



Université de Ain Temouchent –Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'agro-alimentaire.

Polycopié pédagogique

Dossier numéro :

Titre

Ecopédologie

Cours destiné aux étudiants de

Licence (spécialité et niveau) : L3 écologie et environnement / L3 sciences agronomiques

Année : 2023/2024

Avant propos

L'écopédologie est une science clé des sols, leur formation, leurs propriétés et leurs fonctions écologiques. Ce module, conçu pour les étudiants en L3 licence d'écologie végétale et sciences agronomiques, offre une introduction complète à cette discipline vitale.

Nous commencerons par définir le sol et l'objet de la pédologie, puis explorerons ses éléments constitutifs : minéraux, organiques et colloïdaux. Ensuite, nous examinerons l'organisation morphologique des sols à travers les horizons pédologiques et les profils.

Les propriétés chimiques et biologiques des sols seront analysées, en mettant l'accent sur les échanges d'ions et les processus microbiens. La classification des sols sera abordée, avec un focus particulier sur les systèmes russes, américains, français, et les sols d'Algérie. Enfin, nous étudierons les relations entre les sols et la végétation, démontrant l'importance des sols pour la croissance des plantes et les écosystèmes.

Ce module vise à fournir les connaissances essentielles pour comprendre et gérer durablement les sols, préparant ainsi les étudiants à relever les défis environnementaux futurs.

Semestre : 5

Unité d'enseignement Fondamentale 1(UEF 3.1.1) : Mésologie (Caractérisation du milieu)

Matière 2: Eco pédologie

Crédits : 4

Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement :

Ce module permet d'appréhender le sol en tant que composante importante de l'écosystème. Les éléments constitutifs du sol, ses propriétés physiques, chimiques et biologiques sont analysés. Les différentes classifications des sols ainsi que des relations sol-végétation sont également étudiées.

Connaissances préalables recommandées :

Il faut en général avoir suivi les modules d'écologie générale ainsi que celui de MTT, de 2^{ème} année. Une culture générale sur l'environnement est également la bienvenue.

Contenu de la matière :

1. Introduction : Définition du sol et objet de la pédologie

2. Les éléments constitutifs du sol

- Les constituants minéraux
- Les constituants organiques
- Les complexes colloïdaux

3. L'organisation morphologique des sols

- Les organisations élémentaires
- L'horizon pédologique
- Les profils pédologiques
- La couverture pédologique
- Le sol et l'eau
- L'atmosphère du sol
- La température du sol
- La couleur du sol

4. Les propriétés chimiques du sol

- Les phénomènes d'échanges des ions
- Les propriétés électroniques du sol

5. Les propriétés biologiques du sol

- Les organismes du sol

- Les transformations d'origine microbienne

6. Classification des sols

- La classification des sols
- Les différentes classifications
(Russe, Américaine, Française)
- Les sols d'Algérie et leur relation avec le climat et la géomorphologie

7. Relations sols végétation

Mode d'évaluation :

Contrôle et Examen semestriel

Sommaire

- 1) Introduction
- 2) Pédogenèse : Processus de formation et d'évolution des sols
- 3) Les éléments constitutifs du sol
- 4) L'organisation morphologique des sols
- 5) Les propriétés chimiques du sol
- 6) Les propriétés biologiques du sol
- 7) La Classification des sols
- 8) Relations sols-végétation

I. INTRODUCTION : Definition du sol et objet de la pédologie

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 une science nouvelle : la pédologie.

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.

Il est reconnu qu'il existe différents types de sols dont la couleur, les proportions des cailloux, le comportement après les pluies et la profondeur sont des caractères qui varient beaucoup, parfois à l'intérieur d'une même parcelle.

Depuis un peu plus d'un siècle, de nombreux chercheurs ont appliqués différentes techniques pour étudier les sols.

On sait maintenant que la matière du sol est constituée par des éléments minéraux, cristallins ou amorphes, et par des éléments organiques, vivants ou résiduels.

Cette matière est constamment soumise à des variations d'état du fait des variations du climat et de l'atmosphère avec laquelle elle est en contact par sa partie supérieure.

Le sol n'est donc pas un ensemble statique de corps matériels, c'est avant tout un complexe dynamique évoluant dans le temps.

II. PEDOGENESE : PROCESSUS DE FORMATION ET D'EVOLUTION DES SOLS

Le sol se fait grâce à l'interaction entre atmosphère et lithosphère, plus assez largement la biosphère.

Duchaufour a développé une théorie détaillée de la pédogenèse en se concentrant sur les interactions entre la matière organique et les minéraux du sol. Il a identifié plusieurs processus clés :

- **Altération des Minéraux** : Processus chimique par lequel les minéraux primaires se transforment en minéraux secondaires sous l'effet de l'eau, des acides organiques et de l'activité biologique.
- **Humification** : Processus de décomposition de la matière organique en humus, qui joue un rôle crucial dans la structure et la fertilité du sol.
- **Éluviation et Illuviation** : Processus de lessivage (éluviation) des particules fines et des substances solubles des horizons supérieurs vers les horizons inférieurs, et leur accumulation (illuviation) dans ces derniers.
- **Formation des Complexes Argilo-Humiques** : Association de particules d'argile et de matière organique pour former des complexes colloïdaux stables, essentiels pour la structure du sol et la rétention des nutriments.
- Paul Duchaufour, pédologue français, a proposé une théorie de la pédogenèse (formation des sols) divisée en trois stades principaux.

II.1 Stade Initial ou Primordial

Ce stade concerne la formation initiale du sol à partir de la roche mère. Les processus physiques, chimiques et biologiques commencent à altérer la roche sous l'influence des facteurs climatiques et biotiques. (Figure 1)

Caractéristiques :

Altération Physique et Chimique : La roche mère se désagrège sous l'effet des variations de température, du gel, de l'eau et d'autres agents physiques. Les minéraux commencent à se transformer par des réactions chimiques comme l'hydrolyse.

Début de la Colonisation Biologique : Les lichens et les mousses sont souvent les premiers organismes à coloniser la roche, contribuant à la formation de matière organique.

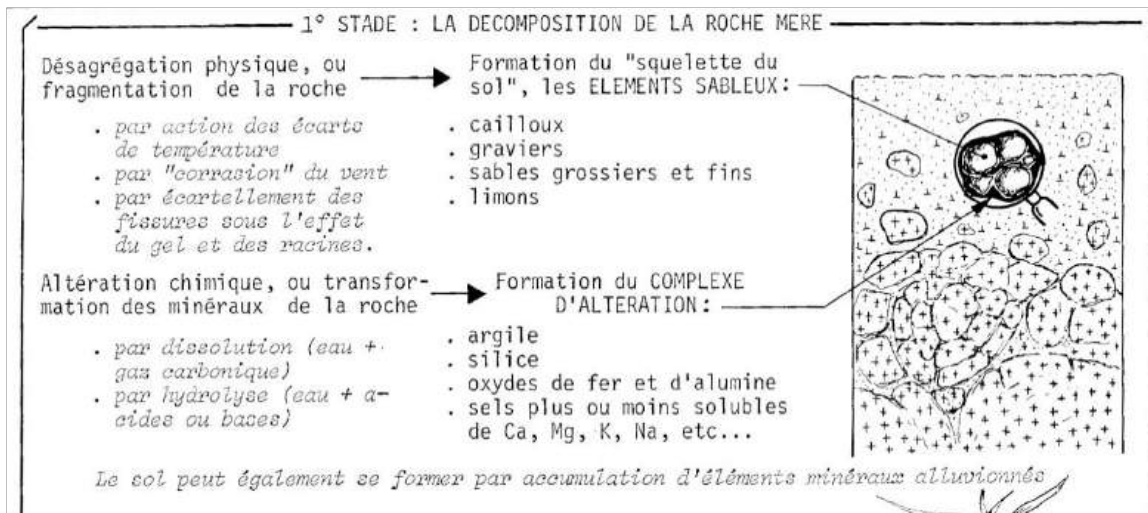


Figure 1: La décomposition de la roche mere

La lithosphère apporte des éléments par désagrégation des roches (effet mécanique) plus l'altération chimique.

Les roches mises à nu par les éléments sont vite occupées par des végétaux qui se transforment en MO.

La matière organique issue de la dégradation partielle de ces végétaux va constituer une partie du sol : l'humus.

La faune comporte des détritivores :

- Les vers ont un rôle important pour le retournement et l'aérations du sol.
- Des prédateurs: acariens prédateurs, pseudoscorpions...
- Des décomposeurs (ou minéralisateurs) : bactéries, champignons...

II.2 Stade de Jeune Sol ou Stade de Maturation

À ce stade, le sol commence à développer des horizons distincts grâce à l'accumulation de matière organique et à la différenciation progressive des couches de sol. (Figure 2)

Caractéristiques :

Formation des Horizons : Le sol se différencie en horizons (couches) distincts, généralement un horizon A riche en matière organique et un horizon B où les minéraux lessivés s'accumulent.

Activité Biologique : Les plantes, les bactéries, les champignons et les animaux du sol (comme les vers de terre) augmentent en diversité et en nombre, enrichissant le sol en matière organique et contribuant à la formation d'humus.

Lessivage et Accumulation : L'eau lessive les nutriments et les minéraux des horizons supérieurs vers les horizons inférieurs, créant des profils de sol plus complexes.

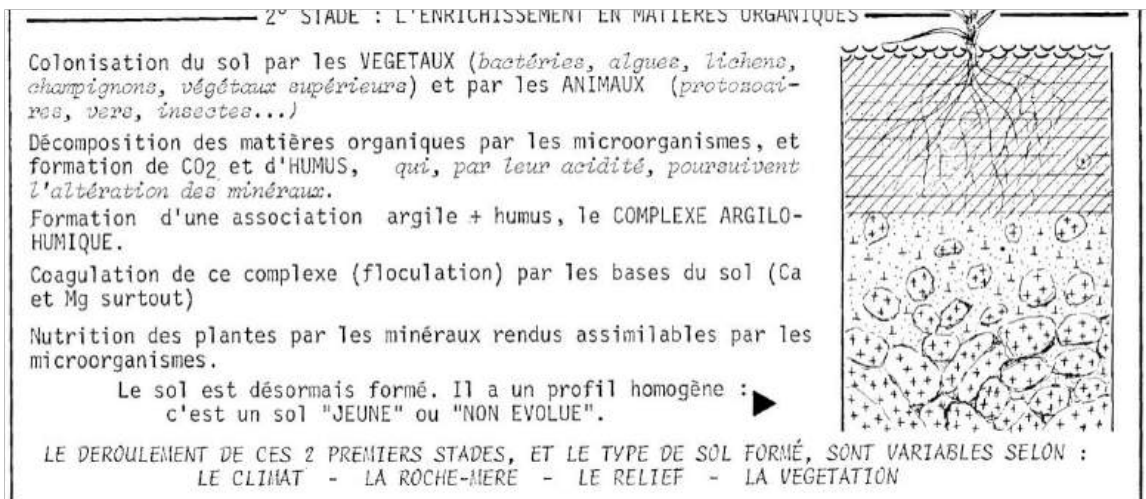


Figure 2: L'enrichissement en matières organiques

II.3 Stade de Sol Évolué ou Climax

Le sol atteint un état d'équilibre relatif où les processus de formation et de transformation se stabilisent. Ce stade correspond souvent à une association stable entre le sol, la végétation et le climat de la région (Figure 3).

Caractéristiques :

Stabilisation des Horizons : Les horizons du sol sont bien développés et clairement distincts. L'horizon A est riche en humus, l'horizon B accumule des argiles et d'autres minéraux, et l'horizon C est constitué de matériaux altérés.

Équilibre Écologique : Le sol, la végétation et les organismes du sol sont en équilibre dynamique. Le taux de formation d'humus est équilibré par le taux de décomposition.

Durabilité et Résilience : Le sol est plus résistant aux perturbations externes et peut maintenir sa structure et sa fertilité sur de longues périodes, sous réserve que les conditions environnementales restent stables.

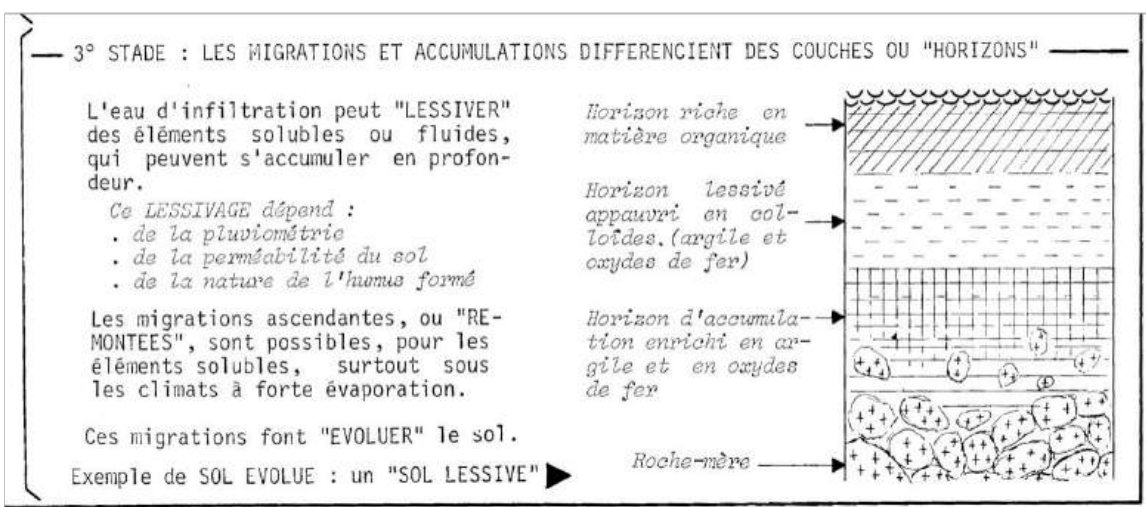


Figure 3: Exemple d'un sol évolué

Dans un sol évolué, des couches ou horizons apparaissent par des phénomènes d'entraînement de matière ou lessivage...

Les trois stades de pédogenèse selon Duchaufour montrent l'évolution progressive des sols depuis leur formation initiale à partir de la roche mère jusqu'à un état mature et stable. Cette classification aide à comprendre les processus complexes qui influencent la formation et la maturation des sols, ainsi que leur interaction avec les facteurs environnementaux et biologiques.

III. LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SOL

Le sol est constitué de trois fractions :

Une fraction solide ,une fraction liquide (encore appelée solution du sol) et une fraction gazeuse, ou atmosphère du sol.(Tableau 1)

- **La Fraction solide** : composée de constituants minéraux (sables, argile,...) et de constituants organiques.
- **La fraction liquide** :composée d'eau dans laquelle sont dissoutes des substances solubles provenant à la fois de l'altération des roches, de la minéralisation des matières organiques et des apports par l'homme (apports d'engrais solubles par exemple).
- **La fraction gazeuse, ou atmosphère du sol**, composée des mêmes gaz que l'air, avec en plus des gaz provenant de la décomposition des matières organiques.

Tableau 1: Les constituants du sol

CONSTITUANTS SOLIDES		CONSTITUANTS LIQUIDES	CONSTITUANTS GAZEUX
Constituants minéraux	Constituants organiques	= Solution du sol	= air du sol
<u>Terre fine du sol :</u> Argiles, limons fins, limons grossiers, sable fins, sables grossiers	<u>Matière organique fraîche :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ constituants des tissus végétaux cellulose, hémicellulose, tanins,... ➤ déjections animales et animaux morts 	<u>Eau du sol</u> <u>Eléments solubles dissous :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ substances organiques (acides organiques, sucres,...) ➤ ions dans l'eau du sol : Ca^{++}, Mg^{++}, K^+, Na^+, NO_3^-, PO_4^{3-}, ... 	<u>Constituants de l'air :</u> O_2 , N_2 , CO_2 <u>Gaz issus de l'activité des animaux du sols et des processus de décomposition :</u> CO_2 , H_2 , CH_4 ,...
<u>Eléments grossiers :</u> Graviers, Cailloux, Pierres, Blocs	<u>Matières humiques :</u> matières organiques transformées		

Tableau 2: Origines et catégories des constituants du sol

	Constituants solides		Constituants liquides	Constituants gazeux
	Minéraux	Organiques	Solution du sol	Atmosphère du sol
Origine	Désagrégation physique et altération biochimique des roches	Décomposition des êtres vivants	Précipitations, nappes, ruissellement	Air hors sol, matières en décomposition, respiration
Critères de Classement	Taille granulométrie Qualité minéralogie	Etats Vivants, morts Qualité chimique Originelle, transformée	Origine Météorique, phréatique Etat physique Potentiel hydrique Qualité chimique	Origine Air, organismes Qualité chimique
Catégories	Selon granulométrie <ul style="list-style-type: none"> Squelette > 2 mm Terre fine < 2 mm Selon minéralogie <ul style="list-style-type: none"> Quartz Minéraux silicatés Min. carbonatés 	<ul style="list-style-type: none"> Organismes vivants Organismes morts MO héritées : cellulose, lignine, résines MO humifiées : acides fulviques et humiques, humines 	<ul style="list-style-type: none"> Eau Substances dissoutes : glucides, alcools, acides organique et minéraux, cations et anions 	<ul style="list-style-type: none"> Gaz de l'air : O₂, CO₂, N₂, ... Gaz issus de la respiration et de la décomposition des organismes : CO₂, H₂, CH₄, NH₃, N₂O, ...

III.1 Les constituants solides

III.1.1 Les constituants minéraux

L'analyse granulométrique du sol consiste à classer les éléments minéraux du sol d'après leur grosseur, et à déterminer le pourcentage de chaque fraction.

A la suite d'une convention internationale, les particules sont classées de la façon suivante, en fonction de leur diamètre :

Tableau 3:les constitants minéraux du sol

TERRE FINE	ARGILE	particules de moins de 2µm
	LIMONS FINS	2 à 20 µm
	LIMONS GROSSIERS	20 à 50 µm
	SABLES FINS	50 µm à 200µm
	SABLES GROSSIERS	200µm à 2mm
ELEMENTS GROSSIERS	GRAVIERS	2 à 20 mm
	CAILLOUX	2 à 7,5 cm
	PIERRES	7,5 à 20 cm
	BLOCS	>20 cm

L'ensemble formé par les argiles, les limons et les sables forment la terre fine du sol, tandis que cailloux et graviers constituent les éléments grossiers.

La classification granulométrique sert à définir la texture du sol .

III.1.1.1 Les éléments Grossiers

Les éléments grossiers forment le squelette du sol. Quand ils constituent la part essentielle dans la composition du sol, ils donnent ce que l'on peut appeler des sols squelettiques (certains sols de montagne par exemple).

Leurs rôles peuvent être résumés de la façon suivante :

Ils constituent la réserve minérale du sol : leur altération chimique libère des éléments minéraux qui contribuent à l'alimentation des plantes (signalons cependant que les grains de quartz sont cependant quasi inaltérables chimiquement, et ne peuvent participer à l'alimentation des plantes).

Ils augmentent la perméabilité du sol à l'eau et à l'air.

Ils diminuent le volume de sol prospectable pour les plantes (par diminution de la proportion de la terre fine à la disposition des racines).

Ils peuvent avoir une action sur la chaleur du sol, en tant que réservoir de chaleur (terrains calcaires par exemple).

Ils peuvent participer à constituer une réserve d'eau : certaines roches poreuses (calcaires par exemple) peuvent retenir un peu d'eau.

III.1.1.2 Les sables grossiers

Les sables grossiers favorisent la pénétration de l'eau et de l'air : ils rendent le sol perméable et filtrant

Ils facilitent les échanges de température : le sol se réchauffe vite au printemps.

Ils ne peuvent s'agglomérer en mottes : le sol est léger (et peut donc être assez sensible à l'érosion) et facilement pénétrable par les racines.

