

**Université de Biskra**  
**Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie**  
**Département d'agronomie**

**Cours de pédologie générale**  
Deuxième année agronomie LMD

Présenté par :  
**Dr. Ali Masmoudi**

**2013 - 2014**

# Tableau des matières

## Préambule

## FORMATION DES SOLS

### L'altération

Les processus fondamentaux de l'altération

Facteurs de formation du sol

## CONSTITUANTS DU SOL

### 1-Phase solide

Les constituants minéraux du sol

Les fragments de roches

Les minéraux

*Les minéraux primaires*

*Les minéraux secondaires*

### 2- Phase liquide

### 3- Phase gazeuse

## TEXTURE DU SOL

Détermination de la texture

Les classes texturales

Importance de la texture

Évaluation empirique (au doigté) lorsque le sol est plastique (humide à frais)

## STRUCTURE DU SOL

Facteurs de la structuration

Importance et degré de développement de la structure

Les classes de développement de la structure

Type de la structure

La stabilité structurale

Les agents de dégradation

Effet de battance

L'éclatement des agrégats

La dispersion des colloïdes

Le tassement en période humide

L'effet de choc des outils

# **LA MATIERE ORGANIQUE**

## **Introduction**

**Les sources de la matière organique dans le sol**

**Composition des tissus des plantes supérieures**

**Produits de la décomposition de la MO**

**Evolution de la MO**

**Les processus d'humification et de minéralisation**

**L'humification**

**Les phases de l'humification**

**Les facteurs de l'humification**

**La minéralisation**

**La décomposition des autres corps organiques**

**Facteurs influençant la minéralisation**

**Composition de l'humus**

**Les types d'humus**

**Les propriétés de l'humus**

**Facteurs influençant la teneur en MO des sols**

**Influence de la MO sur les propriétés du sol**

## **NOTIONS SUR LA PEDOGENESE ET LA CLASSIFICATION DES SOLS**

**Mouvement de la matière dans les sols**

**Processus d'entraînement (éluviation)**

**Lixiviation**

**Décarbonatation des sols calcaires**

**Chéluviation**

**Le lessivage**

**Classification des sols**

**Description des profils**

**Les horizons principaux**

**Subdivision des horizons principaux**

**Description**

**Références Bibliographiques**

## **Préambule**

Le sol, objet d'étude de la *Pédologie*, peut être défini comme étant *la couche* superficielle de l'écorce terrestre ("couverture pédologique") qui possède des caractéristiques morphologiques et minéralogiques ainsi que des propriétés physico-chimiques distinctes de celles du matériau originel dont il dérive. Il est le résultat de l'altération de la roche mère sous l'influence des facteurs écologiques.

L'objectif de ce module est de donner à l'étudiant en agronomie des notions de base sur l'importance du sol et la pédologie dans le développement agricole. Les connaissances acquises peuvent être développées dans la spécialisation en Master.

# Formation des sols

1. **L'altération** : l'altération est une combinaison des processus de destruction et de synthèse dont le résultat est la formation d'un régolite (matériau non consolidé). Les roches sont réduites à l'état de petits fragments et minéraux primaires ; les fragments et minéraux sont attaqués à leurs tours par les différents agents d'altération qui les transforment en minéraux secondaires. Ces changements s'accompagnent d'une diminution de la taille des particules et la perte des éléments solubles qui sont éliminée par drainage.

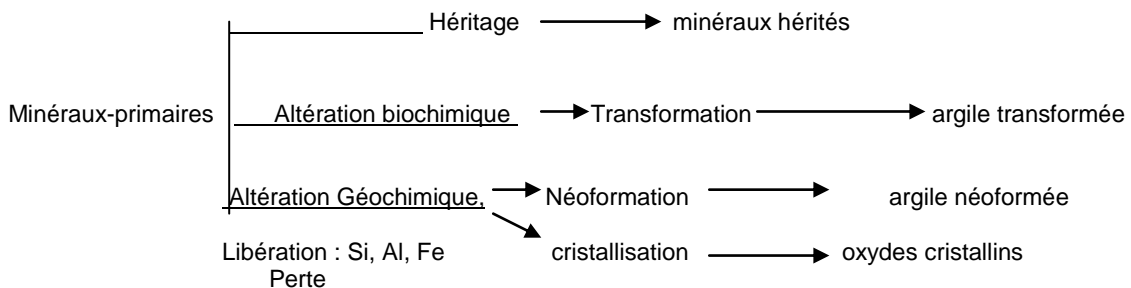
Les minéraux synthétisés sont de 2 types.

- les minéraux argileux
- les composés de fer et d'aluminium
- \* les minéraux primaires ayant résistés à l'altération (quartz).

## 2. Les processus fondamentaux de l'altération :

Ce sont d'une part les processus physiques : essentiellement micro-division des particules grossières : par exemple mica vers argile

D'autre part des processus chimiques mettant en jeu un ou plusieurs agents d'altération : (l'eau, l'oxygène, les acides minéraux et organiques) tel que : l'hydrolyse, l'oxydation, hydratation, dissolution...



\* minéraux hérités (héritage) :

Simple micro-division sans transformation chimique exemple : quartz

\* transformation (minéraux transformés)

Ce sont initialement le plus souvent des aluminosilicates qui deviennent après altération des minéraux argileux (c'est une micro-division accompagné de processus chimiques mineurs) avec perte de certains ions.

\* les minéraux néoformés (néoformation)

Certain des éléments libers sont entraînés hors du profil, mais la plus grande partie évolue rapidement sur place vers une forme cristalline : les argiles de néoformation (montmorillonite, kaolinite), gypse, calcite, etc. ...

Minéraux transformés et néoformés sont des minéraux dits secondaires.

### 3. Facteurs de formation du sol :

Les principaux facteurs de la formation et le développement du sol sont :

\*Le climat : c'est le facteur le plus important.

- il détermine le degré d'altération physique ou chimique
- il a une influence sur la végétation naturelle
- il a une action lessivante dans les zones humides
- il a une action d'accumulation de sels en zones arides
- il a une action sur l'activité biologique.

\* Les organismes du sol : le rôle essentiel des organismes du sol est

-l'incorporation de la matière organique à la matière minérale (ex : lombric).

-L'apport d'azote atmosphérique au sol et la décomposition de la matière organique

- effet des racines des végétaux.

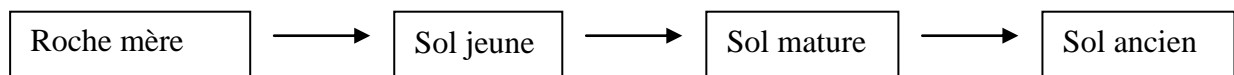
\*La roche mère : la nature de la roche mère influe sur l'évolution du sol par sa composition minéralogique

Roche contient des silicates d'aluminium donne un sol argileux

Roche salée donne un sol salé

\*Topographie : elle a une influence sur le mouvement de l'eau et l'apport de matériaux par érosion

\*La durée d'évolution : les changements dans le sol sont très lents



	Facteurs accélérant le développement du sol	Facteurs retardant le développement du sol
climat	chaud et humide	froid et sec
végétation	forestière	herbacée
matériaux	non consolidé perméable	consolidé imperméable
topographie	plaine ou dépression avec bon drainage	forte pente

## Constituants du sol

Le sol comporte 3 phases : solide, liquide et gazeuse en proportions variables. Un sol minéral est représenté par un profil formé d'un mélange de minéraux (plus ou moins altérés), de MO et qui peut fournir l'air et l'eau aux plantes. Les constituants sont intimement liés entre eux ce qui rend leur séparation plutôt difficile.

