

Chapitre 2: Les éléments constitutifs (constituants) du sol

La connaissance des constituants du sol, de leur composition et de leurs principales propriétés (physiques, chimiques et biologiques) constitue en tout état de cause une préalable étape d'étude et de connaissance du milieu édaphique.

La subdivision des constituants du sol est inévitablement arbitraire, certains chercheurs se basent sur l'aspect **volumique**, d'autres sur l'aspect **massique**, quelques-uns sur leurs **origines**, d'autres sur **la nature chimique et minéralogique.....**

*Partant du fait que le sol se compose de trois phases (solide, liquide et gazeuse), on peut schématiser la subdivision des constituants du sol (en % volumique et massique) comme suit:

Tableau 1: Représentation centésimale des constituants du sol (en volume et en masse)

Constituants du sol		% en volume	% massique
Phase solide	Constituants minéraux	45	95
	Constituants organiques	05	02
Phase liquide (eau du sol ou Solution du Sol)		25	03
Phase gazeuse (air ou atmosphère du sol)		25	à peu près 0

*Pour les **pédologues**, les constituants du sol se divisent en:

Constituants gazeux ; Constituants liquides ; Constituants solides (MM et MO)

1-1- Les constituants solides du sol

1-1-1- Les constituants minéraux du sol :

Les constituants minéraux caractérisent la phase solide du sol. On peut les traiter ou étudier selon **deux** points de vue **différents : Physique Chimique**

-Les **pédologues** distinguent dans la fraction minérale cristallisée d'un sol **deux grands** types; les minéraux **primaires** et ceux dits **secondaires** :

1-1-1-1-Les minéraux primaires :

*Sont à l'origine, les minéraux constitutifs des roches magmatiques, c'est-à-dire ceux qui se sont formés lors de la cristallisation des magmas, dans des conditions de température et de pression totalement différentes de celle à la surface de la lithosphère.

Ils sont en conséquence plus ou moins instables dans la couverture pédologique dont l'ambiance physico-chimique est plus oxydante et le milieu plus hydraté ; ils peuvent alors se transformer en minéraux dits « **secondaires** », à l'issue de processus **d'altération** plus ou moins **intense ou plus ou moins complets**.

*Les minéraux primaires peuvent soit être **hérités** directement des roches magmatiques ou métamorphiques, soit **provenir** des roches sédimentaires ou leur présence est liée **aux cycles géologiques**

*Presque tous les minéraux primaires sont des silicates ou des aluminosilicates de composition chimique variée.

On distingue entre les minéraux primaires **majeurs** (Quartz, Feldspath et Mica) et **accessoires** (Pyroxène et amphiboles).

On trouve ces minéraux dans la fraction grossière du sol

1-1-1-2-Les minéraux secondaires:

Sont essentiellement des **phyllo silicates** (des argiles), **des oxy-hydroxydes** (de fer, d'Al de Mn de Si et rarement de Ti), **des carbonates** (de Ca et de Mg), **des sulfates** (de Ca) et **des chlorures** (de Na...)

Les minéraux secondaires sont dans la plupart des sols, principalement distribués dans la fraction granulométrique fine

A) Les oxy-hydroxydes (oxydes et hydroxydes)

Il s'agit des oxydes et hydroxydes de fer, d'alumine de Manganèse de Silice et accessoirement de Titane.

Ces éléments sont libérés pendant l'altération de la roche et de ces fragments dans le sol sous forme soluble en générale (sous forme ionique) ou complexée lorsque le sol contient de la MO. Selon leurs natures (cations métalliques, cations basiques.....) ils se comportent.

Les cations basiques conservent la forme soluble ou échangeable, alors que les cations métalliques et la Silice subissent dans le sol une évolution vers la forme amorphe et cristallisée non soluble.

Les oxyhydroxydes se présentent de différentes tailles (selon qu'ils sont cristallisés ou amorphes).

Ils ont la propriété de fixer des ions (comme font les argiles), mais ils **sont globalement électropositifs** et **donc adsorbent les ions négatifs** (phosphates PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , sulfates SO_4^{2-} , nitrates NO_3^-) et ils participent à la capacité d'échange anionique (**CEA**) du sol.

