



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
UNIVERSITE MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI BORDJ BOU ARRERIDJ
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA
TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE**

**RESUME DU COURS DU MODULE DE PEDOLOGIE 2 EME ANNEE ECOLOGIE ET
ENVIRONNEMENT**

ASSURE PAR M^{me} LAOUFI H.

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2019- 2020

Introduction

La pédologie étudie la genèse, les propriétés et la classification des sols. Elle trouve de nombreuses applications notamment dans le domaine agronomique (pédologie agricole ou forestière, conservation des sols...).

Qu'est-ce que le sol ?

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

Le sol est la partie superficielle meuble de l'écorce terrestre, considérée habituellement sur une épaisseur maximale de 1,25 m (SCOHY, 1992).

Le sol est la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques.

Le sol est un milieu dynamique qui évolue au cours du temps.

$S = f(Cl, o, r, p, t)$ où :

Cl = Climat ;

o = Organismes vivants ;

r = Topographie ;

p = Roche mère ou matériel parental ;

t = Temps.

Roche mère

La **roche mère** ou matériel parental est le dépôt géologique qui a donné naissance au sol.

Cependant, une même roche mère peut donner naissance à plusieurs types de sols dans l'espace et dans le temps.

C'est pourquoi on distingue :

- La **roche mère géologique** ou le substrat qui, par altération, a donné naissance au dépôt meuble sur lequel s'est fixée la végétation ;

- La **roche mère pédologique** ou le produit plus ou moins meuble de l'altération superficielle.

Une même roche mère géologique peut donc donner naissance à plusieurs roches mères pédologiques.

Exemple : un même granite donnera par altération :

- En conditions climatiques sèches et tempérées, un dépôt meuble sableux (arène granitique) où les processus physiques de désagrégation sont importants ;

- En conditions équatoriales, une argile latéritique où l'altération chimique est intense.

Roche mère pédologique

Elle dérive par altération de la roche mère géologique.

Les éléments minéraux qui composent le sol peuvent avoir deux origines. Ils proviennent soit des matériaux en place, par désagrégation et altération (dépôts autochtones) soit de matériaux étrangers amenés à cet endroit par divers phénomènes (dépôts allochtones).

En Wallonie, la majorité des sols sont des sols allochtones.

Dépôts autochtones

Il y a production d'éluvions si l'altération se produit sur place et sans transport.

Eluvions de désagrégation et d'altération

La partie la plus importante des constituants principaux de la roche mère géologique est maintenue avec ou sans propriétés nouvelles.

Ex : Argile qui provient de l'altération d'un schiste ;

Sable granitique issu de la désagrégation physique d'un granite.

Eluvions de dissolution

Les constituants principaux de la roche mère géologique sont éliminés par dissolution. Les éluvions se composent surtout des résidus non dissous.

Remarque : la roche mère pédologique peut être une formation pédologique « fossile » qui s'est développée sous un climat différent du nôtre actuel.

Dépôts allochtones ou de transport

Il s'agit généralement de colluvions qui se classent selon le mode de transport :

- Transport en masse : pesanteur seule (éboulements), pesanteur avec infiltration d'eau (glissement de terrain), ruissellement (avec classement des particules selon leur grosseur - les particules les plus fines comme l'argile migrent plus loin que les particules grossières comme le sable) ;
- Transport par cours d'eau permanent ou semi-permanent ; ce sont les alluvions, souvent de composition hétérogène ;
- Transport éolien comme les limons éoliens et les dunes ;
- Transport par glacier.

CHAPITRE I/ LES CONSTITUANTS DU SOL

1. le sol système à trois phases

Le sol est constitué de trois fractions :

- une fraction solide, composée de constituants minéraux (sables, argile,...) et de constituants organiques.
- une fraction liquide (encore appelée solution du sol), 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).
- une 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 I. Les constituants du sol