Composition en poids		Composition en volume	Phase solide
81%	Phase solide minérale	49%	Phase liquide
2%	Phase solide organique	3%	Phase gazeuse
17%	Phase liquide	26%	
	Phase gazeuse	22%	

**1-Phase solide** : formée de constituants minéraux de tailles variées et de MO qui s'organisent en agrégats. La composition volumique est différente selon la profondeur, généralement la partie superficielle est plus riche en MO, moins compacte donc contient plus de pores donc plus aérée, les couches profondes sont pauvres en MO, plus compactes donc moins de pores ou de petits pores.

### 1.1. Les constituants minéraux du sol :

La partie inorganique du sol est très variable en taille et en composition. Cette partie est composée de petits fragments de roches et de différents minéraux.

\* Les fragments de roches : ce sont les restes des roches ou de leurs produits d'altération (régolite) à partir duquel le sol s'est formé, ils sont généralement assez grossiers.

\* Les minéraux : ont des tailles très variables, certains sont assez grands, d'autre tel que les particules argileuses sont si petites qu'elles ne peuvent être observées au microscope ordinaire, on distingue :

*les minéraux primaires* : comme le quartz parce que sont hérités de matériau original.

*les minéraux secondaires* : comme les silicates argileux et les oxydes de Fer qui sont formés à partir de l'altération des minéraux peu résistants du matériau original.

Habituellement les minéraux primaires sont dominants dans les plus grosses fractions du sol alors que les secondaires prédominent dans la fraction fine.

Taille	Observation	Origine
Pierre, cailloux, gravier	Œil nu	Fragments de roches
sable	Œil nu	Fragment de roches et minéraux primaires
Limon	Microscope ordinaire	Minéraux primaires et secondaires
Argile	Microscope électronique	Minéraux secondaires

La matière organique (MO) : la MO représente une accumulation de résidus végétaux ou animaux partiellement décomposés, ce matériau étant dans un stade actif de décomposition suite à l'attaque des microorganismes (la MO est constituant transitoire).

Le sol minéral contient généralement entre 1% et 5% de MO. Cette MO affecte les propriétés physico-chimiques du sol : structure, capacité de rétention en eau, dynamique de l'N, P, S, C ; elle constitue la source d'énergie pour les microorganismes. Cette MO est composée de résidus plus ou moins décomposés et l'humus.

**2- Phase liquide :** l'eau du sol, c'est la solution dynamique du sol.

Elle est contenue dans les pores du sol plus ou moins fortement en fonction du taux d'humidité dans le sol.

L'eau avec les sels qui y sont dissous forment la solution du sol qui est le milieu nutritif des plantes.

La force de rétention d'un sol pour l'eau détermine le mouvement de l'eau et son utilisation par les plantes. Lorsque la teneur en eau est optimale, les plantes peuvent facilement utiliser cette eau, si la teneur diminue l'eau reste uniquement dans les pores les plus fins et autour des particules. Cette eau est fortement retenue et les plantes ne peuvent plus l'absorber.

L'échange est perpétuel entre la phase solide et la solution du sol.

**3- Phase gazeuse :** l'air du sol : cette phase occupe dans le sol la porosité qui n'est pas remplie par la phase liquide.

L'air du sol diffère beaucoup de celui de l'atmosphère

- il n'occupe pas de façon continue les pores du sol
- la composition varie d'un endroit à un autre selon les réactions dans le sol
- le taux de l'humidité de l'air du sol est en fonction de la teneur en eau du sol
- le taux de CO<sub>2</sub> est plus fort et celui d'O<sub>2</sub> est plus faible.



## Texture du sol

La texture caractérise la composition granulométrique du sol, elle s'exprime par la teneur relative des différentes fractions granulométriques : argile, limon, sable dont le diamètre moyen est inférieur à 2 mm.

Classification internationale des fractions granulométriques :

	um	mm
Argile	< 2	< 0.002
Limon fin	2 – 20	0.002 - 0.02
Limon grossier	20 – 50	0.02 – 0.05
Sable fin	50 – 200	0.05 – 0.2
Sable grossier	200 – 2000	0.2 – 2

\*Quelques propriétés des fractions :

- Argile : très active, forte cohésion, riche en éléments nutritifs, capacité de rétention en eau élevée, perméabilité très faible, CEC élevée, donne sol plastique difficile à travailler.
- Limon : faible activité, rétention en eau moyenne, perméabilité lente, stabilité structurale médiocre.
- Sable : inerte, pas de plasticité, rétention en eau très faible, perméabilité excessive, pas d'élément nutritif, cohésion presque nulle, structure particulière.

### 1.Détermination de la texture :

La détermination de la texture du sol se fait au laboratoire par l'analyse granulométrique : sédimentation et tamisage.

### 2.Les classes texturales :

Généralement la dénomination des classes de texture se fait en nommant en premier la fraction granulométrique dominante et en second la fraction granulométrique qui lui succède en pourcentage. Ainsi le terme sablo-argileuse signale une texture à dominance sableuse et à teneur d'argile appréciable.

La détermination de la classe texturale se fait par l'intermédiaire du triangle de texture

E x : AS , SA, AL.....etc.

### **3. Importance de la texture :**

Elle dépend des propriétés de chaque fraction minérale. Entre deux classes texturales il y a une différence significative dans les propriétés physico-chimiques (cohésion, porosité, CEC, rétention d'eau...etc.)

On distingue quatre grands ensembles de classes :

- les textures fines ou argileuses correspondent à des sols plastiques, difficiles à travailler, fortement adhérents et présentent un optimum de rétention d'eau utile.
- les textures sableuses : confèrent aux sols une structure particulière, les réserves en eau sont faibles.
- les sols à textures limoneuses où prédominent le limon correspondent généralement aux terres battantes a structure instable .
- la texture équilibrée assure une structure convenable et de bonne caractéristiques hydriques  
L = 30 – 35% , A : 30%

### **4. Evaluation empirique (au doigté) lorsque le sol est plastique (humide à frais) :**

**Les sables** (> 0,050 mm, > 50 µm)

- A l'état humide (humecter la terre), le toucher est rugueux grossier (pour les sables grossiers) ou fin (pour les sables fins).
- Aucune rugosité entre les doigts : moins de 15 % (?) de sable.
- Forte rugosité, grains de sable visibles à l'œil nu, effritement rapide de l'échantillon entre les doigts : plus de 50 % (?) de sable.

