

جامعة أبو بكر بلقايد

ⵜⴰⵎⴰⵎⴰⵏⵜ ⴰⵎⴰⵏⴰⵏⴰ ⴰⵎⴰⵏⴰⵏⴰ ⴰⵎⴰⵏⴰⵏⴰ

UNIVERSITÉ DE TLEMCEN



**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et les
Sciences de la Terre et de l'Univers**

Cours de Pédologie

Par : Dr. Lotfi M. KAZI-TANI

PROGRAMME

Chapitre Premier : Généralités et définitions

- Définitions :
- Les différentes fonctions du sol :
- Concepts de base : (profil, horizon, pédon, solum, ...)

Chapitre Deux : La composition du sol

- La fraction minérale du sol

Texture

Structure

Les minéraux du sol :

Propriétés chimiques des minéraux du sol :

Calcaire et calcium

- La fraction organique du sol

- *Origine et composition*

L'humus

La minéralisation

Types d'humus

Chapitre Trois : Les propriétés édaphologiques

- Le sol et l'eau

Notion de potentiel matriciel ou capillarité

Le mouvement de l'eau dans le sol

- La température du sol

- Le complexe absorbant et pH du sol :

Chapitre Quatre : PEDOGENESE & CLASSIFICATION DES SOLS

- L'évolution des sols

Les processus de migration

Les facteurs pédologiques (climat, topographie, roche-mère, végétation, temps)

- Le but de la classification
- Les principaux horizons de diagnostiques
- Types de classifications

Classification française

Classification de la FAO

Classification américaine

Chapitre Cinq : RELATION SOL/VEGETATION

Chapitre Six : DEGRADATION PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS

Chapitre Sept : RESTAURATION DES SOLS DEGRADES

Chapitre huit : SOLS ET TERRITOIRES

SORTIE SUR LE TERRAIN : description d'un profil pédologique et prise d'échantillons.

TP : analyse des échantillons prélevés lors de la sortie.

Bibliographie:

- 1. CALVET R., 2013. Le sol. éditions France Agricole.**
- 2. GIRARD M.C., SCHVARTZ C., JABIOL B., 2011. Etude des sols. Description, cartographie, utilisation.**
- 3. LOZET J., MATHIEU Cl., 2011. Dictionnaire encyclopédique de science du sol.**
- 4. MATHIEU Cl., 2009. Les principaux sols du monde.**
- 5. LEGROS J-P., 2007. Les grands sols du monde.**
- 6. DUCHAUFOR Ph., 1970 & 2001. Précis de pédologie - & - Introduction à la Science du sol.**
- 7. DURAND J-H., 1954. Les sols d'Algérie.**

Définitions :

- **Le sol** est la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques.
- Le sol est un interface entre le minéral (roche-mère), l'organique et le climat (lithosphère, biosphère et atmosphère). Il en est le produit.
- Pour l'agronome **le sol** constitue la partie superficielle meuble d'un terrain et travaillée par l'agriculteur.

- **La pédologie** : (du grec *Pedos* : pied et par extension sol et *Logos* : science) c'est une science qui a pour objet l'étude du sol. Cette étude concerne la **description, l'analyse, l'évolution, la classification et la cartographie des sols.**

DOKOUTCHAEV un géographe russe est considéré comme le père de la pédologie moderne.



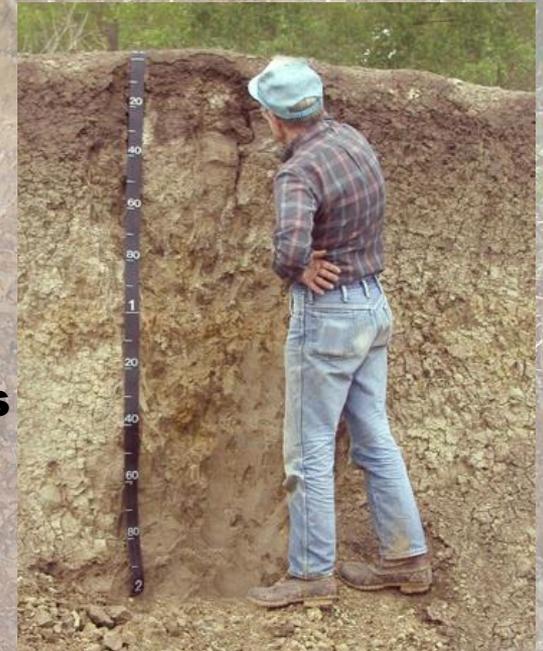
- **La pédologie considère le sol comme un complexe dynamique.**
- **Complexe** parce qu'il se trouve à l'intersection entre la **lithosphère**, l'**hydrosphère**, l'**atmosphère** et la biosphère. Ces quatre entités se retrouvent en interaction dans le sol.
- **Dynamique** (dimension temporelle) car ses propriétés s'acquièrent progressivement, sous l'action combinée des facteurs du milieu : il prend naissance, il évolue et il peut mourir.

Le sol avec sa complexité assure un certain nombre de fonctions dont :

- **Contrôle des cycles des éléments et de l'énergie en tant que compartiment des écosystèmes.**
- **Support des plantes, des animaux et des hommes ; et abrite une biodiversité tellurique importante.**
- **Rétention de l'eau.**
- **Production agricole (fertilité chimique et propriétés physiques des sols).**
- **Protection en tant qu'archive archéologique et paléoécologique (palynologie, pédoanthracologie ...), mais aussi témoin des événements de l'histoire récente.**
- **Base de constructions et des immeubles et toutes les infrastructures routières.**

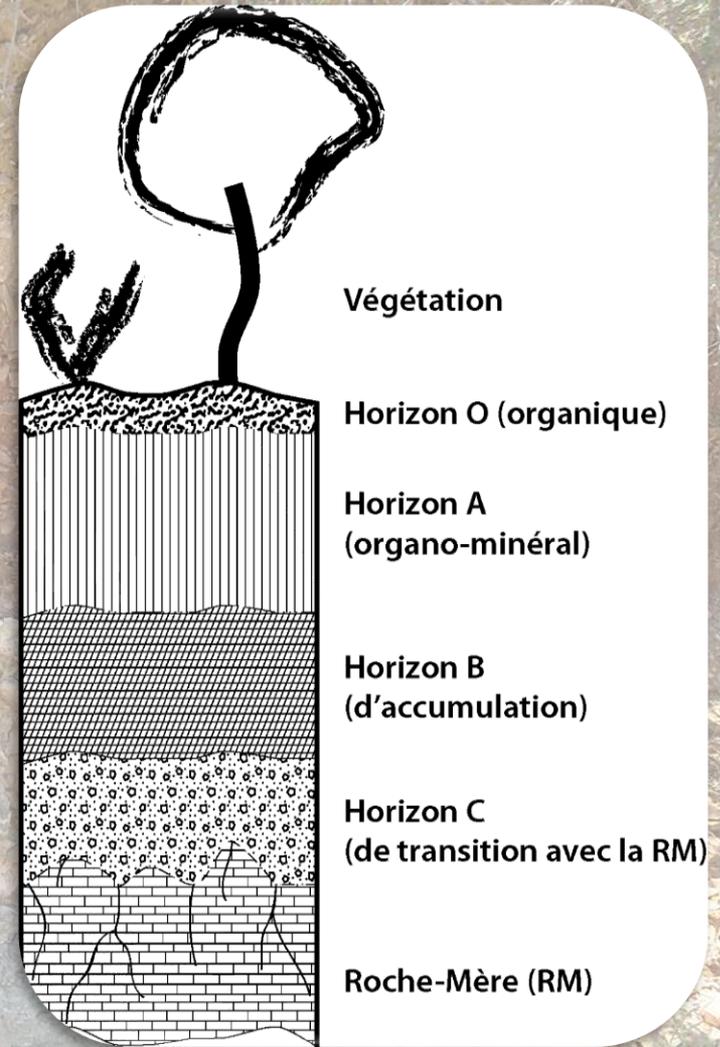
Concepts de la pédologie :

- **L'étude d'un sol commence par le terrain. En creusant le sol il apparait en coupe et révèle les horizons.**
- **Les horizons** sont des couches parallèles à la surface de différentes épaisseurs. Ils se distinguent par leur couleur et leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques.
- **Le profil** : c'est une séquence d'horizons caractéristiques d'un sol donné.
- **La roche-mère** c'est l'affleurement lithologique altéré pour former le sol.
- **Le solum** : c'est l'ensemble des horizons y compris la roche mère.
- **Le pédon** : Le profil d'un sol par définition ne possède ni épaisseur ni largeur. Le pédon est le volume élémentaire de sol. Il s'agit d'un individu théorique puisque le sol est un continuum.



Les horizons

- **L'épaisseur des horizons est variable en fonction des sols.**
- **La composition des horizons est variable en fonction des sols.**
- **Il existe des horizons intermédiaires.**
- **On détermine la qualité des horizons en fonction de leur texture et de leur structure.**
- **Les horizons sont à la base de la classification des sols**



Constitution du sol

- **Le sol comporte les trois phases de la matière :**
La phase solide, la phase liquide et la phase gazeuse.
La phase solide est constituée essentiellement de la matière minérale et secondairement de la matière organique.

La matière minérale : elle se subdivise en deux parts :

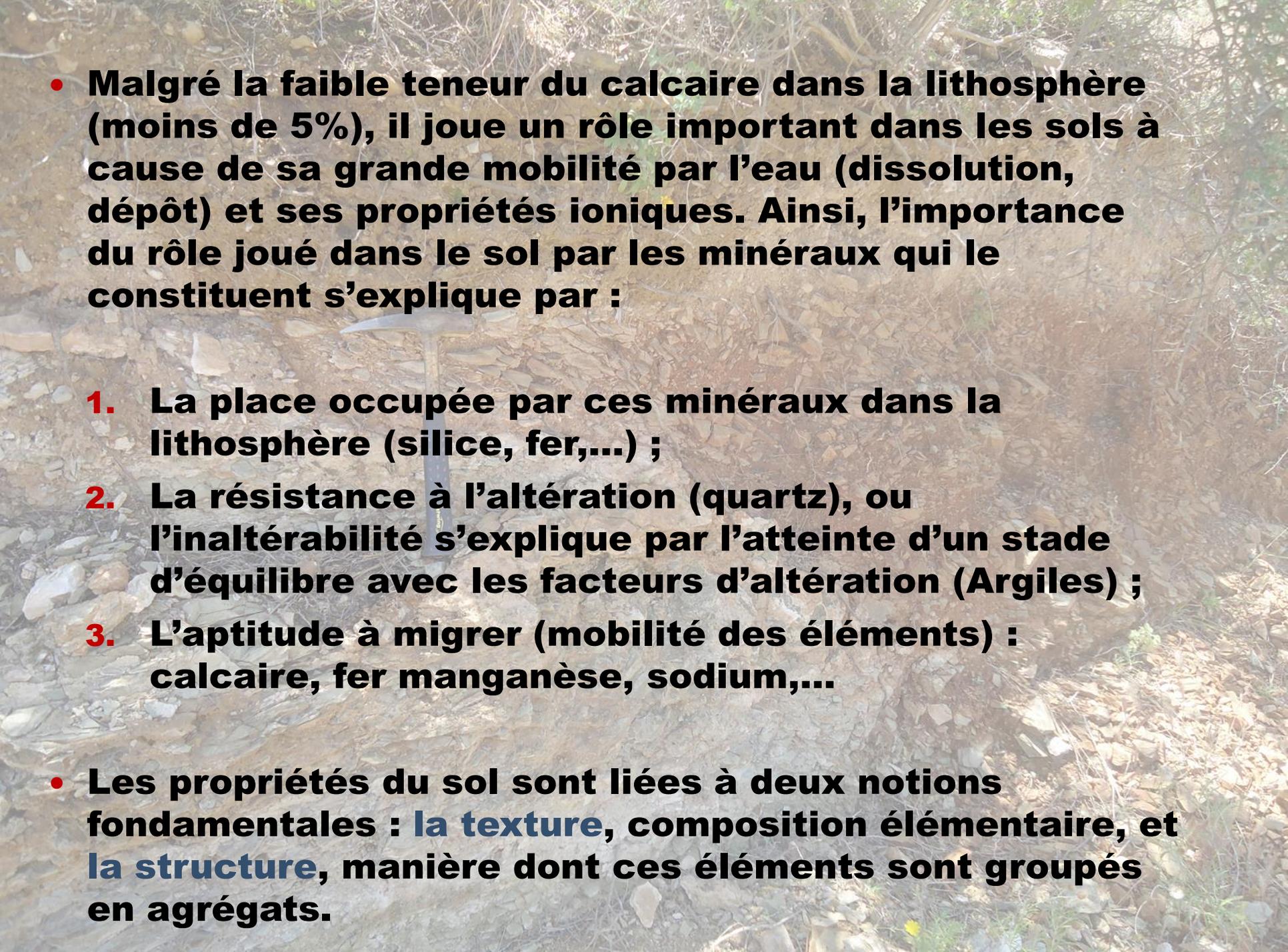
- 1. Les minéraux non altérés,** surtout abondants dans la partie grossière du sol, sables et limons.
- 2. Le complexe d'altération :** résultant de l'altération des minéraux primaires, et constituant la fraction fine du sol, qui possède des propriétés particulières en raison des charges électriques.

Fraction minérale d'un sol

La fraction minérale du sol est constituée en majeure partie de fragments de roches et des minéraux dont ils sont issus. Donc la constitution minéralogique des sols reflète en partie celle de la lithosphère.

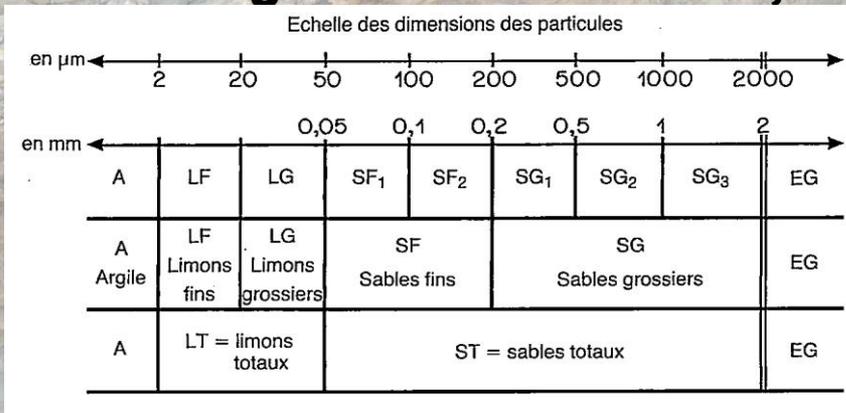
Sur le plan géochimique, les corps simples les plus répandus de la lithosphère sont :

SiO₂ : 60%	Al₂O₃ : 15%	Fe₂O₃ : 2,7%	FeO : 3,4%
MgO : 3,7%	CaO : 4,8%	Na₂O : 3,3%	K₂O : 2,98%
H₂O : 2,02% ...			

- 
- **Malgré la faible teneur du calcaire dans la lithosphère (moins de 5%), il joue un rôle important dans les sols à cause de sa grande mobilité par l'eau (dissolution, dépôt) et ses propriétés ioniques. Ainsi, l'importance du rôle joué dans le sol par les minéraux qui le constituent s'explique par :**
 - 1. La place occupée par ces minéraux dans la lithosphère (silice, fer,...) ;**
 - 2. La résistance à l'altération (quartz), ou l'inaltérabilité s'explique par l'atteinte d'un stade d'équilibre avec les facteurs d'altération (Argiles) ;**
 - 3. L'aptitude à migrer (mobilité des éléments) : calcaire, fer manganèse, sodium,...**
 - **Les propriétés du sol sont liées à deux notions fondamentales : la texture, composition élémentaire, et la structure, manière dont ces éléments sont groupés en agrégats.**

Texture et Structure du sol

- ❑ les propriétés du sol sont liées à deux notions fondamentales : ***la texture***, composition élémentaire, et ***la structure***, manière dont ces éléments sont groupés en agrégats.
- ❑ **La texture** (ou composition granulométrique) c'est la proportion des éléments du sol, classés par catégories de grosseurs. Les éléments minéraux sont supposés de forme sphérique.
- ❑ On appelle ***terre fine*** l'ensemble des éléments inférieurs à 2mm obtenue après tamisage.
- ❑ Le refus du tamis rentre parmi les
- ❑ **éléments grossiers : Graviers, et Pierres**



- ❑ **Détermination de la texture** : l'analyse granulométrique de la terre fine du sol est basée sur la vitesse de sédimentation des différentes particules du sol dans de l'eau.
- ❑ La vitesse de sédimentation, pour une particule de grosseur déterminée, est donnée par la **loi de Stokes**. Elle est proportionnelle au carré du rayon de la particule (DUCHAUFOR, 1970) :

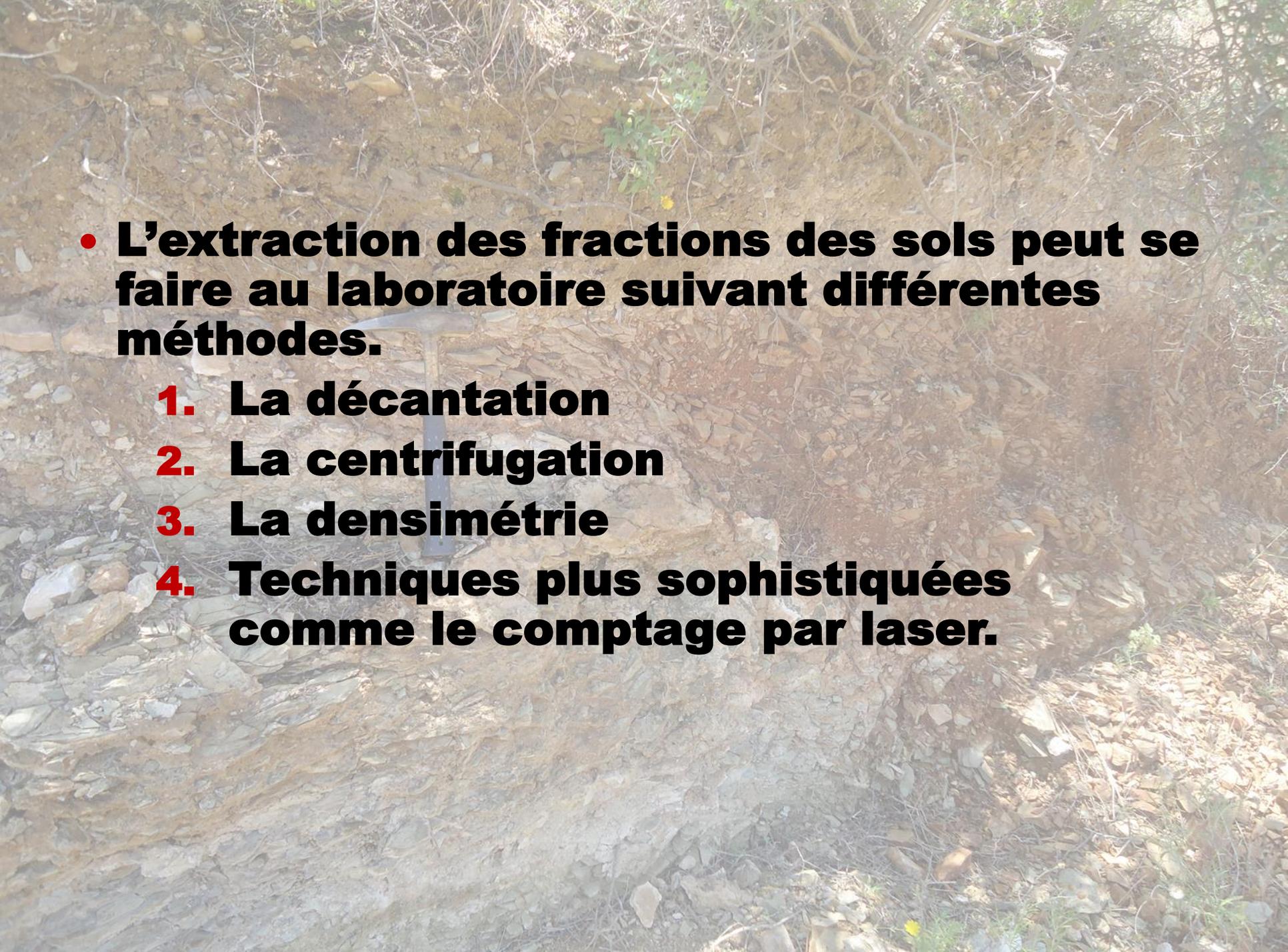
$$V=K.R^2$$

V : Vitesse de sédimentation

K : Coefficient qui dépend de la température de l'eau

R : Rayon de la particule

Ainsi, à 20° pour les limons, temps de chute sur 10cm de hauteur, est égal à 4mn 48sec. Pour les argiles ce temps de chute est de huit heures.