III.1.1.3 Les limons et sables fins

Ils rendent le sol « battant » : le sol a tendance à se tasser en surface sous l'effet des pluies et à former des croûtes (glaçage en surface).

Ils ont tendance à retenir l'eau en s'opposant à son infiltration en profondeur : le sol est imperméable en surface, asphyxiant pour les racines.

La battance se forme sous l'action des gouttes de pluie (énergie cinétique). Elles cassent et ainsi fragmentent les agrégats du sol.

Ces fragments d'agrégats sont déplacés, et comblent les espaces inter-agrégats du sol par accumulation.

La porosité à la surface du sol est ainsi comblée, et une croûte de battance apparaît.



Figure 4:Goutte de pluie détruisant les agrégats et la structure du sol en heurtant la surface d'un sol nu.



Figure 5:La croûte battance

III.1.1.4 Les fractions colloïdales minérales ou argile pédologique

Les éléments sableux sont enrobés d'une sorte de pâte, une sorte de « colle », qui les réunit en petits agrégats.

le sol est donc construit, il possède une structure, dont la forme et la solidité dépendent du pourcentage des éléments qui le constituent mais surtout de la nature de cette pâte que l'on nomme « les colloïdes du sol ».

Parmi ceux-ci, on distingue les colloïdes organiques (substances composant l'humus) des colloïdes minéraux.

Les constituants de l'argile pédologique répartissent comme suit :

III.1.1.4.1 Les argiles mineralogiques

Propriétés colloïdales

Les argiles possèdent sur leur surface des charges négatives : ce sont des colloïdes négatifs.

Ces particules, toutes chargées négativement peuvent alors se repousser mutuellement : c'est ce qui se passe dans l'eau distillée.

A ce moment, les argiles restent en suspension (appelée suspension colloïdale), à l'état dispersé.

Il n'y a pas de précipitation et les particules d'argiles sont animées d'un mouvement résultant de la répulsion électrostatique entre particules.

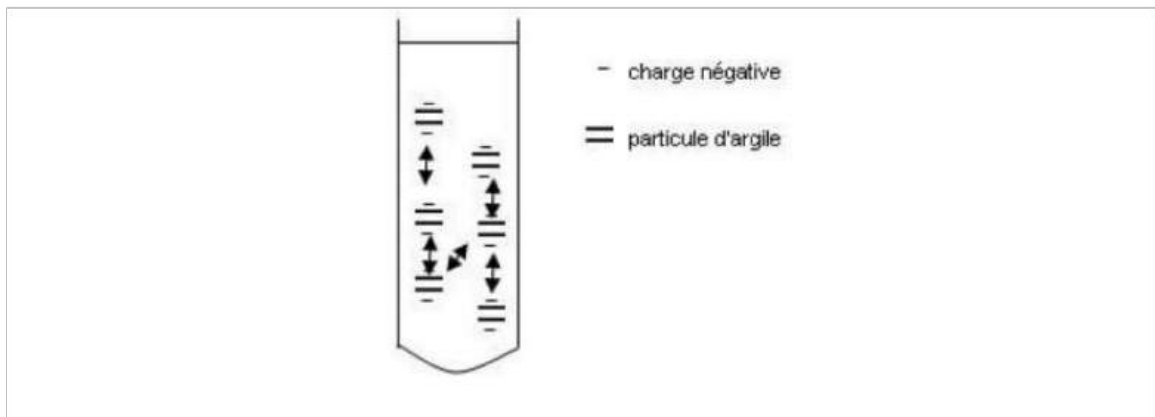


Figure 6: Les particules d'argiles restent longtemps en suspension dans l'eau à cause des charges négatives qu'elles portent et provoquent des phénomènes de répulsion entre particules

Par contre, si l'on introduit dans le liquide un acide, qui libère des ions H^+ , ou un sel de calcium qui libère des cations Ca^{++} ,

ces ions positifs vont induire la neutralisation des charges négatives des micelles, qui peuvent alors s'agglutiner et se déposer :

Ce phénomène s'appelle la floculation (précipitation).

En fait, les ions positifs supplémentaires vont refouler vers les micelles d'argile les ions positifs qui les entouraient déjà.

Ces ions venant s'y accoler, neutralisent les charges négatives des micelles.

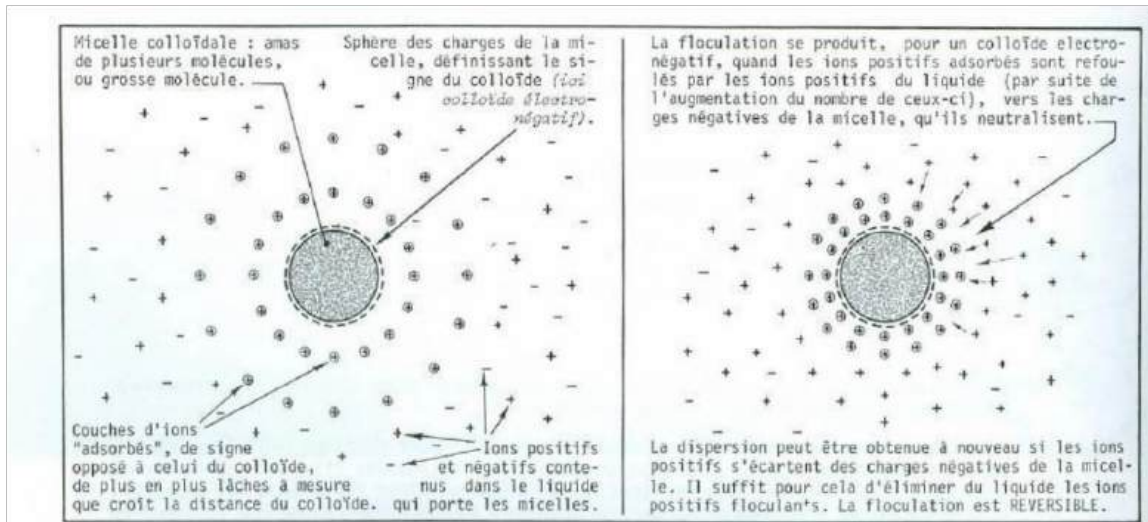


Figure 7: représentation schématique de la dispersion et de la floculation des micelles colloïdales dans un liquide

Les micelles d'argile sont entourées d'une couche dense de charges électriques négatives.

Cette couche est elle-même entourée d'un nuage de plus en plus lâche de charges de signe contraire, constitué d'ions positifs adsorbés (adsorbé = fixé sur), le plus souvent ions H^+ et cations métalliques Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ .

Dans l'état de dispersion (ou peptisation), le nuage d'ions entourant les micelles est très lâche, les ions sont très peu nombreux.

Les charges électriques de même signe (négatif) entourant les micelles les contraignent à se repousser et se disperser dans tout le liquide.

Celui-ci est trouble, car l'argile et l'eau, en mélange homogène, ne peuvent se séparer.

Mais si l'on introduit un acide, qui libère des ions H^+ , ou un sel de calcium, qui libère des ions Ca^{++} , ces ions positifs repoussent vers les micelles les ions positifs qui les entouraient.

Ceux-ci, venant s'y accoler, neutralisent les charges négatives des micelles, qui peuvent alors s'agglutiner et se déposer.

C'est la floculation, ou précipitation : les micelles argileuses se regroupent et se séparent aisément de l'eau.

A l'inverse, un apport de bases libère des ions OH^- , et provoque la dispersion, car ces ions négatifs éloignent les cations des micelles, qui de nouveau se repoussent mutuellement.

Ces deux états, dispersion et floculation, sont donc réversibles.

L'argile floculée peut se disperser à nouveau, si elle perd ses ions floculants.

L'argile est hydrophile, c'est-à-dire l'aptitude de fixer l'eau (entoure les micelles ou y pénètre).

Cette aptitude entraîne trois autres propriétés de l'argile :

- la **plasticité**, aptitude à être modelée,
- l'**adhésivité**, faculté de coller,
- le **gonflement et le retrait**, aptitude de l'argile à changer de volume selon l'humidité.
- L'argile, en tant que colloïde négatif, intervient dans la fertilité chimique du sol en fixant les cations tels que K, Mg, Ca,....

Signalons en outre, que l'argile peut également fixer des ions négatifs par l'intermédiaire des hydroxydes d'Al ou de Fe ou par l'intermédiaire des charges positives qu'elle porte.

L'argile peut être à l'état dispersé ou floculé

à l'état dispersé : l'argile dispersée perd son aptitude à souder solidement les agrégats car elle cherche à reformer avec l'eau un mélange homogène :

sous l'effet des pluies, il y a dégradation de la structure qui devient compacte et asphyxiante pour les racines. L'argile peut être à l'état dispersé ou floculé

à l'état dispersé : l'argile dispersée perd son aptitude à souder solidement les agrégats car elle cherche à reformer avec l'eau un mélange homogène :

sous l'effet des pluies, il y a dégradation de la structure qui devient compacte et asphyxiante pour les racines. L'argile peut être à l'état dispersé ou floculé

à l'état dispersé : l'argile dispersée perd son aptitude à souder solidement les agrégats car elle cherche à reformer avec l'eau un mélange homogène :

sous l'effet des pluies, il y a dégradation de la structure qui devient compacte et asphyxiante pour les racines. L'argile peut être à l'état dispersé ou floculé

à l'état dispersé : l'argile dispersée perd son aptitude à souder solidement les agrégats car elle cherche à reformer avec l'eau un mélange homogène :

sous l'effet des pluies, il y a dégradation de la structure qui devient compacte et asphyxiante pour les racines. L'argile peut être à l'état dispersé ou floculé

à l'état dispersé : l'argile dispersée perd son aptitude à souder solidement les agrégats car elle cherche à reformer avec l'eau un mélange homogène :

sous l'effet des pluies, il y a dégradation de la structure qui devient compacte et asphyxiante pour les racines. L'argile peut être à l'**état dispersé ou floculé**

à l'état dispersé : l'argile dispersée perd son aptitude à souder solidement les agrégats car elle cherche à reformer avec l'eau un mélange homogène :

sous l'effet des pluies, il y a dégradation de la structure qui devient compacte et asphyxiante pour les racines.

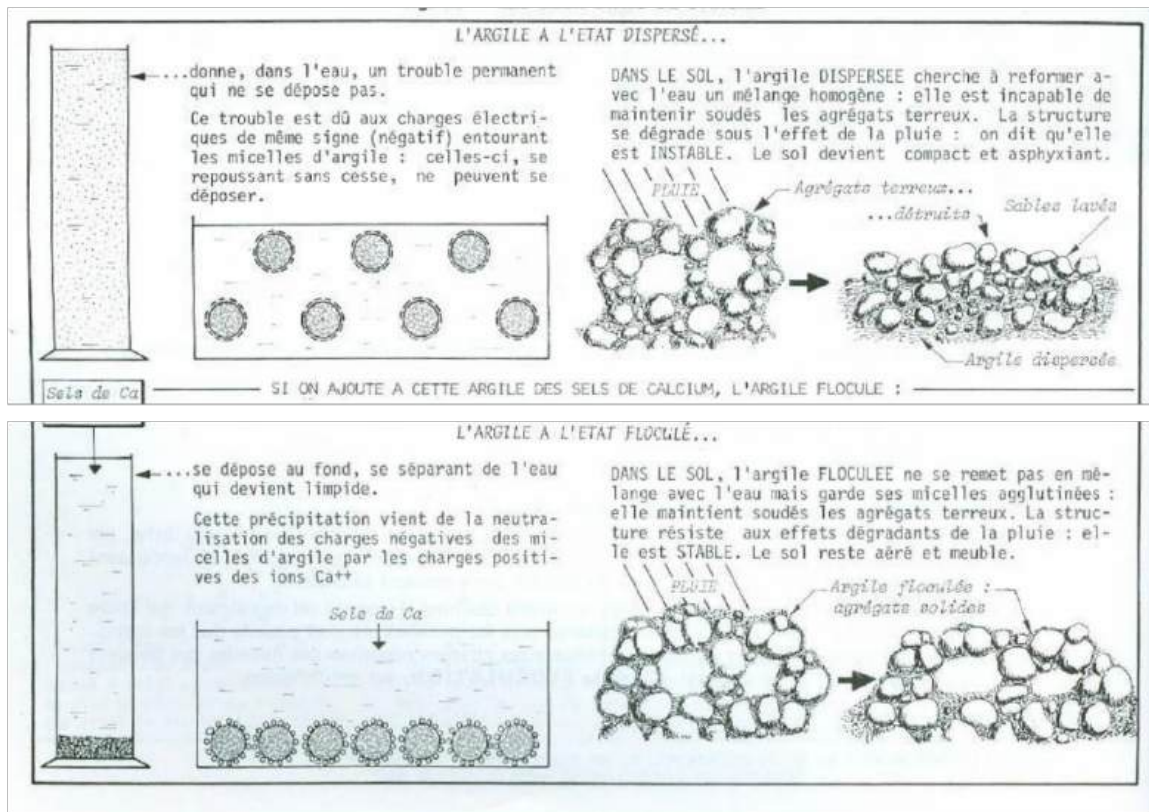


Figure 8: l'argile à l'état dispersé et flocculé

À l'état flocculé : l'argile forme des agrégats en soudant les différents éléments du sol. La structure de surface résiste à la dégradation par la pluie :

Le sol reste perméable à l'eau et à l'air, meuble, entretenant la vie des racines et de la microflore du sol.

III.1.1.4.2 Les Sesquioxydes cristallisés

Ce sont les oxydes et hydroxydes de fer et d'alumine.

Ce sont des colloïdes positifs et jouent un rôle dans la capacité de fixation anionique du sol.

III.1.1.4.3 La Silice cristallisée (colloïdale)

L'altération des minéraux silicatés peut libérer de la silice colloïdale se présentant sous forme de gel. Sous cet état, la silice est un colloïde négatif.

III.2 Les constituants organiques

Les constituants organiques du sol comprennent la matière organique en décomposition ainsi que les composés organiques vivants et morts. Ces constituants jouent un rôle crucial dans la fertilité du sol, la structure et la santé des plantes.

III.2.1 Matière Organique

La matière organique est composée de résidus de plantes et d'animaux en décomposition, ainsi que de microorganismes vivants et morts. Elle se divise en plusieurs fractions en fonction de son degré de décomposition.

La transformation par décomposition des débris organiques (d'origine végétale ou animale) abandonnés sur le sol ou enfouis dans le sol conduit à l'apparition de matières humiques.

L'ensemble de la matière organique des sols comporte donc :

- des produits frais ou peu évolués (peu transformés) : ce sont les matières organiques fraîches (M.O.F.).
- des produits évolués : ce sont les matières humiques (M.H.). Elles constituent l'humus au sens strict du terme.

L'ensemble (M.O.F. et M.H.) constitue l'humus au sens large (Mull, Moder, Mor).

- **L'humification** est le terme servant à désigner la transformation de la M.O.F. en M.H. dans des conditions écologiques « normales », c'est-à-dire d'aération et de richesse chimique suffisante. En conditions anaérobies, il y a putréfaction ou tourbification.

- **La minéralisation** concerne l'ultime phase de la transformation des substances organiques. Elle se traduit par la libération dans l'atmosphère et le sol de produits minéraux tels l'eau, le gaz carbonique, acide nitrique, ammoniac, sels minéraux solubles (K+,...).

III.2.1.1 Les différents types d'humus

L'humus est une composante essentielle de la matière organique du sol, résultant de la décomposition de la matière végétale et animale. Il joue un rôle crucial dans la fertilité et la structure du sol. Les types d'humus varient en fonction des conditions climatiques, de la végétation, et des processus de décomposition dominants. Voici une synthèse des principaux types d'humus, accompagnée de références pour approfondir chaque type.

- **Mull**

Le Mull est un type d'humus caractérisé par une décomposition rapide et complète de la matière organique. Il est courant dans les forêts de feuillus et les prairies riches en calcium, avec un pH neutre à alcalin.

Caractéristiques : Fine couche de matière organique bien décomposée, activité microbienne et faunique élevée, pH neutre à alcalin.

Formation : Décomposition rapide des feuilles et autres matières organiques, souvent en présence de vers de terre et d'autres décomposeurs.

- **Mor**

Le Mor est un type d'humus caractérisé par une décomposition lente et une accumulation importante de matière organique non décomposée. Il se trouve principalement dans les forêts de conifères et les environnements acides et froids.

Caractéristiques : Couche épaisse de matière organique peu décomposée, faible activité microbienne et faunique, structure acide.

Formation : Principalement par la décomposition lente des aiguilles de conifères et des lichens.

- **Moder**

Le Moder est intermédiaire entre le Mor et le Mull. Il se trouve souvent dans les forêts tempérées avec une couverture mixte de feuillus et de conifères. La matière organique est partiellement décomposée, avec une activité microbienne et faunique modérée.

Caractéristiques : Couche de matière organique modérément décomposée, activité microbienne et faunique moyenne, pH neutre à légèrement acide.

Formation : Décomposition de la litière végétale plus rapide que dans le Mor, mais moins que dans le Mull.

- **Importance de l'Humus**

L'humus joue un rôle crucial dans l'amélioration de la structure du sol, la capacité de rétention d'eau et la fertilité globale. Il est essentiel pour soutenir une biodiversité microbienne riche, qui est fondamentale pour les cycles biogéochimiques et la productivité des écosystèmes.

III.2.2 Biomasse Microbienne

La biomasse microbienne du sol inclut les bactéries, les champignons, les protozoaires et les algues. Ces microorganismes jouent un rôle clé dans la décomposition de la matière organique et le cycle des nutriments.

III.3 Les Complexes Colloïdaux :

Les complexes colloïdaux du sol sont des assemblages de particules fines de matière organique (humus) et de minéraux argileux. Ils jouent un rôle crucial dans la fertilité du sol et la rétention des nutriments.

III.4 Le complexe adsorbant

Le sol possède la propriété de retenir diverses substances. En effet, les cations et les anions peuvent être retenus par le *complexe adsorbant du sol, c'est à dire l'ensemble des*

colloïdes (substances humiques, argile, sesquioxydes,...) dotés de charges négatives ou positives.

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

L'absorption ionique dans le sol peut être considérée comme réversible :

- *les ions échangeables du complexe adsorbant sont en équilibre avec la solution du sol* : toute modification de la composition de la solution du sol provoque un changement de cet équilibre par échange : certains ions du complexe passent en solution (désorption) et sont remplacés par d'autres ions, qui étaient auparavant en solution (adsorption).
- Le pouvoir adsorbant est la propriété que possède le complexe adsorbant du sol, de retenir à sa surface des ions provenant de la solution du sol.

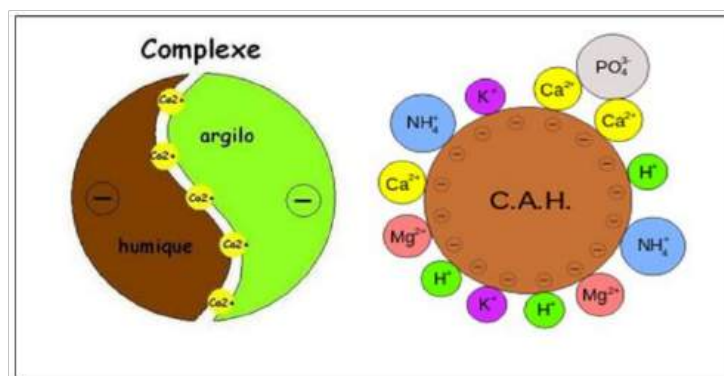


Figure 9: Le complexe Argilo-humique

Généralement l'humus est lié aux particules d'argile formant le complexe argilo-humique. Ce complexe retient l'eau et les ions minéraux

Le complexe argilo-humique (CAH), aussi appelé "**complexe adsorbant**", est l'ensemble des forces qui retiennent les cations échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺...) sur la surface des constituants minéraux et organiques des sols (le mélange de minéraux argileux et d'humus constituant le "complexe argilo-humique" à proprement parler).

