

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Badji Mokhtar Annaba**  
**Faculté des Sciences**  
**Département des Sciences de la nature et de la vie**  
**Filière Ecologie et Environnement**  
**Semestre 4**  
**Matière Pédologie**  
**Cours de Pédologie Générale**



**Responsable de la matière**  
**Prof Mohamed. BENSLAMA**

**Année Universitaire 2019/2020**

## **OBJECTIF DE L'ENSEIGNEMENT**

L'objectif de ce cours est de présenter au étudiant écologie et environnement une sciences consacré à l'étude d'un constituant de l'écosystème peu ou pas connu et qui joue un rôle clé dans le bien être de toute en chacun, c'est le sol et ces constituants..

En position d'interface dans l'environnement, les sols jouent un rôle de premier plan dans le fonctionnement des écosystèmes en générale et dans le contrôle des grands cycles biogéochimique

la position d'interface entre la lithosphère, hydrosphère et la biosphère expose le sols aux différentes interactions ce qui lui confère des propriétés fonctionnelles guidé par ces constituants et contrôlé par son environnement.

le but de l'enseignement de cette matière et de mettre à la disposition des étudiants en 2ème année Ecologie et Environnement un certain nombre de concepts , de principes de méthodes afin de reconnaître le sol comme une identité incontournable pour l'existence de l'humanité.

**Connaissances préalables recommandées** en géologie, botanique, en zoologie en physique et en chimie, en biochimie et en microbiologie .

## **Contenu de la matière**

### **Introduction**

#### **chapitre 1.** Eléments constitutifs du sol

- 1.1- Constituants minéraux
- 1.2- Constituants organiques
- 1.3- Complexes colloïdaux

#### **Chapitre 2.** Organisation morphologique des sols

- 2.1 Organisations élémentaires
- 2.2 Horizon pédologique
- 2.3 Profils pédologiques
- 2.4 Couverture pédologique
- 2.5 Sol et eau
- 2.6 Atmosphère du sol
- 2.7 Température du sol
- 2.8 Couleur du sol

#### **Chapitre 3.** Propriétés chimiques et biologiques du sol

- 3.1 Phénomènes d'échanges des ions
- 3.2 Propriétés électro-ioniques du sol
- 3.3 Organismes du sol
- 3.4 Transformations d'origine microbienne

#### **Chapitre 4** Classification des sols (Notions)

- 4.1. Les différentes classifications (Russe, Américaine, Française)
- 4.2. Aperçu sur les sols d'Algérie et leurs relations avec le climat et la géomorphologie.

### **Travaux pratiques**

- 1-Description du sol dans son environnement et prélèvement d'échantillon (sortie sur terrain).
- 2- Préparation du sol pour des analyses simple
- 3- Mesure des paramètres suivants: Humidité(H%), pH, Conductivité Electrique (CE); Matière Organique et Analyse Granulométrique

## Introduction

**la Pédologie** est l'aspect le plus général d'une science très complexe qui s'intéresse au sol appelée *science du sol*.

La notion de sol est très ancienne. Mais ce n'est qu'en 1877 qu'un géologue russe, Dokouchaev, a eu l'occasion d'étudier des sols en Ukraine et de créer cette science nouvelle : *la pédologie*.

## Définition

Le sol est une couche ou un ensemble de couches d'épaisseur faible (quelques centimètres à quelques mètres) qui recouvre la plupart du temps les roches. Cette couche est en relation directe avec la vie végétale.

Le sol (Fig. 1) est un volume qui s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à une profondeur marquée par l'apparition d'une roche dure ou meuble, peu altérée ou peu marquée par la pédogenèse. L'épaisseur du sol peut varier de quelques centimètres à quelques dizaines de mètres, ou plus. Il constitue, localement, une partie de la couverture pédologique qui s'étend à l'ensemble de la surface de la Terre. Il comporte le plus souvent plusieurs horizons correspondant à une organisation des constituants organiques et/ou minéraux (la terre). Cette organisation est le résultat de la pédogenèse et de l'altération du matériau parental. Il est le lieu d'une intense activité biologique (racines, faune et microorganismes). **(Afs, 2014)**

le sol est une formation de surface à structure meuble d'épaisseur variable résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'effet des facteurs bio-physico-chimique **(Boulaine, 1966)**

les sols sont des couches meubles, perméables, structurées horizontalement (stratigraphie), vivantes et réactives qui se renouvellent à travers la transformation de substances organiques et inorganiques.

## A ORIGINE DU SOL

### A.1 Le sol issu de la désagrégation du sous-sol

Les éléments minéraux du sol proviennent de la décomposition du sous-sol, appelé **roche-mère** ou **substrat**.

Les processus de décomposition sont la désagrégation physique du substrat et l'altération chimique du substrat, dont l'intensité dépend du climat. (Figure N° 1)

#### **1- Processus de formation du sol.**

- *1er stade* (fig.1.1). Considérons une surface de roche soumise à l'action du climat. Les eaux de pluies qui tombent sur la roche ont dissous un peu de CO<sub>2</sub> de l'air et sont légèrement acides.

D'autres phénomènes vont se manifester en même temps : Le vent apporte des poussières et des débris de végétaux tandis que des spores de végétaux inférieurs ou des larves d'insectes pourront être déposés sur la roche en voie d'altération.

- *2ème stade* (fig.1.2). La surface ainsi décomposée et recouverte d'une mince couche de dépôts minéraux et organiques va être rapidement colonisée par des éléments vivants : bactéries, lichens et insectes. Ceux ci vont attaquer plus profondément la roche et constituer ainsi une couche assez importante de débris organiques qui permettra l'installation de végétaux supérieurs. Leurs racines vont sécréter des acides qui attaqueront la roche de surface pendant que l'altération des minéraux continue. La couche humique devient plus épaisse retenant de plus grandes quantités d'eau.

- 3<sup>ème</sup> stade : formation des différents horizons du sol (fig.1.III).

Nous pouvons déjà distinguer dans le sol en cours de formation les phases suivantes :

\* Matériaux ou phase minérale. Restes de la roche à partir de laquelle s'est formé le sol. (M)

\* Phase résiduelle ou partie supérieure du sol, constituée par des éléments organiques et d'autres minéraux de petite taille (sables et limons) ou même colloïdaux (argiles, carbonates etc..). (S)

\* Phase aqueuse. Elle peut exister soit dans le sol, soit dans les fissures de la roche. Cette eau provoque le déplacement des substances solubles (phase migratrice) qui se déposent à différents niveaux dans le sol pour donner des couches à constitution particulière. (H)

\* Phase vivante : partie vivante du sol correspondant aux végétaux et aux animaux. (B)

Ces différentes phases du sol se disposent les unes par rapport aux autres suivant des modalités bien déterminées qui sont fonction du climat, de la pesanteur, de la perméabilité de la roche, etc.. Ces modalités varient au cours de l'année suivant les saisons. Cependant, chaque année le cycle varie assez peu de sorte que peu à peu s'individualisent dans le sol des couches à propriétés particulières et bien définies qui sont *les horizons*.

\* 4<sup>ème</sup> stade - sol développé.

Peu à peu, le volume de la phase résiduelle et de la matière organique s'accroît. L'altération de la phase minérale se poursuit ; fragmentation des cailloux, mise en solution de la plupart des minéraux. Seuls l'alumine et les oxydes de titane ainsi que quelques minéraux lourds sont invariants.

Les produits solubles se recombinent en grande partie pour donner des édifices cristallins de type argiles. Mais les argiles peuvent aussi provenir de la transformation par dégradation d'autres minéraux.

La matière organique fraîche subit des évolutions très variables : très rapide et complète pour la matière animale (putréfaction), rapide pour une partie de la matière végétale et beaucoup plus lente pour une autre (humification).

Peu à peu, les conditions physico-chimiques du sol se différencient en couches horizontales. Elles déterminent soit le passage en solution ou pseudosolution soit la précipitation des composés des sols. Il y a donc des transferts à l'intérieur du sol qui se traduisent à la longue par la formation de constituants différents dans les diverses couches. Les horizons du sol sont donc à la fois des couches de matériaux différents et des zones dont l'ambiance physico-chimique est en même temps bien définie et différente de celle des autres horizons.

## **2. 4- Le profil.**

C'est une coupe verticale de sol allant depuis la surface jusqu'à la roche mère comprise. En pratique c'est l'une des faces latérales verticales d'un pédon. Ce sont les Russes qui, à la fin du siècle dernier, ont défini pour la première fois la notion du profil.

## **2. 5- L'horizon.**

Les horizons sont des couches parallèles à la surface du sol, d'épaisseur variable et caractérisées par leur nature et par leurs relations. Un pédon peut être constitué par plusieurs horizons. L'organisation du sol se traduit à l'observation directe par la différenciation en horizons.

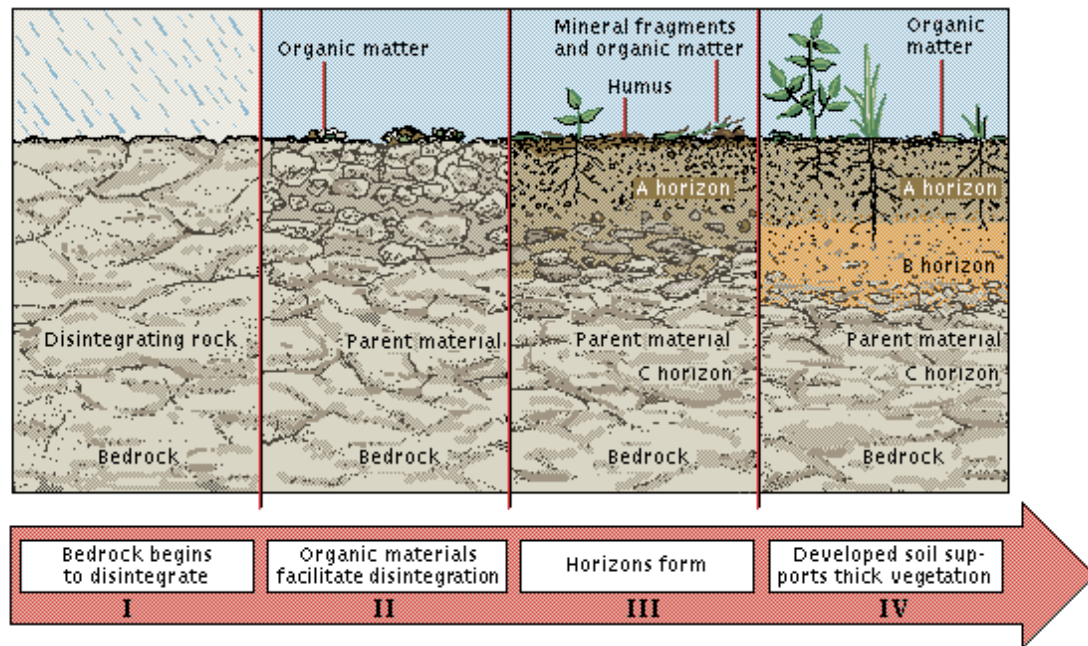


Figure N° 1: Processus de décomposition (désagrégation physique et l'altération chimique) du substrat,

## Chap1. Eléments constitutifs du sol

### 1.1 - Constituants minéraux:

La **granulométrie** ou l'analyse granulométrique classe les éléments minéraux, appelés également éléments mécaniques, d'après leur grosseur et détermine le pourcentage de chaque fraction.