B) Les argiles (phyllo silicates):

-L'argile se présente dans la nature (dans le sol) sous différentes couleurs; jaunâtre, brunâtre, grisâtre, noirâtre.....

L'argile est considérée comme la partie minérale la plus altérée, la plus fine et la plus **active** du sol.

Son étude est très importante et intéressante de point de vue pédologique (elle fournit des informations de base sur les propriétés et la pédogenèse des sols qui les contiennent) et agronomique (la capacité d'échange cationique qui guide la richesse des sols en éléments nutritifs et leur aptitude culturale).

De point de vue chimique, elles **sont globalement électronégatives** et donc adsorbent des ions positifs et elles participent à la capacité d'échange cationique (**CEC**) du sol.

Le terme argile revêt deux sens différents ; **granulométrique et minéralogique**

***Sens granulométrique**: les argiles sont des fractions ou des particules dont le diamètre est inférieur à $2\mu\text{m}$

***Sens minéralogique**: en réalité, les argiles de point de vue minéralogique sont des silicates d'alumine plus ou moins hydratés, dont le diamètre est inférieur à $2\mu\text{m}$, de formule générale :



*Le rapport moléculaire $R = \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ des argiles varie entre **2 et 5**, ce rapport moléculaire sert entre autre à caractériser le type d'argile

*A l'exception des argiles fibreuses, les argiles se présentent sous forme de feuillets (d'où leur appellation phyllo silicates par certains chercheurs) parallèles plus ou moins écartées et plus ou moins chargées en cations.....

*Les argiles sont douées de propriétés **colloïdales** en raison de la finesse des particules, et leurs charges électriques, et pour certaines d'entre elles des possibilités d'écartement des feuillets qui leur permettent d'absorber des molécules d'eau et divers ions entre les feuillets. Elles peuvent ainsi gonfler lorsqu'elles sont hydratées (pour les argiles gonflantes)

-Structuration des argiles :

Les minéraux argileux sont constitués d'un empilement de structures bien définies (en feuillets), sauf ce qu'on appelle «les argiles fibreux». Ces structures sont à base des couches tétraédriques et octaédriques.

La structure cristallographique de ces feuillets est constituée de deux éléments principaux; tétraèdre de Silice (Si) et octaèdre d'Alumine (Al). Formant deux types de couches; couche tétraédrique et couche octaédrique.

****La couche tétraédrique (Te à base de silice) (Figure 1) :** est formée de silice tétraédrique, c'est-à-dire d'un cation Si^{4+} entouré de quatre anions O^{2-} , qui constituent les sommets du tétraèdre. La couche tétraédrique (**Figure 1**) est formée de silice tétraédrique, c'est-à-dire d'un cation Si^{4+} entouré de quatre anions O^{2-} , qui constituent les sommets du tétraèdre.

Chaque tétraèdre partage trois atomes d'oxygène avec les tétraèdres adjacents. Ces atomes d'oxygène partagés sont arrangés en réseau hexagonal qui forme la base de la couche.

Le bilan des charges positives et négatives présentes dans cette structure n'est pas neutre. En effet, chaque tétraèdre est formé d'un cation Si^{4+} et de trois anions O^{2-} qui forment la base du feuillet et qui appartiennent aussi à un tétraèdre adjacent, et d'un quatrième anion O^{2-} qui lui n'est pas partagé. Donc le bilan des charges est: $4 + 3 \times (-2)/2 + (-2) = -1$.