Ces cations peuvent s'échanger avec la solution du sol et les plantes et constituent le réservoir de fertilité chimique du sol, c'est ce qu'on appelle la capacité d'échange cationique.

D'un point de vue chimique, argile et humus ne devraient normalement pas se lier entre eux car les micelles d'humus et d'argiles sont toutes deux électronégatives, et se repoussent donc naturellement.

IV. L'ORGANISATION MORPHOLOGIQUE DES SOLS

IV.1 Les organisations élémentaires

IV.1.1 La texture du sol

Pour évaluer la texture d'un sol, la séparation des différentes fractions est nécessaire, elle est réalisée par l'analyse granulométrique. Les différentes fractions alors obtenues sont :

- Les sables (particules dépassant 50 microns).
- Les limons ou "silt" (particules comprises entre 2 et 50 microns)
- les argiles (éléments inférieurs à 2 microns) sont des groupements hétérogènes au point de vue minéralogique, seules les argiles ont des propriétés communes grâce à la finesse de leurs particules.

IV.1.1.1 Classification des textures

Il est possible de regrouper les textures en quatre classes fondamentales, qui permettent de définir approximativement les propriétés du sol :

IV.1.1.1.1 Texture sableuse,

sol bien aéré, facile à travailler, pauvre en réserves d'eau, pauvre en éléments nutritifs, faible capacité d'échange cationique et anionique.

IV.1.1.1.2 Texture limoneuse,

L'excès de limon et l'insuffisance d'argile peuvent provoquer la formation d'une structure massive, accompagnée de mauvaises propriétés physiques. Cette tendance est corrigée par une teneur suffisante en humus et en calcium.

Les limons argilo sableux et certains "limons" n'excédant pas 30-35 % de la fraction comprise entre 2 et 50 microns, ont une texture excellente et équilibrée.

Ils contiennent à la fois assez d'éléments grossiers et de colloïdes. Ces sols sont habituellement qualifiés de terres franches.

Les limons très riches en particules comprises entre 2 et 50 microns (certains limons très fins, limons argileux, limons loessiques) ont une texture "stilteuse".

Ils contiennent peu de colloïdes minéraux , de sorte que leurs propriétés d'agrégation sont médiocres et dépendent surtout des colloïdes organiques (humus).

L'explication est que les particules comprises entre 2 et 50 microns, n'ont pas les propriétés "collantes" de la fraction fine, mais sont toutefois assez fines pour colmater les pores grossiers. D'où manque d'aération et de perméabilité.

IV.1.1.1.3 Texture argileuse,

Sol chimiquement riche mais à mauvaises propriétés physiques ;

milieu imperméable et mal aéré , formant obstacle à la pénétration des racines ; travail du sol difficile en raison de la forte plasticité (état humide) ou de la compacité (état sec). Une bonne structure favorisée par l'humification corrige en grande partie ces propriétés défavorables.

IV.1.1.1.4 Texture équilibrée ou franche

Elle présente l'optimum dans la mesure où elle présente la plupart des qualités des trois types précédents, sans en avoir les défauts ; exemple de granulométrie favorable à la culture : 25 % d'argile, 30 à 35 % de limon, 40 à 45 % de sables.

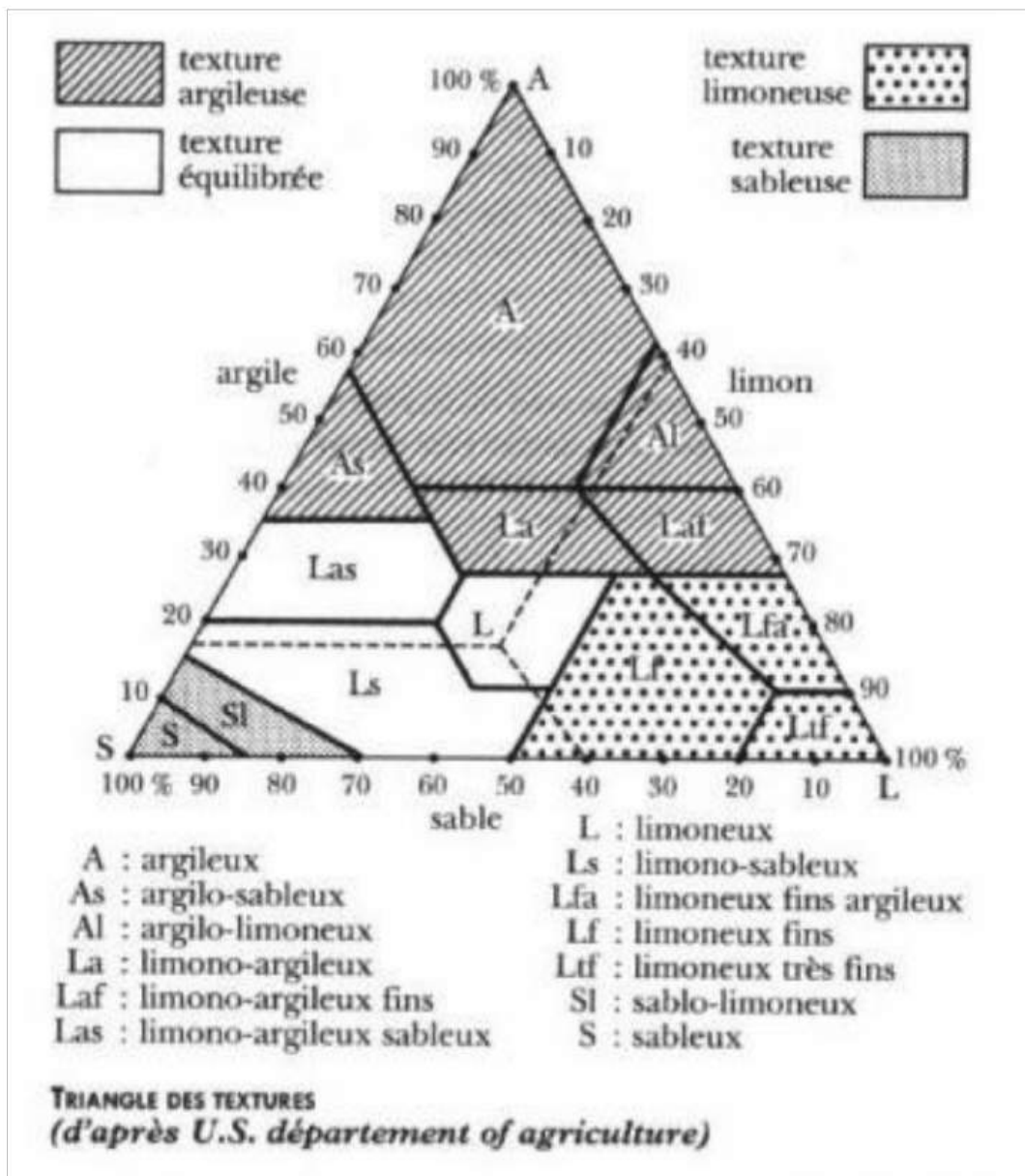


Figure 10: triangle des textures

IV.1.2 La Structure du sol

La structure du sol désigne l'arrangement spatial des particules qui le composent. Elle s'observe et se décrit à deux niveaux : la structure proprement dite, à l'échelle macroscopique, et la microstructure ou micromorphologie, à l'échelle microscopique. Cet arrangement détermine la répartition de la matière solide et des vides, influençant les propriétés physiques essentielles du sol telles que l'aération, la respiration des racines, et la rétention d'eau.

Les colloïdes minéraux et organiques agissent comme des ciments, soudant les particules de sable et de limon pour former des mottes et des agrégats. La structure se caractérise par la dimension, la forme, et la disposition de ces agrégats les uns par rapport aux autres.

Contrairement à la texture, la structure du sol n'est pas stable dans le temps ; elle fluctue selon l'humectation et la dessiccation, les interventions culturales, et les effets des systèmes racinaires des espèces cultivées.

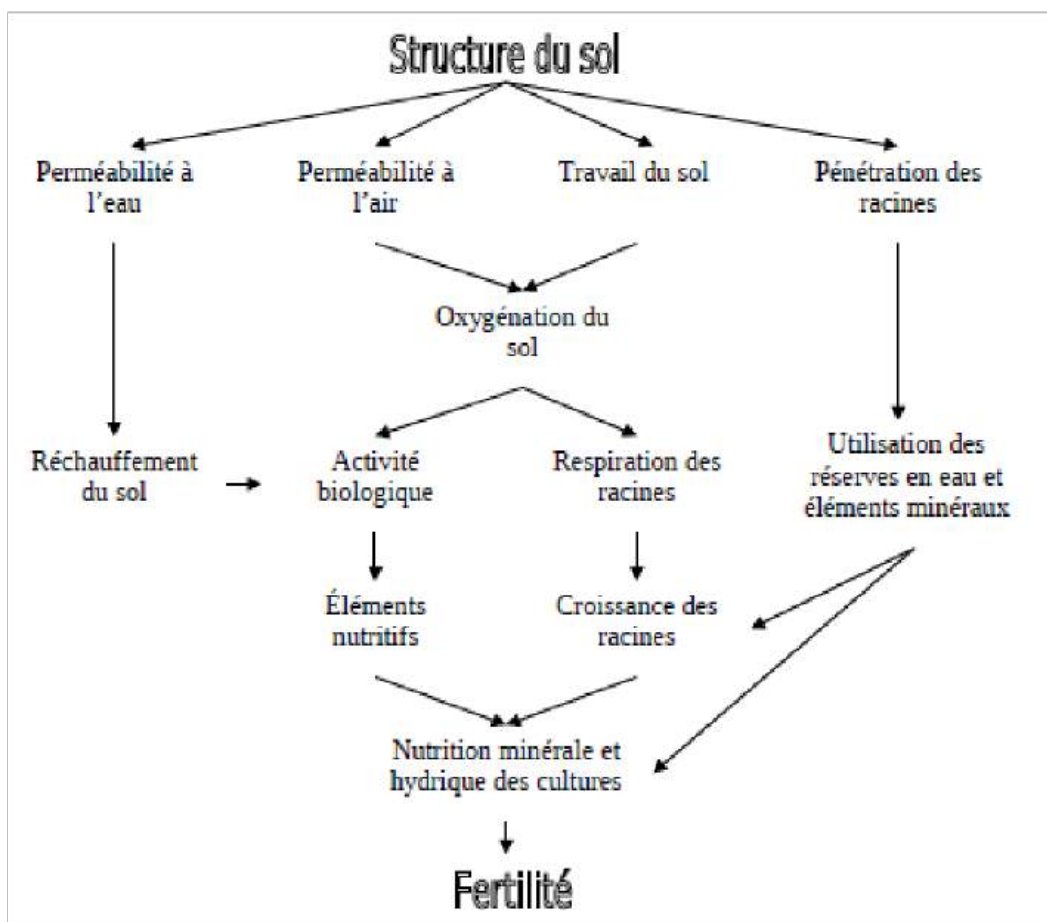


Figure 11: Intérêt de la structure

Un agrégat est formé par un squelette de grains de sable plus ou moins gros qui sont réunis entre eux par le **complexe argilo-humique (C.A.H.)**.

Le plus souvent, ce complexe argilo-humique est maintenu à l'état floculé par le **calcium** provenant de la dissolution du calcaire actif ;

Tous les constituants physiques contribuent donc à la formation de l'agrégat qui est stable vis-à-vis d'actions physico-chimiques (action de l'eau de pluie en particulier) et mécaniques (travail du sol) modérées.

Les agrégats se regroupent souvent en mottes de tailles variées, mais elles sont moins stables : dans un sol légèrement humide, elles se désagrègent facilement sous une légère pression. Un agrégat est un agglomérat de particules maintenues ensemble par les argiles, le fer, les matières organiques et l'eau, résultant de l'organisation naturelle des constituants solides du sol. Grâce à sa structure, le sol est un substrat poreux favorable aux échanges avec l'atmosphère, indispensable à la vie.

IV.1.2.1 Les Principaux Types de Structures

Les structures sont classées selon la taille des agrégats et des mottes ou selon leur forme

- Classement selon **la taille**

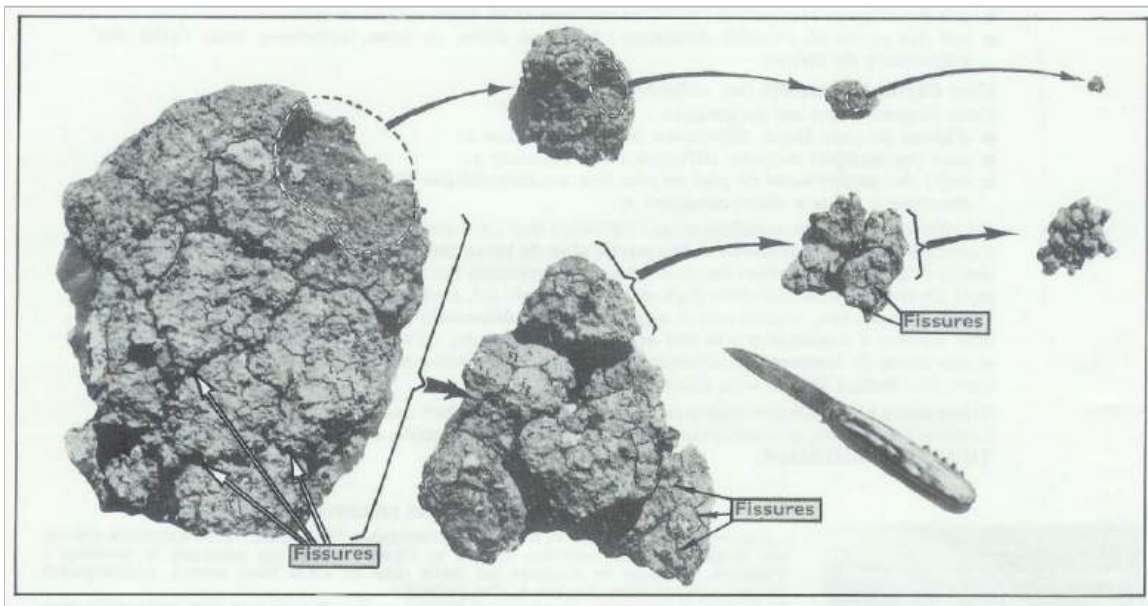


Figure 12: Classement de la structure selon la taille

structure très fine < 1 mm

structure fine : de l'ordre du mm

structure moyenne : de l'ordre du cm

structure grossière : de l'ordre du dm

- Classement selon la forme

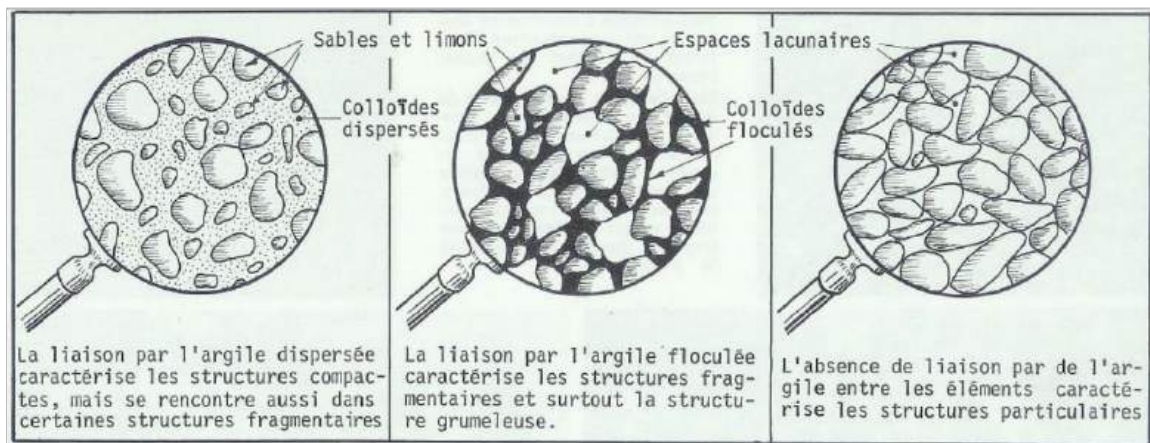


Figure 13: classement de structure selon la forme

La structure du sol est caractérisée par :

- La forme des agencements et leur taille
- L'importance respective des vides et des pleins c'est-à-dire la porosité
- La résistance des liaisons qui unissent les constituants élémentaires entre eux ainsi que les éléments structuraux

Il n'y a pas une structure du sol, mais **des structures du sol emboîtées** les unes par rapport aux autres.

Des plus fines aux plus grandes, on peut trouver:

- Les réseaux cristallins des minéraux
- Les argiles
- Les agrégats de sols
- Les mottes de sol (macro-agrégat plus de 1cm)
- Les horizons dont les composantes sont des mottes, des agrégats et des vides inter-agrégats

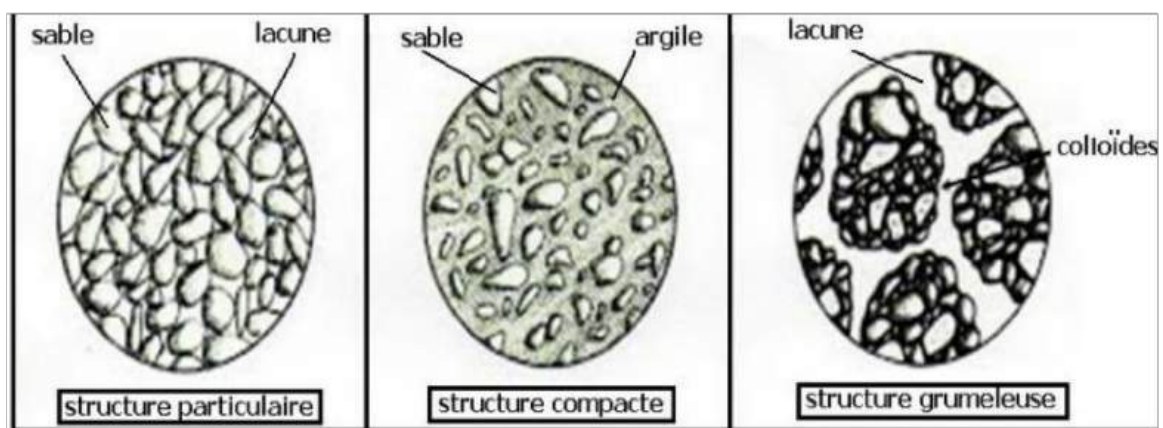


Figure 14: Les différents types de structures

IV.1.2.1.1 La structure particulière :

c'est une mauvaise structure qui ne permet pas au sol une bonne rétention de l'eau pour le bon développement des plantes , caractérisée par l'absence d'argile car les éléments fins ne sont donc pas liés entre eux ce qui favorise l'abondance d'espace ou lacunes entre les grains de sable .

- **La structure particulière organique**

Ce sont des fragments de MO libre disposés les uns à côté des autres sans aucun liens entre eux (inexistants en sols cultivés)

- **La structure particulière minérale**

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

structures défavorables:

si la texture est sableuse, le sol est filtrant mais ne retient pas l'eau ;

si la texture est limoneuse, le sol a tendance à se tasser, à être peu perméable.

IV.1.2.1.2 Les structures fragmentaires/grumeleuses

Les petits agrégats d'argiles et d'acide humique forment des colloïdes qui maintiennent les éléments fins.

Le sol reste aéré grâce aux espaces lacunaires.

Bonne structure qui une meilleure aération et rétention de l'eau

C'est le type de structure le plus fréquemment observé dans les sols cultivés. Les constituants du sol sont assemblés en agrégats et mottes plus ou moins gros dont la forme peut être *allongée, anguleuses ou sphérique*.