CONSTITUANTS SOLIDES		CONSTITUANTS LIQUIDES	CONSTITUANTS GAZEUX
Constituants minéraux	Constituants organiques	= Solution du sol	= air du sol
Terre fine du sol : Argiles, limons fins, limons grossiers, sable fins, sables grossiers	Matière organique fraîche : constituants des tissus végétaux cellulose, hémicellulose, tanins,.. déjections animales et animaux morts	Eau du sol et éléments solubles dissouts: Substances organiques (acides organiques, sucres,...) ions dans l'eau du sol : Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ ,...	Constituants de l'air : O ₂ , N ₂ , CO ₂ Gaz issus de l'activité des animaux du sol et des processus de décomposition CO ₂ , H ₂ CH ₄
Eléments grossiers : Graviers, Cailloux, Pierres, Blocs	Matières humiques : matières organiques transformées		

2. Les constituants minéraux du sol

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, en fonction de leurs diamètres.

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

Tableau II. Les fractions minéralogiques 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
Éléments grossiers	GRAVIERS	2 à 20 mm
	CAILLOUX	2 à 7,5 cm
	PIERRES	7,5 à 20 cm
	BLOCS	>20 cm

On peut déterminer la texture du sol à partir des trois fractions Argile, limon et sable et ceci par le moyen du triangle textural.

2.1. Les éléments grossiers

Les éléments grossiers forment le squelette du sol.

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

2.2. Les sables grossiers

- favorisent la pénétration de l'eau et de l'air : ils rendent le sol perméable.
- ils retiennent peu d'eau : le sol est 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.

2.3. 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.

2.4. Les fractions colloïdales minérales ou argile pédologique

Les éléments sableux sont enrobés pâte ou 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) et des colloïdes minéraux.

Classés d'après leurs propriétés minéralogiques, les constituants de l'argile pédologique se répartissent comme suit :

- argiles minéralogiques ;
- silice amorphe (colloïdale) et silice cristallisée;
- sesquioxydes cristallisés ou amorphes ;
- minéraux résiduels.

2.4.1. Propriétés physico-chimiques des argiles

- 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 (voir figure ci-dessous).

A ce moment, les argiles restent en suspension (appelée suspension colloïdale), à l'état dispersé (ou peptisé). Il n'y a pas de précipitation et les particules d'argiles sont animées d'un mouvement résultant de la répulsion électrostatique entre particules.

Par contre, si l'on introduit dans le liquide un acide, qui libère des ions H⁺, ou un sel de calcium (figure ci-dessous) 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.

2.4.2. Les minéraux argileux

Ce sont des phyllosilicates d'aluminium dont les feuillets sont constitués de couches d'octaèdres Al(OH)₆ et de couches de tétraèdres SiO₄ reliées par les atomes O et OH mis en commun.

La distance inter-réticulaire « d » sépare 2 feuillets successifs.

D'après la structure du feuillet, on distingue principalement:

Les argiles 1/1 (1 couche tétraédrique+1 couche octaédrique)

Les argiles 2/1 (2 couches tétraédrique pour 1 couche octaédrique).

2.4.3. Les types d'argile

a) la Kaolinite (1/1, d=7Å°) b) les Illites (2/1, d=10Å°) c) les Smectites (2/1, d= 14 Å°) d) la Glauconie e) les Chlorites (2/1, d= 14 Å°) f) la Vermiculite (2/1, d= 12 Å°) g) Les argiles fibreuses

3. Les constituants organiques du sol

1. Différentes catégories de substances organiques du sol

Il existe les catégories suivantes :

- a/ Organismes vivants constituant la biomasse : racines, faune du sol, micropopulation (bactéries, champignons, algues)
- b/ Organismes morts en voie de décomposition
- c/ Composés organiques des chaînes réactionnelles de la minéralisation
- d/ Substances humiques : dont les caractéristiques structurales les distinguent des substances précédentes.

2. Les substances organiques non humiques

Elles représentent 10 à 15 % de la fraction organique non vivante, leurs origines sont la destruction des organismes morts et la dégradation des substances humiques.

Les substances non humiques se classent dans les catégories suivantes :

- Glucides, - Protéines, acides aminés, - Lipides, - Lignine, - Acides organiques, - Tanins, - Résines, - Enzymes, - Vitamines, auxines, antibiotiques

3. Les substances humiques :

Les substances humiques ou encore l'humus sont le résultat de la décomposition des matières organiques. Les substances humiques proviennent de l'accumulation et de la réaction chimique naturelle des sous-produits résultant de la décomposition des matières organiques.