L'électro-neutralité de la couche est obtenue **par la liaison avec une couche chargée positivement**, par la **présence d'ions compensateurs à la surface de la couche**, ou **par ajout d'un proton H^+ sur certains O^{2-}**

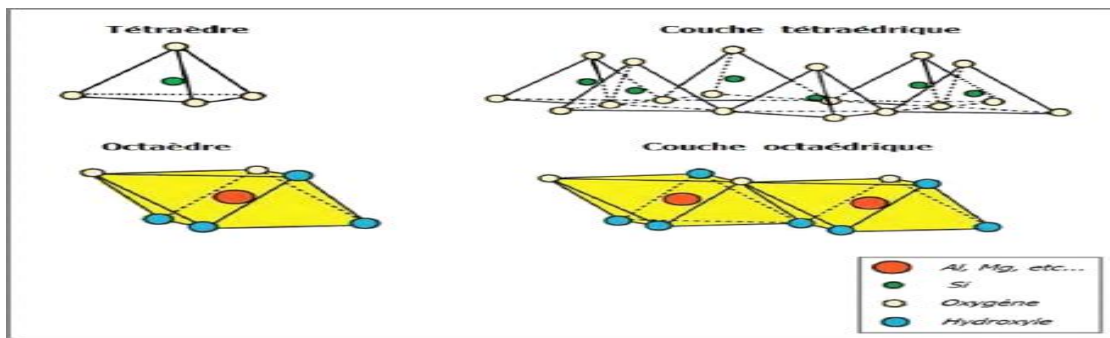


Figure 1: Représentation du tétraèdre (et couche tétraédrique), octaèdre (et couche octaédrique) des argiles.

**** La couche octaédrique (Oc à base d'Al)**

La couche octaédrique (**Figure 1**) est formée de cations Al^{3+} ou parfois Mg^{2+} entourés de six groupements hydroxyle OH^- .

Ces octaèdres sont reliés entre eux par des anions communs, et forment une couche plane.

Le bilan des charges présentes dans le feuillet est **de +3 pour le cation Al^{3+} et -1 pour le groupement hydroxyle**, mais chaque OH^- est partagé avec trois cations, ce qui donne : $+3 + 6 \times (-1)/3 = +1$.

Pour atteindre l'électro-neutralité, seulement deux sites octa-édriques sur trois sont occupés par un cation Al^{3+} ; on parle alors de couche di-octaédrique de gibbsite.

Dans le cas du cation Mg^{2+} , lorsque tous les sites sont occupés, la couche est neutre ; c'est la structure tri-octaédrique de brucite.

Des couches tétraédriques (Te) et des couches octaédriques (Oc) forment des feuillets, séparés les uns des autres par des espaces inter-foliaires pouvant contenir des molécules d'eau et des ions. L'ensemble d'un feuillet et d'un espace inter-foliaire est une unité structurale. Ces unités s'agencent alors entre elles pour former des particules argileuses.

La liaison entre une couche tétraédrique et une couche octaédrique se fait par l'intermédiaire du quatrième oxygène de la silice tétraédrique, qui appartient aussi à un octaèdre du feuillet octaédrique.

*Exemples de possibilités de structuration des argiles (selon le nombre des couches constitutives des feuillets)