- **Les structures phylliteuses (forme allongée)**

De faible épaisseur, les structures phylliteuses sont constituées par de très minces couches de terre. Elles se forment soit après de fortes pluies à la surface du sol (croûte de battance), soit lors d'interventions culturales réalisées dans de mauvaises conditions (semelle de labour).

Les structures fragmentaires feuilletées : cas des structures lamellaires

Les structures lamellaires, dont les lamelles sont d'épaisseur variable (du mm à quelques cm), sont d'origines variées.

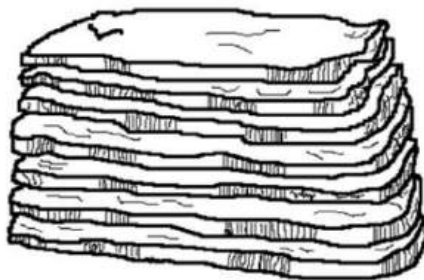


Figure 15: structure lamellaire

Structures défavorables :

- freinent la diffusion de l'air ;
- obstacles physiques à la levée et à l'enracinement.

IV.1.2.1.3 Les structures compactes

Ce type de structure se forme dans les sols qui contiennent des argiles en proportion parfois très importante.

Toute la couche de sol forme un bloc unique, les agrégats et les mottes ont une forte cohésion.

Structures défavorables :

- Manque de perméabilité à l'eau et à l'air ;
- Grande résistance à la pénétration des racines
- Difficultés de travail du sol.

IV.1.2.1.4 Les structures anguleuses

Elles sont dues en grande partie aux phénomènes de retrait des argiles dans des sols compacts. Les mottes présentent des angles importants et une forte cohésion rendant leur ameublissement difficile.



Figure 16: les structures anguleuses

IV.1.2.1.5 Les structures arrondies

Ce type de structure se rencontre essentiellement dans les sols dont les argiles sont floculés, où la matière organique se trouve en quantité suffisante. Ces structures peuvent avoir des tailles plus ou moins importantes, des plus grossières aux structures grumeleuses qui sont les plus fines.

La structure grumeleuse, constituée de petits agrégats arrondis est recherchée car elle permet :

- une très bonne circulation de l'eau ;
- une excellente aération du sol ;
- une bonne colonisation du sol par les racines ;
- une bonne activité biologique.

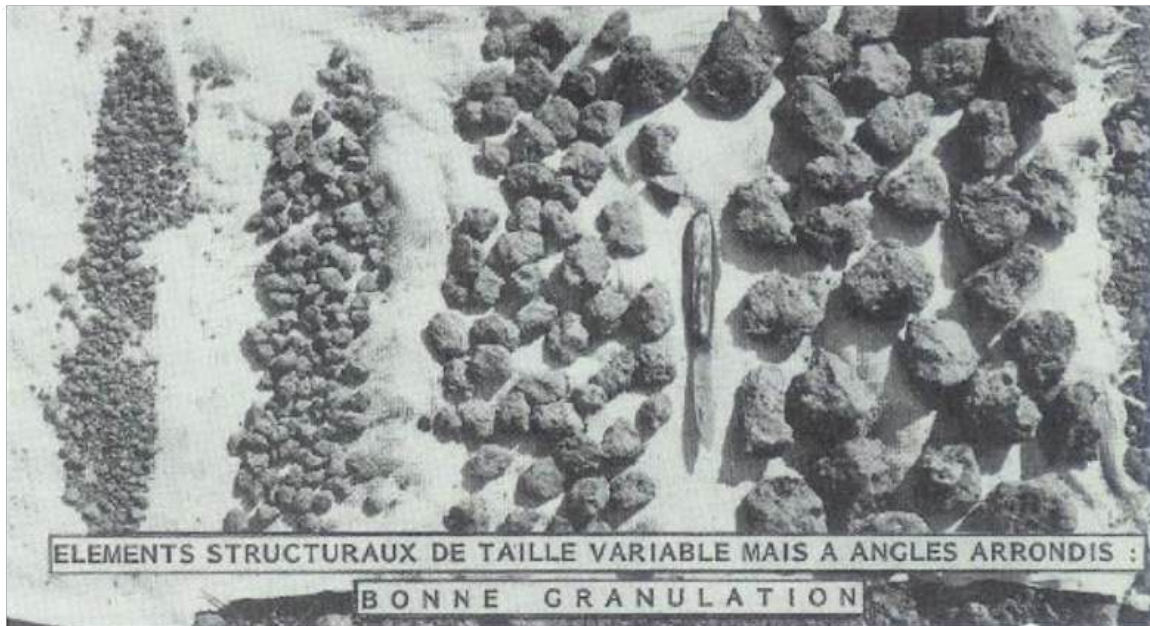


Figure 17:les structures arrondies

IV.1.2.2 La dégradation de la structure

La structure se dégrade sous plusieurs actions comme :

- L'effet de battance
- L'éclatement des agrégats par l'eau d'imbibition
- La dispersion des colloïdes
- Le compactage et le tassement des sols humides
- L'effet du choc des outils
- L'effet du gel


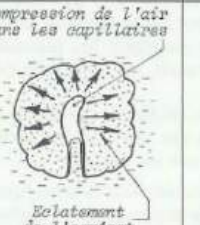
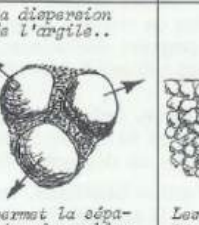
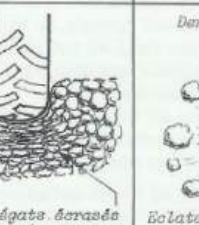

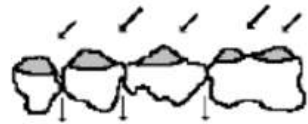

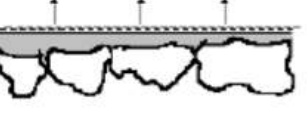

LES AGENTS DE DÉGRADATION DE LA STRUCTURE, ET LES MOYENS DE COMBATTRE LEURS EFFETS					
LES AGENTS DE DÉGRADATION	LE CHOC DES GOUTTES D'EAU SUR LE SOL NU	L'ECLATEMENT DES AGREGATS PAR L'EAU D'IMBIBITION	LA DISPERSION DES COLLOIDES	LE TASSEMENT EN PERIODE HUMIDE	L'EFFET DE CHOC DES INSTRUMENTS A ROTATION RAPIDE
	<i>Explosion d'une goutte éclaboussures</i>  <i>Ruissellement d'éléments fins</i>	<i>Compression de l'air dans les capillaires</i>  <i>Eclatement de l'agrégat</i>	<i>La dispersion de l'argile..</i>  <i>..permet la séparation des sables</i>	 <i>Les agrégats serrés se prennent en masse</i>	<i>Dent de fraise</i>  <i>Eclatement des mottes en agrégats</i>
PREVENTIONS ET REMEDES	Couvrir le sol : engrais vert, paillage, film plastique... Faciliter l'infiltration et l'évacuation rapides de l'eau, par le drainage, le travail du sol (les labours dressés) et les amendements calcaires et humifères.	Rendre les agrégats moins mouillables : apports humifères.	Floculer l'argile et stabiliser cette floculation par l'humus.	Eviter les charrois et le pâturage en période humide	Réduire la vitesse de rotation, surtout pour une préparation d'automne.

Figure 18:les agents de la dégradation de la structure

- **L'effet de battance**

C'est un phénomène de dégradation de la structure à la surface du sol sous l'effet de fortes pluies. Le mécanisme est expliqué sur le tableau suivant :

Tableau 4: Les étapes de la dégradation de la structure

	Situation météorologique	manifestations superficielles	conséquences
1 ^{ère} étape	pluie battante imprégnation lente infiltration faible		baisse de cohésion délitement des agrégats
2 ^{ème} étape	effet de choc sur un matériau de faible cohésion		éjection des particules en fonction de leur taille effet érosif ruissellement éventuel
3 ^{ème} étape	arrêt de la pluie et début d'évaporation		sédimentation dans la pellicule d'eau colmatage aspect glacé : argiles en surface
4 ^{ème} étape	Dessiccation superficielle intense		formation de croûtes de battance

Les sols limoneux pauvres en argile et en matières organiques sont particulièrement sensibles à la battance. Les structures fines de surface, obtenues après un travail superficiel du sol pour réaliser le semis, sensibilisent notablement les sols à la battance.

L'éclatement des agrégats par l'eau d'imbibition

Sous l'effet d'une humectation rapide, l'eau en pénétrant dans les pores y comprime l'air et fait éclater les agrégats. La résistance à l'éclatement dépend :

- De la richesse en MO, peu mouillables, elles protègent les agrégats
- De la texture (plus la cohésion est importante, plus les risques sont limités).

Tableau 5: les degrés de la stabilité de la structure

Stabilité	log 10 Is	Evolution structurale probable
Très stables	< 1	— Aucune manifestation de désagrégation. — Effet durable des sous solages et labours profonds réalisés en conditions sèches.
Stables	1,0-1,3	— Battance peu probable et peu intense. — Prise en masse hivernale rare. — Sensibilité à l'érosion faible, même sur pentes fortes.
Stabilité médiocre	1,3-1,7	— Battance fréquente et accentuée en conditions pluvieuses. — Prise en masse lors d'excédents hydriques prolongés. — Erosion en rigole sur pentes fortes (> 3 %).
Instables	1,7-2,0	— Battance et prise en masse fréquentes en conditions climatiques normales. — Erosion fréquente sur pentes moyennes.
Très instables	> 2	— Battance et prise en masse généralisées. — Imperméabilité totale en fin d'hiver. — Erosion sur pentes très faibles.

IV.1.2.3 La stabilité structurale

Les sols résistent plus ou moins bien à l'effet des agents de dégradation de la structure. Cette résistance, appelée stabilité structurale, dépend de la texture, de la qualité du C.A.H. et du taux de Matières organiques.

On distingue 2 propriétés importantes des sol:

La texture correspond à la part des différentes fractions de taille des éléments du sol: Argiles, limons, sables

La structure correspond à la façon dont ces éléments sont liés:

Compacte, dispersée ou mieux grumeleuse

Cette dernière est favorisée par le complexe argilo humique...

La stabilité structurale est une propriété physique du sol. Elle se définit comme l'aptitude des agrégats du sol à résister à l'action dégradante des pluies.

La stabilité structurale d'un sol dépend de :

- Sa teneur en argile : plus il y a d'argile dans le sol, plus il est stable
- Sa teneur en matière organique : plus il y a de matière organique dans un sol, plus il est stable
- Sa garniture ionique : le calcium (Ca^{2+}) stabilise les agrégats, à l'inverse le sodium (Na^+) tend à les rendre instable.

Les éléments minéraux se subdivisent en deux parties :

- Les éléments minéraux non altérés surtout abondants dans la partie grossière du sol (sables et limons).
- Le complexe d'altération, c'est la fraction fine du sol qui jouit des propriétés colloïdales.

On admet que ces colloïdes minéraux correspondent à l'ensemble des particules minérales d'un diamètre inférieur à 2 microns et on les dénomme "argile" .

Il s'agit de l'argile granulométrique, mélange hétérogène de minéraux variés, à ne pas confondre avec l'argile minéralogique.

- **Argile granulométrique** : ensemble de particules élémentaires de dimension inférieure à 2 μ quelle que soit la nature de ces particules.

IV.1.2.4 Les facteurs de la stabilité structurale

- **La composition minérale et granulométrique**

Parmi les composants granulométriques, seule la fraction argileuse maintient les agrégats et les mottes stables et leur permet de résister à la dégradation.

Au dessous de 15 % l'effet des argiles sur la stabilité structurale est assez faible, il s'affirme surtout au dessus de ce seuil.

L'effet d'instabilité provoqué par les limons se manifeste dans les sols dont la proportion de cet élément est supérieure à 60 %.

- **La matière organique**

C'est certainement le facteur le plus important de la stabilité structurale : elle intervient lors de sa décomposition et au stade humus. Après l'incorporation de matières organiques rapidement décomposables on constate :

au cours d'une première phase courte (quelques semaines ou mois) que la stabilité structurale augmente fortement au cours d'une deuxième phase elle décroît et elle se stabilise enfin au cours d'une troisième phase. (Figure 27)

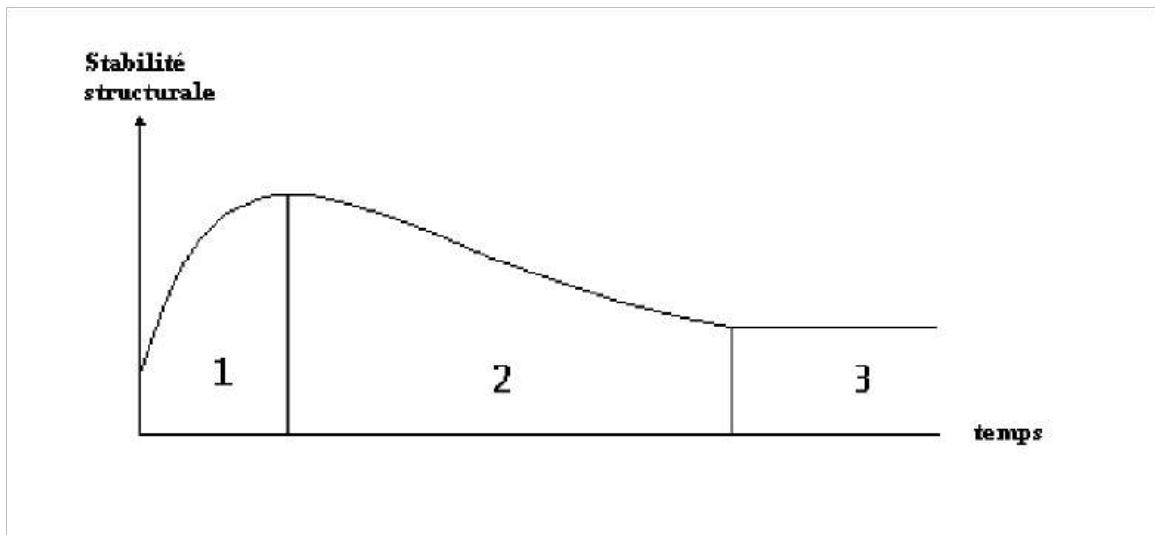


Figure 19; La variation de la stabilité structurale au cours du temps

Au début de la décomposition, les filaments mycéliens entourent les particules de sol et favorisent la stabilité structurale, puis les composés intermédiaires formés se lient intimement avec les argiles.

les composés intermédiaires disparaissent petit à petit, la stabilité structurale diminue

l'humus stable et les argiles se lient de façon durable ce qui permet une amélioration de la stabilité structurale initiale.

IV.1.2.5 Organisation des particules

IV.1.2.5.1 La porosité

Selon la **forme** et la **taille** des agrégats et des mottes, les intervalles qu'ils laissent entre eux sont plus ou moins grands : la notion de porosité apparaît.

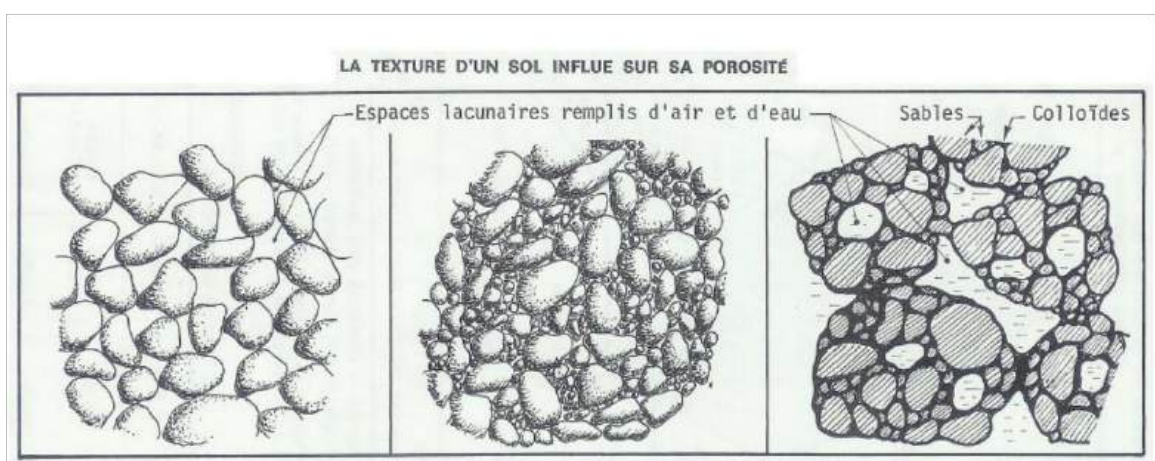


Figure 20: Influence de la texture sur la porosité

La porosité est le volume des intervalles du sol exprimé en pour cent du volume de la terre en place.

La porosité représente le volume des vides du sol occupés par de l'eau ou de l'air et exprimé en pourcent du volume total.

- **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 μm) et **microporosité très fine** (pores résiduels, retenant l'eau capillaire non absorbable, de taille inférieure à 0.2 μm).

- **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.

IV.1.2.5.2 La 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).

IV.2 L'horizon pédologique

Grâce à la pédogenèse (formation et l'évolution des sols), Le sol apparaît, s'approfondit et se différencie en strates superposées appelés «les horizons pédologiques».

Ces derniers s'organisent et forment le profil pédologique. Il atteint finalement un état d'équilibre avec la végétation et le climat.

Les horizons sont donc des volumes considérés comme homogènes et dont l'organisation dans les trois dimensions verticales et latérales, permet de reconstituer le volume complet de la couverture pédologique ou pédosphère.

Comme pour tout volume, il faut définir son contenu et son contenant : ses limites.

Ces dernières ne sont pas systématiquement parallèles à la surface terrestre.

La dimension verticale est de l'ordre du cm au m ; les dimensions latérales se mesurent le plus souvent en km mais aussi en m ; les horizons sont donc très minces par rapport à leur extension spatiale.

La dimension verticale est de l'ordre du cm au m ; les dimensions latérales se mesurent le plus souvent en km mais aussi en m ; les horizons sont donc très minces par rapport à leur extension spatiale.

Ceci explique que pour les échantillonner, on effectue des coupes verticales qui donc présentent la différenciation la plus grande.

Les horizons constituent l'élément de base de la couverture pédologique, et donc de la description, de l'échantillonnage pour les analyses de laboratoire et de la classification des sols.