Il existe trois types de substances humiques dont l'acidité et la composition chimique diffèrent légèrement; il s'agit des acides humiques, des acides fulviques et des humines.

3.1. Les acides humiques : ils constituent une des fractions les plus importantes de l'[humus](#), Ils sont peu mobiles, mais sont capables de se lier avec [les argiles](#). Dans ce cas, on parle d'*acides humiques gris* ; le complexe formé avec l'argile ou [complexe argilo-humique](#) est très stable.

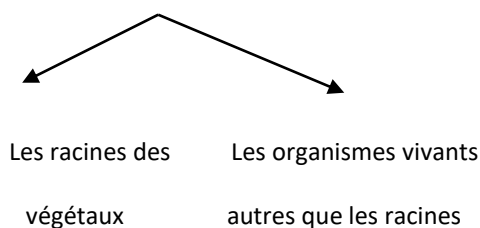
Il existe également des *acides humiques bruns* qui constituent des composés moins stables.

3.2. Les acides fulviques : sont très mobiles et très vite entraînés par les eaux d'infiltration en entraînant l'[argile](#) et du [fer](#) auxquels ils sont liés.

3.3. Les humines : ressemblent beaucoup aux acides humiques. Elles n'en diffèrent que par le fait qu'elles se trouvent en association très étroite avec les matériaux inorganiques.

4. Les organismes vivants du sol

La biomasse du sol comprend deux grands groupes d'organismes vivants :



4.1. Organismes vivants autres que les racines

La microflore du sol : Les procaryotes * Les bactéries *Les actinomycètes
 Les eucaryotes *Les champignons *Les algues

La faune du sol (pédofaune)

La microfaune du sol < 0,2 mm : *Les protozoaires *Les nématodes

La mésofaune 0,2 à 4 mm : * Les microarthropodes

La macrofaune > 4 mm : * Les annélides : exp Les lombricidés (vers de terre)

 *Les termites (fourmis blanche)

4.1.1. La microflore du sol

A. Les procaryotes

a/ Les bactéries :

Forment tant au plan quantitatif qu'au plan fonctionnel le groupe majeur des microorganismes du sol en particulier :

Les bactéries hétérotrophes : responsables de la dégradation des MO du sol, substances qui leur fournissent :

-De l'énergie par réaction d'oxydoréduction

-Des facteurs de croissance (acides aminés, éléments de synthèse des protéines)

Les bactéries autotrophes : utilisent les substances minérales oxydables tels que les composés azotés et soufrés réduits (bactéries nitrifiantes et sulfo-oxydantes), le fer ferreux (ferrobactéries), l'hydrogène gazeux (bactéries hydrogénéoxydantes).

b/ Les actinomycètes

Les actinomycètes sont des bactéries ramifiées, à allure de moisissures. Ces microorganismes ont généralement les exigences des bactéries aérobies (pH voisin de la neutralité, bonne oxygénation).

Les actinomycètes participent activement à l'humification en s'attaquant à la lignine. Mais surtout, ils sont capables de s'attaquer à l'humus pour qu'il libère à la fois l'azote qu'il contient, mais aussi les éléments échangeables qu'il avait fortement adsorbé.

Les actinomycètes ou plus exactement, divers produits de leur métabolisme, sont responsables des odeurs de la terre.

B. Les eucaryotes

a/ Les champignons (flore fongique) :

Très réponsus dans le sol, interviennent par leurs filaments mycéliens susceptibles de perforer les résidus organiques encore structurés (colonisation primaire), facilitant ainsi l'envahissement bactérien.

Leur rôle est important dans la dégradation de substances résistantes comme la lignine. Leurs sécrétions variées (acides organiques, polyphénols, acides aminés, antibiotiques.....) contribuent à l'établissement de l'équilibre biologique dans le sol.

Les champignons utilisant les sucres (résultant de l'hydrolyse de polysaccharides) : ce sont typiquement des phycomycètes. Etant donné la grande concurrence qui existe entre les microorganismes pour cette source de C facilement dégradable, ces champignons sont caractérisés par une croissance rapide.