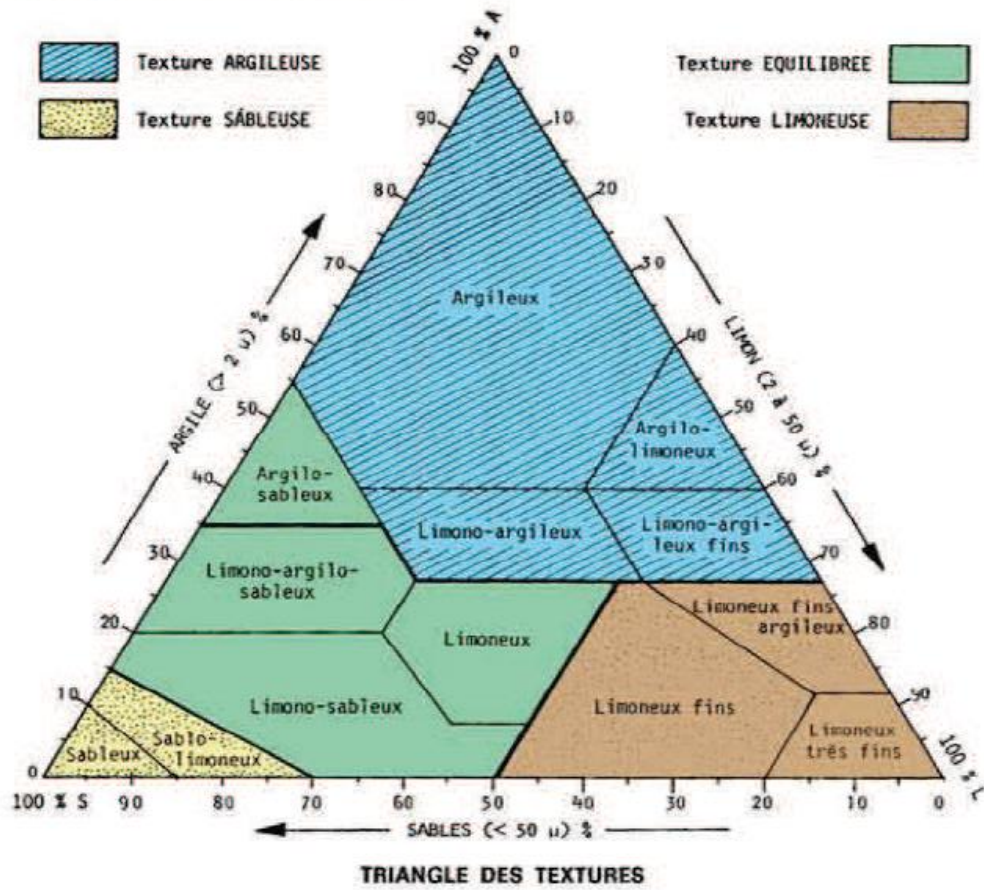
**Les limons** (entre 2 et 50 µm)

- Toucher doux, soyeux, comme du talc.

**Les argiles** (inférieures à 2 µm [0,002 mm])

- Toucher collant.
- Plus de 17-20 % (?) d'argile : il est possible de faire un boudin.
- Plus de 30 % (?) d'argile : il est possible de faire un anneau avec le boudin. La terre colle fortement aux doigts. Le sol forme une plaquette, souvent brillante, à la surface de l'un des doigts sur lequel il colle.

## Triangle des textures



## **Structure du sol**

La structure du sol, c'est le mode d'arrangement des particules du sol entre elles. Un sol est structuré lorsque ses particules sont groupées en agrégats naturels qui sont plus ou moins stables dans l'eau.

Un agrégat est un solide géométrique naturel qui conserve une forme spécifique déterminée. Il est constitué par des éléments de terre fine liés entre eux par des ciments colloïdaux.

La structure est liée à l'état des colloïdes du sol qui peuvent être floculés ce qui donne des agrégats élémentaires ou soit dispersés ce qui est le cas de la structure particulaire.

### **1. Facteurs de la structuration :**

- 1- La texture joue un rôle très important dans le développement de la structure. Les argiles augmentent la cohésion à l'état humide et favorisent la fragmentation grâce aux propriétés de gonflement et de retrait qu'elles confèrent au sol.
- 2- La matière organique joue un rôle de ciment entre les particules minérales du sol.
- 3- Le calcaire favorise l'élaboration d'une structure stable mais en cas de précipitation sous forme cristalline en profondeur conduit à la formation des croûtes.
- 4- Le brassage du sol et les facteurs physiques : les organismes du sol et les outils de travail du sol contribuent à l'agrégation et le mélange. Ainsi que le gonflement et le retrait des argiles dues aux variations d'humidité et le gel entraînent la fissuration de la masse du sol.

### **2. Importance et degré de développement de la structure:**

Le degré de développement de la structure est le degré de l'agrégation, exprimé par la cohésion au sein des agrégats et l'adhérence entre agrégats, ces propriétés varient avec l'humidité.

- Une structure de surface a bonne agrégation (gros éléments) préserve le sol de l'érosion hydrique et éolienne.
- Les structures a éléments arrondies laissent entre eux des vides suffisants favorisent la vie des racines et l'activité biologique (circulation de l'eau et l'air).

### **3. Les classes de développement de la structure:**

- 0- Non structuré (sans agrégats) aucune agrégation observable massive si le matériau est cohérent, ou élémentaire (particulaire).

- 1- Faible (faiblement agrégé) : les unités structurales sont mal formées, pratiquement invisibles ; à la main l'échantillon se divise en peu d'agrégats entiers et une masse importante de matériaux élémentaires.
- 2- Moyenne : unités structurales bien formées moyennement stables et apparentes, l'échantillon se décompose en nombreuses unités structurales entières et peu de matériaux élémentaires.
- 3- Forte : unités structurales stables et distinctes, elles sont plus ou moins cohérents les une aux autres, elles s'observent parfaitement, l'échantillon se décompose presque uniquement en unités structurales entières.

**4. Type de la structure:** selon la forme on distingue :

- 1- Feuilletée : lamellaire, en plaquettes a dimension verticale beaucoup plus faible que les deux autres dimensions, arrangement autour d'un plan horizontal.
- 2- Prismatique a dimension horizontale limitée beaucoup plus faible que la verticale, faces verticales, arrangement autour d'une ligne verticale.
  - en prisme : sommets plus ou moins planes
  - en colonne : sommets arrondies.
- 3- polyédrique : blocs ou polyèdres a faces planes ou bombées, arrangement autour d'un point.
  - polyédrique angulaire : faces planes arêtes anguleuses
  - Polyédrique sub-angulaire : faces planes et bombées, arêtes amassées
- 4- sphéroïde: dimensions de même ordre de grandeur, arrangement autour d'un point
  - Granulaire : agrégats peu poreux
  - Grumeleuse : agrégats poreux

**5. La stabilité structurale:**

Est la résistance de la structure aux agents de dégradation. Les structures ne sont pas nécessairement permanentes, elles peuvent être modifiées en fonction des circonstances. (climat, mise en valeur etc.) A certaine périodes elles peuvent devenir moins favorables (se dégradent) mais peuvent aussi se reconstituent si les conditions redevient favorables.