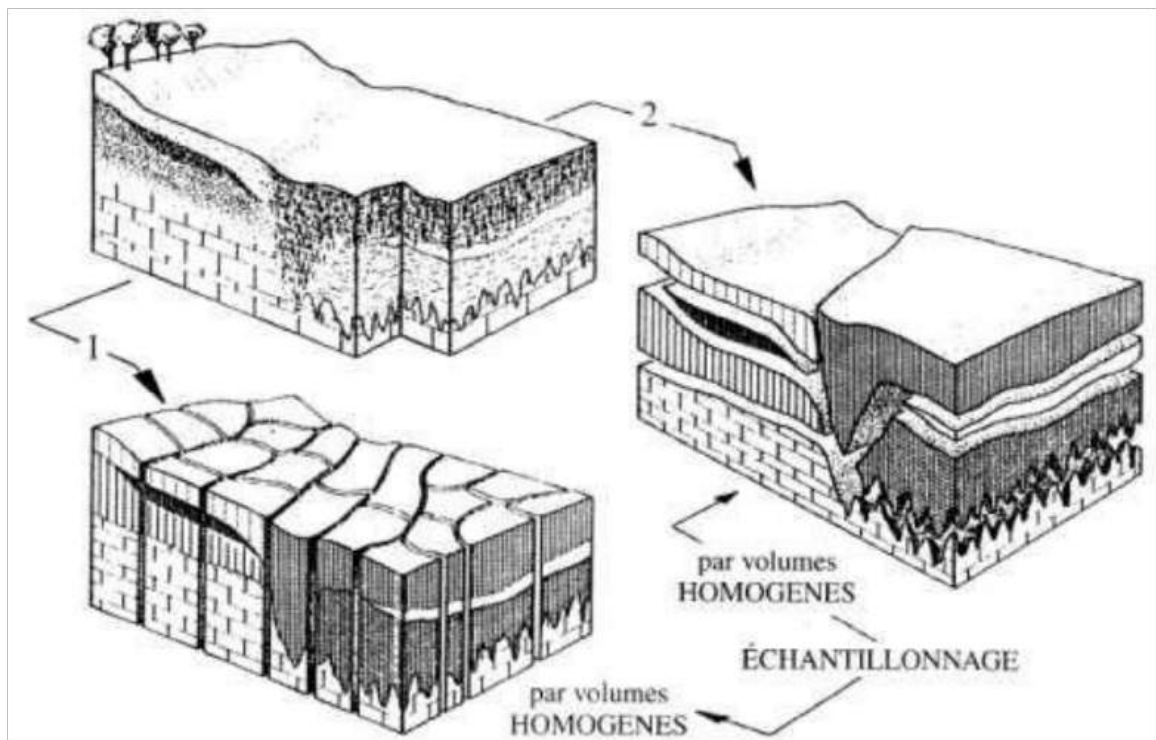


Figure 21: Les deux segmentations possibles de la couverture pédologique : en solum (1) ou en horizons (2)

Un horizon est décrit (Baize et Jabiol, 2011) par:

- ses profondeurs d'apparition et de disparition,
- la transition avec les autres horizons,
- son état d'humidité,
- les couleurs de la matrice,

- des faces des agrégats et des taches éventuelles (abondance des taches, dimensions, contrastes avec la matrice, netteté des limites, forme et orientation, distribution dans l'horizon),

L'ensemble de ces descripteurs définit le contenu d'un horizon ; son contenant (ses limites) doit être caractérisé par : son épaisseur, son extension spatiale, sa forme propre et sa position dans la couverture pédologique et enfin par ses relations aux autres horizons qui le jouxtent.

Classiquement, horizons sont les suivants:

Horizons O (horizons organiques)

Ils sont en contact avec l'atmosphère et la lithosphère. Organo-minéraux, de couleur sombre, ils sont composés essentiellement de débris végétaux plus ou moins transformés, mais encore reconnaissable.

L'épaisseur varie avec l'intensité de l'activité biologique et le climat. Selon son épaisseur, l'horizon O se divise en trois couches superposées :

- **OL** ou litière composée de débris végétaux non décomposés;
- **Of**, couche de fermentation où les débris végétaux sont partiellement décomposés par l'activité biologique;
- **Oh**, couche d'humification, les végétaux ont disparu, ils sont transformés en humus.

En fonction du nombre de couches présentes, on utilise les mots: mull, moder ou mor.

Horizons A (horizon de surface à matière organique (débris de végétaux et humus) horizons organo-minéraux de couleur foncée, situé sous l'horizon O, il est constitué de débris des végétaux et d'animaux décomposés en humus (humification). Il contient à la fois de la matière organique et de la matière minérale.

Horizons B: horizons intermédiaires apparaissant dans les sols évolués ;

Horizon C: roche peu altérée.

A l'échelle internationale, la désignation des principaux horizons est la suivante :

Horizons principaux

A : horizon de surface, contenant de la M.O., 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 Fe₂O₃ libre), d'autre part de l'horizon de surface A par sa structure différente.

B : horizon enrichi par illuviation en éléments fins ou amorphes : argile, oxydes de fer et d'aluminium, parfois humus.

C: matériau originel aux 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.

horizons E (horizons minéraux, appelés éluviaux) :

Ils sont sous l'horizon A, essentiellement minéraux, ils sont lessivés, appauvris en minéraux argileux, en sels, en carbonates, en hydroxydes, de couleur claire.

horizons B (horizons minéraux appelés illuviaux)

Situés sous les horizons E, lieu d'accumulation d'éléments (argiles, fer, aluminium), ils sont enrichis en minéraux argileux, en sels, en carbonates, en hydroxydes,

horizons S (horizons minéraux)

horizons C

Ils correspondent à la roche mère plus ou moins altérée.

horizons R, M, et D

R roche dures,

M: roches meubles et tendres;

D: roche remaniée ayant donnée naissance ou non au matériau sus-jacent.

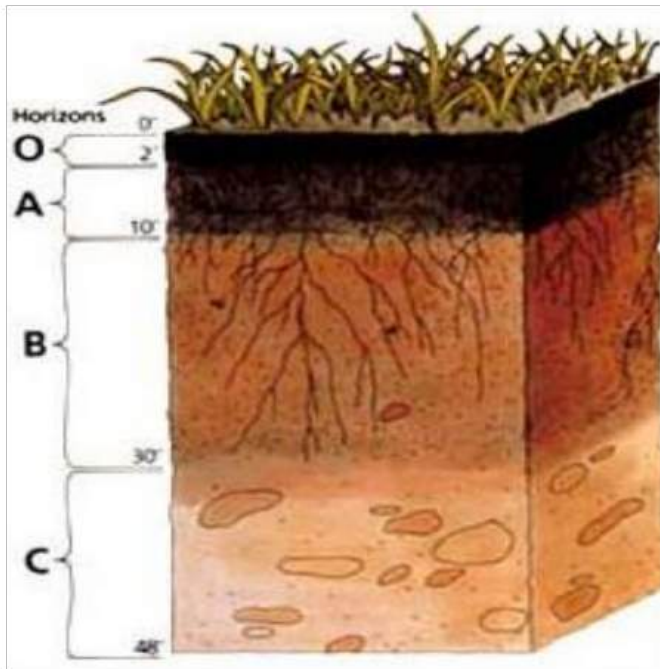


Figure 22: les principaux horizons d'un sol évolué

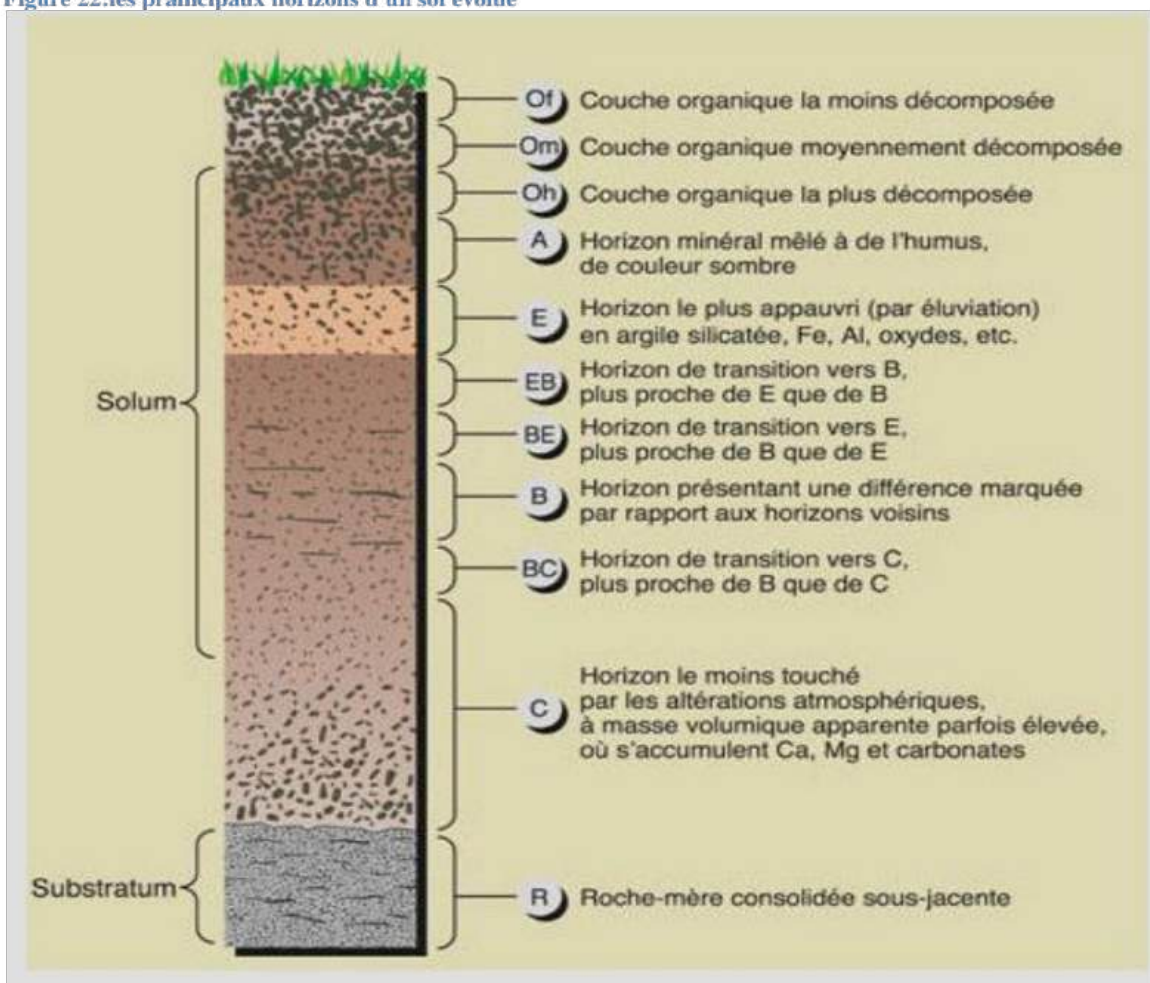


Figure 23: les caractéristiques des horizons

IV.2.1 Développement et évolution des horizons

Les horizons résultent : de la dégradation par fragmentation et altération de la roche mère sous-jacente sous les effets conjugués de l'eau, de l'air, du climat, de la transformation

L'ordre et la vitesse d'apparition des superpositions des différents types d'horizons varient selon les conditions climatiques (humides, chaudes, tropicales, ...) , de la topographie (pentes, plaine) et de la roche d'origine (calcaire, granite, schistes,...) et du mélange des produits issus de cette altération (sables, limons, argiles) avec la matière organique fraîche (débris de végétaux et d'animaux) déposée en surface, puis décomposée en humus, de la migration, du déplacement vertical et de la fixation de certains éléments constitutifs (minéraux, , argile, fer, matière organique, ...) au cours du temps.

IV.3 Le profil pédologique

Le profil est une coupe de sol suffisamment large et profonde pour laisser apparaître tous les horizons et leurs variations latérales.

Son étude est une opération fondamentale à la base de nombreuses classifications et d'étude de sols, telle que la classification française (CPCS, 1967). Les dimensions sont de l'ordre métrique.

L'étude d'un profil se base sur sa description sur terrain qui est complétée par des analyses au laboratoire ; elle doit donc être la plus complète possible en utilisant des termes objectifs et précis qui permettent l'identification du sol.

IV.3.1 Le solum

Le solum est une façon de qualifier un profil pédologique, est une tranche verticale d'une couverture pédologique observable dans une fosse ou une tranchée.

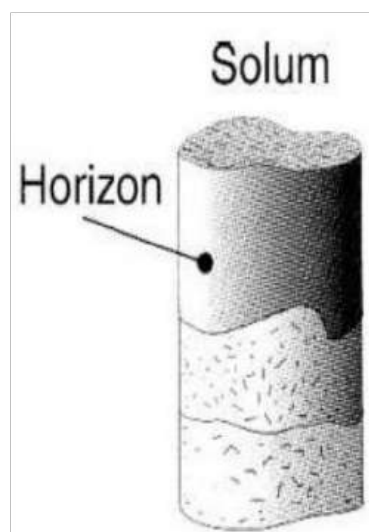


Figure 24:Un solum composé de trois horizons

IV.3.2 Le pedon

C'est un terme utilisé dans la soil taxonomy à la place du profil pédologique ou solum pour désigner **une portion de sol en trois dimensions** de 1 à 10 m² de surface et d'environ 1 m de profondeur, qui est considérée comme représentative de la couverture pédologique et peut donc être échantillonnée.

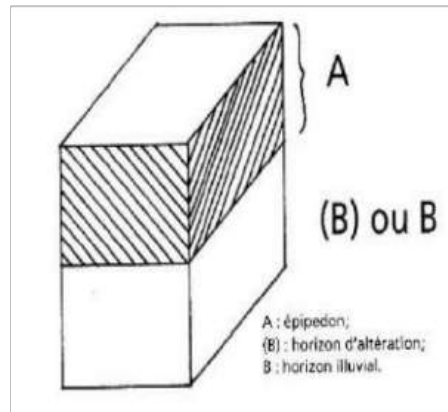


Figure 25: Pedon et horizons

Cette notion de pedon en tenant compte de l'extension latérale de la couverture pédologique introduit donc une troisième dimension ; elle est intéressante dans la mesure où elle traduit mieux le caractère dynamique du sol et assure une meilleure liaison avec la couverture pédologique.

IV.4 La couverture pédologique

Le sol est la partie meuble de la lithosphère qui constitue l'épiderme des terres émergées et il fait partie intégrante du paysage.

Cette couche appelée couverture pédologique est organisée depuis l'échelle du continent ou de la région jusqu'à la maille élémentaire du minéral argileux

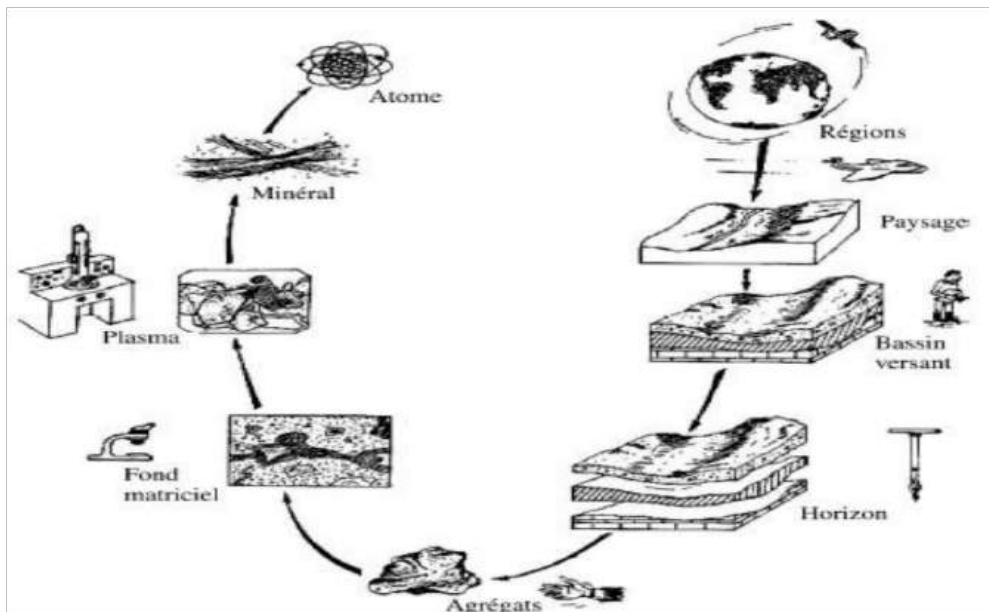


Figure 26: Les différents niveaux d'analyse de la couverture pédologique et les outils d'analyse (Girard et al., 2005)

La couverture pédologique se segmente en volumes homogènes que sont les **horizons**.

Elle peut aussi être appréhendée par des objets hétérogènes, les solums, qui représentent la succession des horizons en un site et constituent donc une manière économique d'échantillonner la couverture pédologique.

Dans ce dernier cas, son étude nécessite de restituer l'organisation spatiale des solums dans le pédopaysage où ils se trouvent.

La couverture pédologique est toujours présente à la surface des terres émergées.

Elle peut s'épaissir, être recouverte, submergée ou au contraire être érodée.

Certains horizons sont alors enterrés, inondés, amincis ou déplacés, et une nouvelle pédogenèse se développe.

IV.4.1 L'eau du sol

L'étude de l'eau du sol comporte deux aspects:

- **un aspect statique**, qui est la capacité de rétention en eau du sol, en liaison directe avec la disponibilité en eau pour les plantes.
- **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.

IV.4.1.1 Les états de l'eau du sol.

IV.4.1.1.1 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.

IV.4.1.1.2 Eau capillaire

On distingue

*l'eau capillaire **absorbable*** : qui correspond à l'eau contenue dans la microporosité de 0,2 à 8 μm (pores de réserve), et

*l'eau capillaire **non absorbable** ou **eau liée**, correspondant à la **porosité très fine** < 0,2 μm (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.

IV.4.1.1.3 Eau hygroscopique.

C'est l'eau adsorbée par le sol au dépend 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. On aboutit ainsi à la notion de potentiel capillaire ou matriciel Ψ , défini en 1907 par Bruckingham.

IV.4.1.2 Les mouvements de l'eau du sol :

Ils sont de trois types ;

IV.4.1.2.1 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.

IV.4.1.2.2 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.

La décroissance de la teneur en eau dans les horizons de surface a pour effet d'augmenter le pF, d'où un appel par succion de l'eau des zones sous-jacentes à pF plus bas.

Les gaz du sol

Ce sont les mêmes que ceux de l'air. Cependant, les fermentations biologiques de la matière organique et la respiration des racines produisent beaucoup de dioxyde de carbone. 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 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.

IV.4.2 La température du sol

La température du sol est un facteur crucial qui influence de nombreux processus biologiques, chimiques et physiques dans le sol. Elle peut varier en fonction de la région géographique, de la saison, de la profondeur du sol et d'autres facteurs environnementaux.

Voici quelques points importants concernant la température du sol :

- **Variation saisonnière** : La température du sol fluctue au fil des saisons. En général, elle est plus élevée pendant les mois d'été et plus basse pendant les mois d'hiver. Cette variation saisonnière affecte les processus de croissance des plantes, les activités microbiennes et la disponibilité des nutriments.
- **Profondeur du sol** : La température du sol varie également en fonction de la profondeur. Les couches superficielles du sol sont généralement plus sensibles aux changements saisonniers, tandis que les couches plus profondes peuvent avoir une température plus stable.
- **Influence sur les micro-organismes** : La température du sol influence l'activité des micro-organismes du sol, tels que les bactéries, les champignons et les protozoaires. Ces organismes jouent un rôle essentiel dans la décomposition de la matière organique, la fixation de l'azote et d'autres processus biologiques.
- **Germination des graines** : La température du sol est un facteur déterminant pour la germination des graines. Différentes plantes ont des exigences spécifiques en matière de température du sol pour démarrer leur processus de germination.
- **Activité des racines** : La température du sol influe sur l'activité des racines des plantes. Des températures trop basses peuvent ralentir la croissance des racines, affectant la prise de nutriments, tandis que des températures trop élevées peuvent causer des dommages aux racines.
- **Réactions chimiques** : De nombreuses réactions chimiques dans le sol sont influencées par la température. Cela inclut la solubilité des minéraux, la décomposition de la matière organique et d'autres processus qui peuvent avoir un impact sur la disponibilité des nutriments pour les plantes.

IV.4.3 La couleur du sol

La couleur du sol est le caractère morphologique le plus accessible à l'œil nu. Elle constitue un indice important dans la connaissance de l'appartenance du sol, de sa fertilité et de son évolution.

C'est l'indice le plus immédiatement visible des variations de composition du sol. C'est d'abord un reflet de la teneur en matière organique : le sol est d'autant plus foncé qu'il est plus riche en humus.

Mais la couleur traduit aussi l'état du fer dans le sol : un sol rouge possède des oxydes de fer peu hydratés et un sol jaune contient des oxydes de fer hydratés, mieux cristallisés.

C'est la raison pour laquelle beaucoup de sols ont reçu leur nom d'après leur couleur :

les sols rouges, la terre blanche (région Chettia), etc.

Selon les russes, La couleur des sols reflète la particularité zonale des sols.

Chaque zone pédoclimatique a ses propres nuances de sols typiques.

