

Cours Ecopédologie

Aperçu Historique :

C'est sans doute avec l'apparition des agricultures il y a environ 10000 ans que l'homme a eu les premiers contacts avec le sol mais il faut attendre longtemps avant que les débuts d'une utilisation réfléchie des sols soit perceptible. D'après les chercheurs archéologues les premières terrasses furent construites au Moyen Orient et en Chine il y a environ 3000 ans et les premiers travaux de drainage semblent avoir été entrepris en Amérique centrale voici 2000 ans. L'utilisation des engrais de ferme enregistré également de cette époque. Des références à différents types de sol sont faites dans les anciennes civilisations. Ainsi d'après le sinologue Needham les anciennes agricultures Chinoises auraient utilisé plus de 50 appellations pour désigner différents sols.

En réalité on peut distinguer quatre périodes principales correspondant chacune à des acquis importants et des tendances marquées dans la manière de concevoir les sols

La période avant 1870 : c'est une période essentiellement marquée par des préoccupations relatives à la nutrition minérale des végétaux et ses applications à l'agriculture. On acquiert les premières connaissances et les premières idées basées sur le sol considéré comme une source d'éléments nutritifs pour les plantes. À travers les observations de Bernard Palissy (1499-1589) dans son livre intitulé « Traité des sols divers et de l'agriculture », il montre que le sol est la source d'éléments minéraux pour les plantes.

Le dernier siècle de cette période constitue vraiment le départ de la science de sol, où on constate plusieurs ouvrages sont publiés sur la nutrition des plantes et le rôle des substances fertilisantes tel que l'ouvrage de H L Duhamel du Monceau « Trois éléments d'agriculture » publié en 1762. Cette période est celle de la mise en place des premières expérimentations agronomiques. D'après J Boulaire, A.L de la voisie celui qui a fait les premières observations quantitatives sur les cultures.

La période 1870-1900: pendant cette période une autre vision de la connaissance des sols s'est développée en Russie. V. Dokoutchaev a été le premier à reconnaître que les sols sont des produits de processus gouvernés par plusieurs facteurs environnementaux et non pas seulement par la roche parentale. Trois ans plus tard en

Cours Ecopédologie

1886 il présenta la première classification des sols, il développa avec ses élèves la conception des sols considérés comme des corps naturels indépendants avec une organisation morphologique définis par un profil et constituant d'une nouvelle science « La pédologie ». Selon H.C. Moss les principales contributions des chercheurs Russes ont les suivant :

- Ils ont défini les facteurs de formations des sols, climat, végétations, roche parentale, le relief et le temps
- Ils montrèrent que pour les grandes régions et sur des périodes suffisamment longues le facteur climatique est le plus important
- Ils formulèrent le concept de distribution géographique des principaux sols du monde correspondant à de grands ensemble climat/végétation : Toundra, Forêt tempérée, Désert et Forêt tropicale.
- Ils insistèrent sur le fait que le sol doit être envisagé depuis la surface jusqu'à la roche non altéré et décrit sur la base d'horizons différencier.
- Ils développèrent un système de description de la morphologie des profils pédologiques qui appliquèrent à la description des sols sur terrain.

Deux institutions importantes pour le développement de la science de sol furent créées durant cette période. Wye college en Angleterre en 1894 et 1897 le Bureau des sols de Département de l'agriculture aux Etats Unis qui est à l'origine de l'U S Soil Survey.

La période 1900-1940/50: c'est une période où se développent beaucoup de connaissance en raison des progrès théoriques, méthodologiques et techniques de la chimie, de la physique et de la biologie. Certaines des connaissances acquises constituent toujours, aujourd'hui, les bases de la description des sols et de leur genèse et leur fonctionnement. Parmi les chercheurs qui ont participé au développement de science des sols pendant cette période il y a deux personnages américains, le premier est E.W.Hilgard qui a publié des travaux sur les sols alcalins et sur les relations entre les sols et le climat. Le deuxième est Curtis F. Marbut qui a développé les idées de Dokoutchaev.