## 6. Les agents de dégradation :

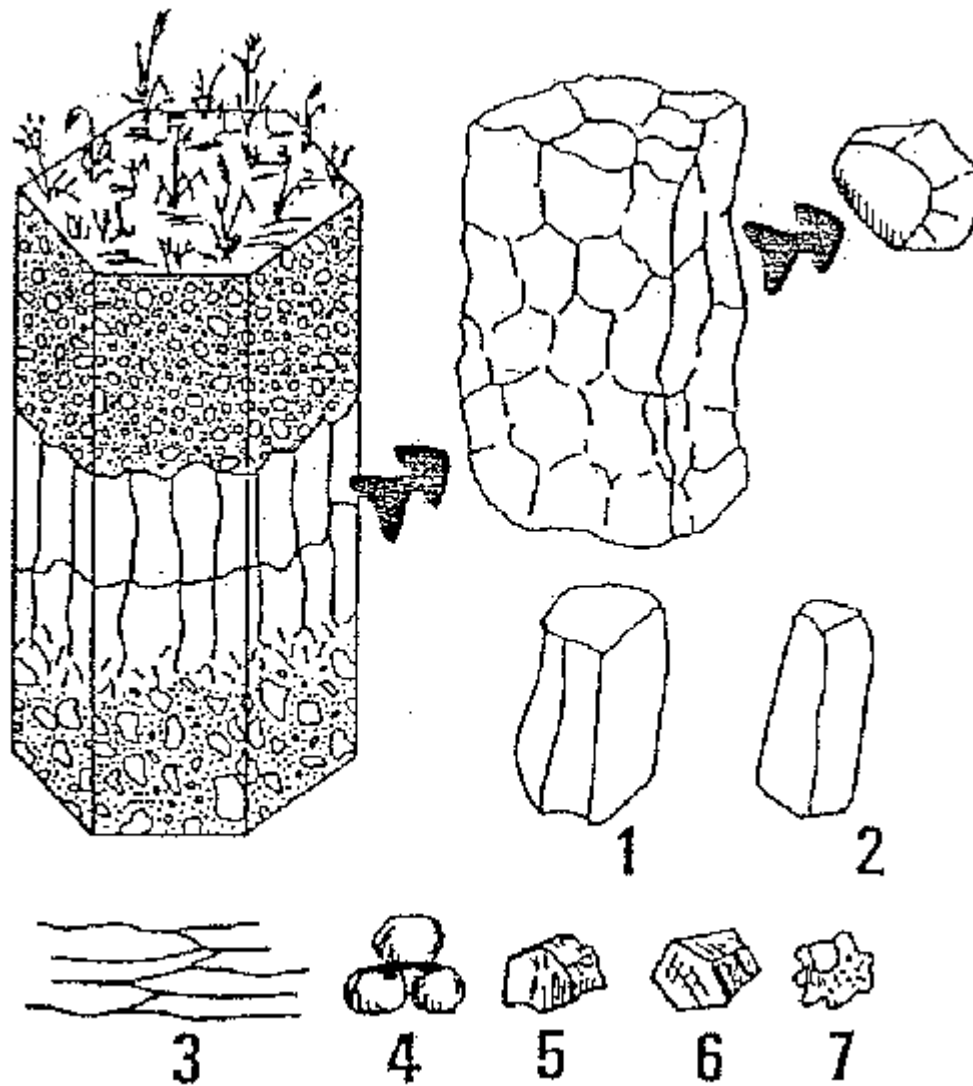
1- Effet de battance : l'impact des gouttes d'eau : c'est un phénomène visible provoqué par la pluie. Le comportement du sol dépend de l'intensité de celle-ci. Pour une pluie peu intense il ne se produit rien, les gouttes se déposent doucement à la surface et l'eau pénètre dans la terre. Au contraire si au début d'une pluie violente, les premières gouttes sont vite absorbées par les mottes sèches, les gouttes suivantes après leurs chutes s'éclatent en entraînant avec elles des particules de terre ; la structure de surface se désagrège, le sol prend une consistance boueuse, les éléments fins se séparent d'éléments grossiers et s'entassent.

L'effet de battance ne se produit que si le terrain n'est pas couvert et se produit surtout dans les sols limoneux.

2- L'éclatement des agrégats : imbibition rapide par l'eau qui va comprimer l'air dans les pores des agrégats, les faisant éclater.

Ce mécanisme est d'autant plus efficace.

- que le sol est pauvre en humus
  - que l'humectation est brutale
  - que le ciment argilo humique est moins flocculé donc moins solide.
- 3- la dispersion des colloïdes : surtout par la présence de quantités importantes de Na entraîne la séparation des particules argileuses, la structure cesse d'être fragmentaire pour devenir compacte.
- 4- Le tassement en période humide : par le bétail ou les instruments de cultures écrase les agrégats qui par la suite durciront en créant des zones de structure compacte (les semelles).
- 5- L'effet de choc des outils : les outils de travail peuvent dégrader aussi la structure d'un sol sec, les agrégats pulvérisés par le travail excessif et rapide se reprendront en masse quand le sol deviendra humide.



### **Différentes échelles de structuration du sol :**

#### **Types d'éléments structuraux**

1. prismatique
2. collinaire
3. en plaquettes (feuilletée)
4. grenu
5. polyédrique subangulaire
6. polyédrique angulaire
7. grumeleux.

(D'après Boulaine, INAPG, 1976)

	<b>grenue</b> agrégats plus ou moins sphériques, peu ou non poreux, à faces courbes, pas d'arête ni d'orientation préférentielle		<b>prismatique</b> agrégats allongés suivant une direction préférentielle généralement verticale, faces planes, arêtes anguleuses
	<b>grumeleuse</b> agrégats poreux, irréguliers, mammelonnés et qui présentent un ensemble de faces courbes dominantes		
	<b>lamellaire</b> agrégats à orientation préférentielle dans deux directions de l'espace, arêtes anguleuses		<b>columnnaire</b> agrégats allongés, de type prismatique mais à sommet arrondi
	<b>cubique</b> agrégats à faces planes et peu nombreuses, arêtes anguleuses et toutes sensiblement de même dimension		
	<b>polyédrique anguleuse</b> agrégats à nombreuses faces planes, sans orientation préférentielle, arêtes anguleuses		
	<b>polyédrique subanguleuse</b> agrégats à plusieurs types de face ou d'arêtes, forme mal définie, arêtes souvent émoussées		<b>en plaquette oblique</b> agrégats à orientation préférentielle oblique, à faces gauches, presque toujours lisses et souvent striés, arêtes vives

## Les principales structures





**Sol très battant sans pore en surface**

# La matière organique

## **1. Introduction :**

La MO est formé de débris végétaux et animaux de toute nature. La MO fraîche engendre l'humus un peu de la même façon que les minéraux primaires donnent naissance aux minéraux secondaire. Les molécules complexes de la MO fraîche subissent une décomposition microbienne passant de l'état de MOF à l'état d'élément minéraux assimilables par les plantes et d'humus. Toutes les substances d'origine animale ou végétale sont dites organiques parce qu'elles sont constituées par la combinaison soit de trois (03) ou quatre (04) éléments principaux C.H.O et N ainsi que d'autres éléments tel que S, P ...etc.

La MO joue un rôle très important dans la formation et l'évolution des sols elle améliore les propriétés physiques du sol (structure, capacité de rétention en eau porosité, capacité d'agrégation) et ses propriétés chimiques (libération des éléments nutritifs, capacité d'échange, dissolution des minéraux peu assimilables).

## **2. Les sources de la matière organique dans le sol:**

Sous les conditions naturelles la source de la MO est constituée par les tissus des plantes ; les tiges, racines, feuilles, troncs, qui apportent annuellement au sol de grandes quantités de résidus organique. Pour les plantes cultivées une grande proportion est récoltée, cependant une partie des tiges et racines sont abandonnées au sol ; tous ces résidus après avoir été décomposés ou digérés par les organismes du sol sont incorporés dans les horizons du sol soit par infiltration, soit par les différentes opérations culturales.

La seconde source est fournie par les animaux par les déchets qu'ils rejettent et la décomposition de leurs squelettes.