- **L'extraction des fractions des sols peut se faire au laboratoire suivant différentes méthodes.**

- 1. La décantation**

- 2. La centrifugation**

- 3. La densimétrie**

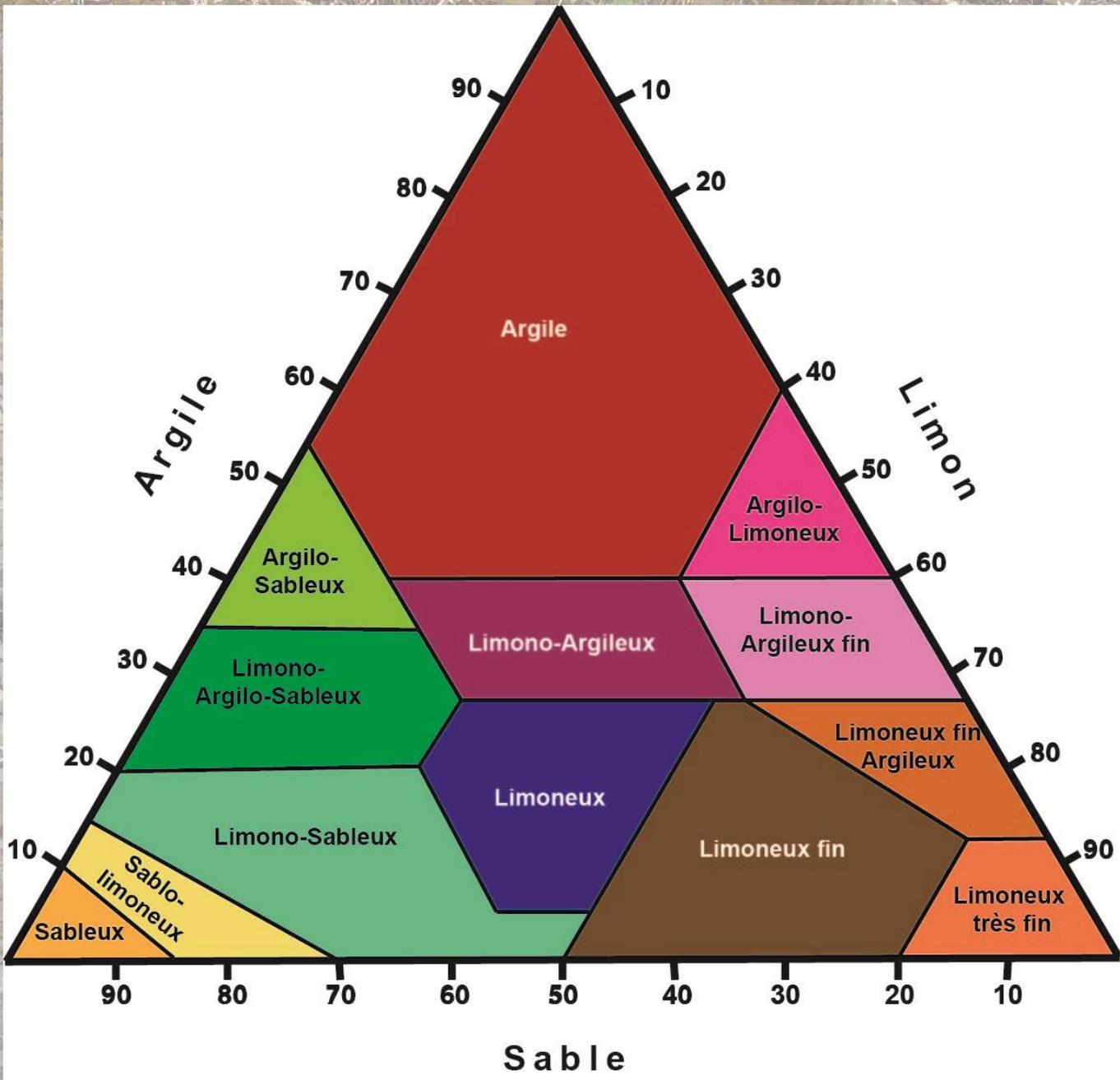
- 4. Techniques plus sophistiquées comme le comptage par laser.**

❑ **Types de texture** : l'analyse granulométrique permet de fixer le pourcentage des divers constituants du sol. Les classes de texture sont déterminées d'après un graphique triangulaire (**triangle de texture**) représentant la répartition des éléments constituants du sol suivant leurs dimensions.

Le point de concours des trois droites parallèles aux côtés, définit la classe texturale.

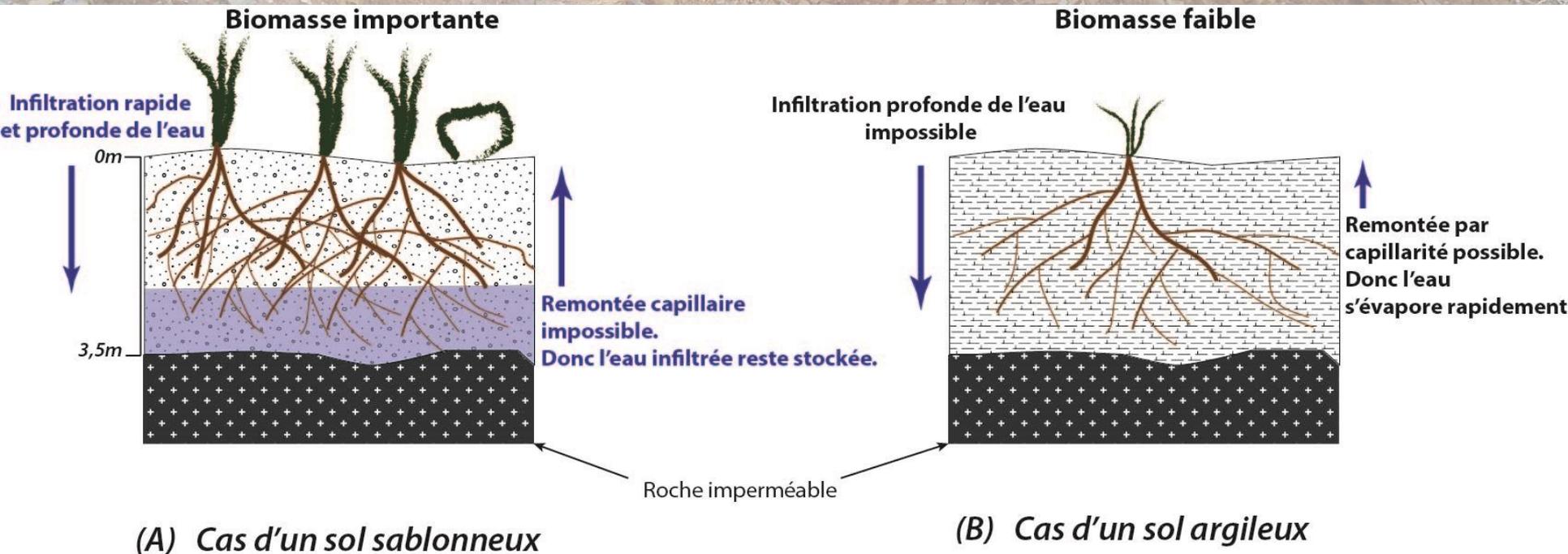
La dénomination des classes de texture commence par l'énonciation de la classe granulométrique prédominante puis de celle qui lui succède en %.

Exemple : texture limono-sableuse ou limon sableux désigne une texture où la fraction prédominante est celle des limons et contenant une teneur non-négligeable de sables.



Il a été démontré que pour une même couverture végétale peut apparaître d'une manière préférentielle sur des sols à texture grossière sous des conditions bioclimatiques arides, et la même couverture végétale peut se trouver sur des sols à texture fine sous un bioclimat humide. Cette situation a été appelée l'effet inverse de la texture (Noy-Meir, 1973).

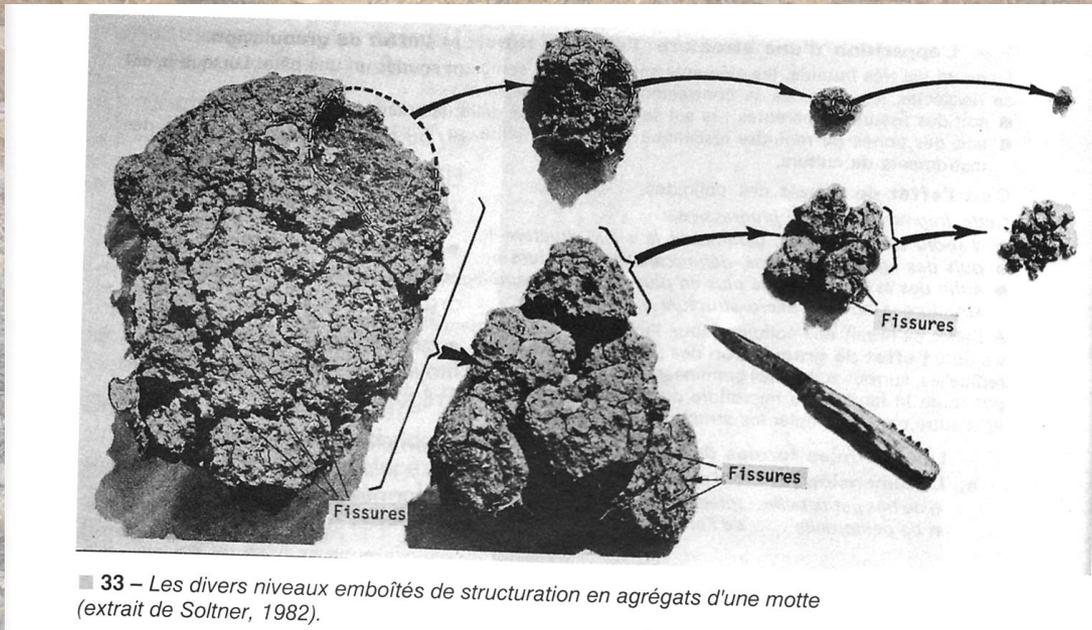
Et sous les mêmes conditions bioclimatiques arides, la biomasse des sols à texture grossière est plus importante que la celle sur sols à texture fine.



Explication schématique de l'effet inverse de la texture dans les régions arides.

Structure du sol

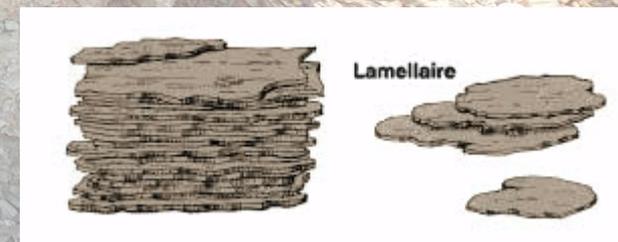
- La structure complète la notion de texture.
- La structure désigne le mode d'assemblage des particules. Elle se décrit à deux niveaux :
 - ❖ Le niveau macroscopique : visible à l'œil nu
 - ❖ Le niveau microscopique : microstructure ou micromorphologie.



- L'importance de la structure est considérable. Elle influence l'aération du sol, la résistance à la pénétration des racines, elle joue un rôle dans la résistance à l'érosion, elle intervient dans le lessivage des sols, leur perméabilité.

Types de structure

- **La structure grumeleuse** : Les particules individuelles de sable, limon et argile s'agrègent en petits grains presque sphériques. L'eau circule très facilement dans ces sols. On les trouve couramment dans l'horizon A des profils pédologiques.
- **La structure angulaire** : Les particules s'agrègent en blocs presque cubiques ou polyédriques, dont les angles sont plus ou moins tranchants. Des blocs relativement gros indiquent que le sol résiste à la pénétration et au mouvement de l'eau. On les trouve couramment dans l'horizon B où l'argile s'est accumulée.
- **La structure colonnaire** : Les particules ont formé des colonnes ou piliers verticaux, séparés par des fentes verticales minuscules mais bien visibles. L'eau circule avec beaucoup de difficulté et le drainage est médiocre. On les trouve couramment dans l'horizon B où l'argile s'est accumulée.
- **La structure lamellaire** : Les particules s'agrègent en fines plaquettes ou lamelles superposées horizontalement. Les plaquettes se chevauchent souvent, gênant considérablement la circulation de l'eau. On les trouve fréquemment dans les sols forestiers, dans une partie de l'horizon A



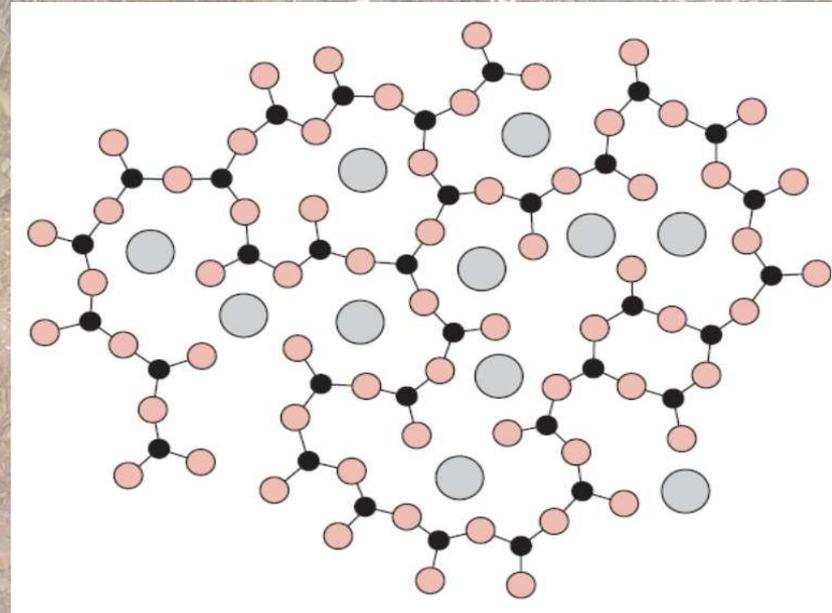
Les minéraux du sol

Les minéraux sont des corps inorganiques pouvant se rencontrer dans la nature sous trois états physiques opposés de leur matière :

- **L'état cristallin**, caractérisé par l'arrangement régulier des molécules. C'est, de loin, le plus répandu dans la nature. Il existe deux phases de dans la cristallisation des matières minérales, d'abord la germination encore appelée nucléation puis croissance cristalline.

Nom du Système	simple	corps centré	2 faces centrées	faces centrées
triclinique $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$				
monoclinique $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$				
orthorhombique $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$				
rhomboédrique $a = b = c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$				
quadratique $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$				
hexagonal $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 120^\circ \neq \gamma = 90^\circ$				
cubique $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$				

➤ **L'état amorphe**, caractérisé par l'absence de régularité des molécules.



➤ On admet aussi la présence d'un troisième état « **l'état paracristallin** » c'est un cas intermédiaire entre les deux précédents. La structure minéralogique est régulière sur de très petites distances ; au-delà, les atomes sont placés plus moins en désordre (LEGROS, 2007).

- **La nature des différents minéraux d'un sol et leur distribution verticale en son sein, sont déterminées par :**
 - 1. La composition de la roche-mère dont sont issus les principaux minéraux du sol (*minéraux hérités*). Certains sont très stables et s'altèrent très lentement (quartz, gibbsite, minéraux lourds,...).**
 - 2. d'autres sont plus instables peuvent se dégrader par les processus pédogénétiques, ou bien ils peuvent être modifié plus ou moins profondément (*altération*) ou engendrer de nouveaux (processus de *néoformation*).**
- **On peut distinguer les minéraux primaires et les minéraux secondaires :**

1. **Les minéraux primaires** dans un sol sont les minéraux qui ont résisté à l'altération ou qui n'ont pas encore été altérés dont la plupart sont des minéraux hérités. Une autre partie peut provenir d'une autre source que la RM exemple : **poussière du Sahara.**

Table 1.1 Common primary minerals in soils

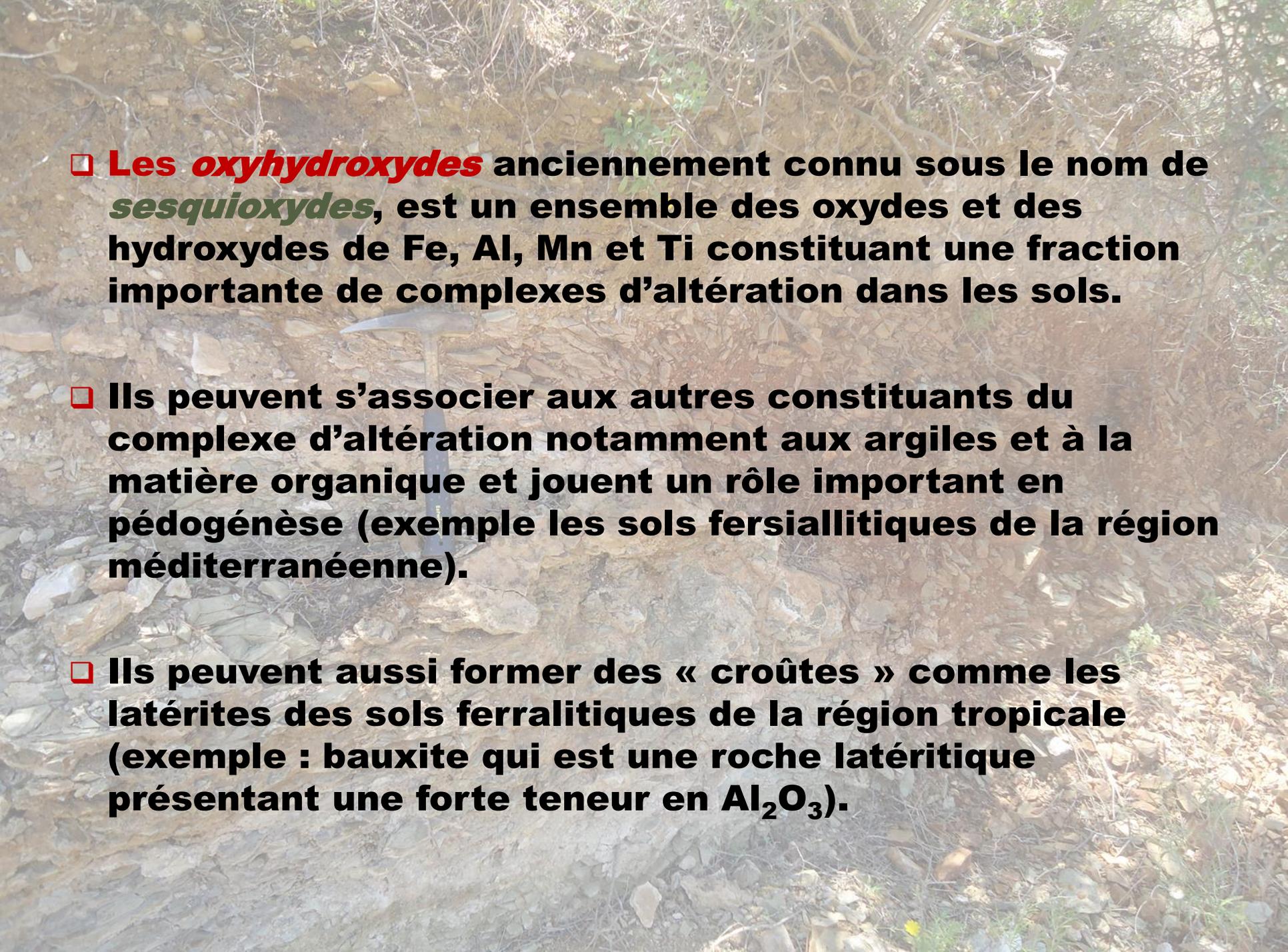
Quartz	SiO_2	
Microcline	KAlSi_3O_8	(Feldspars)
Orthoclase	KAlSi_3O_8	(Feldspars)
Sodic plagioclase (albite)	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	(Feldspars)
Calcic plagioclase (anorthite)	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	(Feldspars)
Muscovite	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$	(Micas)
Biotite	$\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{\text{II}})_3(\text{Al},\text{Si}_3)\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	(Micas)
Chlorite	$(\text{Mg},\text{Fe}^{\text{II}})_{10}\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH},\text{F})_{16}$	
Hornblende	$\text{NaCa}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{\text{II}})_4(\text{Al},\text{Fe}^{\text{III}})(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2$	(Amphibole)
Augite	$(\text{Ca},\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_2(\text{Al},\text{Si})_2\text{O}_6$	(Pyroxene)
Serpentine	$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	
Tourmaline	$\text{Na}(\text{Mg},\text{Fe}^{\text{II}},\text{Al},\text{Mn},\text{Li})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH},\text{F})_4$	
Garnets	$(\text{Fe}^{\text{II}},\text{Mg},\text{Mn},\text{or Ca})_3(\text{Fe}^{\text{III}},\text{Al},\text{or Cr})_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	
Epidote	$(\text{Ca}_2\text{Fe}^{\text{III}}\text{Al}_2\text{O})(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{SiO}_4(\text{OH})_4$	
Olivines	$(\text{Mg},\text{Fe}^{\text{II}})_2\text{SiO}_4$	
Sphene	CaTiSiO_5	
Zircon	ZrSiO_4	
Apatite	$\text{Ca}_5(\text{F},\text{Cl})(\text{PO}_4)_3$	
Ilmenite	FeTiO_3	
Rutile	TiO_2	

Les minéraux secondaires sont essentiellement **des phyllosilicates** (minéraux argileux), des **oxyhydroxydes** (de fer, d'aluminium, de manganèse,...), des carbonates (de calcium, de magnésium), des sulfates (de calcium : gypse) et des chlorures (de sodium : halite). Ils sont issus d'altération ou de néoformation.