Durant la dernière partie de cette période la cartographie, la géologie et la chimie de sol sont appliquées à l'utilisation des sols et en même temps le début de la cartographie des sols sous la direction du chercheur Russe Galinka.

Cours Ecopédologie

En biologie l'étude de sol commence à être prise en considération à la suite des découvertes de la fin de 19^{iem} siècle et les travaux de Pasteur (le commencement de réalisation des inventaires de la microflore du sol et études ses relation avec les constituant organiqueetc.).

Depuis 1950 : c'est la période où commencer la technologie de sol, on étudie les constituants des sols, les échantillons de matériaux terreux sont souvent confondus avec les sols d'où ils sont issus et beaucoup de travaux sont effectués au laboratoire sur des matériaux en suspension ou conditionnés dans des colonnes. A la fin de cette période les chercheurs débutent d'utiliser les méthodes de télédétection et le traitement informatique des données de toute nature permettent de perfectionner l'analyse spatiale et temporelle des sols, de leur évolution et de leur fonctionnement.

Définitions :

Le sol : le mot sol vient de latin « Solum » qui veut dire sol au sens du support, base, surface. En Hébreu le mot sol se dit « Adamah » or la est l'origine d'un autre mot « Adam » le premier homme.

La définition de sol d'après le pédologue français Duchaufour « *C'est un complexe dynamique caractérisé par une atmosphère interne, une économie de l'eau particulière, une flore et une faune déterminée et des éléments minéraux. Mais le sol c'est aussi un milieu dynamique car ses propriétés s'acquièrent progressivement sous*

La définition de sol par Demolon « *le sol est la formation naturelle du surface a structure meuble et d'épaisseur variable résultent de la transformation de la roche mère sous l'influence des processus physiques, chimiques et biologiques* »

La pédologie : c'est la science qu'intéresse d'étudier les caractéristiques chimiques, physiques et biologiques de sol aussi de ses constituants, son évolution et son distribution géographique, comme elle intéresse à la fertilité de sol et leur conservation et leur mise en valeur.

La pédologie est appliquée dans différentes domaines tels que l'agriculture, géotechnique, hydrologieetc.

La pédogénèse : c'est l'ensemble des phénomènes des processus qu'ont pour résultat la formation de sol à partir de matière initiale (Roche mère) et la présence des matières organiques, aussi ses phénomènes en conséquence la différenciation des horizons.

Cours Ecopédologie

La pédogénèse est la formation des sols à partir d'une roche mère sous l'action des agents climatiques, des organismes vivants et l'homme.

Le système sol : on peut considérer le sol comme un système composé de quatre compartiments les trois phases solide, liquide et gazeuse et les organismes vivants. Ses compartiments sont en interaction permanente par des échanges de matière et d'énergie dus à plusieurs processus physiques et chimiques et biologiques et rendent compte de l'ensemble des processus de la pédogénèse et des fonctions de sol. Cette approche systématique du sol est fondamentale pour sa description et la compréhension de son fonctionnement. Le système sol est schématiquement représenté dans la figure 1.a

De point de vue de l'écologie générale des milieux naturels cependant, ce système ne peut pas être envisagé isolément. En effet il est le même un compartiment d'un autre système beaucoup plus vaste, la biosphère continentale. Figure 1.b