## **3. Composition des tissus des plantes supérieures:**

L'eau constitue 75% environ de la matière verte, la matière sèche est constituée de C.H.O.N et d'autres éléments : P.S.K.Ca, Mg... Bien que C.H.O représentent plus de 90% de la matière sèche, les autres éléments ont un rôle vital dans la nutrition des plantes. La matière végétale est composée de :

- substances hydro- carbonées (C.H.O) Amidon, glucides, lignine, hémicellulose et cellulose
- Matière grasses (corps gras).
- Matière azotées (C.H.O.N) avec en plus P.S (protéines).

- Corps organiques vitaux et sels minéraux dissous ou combinés aux substances organiques (Ca, Mg, K, Na, Fe...etc. )

Les proportions de ces composés sont différentes suivant l'âge et la nature du végétal. Les tissus jeunes sont riches en glucides simples (sucres solubles, amidon, hémicellulose) et en matières azotées. Les tissus âgés sont riches en substances complexes à évolution difficiles (cellulose, lignine) et pauvres en protéines.

Les débris animaux ne contiennent que des matières azotées et des lipides ; toutes ces substances évoluent sous l'action de processus biologiques.

#### 4. Produits de la décomposition de la MO:

Dérivés de carbone :  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CH}_4$ , C

Azote:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , N gazeux.

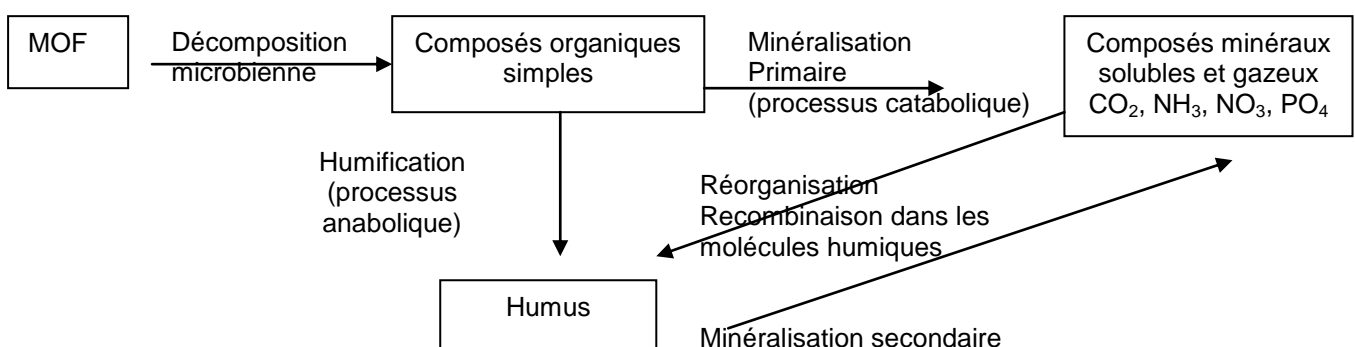
Soufre:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ , S

Phosphore:  $\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{HPO}_4$

Autre:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ .... etc.

#### 5. Evolution de la MO:

La MO subit d'abord une décomposition microbienne, c'est à dire une simplification qui libère des composés simples le plus souvent solubles, une partie subit le processus de minéralisation, c'est à dire se transforme en composés minéraux solubles ou gazeux ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PO}_4$ ...), c'est la minéralisation primaire assez rapide dans les milieux biologiquement actifs. Une autre partie échappe de la minéralisation et sert de matériau à l'édification de molécules nouvelles de plus en plus complexes de nature colloïdale et de couleur foncée dont l'ensemble constitue l'humus, c'est l'humification. Ces composés humiques qui vont faire des liens plus ou moins étroit avec les composés minéraux (argile, oxydes) se minéralisent à leur tours, mais plus lentement que la matière organique fraîche (minéralisation secondaire) certains composés issus de la minéralisation primaire peuvent être réorganisés au cours de l'humification.



## 6. Les processus d'humification et de minéralisation

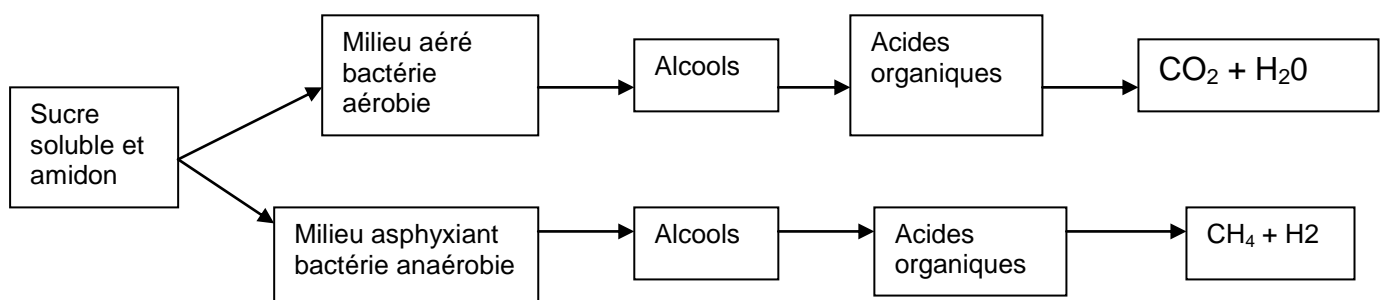
**6.1. L'humification:** Transformation de la MO en de nouveaux composés organiques à structure moléculaire complexe appelés humus c'est à dire un produit plus stable et résistant que la MOF.

### 6.1.1. Les phases de l'humification:

1- Biodégradation des molécules complexes en molécules plus simples sous l'action des enzymes secrétés par les microorganismes.

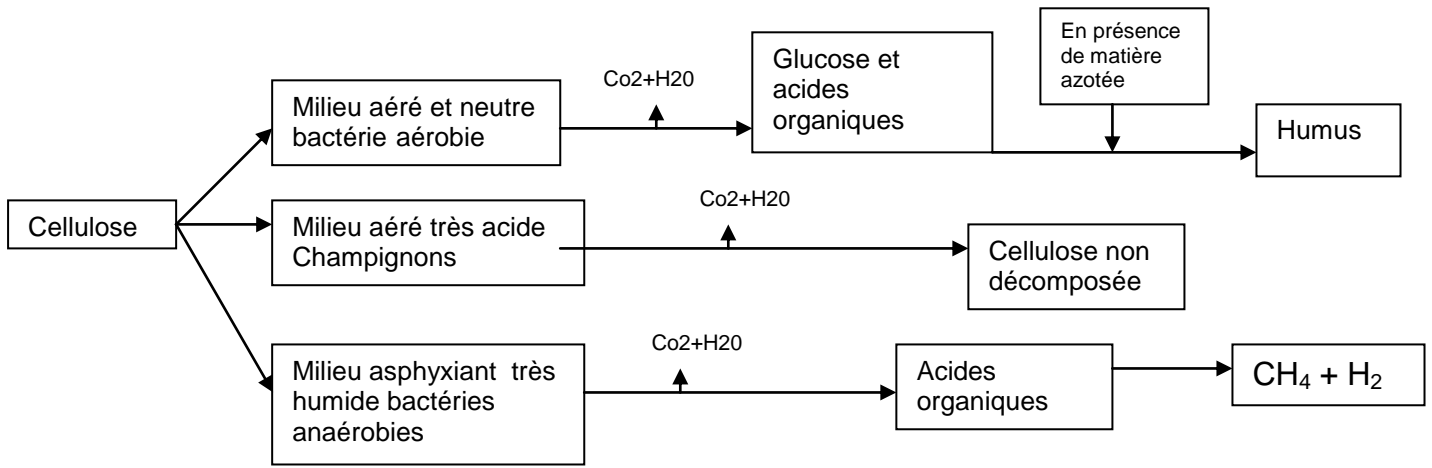
2- synthèse et condensation de molécules organiques : c'est à dire construction de nouvelles molécules de plus en plus grosses et polymérisées (polymérisation) a partir des molécules simplifiées par décomposition. Ce processus s'accompagne d'une incorporation d'azote dans le complexe organique, l'humus est donc un accumulateur d'azote. Au cours de l'humification le report C/N des produits formés va diminuer pour aboutir à des valeurs limites caractéristiques de l'humus formé.