Les minéraux argileux et les oxyhydroxydes sont les constituants caractéristiques de ce que les pédologues appellent le **complexe d'altération** des sols (qui fait parti de la fraction fine du sol à ne pas confondre avec la terre fine).



Complexe d'altération

- 
- The background image shows a natural geological setting. It features a rocky, eroded hillside with a mix of brown and grey soil and rock fragments. A geological hammer is placed vertically in the center of the image to provide a sense of scale. The hammer has a dark handle and a light-colored head. The overall scene is outdoors, with some sparse vegetation and roots visible on the surface.
- ❑ **Les *oxyhydroxydes*** anciennement connu sous le nom de ***sesquioxydes***, est un ensemble des oxydes et des hydroxydes de Fe, Al, Mn et Ti constituant une fraction importante de complexes d'altération dans les sols.
 - ❑ Ils peuvent s'associer aux autres constituants du complexe d'altération notamment aux argiles et à la matière organique et jouent un rôle important en pédogénèse (exemple les sols fersiallitiques de la région méditerranéenne).
 - ❑ Ils peuvent aussi former des « croûtes » comme les latérites des sols ferralitiques de la région tropicale (exemple : bauxite qui est une roche latéritique présentant une forte teneur en Al_2O_3).

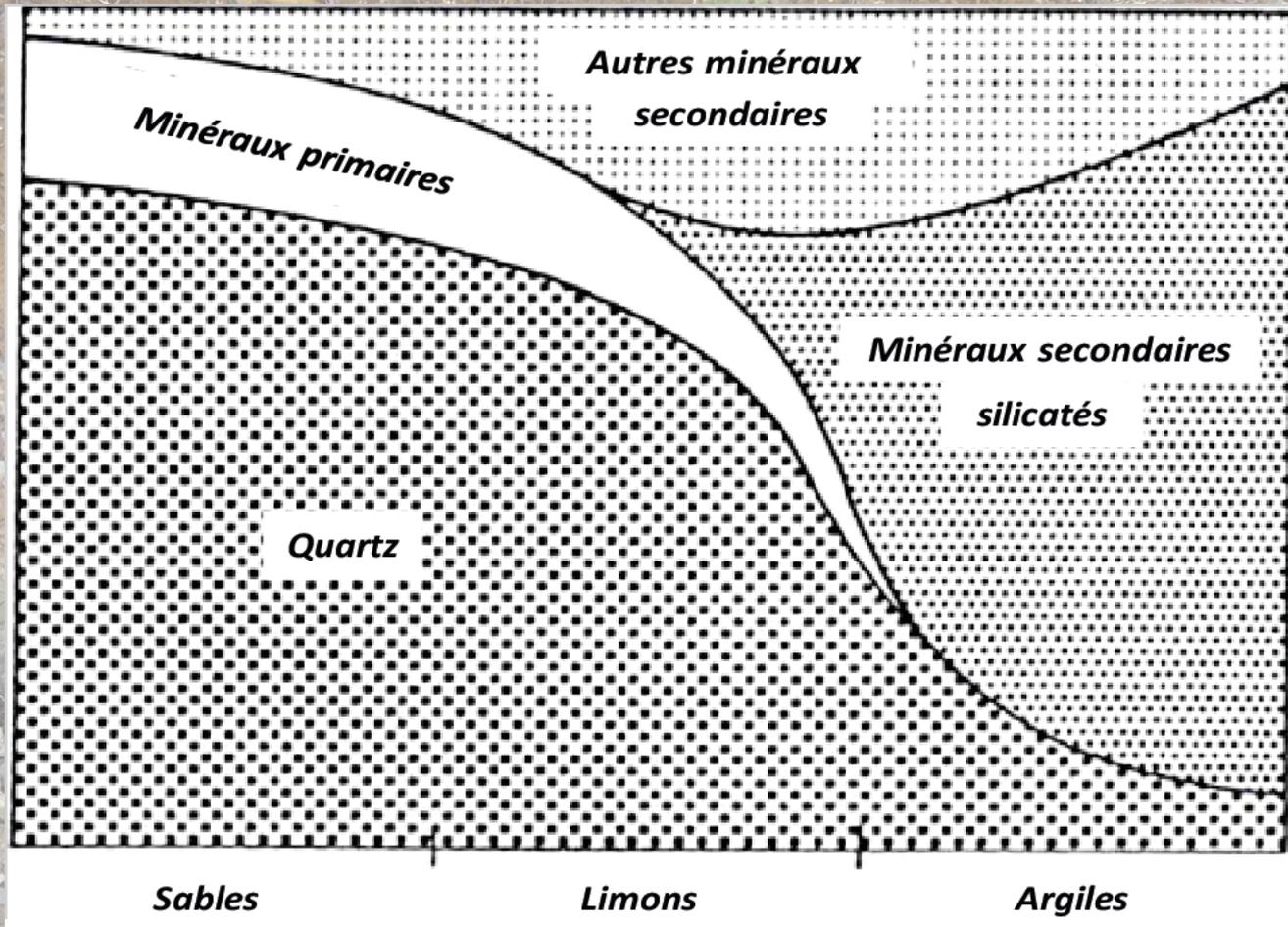
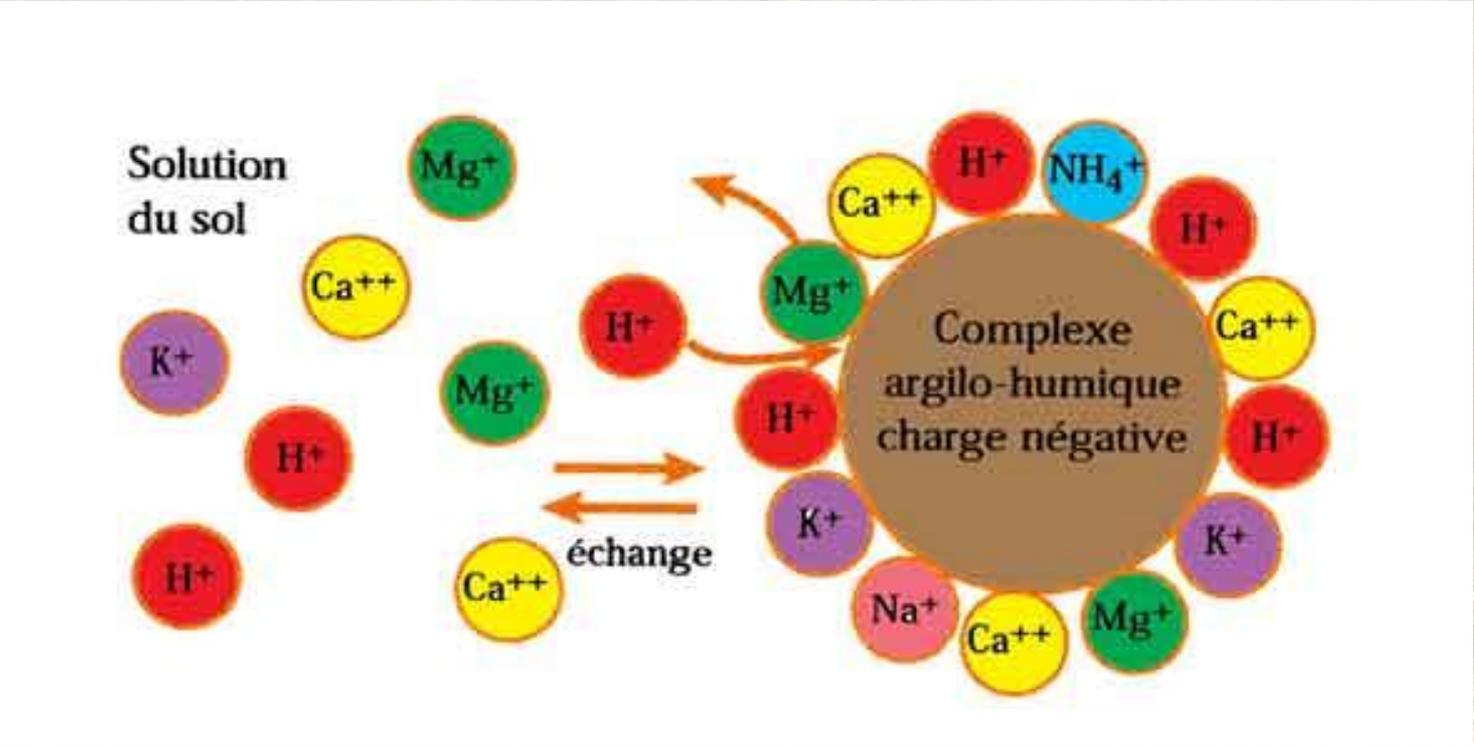


Diagramme montrant la relation générale qui lie la taille des particules et leur composition minéralogique (d'après BEAR, 1964).

Propriétés chimiques des minéraux du sol

- ❑ Les éléments fins donnent au sol ses propriétés physico-chimiques :
 1. Adsorption des ions
 2. Cimentation des agrégats plus ou moins gros et donc joue un rôle dans la structure du sol.
- ❑ ***Propriétés colloïdales des argiles*** : Les colloïdes sont des macromolécules organiques (humus) ou minérales (argiles) qui, placées dans l'eau, ne forment pas une solution, mais forment une suspension colloïdale.
- ❑ La particularité des colloïdes est la présence à leur surface de charges électropositives ou électronégatives. La nature des charges de surface conditionnent l'état des argiles dans la solution du sol.
 1. Dispersion pour des charges électriques similaires
 2. Flocculation pour des charges électriques différentes (formation des agrégats du sol).
- ❑ Les argiles avec l'humus présentent des propriétés d'échange constituent ce que l'on appelle le complexe absorbant. Il joue un rôle majeur dans la régularisation de la composition ionique de la solution du sol et intervient dans la nutrition minérale des plantes.



Les argiles

- Les argiles minéralogiques sont des édifices minéraux microcristallins. Ce sont des silicates d'alumine, plus ou moins hydratés, de formule générale :

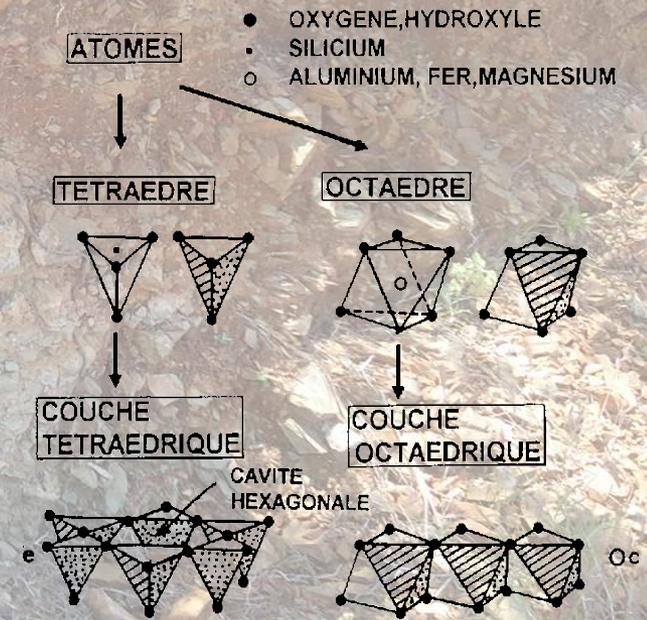


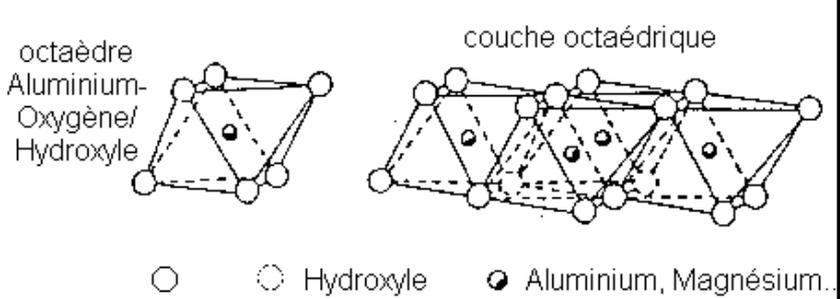
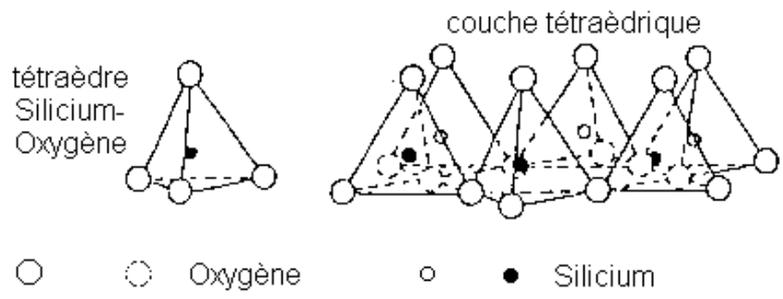
- Ce sont des phyllosilicates d'aluminium dont les feuillets sont constitués de couches d'octaédres $\text{Al}(\text{OH})_6$ et de couches de tétraédres SiO_4 reliées par les atomes O et OH mis en commun.

La distance inter-réticulaire **d** sépare 2 feuillets successifs. Les substitutions d'atomes sont fréquentes dans les feuillets. L'édifice cristallin peut être désorganisé (la cristallinité est moins bonne). D'autre part, il y a des déséquilibres au niveau des charges; ce déséquilibre est compensé par adsorption de cations dans l'espace inter-foliaire (capacité d'échange des argiles).

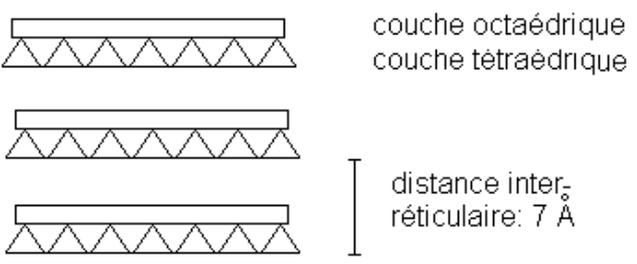
D'après la structure du feuillet, on distingue principalement les argiles 1/1 (1 couche tétraédrique+1 couche octaédrique) et les argiles 2/1 (2 tétra. pour 1 octaédrique).

On trouve aussi des argiles comme les chlorites de type 2/1/1 la dernière couche octaédrique qui ne partage pas des sommets avec les couches tétraédriques des feuillets 2/1.

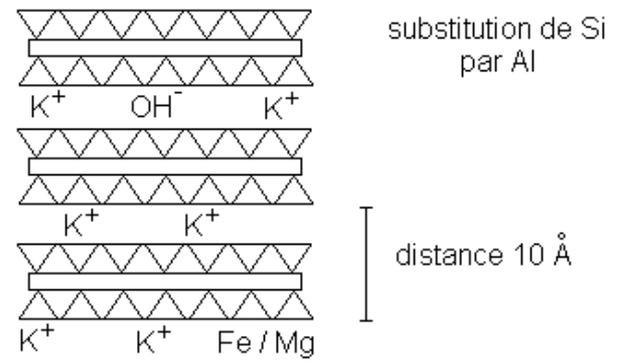




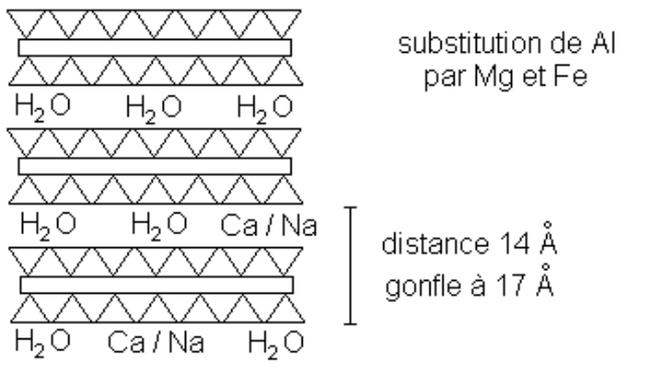
KAOLINITE $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$



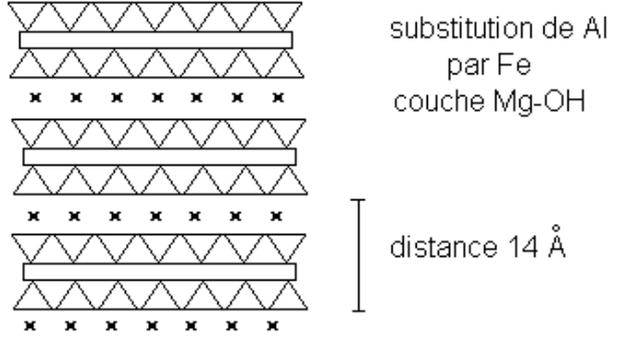
ILLITE $K Al_2(OH)_2 \cdot (Al Si_3(O, OH)_{10})$



SMECTITES $2 Al_2O_3 \cdot 8 SiO_2 \cdot 2 H_2O \cdot n H_2O$
(Montmorillonite) $(Mg, Ca) O, Al_2O_3 \cdot 5 SiO_2 \cdot n H_2O$



CHLORITE $Mg_5(Al, Fe)(OH)_8(Al, Si)_4O_{10}$



Origine des argiles:

Elles peuvent avoir plusieurs origines :

- a) Héritées de de la roche-mère (une argilite, marnes, ...) : La roche-mère est déjà riche en argiles et se retrouvent dans le sol.**
- b) Issues de l'altération chimique des minéraux primaires : elle dépend du climat (précipitation et température) plus la température et les précipitations sont importantes plus l'altération géochimique est rapide intense.**
- c) La néoformation : c'est-à-dire que sont des argiles qui sont construites aux des matériaux, des « briques », libérées par l'altération totale.**