Ainsi, les sols de la zone forestière de taïga ont des teintes claires, grises et blanchâtres ;

les sols de la zone des forêts-steppes, gris et gris foncé ; de la steppe dense, gris foncé et noirs ; les sols des steppes sèches et désertiques, châtain et bruns, etc.

La couleur des sols peut être très variable au sein d'une même zone. Il arrive souvent qu'on rencontre, sur une faible étendue plusieurs couleurs.

La couleur du sol est déterminée par la couleur des groupes de substances dont il se compose ; elle est fortement influencée par l'humus, le fer et le calcaire, mais dépend également de son état physique et de son degré d'humidité.

Pour éviter de dénommer subjectivement la couleur des horizons, ce qui est une source fréquente de confusion, il existe un code de couleur «*Munsell Soil Color Chart*».

Ce code Munsell de couleur est très utilisé en pédologie aussi bien pour la caractérisation d'un sol que pour sa cartographie ou dans l'étude de la pédogenèse.

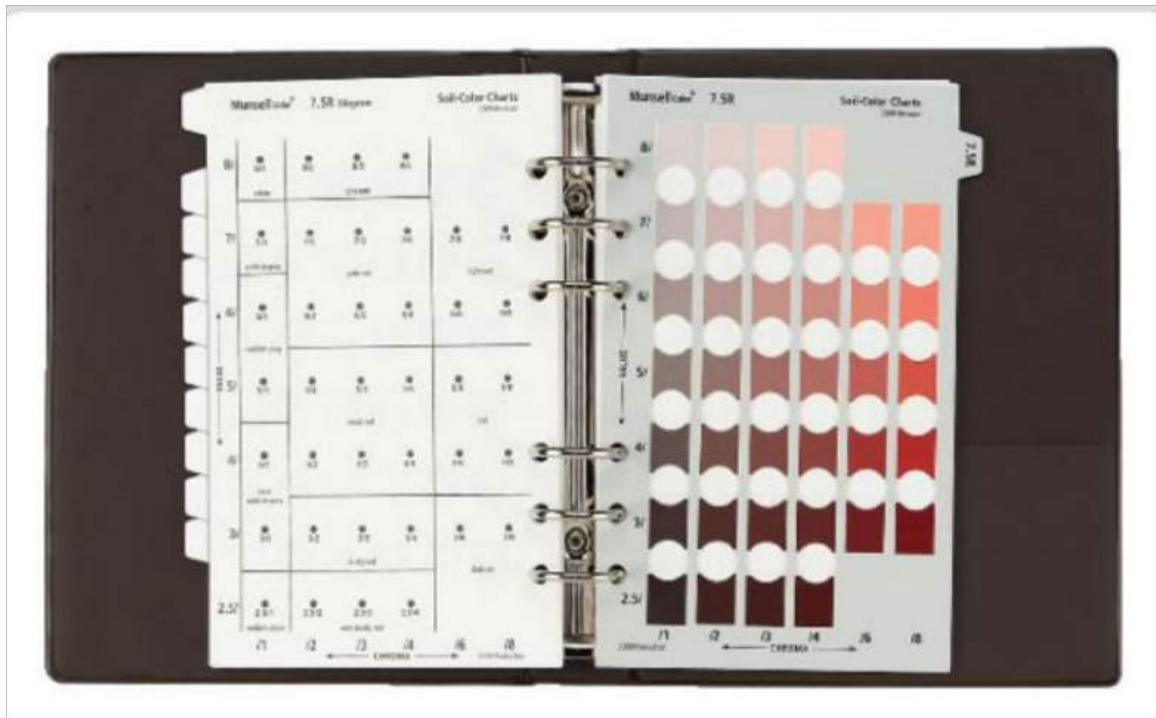


Figure 27: exemple du code munsell

Malheureusement il n'y a pas de relations quantitatives entre la couleur et ce qu'elle révèle, par exemple il faut peu de fer pour colorer un sable et dans certains sols des quantités faibles de matière organique peuvent donner une coloration noire.

La couleur du sol est déterminée par référence avec un code de couleurs. Les pédologues utilisent pratiquement tous le code Munsell.

V. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET CHIMIQUES DU SOL.

Le sol possède la propriété de retenir diverses substances. En effet, les cations et les anions peuvent être retenus par le *complexe adsorbant du sol, c'est à dire l'ensemble des colloïdes* (substances humiques, argile, sesquioxides,...) dotés de charges négatives ou positives.

V.1 Équilibre adsorption-désorption dans le sol

Le complexe adsorbant est 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 ».

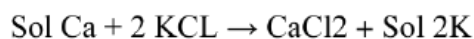
certaines ions du complexe passent en solution (désorption) et sont remplacés par d'autres ions, qui étaient auparavant en solution (adsorption).

L'absorption ionique dans le sol peut être considérée comme réversible :

les ions échangeables du complexe adsorbant sont en équilibre avec la solution du sol :

Le pouvoir adsorbant est la propriété que possède le complexe adsorbant du sol, de retenir à sa surface des ions provenant de la solution du sol.

Exemple d'un phénomène d'échange : apport d'un engrais potassique dans un sol à complexe saturé d'ion Ca^{2+} :



K remplace **Ca** dans le complexe, alors que **Ca** passe en solution.

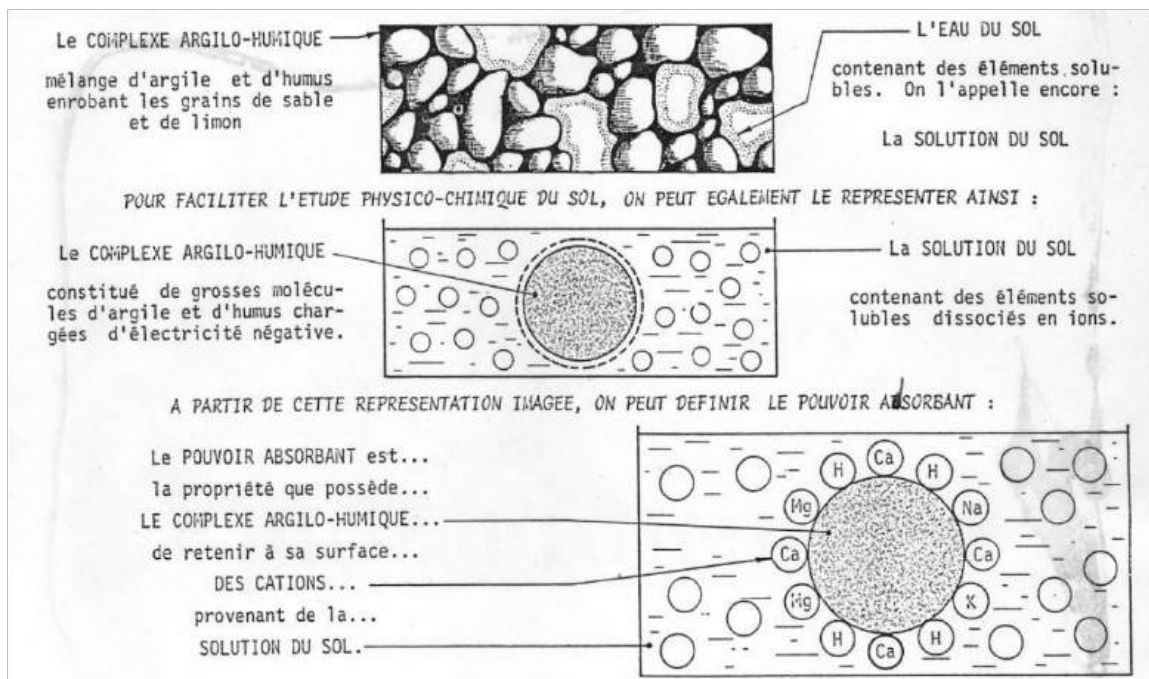


Figure 28: Le complexe adsorbant du sol (tiré de Soltner D., 1992)

L'ensemble des charges négatives du sol correspond à la capacité d'échange cationique du sol ou CEC. Cette dernière est due en ordre principal aux argiles minéralogiques et aux composés humiques.

La CEC des sols dépend de la texture, la teneur en matière organique et la composition minéralogique du sol.

La capacité totale d'échange ou capacité d'échange de cations est la quantité maximale de cations qu'un sol peut adsorber (pour 100 g de matière sèche).

Autrement dit, cette mesure représente le total des charges négatives du sol disponibles pour la fixation :des ions H^+ et Al^{+++} , des cations appelés bases échangeables : Ca^{++} , Na^+ , K^+ , Mg^{++} (l'ion NH_4^+ peut être présent aussi, mais étant très minoritaire, il n'est pas pris en compte).

Le complexe adsorbant, par son pouvoir adsorbant, met en réserve les éléments nutritifs qui, sans lui, seraient perdus par lessivage, en les échangeant principalement contre les ions Ca^{++} , faciles à déplacer, libère ces éléments pour les racines, en les échangeant notamment contre les ions H^+ formés continuellement par l'activité biologique (microbes et racines) élaborant de l'acide carbonique (H_2CO_3), régularise la composition de la solution du sol, milieu de vie des racines et des microbes.

Ce mécanisme de régulation concerne, outre la teneur en bases échangeables, mais aussi la teneur en Al^{+++} et en H^+ , ions responsables de l'acidité des sols.

La sorption et l'échange des cations

Les cations sont fixés à la surface des colloïdes sur les plages où se développent des charges négatives.

Les principaux facteurs réglant l'intensité des phénomènes de sorption et d'échange des cations:

a) la nature des colloïdes :

- Kaolinite
- Montmorillonite
- Illite
- Chlorite
- Vermiculite
- Matière organique

Pour un même colloïde, les valeurs de CEC dépendent du pH : l'augmentation des valeurs de pH se traduit généralement, pour les colloïdes négatifs, par une augmentation des charges négatives.

Inversément, l'acidification du sol se traduit par une diminution de la sorption cationique.

b) la nature des ions :

La fixation des ions suit un ordre préférentiel : les cations habituellement fixés sur le complexe sont :

1. les ions H^+

2. les cations métalliques, parmi lesquels :

- Certains sont fixés en quantité importante : Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ ,...

- D'autres en quantité généralement plus limitée :

- l'ion ammonium NH_4^+
- les oligo-éléments : Mn^{++} , Zn^{++} , Cu^{++} ,...
- le fer Fe^{++} ou Fe^{+++}
- l'aluminium Al^{+++}

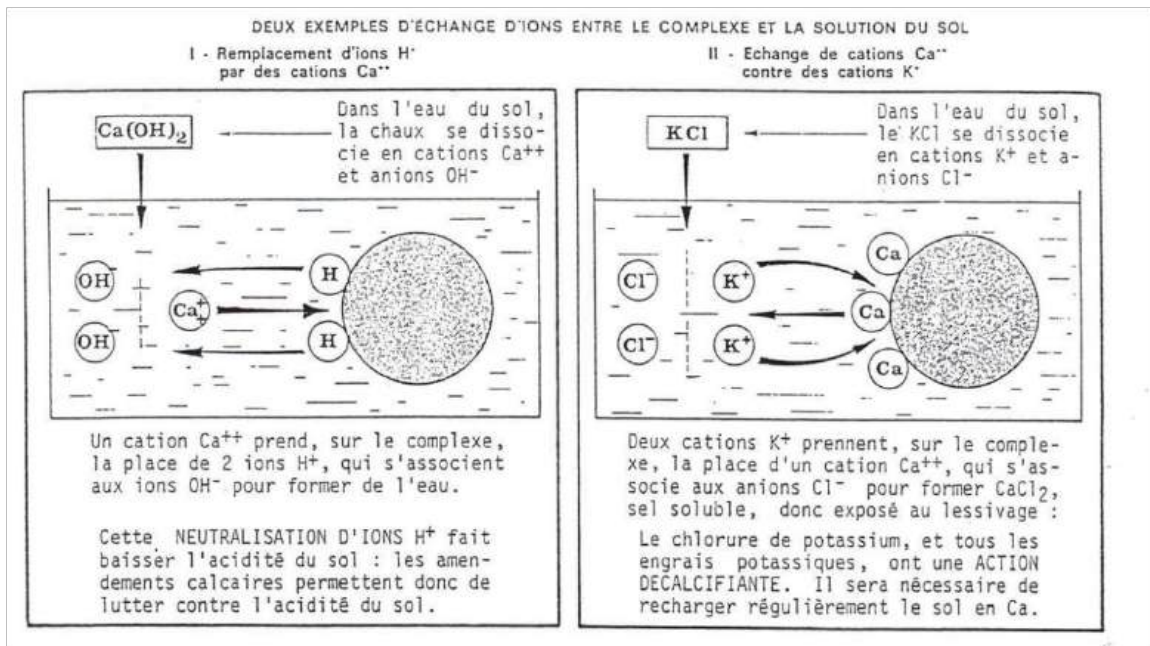


Figure 29: l'échange d'ions entre le complexe et la solution du sol

Le pH du sol

Le pH du sol donne une indication sur l'activité des protons dans un système sol-eau ou sol-solution saline .

Les sols présentent une gamme très large de pH

V.2 L'acidité des sols

L'acidité du sol est définie par la concentration en ions H⁺. la grande majorité des hydrogènes du sol, proviennent des activités biologiques.

V.2.1 Les différentes expressions de l'acidité

V.2.1.1 L'acidité actuelle (=acidité active) :

Cette valeur est un reflet approximatif de la quantité d'ions H⁺ libres se trouvant dans la solution du sol.

Ce pH vise à donner une idée de la concentration en ions H⁺ les plus actifs. Il s'agit du PH que l'on peut lire avec le liquide indicateur de terrain.

V.2.1.2 L'acidité potentielle :

Cette valeur exprime la somme des ions H⁺ fixés sur le complexe adsorbant (beaucoup plus abondants que les H⁺ libres dans la solution du sol),

L'acidité totale du sol est composée de l'acidité potentielle et de l'acidité actuelle.

V.2.1.3 L'acidité d'échange :

Elle tend à mesurer la masse des ions H^+ échangeables, susceptibles de jouer un rôle écologiquement important à brève échéance. Il s'agit d'une mesure indirecte de l'acidité potentielle du sol.

Elle s'obtient en additionnant le sol d'une grande quantité d'un sel neutre comme le KCl dont les K^+ vont provoquer le passage dans la solution du sol, d'un grand nombre d'ions H^+ (et Al^{+++}) qui étaient fixés d'une manière échangeable à la surface des colloïdes.

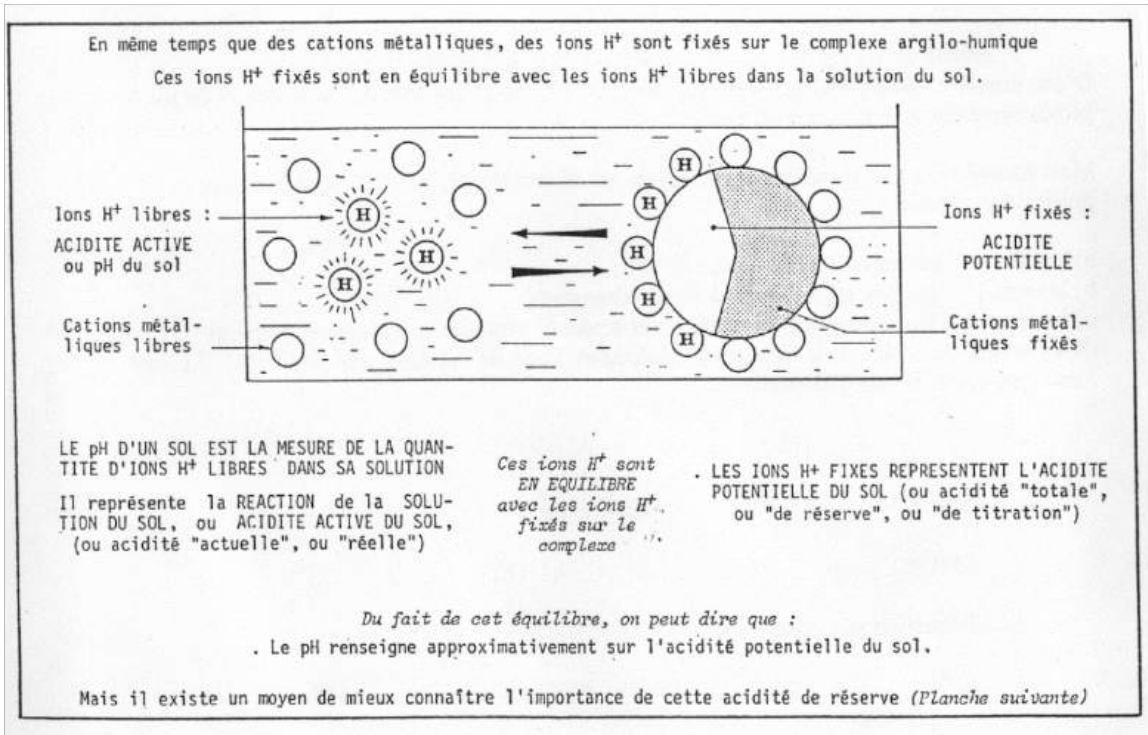


Figure 30: les différents types d'acidités du sol

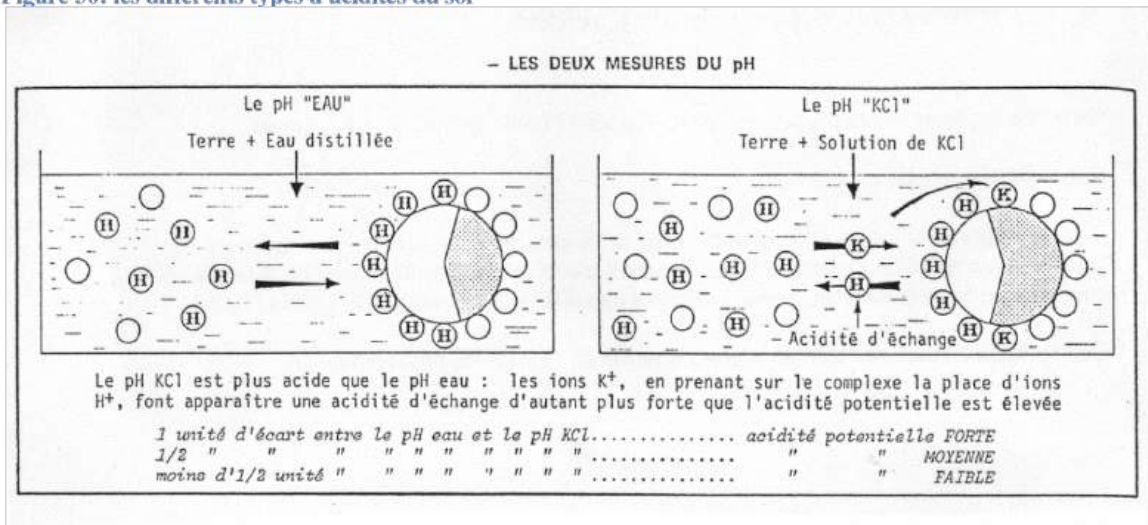


Figure 31: les deux mesures du pH

Les cations sont fixés à la surface des colloïdes sur les plages où se développent des charges négatives.

L'intensité de fixation dépend de la valence et de l'hydratation des ions.

Les ions bivalents Ca^{++} et Mg^{++} sont plus énergiquement retenus que les ions monovalents K^+ , Na^+ ,...

