

Popular Democratic Republic of Algeria
Ministry Of High Education And Scientific Research
Abebes Laghrour University ,Khenchela
Faculty of Nature and Life Science
Departement of Ecology and Environment



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية علوم الطبيعة والحياة

Polycopié pédagogique

Titre

Ecopédologie

Cours destiné aux étudiants de :

Troisième année licence écologie et environnement

Nom : LAKHDARI

Prénom : Somia

Grade : Maitre de conférences classe B

Année : 2023

Avant-propos

L'éco-pédologie est une discipline qui étudie la relation entre les sols et l'environnement. Elle permet de comprendre l'impact des activités humaines sur les sols, ainsi que l'influence des sols sur l'environnement. Cette discipline est en constante évolution, car elle doit s'adapter aux changements environnementaux qui ont lieu dans le monde.

Dans ce polycopié, nous avons rassemblé des informations sur l'éco-pédologie et son importance dans la préservation de notre environnement. Nous avons cherché à mettre en évidence les différentes méthodes d'étude des sols utilisés pour comprendre les interactions entre les sols et l'environnement.

Nous avons également abordé les différents facteurs qui influencent la qualité des sols et les conséquences de leur dégradation. Nous avons souligné l'importance de la gestion durable des sols pour préserver notre environnement et garantir la sécurité alimentaire de la population.

Nous espérons que ce polycopié sera une ressource utile pour tous ceux qui s'intéressent à l'éco-pédologie et qui souhaitent comprendre les enjeux liés à la préservation des sols et de l'environnement. Nous remercions tous les experts qui ont contribué à la rédaction de ce polycopié et nous espérons que cette lecture sera enrichissante.

Dr. Somia LAKHDARI

LISTE DES FIGURES

Figure n° 1 :	<i>Les 3 types de feuillets chez les minéraux argileux</i>	12
Figure n° 2 :	<i>Photos de microcristaux de kaolinite, observés en microscopie électronique (a = vue planaire et b = vue en coupe) (Caillère et al., 1982).</i>	13
Figure n° 3:	<i>Coupe transversale d'une colonie d'actinomycète (Prescott et al., 2018)</i>	16
Figure n° 4:	<i>Représentation schématique du complexe argilo-humique du sol (in Stevenson, 1982).</i>	23
Figure n° 5 :	<i>le complexe argilo-humique état des compatissances actuelle</i>	24
Figure n° 6:	<i>Carte globale des températures moyennes annuelles dans la première couche superficielle de sol (0-5 cm) telles que ressenties par les organismes vivants responsables de l'activité biologique des sols (Source : Julia Kemppinen, Johan van den Hoogen & Jonas Lembrechts).</i>	36
Figure n° 7:	<i>capacité d'échange en cations (ANSTETT 1960)</i>	38

SOMMAIRE

Chapitre 1 : Définition du sol et objet de la pédologie	5
Chapitre2 : Les éléments constitutifs du sol	7
2.1. Les constituants minéraux	8
2.2. Les constituants organiques	15
2.3. Les complexes colloïdaux	22
Chapitre 3 : L'organisation morphologique des sols.....	25
3.1.Les organisations élémentaires.....	25
3.2. L'horizon pédologique.....	25
3.3. Les profils pédologiques	27
3.4. La couverture pédologique.....	27
3.5. Le sol et l'eau	29
3.6- L'atmosphère du sol	31
3.7. La température du sol	32
3.8. La couleur du sol	34
Chapitre 4 : Les propriétés chimiques du sol	34
4.1. Les phénomènes d'échanges des ions.....	34
4.2. Les propriétés électroniques du sol.....	37
Chapitre 5 : Les propriétés biologiques du sol.....	38
5.1. Les organismes du sol	38
5.2. Les transformations d'origine microbienne.....	39
Chapitre 6 : Classification des sols	40
6.1. La classification des sols	40
6.2. Les différentes classifications (Russe, Américaine, Française).....	40
6.3. Les sols d'Algérie et leur relation avec le climat et la géomorphologie	42
Chapitre 7 : Relations sols végétation	43
7.2.Relation sol-végétation dans les sols halomorphes.....	44
7.3. Relation sol-végétation dans les vertisols	44
7.4. Relation sol-végétation dans les sols peu évolués	44
7.5. Action du sol sur la Végétation	44

Chapitre 1 : Définition du sol et objet de la pédologie

INTRODUCTION

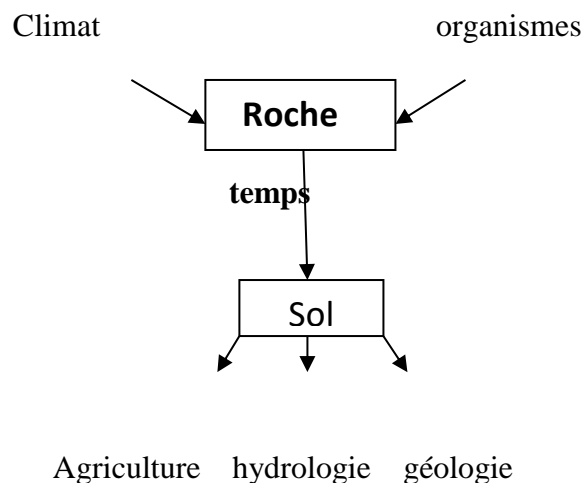
La grande date dans l'étude du sol qui constitue une véritable rupture épistémologique est venue avec la publication en 1883 du livre le Tchernozem russe de Vassili Vassilievitch Dokouchaev (le fondateur de la pédologie), de ses travaux menés entre 1877 et 1881 sur les vastes plaines de Russie, Dokouchaev établit deux principes fondamentaux dans l'étude des sols : la répartition zonale et la notion du profil pédologique.

$Sol = f(\text{climat, roche, vivant, relief, temps})$

1. Définition de la pédologie :

Elle vient des grecs pédon qui veut dire sol et logos qui veut dire science ou étude c'est donc la science qui étudier la formation du sol autrement dit « l'étude d'un profil du sol c'est la pédologie ».

En peut la définir aussi comme étant l'étude de la formation du sol a partir de la décomposition de la zone superficielle de l'écorce terrestre, c'est aussi la science qui étudier les caractères physique et chimique et biologique du sol, en peut dire quelle est pluridisciplinaire (elle a des liens avec les autres disciplines) d'une part elle dépend de la géologie de la géomorphologie, de la botanique, zoologie, microbiologie,...D'autre part elle contribuer a une meilleure connaissance a l'agronomie de la répartition des EV et de la distinguer des eaux de précipitation, pour le biologiste la connaissance de propriété physico-chimique de la formation et de l'évolution du sol s'avère plus en plus nécessaire pour comprendre le **temps** comportement des espèces.



2. Définition du sol

Il y'a des latins qui vent dire sol au sens d'un support, surface.

Le sol est un milieu naturelle complexe car il est constitué de plusieurs phases : liquide, solide, gazeuse, il est dynamique car il évolue et il peut avoir une individualité propre (il peut ne pas avoir des liens avec la roche mère sur laquelle il se repose, il est caractérisé par une atmosphère interne, une économie d'eau particulière une faune et une flore déterminé et des éléments minéraux.

Selon De Holou le sol est une formation naturelle a structure meuble d'épaisseur variable résultant de la transformation de la roche mère c'est influence de différentes facteurs physique chimique et biologique.

-le sol est l'ensemble des couches altérées ou remaniées situées entre la surface et la roche mère.

-Solon **Doukouchaev** le sol « c'est un système naturel, indépendant et variant »

1. Les principes de la pédogenèse

La pédogenèse c'est l'ensemble des phénomènes qui décompose les roches produisant ainsi des sols et provoquant dans les derniers des transformations et déplacement des substances et d'éléments minéraux.

Au début de l'évolution du sol il y a la roche mère nue qui est semis à la rigueur de climat cette roche subit d'abord une désagrégation chimiques sous l'action de l'au et de gel et le dégel prés vite la surface de la roche est colonnes lissé par la végétation plénière.

La roche se superpose peu à peu une couche de matière organique qui va former la dégradation physique qui sera remplacé par l'altération chimique.

Remarque : d'une manière générale dit que en a des rencontres entre la végétation et la roche mère ont peut dire qu'il y'a naissance.

2. les processus de formation du sol

Schématiquement, la formation d'un sol peut se décomposer en trois phases qui se chevauchent, plus ou moins, dans le temps:

1- la désagrégation et l'altération de la roche

L'intensité de la désagrégation physique et l'altération chimique d'épand de climat qui est la véritable Motors de la formation du sol. ; la désagrégation appeler également fragmentation de la roche dit essentiellement au début d'action du vent et les écarts les températures gel et dégel brusque .par contre l'altération chimique se fait grâce à la dissolution par les eaux de pluie qui sont généralement riche en CO_2 et qui attaque la roche mère et dessous certaines minéraux tel que le calcaire provoquent ainsi des trou sur la roche. D'autre phénomène vous

ajouter au premier telle que les apports par le vent de poussière des larves d'insecte qui vent être déposé dans les creux.

2- l'humification

« poussière graine » en richesses en matière organique, les graines qui peut être déposé dans les creux germer pour donner naissance à des plantes, dans les racines sont s'offense et fissures en insiste alors à la poursuite de la désagrégation physique d'autre part ce même racine sont secrète des acides organiques qui vent ou aussi par mettre la poursuite de l'altération chimique. A la suite de la chute de feuilles se superpose a la roche une couche de matière organique qui va se décomposé grâce aux microorganismes du sol (bactéries, champignons...) pour donner de l'humus (introduction de matières organiques).

3-formation des différentes parties du sol : dans un sol en peut distinguer **04** parties ou phase :

a- la phase M : c'est la phase minérale, partie de la roche mère non altéré (brute), à partir de laquelle le sol se former.

b- la phase S : elle est dite phase résiduelle et comprend 02 parties la partie organique et la partie minérale c'est un mélange entre deux constituent organique et minérale du le terme utilisé pour rappeler cette partie organo-minérale.

c- la phase H : elle est appelé liquide ou aqueuse en a trouver essentiellement dans tous les sens, ces déplacements permettent le transport et le dépôt de certaines substances et éléments soluble qui vent être a l'origine de la formation de la couche particulière appeler Horizon. Remarque : sous climat aride ou semi-aride qui est caractérisé par une forte évaporation, la migration des éléments solubles se fait de bas ou haut, par contre si le climat tempéré caractérisé par des fortes précipitations en consiste a lessivage, les éléments minéraux profondes ceci c'est dépendent ce particulièrement de la nature du sol.

d- la phase B : elle est appelé phase vivante elle peut être d'origine animal ou végétale, le développement de cette phase influe sur l'importance de la phase S.

Chapitre2 : Les éléments constitutifs du sol

Le sol remplace se présente sous forme de mottes plus ou moins grosse, facile a fracturer en distinguer des graines dures de nature minérales dont la grosseur varie de gravier a la poussière. le gravier étant enrobé dans une matière plus ou moins noirâtre en mélangé des résidus organiques

Les parties qui existent entre les grains sont remplis d'air ou d'eau un premier examen ne permet de classer les sols en catégories totalement distinguent.

1. les constituants solides : minéraux et organiques.
2. les constituants liquides et gazeux

2.1. Les constituants minéraux

I.1. Définition d'un minéral : c'est un corps solide inorganique de composition chimique donné (solide a la température ordinaire) en le rencontre sous 02 états : l'état amorphe et l'état cristallin.

- **L'état amorphe :** est se caractérisé par un argument des ordonnées des atomes.
- **L'état cristallin (solide) :** il est caractérisé par un arrangement ordonné des atomes qui représentent indéfiniment et périodiquement dans les trois dimensions de l'espace et dessiné une raison structurelle tridimensionnelle.

Les composées amorphes est rare pratiquement tous les minéraux se représentant a l'état cristallin.

I.2. Les constituants minéraux

Les constituants minéraux préviennent de la désagrégation de la roche mère mais également des apports en engrais et des abondements faits par l'homme. Ces constituant représentent plus de 80% d'un sol humide ces éléments peuvent être classé selon 02 types de classements :

1. d'après la taille ou grosseur des éléments ce qu'en appelle granulométrie.
2. d'après les compositions minéralogiques et chimiques des éléments

I.3. Les grandes types des roches altérées

I.3.1. Les roches magmatiques (ou ignées)

Magma c'est liquide qui se forme à l'intérieur de la terre et qui ce refroidissant forme une roche. Elles englobent les granites, les diorites, les gabbros et les basaltes, parmi les roches magmatiques en distingue :

- Les roches effusives ou d'épanchement : sans cristallisation.
- Les roches effusives ou volcaniques : sont consolidé à l'air libre.
- Les roches plutoniques : qui sont cristallisé sans venir à jour, solidification profonde et lente, cristallisation complète.

I.3.2. Les roches sédimentaires : elles sont le résultat d'action superficielle aboutissant a un sédiment meuble le plus souvent gorgé d'eau.

I.3.3. Les roches métamorphiques : ces roches résultent la transformation des roches précédente soumise a des pressions et des températures très élevé(les gneiss et les schistes,

marbres métamorphiques).certaines roches métamorphiques, plutôt basiques, contenant des minéraux comme le chlorite et la serpentine, s'altèrent rapidement.