**Première possibilité: c'est le type 1/1 (Te/Oc).

**Deuxième possibilité: c'est le type 2/1 (Te/Oc/Te)

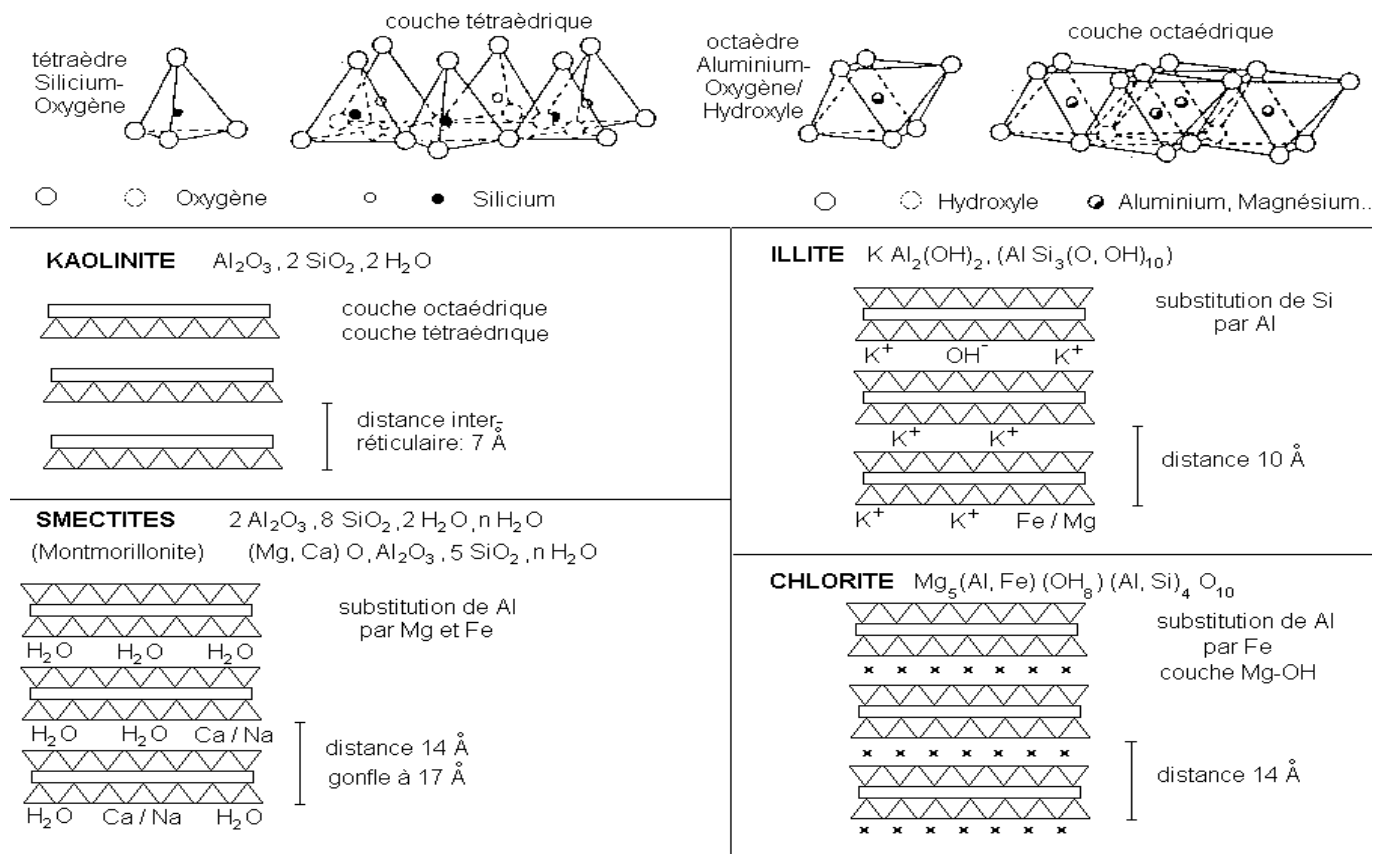


Figure 2: Quelques exemples des possibilités de structuration des argiles

C) Les carbonates

Des minéraux secondaires caractérisés par la présence de l'ion carbonate (CO_3^{2-}), les plus connues sont les carbonates de calcium ($CaCO_3$) ou dites aussi calciteon les rencontre aussi sous forme de dolomite ($CaMg(CO_3)_2$), carbonates de sodium (Na_2CO_3). Se présente dans les sols sous différentes formes et tailles.

D) Les sulfates

Des minéraux secondaires caractérisés par la présence de l'ion sulfate (SO_4^{2-}), les plus connues sont les sulfates de calcium ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: le gypse)

E) Les chlorures

Des minéraux secondaires caractérisés par la présence de l'ion chlorure (Cl^-), les plus connues sont le chlorure de Sodium (NaCl)

1-1-2-Les constituants organiques du sol:

SOLTNER D, juge que: «Un sol n'existe que si on ajoute aux minéraux résultants de la décomposition d'une roche, des organismes vivants et des matières organiques qui en résulte, mais à partir de ce moment ces substances organiques contribuent activement aux processus d'altération des roches, de formation de migration ; autrement dit à la pédogenèse d'un sol ».