Les ions faiblement hydratés (Mg^{++} et surtout Ca^{++}), c'est à dire entourés d'une faible couche d'eau sont mieux fixés que les ions fortement hydratés (K^+ et Na^+)

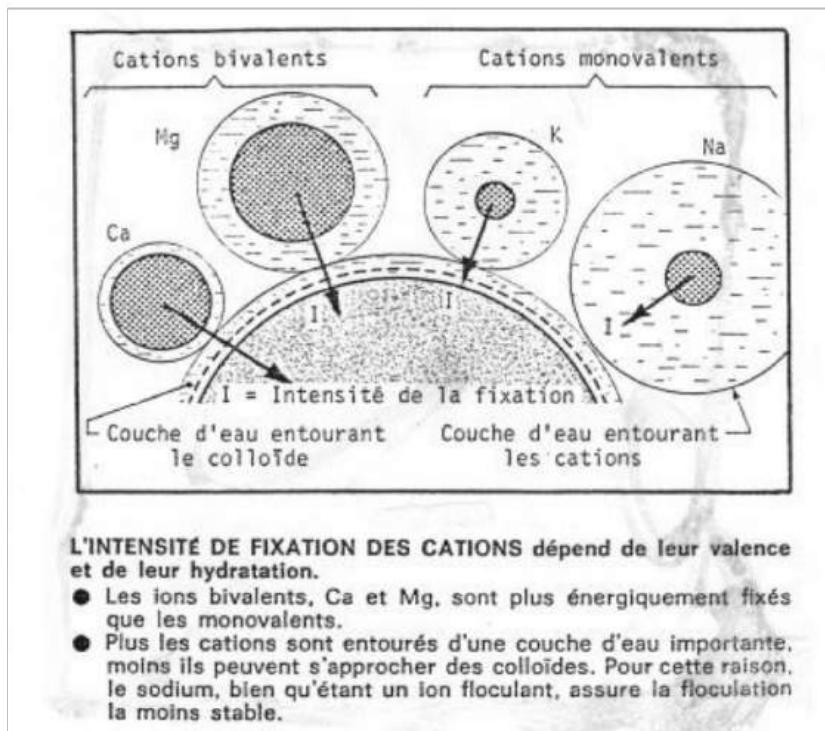


Figure 32: l'intensité de fixation des cations

VI. LES PROPRIETES BIOLOGIQUES DU SOL

VI.1 Les organismes du sol

Les organismes du sol jouent un rôle crucial dans le maintien de la santé du sol et des écosystèmes. Ils participent à la décomposition de la matière organique, au cycle des nutriments, à la formation de la structure du sol et à la promotion de la croissance des plantes. Voici une synthèse détaillée des principaux groupes d'organismes du sol, accompagnée de références et de photos pour illustrer leur diversité et leur fonction.

VI.1.1 Microorganismes

VI.1.1.1 Bactéries

Les bactéries sont les micro-organismes les plus abondants dans le sol. Elles sont essentielles pour la décomposition de la matière organique et le cycle des nutriments. Certaines bactéries, comme les rhizobiums, fixent l'azote atmosphérique en formes utilisables par les plantes.

VI.1.1.2 Champignons

Les champignons jouent un rôle crucial dans la décomposition de la matière organique complexe, comme la cellulose et la lignine. Les mycorhizes, une association symbiotique entre les champignons et les racines des plantes, augmentent l'absorption des nutriments par les plantes.

VI.1.1.3 Actinomycètes

Les actinomycètes sont un groupe de bactéries filamenteuses qui contribuent à la dégradation de la matière organique résistante et à la production de composés antibiotiques naturels.

VI.1.2 Faune du sol

VI.1.2.1 Vers de terre

Les vers de terre sont des ingénieurs écologiques qui améliorent la structure du sol, facilitent la circulation de l'eau et de l'air, et décomposent la matière organique.

VI.1.2.2 b. Nématodes

Les nématodes sont des vers microscopiques qui peuvent être des décomposeurs, des prédateurs ou des parasites de plantes. Ils jouent un rôle dans la régulation des populations microbiennes et des cycles des nutriments.

VI.1.2.3 Arthropodes

Les arthropodes du sol, comme les acariens, les coléoptères et les fourmis, participent à la fragmentation de la matière organique et à la prédation des autres organismes du sol.

VI.1.3 Flore du sol

VI.1.3.1 Racines des plantes

Les racines des plantes interagissent avec divers organismes du sol, notamment par les exsudats racinaires qui nourrissent les micro-organismes. Elles structurent également le sol par leur croissance et leur décomposition.

VI.1.4 Importance des organismes du sol

Les organismes du sol sont essentiels pour :

- La fertilité du sol : Ils influencent la disponibilité des nutriments pour les plantes.
- La structure du sol : Ils contribuent à la formation et à la stabilité des agrégats du sol.
- La santé des plantes : Les interactions symbiotiques et la suppression des pathogènes favorisent la croissance des plantes.
- Le cycle des nutriments : Ils jouent un rôle clé dans le recyclage des nutriments, assurant leur disponibilité continue pour les plantes.

Les organismes du sol sont une composante essentielle de la biodiversité terrestre. Ils sont généralement subdivisés en plusieurs groupes :

La mégafaune, qui comprend des animaux comme les taupes, les crapauds, les serpents, etc.

La macrofaune, visible à l'œil nu, qui comprend des organismes tels que les vers de terre, les termites, les fourmis, les larves d'insectes, etc.

La mésofaune, visible à la loupe, qui comprend des organismes tels que les acariens, les collemboles, etc.

La microfaune et les micro-organismes, visibles seulement au microscope, qui comprennent les protozoaires, les nématodes, les bactéries, les champignons, les algues, etc.

Ces organismes vivent et interagissent dans le sol, contribuant à sa richesse biologique très hétérogène. Cette biodiversité est à l'origine même du fonctionnement du sol et de tous les services écosystémiques qu'il rend à l'Homme, comme notre alimentation, notre espace de vie ou notre climat.

Le sol est un des principaux réservoirs de biodiversité, puisqu'il héberge environ un quart de la biodiversité (diversité taxonomique) totale de la planète. De plus, le nombre « d'espèces » est plusieurs fois supérieur à celles observées à sa surface.

La biodiversité du sol n'est pas seulement très élevée en nombre, elle peut également être fonctionnelle. En effet, les organismes du sol entretiennent des relations complexes entre eux, mais influent aussi sur les écosystèmes tout entiers en contrôlant notamment la circulation des matières essentielles à la vie des plantes (carbone, azote, phosphore, potassium...)

les organismes du sol jouent un rôle crucial dans le maintien de la santé des écosystèmes terrestres et la fourniture de services écosystémiques essentiels.

VI.2 Transformations d'origine microbienne dans le sol

Les microorganismes du sol jouent un rôle crucial dans de nombreuses transformations biologiques qui affectent la structure et la fertilité du sol, ainsi que la disponibilité des nutriments pour les plantes. Voici une synthèse détaillée des principales transformations microbiennes avec des références et des photos.

VI.2.1 Décomposition de la matière organique

Les microorganismes, notamment les bactéries et les champignons, décomposent la matière organique morte, y compris les résidus de plantes et les cadavres d'animaux. Ce processus libère des nutriments essentiels tels que le carbone, l'azote, le phosphore et le soufre, rendant ces éléments disponibles pour les plantes.

VI.2.2 Cycle de l'azote

Les transformations microbiennes du cycle de l'azote comprennent plusieurs étapes clés :

VI.2.2.1 a. Fixation de l'azote

Les bactéries fixatrices d'azote, comme les rhizobiums en symbiose avec les légumineuses, convertissent l'azote atmosphérique (N_2) en ammoniac (NH_3), une forme utilisable par les plantes.

VI.2.2.2 b. Nitrification

Les bactéries nitrifiantes, telles que *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*, oxydent l'ammoniac (NH_3) en nitrite (NO_2^-) puis en nitrate (NO_3^-), qui est une forme d'azote facilement absorbable par les plantes.

VI.2.2.3 c. Dénitrification

Les bactéries dénitrifiantes, comme *Pseudomonas* et *Clostridium*, convertissent le nitrate (NO_3^-) en gaz d'azote (N_2), qui est relâché dans l'atmosphère, fermant ainsi le cycle de l'azote.

VI.2.3 Cycle du phosphore

Les microorganismes du sol jouent un rôle important dans la solubilisation du phosphore minéral, le rendant accessible aux plantes. Les bactéries solubilisant le phosphore (par exemple, *Bacillus* et *Pseudomonas*) libèrent des acides organiques qui dissolvent les

VI.2.4 Dégradation des polluants

Les microorganismes du sol peuvent dégrader les polluants organiques, comme les hydrocarbures et les pesticides, transformant ces substances en composés moins toxiques ou en éléments de base inoffensifs. Les bactéries et les champignons sont souvent utilisés en bioremédiation pour nettoyer les sols contaminés.

VI.2.5 Importance des transformations microbiennes

Les transformations d'origine microbienne sont essentielles pour :

- Maintenir la fertilité du sol : En recyclant les nutriments essentiels et en améliorant leur disponibilité pour les plantes.
- Protéger l'environnement : En dégradant les polluants et en participant aux cycles biogéochimiques.
- Soutenir la croissance des plantes : En améliorant la structure du sol et en facilitant l'absorption des nutriments.

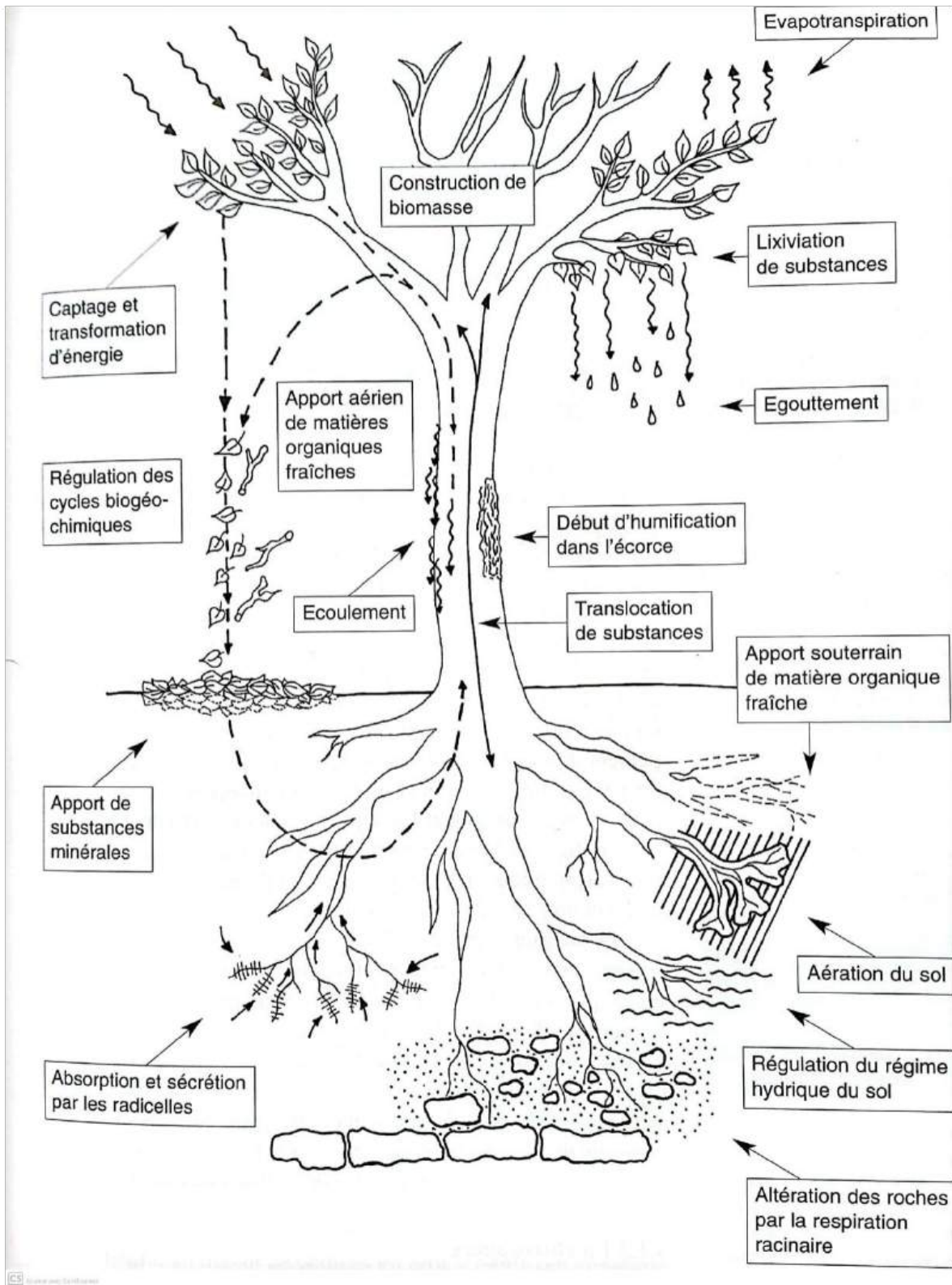


Figure 33: fonctions principales des plantes en relation avec les processus pédologiques : l'exemple du hêtre

VII.LA CLASSIFICATION DES SOLS

VII.1 Evolution des classifications des sols

On peut distinguer trois phases principales dans l'histoire des classifications des sols :

VII.1.1 La première phase:

Les premiers pédologues, sous l'influence de l'école russe, ont pris d'abord pour base les facteurs du milieu, en particulier le plus important d'entre eux, le facteur climat ; les sols étaient classés en trois grandes classes:

- **Zonaux**, *c'est-à-dire* dépendant essentiellement des facteurs climat
- **intrazonaux**, *c'est-à-dire liés à des* particularités locales de la station (hydromorphie, présence de calcaire actif..)
- **azonaux**, sols peu évolués, par exemple les sols de pente rajeunis par l'évolution :

VII.1.2 La deuxième phase:

A mesure que les connaissances en matière de physique et chimie du sol se sont approfondies, notamment en matière d'altération, c'est elles qui ont été prises en considération de façon prioritaire pour la définition des grandes unités de classification des sols :

Les pédologues ont alors défini les sols en fonction du processus de l'altération, de la nature et du degré de saturation du complexe adsorbant Et des processus de migration.

VII.1.3 La troisième phase:

Sont apparues les classifications modernes qui résultent d'une synthèse écologique reposant sur la confrontation de l'ensemble des données, écologiques, morphologiques, physico-chimiques et biologiques ; Les différents caractères sélectionnés ne sont pas indépendants les uns des autres, mais ils constituent un ensemble harmonieux et sont mutuellement coordonnés ; de tels ensembles ont permis la définition des «classes» ou «ordres», c'est-à-dire des grandes unités qui apparaissent dans la plupart des classifications. Les pédologues ont mis l'accent davantage sur les processus de formation et d'évolution des sols (podzolisation , brunification, ferralitisisation...)

Parmi les classifications actuelles (américaine, FAO..) celle du centre de pédologie du CRNS présidé par Ph. DUCHAUFOR s'appuie sur

- le degré d'évolution et de différenciation du profil;

- le mode d'altération et de formation des argiles ;
- les processus physico-chimiques de base qui sont à l'origine du sol, processus très souvent aux matières organiques

VII.2 Problématique de la classification des sols

Contrairement aux végétaux et animaux qui sont hiérarchisés dans des classifications uniques et universelles, les sols comportent plusieurs types de classifications.

Deux principales causes ont en été à l'origine:

Causes liées à l'historique de la pédologie

Causes liée à la complexité du sol lui-même

Causes liées à l'historique de la pédologie

Le travail de classification a été entrepris en parallèle dans plusieurs pays à la fois à ses deux extrémités. C'est ainsi que des classifications à caractère « national », ont pris naissance dans différents pays ; ces premières classifications ont été élaborées sur des bases très différentes d'un pays à l'autre.

En URSS, la base écologique a été privilégiée, En Europe occidentale c'est le caractère génétique qui a été le plus considéré. Aux Etats Unis, ils se sont basés sur la notion d'horizon diagnostic ;

Au sein d'un même pays, des classifications régionales de détails (unités inférieures) ont été établies en vue de l'établissement de cartes de sols à grande échelle.

Les classifications l'ont résolu de trois façons différentes :

Les unes ont accordé la priorité à la pédogenèse la plus récente, définissant l'état d'équilibre avec les conditions actuelles ; d'autres ont, au contraire, classé ces sols en relation avec la pédogenèse ancienne (paléosols, addition du préfixe «pale»).

D'autres enfin, ont défini les sols par l'ensemble de leurs propriétés sans distinguer l'ordre de leur apparition dans le temps.

VII.2.1 Critères utilisés par les classifications modernes

Les principaux critères de base des différentes classifications modernes sont :

- Le degré de développement du profil, en liaison avec le degré d'évolution
- L'altération climatique
- Les mouvements de matière
- Pédoclimat
- Utilisation du facteur temps

- Rôle intégrateur de la matière organique

Le degré de développement du profil, en liaison avec le degré d'évolution

- Profil (A)C sols minéraux bruts ;
- Profil AC sols peu différenciés contenant de la matière organique ;
- Profil A(B)C sols évolués par altération, horizon (B) **d'altération** ;
- Profil ABC : sol évolué par altération, et migration : horizon **B illuvial**.

Ce critère n'est pas utilisé au même niveau par toutes les classifications ;

la plupart d'entre elles ont cependant défini une classe à profil (A) C, et une ou plusieurs classes à profil AC : profils humifères sans horizon (B) ou B minéral distinct : en fait, les profils de transition sont très fréquents et posent un problème très difficile à résoudre.

A titre d'exemple, dans la classification française : les classes «**ferralsitique**», «**ferrugineux**», «**ferrallitique**» sont caractérisées par une altération croissante.

VII.3 LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

VII.3.1 DIVISION I : «les sols dont la pédogenèse est très liée à l'évolution des matières organiques » (Généralement sous climats tempérés et froids)

VII.3.1.1 Classe 1

- les sols peu évolués

Le caractère commun de cette classe, à profil AC, est le **faible degré d'altération**. La matière organique est peu abondante, le profil reste peu coloré (peu de fer libre), il ne se forme pas de complexe organo-minéraux permettant l'élaboration d'une structure et caractérisant une pédogenèse déterminée.

Climatiques: désertiques,

d'érosion : d'un lithosol sur roche dure, ou d'un régosol sur roche tendre.

d'apports : sols alluviaux et colluviaux

Les alluviaux caractérisés par une nappe phréatique

Les sols colluviaux sont souvent dépourvus de nappe



Figure 34: sol alluvial

VII.3.1.2 Classe 2

- **Les sols peu différenciés , humifères, désaturés (à profil AC).**

Les sols de cette classe sont caractérisés par un profil de type AC (voire A(B)C mais (B) reste peu développé). Ils sont en général très humifères et colorés plus ou moins fortement par la matière organique.

Ils sont formés sur matériaux non calcaires et caractéristiques de climats presque constamment humide, côtiers ou montagnards.

Ils sont très rapidement appauvris en cations basiques par entraînement hors du profil à mesure que l'altération progresse.

Pauvre en alumine (Al_2O_3): **RANKERS** (sur roches cristallines)

Riches en alumine : **ANDOSOLS** (sur roches volcaniques)

VII.3.1.3 Classe 3

- **Les sols calcimagnésiques**

Ce sont des sols « carbonatés » dont les principales propriétés sont dus à la présence du calcaire actif et Caractérisés par un blocage de l'humification à un stade précoce par le calcaire actif.

Ce sont donc des sols qui restent saturés en Ca^{2+} et / ou Mg^{2+} .

Le profil type est un profil A1C (ou A1R), très humifère de couleur foncée, riche en calcaire actif, appelé rendzine



Figure 35: rendzine

VII.3.1.4 Classe 4

- **Les sols isohumiques**

Caractérisés par une incorporation profonde, par voie biologique, de matière organique stabilisée par un processus de maturation climatique prolongée, dominance d'argiles 2/1 (*illites, montmorillonites*).

L'évolution des sols isohumiques est conditionnée par les facteurs bioclimatiques généraux (climat et végétation).

Ils caractérisent la zone de la steppe à climat trop sec pour permettre le développement d'une végétation forestière.