Tous les champignons sont aérobies, mais de tolérance variée à l'anaérobie; par certaines portions filamenteuses de leur mycélium, ils peuvent explorer des zones où règne une certaine anaérobiose, à condition qu'une partie importante des filaments se développe en milieu bien aéré, et ce sont seulement ces parties bien aérées qui produisent des spores.

Les champignons tolèrent l'acidité du sol mieux que les bactéries et les actinomycètes. Leur prolifération particulière en milieu acide (sols forestiers acides) résulte sans doute de la moindre concurrence d'autres organismes pour les substrats carbonés présents.

Les champignons sont aussi en général plus résistants à la sécheresse que les autres groupes.

b/ Les algues

Les algues du sol appartiennent aux classes suivantes : (ancienne dénomination)

Les cyanophycées ou algues bleu – vert ;

Les chrysophycées ou algues jaune – vert ou ocre – brun ;

Les chlorophycées ou algues vertes.

Les algues autotrophes sont surtout présentes sur la surface du sol ou dans ses deux ou trois premiers centimètres. Il leur faut, en effet, pour la photosynthèse, recevoir un minimum d'éclairage.

Certaines algues hétérotrophes peuvent vivre plus profondément.

Beaucoup de ces algues sont entourées d'une couche mucilagineuse qui abrite de nombreuses bactéries.

4.1.2. La faune du sol (pédofaune)

A. La microfaune du sol < 0,2 mm

a/ Les protozoaires Les protozoaires, animaux unicellulaires, de taille microscopique se nourrissent de bactéries par phagocytose.

b/ Les nématode Les nématodes sont des petits vers non segmentés de quelques dixièmes de mm à quelques mm; ils peuvent être saprophages (vie de MO décomposée), phytophages ou prédateurs de protozoaires ou d'autres nématodes.

B. La mésofaune 0,2 à 4 mm

a/ Les microarthropodes

C. La macrofaune > 4 mm

a/ Les annélides : exp Les lombricidés (vers de terre) Les vers de terre activent les phénomènes de décomposition de la MO. Cette activation est à la fois mécanique et surtout chimique par l'activité bactérienne qu'elle favorise, d' autre part son tube digestif assure à des protozoaires ciliés un hébergement favorable. L'intestin des vers de terre constitue une niche écologique pour plusieurs espèces différentes de Ciliés. La terre

et les débris végétaux sont intimement mélangés dans le gésier des vers de terre, la terre rejetée en " bouquets " est un terreau brun foncé. Les vers incorporent ainsi au sol la surface morte de la litière.

Les arthropodes

b/ Les termites (fourmis blanche) Ils exercent sur le sol un effet considérable:

- Dans la construction des termitières qui peuvent représenter des volumes considérables à l'hectare
- Par le transport sélectif des matériaux fins du sol pour la construction des termitières.

On constate que la répartition granulométrique du matériel d'une termitière est différente de celle du sol (les diamètres sont plus fins et la dispersion de la granulométrie est moindre).

4.1.3. Action de la pédofaune La faune du sol exerce tout d'abord une action purement physique :

* broyage, malaxage, répartition des débris végétaux à travers le volume du sol;

* établissement d'une macroporosité : les galeries constituent un réseau macro - poreux très important pour l'aération du sol, pour un ressuyage rapide, pour l'enracinement.

D'un point de vue chimique, les déjections des vers de terre sont enrichies, outre en CaCO_3 , en K et Mg échangeables, en P assimilable

D'un point de vue biologique, la pédofaune exerce une action stimulante sur la flore microbienne du sol. **Les racines**

Jouent un rôle capital dans le développement des végétaux, les racines ont également une action sur le sol proprement dit :

Au plan biologique, les racines vivantes modifient à leur niveau la répartition et la nature des microorganismes du sol (disponibilité en eau, modifie la composition chimique de la rhizosphère).

Au plan physique, la prospection du sol par les racines s'accompagne d'une amélioration des qualités structurales, facilitant la circulation des gaz et la perméabilité à l'eau.

Chapitre II. L'organisation morphologique des sols

1. Les organisations élémentaires L'assemblage des constituants élémentaires du sol donne ce qu'on appelle des organisations élémentaires.