*Les constituants minéraux représentent presque la totalité des constituants du sol. En effet, la fraction organique ne dépasse généralement plus 5% du total des constituants

Malgré son faible pourcentage dans le sol, la matière organique est une des composantes initiales de la phase solide, elle a un effet bénéfique sur la croissance des végétaux et à l'état humifiée, elle participe dans la stabilité des composants des sols.

***Sources de matière organique du sol**

L'origine de la MO dans le sol est le monde vivant appelé biosphère (végétal, animal et microscopique).

On peut dire aussi qu'on a une MO vivante et une MO morte

4% de MO du sol est constitué de biomasse vivante (édaphone), on parle de la flore et la faune du sol. 96% et parfois plus, est constitué de MO morte, d'origine animale ou végétale...

Pour la MO végétale on trouve des plantes, des débris peu transformée, MO fortement transformée.....

***La faune et flore des sols**

Ce sont les organismes vivants du sol, c'est ainsi qu'on distingue entre la faune et la microflore du sol

**** La faune du sol**

On distingue entre macro, méso et microfaune du sol ;

-Macrofaune du sol: des organismes vivants du règne animale dont le diamètre ou la taille est supérieure à 2mm, dont on peut citer les Lumbricoles..(Figure 3).

-Mésafaune du sol: de diamètre ou taille supérieure compris entre 2mm et 0,2mm, dont on peut citer les Coléoptères..(Figure 3).

-Microfaune du sol: de diamètre ou taille inférieure à 0,2mm, dont on peut citer les Amibes et les Ciliés..(Figure 3).

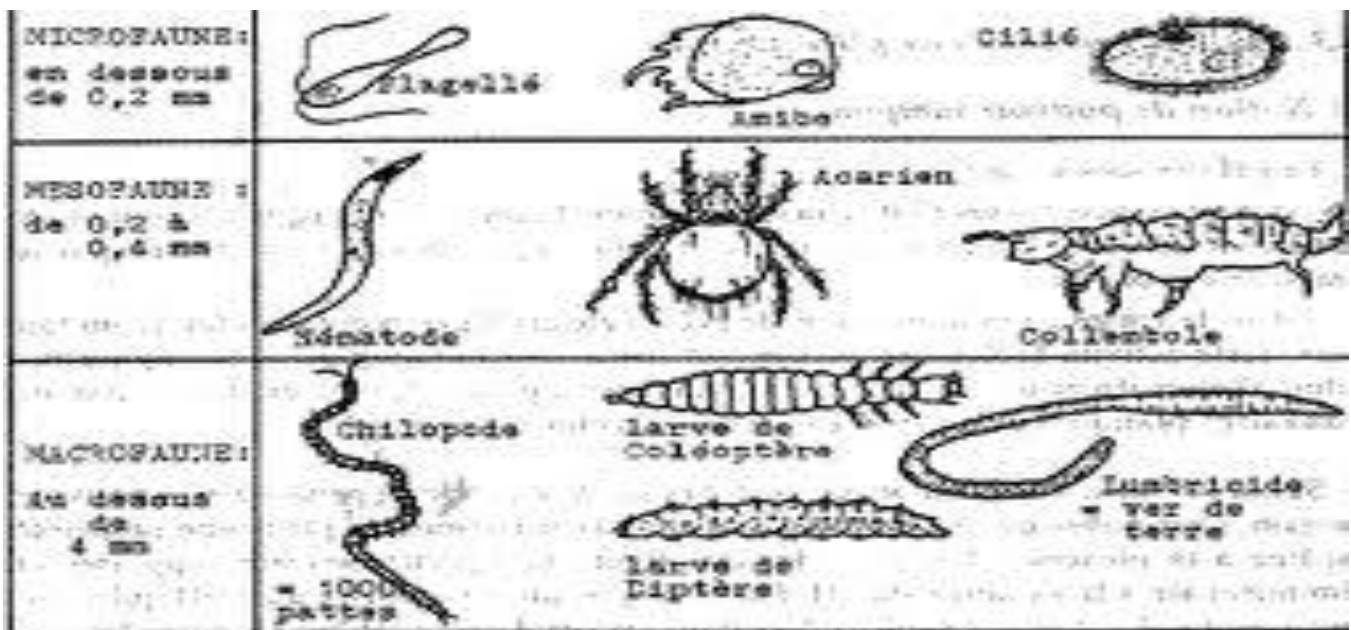


Figure 3 : Quelques exemples de macro, micro et méso faune du sol

****La flore du sol (parfois on l'appelle microflore)**

Ce sont les végétaux microscopiques des sols, et les plus importants à citer sont: les bactéries, les algues, les actinomycètes et les champignons (Tableau ci-dessous)