On distingue dans un premier temps les **éléments grossiers** de diamètre supérieur à 2mm, de la **terre fine** de diamètre inférieur à 2mm.

Echelle granulométrique :

Terre fine					Eléments grossiers	
< 2 $\mu$	2 $\mu$ - 20 $\mu$	20 $\mu$ - 50 $\mu$	50 $\mu$ - 200 $\mu$	200 $\mu$ - 2mm	2mm - 2cm	>2cm
argiles	limons fins	limons grossiers	sables fins	sables grossiers	graviers	cailloux

### Eléments grossiers

**Les cailloux:** Les **cailloux** sont des constituants mécaniques grossiers issus de la désagrégation de la roche-mère. Leur taille est **supérieure à 2 cm**.

#### **Les graviers**

Les **graviers** sont des constituants mécaniques grossiers issus de la désagrégation de la roche-mère. Leur taille est **comprise entre 2mm et 2cm**.

*N.B. La quantité de cailloux et de graviers détermine la **pierrosité** du sol. Une teneur trop importante en éléments grossiers pose des problèmes pour le travail du sol. Un moyen de diminuer la pierrosité du sol est l'**épierrage**.*

## **Eléments Fins**

### **Les sables grossiers et fins**

Les sables sont des constituants mécaniques issus de la désagrégation de la roche-mère.

Ce sont les plus gros éléments de la terre fine. On distingue les **sables grossiers** de taille comprise entre 0,2 mm et 2 mm, des **sables fins** de taille comprise entre 0,05 mm et 0,2 mm.

### **Les limons grossiers et fins**

Les limons sont des constituants mécaniques issus de la désagrégation de la roche-mère.

On distingue les **limons grossiers** de taille comprise entre 0,02 mm et 0,05 mm, des **limons fins** de taille comprise entre 0,002 mm et 0,02 mm

**Les limons** sont constitués des mêmes minéraux que les sables. Mais leur rapport surface / volume est plus grand et l'altération fait disparaître les limons assez rapidement. Dans les très vieux sols des régions à climat lixiviant, la teneur en limons est très faible.

### **Les argiles**

L'argile est une fraction minérale du sol comportant des particules dont le diamètre est inférieur à 2  $\mu\text{m}$ . Le terme « argile » fait référence soit à l'**argile granulométrique**, soit à l'**argile minéralogique**.

L'**argile granulométrique** définit les constituants mécaniques issus de l'altération de minéraux silicatés de la roche-mère, regroupant l'ensemble des particules de diamètre **inférieur à 2  $\mu\text{m}$**  : les argiles proprement dites, des particules de quartz, de micas et de calcaire. Ce sont les plus petits éléments de la terre fine

L'**argile minéralogique** désigne le minéral issu de la désagrégation de la roche-mère.

La granulométrie contribue à définir la texture du sol. Les pédologues regroupent les textures (% d'argile, de limon et de sable) en classes de textures pour faciliter la description des sols (cf. le triangle ci-dessous).

Attention, il existe plusieurs types de triangle des textures dans le monde

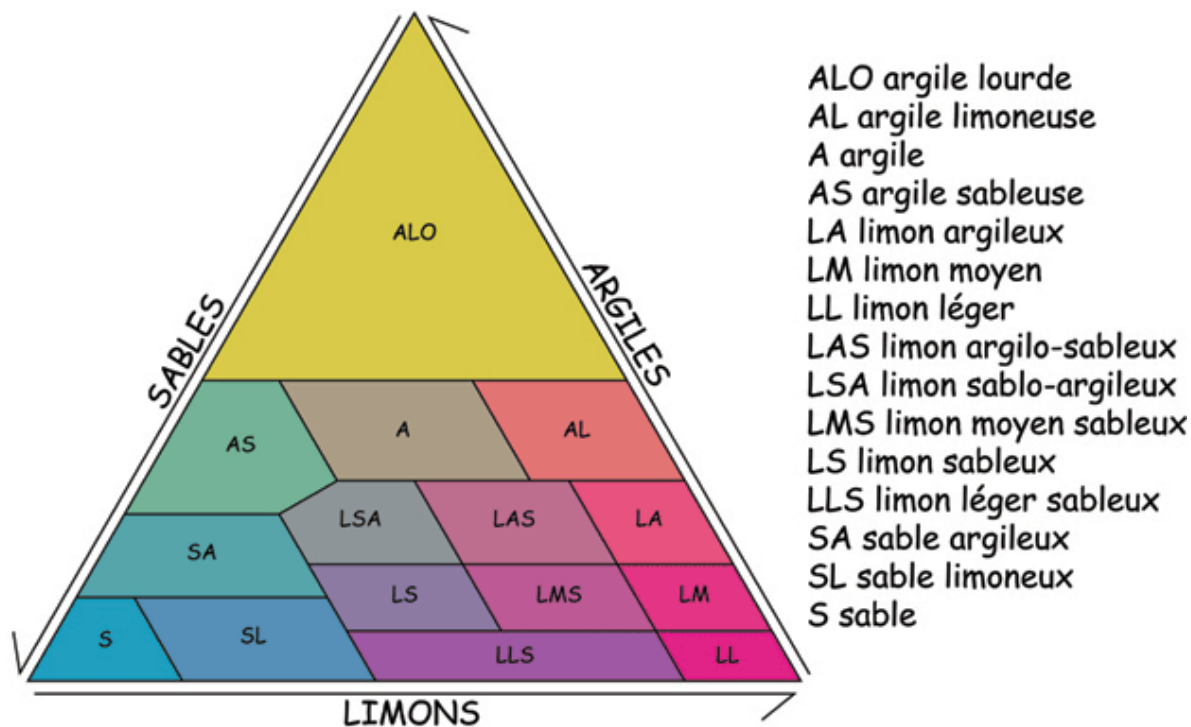


Figure N°2: Triangle des textures

### -1.2 Constituants organiques:

La matière organique du sol englobe les résidus végétaux et animaux aux divers stades de décomposition, les cellules et les tissus des organismes du sol, ainsi que les substances produites par les microbes du sol. Une fois bien décomposée, la matière organique forme l'humus. La matière organique du sol est composée de chaînes et de noyaux carbonés auxquels se fixent d'autres atomes (Pinton et al., 1997).

La matière organique du sol comprend quatre fractions : la matière organique vivante composée d'êtres vivants (appelée biomasse), la matière organique fraîche, les produits transitoires et l'humus. Matière organique fraîche, produits transitoires et humus constituent la matière organique morte.

Les sols cultivés renferment en moyenne 1 à 3 % de matière organique soit 40 à 120 t/ha sur 30 cm de profondeur.

La teneur en matière organique d'un sol dépend de la nature du sol et du travail effectué.

#### *La biomasse du sol*

La biomasse ( végétaux et animaux vivants) du sol représente plusieurs tonnes de matière organique à l'hectare.

#### *La matière organique fraîche*

Les débris végétaux et animaux ou la matière organique fraîche, non encore transformée, a globalement la même composition que les débris de végétaux dont elle provient, elle contient:

- des substances carbonées C, O, H ;
- des matières azotées C, O, H, N, et P, S ;
- des sels minéraux.



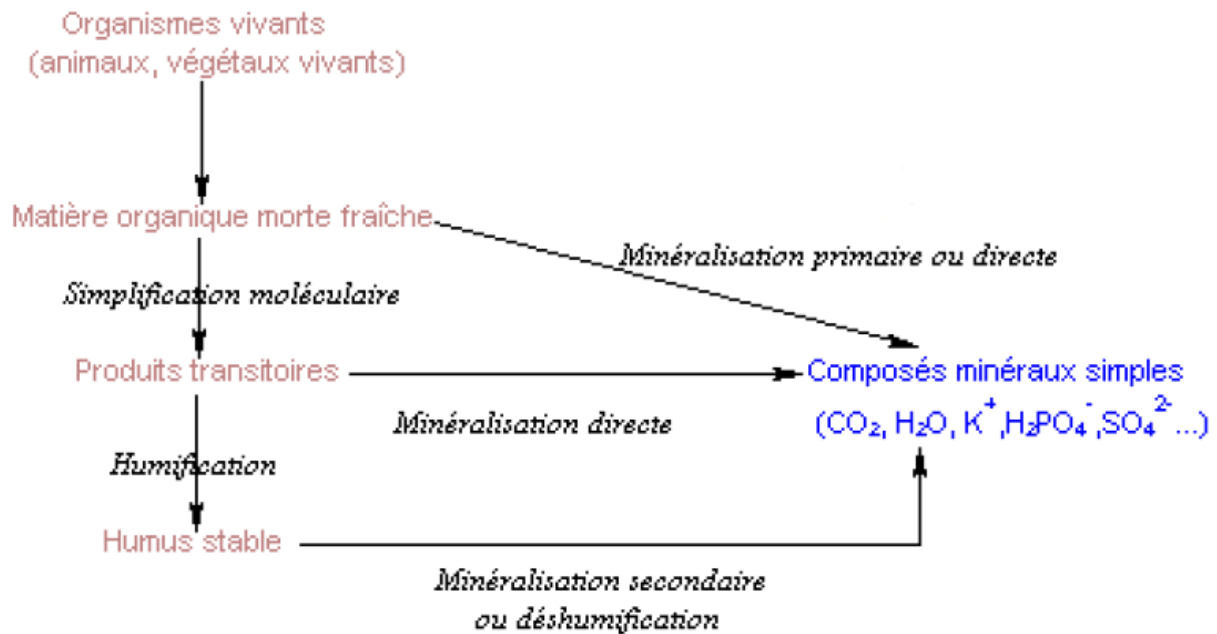


Figure N°; cycle d'évolution de la matière organique des sols

#### *Les produits transitoires*

Les produits transitoires proviennent des premières scissions des molécules organiques de la matière organique fraîche (alcools, sucres, phénols, acides organiques, acides aminés, tanins). Leur présence dans le sol est éphémère puisqu'ils seront vite repris par les micro-organismes pour aboutir à la troisième fraction : l'humus stable.

### 1.3 - Complexes colloïdaux

Certains constituants du sol portent le nom de " complexe " car ils s'agit de substances difficiles à définir.