2. Les principaux minéraux du sol

2.1. Le calcaire (CaCO₃)

Il ne faut pas de confondre avec le calcium Ca⁺⁺, car le calcaire est le bicarbonate de calcium CaCO₃ et peut pas se trouve dans le sol par contre le calcium est considéré comme un ion majeur (élément majeur) controuve pratiquent dans tous les sols, le calcaire est important dans le sol 02 raison :

I. Pédologique : est intervient dans les propriétés physico-chimiques du sol en sementent les particules du sol pour donner la structure.

II. Physiologique : est intervient dans la nutrition des végétaux en libèrent le calcium.

Le dosage de calcaire ce fait au laboratoire par la méthode du calcimètre , la technique du dosage a faire réagir sur un sol une solution d'HCL a 1 normale, il se produit un dégagement de co₂ selon la réaction suivante : $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Plus la quantité de CO₂ est importante et plus le sol enrichie en calcaire. En peut également à précis la richesse d'un sol en calcaire sur terrain en appliquant quelque gouttes d'HCL si effervescence est importante c.-à-d. le sol est riche en calcaire.

2.1.1. Les formes de calcaire dans le sol

Le calcaire qui existe au niveau du sol provient particulièrement de la roche mais il peut également prévenir de l'eau ou des apports fait par l'Homme. Les formes d'accumulation du calcaire dans le sol sont nombre de 04 :

A. La forme diffuse :

c'est une répartition hétérogène du calcaire sur un horizon ou sur tout le profil cette quantité est généralement faible. Le calcaire se présente sous forme de particules fines de dimensions égales ou inférieures à 1 mm.

B. La forme pseudo- mycélium

Les accumulations des calcaire sous forme de filment autour des agrégats les langues des parts se des formes ne sont pas dangereuse et peuvent être éliminé du sol.

C. La forme nodulaire

C'est l'individualisation des accumulations du sol a un stade précis d'accumulation de calcaire peut être massif car il existe 02 formes nodule les nodules cohérents et les nodules meubles. Les nodules meubles sont plus dangereux car ils sont capable de se fragmenter pour libérer de grande quantité de calcium dans le sol, ce dernier bloquer l'absorption de certaines

élément telle que : Mg, Fe ceci se répercute sur la synthèse de chlorophylle en provoquant la chlorose qui le garnissent des feuillées.

D. La forme encrouté :

les accumulations du calcaire dans cette forme peuvent occuper un horizon du sol ou bien tout le profil cette forme constitue un obstacle pour la mesonvateurs des terres et pour le développement des plantes.

2.1.2. Le calcaire actif

le calcaire actif concerne la finesse des particules de calcaire en effet lorsqu'on le taux de calcaire totale dans le sol est inférieur à 05 % le sol n'est pas considéré comme calcaire et il n'est pas nécessaire de déterminer sa teneur en calcaire actif par contre si le taux de calcaire est supérieur à 05% il est nécessaire à déterminer sa teneur en calcaire , le calcaire actif se détermine uniquement au laboratoire par la méthode (oxalate d'ammonium NH_4^+) cette méthode fait réagir le calcaire sur l'oxalate qui n'est pas réagir avec le (permanganate de potassium KMnO_4).

Les minéraux oxydés (les sesquioxydes)

Se sont tous les minéraux oxydés dans la formule est la suivante ($\text{M}_2\text{O}_3\text{NH}_2\text{O}$) dont laquelle n représente un minérale qui peut être le fer le Manganèse ou l'Aluminium se sont les 03 éléments importants dans le sol.

2.2. Les composés de fer

Le fer a une double importance au niveau de sol la première est écophysiological : il intervient dans la fabrication de la chlorophylle la deuxième est pédologique : le fer se trouve associé à beaucoup de constituants de sol et particulièrement les argiles.

Dans le sol le fer peut se trouver sous différentes formes qui sont :

La forme ionique : Fe^{+2} ou Fe^{+3}

La forme oxydée : Fe_2O_3

La forme hydroxyde : $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Au même encore associé à des formes complexes dans le sol le fer subit le phénomène de réduction qui consiste à une forte altération en hiver, le fer se trouve réduit sous la forme de Fe^{+2} (la forme ionique) qui a couleur bleu gris , par contre en été à cause de la sécheresse le fer s'oxyde sous forme de Fe^{+3} que ne peuvent reconnaître grâce à la couleur rouge la dynamique de fer dans le sol dépend de sa valeur de l'état d'oxyde de ce même élément et de pH de milieu.

2.3. Le composé de manganèse : il se trouve en quantité importante dans les sols hydromorphes en effet l'eau se déplace sur les roches puis pénètre par la capillarité et dessous le

manganèse par conséquent cette eau va avoir toujours un moment ascendant prenant une couleur noirâtre, le manganèse peut se trouver sous forme d'ions oxydés MnO_2 , hydroxyde $Mn(OH)_2$, ont associé à des complexes organo-minéraux.

2.4. Les composés d'aluminium :

Ils se trouvent en grande quantité dans les sols tropicaux à cause de la forte altération des minéraux argileux qui libèrent de l'aluminium.

L'aluminium se trouve généralement dans le sol sous forme d'ion Al^{+++} , sous forme d'oxyde (Al_2O_3) ou sous forme d'hydroxyde $Al(OH)_3$ l'excès d'aluminium dans le sol fait baisser le pH acide ce qui défavorise la nutrition des végétaux. La dynamique de l'aluminium dépend de la réaction de sol (l'état d'oxyde de pH)

2.5. Les minéraux argileux :

a. Définition : les argiles peuvent être définies selon 02 formes

b. Granulométrique : se sont toutes les fractions du sol dans le diamètre est inférieur à 2 μm .

c. Minéralogique et chimique : les argiles sont considérées comme des phyllosilicates d'ammonium plus ou moins hydratées, leur formule est « $nSiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot nH_2O$ »

D'une manière générale, les argiles sont considérées comme des cristaux fins, constituées de feuillets l'épaisseur et l'écartement varient d'un type d'argile à un autre, ces argiles sont le produit de l'action d'un certain nombre de facteurs comme le climat, la topographie et la végétation

Il est signalé que deux sols peuvent avoir la même teneur en argile mais les propriétés différentes d'où la nécessité de l'étudier.

2.5.1. Origine des argiles : si l'altération des minéraux silicates telle que les feldspaths, les amphiboles, les pyroxènes, les micas qui sont la source première des argiles exemple : les feldspaths ils peuvent se décomposer en l'une série d'étapes qui se résument à une réaction globale.

2.5.2. Les éléments structuraux des argiles :

Définition : tous les argiles sont constitués de 2 éléments principaux : la silice et l'alumine le constituant le plus représenté est l' SiO_2 cet élément qui va associer à la silice, l'alumine, le fer... les minéraux argileux sont constitués de deux éléments sont représentés par une figure tétraédrique (la silice) et une autre octaédrique (l'alumine).

2.5.3. Les principaux types d'argile :

Feuillet : association entre une couche tétraédrique et couche octaédrique pour former une argile.

L'association des couches tétraédriques et octaédriques s'effectue selon trois combinaisons majeures et aboutit à 3 types de feuillets (fig. 1) :

- **Feuillet de type 1:1**, associant une couche tétraédrique à une couche octaédrique.
- **Feuillet de type 2:1**, constitué de l'association d'une couche octaédrique et de 2 couches tétraédriques qui l'encadrent.
- **Feuillet de type 2:1:1 ou 2:2**, résultant de l'intercalation d'une couche octaédrique complémentaire dans l'espace interfoliaire séparant deux feuillets de type 2:1 (= minéraux 2:1 à couche hydroxydique intercalaire).(fig.01)

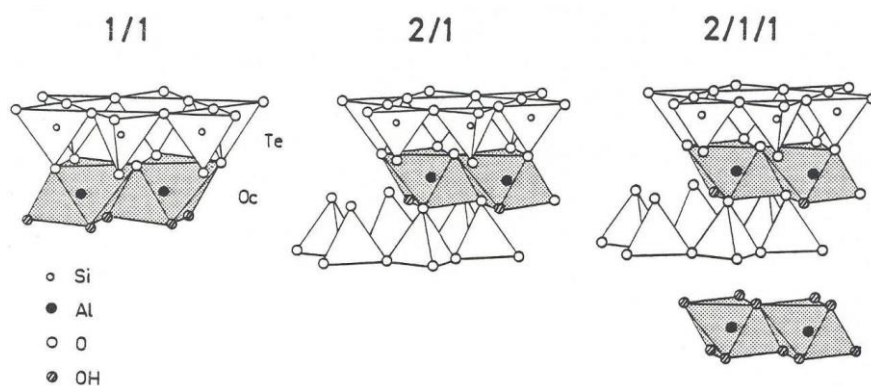


Fig. 1 : Les 3 types de feuillets chez les minéraux argileux

1.la kaolinite : De formule $\text{Si}_2 \text{O}_5 \text{Al}_2 (\text{OH})_4$ dans cette argile le feuillet principale se compose d'une couche tétraédrique et une couche octaédrique (1:1) l'épaisseur de la couche tétra est de 3 \AA et celle de la couche octaédrique est de 4 \AA et l'espace interfolier 0.1 \AA , la CEC est de $5 \text{ meq}/100\text{g}$ d'argile ceci est due a l'espace interfolier qui est très faible et ne permet pas la pénétration d'élément telle que le calcium, le magnésium, le potassium qui ont rayon ionique $>0.1 \text{ \AA}$ cependant (la kaolinite peu pré attendre) un CEC plus importante se dépasser $05 \text{ meq}/100\text{g}$ d'argile.

La figure 2 représente les microcristaux de kaolinite, observés en microscopie électronique (a = vue planaire et b = vue en coupe) (Caillère et al., 1982).

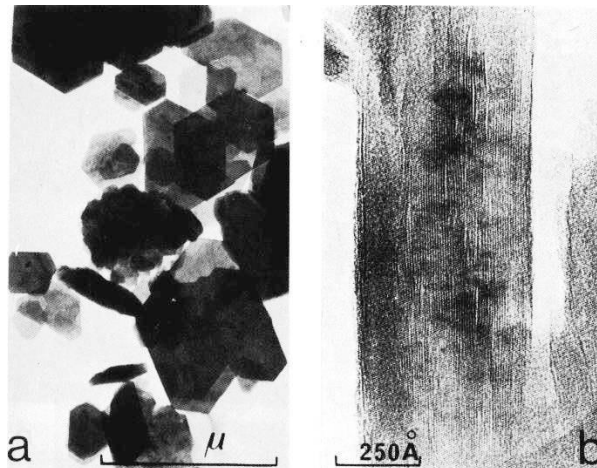


Fig.2 :Photos de microcristaux de kaolinite, observés en microscopie électronique (a = vue planaire et b = vue en coupe) (Caillère *et al.*, 1982).

2. la halloysite

c'est une argile de la même famille que la kaolinite avec une couche tétraédrique et couche octaédrique de type 1:1, la différence avec la kaolinite est le degré de l'hydratation qui est très important chez cette argile, cette eau qui se trouve dans interfolie rend ce dernier plus important, la capacité d'échange CEC de halloysite atteint 300 meq/100g d'argile, d'une manière générale l'halloysite caractérisé des sols plus fertiles que se de kaolinite.

3. la montmorillonite :

c'est une argile a 03 couche de type « 2/1 », une couche tétraédrique, une couche octaédrique, et une couche tétra cette argile peu gonflé pour atteindre une épaisseur total de 20Å° cette variation est liée à l'espace interfolie qui peut accuire une quantité d'eau importante, et cela et à la présence de certaine cation dans cette espace, telle que Ca^{+2} , Mg^{+2} et qui ont une grande aquité d'eau.

La CEC de cette argile peut atteindre 150meq/100g d'argile ceci est due a l'espace interfolie qui peut stocker des normes que d'élément telle que Ca^{+2} , Mg^{+2} .

La montmorillonite se trouver particulièrement dans les sols arides et semi-aride qui sont caractérisé par un ph très élevé et une richesse importante en éléments alcalin telle que : Ca^{+2} , Mg^{+2} .

4. l'illite

c'est une argile a 03 couches de type « 2:1 » ce type d'argile est caractérisé par la présence d'ion K^{+} qui a degré d'hydratation faible (non gonflante) , la pénétration dans l'espace interfolie il va être bloquer entre les deux feuillets parce qu'il assure une véritable liaison entre les feuillets , ces ions ont un degré d'hydratation faible, la CEC de cette argile est de 30-

40 meq/100g d'argile dit qu'il ya possibilité d'échange d'ion K^+ telle que entre Mg^{+2} et Ca^{+2} l'illite peut évoluer vers un autre type d'argile.