À complexe saturé : CHERNOZEMS, SOLS CHATINS, SOLS GRIS FORESTIERS ;

À complexe désaturé : BRUNIZEMS

Sous climat de plus en plus aride : SOLS MARRONS, SIEROZEMS



Figure 36 :CHERNOZEMS

VII.3.1.5 Classe 5

- **Les vertisols ou les sols vertiques**

Sols à argile gonflante, du type 2/1 (montmorillonite)

Ils sont difficiles à travailler mais productifs. On les trouve en milieu méditerranéen (ex : Sicile) et tropical sec (ex : Tchad).

En gonflant et se rétractant les feuillettes des argiles piègent un peu de matière organique si bien que ces sols argileux très caractéristiques sont souvent brun foncé ou même complètement noirs.



Figure 37 : Vertisol

VII.3.1.6 Classe 6

- **Sols brunifiés à profils A(B)C ou ABt C**

Caractérisent les zones climatiques plus humides et moins froides que celle des chernozems. La formation végétale n'est plus la steppe, mais la prairie.

Le profil n'est plus de type A1C, mais A(B)C, voire ABtC lorsqu'il existe un lessivage d'argiles.

- **Sols bruns à horizon (B) d'altération : sols bruns eutrophes ocreux.**
- **Sols lessivés à Bt de type argillique :** sols bruns lessivés, sols lessivés acides, sols lessivés glossiques.
- **Sols lessivés continentaux et boréaux :** sols dernovo-podzoliques et gris forestier.

VII.3.1.7 Classe 7

- **Sols podzolisés**

Matière organique peu évoluée (MOR ou MODER), formant des complexes organo-métalliques mobiles (Al-Fe),

Le podzol ou « sol cendré » est un sol « zonal » caractéristique de la zone boréale de la taïga (forêt résineuse).

Le profil est caractérisé par la succession de trois horizons très contrastés par la couleur, leur morphologie et leur propriétés

En fait, le podzol n'est pas seulement représenté dans la zone boréale, mais existe aussi dans les zones tempérées, spécialement celles à climats atlantique humide



Figure 38: L'horizon supérieur de ce podzol est le mor

Sols podzolisés non ou peu hydromorphes : sols ocre podzologique, sol podzologique, podzol.

Sols podzolisés hydromorphes :

- Podzols hydromorphes tempérés : Podzols humiques, podzols à alios.
- Podzols hydromorphe tropicaux : Podzols de nappe.

VII.3.2 DIVISION II : « les sols dont la pédogénèse : est assez indépendante de l'évolution des matières organiques; est très liée au contraire au climat chaud, plus au moins humide, et au comportement particulier des oxydes de fer et d'alumine ».

VII.3.2.1 Classe 8

- **Les Sols fersiallitiques**

Qualifie un sol ou un horizon de nuance rouge, résultat d'une association stable entre de l'argile sous forme colloïdale et des oxydes de fer ;

- **Sol rouge fersiallitique méditerranéen** caractérise la forêt de chênes lièges, chênes verts et même chênes pubescents en climat sub-humide et humide.

Sur matériaux variés calcaires ou non calcaires, à condition qu'ils soient drainés et qu'ils libèrent par altération suffisamment de fer et de calcium.

Rubéfaction incomplète : Sols bruns fersiallitiques, sols bruns eutrophes tropicaux.

Rubéfaction complète : complexe saturé : sols rouges fersiallitiques.

Désaturation et dégradation partielle de complexe : sols fersiallitiques acides et appauvris.

VII.3.2.2 **Classe 9**

- **Les Sols ferrugineux**

Ils représentent une phase d'évolution intermédiaire entre celles des sols **fersiallitiques** et celle des sols **ferrallitiques**. Ils sont en général lessivés

VII.3.2.3 **classe 10**

- **Sols ferrallitiques ou ferrallitisols**

Ils représentent la phase terminale de l'évolution des sols de la région équatoriale humide, sans saison sèche, caractérisée par la forêt dense sempervirente, sur matériaux d'origine de toute nature, à drainage suffisant.

Kaolinite dominante : sols ferrallitiques.

Gybsyte et goethite (hématite) dominantes : Ferrallites.

Sols ferrallitiques à ségrégation hydromorphe du fer.

VII.3.3 DIVISION III : « Les sols dont la pédogénèse est liée à des conditions locales de station »

Il s'agit de deux classes dont l'évolution, très particulière, est étroitement liée aux conditions physicochimiques de station :

- Milieu rendu réducteur par excès d'eau (**hydromorphie**);
- Présence d'ions Na⁺ provenant d'une nappe salée ou d'altération en quantité importante dans le profil (**salinisation et sodisation**).

Les conditions physico-chimiques de la station agissent directement sur la fraction minérale.

Le caractère « stationnel » de ces deux classes n'exclut pas certains impératifs climatiques; les sols hydromorphes sont pratiquement absents des zones à climat aride alors qu'à

l'inverse, les sols salsodiques tendent à se localiser de manière presque exclusive dans ces zones.

VII.3.3.1 Classe 11

- **Les Sols hydromorphes**

Oxydo-réduction du fer liée à la présence permanente ou temporaire d'une nappe.

Oxydo-réduction marquée (sols à nappe): PSEUDOGLEY , STAGNOGLEY, GLEY
oxydo-réduction atténuée, imbibition capillaire d'un matériau argileux, appauvrissement superficiel.

VII.3.3.2 Classe 12

- **Sols salsodiques**

Évolution conditionnée par l'ion Na⁺ , sous ses deux formes salines et alcalines.

- Sols à profil AC ou AG : forte salinité et faible alcalinité (ou nulle) : **sols salins**.
- Sols à profil A(B)C ou ABC : faible salinité (ou nulle) : alcalinisation saisonnière marquée (PH>8,5) : **sols alcalins**

VII.3.4 Les Sols d'Algérie et leur Relation avec le Climat et la Géomorphologie

L'Algérie, en raison de sa vaste étendue et de sa diversité géographique, présente une grande variété de types de sols influencés par des conditions climatiques et géomorphologiques distinctes. Voici un aperçu des principaux types de sols en Algérie et leur relation avec le climat et la géomorphologie.

VII.3.4.1 Les Sols du Nord de l'Algérie

Le nord de l'Algérie est caractérisé par un climat méditerranéen avec des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. La géomorphologie de cette région comprend des chaînes de montagnes, des vallées et des plaines côtières.

Sols Bruns et Rouges Méditerranéens : Ces sols se trouvent principalement sur les pentes des montagnes et dans les vallées. Ils sont riches en matière organique et bien drainés, ce qui les rend propices à l'agriculture.

Sols Calcaires : Fréquents dans les régions montagneuses, ces sols sont dérivés de roches calcaires et sont généralement fertiles, mais peuvent être sujets à l'érosion.

VII.3.4.2 Les Sols des Hauts Plateaux

Les Hauts Plateaux se situent entre le Tell au nord et le Sahara au sud. Cette région est caractérisée par un climat semi-aride à aride, avec des hivers froids et des étés chauds.

- **Sols Steppiques** : Ces sols sont typiques des zones semi-arides et sont souvent pauvres en matière organique. Ils sont adaptés aux cultures résistantes à la sécheresse comme les céréales.
- **Sols Salins et Solonchaks** : En raison de l'évaporation intense, les sels se concentrent à la surface, rendant ces sols moins fertiles sans interventions de gestion spécifiques comme le drainage.

VII.3.4.3 Les Sols du Sahara

Le Sahara algérien couvre environ 80% du territoire du pays et présente un climat hyper-aride avec des précipitations très faibles et des températures extrêmement élevées.

- **Sols Arénacés** : Constitués principalement de sable, ces sols ont une faible capacité de rétention d'eau et de nutriments, limitant leur usage agricole.
- **Régosols** : Présents dans les régions désertiques, ces sols sont peu évolués et souvent très minéraux, avec une végétation naturelle très éparse.

VII.3.4.4 Influence du Climat

Le climat joue un rôle crucial dans la formation et l'évolution des sols en Algérie. Les précipitations influencent le lessivage des minéraux, la salinité, et la quantité de matière organique, tandis que la température affecte les processus biologiques et chimiques dans le sol.

- **Précipitations** : Plus abondantes dans le nord, elles favorisent la formation de sols riches et fertiles. Dans le sud, la rareté des pluies limite le développement des sols et la végétation.
- **Températures** : Les températures élevées dans le Sahara accélèrent l'évaporation, contribuant à la salinisation des sols. Dans les Hauts Plateaux, les variations thermiques accentuées affectent la structure et la stabilité des sols.

VII.3.4.5 Influence de la Géomorphologie

La géomorphologie, ou la forme et la structure des terres, détermine la distribution des types de sols et leur utilisation potentielle.

- **Montagnes** : Les sols des zones montagneuses sont souvent minces et sujets à l'érosion, mais peuvent être très fertiles grâce à la décomposition des roches.
- **Plaines et Vallées** : Ces zones sont plus favorables à l'agriculture intensive en raison de leurs sols profonds et bien drainés.

- **Déserts** : Les formations sableuses et rocheuses du Sahara limitent l'utilisation des sols pour l'agriculture, nécessitant des technologies avancées pour l'irrigation et la gestion des sols.

Les sols algériens sont diversifiés et étroitement liés aux conditions climatiques et géomorphologiques. La gestion durable de ces sols nécessite une compréhension approfondie de leurs caractéristiques spécifiques et des défis environnementaux associés. Les efforts pour améliorer la fertilité des sols et prévenir l'érosion sont cruciaux pour le développement agricole et la préservation de l'environnement en Algérie.

VIII. RELATIONS SOLS VEGETATION

Le sol et la végétation entretiennent une relation symbiotique et dynamique qui influence profondément les écosystèmes terrestres. Les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol affectent la croissance et la santé des plantes, tandis que les plantes, à leur tour, modifient les propriétés du sol. Voici une synthèse détaillée des principales interactions entre le sol et la végétation, accompagnée de références et de photos.

VIII.1 Nutriments et fertilité du sol

Les plantes dépendent du sol pour obtenir les nutriments essentiels à leur croissance, tels que l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Les microorganismes du sol jouent un rôle crucial dans le cyclage de ces nutriments et leur conversion en formes utilisables par les plantes.

VIII.2 Interactions symbiotiques

VIII.2.1 *Mycorhizes*

Les mycorhizes sont des associations symbiotiques entre les champignons et les racines des plantes. Les champignons mycorhiziens améliorent l'absorption des nutriments, en particulier le phosphore, et augmentent la résistance des plantes aux stress abiotiques et biotiques.

VIII.2.2 *Rhizobiums et nodules fixateurs d'azote*

Les rhizobiums sont des bactéries symbiotiques qui forment des nodules sur les racines des légumineuses et fixent l'azote atmosphérique en ammoniac, fournissant ainsi une source importante d'azote aux plantes.

VIII.3 Structure du sol et enracinement

Les plantes influencent la structure du sol par leurs systèmes racinaires. Les racines créent des pores et des canaux dans le sol, améliorant l'aération, la perméabilité et la capacité de rétention d'eau du sol. Les exsudats racinaires nourrissent également les microorganismes du sol, favorisant la formation d'agrégats stables.

VIII.4 Rôle de la matière organique

La matière organique du sol, principalement composée de résidus végétaux en décomposition, joue un rôle crucial dans la fertilité du sol. Elle améliore la structure du sol, augmente sa capacité de rétention d'eau et fournit une source d'énergie pour les microorganismes du sol.

VIII.5 Phytoremédiation

Les plantes peuvent être utilisées pour dépolluer les sols contaminés, un processus connu sous le nom de phytoremédiation. Certaines plantes hyperaccumulatrices peuvent absorber

et concentrer des polluants tels que les métaux lourds, facilitant ainsi leur extraction et élimination.

VIII.6 Importance des interactions sol-végétation

Les interactions entre le sol et la végétation sont essentielles pour :

- **Maintenir la fertilité du sol** : Les plantes et les microorganismes travaillent ensemble pour recycler les nutriments et améliorer la qualité du sol.
- **Soutenir la croissance des plantes** : Les sols sains fournissent les nutriments, l'eau et la structure nécessaires pour que les plantes puissent s'épanouir.
- **Protéger l'environnement** : Les plantes peuvent stabiliser les sols, prévenir l'érosion et aider à la décontamination des sols pollués.
- **Favoriser la biodiversité** : Des sols riches et diversifiés soutiennent une large gamme d'espèces végétales et animales, contribuant à la résilience des écosystèmes.

IX. Références bibliographiques

- 1- Baize, D., & Girard, M. C. (1995). Référentiel pédologique. *INRA, Paris*, 332.
- 2- Baize, D., & Jabiol, B. (2011). Guide pour la description des sols.
- 3- Duchaufour Ph., 1977- Pédologie 1. Pédogenèse et classification. Ed. Masson, Paris, 477p.
- 4- Duchaufour Ph., 1988- Pédologie. Ed. Masson, Paris, 224p.
- 5- Duchaufour, P., Faivre, P., Poulénard, J., & Gury, M. (2020). Introduction à la science du sol-7e éd.: Sol, végétation, environnement. Dunod.
- 6- Duchaufour Ph., 1995- Pédologie. Sol, végétation, environnement. Ed. Masson, Paris, 317p.
- 7- Girard, m., Walter, c., & Remy, J. Sols et environnement. 2e cycle. Cours, exercices et études de cas.
- 8- Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010). Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols (Vol. 14). PPUR Presses polytechniques.
- 9- Jean -Yves MASSENET .Cours de pédologie forestière . <http://jymassenet-foret.fr/index.html>
- 10- Soltner, D. (2003). Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son amélioration. Collection Sciences et Techniques Agricoles. 23ème. Paris. 472p.

Table des matières

I.	INTRODUCTION : Definition du sol et objet de la pédologie	5
II.	PEDOGENESE : PROCESSUS DE FORMATION ET D'EVOLUTION DES SOLS	6
II.1	Stade Initial ou Primordial	6
II.2	Stade de Jeune Sol ou Stade de Maturation	7
II.3	Stade de Sol Évolué ou Climax	8
III.	LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SOL	10
III.1	Les constituants solides	11
III.1.1	Les constituants minéraux	11
III.2	Les constituants organiques	17
III.2.1	Matière Organique	18
III.2.2	Biomasse Microbienne	19
III.3	Les Complexes Colloïdaux :	19
III.4	Le complexe adsorbant.....	19
IV.	L'ORGANISATION MORPHOLOGIQUE DES SOLS.....	21
IV.1	Les organisations élémentaires.....	21
IV.1.1	La texture du sol	21
IV.1.2	La Structure du sol.....	23
IV.2	L'horizon pédologique	34
IV.2.1	Développement et évolution des horizons.....	39
IV.3	Le profil pédologique	39
IV.3.1	Le solum	39
IV.3.2	Le pedon	40
IV.4	La couverture pedologique.....	40
IV.4.1	L'eau du sol.....	41

IV.4.2	La température du sol	44
IV.4.3	La couleur du sol	44
V.	PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET CHIMIQUES DU SOL.	47
V.1	Équilibre adsorption-désorption dans le sol.....	47
V.2	L'acidité des sols	50
V.2.1	Les différentes expressions de l'acidité	50
VI.	LES PROPRIETES BIOLOGIQUES DU SOL	53
VI.1	Les organismes du sol	53
VI.1.1	Microorganismes	53
VI.1.2	Faune du sol.....	53
VI.1.3	Flore du sol	54
VI.1.4	Importance des organismes du sol.....	54
VI.2	Transformations d'origine microbienne dans le sol	55
VI.2.1	Décomposition de la matière organique	55
VI.2.2	Cycle de l'azote.....	55
VI.2.3	Cycle du phosphore	56
VI.2.4	Dégradation des polluants	56
VI.2.5	Importance des transformations microbiennes	56
VII.	LA CLASSIFICATION DES SOLS	58
VII.1	Evolution des classifications des sols.....	58
VII.1.1	La première phase:	58
VII.1.2	La deuxième phase:	58
VII.1.3	La troisième phase:	58
VII.2	Problématique de la classification des sols	59
VII.2.1	Critères utilisés par les classifications modernes.....	59
VII.3	LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS	60

VII.3.1	DIVISION I : «les sols dont la pédogenese est tres liee à l'évolution des matières organiques » (Généralement sous climats tempérés et froids).....	60
VII.3.2	DIVISION II : « les sols dont la pédogénèse : est assez indépendante de l'évolution des matières organiques;est très liée au contraire au climat chaud, plus au moins humide, et au comportement particulier des oxydes de fer et d'alumine ».	64
VII.3.3	DIVISION III : « Les sols dont la pédogénèse est liée à des conditions locales de station ».....	65
VII.3.4	Les Sols d'Algérie et leur Relation avec le Climat et la Géomorphologie	66
VIII.	RELATIONS SOLS VEGETATION	69
VIII.1	Nutriments et fertilité du sol.....	69
VIII.2	Interactions symbiotiques.....	69
VIII.2.1	Mycorhizes.....	69
VIII.2.2	Rhizobiums et nodules fixateurs d'azote.....	69
VIII.3	Structure du sol et enracinement	69
VIII.4	Rôle de la matière organique.....	69
VIII.5	Phytoremédiation	69
VIII.6	Importance des interactions sol-végétation.....	70
IX.	Références bibliographiques.....	71

Liste des figures et des tableaux

Liste des Figures

Figure 1: La décomposition de la roche mere	7
Figure 2: L'enrichissement en matières organiques	8
Figure 3:Exemple d'un sol évolué	8
Figure 4:Goutte de pluie détruisant les agrégats et la structure du sol en heurtant la surface d'un sol nu.	13
Figure 5:La croute battance	13
Figure 6:Les particules d'argiles restent longtemps en suspension dans l'eau à cause des charges négatives qu'elles portent et provoquent des phénomènes de répulsion entre particules	14
Figure 7: représentation schématique de la dispersion et de la floculation des micelles colloïdales dans un liquide	15
Figure 8: l'argile à l'état dispersé et floculé	17
Figure 9:Le complexe Argilo-humique	20
Figure 10: triangle des textures	22
Figure 11:Interet de la structure	23
Figure 12:Classement de la structure selon la taille	24
Figure 13:classement de structure selon la forme	25
Figure 14: Les différents types de structures	25
Figure 15: structure lamellaire	27
Figure 16:les structures anguleuses	28
Figure 17:les structures arrondies	29
Figure 18:les agents de la dégradation de la structure	29
Figure 19;La variation de la stabilité structurale au cours du temps	33
Figure 20:Influence de la texture sur la porosité	33
Figure 21:Les deux segmentations possibles de la couverture pédologique : en solum (1) ou en horizons (2)	35
Figure 22:les principaux horizons d'un sol évolué	38
Figure 23:les caractéristiques des horizons	38
Figure 24:Un solum composé de trois horizons	39
Figure 25:Pedon et horizons	40
Figure 26:Les différents niveaux d'analyse de la couverture pédologique et les outils d'analyse (Girard et al., 2005)	41
	75

Figure 27: exemple du code munsell	46
Figure 28: Le complexe adsorbant du sol (tiré de Soltner D. ,1992)	48
Figure 29: l'echange d'ions entre le complexe et la solution du sol	50
Figure 30: les différents types d'acidités du sol	51
Figure 31: les deux mesures du pH	51
Figure 32: l'intensité de fixation des cations	52
Figure 33: fonctions principales des plantes en relation avec les processus pédologiques : l'exemple du hêtre	57
Figure 34: sol alluvial	61
Figure 35: rendzine	62
Figure 36 :CHERNOZEMS	62
Figure 37 : Vertisol	63
Figure 38: L'horizon supérieur de ce podzol est le mor	64

Liste des Tableaux

Tableau 1: Les constituants du sol	10
Tableau 2: Origines et catégories des constituants du sol	11
Tableau 3:les constitants minéraux du sol	11
Tableau 4:Les étapes de la dégradation de la structure	30
Tableau 5:les degrés de la stabilité de la structure	31