#### **Complexes chimiques.**

Les oxydes, les produits organiques et les ions du sol sont parfois liés sous forme de complexes chimiques généralement plus solubles ou pseudosolubles que certains éléments qui les constituent. Ceux-ci peuvent alors facilement migrer dans le sol tant que le complexe n'est pas détruit. Si au contraire celui-ci arrive, après migration, dans une zone où les conditions physico-chimiques font qu'il n'est plus stable, il est détruit et ces éléments reprennent leur indépendance chimique. L'élément qui a migré grâce à la formation du complexe est alors fixé sous forme insoluble. Par exemple le fer, même à l'état ferreux n'est pas soluble dans les conditions ordinaires du sol. Il migre grâce à la formation de complexes organique et il est reprecipité par oxydation en fer ferrique. L'or peut lui-même être complexé par la matière organique et migrer dans le sol.

Les complexes les plus importants en pédologie sont ceux que la fraction soluble de la matière organique libre (acides fulviques) peuvent former avec les cations  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  et  $\text{Mn}^{4+}$ . Sous forme d'ions échangeables, ces ions n'existent dans le sol qu'à des pH bien défini : 6,5 pour  $\text{Fe}^{2+}$ , 5 pour  $\text{Al}^{3+}$  et 2,5 pour  $\text{Fe}^{3+}$ . A des pH plus élevés, ils



sont sous forme d'hydroxydes insolubles. S'il y a migration de ces éléments à des pH supérieurs au seuil critique, c'est que des composés complexants ont pu les soustraire momentanément aux lois qui régissent leur état.

### **Complexes absorbants.**

L'argile, l'humus et certains composés amorphes ont la propriété de retenir à leur périphérie des ions qui peuvent être échangés avec d'autres ions de la solution du sol. Ce dernier a le pouvoir, par l'intermédiaire de substances, d'échanger des ions qu'il absorbe. Sur certaines des surfaces de ses constituants, on dit qu'il a une capacité d'échange et qu'elle est due à un complexe absorbant. Celui-ci a donc la capacité de fixer des ions échangeables.

Les pourcentages des cations du complexe absorbant influent énormément sur les propriétés physiques et chimiques du sol. Le potassium et l'ammonium, malgré leur importance dans la nutrition des plantes, s'y trouvent toujours en faible quantité.

Les meilleures conditions de croissance des plantes cultivées sont réalisées lorsque le complexe absorbant est saturé par des cations alcalino-terreux, surtout le calcium. Le pH du sol est alors voisin de la neutralité. Le calcium assure une liaison très tenace entre les particules argileuses et l'humus et la structure est favorable.

Les plantes se nourrissent en échangeant les cations dont elles ont besoin ( $K^+$ ,  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ ) contre des ions  $H^+$  qu'elles puisent dans l'eau.

### **Le complexe argilo-humique.**

Comme son nom l'indique, il s'agit de l'association de composés organiques avec les constituants argileux de la fraction minérale du sol.

De nombreuses études ont montré que la majeure partie de la matière organique humifiée est liée à la fraction argileuse du sol. Fréquemment 50 à 80 % de cette matière organique est adsorbée sur les argiles. Il est toute fois difficile de savoir avec précision qu'elle est la surface des particules argileuses qui est couverte par les composés humiques. Quant à la nature des liaisons, plusieurs mécanismes ont été évoqués : attraction électrostatique, liaison par ponts hydrogène, adsorption physique, complexes de coordination.

Il est probable que ces différents types de liaisons jouent simultanément et son fonction de la nature des composés organiques et minéraux. Lorsqu'il y a un nombre suffisant de points de contact entre composé organique et argile, il devient virtuellement impossible de séparer les deux constituants.

Il est clair que la formation de tel complexes a pour effet de favoriser la structuration du sol par augmentation de la cohésion inter-agrégats. La stabilité de ces agrégat est mesurée par des tests de stabilité texturale.

## **Chapitre 2. Formation et Organisation morphologique des sols**

### **2.1 Facteurs de formation des sols**

#### **\* La roche mère**

#### **\* Facteurs Climatique**

Précipitation: l'eau agit comme agent d'altération des roche par un humectation avec

**Action de l'Homme:** Action sur la végétation (Apport de matière organique, changements chimique du sol (Apport d' Engrais, pH), Altération des roches pour des besoins de développement

argiles).

### **La Structure.**

Elle désigne le mode d'assemblage des particules qui composent un sol. Elle s'observe et se décrit à deux niveaux : structure proprement dite, à l'échelle macroscopique et microstructure ou micromorphologie à l'échelle microscopique. La structure détermine la répartition dans l'espace de la matière solide et des vides. Cette répartition conditionne l'ensemble des propriétés physiques fondamentales du sol : aération, respiration des racines, rétention d'eau, etc...

#### **Origine des structures.**

Elles résultent de processus de nature variés, biologique, chimique et enfin, physique et mécanique. La dominance de tel ou tel processus est à l'origine des divers types de structures. Le rôle des ciments flocculés est considérable. Il s'agit des éléments fins ou colloïdaux formant des ponts ou des revêtements autour des particules minérales plus grossières et les liants entre elles plus ou moins intimement.

#### **Classification des structures.**

\* Structure particulaire : résulte de l'absence totale de cohésion entre les particules constituant le matériau. Il s'agit de sols à texture grossière, sable ou sable limoneux.

\* Structure massive ou cohérente : correspond à un assemblage continu et cohérent sans faces de dissociation marquées. Il y a insuffisance de ciments argilo-humiques flocculés pour former des agrégats. Il existe cependant des ciments minéraux très diffus, en pellicules autour des particules, ce qui augmente la cohésion de l'ensemble. Ce type de structure se rencontre dans des sols à texture fine (limoneux).

\* Structure fragmentaire : caractérisée par l'arrangement des particules élémentaires en agrégats de formes et de dimensions très variables.

\* Structures construites : le ciment d'origine biologique joue un rôle important.

\*\* Structure grenue : agrégats subsphériques peu poreux de 1 à 10 mm.

\*\* Structure grumeleuse : agrégats de forme arrondie irrégulière, très poreux, de 1 à 10 mm

\*\* Structure nuciforme : à éléments arrondis irréguliers de taille supérieure à 1 cm.

\* Structure par fissuration : le retrait et le gonflement sont les principaux facteurs en jeu.

\*\* Structure polyédrique : éléments cohérents, isodimensionnels, à arêtes vives de quelques mm à plusieurs cm.

\*\* Structure prismatique : la dimension verticale est la plus grande et peut atteindre un à plusieurs dm.

\*\* Structure lamellaire : la plus forte dimension est horizontale (fragipan).

#### **Conséquence de l'agencement des agrégats :**

##### **\* la porosité.**

La porosité représente le volume des vides du sol occupés par de l'eau ou de l'air et exprimé en pourcentage du volume total. Cette porosité totale qui varie selon les sols de 30 à 70 %, n'a pas de signification

écologique par elle-même, car seuls les vides d'une dimension suffisante permettent drainage, aération et pénétration racinaire.

*La microporosité* correspond au volume des pores capillaires retenant l'eau après ressuyage. On la subdivise en microporosité (pores de réserve, retenant l'eau capillaire absorbable par les végétaux, compris entre 8 et 0.2  $\mu\text{m}$ ) et microporosité très fine (pores résiduels, retenant l'eau capillaire non absorbable, de taille inférieure à 0.2  $\mu\text{m}$ ).

*La macroporosité* correspond au volume des vides du sol occupé par l'air après ressuyage. Il s'agit de pores assurant la circulation de l'eau et de l'air. Ce sont donc ces *pores de transmission* qui permettent le drainage du sol et rendent également possible la mobilisation

dans les profils des substances solubles et l'évacuation des produits de l'altération.

Signalons enfin qu'on fait souvent la distinction entre la porosité texturale résultant de l'assemblage des particules minérales élémentaires et la porosité structurale qui provient de l'agencement spatiale des agrégats structuraux.

#### **\*Consistance.**

Elle traduit la cohésion et la résistance à la pression des unités structurales. La consistance varie en fonction de la granulométrie, du type de structure, de sa stabilité qui peut être différente selon le degré d'humidité du sol. On emploie des adjectifs tels que : meuble, friable, cohérent et durci, pour désigner une résistance croissante à la pression. Un sol argileux peut être compact et même durci (à l'état sec), ou plastique (à l'état humide).

### **2.3. Horizon pédologique,**

les horizons pédologiques: ce sont des couches qui se superposent verticalement et se succèdent latéralement depuis la roche (roche-mère) jusqu'à la surface.

La formation des horizons et de leurs caractères (morphologiques, minéralogiques, physiques, chimiques, biologiques...) est le résultat des mécanismes physico-chimiques et biologiques qui transforment les roches en sol .

Un horizon se distingue par:

sa couleur, sa texture, sa structure, sa teneur en matière organique.

Par la densité , la taille et l'orientation de ces racinaires, l'activité biologique.

Par les traits pédologiques et par sa réaction à l'HCl.

### **LES DIFFERENTS TYPES D'HORIZONS**

**O : horizon organique**, constitué par la litière

**A : horizon organo-minéral**

**E : horizon lessivé** = éluvial = appauvri en particules fines argileuses

**B : horizon d'accumulation** = illuvial :

d'argile = **Bt**

d'hydroxydes = **Bo, Bfe, Bal...**

de matières organiques = **Bh**

de produits amorphes = **Bp**

de silice = **Bsi**

de calcaire = **Bca**

de gypse = **Bcs**

de sels solubles = **Bsa**

**S : horizon d'altération à structures pédologiques**

**Sk : horizon d'altération à structures pédologiques** fortement appauvri en silice, riche en kaolinite, très épais (plusieurs mètres) ; il est caractéristique des sols ferrallitiques

**C : horizon d'altération à structures lithologiques** ; au sein des horizons C il peut y avoir des accumulations : **Ct, Co, Ch, Csi, Cca, Ccs, Csa**

**R : Roche-mère dure**

**M : Roche-mère meuble**

**Ap : horizon modifié, voire généré, par l'activité humaine ; dans tous les sols cultivés, Ap remplace A**

**G : Gley** = hydromorphie permanente

**g : Pseudogley** = hydromorphie temporaire (**horizons Ag, Eg, Btg, Sg, Cg...**)

Une bonne description des horizon permet de reconnaître et comprendre la présence et la diversité des sols dans un paysage donné, leurs caractéristiques, leurs dynamiques, leurs rôles.

Il existé des horizon de surface et des horizons de profondeur

## **2.4 - PROFILS PEDOLOGIQUES,**

Le **profil pédologique** est une coupe verticale d'un sol depuis sa surface jusqu'à atteindre du matériau relativement peu altéré. Autrement exprimé, il est une coupe verticale d'un sol qui met en évidence l'épaisseur et la succession des différents horizons



Figure N°5 Coupe pédologique

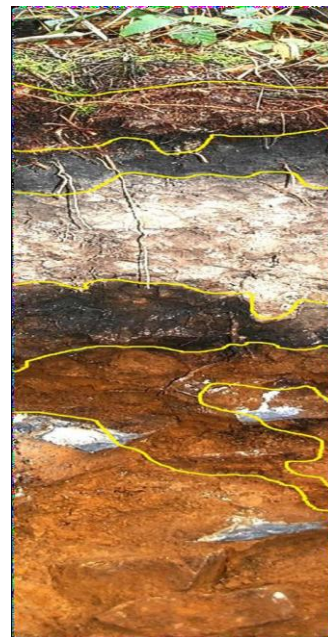


Figure N°6 profil et Horizons

**2.5 Couverture pédologique:** C'est la distribution spatiale des sol. Elle se base sur le prise en compte de l'effet combinée des facteurs de formation du sol a savoir le climat , les organismes vivants, le relief, l'homme et le temps sur le matériel parental (Roche mère). la couverture pédologique est matérialisée par une représentation tri dimensionnel du sol (cartographie des volumes du sol).