Ce sont des volumes pédologiques qui rassemblent les constituants ; ces organisations sont partiellement visibles à l'œil nu, partiellement à l'aide de microscopes. A l'œil nu, les principales organisations élémentaires que l'on peut reconnaître et décrire dans les fosses d'observation (profils) sont : agrégats, vides, concentrations de constituants (revêtements, nodules ...), couleurs, traces d'activité biologique.

2. Profil et horizons Les processus d'altération, d'humidification et de différenciation aboutissent à l'apparition de couches superposées, plus ou moins distinctes, et différent l'une de l'autre par un ou plusieurs caractères: appauvrissement ou enrichissement en certaines substances, texture, structure, etc... Ces diverses couches sont les HORIZONS, dont l'ensemble constitue le PROFIL DU SOL.

On peut les définir ainsi:

- **Le profil pédologique :** est constitué par une succession de couches appelées horizons résultant de transformations, de migrations ou de déplacements, généralement verticaux, de certains éléments constitutifs du sol. Ces différentes couches plus ou moins nombreuses, individualisées sur une profondeur d'environ 1,25 m, sont le reflet de l'évolution du sol, de sa formation.

Chacun des horizons est désigné par un code conventionnel composé de lettre(s) et parfois de chiffres

Le nombre d'horizons, leur épaisseur, leur couleur et leur composition varient selon la nature des roches qui composent le sol.

Ce nombre varie également selon les conditions climatiques, les végétaux et les autres organismes vivants présents, l'âge et le relief du sol.

En étudiant le profil d'un sol, on peut retracer les événements qui ont menés à sa formation.

Dans un sol mature, on distingue quatre principaux horizons. Par convention, on désigne ces horizons par les lettres O, A, B et C, de la surface jusqu'à la roche-mère.

- **Horizon O :** Il s'agit de la couche superficielle comprenant des débris végétaux et de l'humus, ce que l'on nomme « litière ». L'humus est riche en éléments nutritifs puisque les décomposeurs dégradent les débris. Ces éléments nutritifs sont entraînés vers les horizons inférieurs par les eaux de pluie.
- **Horizon A :** Il s'agit d'une couche composée d'un mélange d'humus et de particules de roches. On qualifie ce mélange de « terre arable ». Sa couleur est généralement foncée. Comme elle est riche en matière organique, cette couche est très importante pour la croissance des végétaux. Son aération est assurée par des animaux fousseurs. Elle est fortement soumise à l'érosion.

Horizon B : Cette couche est très pauvre en humus, mais très riche en éléments minéraux tels que les oxydes de fer et les silicates. Il est souvent de couleur plus pâle que l'horizon A ou encore de teinte rougeâtre. Les débris provenant des horizons supérieurs s'y accumulent.

Horizon C : On note l'absence de matière organique dans cette couche uniquement composée de roche-mère altérée et fragmentée par des facteurs physiques et chimiques. Il peut être sableux, argileux ou dur.

3. La Couverture pédologique Le terme couverture pédologique est utilisé en pédologie pour désigner le sol ou les sols qui recouvrent plus ou moins en continu l'espace terrestre.

Située entre l'écorce terrestre (partie supérieure de la lithosphère) et l'atmosphère, la couverture pédologique est en évolution constante.

Les sols qui la composent sont des volumes pédologiques hétérogènes, tridimensionnels, qui se transforment constamment, différemment, plus ou moins rapidement avec le temps, d'un lieu géographique à l'autre, à l'amont et à l'aval d'une pente, sous une forêt, en plaine, selon la roche mère du sous-sol (schistes, calcaires, granites, ...), selon le climat, ou en fonction de son utilisation par l'homme...

Continue, réduite, discontinue, la couverture pédologique peut s'épaissir, être submergée, recouverte de végétation, s'éroder et même parfois être absente comme dans les déserts.

4. L'atmosphère du sol Ce sont les gaz libres ou dissous dans le sol.

- Dans le sol, l'air occupe les pores qui ne sont pas occupés par l'eau lors de son retrait d'abord des plus grossiers ensuite des plus fins. Sa quantité dépend de la texture, la structure et la teneur en eau. Mais il est aussi en échange avec l'atmosphère extérieure.