Groupe d'organismes	Nombre d'espèces décrites	Valeur la plus haute du nombre d'espèces total estimé	Valeur la plus basse du nombre d'espèces total estimé
Bactéries	4 000	3 000 000	400 000
Champignons	70 000	1 500 000	1 000 000
Protozoaires	40 000	200 000	100 000
Lombrics	4000	Environ 8000	Environ 8000
Vertébrés	45000	Environ 50000	50000

Tableau 0: Estimation du nombre d'espèces connues et du nombre total d'espèces pour différents groupes d'organismes du sol et, pour comparaison, les vertébrés.

****Transformation des MO dans le sol**

La MOF subit une série de transformations qui va aboutir à la formation de l'humus, qui se complexe avec les constituants minéraux du sol pour nous donner le complexe argilo-humique (propriété exclusive du sol).

On peut résumer les processus d'évolution (de transformation) de la MO dans le sol comme suit:

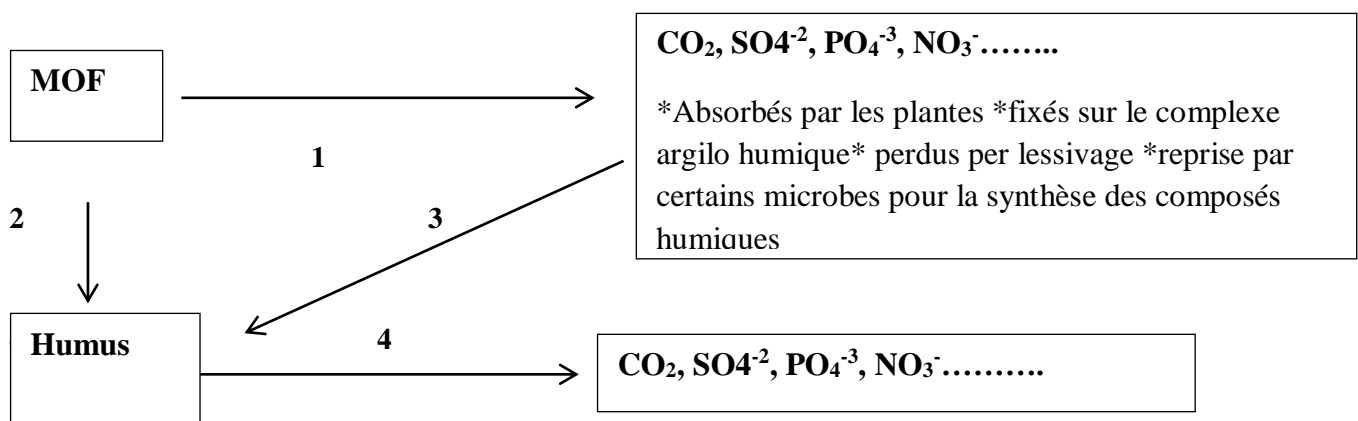


Figure 4 : Processus d'évolution (de transformation) de la MO dans le sol

Les composés organiques qui arrivent au sol subissent de multiples transformations par décomposition ou bio-individualisation et sont ensuite incorporés aux sols et former le complexe organo-minérale.