Le calcaire dans le sol

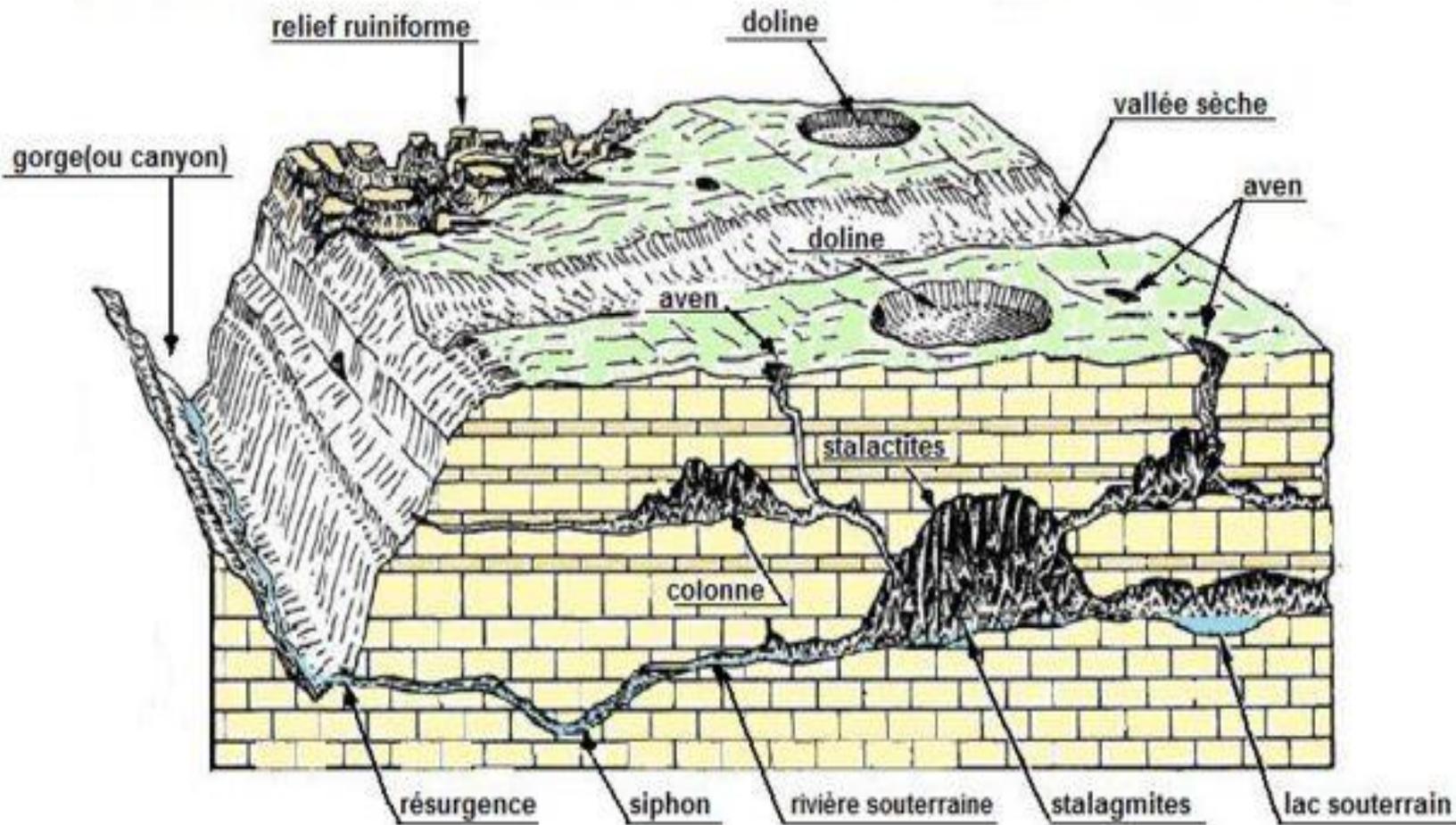
- **Le calcaire peut avoir plusieurs origines :**
 - ❖ **Lithologique** : Le calcaire peut se trouver dans le sol à l'état de fragments de différentes dimensions issus de la désagrégation de la roche-mère, jusque sous la forme d'une poudre très fine.
 - ❖ **Une provenance latérale** suite à la position topographique du sol. L'eau, lors de son écoulement ou son drainage dans le sol, peut dissoudre le calcaire et l'entraîne plus en aval dans des sols où la roche-mère n'est pas calcaire ou riche en calcaire.
 - ❖ **Nappe phréatique** : la précipitation du bicarbonate de calcium dans le sol, provenant de la remontée des nappes phréatiques lors de la saison des pluies.
 - ❖ **Origine biologique** : il arrive aussi que le calcaire du sol provienne essentiellement de coquilles des hélicidés (gastéropodes).

- **La particularité du calcaire est sa mobilité assurée par le mouvement de l'eau. Le calcaire se dissout dans l'eau suivant la réaction suivante :**



- **C'est une réaction réversible, elle explique tout aussi la *dissolution* du calcaire que sa *précipitation*.**
- **Cette réaction est à la base de la formation des reliefs *karstiques*.**

PAYSAGE KARSTIQUE MODÉLISÉ





**Paysage karstique (Mons de Tlemcen)
Oued Tafna prend sa source à partir de Ghar Boumaâza**

- **Un certain nombre de facteurs agissent sur cette réaction :**
 - ❖ **La température de l'eau : plus elle est basse et plus elle peut se charger de dioxyde de carbone.**
 - ❖ **L'abondance de l'eau : les régions désertiques ne sont pas favorables à la formations de reliefs karstiques.**
 - ❖ **La nature de la roche.**
 - ❖ **La teneur de l'eau en dioxyde de carbone : cette teneur augmente avec la pression par exemple mais aussi avec l'abondance dans le sol d'êtres vivants fournissant ce dioxyde de carbone à l'eau.**
La présence de fractures, fissures, diaclase, cavités, pores ... dans la roche permet une meilleure infiltration de l'eau et une dissolution meilleure.
 - ❖ **La durée de contact entre l'eau et la roche : il vaut mieux des roches microfissurées où l'eau circulera lentement, que de grosses fractures qui diminueront la surface et le temps de contact entre l'eau et la roche.**

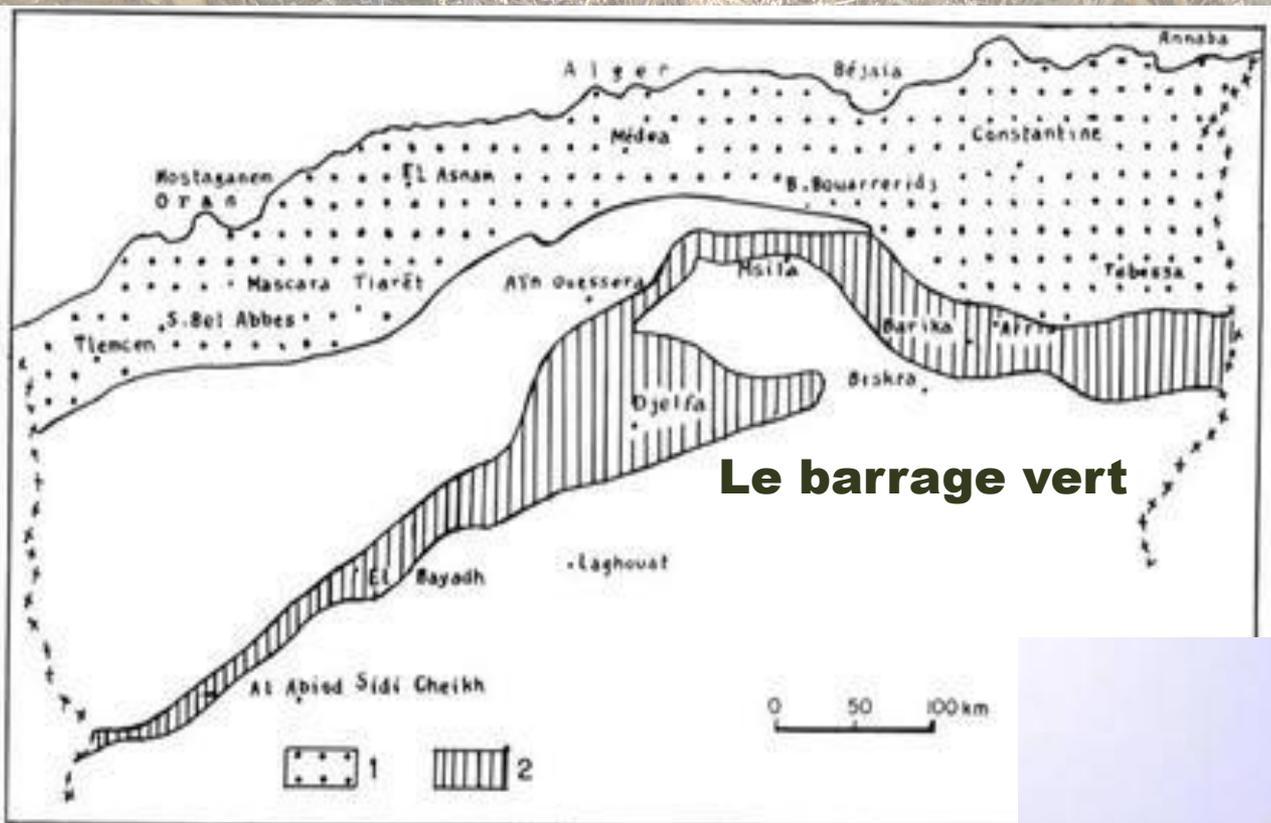
Rôle favorable du calcaire dans le sol

- Le calcium fixé sur le **complexe absorbant** constitue le **calcium échangeable** du sol.
- Plus le calcaire dans le sol est fin plus il joue un rôle important on l'appelle ainsi le **calcaire actif**.
- Le calcium est capable de neutraliser le pH du sol. Ainsi un sol avec un pH neutre est favorable à l'activité biologique contrairement à un sol acide ou alcalin.
- Parallèlement le calcium du sol provoque la **floculation** des colloïdes argileux et humiques. Il favorise la stabilité structurale du sol.
- Le calcaire influence le **régime thermique** des sols. Un sol sur substratum calcaire est plus chaud. Cette caractéristique des sols calcaires affecte le développement des plantes.

La floculation : grâce au **pont calcique** qu'il crée entre les colloïdes du sol le calcium floccule (agglomère) les colloïdes minéraux et organiques.

Rôle **défavorable** du calcaire dans le sol

- Le pH élevé (entre 7,5 et 8,5) a pour effet de déterminer une absorption déficiente de certains oligo-éléments : manganèse (*chlorose manganique*), zinc, cuivre, bore, etc.
- Lorsque le taux de calcaire actif est supérieur à 7% on observe également une **absorption déficiente** en fer : c'est la *chlorose ferrique*.
- Lorsqu'ils précipitent, les carbonates peuvent former un horizon C_{Ca} ou même B_{Ca} , ce sont des horizons à forte teneur en calcaire qui peut conduire à la formation d'une croûte calcaire (Calcrète) entravant ainsi le développement des racines et la circulation de l'air et de l'eau.
- **L'exemple du barrage vert en Algérie des années 1970s : la destruction de la croûte calcaire pour le reboisement a conduit à la remobilisation du calcium qui était inactif dans la croûte. La conséquence c'est que les jeunes plantules essentiellement des pins d'Alep ont souffert de la chlorose ferrique.**
- Le calcaire affecte le régime thermique des sols, et peut accentuer la sécheresse édaphique.



Le barrage vert

Fig. 1 : LOCALISATION DES BARRAGES VERT ET FRUITIER.
 1 - barrage fruitier ; 2 - premier barrage vert



Paysage steppique

La fraction organique du sol

- **La matière organique des sols a pour origine les déchets provenant des végétaux et des animaux. La fraction d'origine végétale est prédominante.**
- **Elle est rapidement décomposée par les organismes qui peuplent le sol.**
- **Au cours de sa décomposition, la matière organique va donner :**
 - 1. Des éléments minéraux solubles (minéralisation primaire et minéralisation secondaire).**
 - 2. Des complexes colloïdaux (**humus**) qui sont relativement stables et résistants à l'action microbienne.**

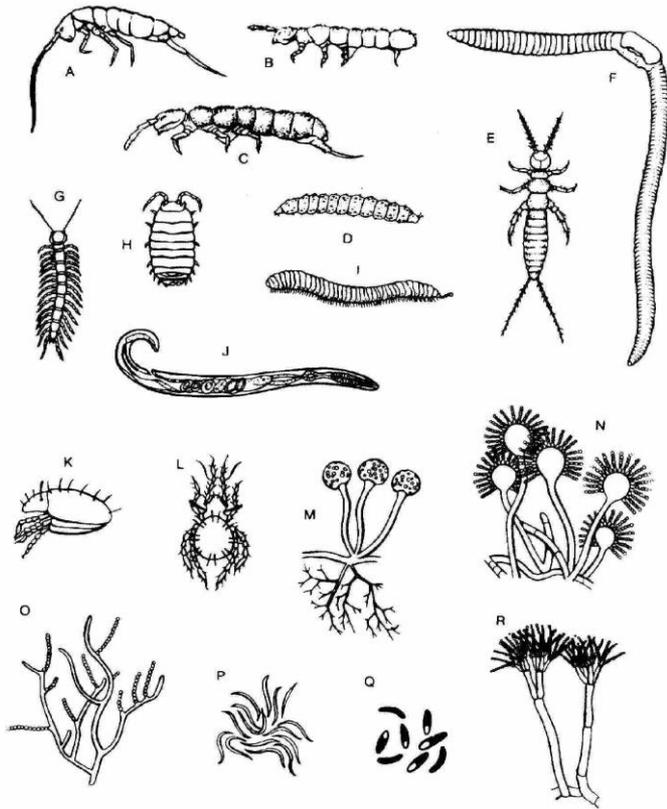


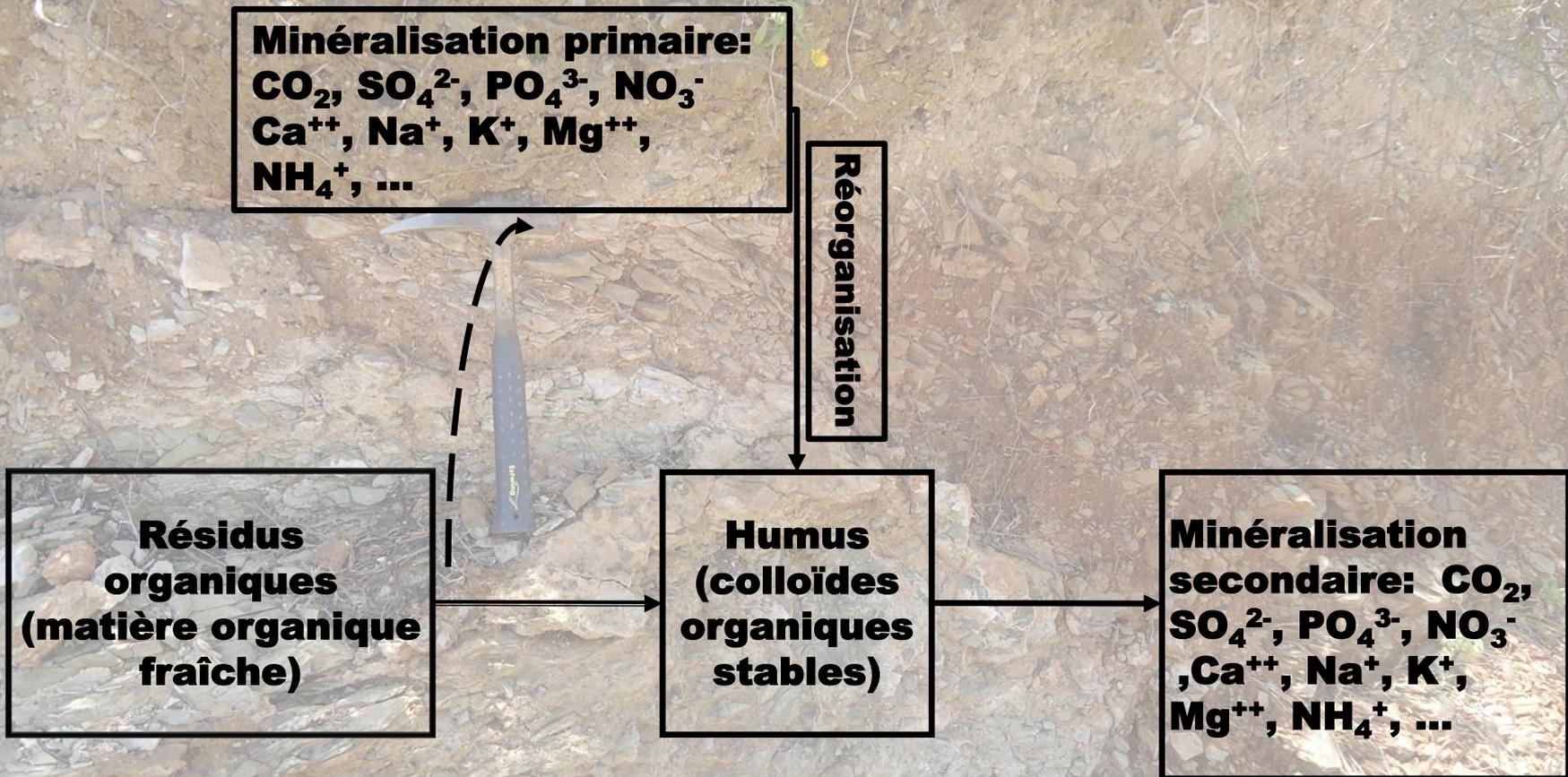
Figure 2.65 Principaux types d'organismes saprophages (invertébrés) et décomposeurs (bactéries, champignons) constituant les peuplements de la litière et des sols.

A, B, C, Collemboles (genres A, *Tomocerus*; B, *Isotoma*; C, *Folsomia*; D, larve de Bibionide (Diptère); E, Diptère; F, lombric (Annélide Oligochète); G, *Lithobius* (Chilopode); H, *Glomeris*; I, iule (Diplopodes); J, Nématode; K, L, acariens Oribatides gen. *Belba* et *Oribotridia*; M, N, R, champignons phycomycètes (*Rhizopus*), Ascomycète (*Aspergillus* et *Penicillium*); O, Streptomycète; P et Q bactéries : *Cytophaga* (cellulolytique aérobie), *Clostridium* (fixateur d'azote, anaérobie). (D'après Duvigneaud, *op. cit.*, p. 127, mais modifié.)

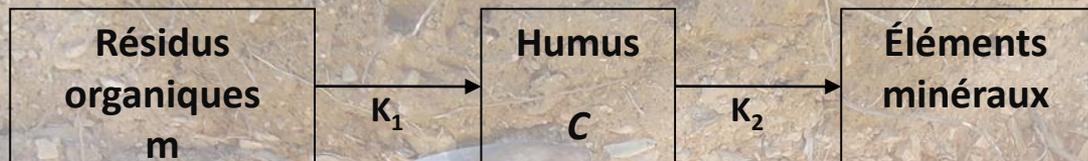


La flore et la faune tellurique responsables de la dégradation de matière organique et la formation de l'humus du sol.

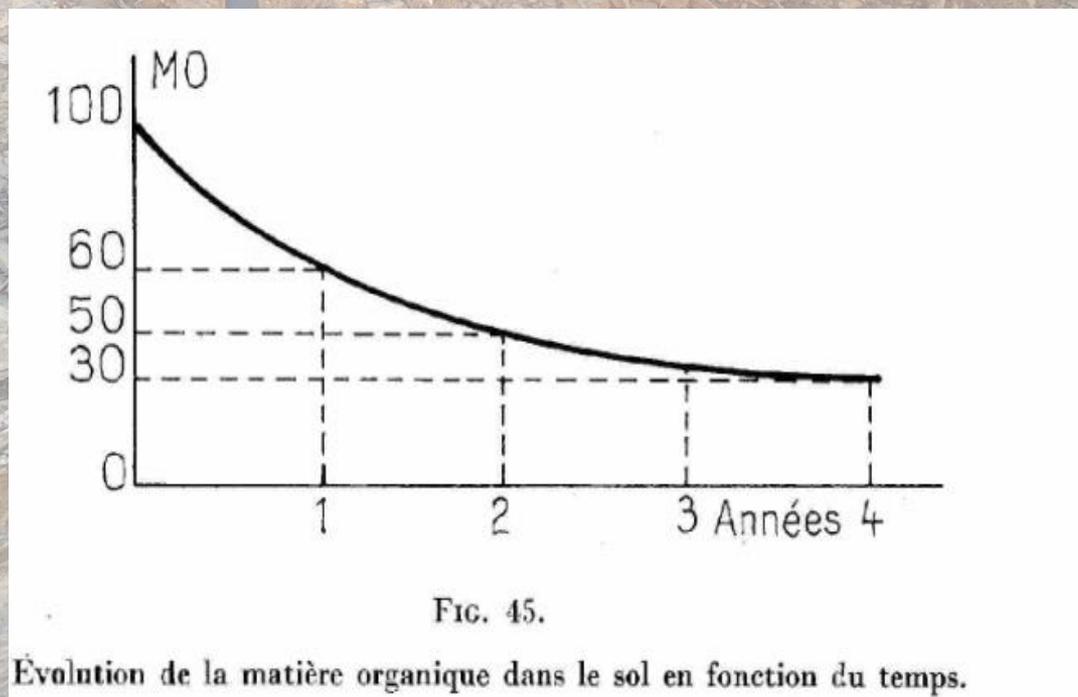
- **La minéralisation primaire** : est un processus assez rapide. Il aboutit à la libération de substances nutritives par désagrégation et dépolymérisations successives des matières organiques. Parmi ces substances, on trouve : l'eau, le CO_2 , l'azote nitrique, les phosphates et sulfates, etc... Cette phase se déroule essentiellement sous l'action de la faune du sol (insectes et arthropodes) et de la flore tellurique (champignons et bactéries).
- **La minéralisation secondaire** : est au contraire un processus très lent, à raison de 2 – 3 % par an. Elle affecte l'humus formé depuis de nombreuses années et libère des quantités annuelles d'éléments nutritifs considérables qui sont mis à disposition des plantes.
- **L'humification** : ensemble des processus de synthèse aboutissant à la formation de **composés humiques colloïdaux** de néoformation résultant de la décomposition de la matière organique fraîche.