5. vermiculite :

C'est une argile à 03 couches de type « 2:1 », l'épaisseur peut varier de 10Å , degré d'hydratation c'est une argile pauvre en K^+ mais riche en Mg^{+2} et qui a une affinité pour l'eau, la CEC varie de 60-160 meq/100g d'argile, cette argile se trouve dans les sols riches en Mg^{+2} . Une propriété importante des vermiculites est leur pouvoir fixateur vis-à-vis des cations de gros diamètre et à faible énergie d'hydratation : K^+ , NH_4^+ , Cs^+ et Rb^+

6. la chlorite

C'est une argile à 04 couches, elle est de type « 2:1:1 », cette argile est caractérisée par la présence d'une quatrième couche. L'épaisseur totale est de 14.2Å , et la CEC est très faible et dépasse rarement 15 meq/100g d'argile, les feuillets sont liés par des ponts, la présence de chlorite dans un sol caractérise une faible fertilité, la quatrième couche est riche en Mg^{+2} .

2.5.4. Répartition des différents types d'argile

2.5.4.1. Répartition horizontale ou climatique

- Sous climat chaud et humide (tropical) qui est caractérisé par une forte altération des minéraux due à une forte acidification du milieu, on rencontre particulièrement les minéraux argileux à 02 couches qui sont la kaolinite et l'holloysite.
- Climat aride et semi-aride (climat méditerranéen tempérées) les sols sont caractérisés par un pH alcalin et la présence de Ca^{+2} , Mg^{+2} dans ce type de sol on rencontre aussi dans les sols endomorphes, l'illite se trouve dans les sols mélangés avec les autres argiles.

2.5.4.2. Répartition verticale

Au niveau d'un profil on peut trouver des minéraux argileux différents d'un horizon à un autre ainsi dans les zones tropicales on remarque que la teneur en kaolinite diminue avec la profondeur du sol, ce qui est dû à l'enrichissement des horizons superficiels en acide humique qui fait baisser le pH. C'est le seul type d'argile qui peut résister à cette acidité on remarque aussi l'appauvrissement des autres types d'argile en surface (horizon supérieur).

2.5.4.3. Propriété et importance des argiles

La connaissance de la composition et la nature des minéraux argileux est importante pour deux raisons :

Pour expliquer la classification des argiles.

Pour la mise en valeur du sol et l'explication de leur propriété

Les argiles sont des produits à des couleurs différentes : jaunâtre, verdâtre, blanchâtre, noirâtre.

2.5.4.4. Propriétés physico-chimique des argiles

Les sols riches en argiles sont d'une manière générale compact et difficile à travailler à l'état humide parce qu'ils sont plastiques. Ces sols lourds en argile peuvent dire que sur le plan physique les montmorillonites sont plus défavorables car c'est une argile qui gonfle et se rétracte (ces mouvements de gonflement et de rétraction sont mauvais pour les racines des plantes, particulièrement en arboriculture car les racines peuvent être blessées (cassées) par la rétraction et ce qui peut déclencher une maladie des végétaux)

D'autre part plus de 20% d'eau retenue par les sols argileux n'est pas assimilée par les végétaux ce qui est dû à la forte force d'attraction exercée par les molécules d'argile sur les molécules d'eau.

2.5.4.5. Propriétés chimiques :

D'une manière générale les minéraux argileux à 03 couches sont riches en éléments minéraux ils sont caractérisés par une CEC très importante qui est favorable pour les végétaux.

Les éléments minéraux sont souvent lessivés par les eaux de drainage il est aussi utile à signaler que les sols riches en argile telle que la montmorillonite pauvre en quantités importantes de fertilisants en est surpris par contre les sols contenant la kaolinite sont caractérisés par une forte capacité de rétention et pauvre en recevoir des apports d'une manière fractionnée mais fréquemment dans le temps.

2.2. Les constituants organiques

Les teneurs en matière organique dans le sol sont caractérisées par leur extrême disparité. Elles vont de moins 1% dans les sols de désert à 100% dans les sols holorganiques (les Histosols ou les tourbières). Des valeurs de 1 à 5% sont couramment admises dans les horizons anthropiques de surface (0-15cm)

1. Les agents de l'humification

1.1. La microflore : elles jouent un rôle essentiel dans la transformation de la matière organique, elle est constituée particulièrement par des bactéries, champignons, actinomycètes

a. les bactéries : ce sont des E.V. qui s'adapte facilement au changement du milieu, leur importance est liée à la richesse en matière organique on peut trouver jusqu'à 03 millions d'unités pour 1 g du sol. Dans un sol pauvre en matière organique, la quantité peut aller jusqu'à 03 millions d'unités sur 01g du sol.

Dans un sol on peut rencontrer plusieurs types de bactéries parmi les bactéries spécialisées on peut citer : les azotobactères qui fixent l'azote atmosphérique dans leur cellule elle libère sous forme

plus assimilable pour les végétaux, les sulfabactéries ; qui réduisent le sulfate, les bactéries nitrifiantes ; qui transforme l'azote en nitrate.

La biomasse bactérienne peut atteindre quelque tonne par hectare pour une bonne activité du sol il faut un certain nombre de condition : une source d'énergie les bactéries très lares généralement l'énergie à partir de certaines éléments énergétique ces éléments sont le carbone, l'azote et le phosphore.

Les éléments nutritifs se trouve particulièrement dans les racines des végétaux c'est pour cette raison que concentration bactérienne est 100 fois plus importante autour des racines par rapport aux autres endroits.

L'humidité : pour une bonne activité bactérienne il faut une certaine humidité et aussi une certaines aération.

Le pH : la majorité des bactéries qui intéressent le sol sont active dans un pH voisin de la neutralité.

b. Les actinomycètes : ce sont des e intermédiaires entre les bactéries et les champignons en ait trouvé particulièrement dans les sols arides et les sols sableux, ils sont strictement aérobie et préfère pH alcalin, leur proportion peut atteindre 30 million unités pour 1g de sol .cette proportion augmente avec la sécheresse (plus le sol est sec plus les actinomycètes augmente).

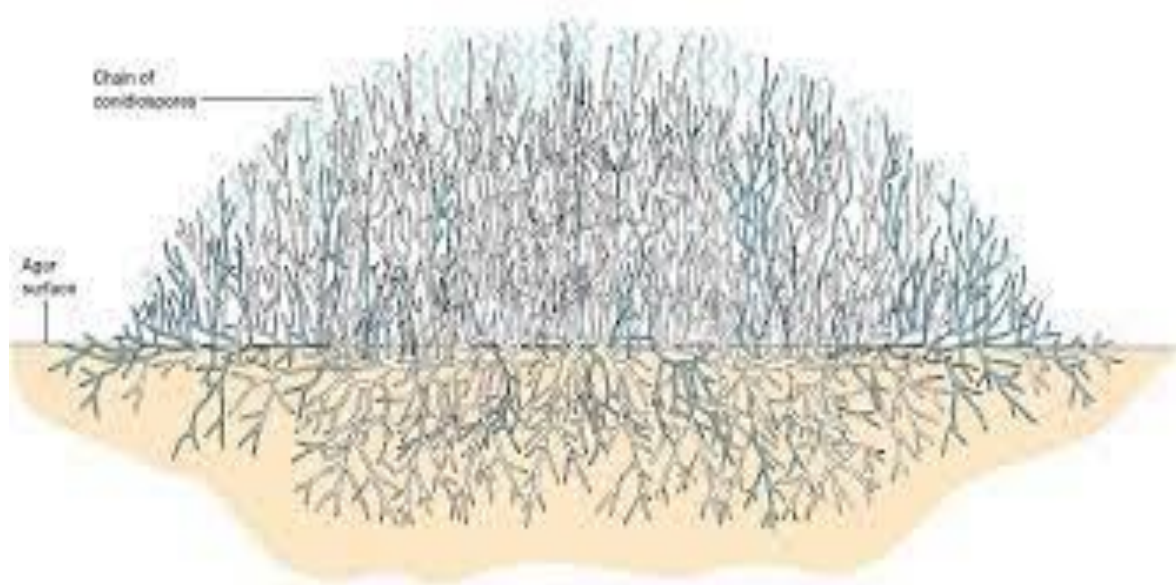


Fig.3: Coupe transversale d'une colonie d'actinomycète (Prescott et al., 2018).

c. Les champignons : ils sont très exigent en matière d'humidité et d'azote ils préfèrent les milieux aérer avec chaleur ambiante, les 02 genres les plus connus sont : penicillium et aspergillus les champignons peut se trouver pratiquement dans tout les sols, leur proportion

varié entre 1000 et 1500 kg/hectare .les champignons interviennent beaucoup dans les phénomènes d'association symbiotique (c.-à-d. association entre et végétal supérieur)

d. les algues : elles sont très exigent en matière d'humidité elle joue un rôle très important en pédogenèse, en altèrent la roche sur laquelle elle se déplace,

1.2. La faune du sol : elle se présente en deux catégories :

1.2.1. La macrofaune : se sont des E.V. dans la taille supérieure elles sont constitue l'insecte, termite, coléoptères, annélides, verre de terre, mammifères.

1.2.2. La microfaune : protozoaires, nématodes

2. Transformation et évolution de la matière organique fraîche

99% de la matière organique qui se trouve au niveau du sol est d'origine végétale d'autre part la décomposition des végétaux varies énormément d'une espèce a une autre mais d'une manière générale les constituants des végétaux sont les éléments suivants :

Cellulose : 20-50% de matière sec

Hémicellulose : 10-28% de matière sec

Lignine : 10-30% de matière sec

Protéine : 10-15% de matière sec

Tanins : cendre ou claire : 1-8% de matière sec.

Les débris des végétaux qui tombent sur le sol subissent transformation pour donner de matière organique à différente stades d'évolution.

Les étapes peuvent être distingue les uns les autres mais d'une manière générale elles sont en nombre de trois(03)

1. les débris qui arrivent subissent à lessivage grâce aux eaux des pluies et eaux des irrigations il va y avoir élimination de tous les produits solubles tels que les sucres, le phénol et les acides aminés.
2. C'est la phase de désagrégation physique, fragmentation des débris organiques .dans cette phase il y'a intervention de la faune du sol, les débris sont fragmentes et mais en contacte avec la partie minérale exemple : argile.
3. Phase de biodégradions elle est caractérisée par l'intervention des microorganismes du sol et également un certaine nombre des processus selon les constituants aux quels nous avons à faire .exemple : cellulolyse, ligninolyse, protéolyse.

1. la cellulolyse : au cour de son évolution la cellulose évolue pour donner des sucres telle que l'hexose, pentose..., l'évolution de la cellulose se fait au milieu aérobie et anaérobie :

Au milieu aérobie : la dégradation se fait par les mixo-bactéries et va donner du cellulose qui a son Tourne donnera des CO_2 et l'acide humique surtout si le sol est riche en calcium et en azote .si le sol est acide ce sont les champignons qui interviennent.

Au milieu anaérobie : la dégradation se fait par une bactérie très dangereuse au cours de ce processus il y'a fabrication de l'acide butyrique de méthane mais pas de formation de l'acide humique.

2. la ligninolyse : dans se processus qui s'effectue lentement

Les bactéries n'intervienne pas ce sont les champignons qui se charge la dégradation qui se fait également au milieu aérobie : la lignine donne des acides et des phénols et anaérobie : la lignine s'accumule pour donner de la tourbe.

3. la protéolyse : en milieu aérobie elle peut donner des acides et des protéines qui sont transformés en polypeptides puis en acide aminé et en fin en amide il est a noté que la décomposition des protéines peut se faire au milieu anaérobie.

3. Facteurs intervenant dans la décomposition de la matière organique

Ils peuvent être classés en deux catégories, les facteurs intrinsèques et les facteurs extrinsèques

3.1. Les facteurs extrinsèques

3.1.1.le climat : la décomposition et l'évolution la plus favorable de la matière organique se fait sous climat équatorial qui est caractérisé par une température voisine a $25^{\circ}C$ constante pendant toute l'année, sous ce climat l'évolution se fait lentement et favorablement mais dis quand se loin de ce climat la décomposition de la matière organique sera perturbé et se l peut être pour le manque d'humidité ou bien le manque de t° convenable (t° diminue). Dans ce dernier cas la matière organique n'est évolué pas mais a accumule a cause du manque d'activité des microorganismes.

3.1.2. L'aération : l'évolution de la matière organique exigent une certaine aération dans les conditions anaérobies la matière organique n'est évolué pas mais s'accumule par contre dans le sol très aérienne la matière organique évolue très rapidement.

Dans ce dernier cas la matière organique n'est évolué pas mais accumule a cause du manque d'activité des microorganismes

Évolution de la MO exigent une certaine aération, dans les conditions anaérobie la matière organique n'est évolué pas mais s'accumule par contre dans le sol très aérienne la matière organique évolué très rapidement.

3.1.3. La richesse en calcium : un sol fortement acide c a d pauvre en cation alcalin telle que le calcium le Mg le Na provoque une activité défavorable des bactéries et de la faune du sol

ceci participe à la formation d'un humus le plus favorable se développe sous le sol riche en cation particulièrement en calcium

3.2. Les facteurs intrinsèques :

Pour étudier l'évolution de la matière organique de ce côté nous sommes obligés d'étudier deux éléments énergétiques très importants qui sont le carbone et l'azote selon le rapport C/N

Le rapport le plus favorable de C/N est de 10_12

Le rapport le plus défavorable de C/N est supérieur à 12.