La composition de l'air dans le sol présente des fluctuations saisonnières liées à l'activité biologique : la respiration des racines, de la microflore aérobie et de la faune qui consomme l'O₂ et rejette CO₂. La fixation d'azote, la nitrification et dénitrification bactériennes modifient les concentrations en N.

La production moyenne de CO₂ dans le sol est estimée à 15 t /ha/an, sa source principale est l'activité microbienne. Si la structure est aérée, cette production ne s'accumule pas car l'air se renouvelle par diffusion avec l'extérieur.

5. La couleur La couleur est indicatrice des modalités d'évolution et essentiellement fonction de l'humus et du fer. La couleur est clairement identifiée à l'aide d'une charte des couleurs ([Munsell Soil Color Chart](#))

Teinte (hue) : proportion de rouge (R) et de jaune (Y)

Intensité de la teinte (value) : variations de gris

Pureté de la teinte (chroma)

Chapitre III. Propriétés chimiques et biologiques du sol

III.1. Les échanges ioniques dans le 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, 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. Cette définition est illustrée dans le schéma ci-dessous (figure 1).

I. La sorption et l'échange des cations :

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

2. Principaux facteurs réglant l'intensité des phénomènes de sorption et d'échange des cations :

a) la nature des colloïdes : Le tableau suivant donne la capacité de sorption des principaux colloïdes négatifs à pH 7 :

Kaolinite	3 à 15 meq / 100 g
Halloysite	5 à 50 meq / 100 g

Montmorillonite	80 à 150 meq / 100 g
Illite	10 à 40 meq / 100 g
Chlorite	10 à 40 meq / 100 g
Vermiculite	100 à 150 meq / 100 g
Matière organique	100 à 450 meq / 100 g

Mais, 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. Inversement, 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^{+++}

L'intensité avec laquelle ces ions sont retenus est en général la suivante :

- ANIONS: $SO_4 > F > NO_3 > Cl > Br > \dots$
- CATIONS : $Li < Na < Mg < Ca < Ba < Al < H$

Un cation est donc déplaçable par tous ceux qui sont situés à sa droite. Mais cet ordre de préférence (*cations à égales concentrations dans la solution du sol*) est différent pour chaque type d'argile et pour l'humus.

Par exemple :

- Kaolinite $Na < H < K < Mg < Ca < Ba$
- Montmorillonite $Na < K < H < Mg < Ca < Ba$
- Mica $Na < Mg < Ca < K < H < Ba$
- Acides humiques $Na < K < Mg < Ca < Ba$

Cet ordre préférentiel de fixation, d'une grande importance pédologique, peut s'expliquer ainsi :

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

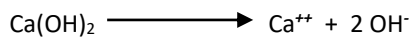
- Les ions bivalents Ca^{++} et Mg^{++} sont plus énergiquement retenus que les ions monovalents K^+ , Na^+ ,...
- Les ions faiblement hydratés (Mg^{++} et surtout Ca^{++}), c'est à dire entourés d'une faible couche d'eau sont mieux fixés que les ions fortement hydratés (K^+ et Na^+)

- pour chaque ion, il existe un équilibre entre la quantité de cet ion fixée sur le complexe adsorbant et la concentration de cet ion dans la solution du sol.

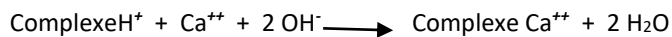
3. Le mécanisme de l'échange des cations :

a) Deux exemples d'échange de cations :

- **Le remplacement des ions H^+ par des cations Ca^{++}** : Lorsque l'on introduit de la chaux dans un sol, ses molécules se dissocient :



La concentration d'ions Ca^{++} augmente dans la solution du sol et cette concentration se communique au complexe, par exemple un complexe argilo-humique abondamment garni d'ions H^+ : un cation Ca^{++} prend la place de deux ions H^+ , qui se combinent aux anions OH^- apportés par la chaux pour former de l'eau :



- **L'échange de cations Ca^{++} contre des cations K^+** : Si dans ce sol enrichi en calcium par le chaulage, on introduit du chlorure de potassium (KCl, engrais potassique), ce sel se dissout, puis se dissocie en anions Cl^- et cations K^+ . Ces derniers, augmentant la concentration en ions K^+ de la solution, provoquent un échange avec le complexe : ils prennent sur celui-ci la place d'ions Ca^{++} , à raison de 2 K^+ pour 1 Ca^{++} .