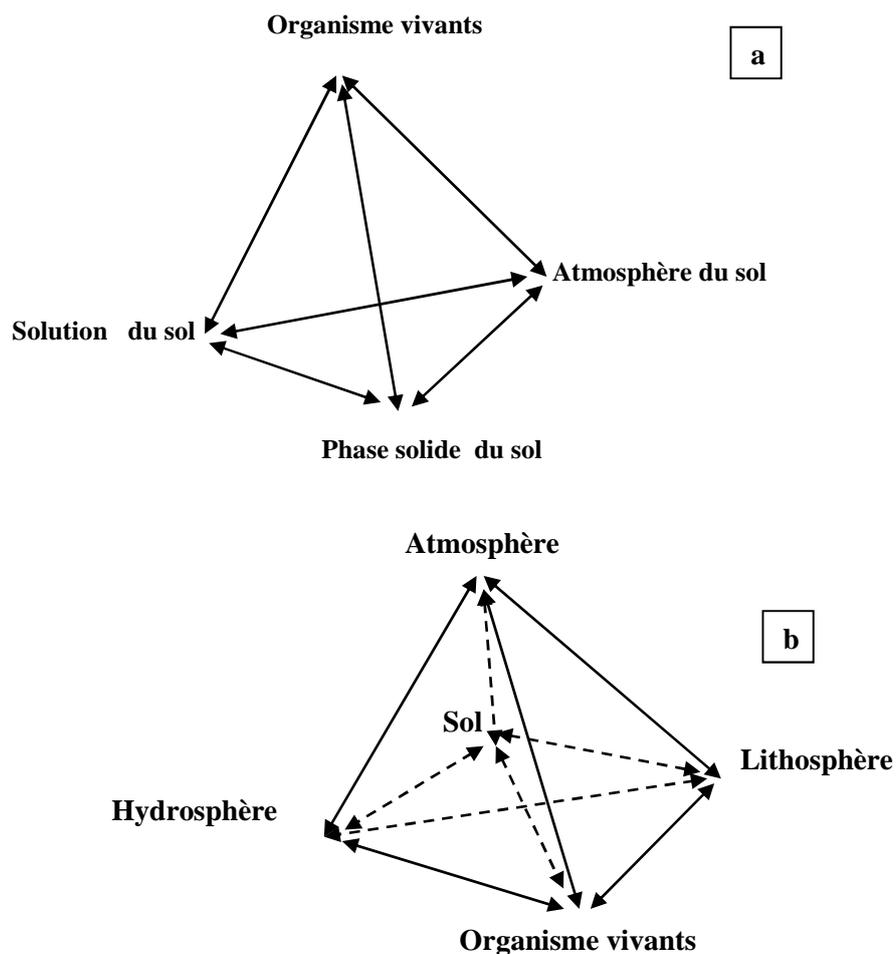


Figure01 : Le système sol

Cours Ecopédologie

Les doubles flèches indiquent l'existence de transferts de matière entre les compartiments par exemple pour le système sol :

- Transfert d'ions de la phase liquide vers la phase solide = l'absorption
- Transfert d'ions de la phase solide vers la phase liquide = désorption
- Transfert O₂ de l'atmosphère vers l'organisme vivants = respiration
- Transfert d'oxyde d'azote des organismes vivant vert l'atmosphère = dénitrification
- Transfert de solutés de l'eau souterraines vers les sols = salinisation

Eco pédologie : Ecopédologie = Ecologie des sols, c'est la science qui étudier le sol en tant que composant de l'environnement des plants, des animaux et de l'homme. Les études du sol qui constituant le domaine de la pédologie générale permettent de :

- Inventorie les propriétés et les comportements du sol « description des sols ».
- Connaitre l'origine et le développement du sol « genèse des sols ».
- Classer les sols selon les critères pédogénétiques et fonctionnels « systématique des sols ».

Cours Ecopédologie

Les éléments constitutifs du sol

1-les constituants minéraux :

Les constituants minéraux du sol sont primaire hérité directement de la roche mère (par exemple l'épidote, la tourmaline) ou secondaire issu de la transformation chimique des précédents et réunis dans le complexe d'altération. Celui-ci comporte des sels (tel que carbonates de calcium ou de magnésium) ou des silicates (exemple les micas et les argiles).

1-1.Le calcaire :

Il se trouve dans le sol à une double origine, il provenir de la roche mère ou les eaux souterraines. Il joue deux rôles dans le sol :

- Un rôle physicochimique, il intervient comme un ciment dans le sol.
- Un rôle physiologique, il intervient dans la nutrition des plantes.

Mise en évidence du calcaire dans le sol : il se déterminé au niveau de sol par deux méthodes :

Sur terrain : en réagir un acide fort (HCl) avec un échantillon du sol, plus l'effervescence est fort plus le sol est riche en calcaire.