3- Formation de complexe colloïdale : complexe argilo – humique.



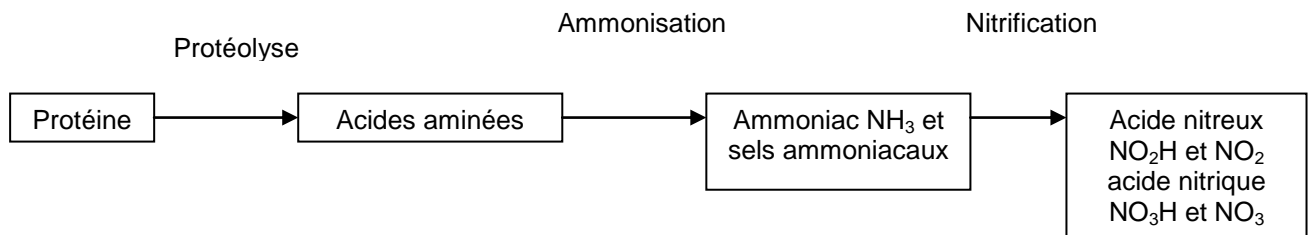
### Décomposition des glucides simples (sucres et amidon)

En milieu aéré les sucres solubles et l'amidon sont les premiers attaqués, ils sont une source d'énergie très accessible aux microorganismes, ils provoquent la prolifération des bactéries qui les oxydent rapidement. En milieu anaérobie ils sont décomposés jusqu'à la transformation en méthane CH<sub>4</sub>.



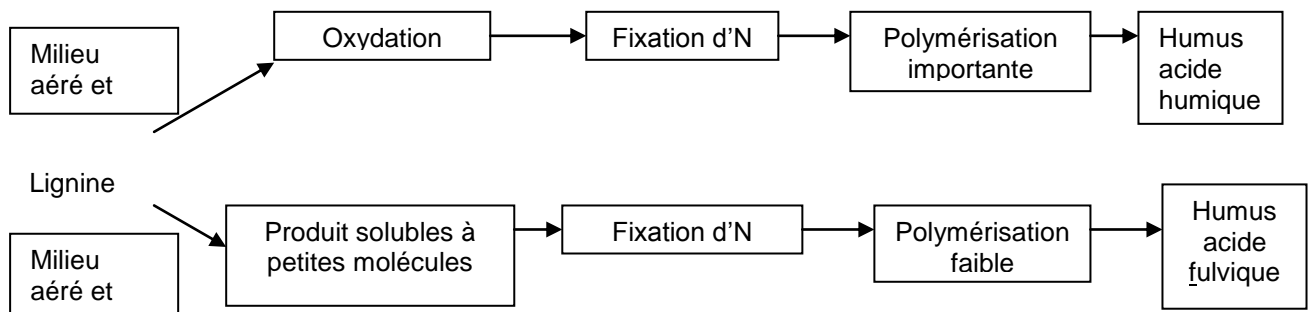
### Décomposition de la cellulose (cellulolyse)

**Cellulolyse** : La cellulose est facilement dégradée en milieu neutre ou légèrement alcalin par des bactéries aérobies qui la transforme en humus. En milieu aéré mais très acide la cellulose non décomposée s'accumule. En milieu asphyxiant la cellulose disparaît complètement ne laissant que de gaz.



### Décomposition des matières azotée

Protéolyse : dans les milieux actifs, peu acides et bien aéré la protéolyse passe par 3 étapes : protéolyse proprement dite libérant des acides aminés, ammonification libérant de l'ammoniac gazeux et enfin nitrification transformation de cet ammoniac en nitrites et en nitrates.



### Décomposition de la lignine (ligninolyse)

La lignine est beaucoup plus résistante aux activités microbiennes, sa dégradation est liée à l'activité des champignons. En milieu aéré et neutre: transformation de lignine en acide humique En milieu aéré et acide la ligninolyse est lente fragmentation des molécules de lignine en produits solubles à petites molécules, ces composés peuvent être repris dans certains processus de polymérisation.

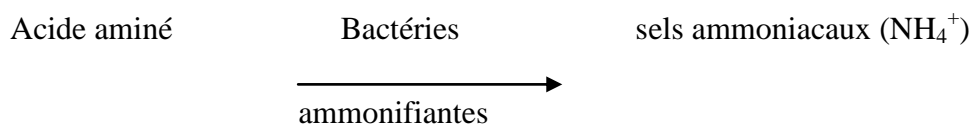
### 6.1.2. Les facteurs de l'humification:

- 1- Nature de la MO : la décomposition est rapide des végétaux jeunes à C/N assez bas ont une action stimulante sur l'activité microbienne, pour les matières à C/N élevé (paille, rameaux...) l'humification est lente.
- 2- L'aération : indispensable pour une évolution favorable de la MO
- 3- La réaction du sol (pH) : humification favorable en milieu neutre ou légèrement alcalin.
- 4- La température et l'humidité : la décomposition de la MO la plus intense est sous l'effet combiné d'une température élevée (30 – 35°) et d'une humidité suffisante.

### 6.2. La minéralisation:

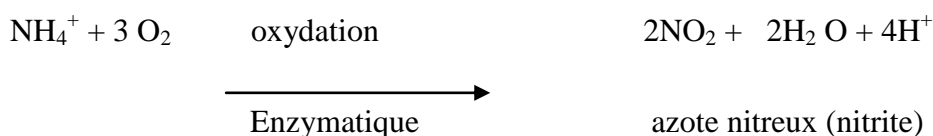
Transformation de la MO ou de l'humus en éléments minéraux, elle s'effectue généralement par voie microbienne et caractérisée essentiellement par la nitrification qui comporte 2 phases précédée par l'ammonisation.

- L'ammonisation : transformation de l'azote organique sous forme aminée en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) (champignons et Bactéries).

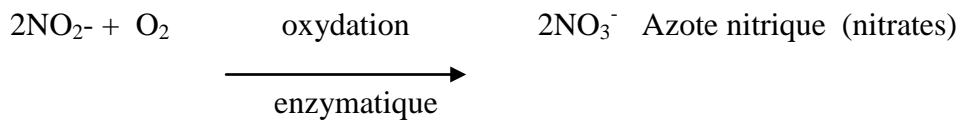


- La nitrification : transforme l'ammonium  $\text{NH}_4^+$  en ions nitriques  $\text{NO}_3^-$  par 2 oxydations

\* La nitrosation : transformation de l'N ammoniacal en N nitreux par des bactéries nitreuses les Nitrosomonas, agissant par oxydation.