Ces cations Ca^{++} remis en solution forment, avec les anions Cl^- du CaCl_2 , sel soluble qui peut être lessivé : cet apport d'engrais potassique a provoqué une décalcification du sol :

III.2. Les propriétés biologiques

1. Composition de l'humus L'analyse de la composition des substances organiques constituant l'humus, consiste à réaliser un fractionnement chimique par solubilisation différentielle dans des réactifs divers (figure).

Tous ces constituants humiques se distinguent par leur degré de polymérisation, c'est à dire la **grosseur de leur molécule**. Celle-ci augmente depuis les acides créniques vers les humines (figure 6).

Les éléments de base servant à la synthèse de l'humus sont des molécules assez semblables à noyau aromatique (phénolique ou quinonique).

Par différence de densité, d'abord dans l'eau, puis dans un mélange alcool + bromoforme (densité 1,8), on sépare la matière organique fraîche de la matière humique.

Par une série de solvants, on isole ensuite les différentes fractions de l'humus :

- les acides créniques : solubles dans l'eau ;
- les acides humatomes : solubles dans l'alcool ;
- les acides fulviques : solubles dans le pyrophosphate de Na ainsi que dans les acides HCl ou H_2SO_4 .
- les acides humiques : solubles dans le pyrophosphate de Na mais insolubles dans les acides HCl ou H_2SO_4 .

- **l'humine : insoluble dans tous les solvants.**

B) Evolution générale des matières organiques dans le sol : de la M.O.F. aux substances humiques

Dès leur arrivée au sol, les MOF sont attaquées par des animaux (vers, insectes, protozoaires,...) et par la microflore qui leur font parcourir toute une série de décompositions et transformations successives (figure)

La plus grande partie de la M.O.F. se décompose et se minéralise rapidement : c'est la **minéralisation primaire** qui donne des molécules simples : CO₂, eau, nitrates, phosphates, sulfates, etc.

Ces molécules simples peuvent ensuite prendre cinq destinations :

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

Les constituants végétaux ne subissant pas la minéralisation primaire peuvent donner :

- des composés phénoliques solubles ;
- des résidus peu transformés (cas des constituants riches en lignine).

Ensuite, on arrive à **l'étape de l'humification c'est-à-dire de l'élaboration des** différentes matières humiques. Les matières premières de la synthèse de l'humus sont :

- des résidus de lignine plus ou moins transformée par oxydation ;
- des composés phénoliques solubles, issus de la décomposition de la lignine, de la cellulose et des sucres solubles ;
- des matières azotées (protéines, acides aminés, ammoniac) ;
- des éléments minéraux qui se lient aux molécules des constituants humiques.

Parmi les composés humiques formés lors de l'humification, on distingue plusieurs types d'humines :

- **L'humine d'insolubilisation** : elle se forme à partir de molécules semblables qui s'associent les une aux autres. Les composés phénoliques solubles ont la propriété :

- de se souder les uns aux autres pour constituer un noyau de plus en plus gros ;
- de fixer à la périphérie de ce noyau des chaînes carbonées allongées dites « chaînes aliphatiques ».

Ainsi on peut représenter sous forme d'une pyramide les composés humiques qui se forment des plus solubles, simples et à faible poids moléculaire (les acides créniques) au plus insolubles, complexes et à poids moléculaire élevé (humine).

- L'humine qui se forme par polymérisation ou polycondensation est appelée humine d'insolubilisation.
- **L'humine par héritage** : l'humification par héritage consiste en une conservation intacte de molécules complexes de lignine peu ou pas transformées. Ces résidus donnent alors l'humine résiduelle ou héritée.