L'évolution de la matière organique lorsque le rapport C/N est supérieure à 12 se fait lentement c'est le cas des débris des végétaux riche en cellulose et si le rapport est inférieur à 10 la décomposition se fait rapidement le cas de la lignine

Les principales fractions de l'humus : les fractions qui composent l'humus sont ont le nombre de trois :

3.2.1. L'acide fulvique : c'est un ensemble de composé organique extraits de certains sels tel que les sels de sodium NaOH, ce sont des acides peu polymérisés ils sont constitués l'acide aminé et de tanins. Ils ont une double origine et peuvent prévenir de la solubilisation par eau de pluie, il peuvent prévenir parallèlement de la décomposition de la MO d'une manière générale de la présence d'une quantité importante d'acide fulvique dans le sol marque des conditions défavorables les acides fulviques se polymérisant facilement et donc sont très instables, les acides fulviques peuvent évoluer en traduits plus polymérisés pour donner des acides humiques plus stables.

3.2.2. les acides humiques : ce sont des composés organiques plus polymérisés qui ne peuvent être extraits également de sels de sodium ce sont des composés constituants d'un rayon cylindrique dense et sur lequel ont des ramifications des chaînes latérales polysaccharides et d'acide aminé

En résumé les acides humiques sont des substances polymérisées très stables, peu minéralisables car migration très faible mais ils participent à une bonne structure du sol ils sont une bonne valeur organique

3.2.3. L'humine : ils sont en quantité très importante dans le sol, ils sont très polymérisés c'est la raison pour laquelle on ne peut pas les extraire

Ils ont une très forte liaison avec les colloïdes minéraux ils ont également un noyau cylindrique.

4. Les propriétés générales de l'humus

La matière organique ne peut jamais être définie comme une substance chimique à composition bien déterminée mais d'une manière générale elle comprend deux parties

-la matière humique : peu à peu dégradé qui constitue 10-15% de la matière organique totale.

-la matière organique décomposé et évolue à différents stades d'évolution et qui constitue 85-90% de matière organique totale.

Pour déterminer la teneur en matière organique où sol en utiliser deux formules qui tien compte de deux éléments principaux le C et N.

$$\%MO = \%C \times 1.72$$

$$\%MO = \%N \times 20$$

4.1. Les principaux types d'humus

Il y'a différentes types de classification d'humus cependant celle que nous allons utiliser tien compte des catégories des critères suivants :

- ✓ La morphologie de l'horizon hémisphère au chaque.
- ✓ La composition de l'humus (par rapport à la fraction qui le compose)
- ✓ La liaison entre la matière organique et la matière minérale
- ✓ Le pH
- ✓ C /N
- ✓ L'intensité de la minéralisation

4.1. LE MULL

L'horizon hémisphère a une épaisseur variable de même que la teneur en matière organique (entre 02 et 14% de matière organique) la liaison entre la matière organique et la matière minérale est très intense .le rapport C/N varie entre 10et 15 et peut être considéré comme élevé et très favorable.

La faune est constitué particulièrement de verre de terre, alors que la microflore est constitué de bactéries et des actinomycètes.

Le pH est neutre a légèrement basique il existe des quantités négligeables d'acide fulvique mais qui attendent a ce polymérisé pour ce transformer en acide humique qui est très stable , ce type d'humus se trouver particulièrement dans les forets de feuillus de résineux (pin et sapin) et dans les sols a steppe et dans les terres culturales il existe 02 types de mull :

a. le mull calcique : se forme sur un sol saturé en calcium en aura formation d'acide humique gris riche en calcaire, le pH neutre ou basique il se forme sous un climat tempérées et la steppe.

b. mull doux ou forestier : se développe sur le sol faiblement acide pH5.5, l'humification est moins poussé, pauvre en calcaire en aura formation d'acide humique brun.

4.2. LE MODER : sol nettement acide à l'horizon humifère plus épi est riche en matière organique. L'humification est très lente car le Moder est pauvre en azote.

Le rapport C/N se situe entre 15 et 24, les organismes qui interviennent dans la formation de cette humus sont des champignons car le milieu est acide et pauvre en cations basique telle que Ca^{+2} et Mg^{+2} ce type d'humus peut être rencontre dans les forêts feuillus et des forets des résineux.

4.3. le MOR :

L'horizon humifère est constitué de mélange de matière organique et de matière minérale pas très intense le sol doit être très acide, pH supérieur à 3.5, la minéralisation de la matière organique se fait très lentement, le rapport C/N est très élevé (supérieur à 24)

Formation d'acide fulvique est très importante ceci provoque la migration des argiles et ceci qui oxyde c'est un humus défavorable, les organismes qui interviennent sont des champignons. Ce type d'humus est fréquent sous un climat très humide et climat froid, il nous rencontre sous forêt de résineux.

Ces trois types d'humus se forment en aérobie.

Les deux types d'humus se forme en anaérobie sont :

4.5. L'ANMOOR : l'absence d'oxygène est due a la composition du sol ou a la présence d'une nappe d'eau temporaire c'est un humus qui se développent sur des sols humides lorsque la nappe phréatique remonte pendant une partie de l'année (période hivernale) en va avoir des conditions d'anaérobie temporaire pendant la période sèche de l'année.

La minéralisation est rapide.

La liaison entre la matière organique et la matière minérale intense.

Horizon humifère très riche en matière organique il est également très épis.

Le rapport C/N est au tour de 12.

4.6. La tourbe : c'est un humus qui se développe dans des conditions d'anaérobie totale c à d la nappe phréatique se maintient a la surface du sol pendant toute l'année, dans ces conditions la matière organique n'évolue pas mais elle s'accumule pour donner la tourbe.

On a deux types de tourbes ;

La tourbe acide : elle se forme sur la roche mère qui est pauvre en bases échangeables (Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^{+})

La tourbe calcique : se forme sur une roche mère tres riche en base échangeable (Ca^{+2})

4.2. Les fonctions d'humus

4.2.1. L'influence sur les propriétés physiques :

La présence de la matière organique en quantité importante dans le sol se traduit par un changement de couleur du sol qui vire vers le noir cette variation intervient dans le pouvoir calorifique du sol c'est l'albedo.

La matière organique possède un pouvoir d'absorption d'eau ceci permis au végétaux de moins souffrir dans les conditions de saturation du sol par l'eau.

L'humus jouer un rôle très important dans la formation de la structure du sol, il intervient dans la remontation des particules les autres parts d'humus.

4.2.2. L'influence sur les propriétés physico-chimique :

Les colloïdes organiques sont changer comme les argiles négativement donc ils sont la possibilité de fixer les charges positifs (les cations) ceci permet d'augmenter la capacité d'échange cationique du sol, il est a rappelé que le CEC de l'humus varier entre 200 et 600 méq /100g d'humus)

La matière organique est une source d'éléments nutritifs qu'est libérable à long terme.

4.2.3. Influence sur la physiologie végétale :

La matière organique à une action sur le développement des racines

Elle augmenter l'absorption (fixation) des éléments nutritifs à la surface des racines.

Influence favorable sur le métabolisme des certaines éléments énergétiques telle que le phosphore, l'azote et le carbone

Action favorable sur la respiration des racines et enfin la matière organique fourme au sol des hormones de croissance.

4.3. Le moyen d'enrichir le sol en matière organique :

- Les apports des débris organiques ; les engrais, les déchets des animaux.....
- Le choix d'un système de rotation des cultures
- Le contrôle des facteurs de l'évolution de la matière organique par les techniques culturales.

2.3. Les complexes colloïdaux

Définition : Les colloïdes sont des macromolécules organiques ou minérales qui, placées dans l'eau, ne forment pas une solution, mais forment une suspension colloïdale.

Complexe absorbant : complexe constitué par les colloïdes du sol (essentiellement argiles et composés humiques) qui peuvent retenir autour de leurs molécules électronégatives soit des protons H^+ soit des cations métalliques qui sont échangeables avec les ions positifs en solution dans le sol.

1. le complexe argilo-humique

De nombreuses études ont montré que la majeure partie de la matière organique humifiée est intimement liée à la fraction argileuse du sol : fréquemment, 50 à 80 % de cette Matière organique est adsorbée sur les argiles. Il est toutefois difficile de savoir avec précision Quelle est la surface des particules argileuses qui est couverte par les composés humiques. Quant à la nature des liaisons, plusieurs mécanismes ont été évoqués

- Attraction électrostatique par le biais de ponts cationiques (Ca^{2+} , très efficace, Al^{3+}) ou hydroxydiques [$\text{Fe}(\text{OH})_{n+}$, $\text{Al}(\text{OH})_{n+}$] entre groupes carboxyles, phénoliques, ... et le feuillet argileux.
- Liaison par ponts hydrogène.
- Adsorption physique (forces de van der Waals).
- Complexes de coordination (Complexes organo-métalliques).

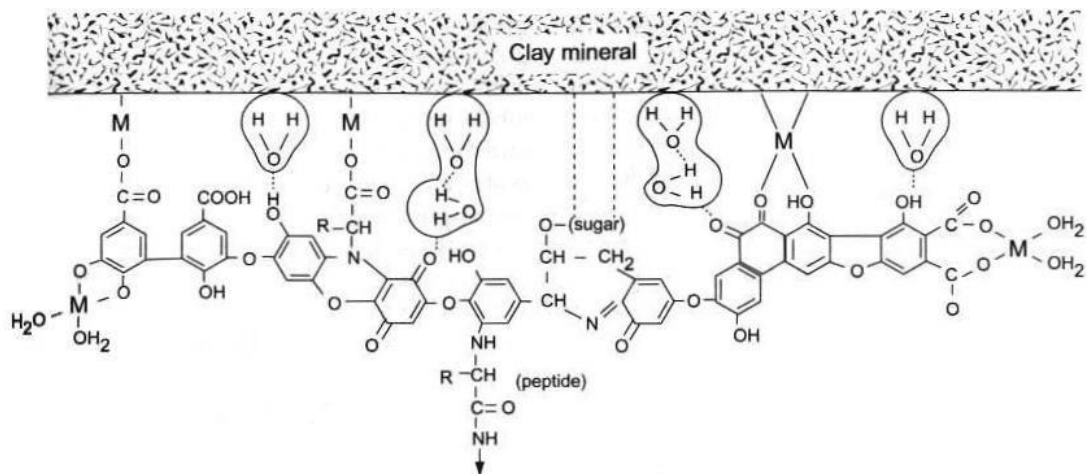


Fig.4 : Représentation schématique du complexe argilo-humique du sol (*in* Stevenson, 1982).

Dans certains cas, on a pu mettre en évidence une véritable pénétration de composés organiques dans l'espace interfoliaire des minéraux 2:1 expansibles (smectites).

Il est probable que ces différents types de liaisons sont simultanées et fonction de la nature des composés organiques et minéraux. Lorsqu'il y a un nombre suffisant de points de contact entre composés organiques et argiles, il devient virtuellement impossible de séparer Les deux constituants.

Il est clair que la formation d'un complexe argilo-humique a pour effet de favoriser la structuration du sol par augmentation de la cohésion des agrégats.

-Le complexe argilo-humique est ainsi un véritable réservoir d'éléments nutritifs pour la culture.

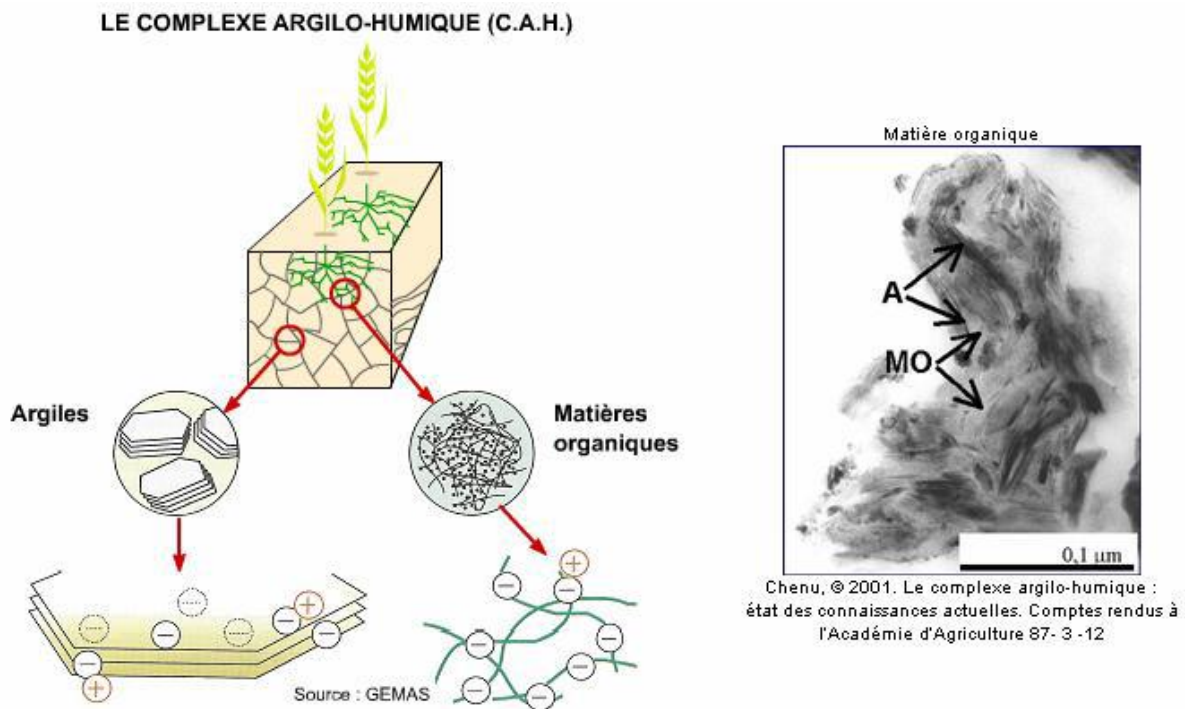


Fig.5 : le complexe argilo-humique état des connaissances actuelles

2. le complexe argilo-métallique

Il s'agit cette fois d'une liaison entre des composés organiques humifiés (AF, AH) ou des substances organiques simples (acides organiques, polyphénols,...) et des cations métalliques, tout spécialement le fer, l'aluminium et les oligoéléments. Il se forme de la sorte une "association" organométallique, plus ou moins stable, de type chélate. On parle de phénomène de chélation, de complexation ou encore de séquestration.