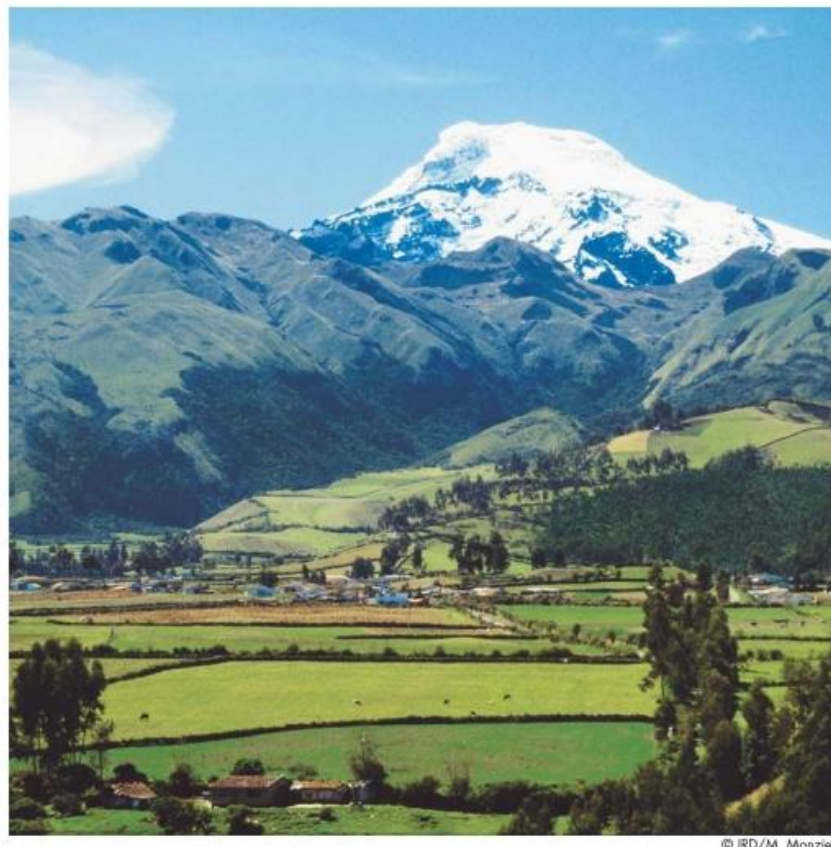


Figure N°7: Couverture Pédologique



## 2.6 SOL ET EAU,

L'étude de l'eau du sol comporte deux aspects : 1° un aspect statique, qui est la capacité de rétention en eau du sol, en liaison directe avec la disponibilité en eau pour les plantes. 2° un aspect dynamique : il s'agit de la circulation de l'eau dans le sol, c'est à dire les transfères verticaux ou latéraux de la phase liquide du sol.

Ces deux aspects dépendent tous, directement ou indirectement, de la porosité du sol et des type de porosité qui y sont développés.

### **Les états de l'eau du sol.**

#### **Eau de gravité.**

C'est l'eau occupant momentanément ou de façon plus ou moins permanente (eau de saturation) les pores les plus grossiers du sol, ou la macroporosité. Cette eau est soumise à la pesanteur et n'est donc pas retenue par le sol après *ressuyage*. C'est cette eau de gravité qui assure l'entraînement des substances dissoutes ou en suspension.

Elle contribue donc à la différenciation des profils. On fait d'habitude la différenciation entre l'eau de gravité à écoulement rapide et celle à écoulement lent.

#### **Eau capillaire.**

On distingue l'eau capillaire absorbable qui correspond à l'eau contenue dans la microporosité de 0,2 à 8  $\mu\text{m}$  (pores de réserve), et l'eau capillaire non absorbable ou *eau liée*, correspondant à la porosité très fine  $< 0,2 \mu\text{m}$  (pores résiduels).

L'eau capillaire absorbable est donc l'eau retenue par le sol après *ressuyage* : elle est utilisable par les végétaux. C'est en outre la phase liquide qui compose la "solution du sol", c'est à dire le réservoir des substances dissoutes et le milieu d'altération des minéraux.

#### **Eau hygroscopique.**

C'est l'eau adsorbée par le sol au dépens de l'humidité atmosphérique. Il s'agit donc d'une mince pellicule d'eau entourant les particules minérales et organiques. Très énergiquement retenue, elle n'est susceptible d'aucun mouvement et n'est pas absorbable par les végétaux.

Les sols retiennent leur eau avec une énergie variable qui est fonction de leur texture ou de leur contenu en matière organique. Il est donc possible de mesurer les forces de rétention de l'eau du sol.

### **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).

#### **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 du



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.).

#### **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.

### **2.7 Atmosphère du sol,**

Ce sont les mêmes gaz que ceux de l'air. Cependant, les fermentations biologiques de la matière organique et la respiration des racines produisent beaucoup de dioxyde de carbone et la pression partielle de ce gaz augmente (3 % au lieu des 3 /10 0000 de l'atmosphère normale). Ce phénomène prend de l'importance dans les sols calcaires, car de nombreux équilibres chimiques sont alors déplacés.

Dans les sols engorgés par l'eau et dans les sols gonflants, les gaz sont chassés du sol. L'oxygène peut alors faire défaut si des fermentations ont lieu ou si les racines consomment de l'oxygène : le sol devient asphyxiant pour les plantes et réducteur (le fer migre alors très facilement).

L'oxygène et le dioxyde de carbone sont donc les gaz qui jouent un rôle important dans les sols. Ils existent soit à l'état libre au sein de l'atmosphère du sol, soit à l'état dissous dans les solutions du sol. Des échanges ayant lieu constamment entre l'atmosphère terrestre, l'atmosphère du sol et les solutions du sol.

	Atmosphère	Sol
Oxygène (O <sub>2</sub> )	21%	10 à 20%
Azote (N <sub>2</sub> )	78%	78.5 à 80%
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	0.03%	0.2 à 3.5%
Vapeur d'eau	variable	variable
Gaz rare	1%	Trace

Tableau N°1: composition de l'atmosphère du sol

#### **- Température du sol:**

Le **rayonnement solaire** est la source principale de la chaleur du sol.

La **température d'un sol** dépend de l'inclinaison du terrain, de la rugosité du relief, de la composition minéralogique, de la couleur et de l'humidité du sol.

La température du sol conditionne les **activités microbienne** et **racinaire**.

Les **sols les plus froids** sont ceux engorgés d'eau,  
les **sols les plus chauds** sont les sols perméables

## 2.8 Couleur du sol

Ce sont les oxyhydroxydes de fer qui déterminent très généralement la couleur des sols. Même à très faibles concentrations, ils ont un fort pouvoir de pigmentation qui augmente en intensité lorsque leur taille décroît. La couleur des sols est donc essentiellement déterminée par la nature, l'abondance et la taille des oxyhydroxydes de fer (la matière organique et les carbonates interviennent aussi).

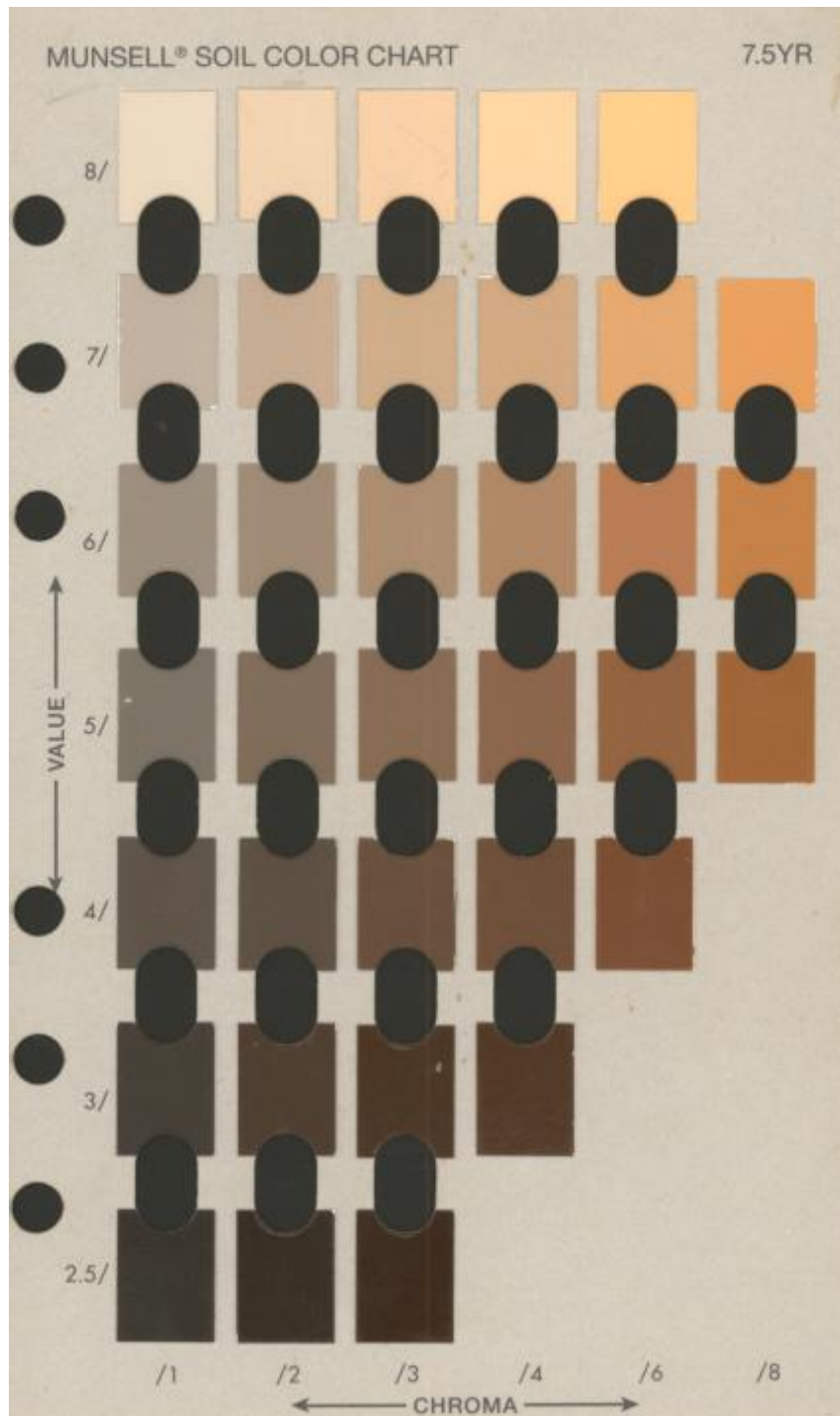


Figure N°8: Chart des couleur des sols

## Chapitre 3. PROPRIETES CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DU SOL

### 3.1 Phénomènes d'échanges des ions:

**Complexe adsorbant** : ensemble des constituants minéraux et organiques ayant la capacité de retenir à leur surface des cations, dont les principaux sont le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, l'ammonium, mais aussi l'hydrogène, l'aluminium (en condition de forte acidité).