- **L'humine microbienne** : l'humification par néosynthèse microbienne, par laquelle certains microbes ont la faculté de synthétiser, à partir de molécules très simples libérées par la décomposition et la minéralisation des M.O.F. , donne des substances complexes appelées « humines microbiennes ».

c) Propriétés générales des différents composés humiques :

1. Les acides humiques : Ce sont de gros édifices moléculaires constitués par un noyau grossièrement sphérique composé de cycles phénols et quinones entourés de chaînes périphériques aliphatiques.

Les acides humiques bruns sont peu colorés, à molécule de taille moyenne et peu condensés.

- **Les acides humiques gris** sont très foncés, à grosse molécule, très condensés et forment avec l'argile un complexe argilo-humique très stable. Ils flocculent aisément par le calcium à faible concentration.

2. Les acides fulviques Sous ce terme, on range conventionnellement toute une catégorie de substances solubles ou peptisables dans l'eau ou dans les réactifs utilisés pour le fractionnement de l'humus et non flocculables par l'ion H⁺.

3. Les humines Sous ce terme, se rangent un groupe complexe de substances humiques fortement évoluées qui résistent aux réactifs de solubilisation ou de peptisation de l'humus.

Chapitre IV. Classification des sols

I. La classification française CPCS (1967)

1. Principe

La classification française est hiérarchique et génétique.

Hiérarchique: elle est divisée en unités majeures (classe, sous classe, groupe et sous groupe) et en unités mineurs (famille, série, type et phase).

Génétique: elle est basée sur la genèse et en particulier sur le facteur climat.

Il existe 12 classes: **Sols minéraux bruts, Sols peu évolués, Vertisols, Andosols, Sols calcimagnésiques, Sols isohumiques, Sols brunifiés, Sols podzolisés, Sols à sesquioxydes de fer ou de manganèse, Sols ferrallitiques, Sol hydromorphes, Sols sodiques**

II. La classification américaine soil taxonomy (USDA)

La classification américaine (soil taxonomy) est très hiérarchisée, dès les niveaux supérieurs.

Les résultats d'analyses physico-chimiques (teneur en matière organique, taux de saturation, texture....) permettant de rattacher les horizons réels, décrits sur le terrain et au laboratoire, à des horizons diagnostiques, définis par un ensemble de caractères.

Les horizons diagnostiques différencient des ordres, des sous ordres ou des types, sur la base d'une nomenclature très logique de préfixes et de suffixes grecs ou latin rappelant les propriétés essentielles.

Dans la soil taxonomy, huit horizons diagnostiques concernant la surface du sol (l'épipédon) sont précisément définis (USDA, 1999); il s'agit des horizons :

Anthropic : avec des traces évidentes de modification par l'homme,

Folistic: milieu aéré, plus de 8% de carbone organique, plus de 15 cm d'épaisseur,

Histic: matériel tourbeux de plus de 20 cm d'épaisseur,

Melanic: noir, plus de 6% de carbone organique, propriétés andiques,

Mollic: humifère, rapport S/T > 50%,

Ochric: pauvre en C organique et en CaCO₃, légèrement coloré,

Plaggen: plus de 50 cm d'épaisseur matériau fabriqué par l'homme,

Umbric: humifère, rapport S/T < 50%, acide.

A ces huit horizons diagnostiques de surface s'ajoute 19 horizons de subsurface parmi lesquels les horizons albic (éluvial), argillic (illuviation d'argile), cambic (d'altération de la structure), natric (à structure prismatique en conditions de forte salinité), spodic (accumulation de chélates).....etc

Les horizons diagnostiques permettent de rattacher le solum à un des douzes ordres suivants:

ALFIDOLS (sols lessivé)

ANDISOLS (sols sur roche volcanique)

ARIDISOLS (sols à accumulation de calcaire, de gypse ou d'autres sels)

ENTISOLS (sols minéraux très peu évolués)

GELISOLS (sols à permafrost)

HISTOSOLS (sols tourbeux ou très organiques)

INSEPTISOLS (sols peu évolué)

MOLLISOLS (sols moyens à humus doux, sur calcaire ou non)

OXISOLS (sols ferralitique)

SPODOSOLS (sols à podzolisation)

ULTISOLS (sols très altérés des régions intotropicales)

VERTISOLS (sols à propriétés vertiques)