Les cations monovalents (Na^+ , K^+) et bivalents (Ca^{2+} , Mg^{2+}) sont retenus sur les composés humiques essentiellement par un simple phénomène d'échange cationique

Par contre, des cations polyvalents tels que Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} (oligoéléments), mais aussi Fe^{2+} (probablement aussi Fe^{3+}) et Al^{3+} ont la possibilité de former avec des composés organiques des liens de coordination¹.

La liaison cation métallique-constituant organique s'effectue par le biais d'un complexe de coordination dans lequel les anions oxygène entourent le cation métallique (covalence coordinative).

Chapitre 3 : L'organisation morphologique des sols

3.1. Les organisations élémentaires

Sous le terrain, on peut distinguer plusieurs niveaux d'organisation, ce sont des volumes pédologiques qui rassemblent les constituants (particules élémentaires), ces organisations sont partiellement visibles à l'œil nu (Ex: les agrégats, les couleurs, les vides, traces d'activité biologique..etc.) , et partiellement à l'aide de microscope. A partir de là, un sol va avoir différentes caractéristiques que l'on peut déterminer en effectuant des analyses physico-chimiques.

3.1.1. Texture des sols : Les caractéristiques essentielles d'un sol sont fonction des proportions relatives de ses divers constituants. On distingue 2 grandes catégories de constituants : minéraux et organiques. Les constituants minéraux peuvent être subdivisés en fonction du diamètre des particules élémentaires. Un petit nombre de classes de dimensions ont été définies dans ce but. Elles ont été présentées à propos de l'étude du sol en place.

3.1.2. Structure des sols : Les particules élémentaires constituant le sol ne sont pas normalement individualisées, mais associées en agrégats. La structure du sol est définie par l'agencement des éléments les uns par rapport aux autres. Elle englobe la forme et la dimension des mottes, ou éléments structuraux, et leur disposition relative dans un horizon déterminé.

3.2. L'horizon pédologique

Les pédologues du monde entier désignent les différents horizons par des lettres majuscules A.B.C.R. Ils y attachent une signification qui peut varier légèrement d'un pays à l'autre.

Les pédologues français ont adopté la terminologie suivante :

- **Horizon A**

Cet horizon est subdivisé en $A_{00} - A_0 - A_1 - A_2 - A_3$

L'horizon A est un horizon majeur occupant la partie supérieure ou l'ensemble du profil et présentant l'un ou l'autre des caractères suivants ou les deux en même temps :

a. Présence de matière organique.

b. Appauvrissement en constituants tels que argile, fer, alumine, etc)

Les horizons A_{00} , A_0 d'une part, les horizons A_1 , A_2 , A_3 d'autre part, se superposent dans l'ordre indiqué quand ils sont présents simultanément dans le profil.

A₀₀ : Horizon de surface, formé de débris végétaux facilement identifiables (feuilles, brindilles et autres) et non reliés ensemble par du mycélium. Cet horizon correspond à ce que divers auteurs désignent parfois par la lettre L. :

A₀ : Horizon constitué principalement de débris végétaux ou partiellement décomposés et pratiquement non reconnaissables sur le terrain. Les horizons peuvent être subdivisés en F et H, La couche H distingue de F par l'absence complète des structures végétales. A l'analyse, ils contiennent en général plus de 30% de matière organique totale. Ils sont mesurés de bas en haut à partir du sommet de A₁. Certains de ces horizons peuvent manquer.

L'horizon A₁ : est un horizon minéral présentant en général moins de 30% de matière organique bien mélangée à la partie minérale, et de couleur généralement sombre. Il peut être ou non un horizon éluvial.

L'horizon A₂ : est un horizon de couleur plus claire que l'horizon sus-jacent; il est appauvri en fer, en argile, en aluminium avec concentration corrélative de minéraux résistants. C'est un horizon d'éluviation par lessivage de matériaux en solution ou suspension. Les éléments se déplacent généralement à l'état dissous ou dispersés vers l'horizon B et / ou hors du profil.

L'horizon A₃ est un horizon de transition entre A et B, mais il est plus proche de A que de B. Si l'horizon de transition ne peut être valablement à l'un ou à l'autre, on écrira AB.

Horizon B : Horizon majeur situé au-dessous de A et caractérisé par des teneurs en argile, en fer, en humus, plus élevées qu'en A ou C. Cet enrichissement peut être dû, soit à des transformations sur place des minéraux préexistants, soit à des apports illuviaux. , alors On désigne alors cet horizon par B.

Si la variation de teneur est très faible et que la différenciation avec A ou C ne porte que sur la consistance, la structure ou la couleur, on désignera cet horizon par (B). Une lettre minuscule, placée après B, précisera la nature de l'enrichissement ou de la différenciation. L'horizon est divisé en B₁ Horizon de transition avec A, mais plus proche de B que de A.

B₂ Horizon constituant la partie essentielle de B, correspondant soit à l'accumulation principale, soit au développement maximum de la différenciation • **B₃** Horizon de transition avec C, mais plus proche de B que de C.

N.B. On peut affecter les horizons d'un nouveau chiffre secondaire (tel que B₂₁ , B₂₂ ... , etc ...) sans autre signification que d'avoir introduit une subdivision.

Horizon C : Horizon minéral, autre que la roche brute, placé sous B (ou sous A, s'il y a pas de B), analogue ou différent du matériau dont dérive la coupe AB et relativement peu affecté par les processus pédogénétiques ayant conduit à l'individualisation des horizons A et B sus-jacents et ne présentant pas leurs caractéristiques

Horizon R : Roche brute sous-jacente. En cas de discontinuité lithologique, on désigne chaque matériau originel par un chiffre romain qui précèdera l'horizon. S'il n'y a qu'un seul matériau, on émet le chiffre romain. Dans le cas de plusieurs matériaux , celui du dessus (1) peut être emis.) Ex.: A₁ -A₂ - B₁ - B₂₁ - II B₂₂ - II B₃ - II C₁ - III C₂ - IV R

3.3. Les profils pédologiques

Le sol se compose normalement de plusieurs couches, appelées horizons. Ceux-ci se distinguent par leur structure, leur texture et leur composition. Pour étudier le profil d'un sol (à savoir la succession et l'épaisseur des différents horizons qui le composent), on aménage une fosse verticale d'un ou deux mètres de profondeur en creusant perpendiculairement à travers le sol. L'horizon A, situé directement au-dessous de la surface, est la couche supérieure du profil. Il est enrichi d'humus. Au-dessous, on trouve l'horizon B. La couche inférieure, la roche-mère, forme l'horizon C. Des sols ayant le même profil affichent des propriétés comparables. Ils sont regroupés en types de sols. Le profil est soigneusement préparé, sur la face la mieux éclairée, en faisant disparaître les lissages dus aux outils. De nombreux éléments sont systématiquement notés :

- Epaisseur des couches, l'humidié, couleur
- Texture
- Grosseur et nature des cailloux, racines
- Structure (assemblage des constituants du sol) : Type, dimension, cohésion , consistance, lissage , etc...
- Matière organique : couleur, odeur
- Taches, concrétions, cavités de vers, etc...

3.4. La couverture pédologique

Le terme couverture(s) pédologique(s) au singulier ou au pluriel 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, qui se transforment constamment, différemment, 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.

3.4.1. Les étapes d'étude des sols et de la couverture pédologique.

Après un travail préparatoire au bureau (étude de cartes et de documents), le pédologue se rend sur le terrain pour étudier la couverture pédologique. Sur place, il fait un relevé des éléments observables: formations superficielles (litière, colluvions, dépôts alluviaux,...), état du relief, nature de la végétation, de la faune, présence des activités humaines, caractéristiques du climat... L'analyse du paysage va lui permettre de faire un choix raisonné d'emplacements pour creuser dans le sol une ou des fosses d'observation. Chaque tranchée creusée à un endroit déterminée dans la couverture pédologique, sur une profondeur allant de la surface du sol à la roche mère sous-jacente, offre une coupe verticale du sol à cet endroit, on l'appelle le "solum ou profil pédologique". Le solum permet l'observation, la description, l'étude, l'analyse des composants du sol, la reconnaissance des différents "horizons" et la dénomination des sols. Les coupes naturelles (effondrement, érosion, ...) ou artificielles comme les carrières, les tranchées de routes et de voies ferrées peuvent également être utilisées à cet effet.

3.4.2. Le solum et son environnement

Sur des fiches, le pédologue décrit et situe dans un premier temps le solum dans son environnement géomorphologique (versant, cuvette, fond de vallon, croupe, crête, plateau, ...) , et topographique (altitude, position selon les courbes de niveau, exposition, valeur de la pente, ...), il note l'aspect de surface (affleurement de roches dures ou tendres), la pierrosité de surface (abondance, nature, dimension des éléments grossiers) , répertorie la végétation et relève les données climatiques présentes (sécheresse, pluie, humidité, niveau de la nappe phréatique). Il passe ensuite à l'examen du solum.

3.4.3. Examen du solum

L'observation de la paroi de la fosse pédologique fait apparaître dans son axe vertical, à des niveaux différents des couches superposées marquées par des changements plus ou moins rapides de couleur, de structures, de textures du sol, d'abondance des éléments grossiers, on note également la présence et la disparition de l'enracinement et parfois l'existence de concrétions minérales. Ces couches empilées, plus ou moins parallèles à la surface , relativement homogène, sont appelées des " horizons". Les "horizons" sont la base pour la description de la couverture pédologique.

3.4.4. Découpage du solum en horizons

Le pédologue détermine et découpe verticalement de façon raisonné le solum en horizons. Il note leur profondeur d'apparition, leur épaisseur, leur position par rapport à la surface du sol

et aux autres horizons, si la transition entre deux horizons est nette ou progressive, ... Une fois défini chaque horizon va être étudié séparément, ses caractéristiques relevées sur le terrain vont être complétées par des prélèvements d'échantillons suivis de leur analyse en laboratoire. Chaque horizon va ensuite selon ses caractéristiques être rapproché d'un horizon de référence, répertorié dans le Référentiel pédologique

3.5. Le sol et l'eau

3.5.1. Etat de l'eau dans le sol

Le sol a la propriété de retenir l'eau dans les interstices des particules solides, où il existe des formes de rétention qui permettent à l'eau d'échapper partiellement à l'action de la pesanteur, mais qui la rendent, dans une certaine mesure, inutilisable par les végétaux. L'eau s'étale sur les particules solides sous forme de films d'autant plus épais que le sol est plus humide. Au contact de 2 particules, le raccord des films conduit à la formation de ménisques, délimitant des manchettes. L'eau des films est soumise à une pression due aux forces d'adhésion, d'autant plus élevée que le film est plus mince, et les ménisques plus incurvés. Cette pression est souvent appelée " **pression capillaire**, ou encore tension d'humidité.

En sol saturé d'eau, il n'y a ni film ni ménisque, et la pression capillaire est nulle. En sol humide mais ressuyé, l'air a pénétré dans le sol, et la pression peut varier de 100 à 1000 g/cm². En sol desséché à l'air libre, la pression capillaire peut atteindre 1000 atmosphères. On étudie en général, non pas la pression capillaire elle-même, mais son logarithme décimal, correspondant à la notation pF qui exprime le degré réel de sécheresse du sol: en effet, une même quantité d'eau dans un sol argileux et dans un sol sableux sera disponible de façon très différente dans les 2 cas. Chaque échantillon de sol est caractérisé par une courbe caractéristique des pressions capillaires en fonction du taux d'humidité: c'est la courbe humidité /pF.