Selon les conditions du milieu, les caractéristiques du sol, son richesse en faune et flore et la composition de MO en elle-même. Arrivant au sol, la MO suit une des 4 voies (sous 2 grandes voies, minéralisations et humification)

*** La minéralisation (dans le schéma les flèches 1 et 4)**

C'est la transformation (désagrégation) des produits organiques (MOF, constitués à la base de C, H, O, N, P) en minéraux (CO_2 , NO_3 , NH_4). On a deux types de minéralisation: primaire (1) et secondaire (4)

-Minéralisation primaire (1) (transformation ou dégradation de MOF en minéraux)

-Minéralisation secondaire (4) (transformation de l'humus en minéraux, cette dégradation prends beaucoup plus de temps que celle de la minéralisation primaire)

***L'humification (dans le schéma les flèches 2 et 3)**

C'est un ensemble de synthèse, de reconstruction, aboutissant à l'édification de molécules complexes (ensemble des composés humiques ou «humus stable »)

-L'humification (2)

-Néoformation (3)

1-1-3-Le complexe argilo humique:

C'est une association de composés organiques issus de décomposition (humus), et de composés d'origine minérale tels que les argiles.

Cette association qui maintient la structure du sol, est en grande partie réalisée par des 'ponts calciques'.

Le **complexe argilo-humique** (CAH), aussi appelé "complexe adsorbant", est l'ensemble des forces qui retiennent les cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , 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.

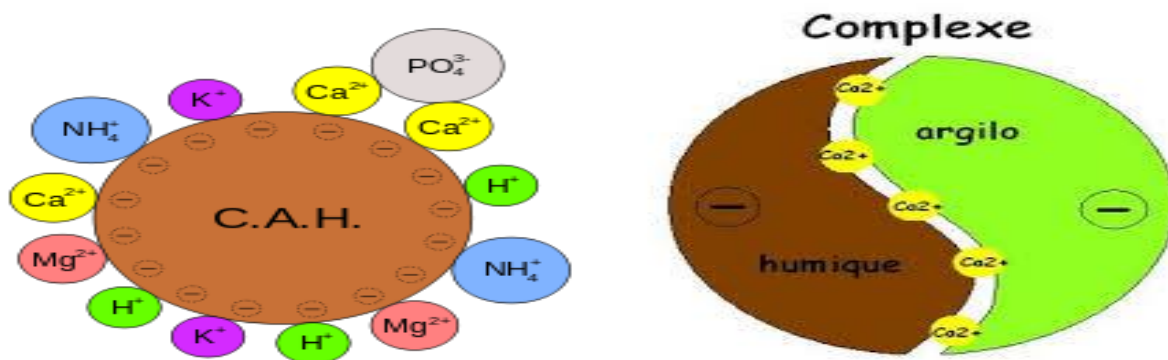


Figure 5 : Modélisation du complexe argilo-humique et d'ions adsorbés

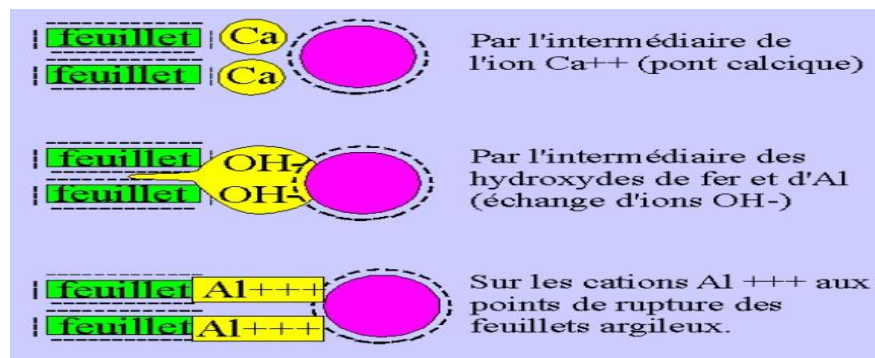


Figure 6 : Modes de liaisons entre l'argile et l'humus

La complexation entre l'argile la Mo est rendue possible selon trois modalités: Par l'intermédiaire de ponts calciques. Par l'intermédiaire des hydroxydes de fer et d'alumine. Par l'intermédiaire de ponts aluminium aux points de rupture des feuillets d'argile.

***Importance du complexe argilo-humique**

Stabilité structurale du sol ce qui fournit au végétale et en particulier à son système racinaire un support stable et aussi milieu riche en éléments nutritifs.