Par ses propriétés d'échange un sol est capable soit de prélever des ions aux solutions qui sont à son contact, soit de leur en fournir. Le complexe adsorbant est donc l'ensemble des colloïdes (composés humiques et argiles minéralogiques), doté de charges négatives susceptibles de retenir les cations sous forme échangeable, c'est à dire pouvant être remplacés par d'autres cations, dans certaines conditions précises.

Les ions échangeables du complexe adsorbant sont en équilibre avec les solutions du sol : toute modification de la composition de la solution du sol provoque un changement de cet équilibre par « échange » : certains ions du complexe passent en solution (*désorption*) et sont remplacés par d'autres ions, qui étaient en solution (*adsorption*).

Exemple d'un phénomène d'échange : apport d'un engrais potassique dans un sol à complexe saturé d'ion  $\text{Ca}^{2+}$  :  $\text{Sol Ca} + 2 \text{KCl} \rightleftharpoons \text{CaCl}_2 + \text{Sol 2K}$  K remplace Ca dans le complexe, alors que Ca passe en solution.

Le **complexe argilo-humique**, Formé par la liaison d'argile et de matière organique humifiés. Il est chargé négativement à sa surface, a la capacité de retenir à sa surface des cations provenant de la solution du sol : c'est le **pouvoir adsorbant**. Un équilibre s'établit entre les ions adsorbés et les ions libres de la solution. Ces cations sont momentanément fixés, ils peuvent être échangés, par le phénomène de désorption, avec la solution. A chaque instant se désorbe autant d'ions qu'il ne s'en adsorbe.

**la capacité d'échange cationique** du sol ou **CEC** correspond à l'ensemble des charges négatives du sol. Cette dernière est due en ordre principal aux argiles minéralogiques et aux composés humiques. La CEC des sols dépend de la texture, de la teneur en matière organique et de la composition minéralogique du sol.

**Le taux de saturation du complexe adsorbant**: La CEC est occupée par les cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  (cations échangeables) ainsi que par  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  (ions générateurs d'acidité).

**S** étant la somme des cations échangeables et la CEC la capacité d'échange totale :

le **taux de saturation**:  $V = 100 \times S / \text{CEC}$ .

Un sol saturé ne renferme pas de protons  $\text{H}^+$  et est riche en cations.

### 3.2 Propriétés électro-ioniques du sol:

\* **Le potentiel d'hydrogène du sol « pH »**

Les sols présentent une gamme très large de pH. Le pH du sol donne une indication sur l'activité des protons dans un système sol- eau ou sol-solution saline (KCl par exemple), compte tenu de toutes les réserves que peut comporter une telle détermination, réalisée généralement sur une suspension de sol et non sur une solution vraie. On distingue habituellement :

- *L'acidité actuelle* qui exprime la concentration en  $H^+$  actuellement dissociée dans la solution du sol.
- *L'acidité d'échange*, ou acidité de réserve, qui prend en considération non seulement les protons dissociés dans la solution du sol, mais aussi ceux qui sont adsorbés sur le complexe d'échange. Le cation alumineux  $Al^{3+}$ , source d'acidité lorsqu'il évolue vers des formes hydroxylées solubles, fait également partie de l'acidité d'échange. L'aluminium cationique ne se rencontre que dans les sols à  $pH < 5$ . C'est un élément toxique pour les végétaux et sa détermination dans les sols acide est donc indispensable.
- *L'acidité totale ou potentielle* qui correspond à l'ensemble des protons titrable par une base forte (NaOH 0,1 N par exemple).

#### \* Le pouvoir tampon du sol

Le pH du sol varie en fonction :

- ✓ de la nature du sol ;
- ✓ de la saison. Le pH varie d'une demi-unité au cours de l'année, il est minimum en été et maximum en hiver ;
- ✓ de l'intensité culturale. Le sol a tendance à se décalcifier et à s'acidifier avec le temps.

Le pouvoir tampon c'est la capacité des sols à s'opposer aux variations de pH en cas d'apport d'acide ou de base ; donc L'acidité potentielle confère au sol un effet tampon qui s'oppose aux brusques variations de pH. Si l'on apporte des ions  $H^+$  dans la solution, dans un premier temps le pH diminue puis remonte : une partie des protons vont se fixer sur le complexe argilo-humique. Au contraire, si le nombre de protons de la solution diminue (par association avec des  $OH^-$  pour donner des molécules d'eau), des protons du complexe argilo-humique vont se désorber, le pH qui avait augmenté au début diminue (Pasquier, 2010)

Cependant, il est nécessaire de connaître le pouvoir tampon du sol afin de déterminer la quantité d'amendement calcaire capable de faire varier le pH de ce dernier (Soltner, 1980).

#### • Relation entre le taux de saturation et le pH du sol

L'expérience montre qu'il n'y a pas de proportionnalité rigoureuse entre le pH et le taux de saturation du complexe sauf dans les cas extrêmes :

- un pH bas  $\implies$  acidité élevée correspond à un taux de saturation faible.
- un pH élevé  $\implies$  acidité faible correspond à un taux de saturation important (Anonyme, 2009).

#### \* Le potentiel d'oxydo-réduction. Eh

L'un des paramètres les plus utilisés pour rendre compte des propriétés oxydantes ou réductrices du milieu sol est le potentiel d'oxydo-réduction. Ce dernier est l'expression en millivolts du potentiel électrique qui résulte du transport d'électrons d'un donneur d'électrons vers un accepteur d'électrons. Les réactions d'oxydation et de réduction se traduisent, en effet, par des échanges d'électrons. Une *oxydation* est une incorporation d'oxygène, ou une libération d'électrons. Une *réduction* est une perte d'oxygène ou une incorporation d'électrons.

Exemple	Forme réduite		Forme oxydée
	$2FeO + O$	=====	$Fe_2O_3$
	$Fe^{2+}$	=====	$Fe^{3+} + e$

### - Facteurs influençant le Eh.

Le Eh varie, pour l'ensemble des sols terrestres, entre 900 mV (conditions oxydantes) et -300 mV (conditions très réductrices). Il dépend de plusieurs facteurs :

- **Concentration et humidité.** Concentration - le potentiel d'oxydo-réduction d'un système dépend à la fois de la concentration globale de l'élément actif (ex le Eh augmente quand [Fe] augmente) et du rapport des éléments (ex si  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = 100$ , Eh = 890 mV et si  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = 1/10$ , Eh = 650 mV).

Humidité - Les variations d'humidité du sol créent des variations de concentration en éléments du système redox mais surtout, provoquent une réorganisation de la microflore du sol qui aboutit à des niveaux de Eh très différents.

**pH** - L'addition d'ions  $\text{H}^+$  dans un système redox abaisse le Eh du système.

**Présence de substances organiques** - L'introduction de matières organiques dans le système sol abaisse le potentiel redox.

**Rôle de la microflore** - De nombreux chercheurs ont montré l'importance de la microflore dans le processus d'oxydo-réduction en conditions aérobies ou anaérobies. Si le sol est hydromorphe et qu'il renferme des substrats métabolisables, la microflore consomme d'abord l'oxygène du sol puis réduit  $\text{Mn}^{3+}$  en  $\text{Mn}^{2+}$ , puis  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$ , le Eh s'abaisse et ceci d'autant plus rapidement qu'il y a plus de substances carbonées énergétiques dans le milieu.

### 3.3 ORGANISMES DU SOL: Biodiversité du sol :

Le sol, où cohabitent les racines des végétaux, les animaux et les microorganismes, est un assemblage complexe de substances minérales et organiques, de gaz et d'eau, à l'intérieur duquel se déroulent simultanément des phénomènes de dégradation et de synthèse.

La vie dans les sols, ce sont les plantes et leurs racines, bien sûr, mais aussi les milliards de bactéries, de champignons, de nématodes, de vers de terre, de termites, de fourmis, d'insectes et de lézards, de taupes, de marmottes, de lapins, de renards... La vie, qu'elle soit micro ou macroscopique, contribue à l'altération des roches, c'est-à-dire qu'elle participe à la désagrégation des roches, à la transformation et à la dissolution des minéraux primaires de ces dernières puis à la formation des constituants des sols (argiles, hydroxydes...) ; à partir de ces constituants, la vie contribue à la construction, en permanence renouvelée, des structures pédologiques (agrégats, nodules, porosités...). A. Ruellan 2010

Le sol abrite une large part de la biodiversité terrestre : on estime qu'un quart des espèces actuellement décrites vivent dans le sol. Ainsi, la première des fonctions du sol, certainement la plus importante, est l'accueil de la vie : la vie fait le sol... qui à son tour permet à la vie de se développer, de se différencier, de se diversifier. A. Ruellan.2010....

La biodiversité des **sols** joue un **rôle** indirect sur la qualité et l'abondance des cultures car elle contribue au renouvellement de la structure du **sol**, décompose les matières organiques et facilite l'assimilation de nutriments minéraux disponibles pour les plantes.