3.5.2. Déplacements de l'eau dans le sol.

Il existe plusieurs modes de déplacement de l'eau dans le sol :

- a) **L'eau peut diffuser à l'état de vapeur** : Elle circule alors des points les plus chauds vers les points les plus froids (donc de la profondeur vers la surface la nuit et inversement le jour) et des points humides vers les points secs, mais ceci seulement lorsque le taux d'humidité est inférieur au point de flétrissement. Ce processus peut être important, mais il est limité aux quelques centimètres superficiels du sol.
- b) **Diffusion capillaire** : L'eau circule alors, à l'état liquide, d'un point humide vers un point plus sec, ce qui correspond à une tendance des films d'eau à s'étaler selon une

épaisseur uniforme. On peut ainsi expliquer certains phénomènes d'ascension de l'eau dans un sol sec. Mais il existe de nombreux cas d'exception à la loi de la diffusion capillaire. Par exemple, l'expérience montre que l'imbibition par le bas d'une colonne de sol sec à partir d'une nappe libre n'intéresse qu'une hauteur limitée de terre • Même l'existence d'un fort gradient d'humidité au contact sol sec - sol humide est insuffisante pour assurer la diffusion de l'eau dans ce cas. Un phénomène analogue peut se manifester lors de l'arrosage de la surface d'un sol sec, Par contre, tout le réseau liquide est susceptible de se mouvoir en bloc vers le haut lorsque les horizons superficiels sont soumis à une évaporation ou à la succion des racines : il s'agit d'un processus particulier de la diffusion capillaire, qui a reçu le nom de "**déplacement de l'eau sous forme de films**". Ce déplacement est indépendant du sens et de la valeur du gradient d'humidité. Il fait intervenir la cohésion de l'eau, dont le déplacement correspond au mouvement d'ensemble des films. Les couches de sol affectées par le phénomène d'évaporation seront donc d'autant plus épaisses que les films seront plus longs.

3.5.3. Besoins en eau des cultures :

L'eau de constitution des végétaux frais ne constitue qu'une très faible partie des quantités nécessaires aux plantes. La fraction la plus élevée ne fait que traverser le végétal pour être éliminée au niveau des feuilles par la transpiration. D'où l'intérêt de la mesure de la quantité d'eau transpirée par le végétal lorsque l'eau ne fait pas défaut. Cette quantité d'eau, Additionnée de l'eau perdue au niveau du sol par évaporation, constitue l'évapotranspiration potentielle. Elle est à peu près indépendante du type de végétation, et, liée étroitement aux données météorologiques (température, humidité de l'air, vent, radiation globale...).

Lorsque l'alimentation de la plante en eau n'est plus assurée dans des conditions optima (sécheresse du sol, mulch naturel, épuisement des réserves), l'évapotranspiration réelle est inférieure à l'évapotranspiration potentielle.

La connaissance de **l'évapotranspiration potentielle** et des précipitations conduit à calculer par différence, le déficit théorique d'eau du sol, compte tenu du fait que les réserves sont regarnies en fin de saison humide. Si le déficit réel varie comme le déficit théorique, c'est que l'évapotranspiration réelle est équivalente à l'évapotranspiration potentielle. S'il augmente moins vite, il y aura soit économie de l'eau qui peut être bénéfique au végétal, soit sécheresse (couvert végétal clairsemé, flétrissement...).

En conclusion, les besoins en eau du végétal sont essentiellement fonction du climat, mais ils dépendent également de la période pendant laquelle le végétal couvre le sol et est en plein

développement. La quantité d'eau disponible varie selon les caractères du sol. (texture et structure) mais aussi selon l'extension de l'enracinement.

3.6- L'atmosphère du sol

3.6.1.La porosité : est ensemble des espaces remplis d'air ou d'eau, à un moment donné de l'année.

- Sol normal 25%
- Sol tassé < 10%
- Sol aéré et riche en Matière Organique est supérieur à 50%

La porosité augmente l'activité de la vie biologique (bactéries aérobies)

La porosité peut varier :

- Au cours des saisons : \searrow en saison pluvieuse (effet de la pluie)
- Avec le pâturage : \nearrow avec le surpâturage
- Avec le travail du sol : \nearrow avec le labour, herse \searrow avec rouleau, pneus
- Avec le % de Mat. Organique : \nearrow avec le % de Mat. Organique
- Avec le pH du sol : \searrow avec l'acidité et le manque de Ca^{++}

Effets d'une mauvaise aération prolongée du sol (excès d'humidité, structure déficiente, tassement excessif, etc.):

- asphyxie des racines
- dépérissement des légumineuses
- développement de fermentations anaérobies et production de substances toxiques (CH_4 , H_2S , etc.)

3.6.2.Amélioration de l'aération du sol

Dans un sol bien aéré, la macroporosité (porosité d'aération) devrait dépasser 10%. élimination de l'excès d'eau - amélioration de la structure.

Dans le sol: $\text{CO}_2 + \text{O}_2 \approx 20\%$

Production journalière moyenne de CO_2 : 3 – 5 g / m².

Un gaz peut se retrouver dans l'une des 3 phases:

- phase liquide (solution du sol)
- phase solide (particules de sol)
- phase gazeuse (air du sol)

Le Flux convectif de gaz associé à un gradient de pression.

3.7. La température du sol

Pour la première fois, une équipe internationale de recherche a réussi à cartographier de manière globale les températures qui règnent dans les quinze premiers centimètres du sol. Ainsi, la température de la zone superficielle du sol montre des écarts de l'ordre de 3°C, en moyenne, par rapport à la température de l'air mesurée sous abri météo, avec des écarts pouvant atteindre jusqu'à 10°C par endroit et suivant les saisons. Ces écarts de températures sont importants pour la compréhension de la distribution spatiale des organismes vivants dans le sol et des processus biologiques associés, comme la dégradation de la matière organique où le couplage des cycles du carbone et de l'azote dans les sols. Ces résultats ont été publiés dans la revue *Global Change Biology*. (fig.5)

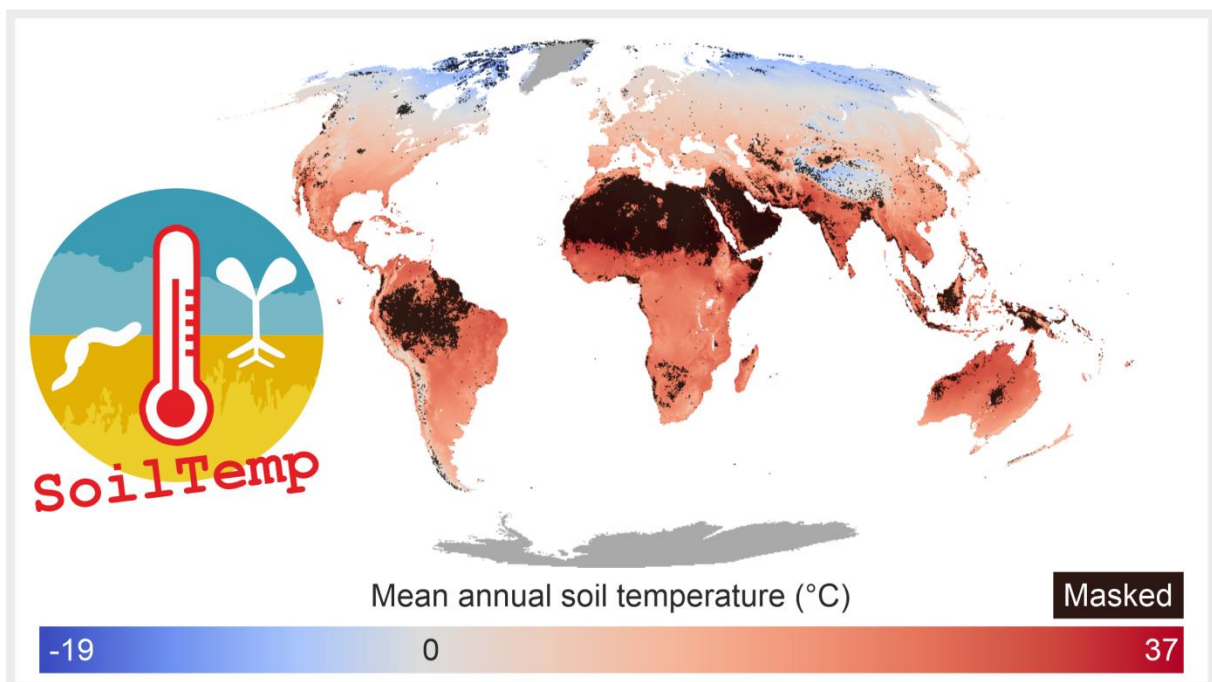


Fig.6 : Carte globale des températures moyennes annuelles dans la première couche superficielle de sol (0-5 cm) telles que ressenties par les organismes vivants responsables de l'activité biologique des sols (Source : Julia Kemppinen, Johan van den Hoogen & Jonas Lembrechts).

N.B. Les zones en noir sur la carte correspondent aux zones géographiques pour lesquelles il existe un trop grand risque d'extrapolation des prédictions issues de nos modèles.

La plupart des cartes de températures disponibles à l'échelle globale donnent la température de l'air telle que mesurée par les stations météorologiques, c'est-à-dire sous abris et à une hauteur standard comprise entre 1,25 et 2 m au-dessus du sol, suivant les normes de L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Pour rendre compte des conditions réelles de températures telles qu'elles sont ressenties par les organismes vivant responsables de

l'activité biologique dans le sol et à proximité de l'interface air-sol, une équipe internationale de recherche a, pour la première fois, cartographié de manière globale les températures qui règnent dans les quinze premiers centimètres du sol.

Les données de mesures de températures du sol se sont multipliées au cours de ces dernières années grâce, notamment, à la commercialisation de mini-capteurs à bas prix permettant de suivre et d'enregistrer, de manière autonome et suffisamment précise, les variations de températures telles que ressenties localement. La multiplication de ces enregistrements en différents endroits du monde a entraîné la création très récente d'une base d'envergure mondiale, nommée *SoilTemp*, qui recense l'ensemble de ces données de températures. Cette base cofondée par Jonas Lembrechts et Ivan Nijs, de l'Université d'Anvers en Belgique, et Jonathan Lenoir, chercheur au CNRS, a servi de socle à la cartographie globale des températures du sol. A l'aide d'un algorithme d'apprentissage automatique nourri des données issues de plus de 8500 mini-capteurs disséminés à travers le monde, l'équipe de recherche a mis au point plusieurs modèles prédictifs basés, en partie, sur les propriétés physico-chimique des sols et sur les conditions climatiques à long terme (1979-2013) qui sont déjà disponible à 1 km de résolution à l'échelle globale. Ces modèles ont permis de spatialiser, pour chaque unité spatiale de 1 km², les conditions de températures (moyenne annuelle, maximum du mois le plus chaud, minimum du mois le plus froid, amplitude thermique annuelle, etc.) entre 0 et 5 cm ainsi qu'entre 5 et 15 cm de profondeur pour une majorité de biomes terrestres.

« C'est la première fois que l'on dispose d'une telle carte sur les conditions de températures dans le sol à une aussi grande étendue spatiale », affirme Jonathan Lenoir, à l'initiative de cette étude. *« C'est une véritable avancée scientifique et technique qui permettra sans nul doute d'améliorer nos connaissances des processus biologiques à l'interface air-sol »,* ajoute-t-il.

Les résultats de cette cartographie globale montre que la température moyenne annuelle des cinq premiers centimètres de sol est en moyenne 3.6°C ($\pm 2.3^\circ\text{C}$) plus chaude que celle de l'air sous un abri météo dans les biomes les plus froids et/ou les plus secs du globe, comme la toundra, la taïga ou les déserts subtropicaux. Dans les biomes plus chauds et humides, comme dans les savanes tropicales ou dans les forêts tropicales humides, la température moyenne

annuelle du sol est plus fraîche de 0.7°C ($\pm 2.7^{\circ}\text{C}$), en moyenne, que celle de l'air sous abri météo.

La distribution géographique de ces écarts observés entre température moyenne annuelle de l'air et du sol suggère que l'amplitude de l'augmentation des températures du sol sous l'effet du réchauffement climatique global ne sera pas la même que celle observée pour la température de l'air. Ainsi, une augmentation des températures moyennes annuelles de l'air de l'ordre de 1°C entraînera une augmentation moindre ou plus grande des températures moyennes annuelles dans le sol suivant l'endroit dans lequel on se trouve. Il est difficile de se prononcer sur les tendances futures car nous manquons de données à long terme pour l'évolution des températures du sol. Néanmoins, ces écarts observés ne sont pas sans conséquences sur la distribution spatiale des organismes vivant dans le sol et à proximité de l'interface air-sol.

3.8. La couleur du sol

Les couleurs sont des éléments essentiels à prendre en compte lors de la description des sols. Elles guident le pédologue pour distinguer les différents horizons avant de commencer la description systématique qui s'opère horizon par horizon. La couleur n'est pas un caractère trompeur : chaque modification est significative d'un changement dans les proportions d'un ou plusieurs constituants, ou bien d'un changement de leur état. Pour les profanes, la couleur des sols français pourrait paraître presque toujours brune. En réalité, il y a beaucoup de nuances dans la gamme des "bruns" et il y a aussi beaucoup d'autres teintes qui, toutes, peuvent fournir des informations très utiles et immédiates. Les trois principaux agents colorants des sols sont :

- ✓ le fer, par ses oxydes au sens large : colorations rouges, violacées, rouille ou brunes en milieux oxydants, bleuâtres ou verdâtres en milieu réducteur ;
- ✓ les matières organiques : colorations noires ou brunes ;
- ✓ et le calcaire : coloration blanche.