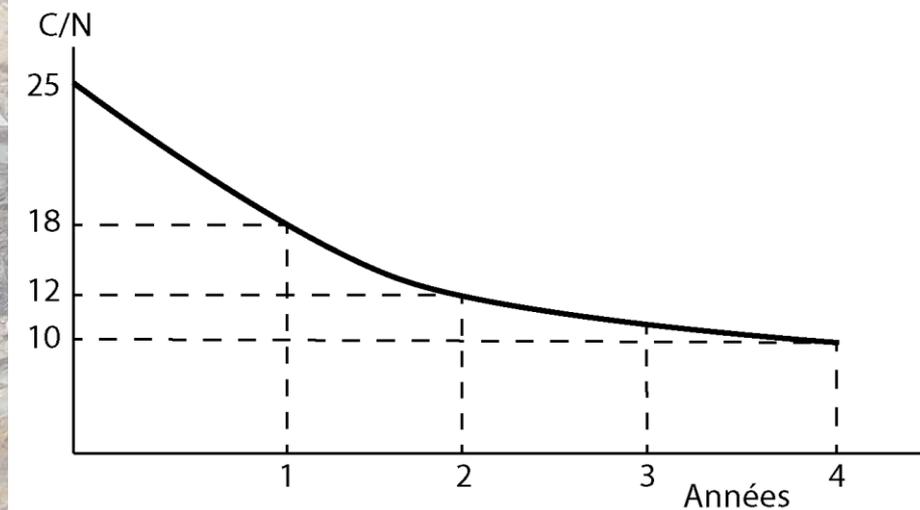
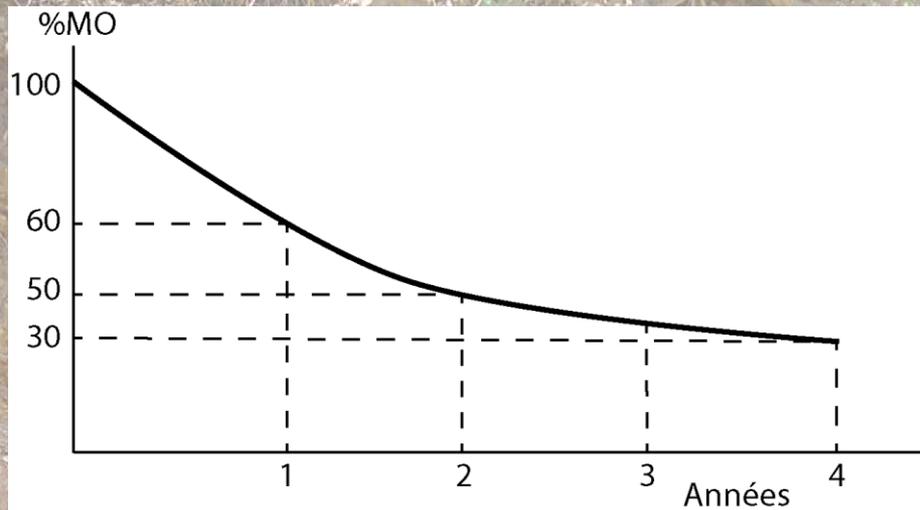


Décomposition de la matière organique fraîche.

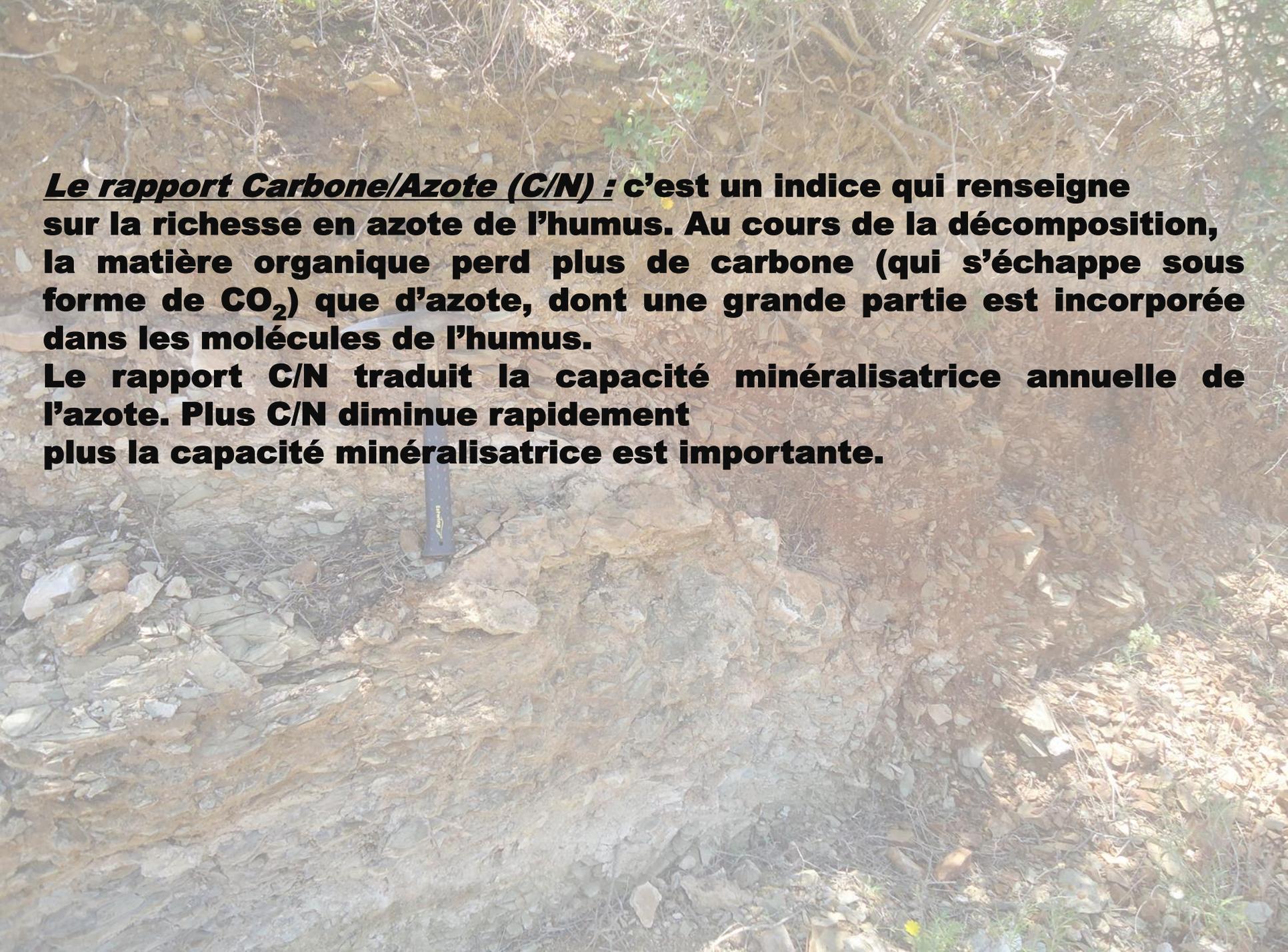


K_1 : Coefficient de minéralisation primaire.
 K_2 : Coefficient de minéralisation secondaire.





Évolution de la MO en fonction du temps.

The background image shows a cross-section of a soil profile. The top layer is dark brown, rich organic matter. Below it is a layer of reddish-brown soil. The bottom part of the profile consists of light-colored, layered rocks and sediment. A geological hammer is placed vertically in the center of the profile to provide a scale. The hammer has a black handle with a yellow logo and the word 'Geology' written on it.

Le rapport Carbone/Azote (C/N) : c'est un indice qui renseigne sur la richesse en azote de l'humus. Au cours de la décomposition, la matière organique perd plus de carbone (qui s'échappe sous forme de CO₂) que d'azote, dont une grande partie est incorporée dans les molécules de l'humus.

Le rapport C/N traduit la capacité minéralisatrice annuelle de l'azote. Plus C/N diminue rapidement plus la capacité minéralisatrice est importante.

- **L'humus est composé principalement des:**

1. **Acides humiques:** Ils sont de constitution complexe, et sont peu mobiles, mais sont capables de se lier plus ou moins fortement selon leur type avec d'autres corps présents dans le sol et en particulier avec l'**argile** par des ponts calciques. Dans ce cas, on parle d'**acides humiques gris** qui caractérisent les **mull calciques** ; le complexe formé avec l'argile ou complexe argilo-humique est très stable. Il existe également des **acides humiques bruns** qui constituent des composés relativement peu stables qui caractérisent le **moder**.
2. **Acides fulviques :** Ils sont de constitution plus simple, et sont très mobiles et très vite entraînés par les eaux d'infiltration, qu'ils chargent de l'argile et du fer auxquels ils sont liés. Ce sont, par ce mécanisme, les principaux agents du lessivage du fer et de la podzolisation. Ils ont la capacité de chélater plusieurs minéraux du sol et de favoriser leur absorption par les plantes. Ce sont des acides pauvres en Carbone et riches en Azote, et caractérisent le **mor**. Ils se forment dans des milieux acides et confinés avec une activité bactérienne plus réduite par rapport à celle des champignons.

Types d'humus :

- Suivant qu'ils se forment en milieu aéré ou non on distingue deux grandes catégories d'humus :
 1. En conditions aérobiques : **Mull** > **moder** > **mor**. La formation de ces trois types d'humus diffère suivant la nature de végétation et le pH du sol.
 2. En conditions anaérobies : on trouve principalement les **tourbes** et l'**Anmoor**.

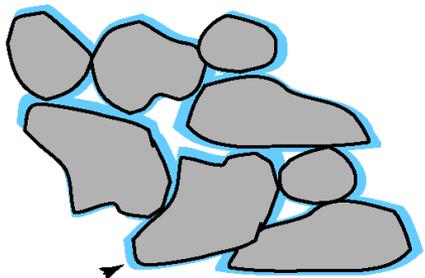
SCHÉMA DE LA CLASSIFICATION DES HUMUS

← ACTIVITÉ BIOLOGIQUE DÉCROISSANTE		<i>Milieu aéré</i>	<i>Milieu humide plus ou moins aéré</i>	<i>Milieu temporairement saturé d'eau (nappe fluctuante)</i>	<i>Milieu saturé en permanence (nappe superficielle)</i>
	Humus incorporé complexe argilo-humique	MULL	HYDROMULL		
	Mélange incomplet pas de complexe argilo-humique	MODER	HYDROMODER	ANMOOR	
	Humus superposé (Horizon A ₀ épais)	MOR	HYDROMOR		TOURBE

Les propriétés édaphologiques

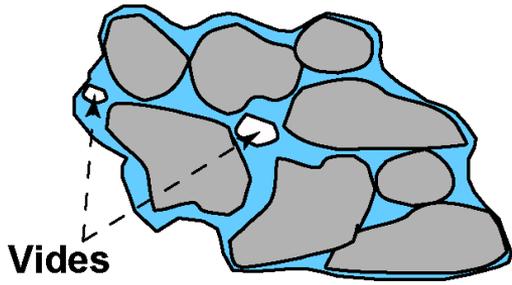
1. **Le sol et l'eau** : L'eau du sol peut être classée en diverses catégories selon son comportement :
 - **Eau de gravité (ou eau libre)** : C'est l'eau qui occupe les pores les plus grossiers du sol (la macroporosité). Cette eau est soumise à la gravité (capacité de rétention maximale). Elle assure l'entraînement des substances dissoutes (cations, anions, chélates,...) ou en suspension (argiles fines) ; elle contribue donc à la différenciation des profils.
 - **Eau capillaire** : On distingue l'eau capillaire absorbable qui correspond à l'eau contenue dans la microporosité de $8\ \mu\text{m}$ à $0,2\ \mu\text{m}$ (pores de réserve), et l'eau capillaire non absorbable ou eau "liée", correspondant à la microporosité très fine, inférieure à $0,2\ \mu\text{m}$ (pores résiduels). Toute l'eau capillaire (absorbable ou non) est qualifiée de capacité au champ.
 - Une partie de l'eau capillaire est donc utilisable par les végétaux (Réserve utile). C'est en outre la phase liquide qui compose la "solution du sol", c'est-à-dire le réservoir des substances dissoutes et le milieu d'altération des minéraux.
 - **Eau hygroscopique** : C'est l'eau adsorbée par le sol aux dépens de l'humidité atmosphérique et elle varie avec le degré hygrométrique de l'air. Il s'agit donc d'une mince pellicule d'eau entourant les particules minérales et organiques. Très énergiquement retenue, elle n'est susceptible d'aucun mouvement et n'est pas absorbable par les végétaux.

Sol sec



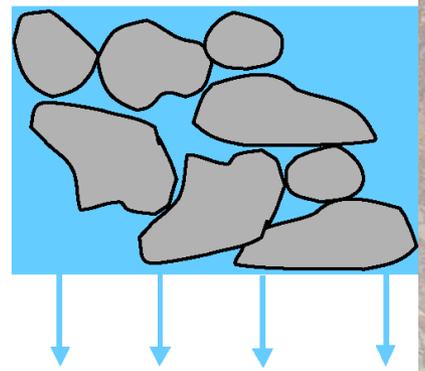
**Eau en films très fins
adsorbée par les particules
solides du sol**

Sol ressuyé

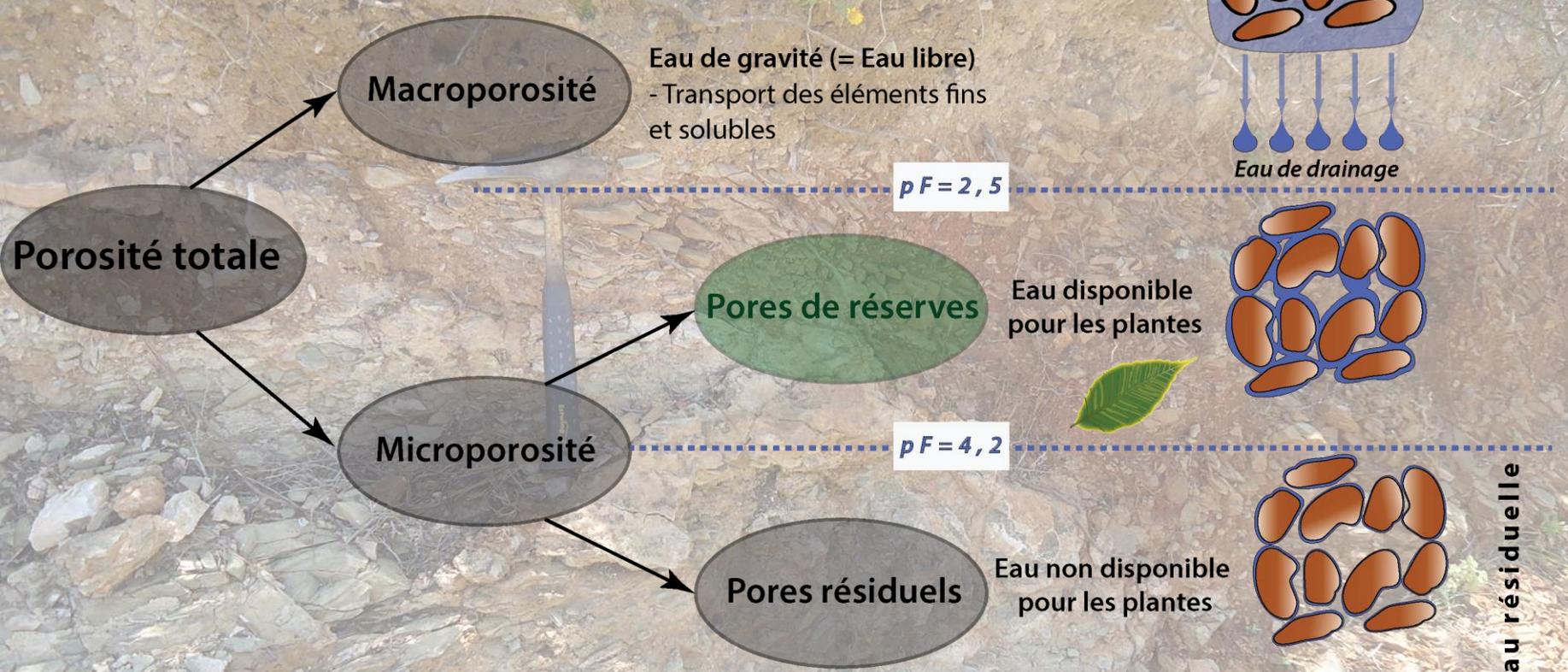
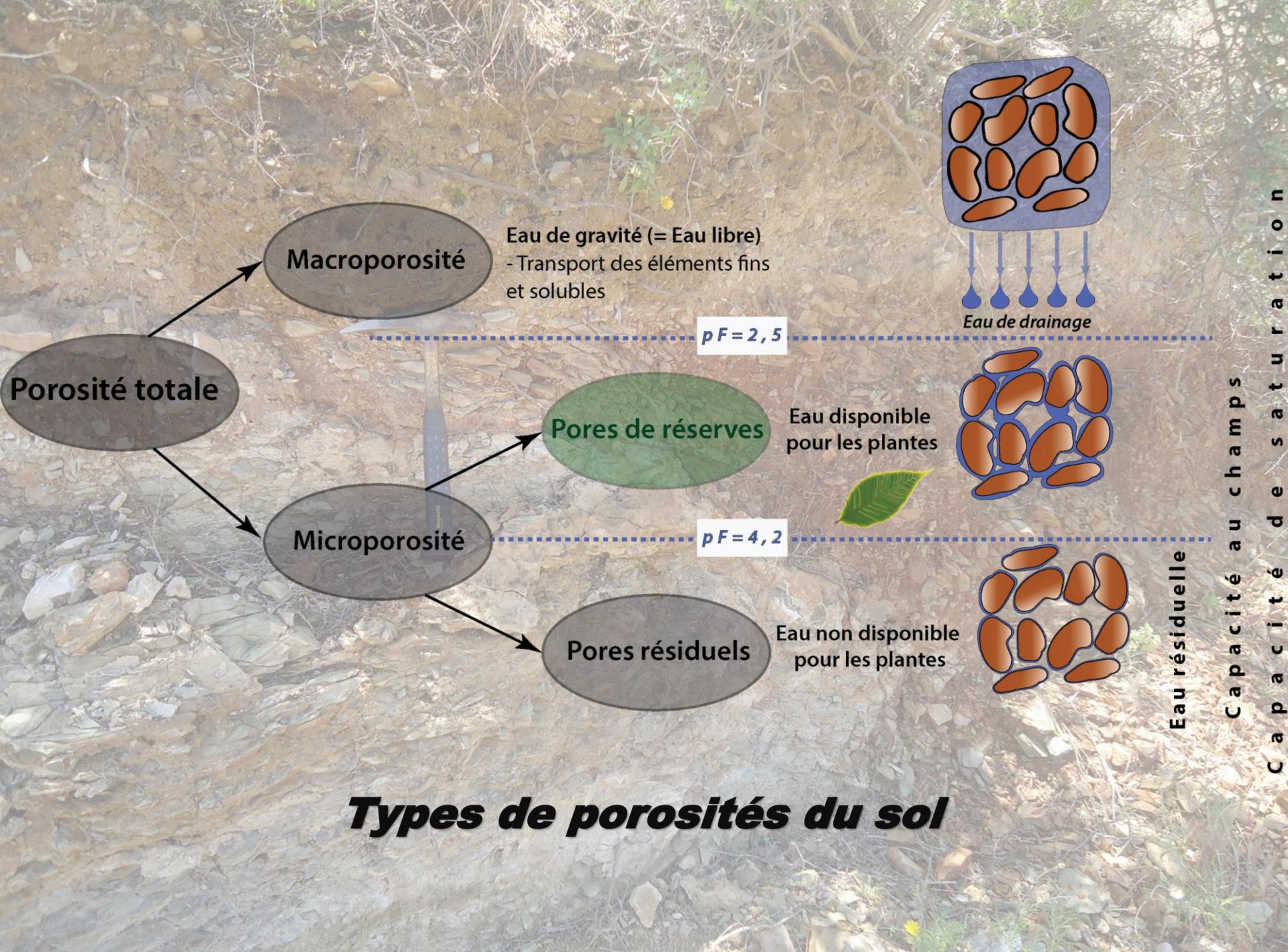