Au laboratoire : cette méthode nous a permet de mesurer la quantité de Co₂ dégagé suite à la réaction des carbonates avec un acide de Hcl de normalité 0.1 la réaction suivante :



Le taux de CO₂ est estimé par le calcimètre de Bernard plus le taux de CO₂ est élevé plus le sol est riche en calcaire.

Les formes du calcaire dans le sol : On distingue quatre formes du calcaire dans le sol

1. La forme diffusée : répartition hétérogène des particules au niveau d'un horizon ou dans tout le profil.
2. La forme pseudomycelium : c'est un dépôt et film des particules du calcaire au tour des agrégats ou de long de vide.

Cours Ecopédologie

3. La forme nodule : des pierres de calcaire peuvent atteindre un diamètre de vingt centimètres, il existe deux types de la forme nodule:

- Nodule cohérent (dure).
- Nodule friable c'est la forme qui peut se réduire facilement en poudre, c'est la forme la plus dangereuse pour la végétation car les particules de calcaire qui se trouvent dans le sol peuvent entraîner un phénomène de toxicité.

4. La forme crouté : c'est une dalle qui peut dépasser un mètre qui occupe un horizon ou tout le profil du sol.

Répartition du calcaire dans différentes régions :

Au niveau des zones méditerranéenne, aride et semi-aride l'accumulation de calcaire se fait généralement par la forme nodule et crouté car l'infiltration de l'humidité est faible et en plus le phénomène d'évaporation intervient la remonte et l'accumulation des particules de calcaire dans le profil du sol.

Les zones tempérées qui sont caractérisées par une forte pluviométrie, l'accumulation de calcaire se fait au-delà d'un mètre de profondeur sous la forme diffusée et pseudomycélium.

Selon la teneur en calcaire, il y a cinq (05) classes de sols calcaires:

- Sols très faiblement calcaires avec un taux de $\text{CaCO}_3 < 2\%$.
- Sols faiblement calcaires avec un taux de CaCO_3 de 2 à 10%.
- Sols moyennement calcaires avec un taux de CaCO_3 de 10 à 25%.
- Sols fortement calcaires avec un taux de CaCO_3 de 25 à 50%.
- Sols très fortement calcaires avec un taux de $\text{CaCO}_3 > 50\%$.

Le calcaire actif :

Il concerne les particules fines qui se trouvent dans la solution du sol, il peut être déterminé par la méthode de Drouineau.

Détermination du calcaire actif : faire réagir l'Oxalate d'ammonium $[(\text{NH}_4)_2 \text{C}_2 \text{O}_4]$ avec les particules de calcaire pour obtenir l'Oxalate de calcaire ($\text{CaC}_2 \text{O}_3$).

L'échantillon du sol plus l'Oxalate d'ammonium (en grande quantité) après la réaction on observe qu'une quantité d'Oxalate d'ammonium réagit avec le calcaire et nous donne CaC_2O_3 et une partie ou quantité d'Oxalate d'ammonium reste ne réagit pas.

Cours Ecopédologie

Pour déterminer la quantité d'Oxalate d'ammonium qui n'a pas réagi avec les particules du calcaire on fait la neutralisation avec les permanganates de potassium (KM_nO_4).

- X_1 quantité de KM_nO_4 neutralise Y quantité de $[(\text{NH}_4)_2 \text{C}_2 \text{O}_4]$.
- X_2 quantité de KM_nO_4 qui n'a pas réagi avec le calcaire.

Remarque : plus la quantité de permanganates de potassium KM_nO_4 utilisé est importante, plus la quantité d'Oxalate d'ammonium $[(\text{NH}_4)_2 \text{C}_2 \text{O}_4]$ en excès est importante, c'est à dire que le sol est pauvre en calcaire.

1-2. les Sesquioxydes :

Ce sont des composées minérales de formule générale $\text{M}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ le M c'est un métal qui peut être soit le Fer (Fe) ou Aluminium (Al) ou soit le manganèse Mn.