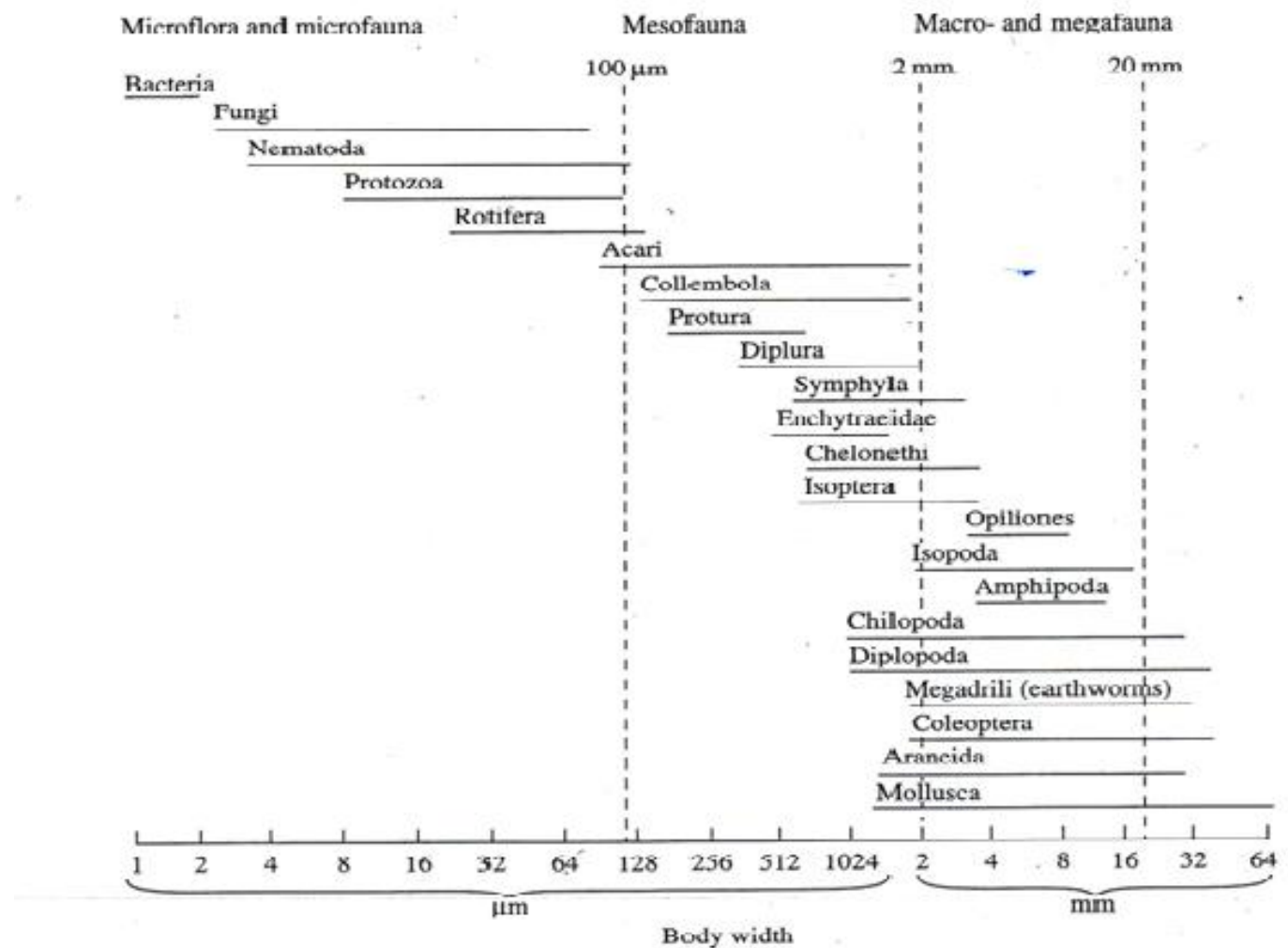


Figure N° 9 classification des microorganismes des sols ( adapté par Swift et al 1979)

### \*. La faune du sol

La pédofaune est longtemps restée méconnue, peut-être en raison de sa taille souvent minuscule, de la multitude d'espèces en cause et de son manque apparent d'intérêt. Son étude n'a pris véritablement essor qu'à la fin du 20ème siècle lorsque l'objectif de la recherche était surtout de se débarrasser des ravageurs des cultures (De prince, 2003).

Dans cette nouvelle orientation, plusieurs définitions de la faune du sol ont été proposées. Ainsi, La faune du sol représente l'ensemble des animaux qui passe une partie importante de leur cycle biologique dans le sol (faune Endogée) ou sur sa surface (faune épigée), y compris dans la litière (Bachelier, 1978 ; Lavelle *et al.*, 1991; Gobat *et al.*, 1998). La faune du sol peut être classée en quatre (4) catégories suivant la taille des organismes vivants (Bachelier, 1963 ; Coineau, 1995) :

**a-La microfaune :** dans laquelle les individus mesurent moins de 0,2mm. Les Protozoaires et les Nématodes constituent l'essentiel de la microfaune, avec comme groupes secondaires: les Rotifères, les Tardigrades et certains petits Turbellariés.

**b-La mésofaune :** dans laquelle les individus mesurent entre 0,2 et 4mm. Les deux grands groupes de Microarthropodes que sont les Collemboles et les Acariens constituent l'essentiel de cette mésofaune avec d'autres insectes aptérygotes de moindre importance : les Protoures, les Diploures et les Thysanoures. Les Enchytréides (petits vers oligochètes), les Symphyles (Myriapodes) et les plus petits insectes ou leurs larves se rangent aussi dans la mésofaune.

**c-La macrofaune :** dans laquelle les individus mesurent entre 4 et 80mm. La macrofaune est constituée par les Vers de terre, les termites, les Myriapodes (Chilopodes et Diplopodes), de nombreux Arachnides, les Mollusques (Limaces, Escargots), quelques Crustacés (Isopodes ou Amphipodes), des larves d'insectes principalement de Diptères, de Coléoptères, mais aussi de Lépidoptères et d'Hémiptères et quelques autres groupes faunistiques d'importance secondaire.

**d- La mégafaune :** dans laquelle les individus mesurent plus de 80mm. On trouve à la fois dans ce groupe des Crustacés, des Reptiles, des Batraciens, de nombreux insectivores (taupes, musaraignes) et des Rongeurs (rats, campagnols).

Outre leur taille, les organismes du sol peuvent être classés en fonction de leur rôle au sein de l'écosystème naturel (Brussaard, 1998) on distingue:

- \* **La population de racines** (rhizosphère) qui est constituée d'organismes affectant positivement ou négativement la croissance des plantes au niveau des racines. On y distingue les mycorhizes, les bactéries, les nématodes et les rhizobiums.

- \* **Les décomposeurs** qui renferment la microflore, la microfaune et la mésofaune. Dans ce groupe on trouve également certains représentants de la macrofaune qui broient et incorporent la matière organique au sol, sans une réelle modification physique dont les Myriapodes Diplopodes.

- \* **Les "ingénieurs"** de l'écosystème qui sont des organismes capables d'assurer la disponibilité des ressources et de créer des habitats pour d'autres organismes, par des modifications physiques du sol. Les vers de terre, les termites et les fourmis sont considérés comme les "ingénieurs" de l'écosystème les plus importants dans les sols tropicaux (Jones *et al.*, 1994).

#### \* **La flore du sol**

Elle comprend algues, champignons, actinomycètes et bactéries. Ces derniers sont souvent regroupés avec la microfaune sous le nom de micro-organismes du sol.

Les bactéries dégradent la lignine, la cellulose, les protéines, les matières organiques, etc ; elles interviennent dans divers étapes essentielles du cycle des éléments fertilisants (N, P,S) et favorise la synthèse des substances de croissance.

Les champignons agissent sur les processus de formation de l'humus et la stabilisation des agrégats. Certaines entre eux, les hyménomycètes infestent les racines des plantes pour former une association nommée mycorhize. Cet organisme peut digérer et transmettre à l'hôte certaines substances que ce dernier ne peut obtenir facilement lui-même. Cet effet bénéfique a été surtout observé en sol forestiers (UNIFA, 2005).Cependant, les techniques de culture doivent tendre à améliorer les conditions de milieu favorable à l'activité des micro-organismes.



### 3.4 Transformations d'origine microbienne

les **micro-organismes** (bactéries, champignons, protozoaires, nématodes...) représentent 75 à 90 % de la biomasse vivante du **sol**. Ils ont un **rôle** majeur dans la décomposition de la matière organique, contribuent au recyclage des nutriments et facilitent l'absorption des éléments par les racines.

L'importance de l'intervention des micro-organismes dans le cycle de la matière varie suivant l'élément considéré.

Dans le cas de carbone (C), d'azote (N), de soufre (S), elle est capitale, puisque l'absence, voire l'inactivité des micro-organismes, entraînerait un arrêt de l'approvisionnement naturel des sols en azote et un blocage du turnover de C, N, S se traduisant par l'accumulation de ces éléments sous forme organique inutilisable par les végétaux.

Dans le cas des autres éléments, tels que le **phosphore** (P), l'intervention microbienne est beaucoup plus discrète. Lorsqu'on fait le bilan d'un élément dans le cadre d'un écosystème sol-végétation (atmosphère non comprise), on constate que les transformations microbiennes peuvent contribuer à l'enrichir ou à l'appauvrir ; à ces gains et pertes d'origine biologique peuvent s'ajouter des gains ou pertes d'origine non biologique. Lorsque l'écosystème est à l'équilibre, les gains d'origine biologique et non biologique compensent les pertes

Les microorganismes sont, sans conteste, les plus nombreux et les plus divers. Composés de bactéries, d'archaebactéries et de champignons, ils assurent des fonctions essentielles comme la biodégradation de la matière organique, la production de nutriments pour les plantes, la fixation d'azote, la dégradation des polluants, etc. Les cycles biogéochimiques comme le cycle du carbone de l'azote ou du phosphore sont sous la dépendance (à plus de 90 %) des microorganismes. Ils sont ainsi responsables de l'émission des gaz à effet de serre comme le CO<sub>2</sub>, le N<sub>2</sub>O et le CH<sub>4</sub>

on a pu montrer qu'un seul gramme de sol peut héberger jusqu'à 10 000 espèces bactériennes différentes et près d'un milliard de bactéries

## Chapitre 4. Classification des sols (Notions)

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 sols contiennent tous les éléments chimiques naturels et combinent des états simultanément solides, liquides et gazeux.

Par ailleurs, le nombre de caractéristiques physiques, chimiques et biologiques et leurs combinaisons sont presque infinies. Il n'est donc pas étonnant que de nombreuses approches différentes aient été proposées pour arriver à un regroupement judicieux des différents sols.

De plus, des 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.

On peut distinguer trois étapes différentes pour illustrer le développement de systèmes de classification des sols. Les plus anciens systèmes de classification des sols (Russie, USDA 1938) ont porté sur l'environnement et les facteurs de formation des sols pour classer les sols en sols zonaux (déterminés par le climat et la végétation) et les sols azonaux et intrazonaux (déterminés par le matériau d'origine et le temps de développement). La différence entre les sols azonaux et intrazonaux a été faite sur la base du développement du profil du sol. Un développement ultérieur a été axé sur les processus qui se produisent dans le sol lui-même (comme la ferallitisation, la salinisation, la lixiviation et l'accumulation etc ...). Ces processus ont été grossièrement caractérisés par les propriétés du sol. Un bon exemple de cette dernière approche est le système de classification français (CPCS, 1967). La classification moderne des sols a commencé avec la publication de la 7e version de la *Soil Taxonomy* USDA, où les propriétés du sol précisément définies et quantifiées en tant que telles, ou en combinaison, ont été utilisées pour définir les «horizons de diagnostic ». Ceux-ci ont été utilisés à leur tour pour définir les grandes classes de sols. (FAO; 2020)

Des approches postmodernes de classification des sols font un usage intensif des statistiques et comprennent des systèmes numériques de classification des sols (développés par Webster, Fitzpatrick et McBratney, Etc...).

