX B., 2009. Etude du Milieu - Eléments de Pédologie. Cours industriels et commerciaux Couillet P, 77p
- GOBAT J.M., ARAGNO M. et MATTHEY W., 2003. Le sol vivant. 2ème édition. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 568 p.
- Doucet R., 2006. Le climat et les sols agricoles. Eastman (Québec)/Montréal, Escalquens Berger, 443p.
- Chenu C., 2001. Le complexe argilo-humique des sols: état des connaissances actuelles. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France. 87 (3): 3-12.
- Baize D., Duval O. et Richard G., 2013. Les sols et leurs structures Observations à différentes échelles. Éditions Quæ, 20p, France.
- Gobat J.M., Aragno M. et Matthey W., 2013. Le sol vivant. Bases de pédologie. Biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 848p.
- Camuzard J.P., 2006. Les sols marqueurs de la dynamique des systèmes géomorphologiques continentaux, Thèse de doctorat en Sciences et techniques, Caen. <https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/LESOLUNMILIEUCOMPLEX/document>
- Baize D. et Girard M.C., 2009. Référentiel pédologique 2008. Association française pour l'étude du sol, 435 p, Editions Quæ, France.
- Ponge J.F. et Bartoli M., 2009. L'air du sol, c'est la vie de la forêt. La Forêt Privée - revue forestière européenne, La Forêt Privée, 2009, pp.63-70.

www <http://acces.ens-lyon.fr/acces/terre/sol/data/STRUCTUR-CHAPITRE-1-V5.pdf>  
STRUCTUR-CHAP-1-V5.doc version 5 du 13 janvier 2010