\*Nitrification : transformation de l'N nitreux en N nitrique, oxydation par les Bactéries nitriques les Nitrobacters.



### 6.2.1. La décomposition des autres corps organiques :

Les composés organiques phosphorés et soufrés suivent une minéralisation semblable à celle des composés azotés, ils donnent des phosphates et sulfates d'autres éléments sont libérés également après minéralisation : Ca, K, Mg, Fe,...etc.

### 6.3. Facteurs influençant la minéralisation :

La minéralisation nécessite aussi une bonne aération du sol, les bactéries sont aérobies (nitreuses et nitriques), une température relativement élevée 30 –35°, humidité suffisante et un pH neutre ou légèrement alcalin.

### 7. Composition de l'humus:

L'humus est un composé colloïdal amorphe provient de la décomposition de la MO

Humus jeune: Formé de produits transitoires de la décomposition de la MO

Humus stable : synthétisé à partir de certains produits transitoires (polymérisation)

L'humus stable comporte 3 composants principaux.

- Acide humique : plus fortement polymérisé, il existe 2

- acide humique brun : peu condensé, faiblement lié aux argiles, moins durable
- acide humique gris : condensé, lié intimement aux argiles, forme l'humus le plus stable.

- Acide fulvique : produit peu polymérisé

- Humine : substance très complexe, très polymérisée, très liée aux colloïdes minéraux.

### 8. Les types d'humus :

Selon le pH, le taux de saturation en bases, C/N, (C/N renseigne sur la richesse d'humus en N), on distingue :

- La mull calcique : humus formé en condition aérobie en présence de calcaire, complexe argilo humique très flocculé et très stable, (très lié aux argiles) difficilement minéralisable pH>7, C/N =10, taux de saturation élevé.
- La mull forestier (humus doux) : sol riche en bases, conditions aérobies forme avec l'argile un complexe moins flocculé moins stable, pH 5.5 C/N 10 à 15
- Moder : sol forestier assez acide pH 4 à 5, C/N 15 à 25
- Mor (humus brut) humification lente et incomplète, sol très acide pH 3.5 – 4.5, C/N 30 – 40

#### **En milieu pauvre en oxygène:**

- Anmoor : anaérobiose forte mais temporaire (nappe temporaire)
- La tourbe anaérobiose totale et permanente

#### **9. Les propriétés de l'humus :**

L'humus est un composé colloïdal a très haute capacité d'échange 150 à 300 meq/100g (argile 8 – 150meq/100g), a haute capacité d'absorption d'eau plus que les argiles.

#### **10. Facteurs influençant la teneur en MO des sols:**

- 1- Le climat : la température et la pluviométrie influencent l'accumulation de la MO. Climat humide et froid favorise l'accumulation plus qu'un climat chaud et sec.
- 2- texture : un sol argileux contient plus de MO qu'un sol sableux en raison du taux de minéralisation plus bas.
- 3- Drainage : Mauvais drainage : dégradation lente ou nulle  
Drainage excessif : dégradation accélérée.
- 4- Les sols calcaires conservent mieux la MO, le calcaire protège la MO
- 5- Couverture végétale : favorise l'accumulation de la MO

#### **11. Influence de la MO sur les propriétés du sol :**

##### I. propriétés physiques

- Couleur : donne la couleur brune à noire  
sol riche en humus = sol chaud
- Structuration du sol : améliore la structuration du sol et par conséquent la porosité et l'aération
- Diminue la plasticité :
- Augmente la capacité de rétention en eau.

##### II. Propriétés chimiques :

- Source d'éléments nutritifs : N, P, S et oligo éléments



- Augmente la capacité d'échange cationique
- Diminue le pH

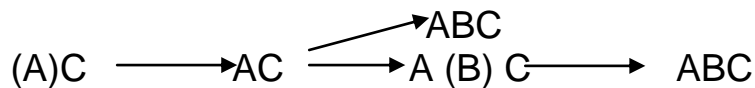
### III. Propriétés biologiques :

La MO est la nourriture et l'énergie de la vie dans le sol, augmente l'activité biologique.

## Notions sur la pédogenèse et la classification des sols

Le matériau minéral résultant de l'altération est colonisé par la végétation herbacée et arbustive. Le sol se forme et évolue, un horizon humifère s'édifie d'abord en surface (profil type AC) puis progressivement un horizon (B) ou B apparaît. Le cycle d'évolution des sols est caractérisé par 03 processus fondamentaux.

- Incorporation de MO et formation de l'horizon humifère de surface
- Altération des minéraux
- Mouvement de matières à l'état solubles, pseudo solubles ou en suspension ; c'est l'interaction de ces trois (03) processus conditionnés par les facteurs écologiques qui permettra de définir l'évolution du profil.



### **1. Mouvement de la matière dans les sols:**

L'eau qui circule dans les pores du sol (eau de gravité) entraîne avec elle certains éléments. C'est l'origine de migrations qui sont le plus souvent descendantes, une partie des éléments est entraînée hors du profil, une autre partie est déposée, redistribuée à un niveau inférieur de profil dans ce cas il se différencie 02 types d'horizons :

- Horizon A appauvri : horizon éluvial
- Horizon B enrichi : horizon illuvial

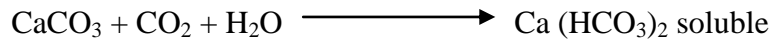
Les migrations ascendantes existent aussi dans des circonstances particulières.

### **Processus d'entraînement (éluviation):**

**1.1. Lixiviation** : migration des sels solubles : ce processus concerne essentiellement les cations les plus mobiles, ceux qui sont susceptibles de former des sels solubles :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ .

### **Décarbonatation des sols calcaires:**

Les sols contenant des carbonates subissent un processus particulier de lixiviation : la décarbonatation qui intervient généralement sous l'action du  $\text{CO}_2$  dissous.



En climat humide les éléments sont entraînés par drainage profond (perte), par contre en climat sec à forte ETP la précipitation des bicarbonates de Ca intervient en profondeur et elle est à l'origine de la formation d'un horizon calcique Ca. La dissolution progressive de carbonates est influencée par les eaux pluviales plus ou moins chargées en CO<sub>2</sub> dissous.

La désaturation du complexe adsorbant en base: décalcification : les monovalents sont plus mobiles que les bivalents.

## **2. Chéluviation:**

Migration de complexe organométallique : il s'agit de la migration de cations lourds Al<sup>+++</sup>, Fe<sup>+++</sup>, Mn<sup>++</sup> sous forme de complexe organométallique ou chélates c'est les acides organiques qui provoquent l'altération des minéraux et complexent ces ions, puis migrent sous la forme des complexes organométalliques pseudo solubles. Mais ils s'insolubilisent à nouveau dans les horizons B c'est l'origine de l'horizon spodique.

## **3. Le lessivage :** Migration des particules en suspension

C'est un processus d'entraînement mécanique des particules fines dispersées de l'argile depuis les horizons supérieurs (éluviaux) vers les horizons profonds (illuviaux) horizon Bt argillique. L'argile entraînée prend la forme de pellicules enrobant les unités structurales appelées cutanes ou argilanes déposés en couches.