Chapitre 4 : Les propriétés chimiques du sol

4.1. Les phénomènes d'échanges des ions

Les propriétés physico-chimiques du sol sont liées à la présence des colloïdes constituant le complexe adsorbant du sol (CAH)

4.1.1. Le complexe adsorbant du sol

Le CAH du sol est représenté par la fraction solide de diamètre <2 mm qui consisté un mélange de la matière organique et de matière minérale (argile +oxyde+hydroxyde)

Cet ensemble consisté la phase colloïdale responsable de la plupart des réactions chimiques qui se déroulent dans le sol

C.A.H.=(oxydes+hydroxydes+argile)+matière organique

Cette partie est chargée le plus souvent négativement, mais nous pouvons rencontrer dans la solution colloïdale du sol des charges positives comme les oxydes de fer et oxydes d'aluminium (Al^+)

A. Origines des charges

✓ Isomorphisme

C'est à la suite d'une substitution isomorphique avec perte de charge positive exemple : des ions Si^{+4} et Al^{+3} se trouvant au centre du tétraèdre et l'octaèdre Al^{+3}/Mg^{++}

✓ Liaisons de bordure

La cassure des feuilles d'argile permet la création de charges qui augmente la capacité d'échange cationique exemple : si on casse de la kaolinite dans l'eau qui s'hydraulise , il y aura fixation d'un OH sur la partie libre du Si et un H^+ sur la partie libre de l'atome O_2

B. Dissociation électrolytique

Les surfaces des colloïdes sont recouvertes par 2 groupements actifs et ionisables

a) groupement carboxyle : COOH

Il y trouve sur les colloïdes organiques la dissociation de ces groupements libres de l'hydrogène et permettant ainsi la création de charge négative qui va attirer les cations

L'ionisation de ces groupement est fonction du pH, elle a lieu seulement lorsque le pH est inférieur à 6. Elle est plus importante lorsque le pH est bas.

b) le groupement hydroxyle : OH

L'ionisation de ces groupements se fait lorsque le pH est supérieur à 6 , elle est de plus en plus importante lorsque le pH est élevé (basique) et lorsque la charge induite est négative .

C. les caractéristiques des complexes adsorbants

La capacité d'échange cationique : la C.E.C. c'est la quantité de cations de toutes sortes fixées sur le complexe adsorbant pour une quantité du sol donnée. Elle est de 100 g

généralement en d'autre terme c'est le nombre de site négative se trouvant sur le complexe adsorbant. (fig.6)

Détermination de CEC : on a 2 méthodes.

- la méthode de percolation et la centrifugation
- en utilisant l'acétate d'ammonium AcNH_4 et l'acétate Na^+

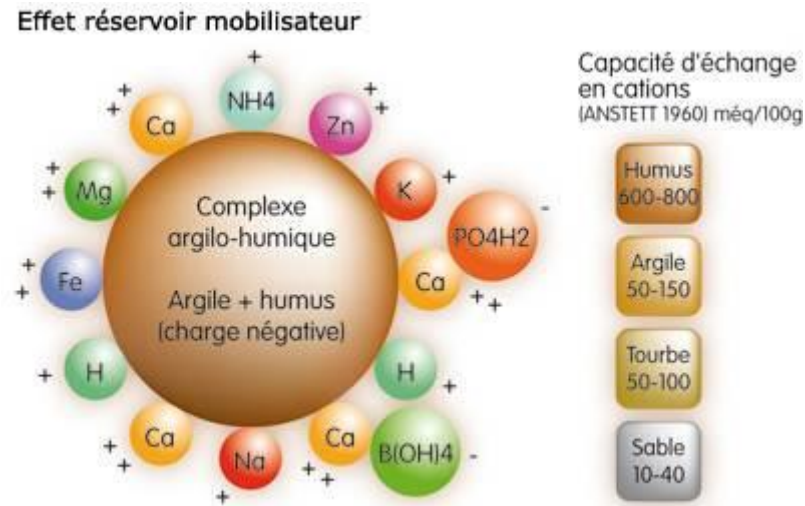


Fig.7 : capacité d'échange en cations (ANSTETT 1960)

D. origine de l'acidité du sol :

La concentration des ions H^+ dans le sol est liée a la matière organique particulièrement d'origine ligneuse et résineux.

Ligneuse : les végétaux qui ont plusieurs cycle (arbre)

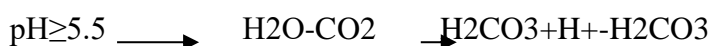
Résineux : conifères qui ont des feuilles en forme d'aiguilles qui résistent à l'altération en libérant des acides organiques (pin et sapin)

Les activités humaines :

Pratique culturale → fertilisation en sulfate de potassium(K_2SO_4)

Pour équilibrer cette acidité le sol exerce un pouvoir tampon

Le pouvoir tampon pour lutter contre l'acidité



$\text{pH} \leq 5.5 \longrightarrow$ la dégradation de la matière organique assure un équilibre

E. Échelle de l'acidité et la basicité du sol

Le potentiel Hydrogène exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité sur une échelle de 0 à 14

Il est important de connaître le pH de son sol, car le choix des végétaux en dépend, ceux-ci se développeront mieux si ils sont plantés dans une terre dont le taux d'acidité correspond à leur besoin.

Le pH influe sur la disponibilité d'éléments nutritifs présents pour les plantes, et sur la faculté de ceux-ci à les assimiler.

F. Origine de la basicité du sol

Sol calcaire

Ce sol est caractérisé par un pouvoir tampon plus important, il résiste à tout changement et modification brutale de la composition chimique de la solution du sol $\text{pH} \approx 8.5$

Sol halomorphe : ce sont des sols sodiques c-a-d à base de sodium Na.

Au contact de H_2O et CO_2 de l'atmosphère il y a formation de NaHCO_3 (bicarbonate de sodium) et de carbonate de sodium (NaCO_3).

Ce sol est caractérisé par un $\text{pH} \geq 8.5$

G. Influence du pH

Le pH du sol exerce des influences considérables sur les êtres vivants

a. **Sur les végétaux** : il existe des groupes des végétaux

-les végétaux acidophiles : exemple le joncus

-les végétaux neutrophiles : les cultures ; le blé et les arbres

-espèces basidophiles ; sur le sol salé

-microflore : bactéries et champignons ; sur sol acide.

b. **sur les animaux** :

l'influence de pH sur les animaux est plus connue car ils sont capables d'éviter les milieux défavorables mais on constate que dans les protozoaires sont adoptés dans le sol acide, et les vers de terre se multiplient rapidement dans les sols neutres ou légèrement alcalin

9. potentiel d'oxydoréduction

Si le milieu est sec \Rightarrow saturation en O_2

Si le milieu est saturé en H_2O \Rightarrow absence d' O_2

Définition : dans un sol humide ou gorgé d'eau il existe un équilibre entre l'oxydation et la réduction.

4.2. Les propriétés électroniques du sol

Un faisceau d'électrons est utilisé le microscope électronique qui permet d'obtenir des photographies des particules. Constituant le sol. Les minéraux argileux présentent des assemblages ou " cristallites " assez caractéristiques. celles de la kaolinite sont en forme

hexagonale; l'halloysite se présente sous forme de tubes; la montmorillonite a l'apparence de nuages un peu flous. Les hydroxydes ou oxydes cristallisés peuvent être présents sous forme de punctuations sur les surfaces des cristallites

Chapitre 5 : Les propriétés biologiques du sol

5.1. Les organismes du sol

Survivre dans le sol est constituée par les racines, les plantes, les mammifères, les vers de terre, les arthropodes, gastropodes, les protozoaires microscopiques, les nématodes et les plantes microscopiques telle que, les bactéries, les champignons, actinomycètes et algues. Ces organismes sont par milliards par gramme de sol et sont de plus nombreux selon la nature du sol, la saison et l'importance des apports organiques ; il est à connaître que ces populations complètement hétérogène vivent en parfaite harmonie entre elles et avec les facteurs du milieu (aération, humidité, T°...)

5.2. Microorganismes du sol

Les microorganismes du sol sont les bactéries, les champignons, les algues, les actinomycètes.

5.2.1. Les algues : sont les organismes macro et microscopiques contenant de la chlorophylle (cours les constituants organiques)

5.2.2. Les champignons : les champignons du sol ou mycètes sont des levures de champignons supérieurs et sur tout les moisissures du genre : *pénicillium*, *aspergillus*, *fusarium*, certains sont parasites et provoquent des maladies aux plantes, comme la pourriture des racines cotonnier, la norulle ; mais il existe d'autres symbiotique qui vivent sur des racines des plantes supérieures et contribuent à leur développement : se sont les mycorhizes

5.2.3. Les bactéries : ce sont des êtres unicellulaires allongés ou sphériques qui appartiennent au sous régime des procaryotes, ce qui les rapprochent des algues bleus en fonction de leur source d'énergie donc en distingue.

A. Les bactéries autotrophes chlorophylliennes : qui prennent leur carbone du dioxyde de carbone de l'atmosphère, et leur énergie de l'oxydation du carbone et des substances inorganiques. D'autres bactéries autotrophes sont capables d'oxyder l'ammoniaque, les nitrates, les sulfates, le fer, le manganèse.

Les plus importantes sont des bactéries qui oxydent l'ammoniaque pour en faire des nitrites en nitrate.

B. Les bactéries hétérotrophes : la majeure de ces espèces appartiennent aux groupes bactéries fixant l'azote (semi autotrophe)

Symbiotique, Non symbiotique, Aérobie, Anaérobie.

Les bactéries ne fixent pas l'azote : aérobie et anaérobie

5.2.4. Les actinomycètes : les actinomycètes sont liées aux champignons et aux bactéries leur population serait de 100.000 à 30 millions/g de sol.

5.3. La faune du sol

Elle est composée de :

- La mégafaune de taille supérieure à 10 cm
- La macrofaune de taille entre 4 et 80 mm
- La mésofaune de taille 0.2-4 mm
- La microfaune de taille inférieure à 02 (protozoaires et nématodes)

Selon leur importance on trouve les vers de terre et les gastropodes (crétacés, insecte et arachnides)

5.2. Les transformations d'origine microbienne

5.2.1. Transformation des éléments « cycle biologique » Transformation d'origine microbiennes sont essentiellement

Décomposition ou minéralisation de la matière organique fraîche.

Synthèse ou construction de molécules nouvelles de matière organique, c'est l'humification.

Ces deux transformations nécessitent des catégories microbiennes précises et leur existence dépend du climat, sol, temps, on peut avoir des champignons qui sont responsables de la décomposition du cellulose. Les actinomycètes comme les moisissures peuvent attaquer la lignine préparant l'humification.

On peut avoir des bactéries qui en plus de leur rôle de dégradation et la synthèse de la matière organique, peuvent transformer l'ammoniac en acide nitreux. Ces transformations peuvent conduire à :

a. Une acidification (diminution du pH) suite à la libération des acides humiques-nitritiques. On aura un complexe adsorbant qui a tendance à s'acidifier, et qui va conduire à une dispersion des particules du sol et devient très sensible au processus d'érosion et de lessivage conduisant à la mort du sol.

b. Une augmentation du pH : (basicité) la libération d'ions OH⁻, peut conduire à une stérilité du sol par blocage de certains éléments nutritifs indispensables aux végétaux. Elles peuvent aussi être favorables en améliorant la fertilité des sols en libérant les éléments nutritifs.

Chapitre 6 : Classification des sols

6.1. La classification des sols

Toute espèce existante sur cette terre exige d'être décrite et classée selon des échelles précises on classe les animaux et les végétaux et même les sols.

Mais le classement des sols est plus difficile que les animaux ou les végétaux, car les caractères de deux sols par exemple sont très proches, et contrairement aux animaux et à la végétation, les sols non ni espèce ni individu.

L'existence de plusieurs classifications (russe, américaine, française...) prouve qu'on n'est pas arrivé à une classification universelle comme le cas des êtres vivants.

Il y a des chercheurs qui classent les sols en : sols terrestres, semi terrestres et aquatiques, d'autres en sols hydro-morphes et non hydro-morphes.

Duchaufour distinguait des sols dont l'évolution

6.2. Les différentes classifications (Russe, Américaine, Française)

2.1. La classification russe

La démarche pédogénétique initiée par le fondateur même de la pédologie V.V. Dokoutchaev a donné naissance d'abord à la classification russe (soviétique).

L'école russe base ses classifications sur les facteurs du milieu, le plus important est le climat.

Les sols étaient classés en 03 grandes classes :

a. Les zonaux : dépendent essentiellement des facteurs du climat et de la végétation climatique exemple : toundra : sol châtain, sols bruns steppiques.

b. Les interzonaux : exemple : l'existence d'une nappe phréatique d'eau douce ; sol gley Ou l'existence d'une nappe phréatique d'eau salée, solonetz et solontchaks. Ou bien l'existence du calcaire ces des rendzines.

c. Les azonaux : ce sont les sols peu évolués, sols des pentes, alluvions...etc.