1-2-1.les Sesquioxydes composés par le Fer :

Le Fer a un double rôle au niveau du sol, il intervienne dans la pédogénèse et dans la nutrition des plantes. Leur origine c'est la roche mère et particulièrement la roche Basique. Il se trouve dans le sol soit sous forme ionique ou sous forme d'oxyde (oxyde de fer(II) FeO également appelé oxyde ferreux ou oxyde de fer(III) Fe_2O_3 appelé oxyde ferrique).

En hiver le Fer se trouve sous forme réduite Fe^{+2} et donne au sol un couleur bleu par contre en été le Fer se trouve sous forme oxydé Fe^{+3} et donné au sol un couleur rouge. Parmi les composés de Fer qui ont peut observer dans le sol il y'a Himatite Fe_2O_3 et Magnétite Fe_3O_4 .

1-2-2.les Sesquioxydes composés par l'Aluminium :

On rencontre plus particulièrement dans les tropicales, leur origine est la roche mère. Il se trouve dans le sol soit sous forme ionique Al^{+3} ou sous forme oxyde d'aluminium Al_2O_3 ou hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$, généralement l'aluminium entre dans la composition des argiles et leur présence dans la solution du sol avec une grande quantité est nuisible pour la nutrition des végétaux car cette ions a une valence de trois, il bloque l'absorption.

1-3. le gypse :

C'est un sel soluble (Sulfate de calcium hydraté), il peut se déshydrater pour donner d'autres sels. Leur formule générale $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ il est très fréquent dans les zones arides et semi-arides. Il est répandu dans les régions à régime hydrique xeric, ustic et aridic : Tunisie, Syrie, Irak, sud de l'URSS et de l'Espagne, Mexique, Algérie, etc

L'origine du gypse en qualité importante dans le sol est en relation avec la présence de roches sédimentaires gypseuses, la topographie et l'aridité du milieu. Dans le sol, le gypse peut se présenter sous différentes formes (les formes discontinues et continues) en fonction des conditions dans les quelles il précipite.

Selon le degré de précipitation du gypse au niveau du profil, on distingue :

- Des accumulations généralisées qui englobent les croûtes et les encroûtements.
- Des accumulations localisées qui regroupent les nodules, les amas friables, les racines gypsifères, les pseudomyceliums, et le gypse diffus.

D'une manière générale la présence de gypse en grande quantité, dans le sol affecte les qualités physico- chimiques de ce dernier, baisse la fertilité et par conséquence la biomasse et la production végétale.

1-4. les argiles :

Les argiles peuvent être définies de deux manières, toutes les particules ayant un diamètre moins de deux micromètre ou des phyllo silicates, ces composés se repartent sous forme des feuilles plus ou moins parallèles composer de Silice SiO_2 et d'Alumine Al_2O_3 et eau.

La formule générale de l'argile $n\text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ il existe différentes types d'argile qui se différencie en fonction de nombre des couches de Silice et d'Alumine et aussi en fonction de l'espace existant entre les feuilles.

1-4-1.les méthodes d'étude des argiles : Il y'a deux méthodes

- a) La méthode chimique : elle basé sur détermination de capacité d'échange des cations CEC ou la capacité de fixation des cations. C'est l'une des méthodes utilisé pour l'identification des argiles.

La CEC est défini comme la quantité totale des cations qui peuvent se fixé dans l'espace interfeuille d'argile, il peut être défini également le nombre des sites négative existent dans l'espace interfeuille, elle exprimé par meq/100g d'argile et elle varie d'un type a l'autre par exemple :

- La Montmorillonite leur CEC = 150 meq/100g d'argile.
- La Kaolinite leur CEC = 5 meq/100g d'argile.

- b) La méthode physique : dans cette méthode on utilise le microscope électronique ou il utilise les rayons X pour déterminer les types d'argile.