Vides

Sol saturé



Eau de gravité



Types de porosités du sol

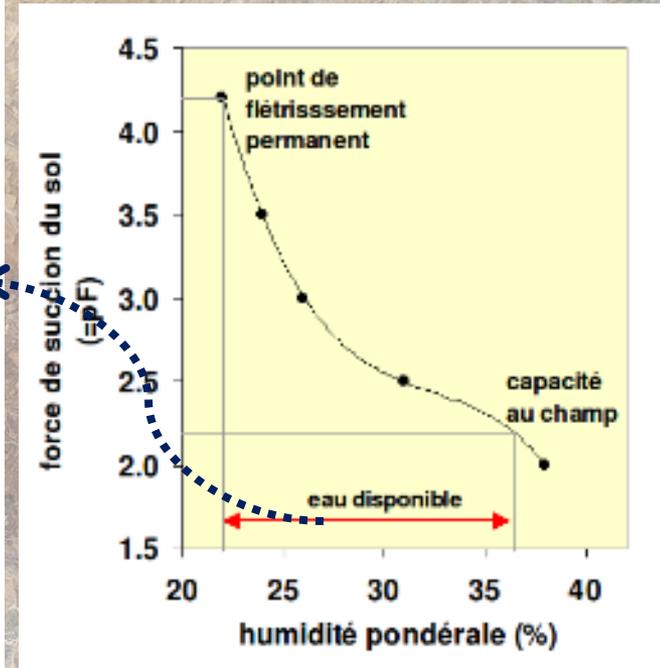
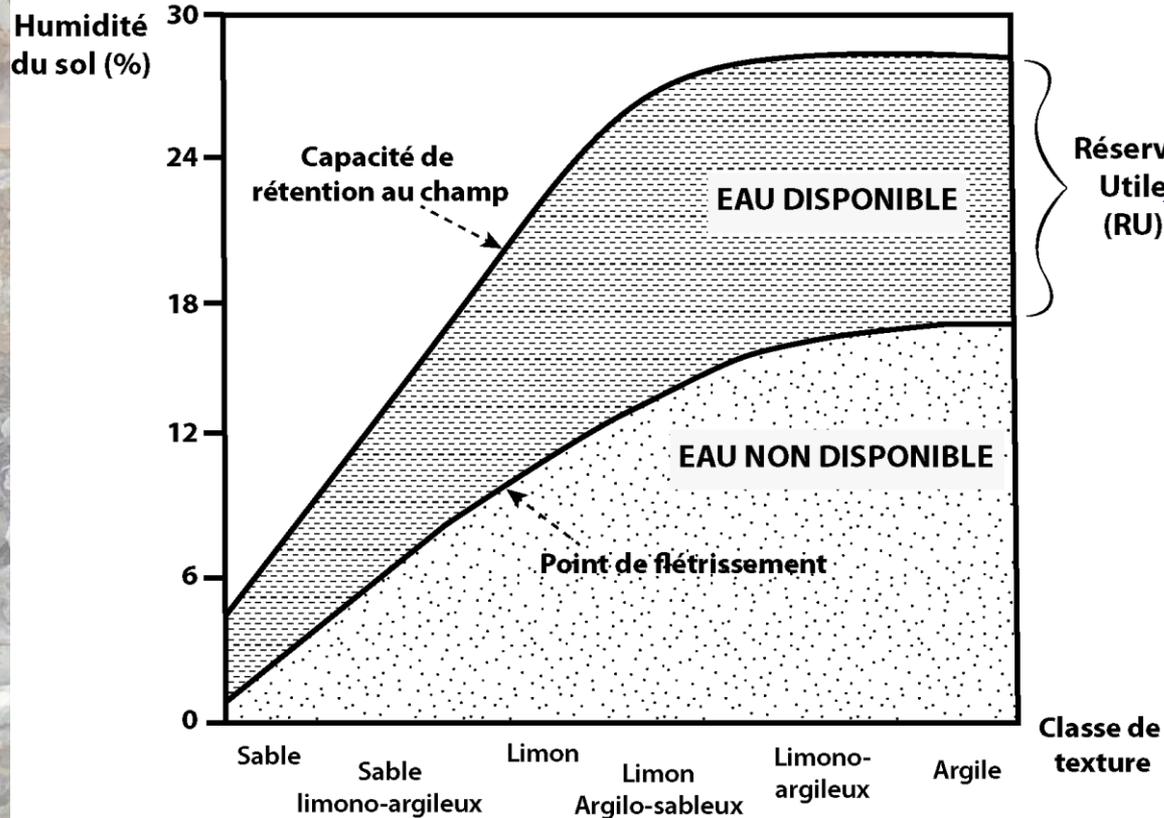
Notion de potentiel matriciel :

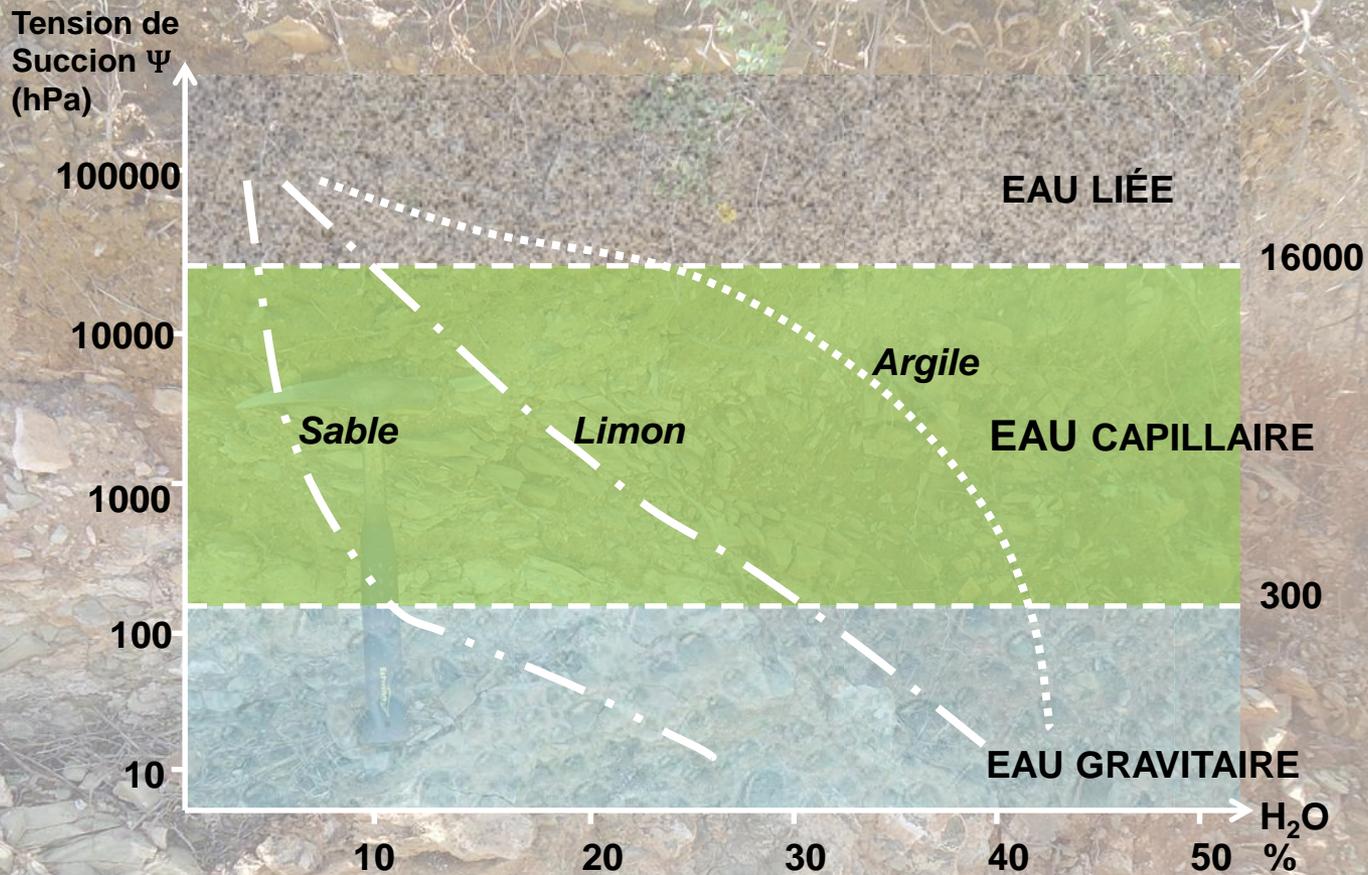
- **La capillarité est une forme des forces de liaisons entre les molécules d'eau et les particules du sol. Plus la capillarité est importante moins le sol cède de l'eau à la plante. La plante doit exercer une force de succion supérieure au potentiel capillaire pour parvenir à absorber l'eau du sol ; sinon elle flétrit puis meurt.**
- **On appelle potentiel matriciel (ψ) la grandeur qui mesure la différence d'énergie libre d'un gramme d'eau libre et celle d'un gramme d'eau lié au sol. Le potentiel matriciel s'exprime en terme de pression et plus exactement en hauteur d'eau exprimée en cm.**
- **Ψ prend des valeurs élevées on préfère utiliser son logarithme décimale :**

$$pF = \log \Psi$$

- **Exemple : si $\psi=1000\text{g/cm}^2$, soit sensiblement 1 atmosphère son $pF=3$**

Réserve en eau du sol



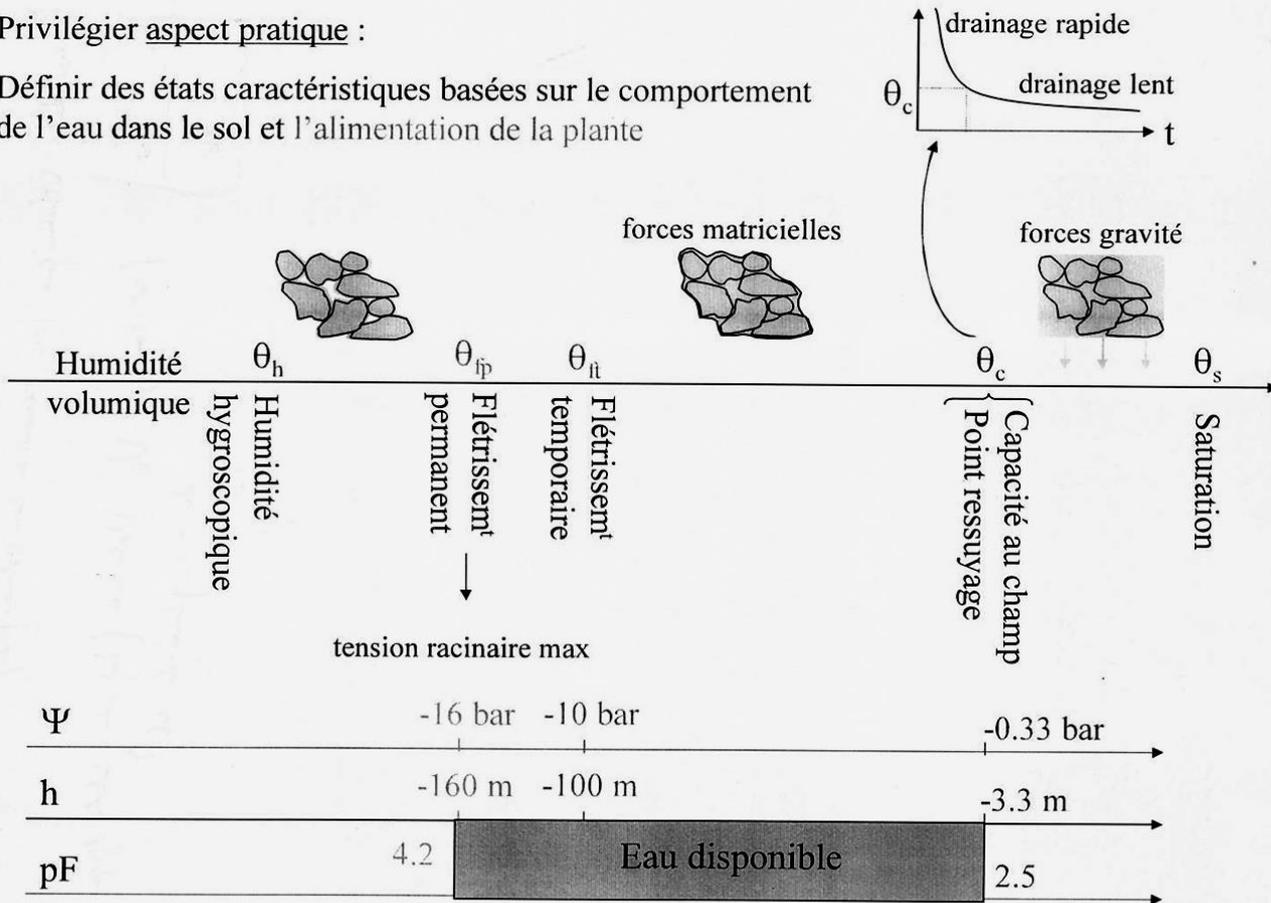


Courbes pF de trois sols minéraux à textures contrastées.

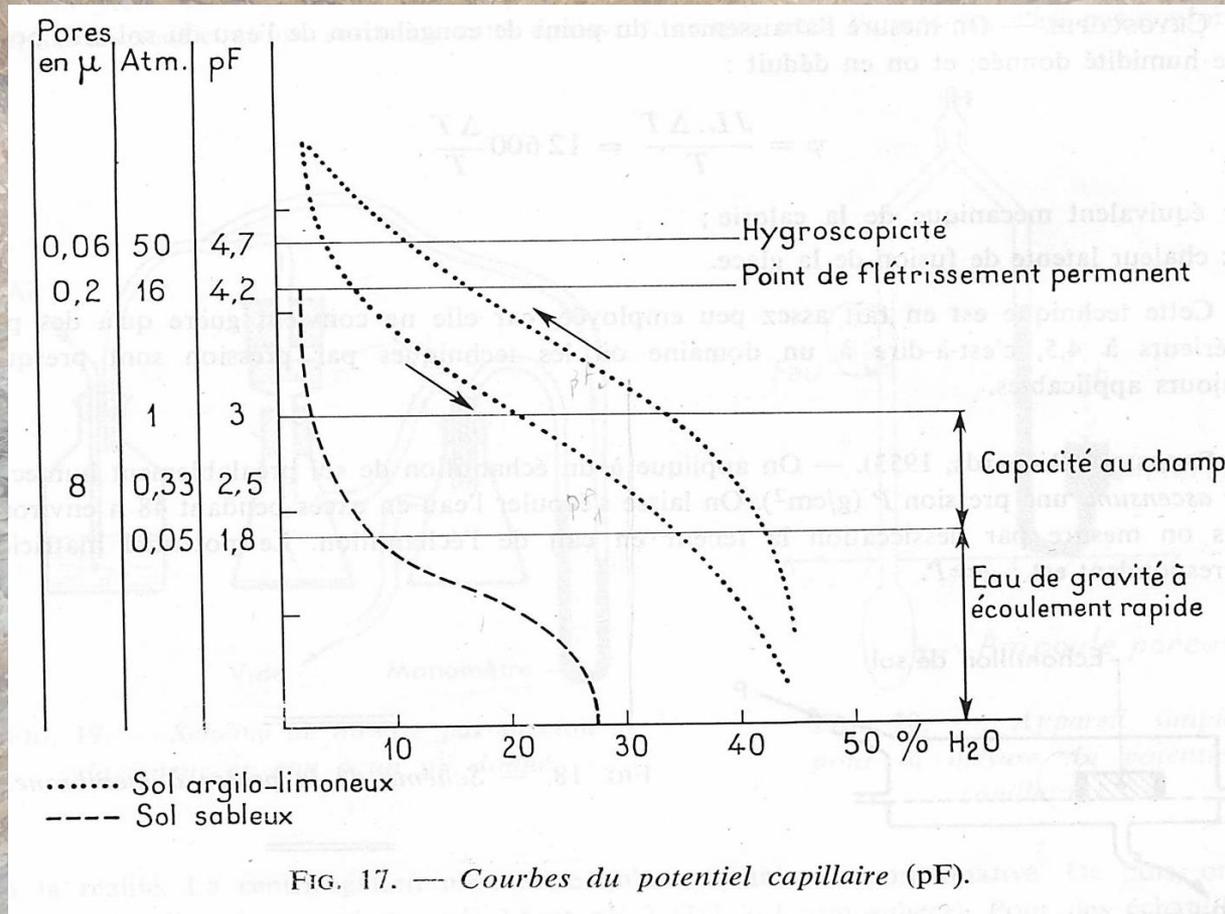
Les teneurs en eau caractéristiques

Privilégier aspect pratique :

Définir des états caractéristiques basées sur le comportement de l'eau dans le sol et l'alimentation de la plante



Phénomène d'hystérésis : à une même teneur en eau, peuvent correspondre deux valeurs différentes de pF. Le pF à la phase de dessèchement est supérieur à la phase d'humidification.



Le mouvement de l'eau dans le sol :

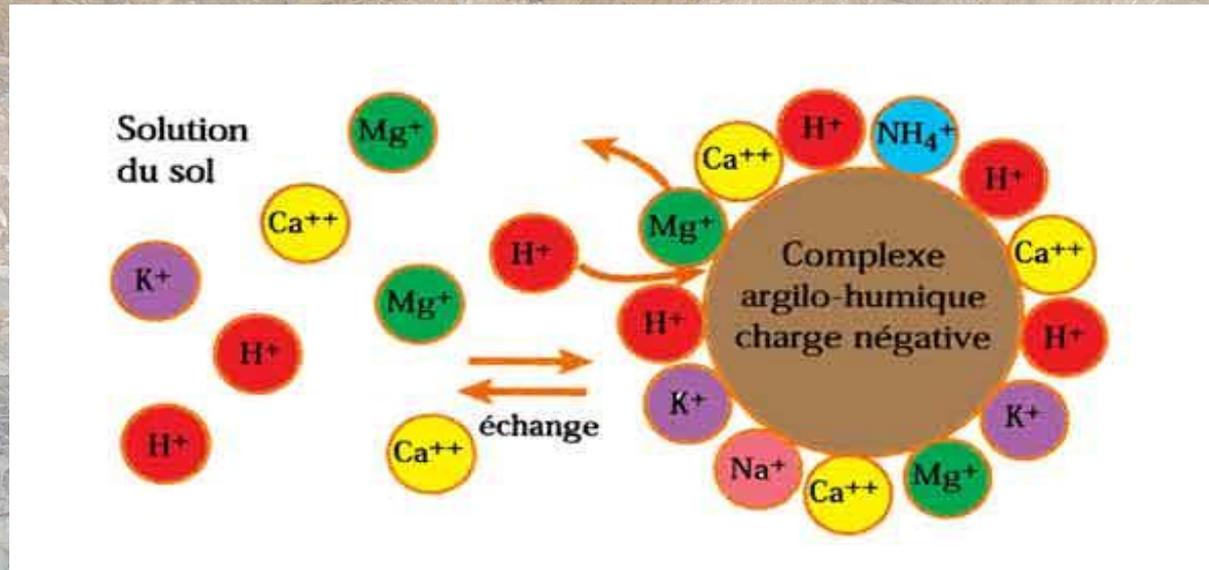
- **Ils sont de trois types :**
- **Mouvements descendants et latéraux :** Ils correspondent au processus d'infiltration des eaux dans les sols et les formations superficielles. Cette infiltration est liée à la perméabilité du substratum et est exprimée par la vitesse d'infiltration de l'eau gravitaire, en cm h^{-1} (coefficient K de perméabilité ou "vitesse de filtration").
- **La perméabilité d'un sol est d'autant plus élevée que la porosité non capillaire (=macroporosité) est importante. D'où l'influence prépondérante à cet égard de la texture du sol mais aussi de sa structure et de sa stabilité.**
- **Mouvements verticaux ascendants :** Ils s'effectuent par remontées capillaires lorsque l'évaporation est suffisante pour déclencher le mouvement ascendant de la solution du sol. Ce mouvement ascendant peut être entretenu ou amplifié par la présence d'une nappe phréatique peu profonde. La décroissance de la teneur en eau dans les horizons de surface a pour effet d'augmenter le pF, d'où un appel par succion de l'eau des zones sous-jacentes à pF plus bas. Un exemple classique de remontées capillaires est donné par les sols à efflorescences salines ("Solontchaks") des régions arides et semi-arides.