Le lessivage est influencé par les conditions du milieu tel que : pH, calcaire, MO soluble, Fe<sup>+++</sup>, Al<sup>+++</sup>, le lessivage est presque nul en présence de calcaire actif. Lorsque le milieu est décarbonaté une certaine quantité d'argile fine se trouve libérée et peut être lessivée. Le lessivage ne sera important que dans les milieux d'acidité modérées (pH, 5.5 – 6.5) ou les ions Ca<sup>++</sup>, Al<sup>+++</sup>, ne soient par trop abondants. Le transport est facilité par l'existence des pores grossiers.

## **4. Classification des sols:**

Parmi les critères de bases des différentes classifications :

1- le degré de développement du profil :

Profil (A)C sols minéraux bruts

Profil AC : sols peu évolués (MO)

Profil A(B)C sols évolués par altération, horizon (B) d'altération

Profil ABC sols évolués par altération et migration horizon B illuvial

2-L'altération climatique

3- Mouvement de la matière

4- Pédoclimat

La classification française utilise les unités majeures : classe, sous classe, groupe, sous groupe et les unités mineures : Famille, série, type, phase.

12 classe ont été définies sur la base de pédogénèse liée ou non à l'action de la MO et la pédogénèse liée à des conditions locales.

- 1- Classe des sols minéraux bruts : pas d'évolution de profil AC, ACR, AR traces de MO.
- 2- Classe des sols peu évolués : AC, plus que traces de MO, jusqu'à 1.5% MO dans les 2 à 3 cm de surface.
- 3- Les vertisols : Argile > 35% montmorillonite gonflantes, fissures.
- 4- Les andosols : sols volcaniques, couleur foncée
- 5- Sols calcimagnésiques : présence d'ions  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ , profil AC, A(B)C normalement n'est pas B, MO fortement liée aux argiles.
- 6- Classe des sols isohumiques : MO incorporée profondément par voie biologique A(B)C, ABC, existe dans les steppes.
- 7- Sols brunifiés : meuble, argile 2/1 associées ou fer
- 8- Les sols podzolisés : caractérisés par le processus de cheluviation, entraînement de Fe, Al, Mo, humus de type mor ou moder
- 9- Les sols à sesquioxydes : riche en oxydes de fer et manganèse, sols fersiallitiques, sols ferrugineux.
- 10- Classe des sols ferralitiques : altération complète des minéraux primaires (sauf quartz) région humide tropicale.
- 11- Classe des sols hydromorphes : manque d' $O_2$ , saturation temporaire ou permanente.
- 12- Classe des sols halomorphes: présence de sels.

## 5. Description des profils :

Le profil pédologique : est une coupe verticale dans le sol constituée des couches superposées qui se différencient en couleur, texture, structure, humidité .....etc. appelées horizons.

### 5.1. Les horizons principaux:

A: horizon de surface contenant la MO, souvent appauvri en éléments fin

(B) : B structural ou d'altération : degré d'altération plus fort

B : horizon enrichi par illuviation en éléments fins, oxyde de Fe, Al.

C : horizon minéral originel (roche mère meuble)

R : roche mère dure

G : horizon de couleur grise verdâtre, taches de rouille (Fe) se forme au sein d'une nappe ou à la limite supérieur de la nappe.

### 5.2. Subdivision des horizons principaux :

Aoo (L) : débris végétaux litière identifiable (non décomposés)

Ao (O) : horizon organique partiellement décomposé > 30% de MO

A1 : Hz mixte contenant un mélange de MO et matière minérale

Ap : Hz humifère labouré, homogène (limite inférieure nette)

A2 : Hz pauvre en MO souvent lessivé en argile et en sesquioxydes couleur claire (éluvial)

A/B : Hz de transition entre A et B

Bt : Hz d'accumulation d'argile

Bh : Hz d'accumulation d'humus

Bfe : Hz d'accumulation de sesquioxydes

g : gley , pseudogley : tache verte, ou gris verdâtre : Bg, Cg.

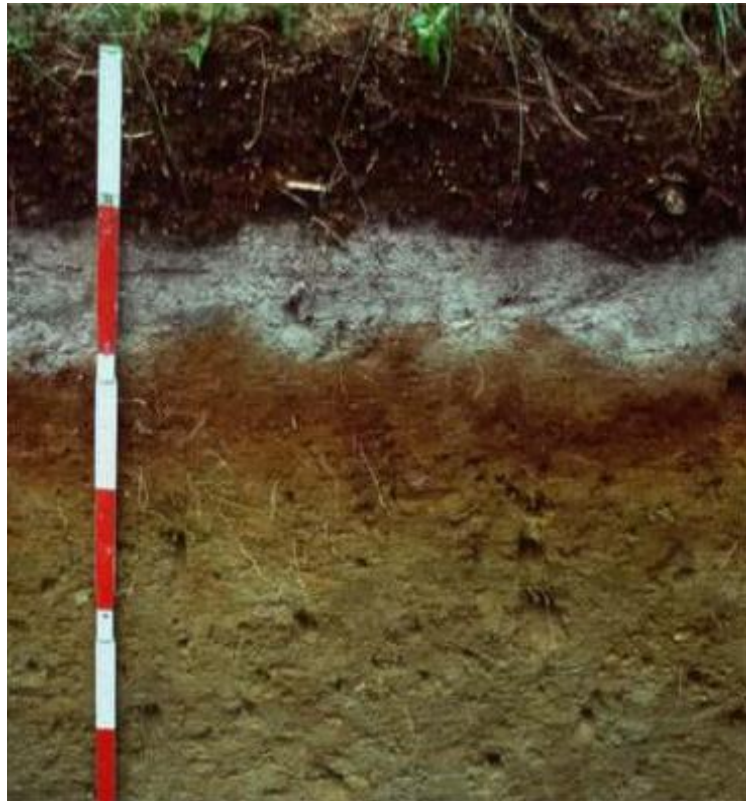
Ca : enrichi en CaCO<sub>3</sub>

Sa : enrichi en sels solubles

S : enrichi en gypse

### 5.3. Description:

Pour chaque horizon, il faut décrire: symbole de l'horizon, la hauteur, la couleur (frais et sec), taches, texture, structure, consistance (humide, frais, sec) cutans (revêtement des unités structurales), porosité, cailloux, nodules minéraux, compaction, CaCO<sub>3</sub>, caractères d'origine biologique, racines, pH, nature de transition .....etc.



## **Références Bibliographiques**

Baize D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie. Choix, expression, présentation, interprétation. I.N.R.A., Paris, 172p.

Daniel H., 1984 L'eau et le sol. Ed. Cabay, 288P.

Delecourt F., 1978 - Initiation à la pédologie. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat de Gembloux (Belgique), 69 p.

Duchaufour Ph., 1983 Pédologie. 1. Pédogenèse et classification. Ed. Masson, 491P.

Duchaufour Ph., 1979 Pédologie. 2. Constituants et propriétés du sol. Ed. Masson, 459P

HALITIM A., 1988 Sols des régions arides d'Algérie. OPU. Alger, 384P.

Kaouritchev I., 1983 Manuel pratique de Pédologie. Ed Mir Moscou, 278P.

Monnier G et Stengel P., 1982 - Structure et état physique du sol, Ed. Techniques, Paris (coll. Techniques agricoles.

Référentiel pédologique, 1995 INRA, France, 332P.

Soltner D., 2003 - Les bases de la production végétale. Tome 1 : le sol et son amélioration. Coll. Sciences et Techniques