Il existe plusieurs type de classification des sols : les classifications hiérarchisées, les référentiels et la classification référentiel FAO-UNESCO. La plupart utilisent, comme notion de base, celle du profil composé d'une succession d'horizons. Il importe donc de définir et de désigner ces horizons.

On utilise les trois lettres majuscules A, B et C pour désigner les horizons fondamentaux des profils ayant évolué en station drainée. Certains, signes, chiffres ou lettres apposés en indice, désignent soit des caractères particuliers, soit des subdivisions de ces horizons principaux.

Pour les profils les plus évolués, il y a également transfert de matière : les horizons A sont appauvris et les horizons B sont enrichis en certains éléments. Cela conduit à subdiviser d'une part A en A<sub>o</sub>, horizon organique A<sub>1</sub> ou A<sub>h</sub>, horizon organo-minéral, A<sub>2</sub> ou A<sub>e</sub> (e = éluvial) appauvri de couleur claire et d'autre part à distinguer deux formes d'horizons B, les uns montrant seulement une altération ou une structure particulières, désignés par (B) ou B<sub>w</sub> (w = weathered, altéré), les autres enrichis par illuviation, désignés par B accompagné d'une minuscule indiquant la nature de l'illuviation (t : argile, h : humus, s : sesquioxydes).

## Les principaux horizons

principaux horizons	Signification
A	horizon de surface contenant de la matière organique, souvent appauvri.
(B)	B " structural " ou d'altération différent d'une part de la roche mère par son degré d'altération plus fort (présence de $\text{Fe}_2\text{O}_3$ libre), d'autre part de l'horizon de surface A par sa structure différente (= Bw).
B	horizon enrichi par illuviation en éléments fins ou amorphes : argiles, oxydes de fer et d'aluminium, parfois humus.
C	matériau originel au dépens duquel sont formés A et (B) ou B.
H	horizon organique tourbeux.
G	horizon de couleur gris verdâtre, riche en fer ferreux, à taches rouille, se formant au sein ou à la limite supérieure d'une nappe.
R	roche dure sous-jacente.

*Tableau des désignations internationales des principaux horizons.*

Aoo (ou L)	litière, débris végétaux identifiables.
Ao (ou O)	horizon organique à structure originelle modifiée ou détruite (plus de 30 % de matière organique).
A1 (ou Ah)	horizon mixte contenant en mélange de la matière organique (moins de 30 %) et de la matière minérale).
Ap	horizon humifère labouré, homogénéisé, à la limite inférieure nette.
A2 (ou Ae, E)	horizon pauvre en matière organique, souvent lessivé en argile et en oxyhydroxydes, couleur claire (horizon éluvial).
A/B	horizon de transition entre l'horizon illuvial marquant un début d'accumulation des éléments fins ou amorphes.

Bw	équivalent de (B) (w = weathering, altération)
Bt	accumulation d'argile (t = ton, argile en allemand)
Bh	accumulation humique.
Bs (ou Bfe)	accumulation dominante de oxyhydroxydes.

Bb	horizon placique : bande aliotique sinueuse.
----	--

Bo	horizon oxydique riche en oxydes métallique.
Go	Gley oxydé à taches et concrétions.
Gr	Gley réduit, gris verdâtre à fer ferreux dominant.

*Certaines lettres peuvent s'appliquer à des horizons principaux différents, A B ou C :*

g	pseudogley, à hydromorphie temporaire, bariolage de taches grises, blanches et rouilles, parfois de concrétions noires.
ca ou k	horizon enrichi en carbonate de calcium (horizon calcique).
y	horizon gypsique (accumulation de sulfate de calcium).
sa	horizon enrichi en sels.
x	fragipan (horizon dont la formation est lié à une glaciation).
m	horizon cimenté ou induré.

***Tableaux des subdivisions des horizons principaux.***

#### **4.1- LES DIFFERENTES CLASSIFICATIONS (Russe, Américaine, Française)**

La classification des sols est un des problèmes les plus ardues de la pédologie pour diverses raisons: 1. La pédologie est une science relativement jeune et tous les sols ne sont pas encore connus et ceux qui le sont n'ont parfois pas été complètement étudiés. 2. Les objets à classifier ne sont comparables à aucun autre. Ils n'ont pas de limite très précise et le passage d'un sol à un autre s'effectue souvent de manière graduelle, d'où l'importance que prennent maintenant, dans les classifications, les c intergrades ". 3. Les progrès de la pédologie font que, périodiquement, la classification doit être révisée et parfois même modifiée de façon importante, quel que soit le système adopté pour la classification. 4. La classification des sols doit tendre à être universelle. Elle doit être construite de telle sorte que n'importe quel sol connu (ou non à l'heure actuelle) puisse y trouver sa place. Il a été imaginé, dans différents pays, des systèmes très variés de classification. Pour les uns, on tiendra compte essentiellement des conditions climatiques puisqu'il a été constaté depuis les débuts de la pédologie que les sols variaient de manière très précise en fonction du climat. D'autres classificateurs se sont efforcés de tenir compte avant tout des propriétés chimiques (complexe absorbant, rapport silice/alumine, etc.). Les classifications modernes se veulent essentiellement « génétiques ", c'est-à-dire qu'elles s'appuient d'abord et avant tout sur les caractéristiques propres du sol qui doivent traduire un grand processus évolutif qui résulte lui-même de facteurs de formation du sol. Par conséquent, les sols devront être classés sur un ensemble de caractères propres plutôt que sur des facteurs extérieurs à ceux-ci. Dans la

classification des sols, on tiendra compte du développement du profil, du mode d'altération des minéraux en liaison avec le type de climat de matière organique, de l'hydromorphie, de l'halomorphie, etc. Dans les pages qui suivent, on présentera successivement les grandes unités de la classification des sols, la classification française utilisée dans les pays francophones d'Afrique et à Madagascar sera présentée en détail. On procèdera également à un exposé plus bref sur les classifications utilisées par d'autres pédologues travaillant en Afrique (britannique, belge, portugais) ainsi que celle des Américains et des Russes.

### **La classification Russe.**

La première classification des sols a été présentée par DOKUCHAEV en 1886. Il distinguait des sols « normaux », « transitionnels » et « anormaux ». Les subdivisions suivantes s'appuyaient sur l'origine des sols, les zones climatiques et la matière organique. Différentes classifications furent présentées successivement par SIBIRTSEV (1895) qui posa la loi de zonalité, et distingua des sols zonaux, intrazonaux et azonaux ; par GLINKA (1908) pour lequel le climat servait à différencier les sols; KOSSOVICH (1911) qui établit la notion de type de formation du sol (désert, steppe aride, steppe ou chernom, podzolique, toundra, latéritique). En 1925, NEUSTRUEV distingue des sols « automorphes » dépendant essentiellement du climat et « hydromorphes » liés à une nappe proche de la surface. D'autres classifications furent établies par POLYNOV puis GERASIMOV; ZAVALISHIN et IVANOVA (1934) pour lesquels l'eau et le drainage ont une importance considérable. D'autres classifications comme celles de SABANIN (1909) liaient étroitement le sol à la végétation; GEDROITZ (1925), au contraire, établissait une classification sur les caractéristiques du complexe absorbant. Une classification récente est celle de IVANOVA et ROZOV (1956) présentée par la suite au Congrès de Science du Sol de Madison. Cette classification prévoit d'abord des « groupes globaux » qui ont essentiellement une valeur géographique et par conséquent climatique qui oriente de manière précise la pédogénèse. Les « groupes globaux » suivants ont été reconnus: Polaire, boréal, sub-boréal, sub-tropical, tropical. A l'intérieur de ces « groupes globaux », apparaissent des classes liées encore au climat et à la végétation. Par exemple, dans le groupe tropical, trois classes sont distinguées d'après le climat et la végétation: sols des déserts tropicaux, sol des régions tropicales à savanes et forêts sèches, sols des régions tropicales à savanes et forêts humides. A l'intérieur de chaque « classe », apparaissent des sous-classes fondées sur la végétation ou un grand processus pédogénétique. A l'intérieur de chaque « sous-classe » sont distinguées des « types » où les sols sont automorphes, semi-hydromorphes et hydromorphes. C'est à ce niveau qu'apparaissent les « groupes » de la classification française et américaine.

### **La classification américaine.**

La première classification américaine est l'œuvre de MARBUT en 1921. Elle apporte, par rapport aux classifications en usage à cette époque, une distinction fondamentale entre les « pedocal », ou sols placés sous la dépendance du calcaire et les « pédalfer » où aluminium et fer contribuaient à donner aux sols leurs caractéristiques essentielles. Dès 1938, la classification prenait une forme plus classique avec les trois ordres « zonal, intrazonal et azonal » et des sous-ordres fondés sur des caractéristiques pédoclimatiques. Les sols de la zone intertropicale

y étaient faiblement représentés. Peu à peu, le monde tropical est mieux connu des pédologues américains qui étudient les sols de Cuba, des Hawaii, de divers pays d'Amérique du Sud et d'Afrique. En 1948, CLINE publie une classification des sols des Hawaii; en 1949, KELLOGG et DAVOL présentent une classification des sols du Congo Belge.

En 1960, au moment du Congrès international de Science du sol de Madison, Wisconsin, les pédologues américains présentent une nouvelle classification qui se fonde sur les caractères mesurables (physico-chimiques et morphologiques) et rassemble les sols d'après leur parenté génétique qui traduit l'influence du milieu. Deux nouveautés importantes, mais assez différentes, apparaissent dans cette classification: les horizons de diagnostic et une terminologie aux consonnances parfois étranges.

Les horizons de diagnostic ont été présentés dans le chapitre 2 ; ils sont énumérés ici en donnant leurs équivalents les plus probables dans la terminologie française.

### **La classification française.**

#### *Hierarchie des critères; définition des unités de la classification.*

Il n'est pas possible d'établir une classification de structure pyramidale à partir d'un petit nombre de critères de base. A l'heure actuelle, les principales classifications tendent à reconnaître une dizaine de grandes unités fondamentales où les sols résultent de l'action d'un grand processus de formation du sol et ont suffisamment de caractères communs pour avoir un véritable air de famille JO. Ce sont les « classes » (ou ordres) et les « sous-classes » (ou sous-ordres).

Les classes correspondent à un développement particulier du profil (sols minéraux bruts ou sols peu évolués profil A C...) ou un grand type d'évolution (sols hydromorphes, sols halomorphes, sols ferrallitiques, etc.). Les sous-classes peuvent être différenciées sur des critères physico-chimiques à l'intérieur de la classe (sols isohumiques, ferrallitiques, etc.). Les sols d'un groupe ont la même disposition générale des horizons et correspondent soit au processus fondamental seul, soit à celui-ci et un ou plusieurs autres. Les sous-groupes distinguent, à l'intérieur d'un groupe soit un degré dans l'intensité d'un processus, soit d'une transition entre deux groupes (intergrades). Ces unités sont les unités supérieures de classification.