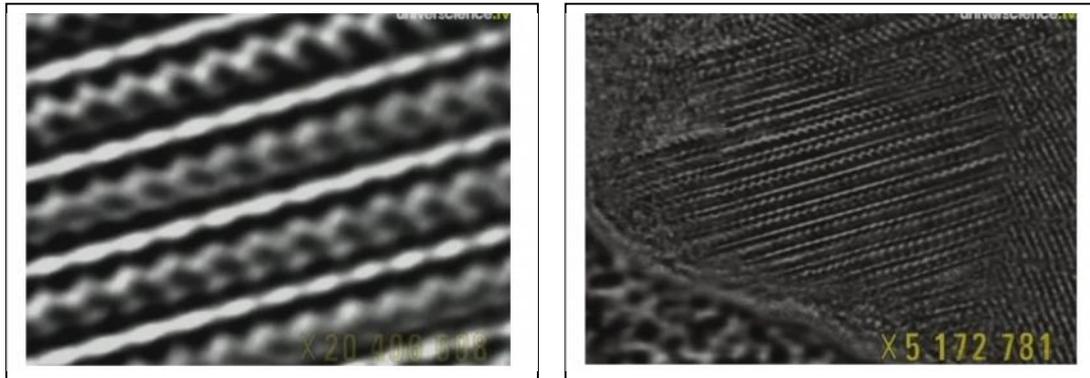


Figure 02: photos d'argile sous un microscope électronique

Sous le microscope électronique on observe l'argile sous forme des hexagones empilées, ce pendant La Montmorillonite possède des hexagones plus petites que la Kaolinite.

1-4-2.les éléments structuraux des argiles :

Les argiles sont des empilements des couches Tétra edrique de Silice et des couches Octa edrique d'alumine, il existe trois superposition possibles :

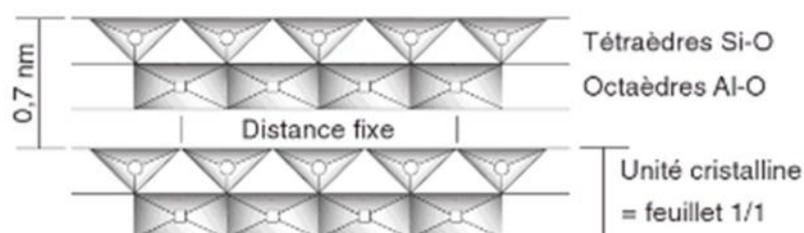
- Une couche Tétra + une couche Octa \longrightarrow argile de deux couches (1/1)
exemple : la Kaolinite
- Une couche Tétra +une couche Octa + une couche Tétra \longrightarrow Argile de trois couches (2/1) exemple : la Montmorillonite.
- Une couche Tétra +une couche Octa + une couche Tétra + une couche Tétra \longrightarrow On dit (2/1+1) parce que l'espace inter feuilles situe après la troisième couche.

1-4-3.caractéristiques des différents types d'argile :

a) La kaolinite :

C'est une argile de deux couches une couche Tétra edrique et une couche Octa edrique (1/1). Ce type d'argile est caractérisé par une épaisseur fixe de 0.7 nm (Fig.3)

Figure03 : structure des argiles (1/1) type kaolinite



Rare sont les éléments qui peuvent fixes dans l'espace interfeuille, la CEC est faible de 3 à 15 meq/100g. Ce type d'argile se trouve surtout dans les sols tropicaux et il caractérise les sols moins fertiles.

b) Halloysite :