2.2. La classification américaine.

La première classification américaine est l'œuvre de MARBUT en 1921. Elle apporte, par

rapport aux classifications en usage à cette époque, une distinction fondamentale entre les « pedocal », ou sols placés sous la dépendance du calcaire et les « pédalfer » où aluminium et fer contribuaient à donner aux sols leurs caractéristiques essentielles. Dès 1938, la classification prenait une forme plus classique avec les trois ordres « zonal, intrazonal et azonal » et des sous-ordres fondés sur des caractéristiques pédoclimatiques. Les sols de la zone intertropicale y étaient faiblement représentés. Peu à peu, le monde tropical est mieux connu des pédologues américains qui étudient les sols de Cuba, des Hawaii, de divers pays d'Amérique du Sud et d'Afrique.

En 1948, CLINE publie une classification des sols des Hawaii; en 1949, KELLOGG et DAVOL présentent une classification des sols du Congo Belge.

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

6.3. la classification Française

La classification des pédologues français a été proposée pour la première fois en 1938 en vue de l'élaboration d'une carte pédologique par OUDIN. Par la suite, cette classification fut amplifiée par G. AUBERT et Ph. DUCHAUFOR et présentée par ses auteurs au Congrès de la Science du Sol de Paris en 1956. Cette classification fut sans cesse perfectionnée par l'un ou l'autre de ses auteurs et diverses mises au point furent présentées soit à l'occasion de réunions internationales ou de congrès. A partir de 1964, fut institué en France un Comité de pédologie et de cartographie des sols (CPCS) qui a entrepris, en vue d'une cartographie des sols de France, d'établir une classification systématique des sols qui tienne compte des acquisitions des pédologues travaillant en métropole et celles de ceux travaillant dans les zones intertropicale et méditerranéenne (ORSTOM). Ce comité a pris pour base les travaux précédents d'AUBERT et DUCHAUFOR, et procède à l'élaboration d'une classification

officielle. En attendant la mise au point de cette classification, l'on exposera ici la classification publiée par G. AUBERT en 1965 et modifiée à deux reprises pour tenir compte de nouvelles données concernant les sols hydromorphes et ferrallitiques (AUBERT et SEGALLEN, 1966). C'est celle qui est appliquée de longue date à Madagascar, en Afrique francophone et partout où travaillent les pédologues de l'ORSTOM. Elle permet de classer les sols jusqu'au niveau du sous-groupe. Les unités inférieures dépendent essentiellement des conditions locales et sont beaucoup trop nombreuses pour être présentées ici.

- **Classe des sols minéraux bruts.**
- **Classe II des sols peu évolués.**
- **Classe III des sols calcimagnésiques.**
- **Classe IV des vertisols**
- **Classe V des sols isohumiques.**
- **Classe VI des sols à mull ou sols brunifiés.**
- **Classe VII des podzols et sols podzoliques.**
- **Classe VIII des sols ferrallitiques.**
- **La classe des sols ferrallitiques.**
- **Classe X des sols halomorphes.**
- **Classe XI des sols hydromorphes.**

6.3. Les sols d'Algérie et leur relation avec le climat et la géomorphologie

D'après G. Gaucher, il est nécessaire d'établir une classification adaptée aux conditions originales de la pédogenèse en Algérie, c'est-à-dire fondée sur les processus de pédogenèse plutôt que sur des caractères typologiques bien définis. La classification des sols d'Algérie qu'il présente est d'abord fondée sur le facteur climatique qui a joué le rôle essentiel dans la formation du sol (vent, pluie, température), ensuite sur le degré d'évolution du sol (nombre d'horizons différenciés), enfin, accessoirement, sur le degré de lessivage. Les sols d'Algérie peuvent ainsi être regroupés, en fonction du facteur climatique dominant dans leur formation, en trois grands groupes de sols zonaux ayant chacun leurs caractères propres déterminés par les conditions du milieu commandant les processus de pédogenèse :

Sols sahariens où le facteur dominant de formation des sols est le vent (mais peut-on considérer comme négligeable, comme le dit l'auteur, la température et la sécheresse qui permettent justement l'action du vent et dont l'action propre fournit le matériel meuble.

1. Sols sahariens

Sols sahariens où le facteur dominant de formation des sols est le vent (mais peut-on considérer comme négligeable, comme le dit l'auteur, la température et la sécheresse qui permettent justement l'action du vent et dont l'action propre fournit le matériel meuble.

2. Sols des régions semi-arides

Sols des régions semi-arides où le sol zonal serait dû à l'équilibre climatique vent-piluie (ou plus exactement à l'équilibre : action du vent résistance de la végétation)

3.Sols des régions telliennes humides

Sols des régions telliennes humides où humidité et végétation deviennent les principaux facteurs de formation des sols zonaux. A côté de ces sols zonaux, toute une série de sols azonaux font l'objet d'une classification à part. Il serait d'ailleurs peut-être plus juste de les qualifier d' « extra-zonaux » ou mieux de sols locaux, car ces sols se forment non pas sous l'influence de facteurs « azonaux », mais bien de facteurs locaux qui créent, à l'intérieur d'une zone climatique, des microclimats donnant à l'évolution du sol des conditions spéciales.

4.Les sols «azonaux» (sols locaux).

Les sols «azonaux» (sols locaux). A peu près toutes les variétés de sols « azonaux » se retrouvent en Algérie : sols de marais, sols dunaires, sols d'éboulis, sols alluviaux divers, etc. Nous ne reprendrons ici que les plus caractéristiques, laissant de côté ceux qui ne présentent pas de caractères particuliers en Algérie (par exemple les sols dunaires, les sols d'éboulis ou les sols alluviaux), ou ceux qui n'ont qu'une extension très limitée (sols tourbeux, sols de marais), pour nous en tenir à deux séries de sols locaux particulièrement importants en Algérie : les sols salins et les sols à encroûtement.

Chapitre 7 : Relations sols végétation

La diversité de la flore, donc celle des groupements végétaux, est directement liée à la diversité du substrat. En effet, l'occupation des sols est liée aux conditions écologiques telles : le climat, la topographie, la nature des sols, l'influence anthropique...

Le sol constitue en quelque sorte le support de la végétation. Parfois la présence et la dominance d'une flore ou d'un groupement végétal sur certains types de sols permet de déceler des relations qui peuvent exister entre ces deux composantes.

7.1.Relation sol-végétation dans les sols hydromorphes :

Ils se caractérisent par la présence d'une nappe phréatique qui explique l'hydromorphie temporaire ou permanente. Ces sols portent les espèces hygrophiles ou semi-hygrophiles telles : *Mentha aquatica*, *Nerium oleander*, *Tamarix gallica*, *Nasturtium officinale*, *Ranunculus sardous*, *Bellis annua*, *Fraxinus angustifolia* , *Lemna minor* et *Populus sp.*

7.2.Relation sol-végétation dans les sols halomorphes

Ce sont des sols salins caractérisés par la présence des sels solubles et une perméabilité moyenne, ont une texture lourde. Les espèces rencontrées ne sont pas spécialement halophiles, mais certaines d'entre elles supportent le sel ; on a : *Tamarix gallica*, *Silybum marianum*, *Medicago littoralis*, *Opuntia ficus-indica*. Ils portent également des cultures qui sont plus ou moins tolérantes au sel telles que : la Fève, la Tomate, le Pois chiche.

7.3. Relation sol-végétation dans les vertisols

C'est des sols riches en argiles, et constitués d'argiles gonflantes (montmorillonite) difficile à travailler, sensibles à la teneur en eau et sujet au phénomène de vertisme. Ils peuvent porter des cultures sur zones inondables telles : Aubergines et Orge. On y trouve aussi *Olea europeae* et *Pistacia lentiscus* et comme végétation naturelle on a des broussailles. Il est à signaler que les mouvements vertiques incorporent la matière organique très profondément dans tout le profil du sol sans l'intervention d'une activité biologique.

7.4. Relation sol-végétation dans les sols peu évolués

L'action directe ou indirecte du climat intervient surtout sur l'alimentation en eau des plantes qui est un facteur essentiel de croissance. C'est même celui qui détermine l'aptitude culturar c'est un élément peu modifiable; néanmoins, il est possible de pratiquer dans certains cas l'irrigation ou le drainage.

7.5. Action du sol sur la Végétation

L'action du sol sur la vie végétale ne peut être étudiée sans tenir compte de l'influence de l'environnement pétrographique, topographique ou climatologique: la prise en considération de l'ensemble des phénomènes conditionnant nu niveau du sol la vie de la plante conduit à la

notion de milieu édaphique. Dans ce complexe le sol joue un rôle essentiel, Il intervient à la fois comme support et comme pourvoyeur.

Sous un climat convenable, il peut être possible de définir un sol idéal convenant à de nombreuses cultures, néanmoins, les différentes plantes, en raison des variations de leur système racinaire et de leurs exigences variables du point-de-vue chimique, peuvent s'adapter différemment aux diverses propriétés des sols les facteurs essentiels pouvant être l'objet d'adaptations différentes sont les suivants :

- a) Le climat : Le climat peut influencer la température, la pluviométrie, la durée de la saison de croissance et l'humidité du sol, ce qui peut affecter la composition des sols.
- b) La topographie : La topographie peut influencer la pente, le drainage et la profondeur du sol, ce qui peut affecter la structure et la texture du sol.
- c) La géologie : La géologie peut influencer la composition minérale et la porosité du sol, ainsi que les niveaux de pH et les propriétés physiques du sol.
- d) La végétation : La végétation peut influencer les propriétés chimiques du sol, ainsi que la teneur en matière organique et la texture du sol.
- e) Les activités humaines : Les activités humaines telles que l'agriculture, l'exploitation minière et la construction peuvent modifier la composition et la structure du sol en introduisant des éléments étrangers ou en perturbant la structure du sol.

Ces facteurs peuvent tous interagir pour influencer les propriétés des sols, et chaque sol peut avoir des caractéristiques uniques en fonction des facteurs dominants dans son environnement. Par conséquent, il est important de comprendre ces facteurs et leurs effets sur les sols pour pouvoir gérer de manière durable les ressources en sols et préserver l'environnement.

Références bibliographiques.

- Baize, D., & Girard, M. C. (2009). *Référentiel pédologique 2008*. Editions Quae
- Duchaufour, P. (1982). Calcimagnesian soils. In *Pedology: Pedogenesis and classification* (pp. 211-235). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Duchaufour, P. (1988). *Pédologie*. Paris, France: Masson.
- Duchaufour, P. (1995). *Pedology. Soil, vegetation, environment* (No. Ed. 4). MASSON éditeur.
- Duchaufour, P., & Bartoli, C. (1966). Note sur l'évolution des sols calcimorphes de l'étage montagnard humide. *Sci. Sol*, 29-40.
- Filipovski, G., & Crnc, M. (1969). *Soils of Yugoslavia*. Belgrade, Serbia: D. Jelenic.
- Franz, H. (1960). *Feldbodenkunde*. Vienna, Austria: G. Fromme.
- Gury, M., & Duchaufour, P. (1972). *Science du sol*. *Science du sol*, 1, 19-24.
- Jacquín, F., & Le Tacon, F. (1970). *Bull. ENSAIA* xn (1-2), 12-20.
- Jamagne, M. (1964). *Pedologie*. *Ghent XIV*(2), 228-326.
- Kubiena, W. (1953). *The soils of Europe*. London, UK: Thomas Murby.
- Lamouroux, M. (1971). *Etude des sols formes sur roches carbonatees. Pedogenese fersiOllitique au Liban*. State doct. thesis. Univ. Strasbourg.
- Le Tacon, F. (1976). *La presence de calcaire dans le sol. Influence sur le compartement d l'Epicea commun. (Picea excelsa Link.) et du Pin noir d'Autriche (Pinus nigra nigricans Host.)*. State doct. thesis. Univ. Nancy I.
- Lorrain, R. (1985). Duchaufour Ph.(1983), *Pédologie–1. Pédogenèse et classification*, 2e édition, Paris, Masson, 491 pp. *Revue belge de géographie*, 109(3), 128..

Ludi, W. (1948). Die Pflanzengesellschaften der Schinige Platte bei Interlaken und ihre Beziehungen zur Umwelt. Berne, Switzerland: Hans Huber.

Meriaux, S. (1959). 84th Congr. Soc. Savantes, 387.

Miickenhausen, E. (1962). Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Boden der Bundesrepublik Deutschland. Frankfurt, Germany: DLG.

Muller, J. C., & Vedy, J. C. (1978). Science du Sol 2, 129-44.

Pochon, M. (1978). Origine et evolution des sols du Haut-Jura suisse. Doct. thesis, Neuchatel; Memoire Soc. Helvetique Sci. Nat. XC. Zurich: Fretz.

Scheffer, F., Welte, E., & Meyer, B. (1960). Z. Pflanzener. Bodenk. 90 (1-2), 18.

Scheffer, F., Welte, E., & Meyer, B. (1962). Z. Pflanzener. Bodenk. 98 (1), 1-17.

Solar, F. (1964). Mitt. Oster Bodenkundl. Ges., Vienna 8, 170.