La température du sol :

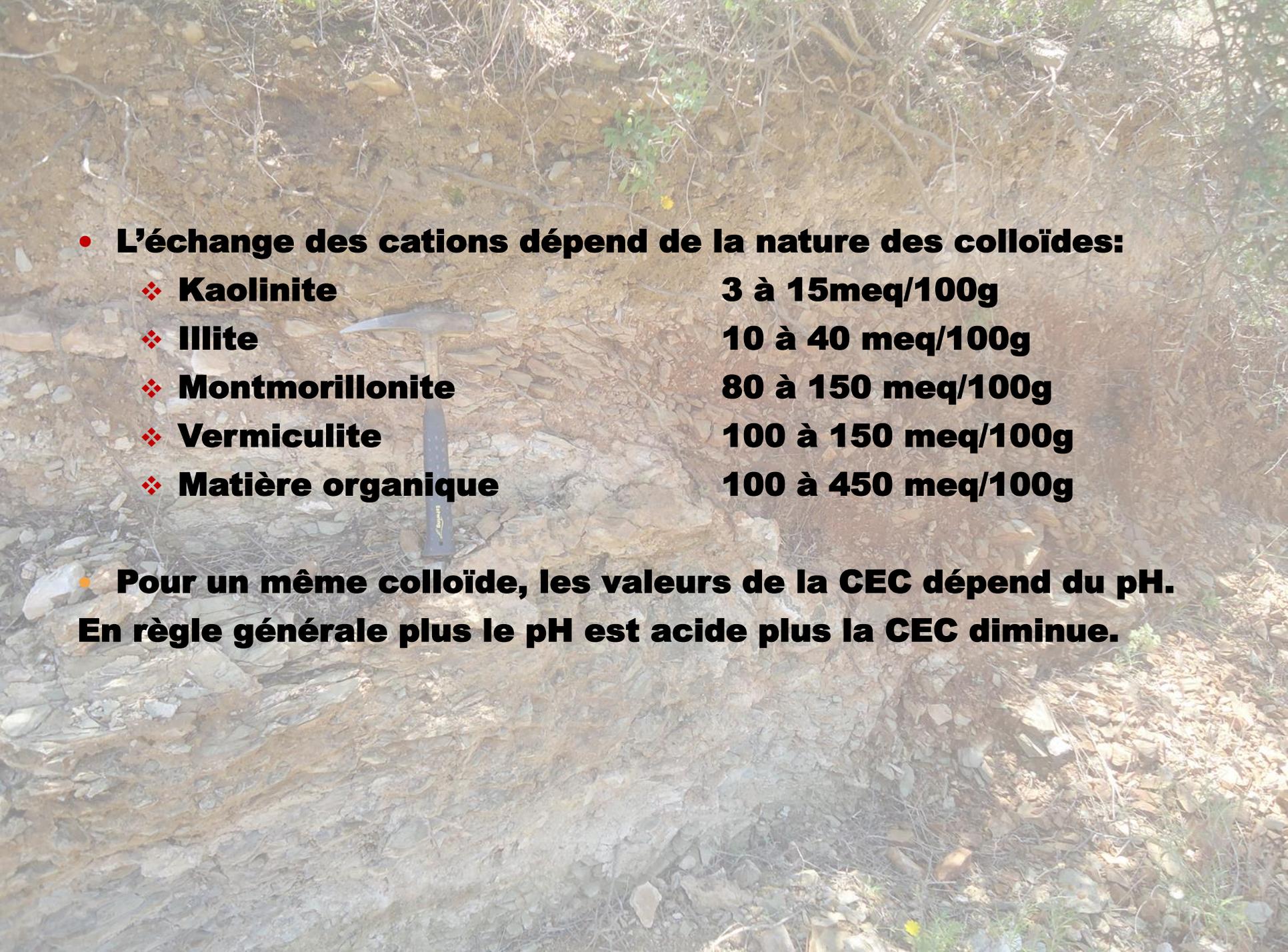
- **La température et l'humidité du sol constituent les facteurs essentiels du microclimat du sol. Les deux facteurs exercent une action importante :**
 - 1. Sur le comportement des plantes, la quantité de biomasse produite et la décomposition de la matière organique.**
 - 2. Sur la pédogénèse :**
 - ❑ **La chaleur accélère la décomposition de la matière organique.**
 - ❑ **Les variations brutales de la température désagrègent la roche**
 - ❑ **Combinée avec l'eau l'action de la température est très importante (gel pour le froid et dissolution des minéraux pour la chaleur).**

Le complexe absorbant et pH du sol :

- Le complexe absorbant est l'ensemble des colloïdes argileux et humiques électronégatif. L'ensemble des charges négatives correspond à la capacité d'échange cationique du sol ou CEC.



- Et anciennement le milliéquivalent par 100 grammes (mé ou mEq/100 g) de sol. La correspondance entre le centimole de charge positive par kilogramme et le miliéquivalent par 100 grammes se fait à l'aide de la formule suivante : $1 \text{ cmole}(+)/\text{kg} = 1 \text{ meq}/100\text{g}$.

- 
- **L'échange des cations dépend de la nature des colloïdes:**
 - ❖ **Kaolinite** **3 à 15meq/100g**
 - ❖ **Illite** **10 à 40 meq/100g**
 - ❖ **Montmorillonite** **80 à 150 meq/100g**
 - ❖ **Vermiculite** **100 à 150 meq/100g**
 - ❖ **Matière organique** **100 à 450 meq/100g**
 - **Pour un même colloïde, les valeurs de la CEC dépend du pH. En règle générale plus le pH est acide plus la CEC diminue.**

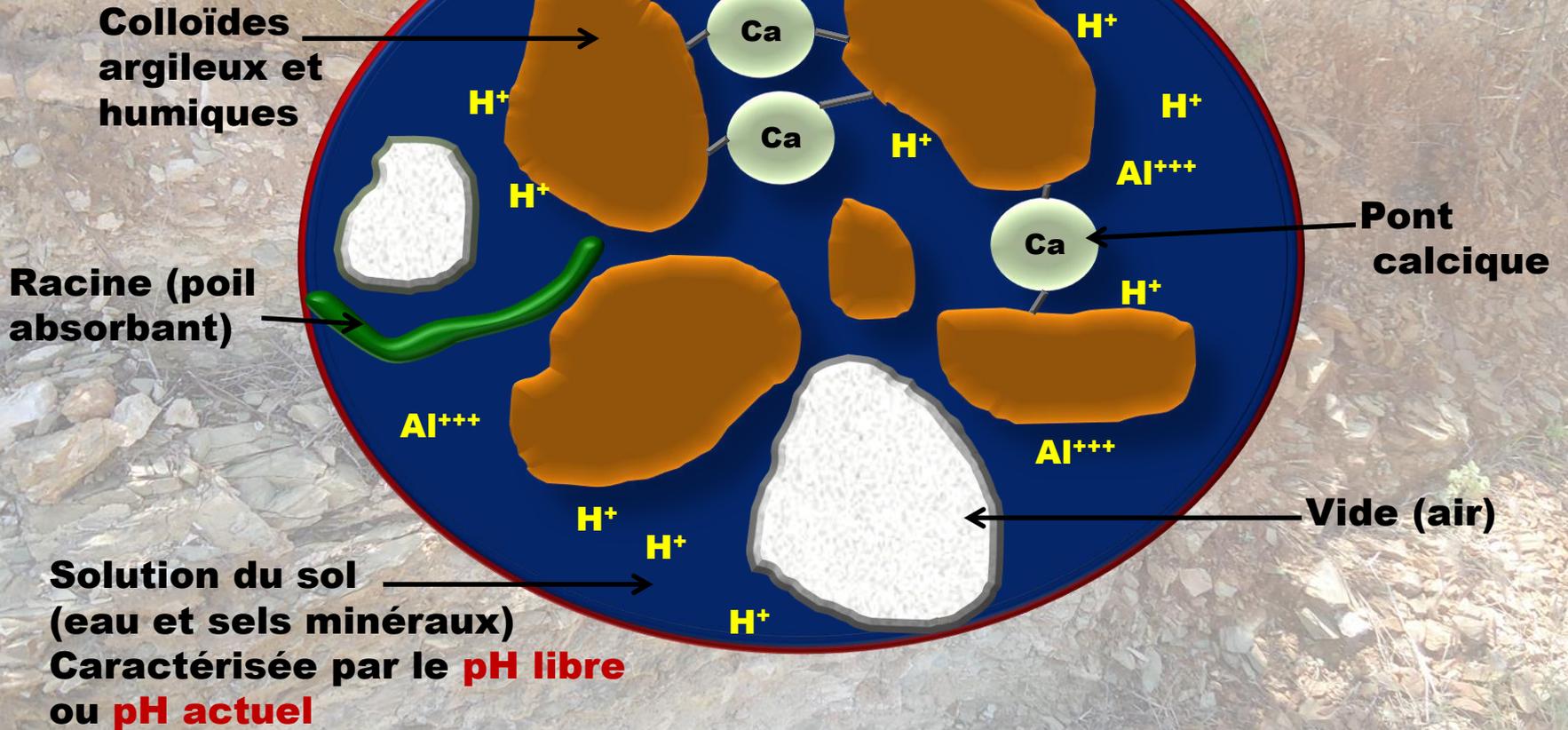
Le pH du sol :

- **Le potentiel hydrogène (ou pH) mesure l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) (appelés aussi couramment protons) en solution.**
- **Dans le sol on distingue :**
 - ❑ **L'acidité actuelle : exprime la concentration des ions H^+ libre dans la solution du sol.**
 - ❑ **L'acidité d'échange (= acidité de réserve) prend en considération non seulement les protons dissociés dans la solution du sol, mais aussi ceux qui sont adsorbés sur le complexe d'échange.**
 - ❑ **L'acidité potentielle (ou acidité totale) : Elle comprend, outre l'acidité d'échange, l'ensemble des fonctions acides du sol qui ne sont pas toutes ionisées (acides organiques notamment).**
- **Un sol désaturé est un sol dont le complexe absorbant est riche en protons H^+ donc tend vers l'acidité (sols sur schiste, granite, quartzite...).**

Complexe argilo-humique (CAH)

Al^{+++} , H^+ : fixé sur CAH

Al^{+++} , H^+ : dans la solution du sol (pH libre)



Représentation des différents types de pH du sol

- ***Pouvoir tampon du sol*** : Les ions échangeables du complexe absorbant confèrent au sol un pouvoir tampon vis-à-vis de variations de pH du milieu ambiant. En effet, lorsque la concentration en H^+ augmente dans la solution du sol, un équilibre s'installe rapidement avec les protons du complexe d'échange au détriment des cations qui passent en solution ; la diminution de pH est freinée. De même, si la concentration d'une base est ajoutée à la solution du sol, les ions H^+ vont être chassés à leur tour et freiner la montée du pH.
- **Le pouvoir tampon d'un sol est en relation directe avec sa CEC** : plus elle sera élevée, plus son pouvoir tampon sera important.

PEDOGENESE ET CLASSIFICATION DES SOLS

- ❖ La **pédogénèse** est l'ensemble des processus **physico-chimiques** et **biologiques** qui rentre dans l'évolution des sols.
- ❖ Les **processus pédogénétiques** dépendent de cinq **facteurs pédogénétiques** :
 1. Le substratum géologique (Roche-mère)
 2. Le climat
 3. Les facteurs biologiques
 4. La topographie
 5. Le temps

❖ **L'évolution des sols :**

- **L'ensemble des phases de l'évolution des sols constitue un cycle d'évolution.**
- **Chaque étape de cette évolution peut être considérée comme un écosystème.**
- **La dynamique peut être progressive ou régressive.**
- **L'aboutissement d'une succession progressive (dans le cas d'une stabilité climatique sans perturbations) est appelé climax (stade d'équilibre entre la végétation, le sol et le climat).**
- **À partir de la notion de climax on distingue :**
 - **Les sols zonaux :** dont les caractères principaux sont typiques d'une région climatique (exple : sols rouges méditerranéens)
 - **Les sols azonaux :** sont des sols jeunes pas encore en équilibre avec le milieu (exple : sols alluviaux récents)
 - **Les sols intrazonaux :** les conditions de station sont particulières et les soustraient de la zonalité (exple : sols halomorphes)

Le sol et l'écosystème

Climax désigne l'état final d'une succession écologique et l'état le plus stable

CLIMAX : équilibre dynamique

Enrichissement et complexification de l'écosystème

Plantes pionnières

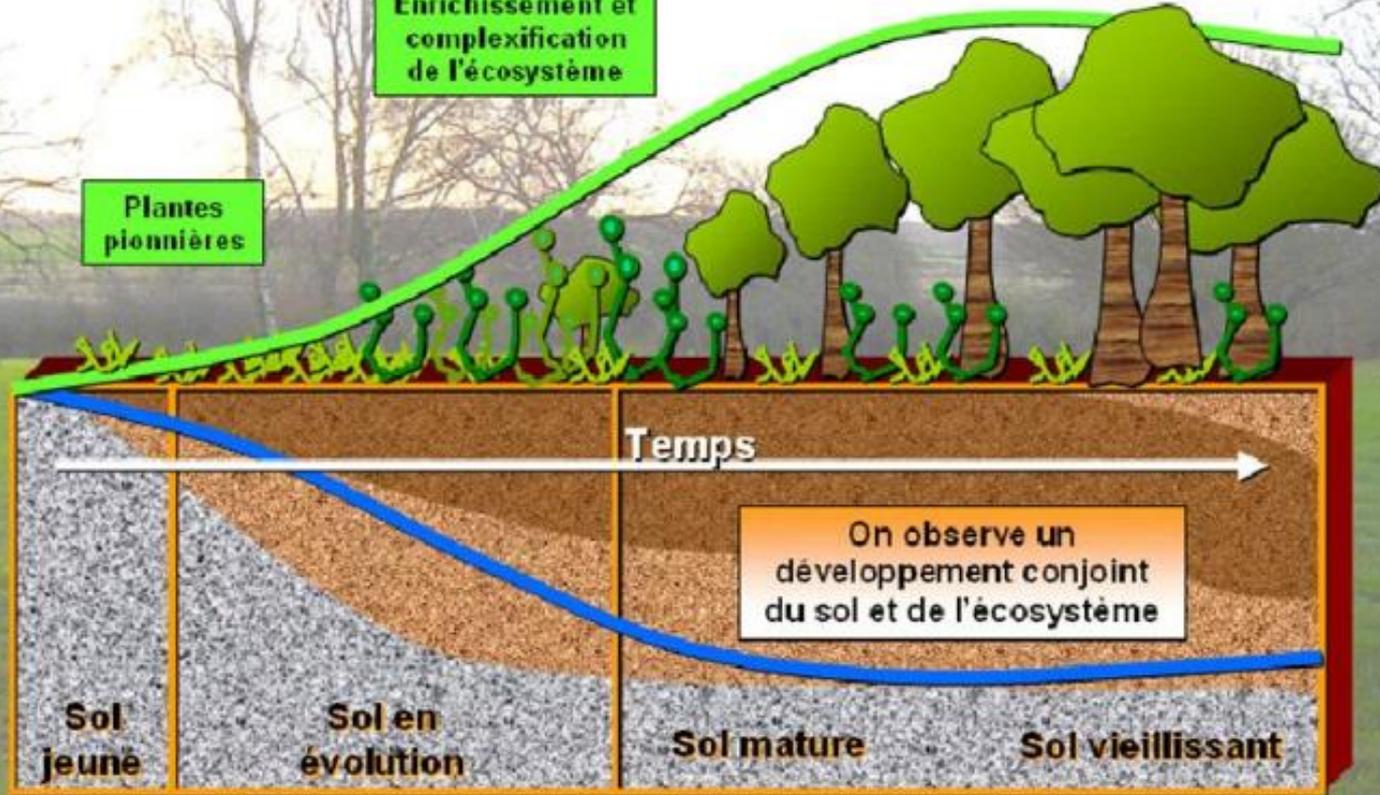
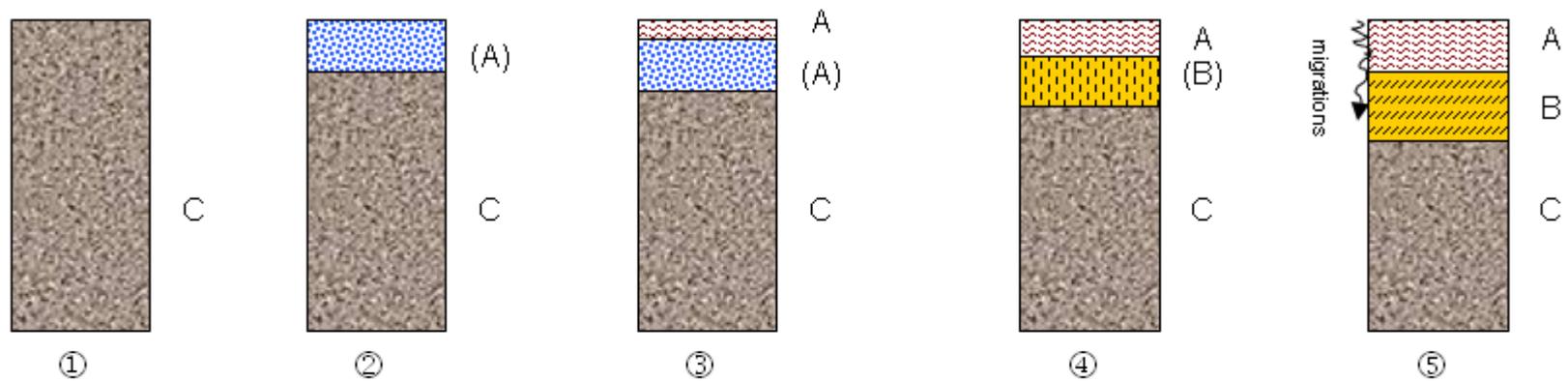


Schéma d'une évolution progressive du sol (dynamique progressive)

formation d'un sol à 3 horizons



① : roche mère non altérée

② : C= Roche mère ; (A) = altération physique, désagrégation de la roche mère

③ : C= Roche mère ; (A) = roche mère désagrégée ; A= apport de matière organique + humification

④ : C= Roche mère ; A= apport de matière organique + humification ; (B) résulte d'une forte altération chimique de la roche mère et diffère de (A) par la structure

⑤ : C= Roche mère ; A= apport de matière organique + humification ; B=mélange d'humus, d'argiles, fer et fragments de roche mère

Théorie de la bio-rhexistase (Erhart, 1951)

- La variabilité climatique aux cours des temps impose au sol soit la pédogénèse soit l'érosion intense.
- Le rôle déterminant du climat dans l'altération des roches et donc dans la formation des sols a donné lieu à la formulation de la théorie de la bio-rhexistase (Erhart).
- En période stable (**biostase**), la végétation couvre les sols (période humide). Il n'y a pas d'érosion mécanique. Les eaux de drainage entraînent vers les rivières et les océans des éléments chimiques et composés biologiques solubles qui vont donner, par sédimentation ou précipitation, des **dépôts fins** (argiles, calcaires...). C'est une phase de **pédogénèse**.
- En période de déséquilibre (**rhexistase** du grec *rhêksis*, action de rompre et *stasis* équilibre) la végétation disparaît (période sèche), les sols sont érodés, les dépôts lacustres ou marins sont alors constitués de matériaux **détritiques grossiers**. C'est une phase de **morphogénèse**.