Les familles rassemblent dans un même sous-groupe, les sols dérivant du même matériau. Les séries sont caractérisées par le même type de profil (même disposition, épaisseur, couleur, etc. des horizons), même type de drainage, de roche-mère. Cette unité est la plus commode à utiliser pour la cartographie à grande échelle. Elle porte généralement le nom du lieu où elle a été identifiée pour la première fois. Le type correspond à une granulométrie particulière de l'horizon supérieure. La phase correspond à des critères de différenciation tels que la pierrosité, la pente, le degré d'érosion. Ces unités sont les unités inférieures de la classification

*La classification des pédologues français* La classification des pédologues français a été proposée pour la première fois en 1938 en vue de l'élaboration d'une carte pédologique par OUDIN. Par la suite, cette classification fut amplifiée par G. AUBERT et Ph.

DUCHAUFOR et présentée par ses auteurs au Congrès de la Science du Sol de Paris en 1956. Cette classification fut sans cesse perfectionnée par l'un ou l'autre de ses auteurs et diverses mises au point furent présentées soit à l'occasion de réunions internationales ou de congrès. A partir de 1964, fut institué en France un Comité de pédologie et de cartographie des sols (CPCS) qui a entrepris, en vue d'une cartographie des sols de France, d'établir une classification systématique des sols qui tienne compte des acquisitions des pédologues travaillant en métropole et celles de ceux travaillant dans les zones intertropicale et méditerranéenne (ORSTOM). Ce comité a pris pour base les travaux précédents d'AUBERT et DUCHAUFOR, et procède à l'élaboration d'une classification officielle. En attendant la mise au point de cette classification, l'on exposera ici la classification publiée par G. AUBERT en 1965 et modifiée à deux reprises pour tenir compte de nouvelles données concernant les sols hydromorphes et ferrallitiques (AUBERT et SEGALIN, 1966). C'est celle qui est appliquée de longue date à Madagascar, en Afrique francophone et partout où travaillent les pédologues de l'ORSTOM. Elle permet de classer les sols jusqu'au niveau du sousgroupe. Les unités inférieures dépendent essentiellement des conditions locales et sont beaucoup trop nombreuses pour être présentées ici.

Actuellement ces systèmes de classification sont dépassés et on retrouve d'autre système plus englobant et utilisent l'ensemble de l'information et surtout les outils statistique et numérique on peut cité : key of Soil des américains; référentiel pédologique des Français et le Word Référentiels Basis (WRB) de la FAO.

## **4.2 APERÇU SUR LES SOLS D'ALGERIE**

Malgré l'absence de travaux de synthèse récente sur les sols d'Algérie et après consultation de plusieurs travaux nous pouvons présenté ce qui suit:

1- On distingue généralement quatre types d'horizons :

- \* L'horizon A est un horizon de surface, constitué surtout de matières organiques et soumis à un fort lessivage qui l'appauvrit en éléments fins et en fer.

- \* L'horizon B est un horizon enrichi par illuvion en éléments fins et amorphes : argiles, oxydes de fer et d'aluminium, humus. Cet horizon est souvent appelé horizon structural ou horizon d'altération. Il diffère de l'horizon A par sa structure et de la roche-mère par son plus fort degré d'altération (présence de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre).

- \* L'horizon C est un horizon correspondant au matériau originel à partir duquel se forment les horizons A et B supérieurs. Il est peu différent de l'horizon RM désignant la roche-mère non altérée.

- \* L'horizon G est un horizon de couleur gris verdâtre, caractéristique des sols hydromorphes, riche en fer ferreux, avec des taches de couleur rouille (fer ferrique) se formant au contact de l'oxygène encore présent dans la zone de battance de la nappe phréatique.

## 2. Les différents types de sols

### 1) Les sols salins.

Les sols salins se rencontrent principalement dans les régions sèches. Ils se développent au-dessus de roches riches en sodium. Il peut s'agir de roches naturellement riches en sodium ou



de roches secondairement enrichies en sodium en provenance d'une nappe salée d'origine continentale ou marine.

L'enrichissement secondaire peut aussi résulter de mauvaises pratiques culturales, au cours desquelles des remontées d'eau chargées en sel finissent par stériliser les sols. Les causes de ces remontées de sel sont multiples. L'irrigation, associée à une forte évapotranspiration, est une des causes la plus souvent avancée.

Les sols salins se caractérisent par un profil simple avec un seul horizon A, assez épais, constitué de matières organiques et minérales encroûtées de dépôts de sel précipité.

## 2) Les podzols et les sols podzoliques.

Les podzols sont des sols très évolués. On les rencontre principalement en climat froid. Ce sont les sols caractéristiques de la taïga. L'humus des podzols est un mor acide. Cette acidité résulte du fort lessivage qui affecte ces sols et qui a pour effet d'entraîner les éléments basiques des horizons supérieurs A0 et A1 vers un horizon plus profond Bh d'accumulation de substances humiques et un horizon Bs d'accumulation de minéraux (sesquioxydes). Entre l'horizon A1 et l'horizon Bh s'intercale un horizon éluvial A2, cendreux et souvent très épais.

## 3) Les sols hydromorphes.

Les sols hydromorphes se rencontrent surtout dans les régions humides. Ils résultent de l'engorgement permanent des horizons profonds les rendant asphyxiques et réducteurs.

L'horizon A1 supérieur est un horizon mixte organique et minéral. Les humus, selon les conditions, sont des hydromulls, des hydromoders, des hydromors ou des anmoors.

L'horizon profond est un gley ou un pseudogley. Cet horizon se caractérise par ses conditions asphyxiques et réductrices où le fer à l'état divalent (ferreux) lui confère une couleur verdâtre.

Dans la zone de battance de la nappe phréatique qui l'ennoie, on peut observer des zones où le fer, parce qu'il a été au contact de l'oxygène, est sous sa forme trivalente (ferrique) et de couleur rouille. La répartition, dans le profil du sol de ces plaques de fer ferrique, sont une bonne indication sur l'amplitude de variation en hauteur de la nappe d'eau.



#### 4) Les sols rouges.

Les sols rouges sont aussi appelés sols fersiallitiques. Ces sols se développent surtout dans les régions méditerranéennes. Ils sont le résultat d'une association forte et stable entre des colloïdes argileux (montmorillonite) et des oxydes de fer. Les " terra rosea " méditerranéennes sont des sols rouges riches en oxydes d'aluminium qui se sont formés lorsque ces régions connaissaient un climat tropical.

Ces sols sont généralement riches et fertiles, avec des humus stables, voire peu mobilisables. Mais ce sont de sols fragiles, particulièrement sensibles à l'érosion éolienne ou hydrique, surtout dans la situation de découverte végétale dans laquelle ces sols se retrouvent après un incendie ou par suite du surpâturage. L'érosion réduit ces sols à des sols squelettiques autour de croûtes calcaires stériles.



#### 5) Les sols bruns.

Les sols bruns sont les sols les plus fréquemment rencontrés dans les régions tempérées. Ils se développent surtout sur des pédoclimax forestiers aussi bien sur sols siliceux que calcaires. Ce sont ces sols qui fournissent les meilleures terres agricoles. Celles-ci, quand elles sont fragilisées (manque d'amendement humifère ou calcique), deviennent plus sensibles au lessivage, s'acidifient, deviennent battantes. Cet appauvrissement est accéléré quand les agriculteurs " oublient " de pratiquer des rotations dans les cultures et qu'ils satisfont les besoins des plantes, seulement en leur apportant des engrais, en oubliant de soigner les sols. La maïsiculture intensive est une pratique culturale très appauvrissante pour les sols. L'horizon supérieur A1 est organique et minéral. Il peut être plus ou moins lessivé. Selon la nature de la roche-mère, l'humus peut être un mull (sols riches en bases et/ou en calcium actif), un moder (sols riches en bases, roche-mère siliceuse) ou un mor (roche siliceuse ou argiles, sols pauvres en bases, acides). L'horizon B est dit d'altération ou structurel.



#### 6) Les sols isohumiques.

Ce sont des sols épais, noirs, très riches en matières organiques qui se forment en région tempérée au climat sec (pluviométrie inférieure à 500 mm par an), sur un pédoclimax de prairie ou de steppe, de fruticées épineuses ou de forêt claire. Ces sols sont des chernozems ou des brunizems. Ils donnent des terres agricoles très fertiles.

L'horizon A1 est épais, voire très épais, très riche en matière organique. La structure est très grumeleuse, aérée. Les humus sont très stables, voire difficilement utilisables.

L'horizon A2 est très enrichi en calcium. L'horizon inférieur est calcique.

#### 7) Les sols ferrallitiques.

Les sols ferrallitiques sont des sols rouges très riches en oxydes de fer et en oxydes d'alumine. Ces sols se forment sous couvert forestier et en climat tropical ou équatorial. Ce sont des sols très riches, mais extrêmement fragiles. Dès l'instant où l'on supprime le couvert forestier qui les protège de l'érosion, mais surtout du lessivage, ces sols se transforment rapidement en cuirasses par suite d'une latéritisation. Les oxydes de fer et d'alumine colloïdale précipitent pour former des nodules (alios) qui, s'ils se soudent, forment des cuirasses définitivement stériles.



#### 8) Les sols ferrugineux.

Ces sols se forment essentiellement dans les régions où règne une très longue saison sèche et sur un pédoclimax de savane à graminées, c'est-à-dire en Afrique tropicale, en Amérique centrale ou en Asie méridionale.

Ces sols sont riches en fer, en argiles (kaolinite), mais pratiquement, voire totalement dépourvus d'alumine libre.

L'horizon A1 est peu épais, riche en matières organiques et en minéraux. Il surmonte un horizon éluvial A2 et un horizon Bt enrichi en colloïdes argileux, entraînés par lessivage.

Si ces sols se révèlent peu sensibles à l'action humaine, il n'en va pas de même de leurs couvertures végétales qui, suite aux cultures sur brûlis, sont profondément et durablement appauvries.

#### 9) Les Histosols: Sols tourbeux

Ces sols se forment essentiellement dans les régions où règne une très longue saison humide ou dans les zones humide du nord est algérien.

ces sols sont riche en matière organique, ils supportent une végétation spécifique qui résiste à la saturation en eau. Ces sols renferment les traces de l'évolution de la région (variation climatique, dynamique socio-économique une biodiversité spécifique) etc...





## Conclusion:

Le sol est un milieu très complexe, très fragile, assure une multiples de fonctions et qui peut être observé de multiples façons. L'agriculteur, l'agronome, le pédologue utilisent divers outils pour décrire le sol . L'étude du sol se mène comme une enquête policière : l'observateur recherche le maximum d'indices concordants pour répondre à la question qu'il se pose. La recherche se fait sur le terrain, avec l'agriculteur, au laboratoire et avec l'aide de la bibliographie.

Les sols fournissent des services à la population humaine, appelés services écosystémiques. les sols sont menacés par la pollution, l'érosion , l'appauvrissement, la surexploitation etc... pour les protéger il faut bien les connaître