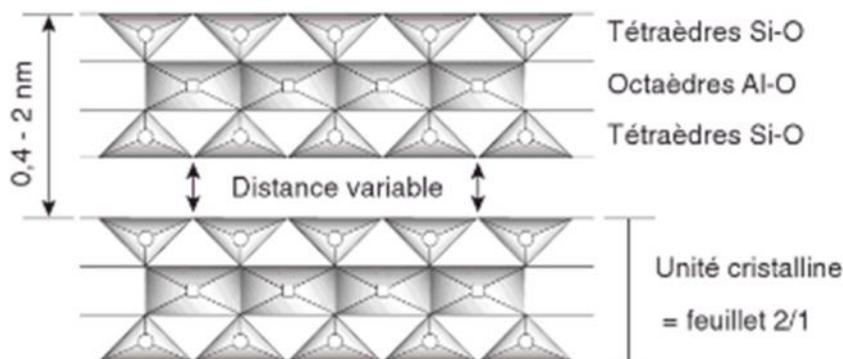
Elle présentée la même formule (1/1) et possède une degré de hydratation élevée, leur CEC égale 30 meq/100g d'argile, elle caractérisée les sols les plus fertiles et elle se trouve un peu partout dans les sols mélangé avec les autres argiles mais avec des petites quantités.

c) Montmorillonite :

C'est un argile de trois couches de type (2/1) , deux couches Tétra et une couche Octa. Leur capacité de fixation est varié entre 80 et 150 meq/100g, elle caractérisée par un épaisseur variable de 0.4 à 2 nm (Fig.04).

Elle se trouve dans les zones arides et semi arides

Figure 04 : structure des argiles 2/1, type montmorillonite



d) Vermiculite :

C'est un argile de trois couches de type (2/1) deux couches Tétra et une couche Octa , leur espace basale n'est pas stable et variable selon le degré d'hydratation de la molécule, elle est pauvre en potassium K^+ . la capacité de fixation des cations de ce type d'argile est variable entre 65 et 145 meq/100g.

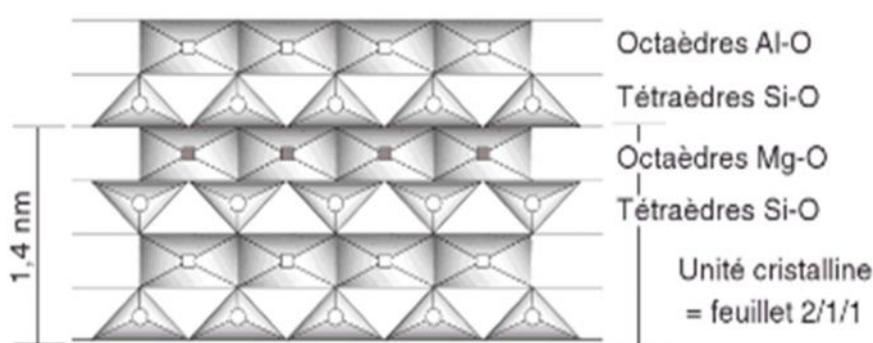
e) Illite :

C'est une argile de trois couche de type (2/1) sont espace basale est faible et stable, riche en potassium K^+ leur capacité de fixation des cations est environ 60 meq/100g. L'illite exige pour sa formation la présence de potassium et le PH neutre.

f) Chlorite :

C'est un argile de quatre couches de type 2/1+1 ou 2/1/1 présente une feuillet a trois couches complétées d'une supplémentaire Octaédrique à base de magnésium, ces argiles a faible capacité de fixation des cations varié entre 10 et 15 meq/100g. Les chlorites ne sont pas gonflantes, l'épaisseur des feuillets restant fixé, généralement elle caractérisée les sols les moins fertiles (Fig.5).

Figure 05 : structure des argiles 2/1/1 type chlorite



1-4-4.Répartition climatique et horizontale des différents types d'argile :

En climat chaud et humide on trouve surtout la Kaolinite et Halloysite, par contre dans les zones tempérées et inondées on trouve généralement la Montmorillonite. L'illite se trouve un peu partout mélangé avec d'autre argile mais en petite quantité. Pour la vermiculite leur présence est indépendante du climat.

1-4-5.Répartition verticale des argiles:

Cette répartition se fait en fonction des propriétés physique et chimiques des sols on peut trouver des argiles de différent types d'un horizon à l'autre par exemple la Kaolinite dans les zones tropicaux la teneur des sols en Kaolinite diminué avec la profondeur ceci est due à l'enrichissement des horizons superficiels par les acides humiques ou la seule la Kaolinite qui peut résister.