Coupe d'une **terrasse d'oued**

Processus de la pédogénèse

- **L'évolution d'un sol est caractérisée par trois processus distincts :**
 - 1. Désagrégation et altération de la roche-mère (complexe d'altération) ;**
 - 2. Décomposition de la matière organique (humus) ;**
 - 3. Déplacements des éléments solubles ou colloïdaux (processus de migration), d'un point à un autre du profil par l'eau. Ces déplacements aboutissent à la constitution des horizons appauvris (horizon E) ou enrichis (horizon B).**

Processus d'altération des minéraux

- Principaux processus d'altération comporte :

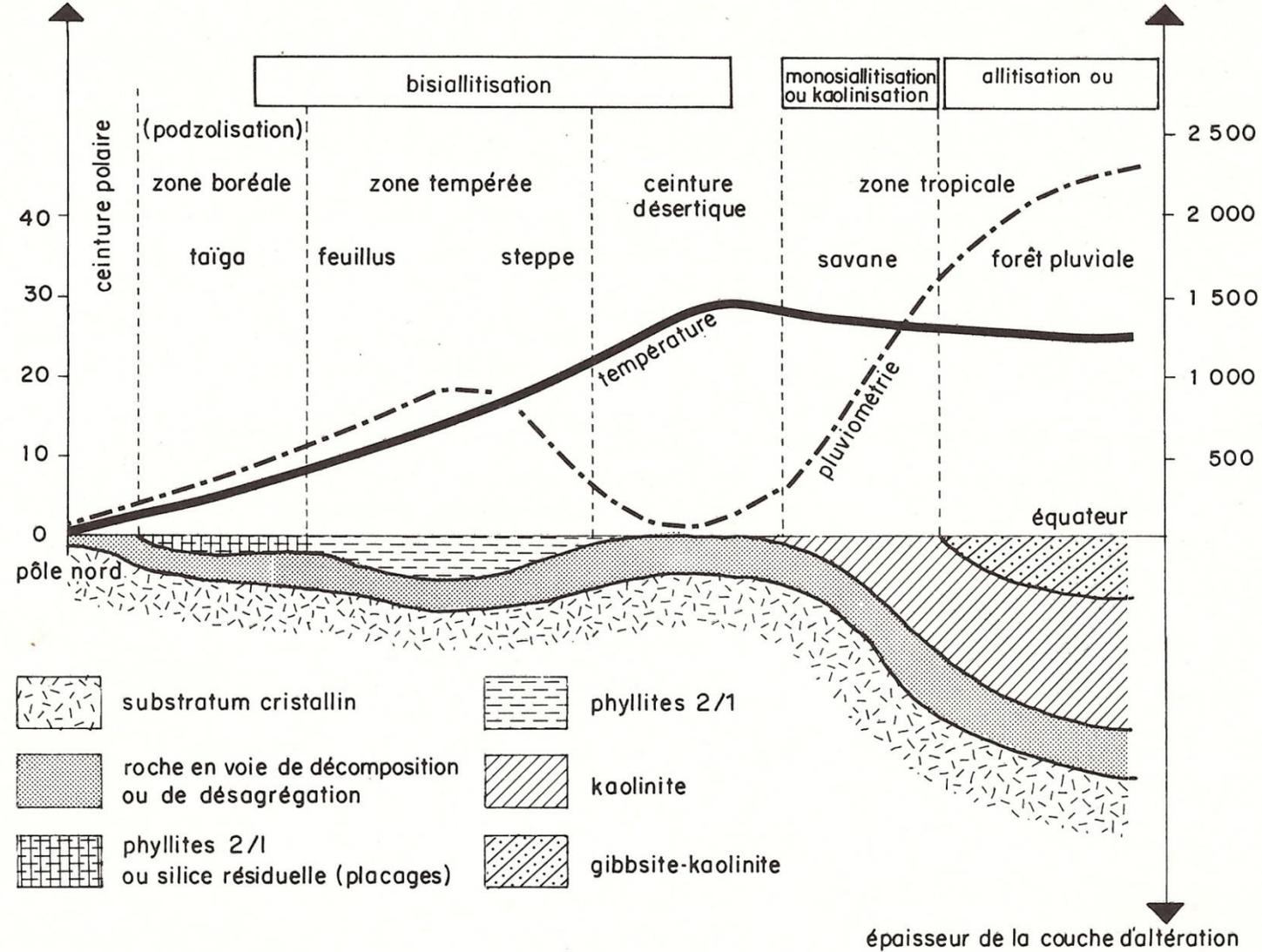
1. **La dissolution** : des sels solubles (rapide pour les roches évaporitiques et plus ou moins lente pour les carbonates). Tous les sols des milieux humides et drainants ont tendance à s'acidifier au cours du temps. Les cations perdus par dissolution et drainage seront remplacés par les protons H^+ .
2. **L'hydratation** : Adjonction de molécules d'eau aux minéraux ce qui provoque une augmentation de volume, donc un ameublissement de la roche. Ex. : Hydratation des sels ferriques, qui étaient au départ peu ou pas hydratés (entraînant un changement de couleur). L'hydratation peut aussi concerner les micas par exemple.
3. **Réduction et oxydation** : Réduction du fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) par des eaux chargées en matière organique. Dans les sols méditerranéens et tropicaux on a surtout l'oxydation du fer qui se produit lors de la saison sèche. Cette oxydation du fer donne la couleur rougeâtre des sols typiques de ces deux régions.
4. **Hydrolyse** : C'est l'action chimique exercée par les ions H^+ ou OH^- contenus dans l'eau

Altération de la RM

- ❖ **En fonction du climat et de la topographie, les minéraux argileux résultant sont différents.**
 - **En climat froid :** l'altération est faible, les minéraux argileux sont identiques ou peu différents des minéraux de la roche (illite et chlorite), ils sont hérités de la roche d'origine.
 - **En climat chaud et humide,** l'hydrolyse est poussée, la kaolinite se forme en milieu drainé, les smectites en milieu confiné. En climat tempéré, humide, l'altération est modérée, il apparaît des interstratifiés, des illites et chlorites dégradées, de la vermiculite.
 - **La topographie** joue aussi un rôle important dans le réarrangement des argiles (les argiles en bas de pentes possèdent plus de feuilles que les argiles à mi-pentes ou celles de l'amont). Le phénomène de « tirsification » en Afrique du nord.

température moyenne

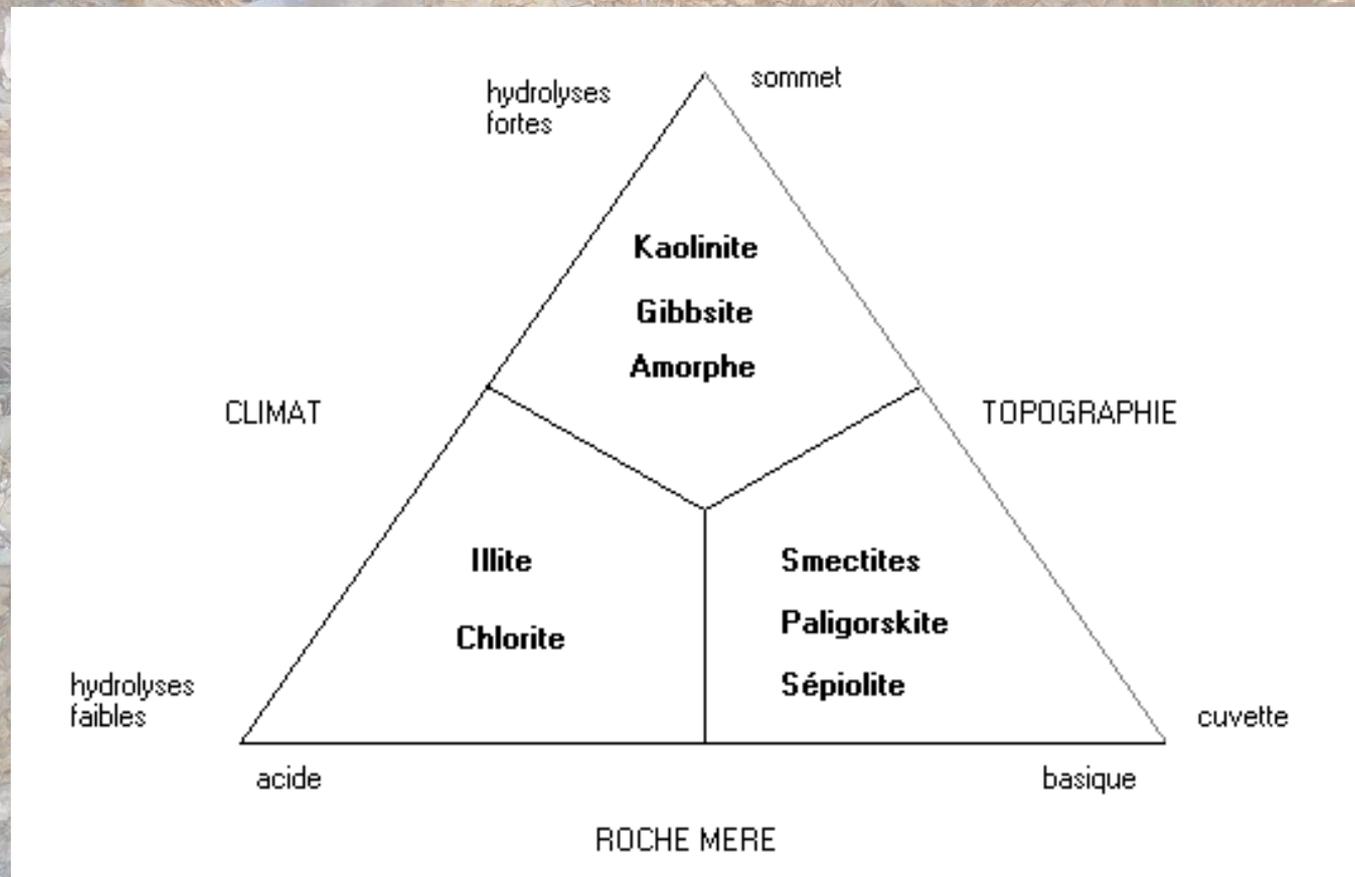
pluviométrie annuelle (mm)



**Types d'altération des minéraux
suivant le climat.**

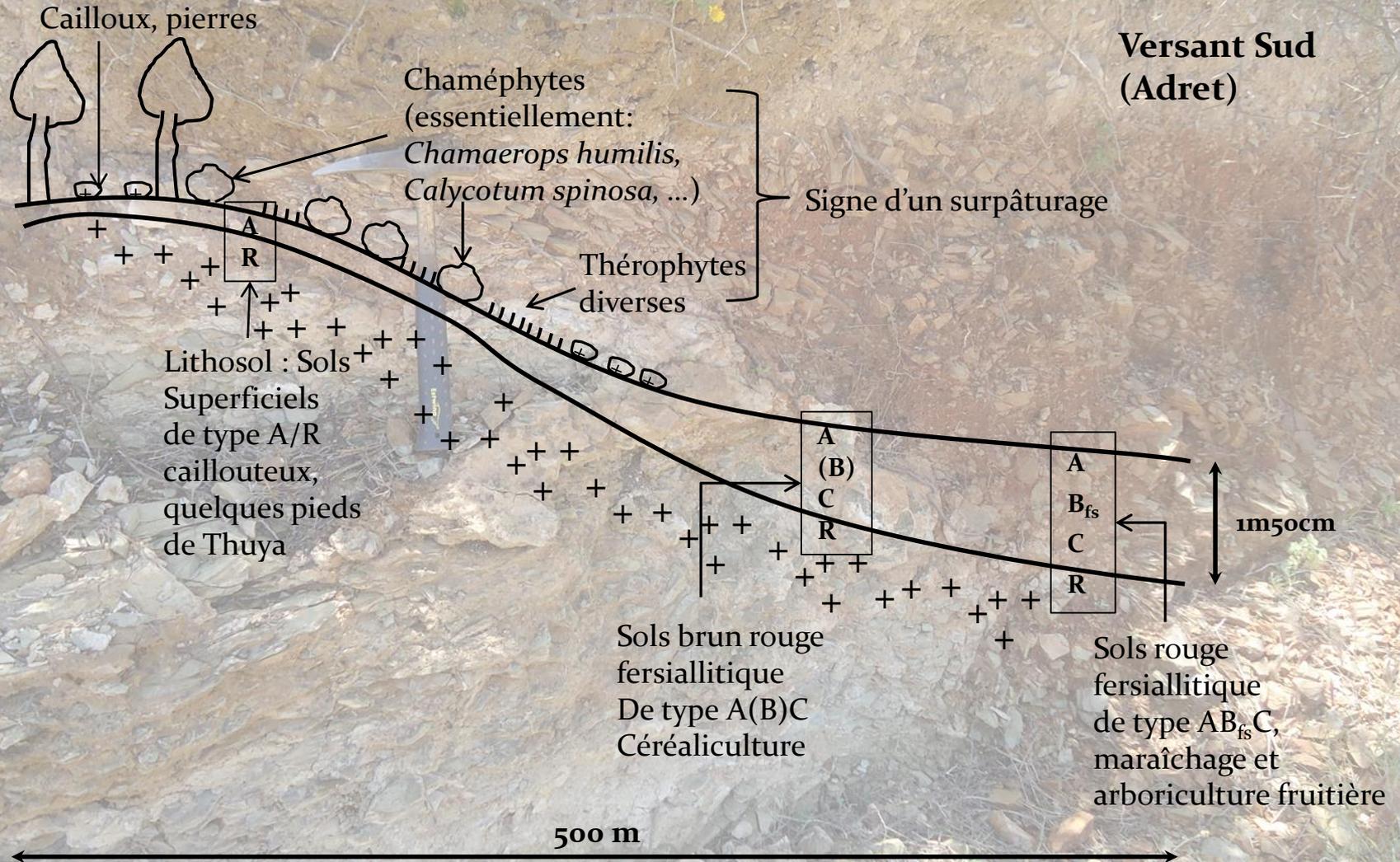
❖ **En fonction de la nature de la RM les minéraux argileux résultant sont différents :**

- ✓ **l'altération d'une roche acide, comme le granite, donne plutôt de l'illite.**
- ✓ **l'altération d'une roche basique, comme le basalte, donne plutôt des smectites.**



Relief

Versant Sud
(Adret)



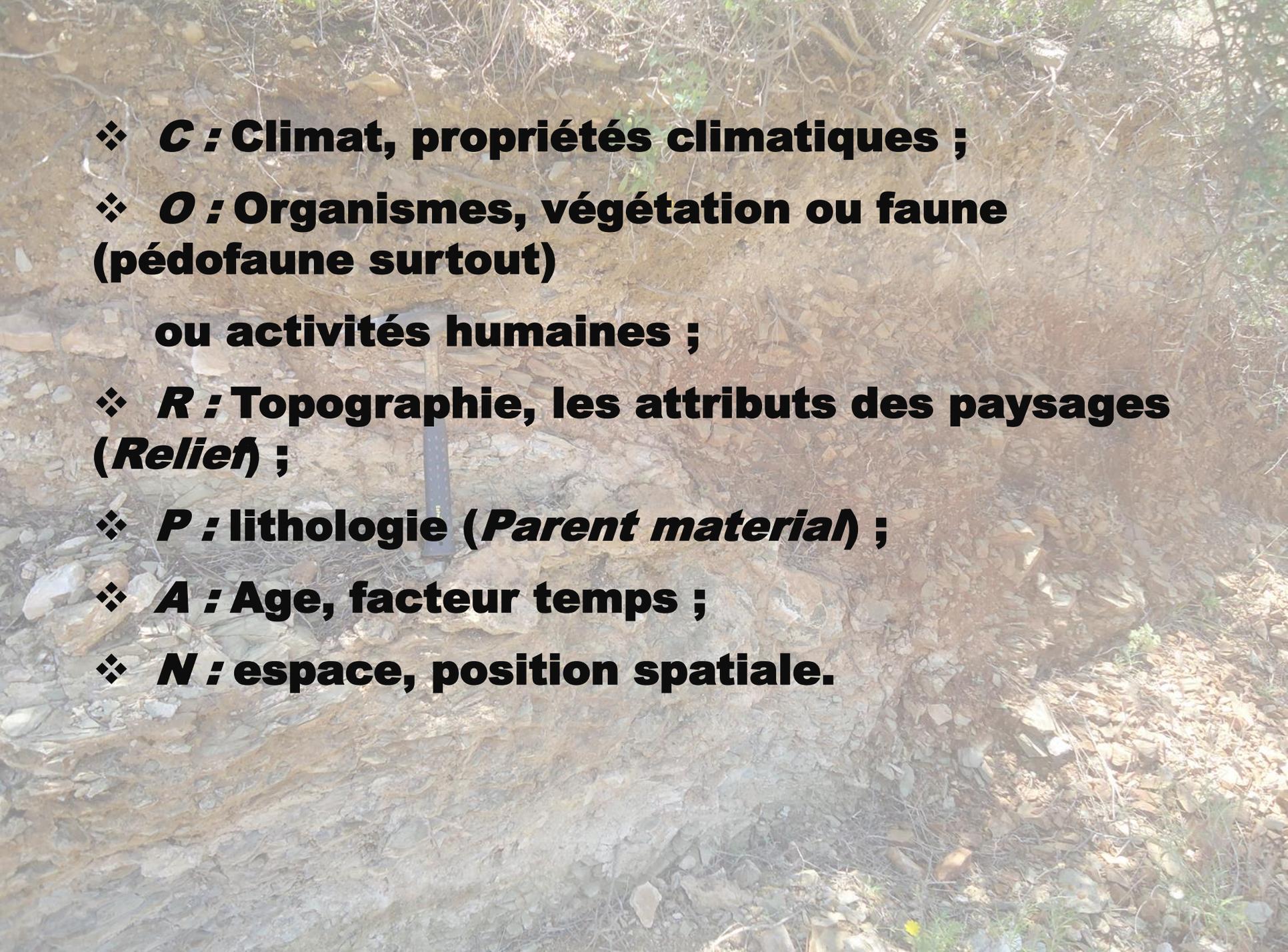
Modèle de formation des sols de JENNY (1941)

On laisse supposer que du moment que les caractères d'un sol sont fonction du climat, les organismes vivants, le relief, la roche-mère et le temps, il est donc possible que la connaissance de la distribution spatiale de ces facteurs pédogénétiques et les caractères des sols peuvent être connus par inférence.

À partir de cette idée fondatrices de DOKOUTCHAEV:

Sol = fonction(climat, roche, biome, relief, temps)

JENNY a essayé de quantifié le poids (pondération**) de chaque facteur. Le modèle qui en résulte est le modèle *CORPAN*.**

- 
- ❖ **C : Climat, propriétés climatiques ;**
 - ❖ **O : Organismes, végétation ou faune (pédofaune surtout)**
ou activités humaines ;
 - ❖ **R : Topographie, les attributs des paysages (*Relief*) ;**
 - ❖ **P : lithologie (*Parent material*) ;**
 - ❖ **A : Age, facteur temps ;**
 - ❖ **N : espace, position spatiale.**

Les Processus Pédogénétiques

- Ensemble de **phénomènes élémentaires** (physiques et/ou chimiques et/ou biochimiques) simultanés ou se succédant dans le temps.
- Agissant sur une durée suffisamment longue pour marquer le sol.
- Les processus pédogénétiques dépendent des facteurs de la formation des sols.
- Transformant un matériau parental en sol puis un sol ayant une certaine morphologie en un sol ayant une autre morphologie
- Donc ensemble de petits phénomènes localisés (sub-millimétriques) amenant à de grandes modifications morphologiques (nature et succession des horizons) et fonctionnelles (notamment fonction hydrique et structural, fonction physico-chimique et biochimique).

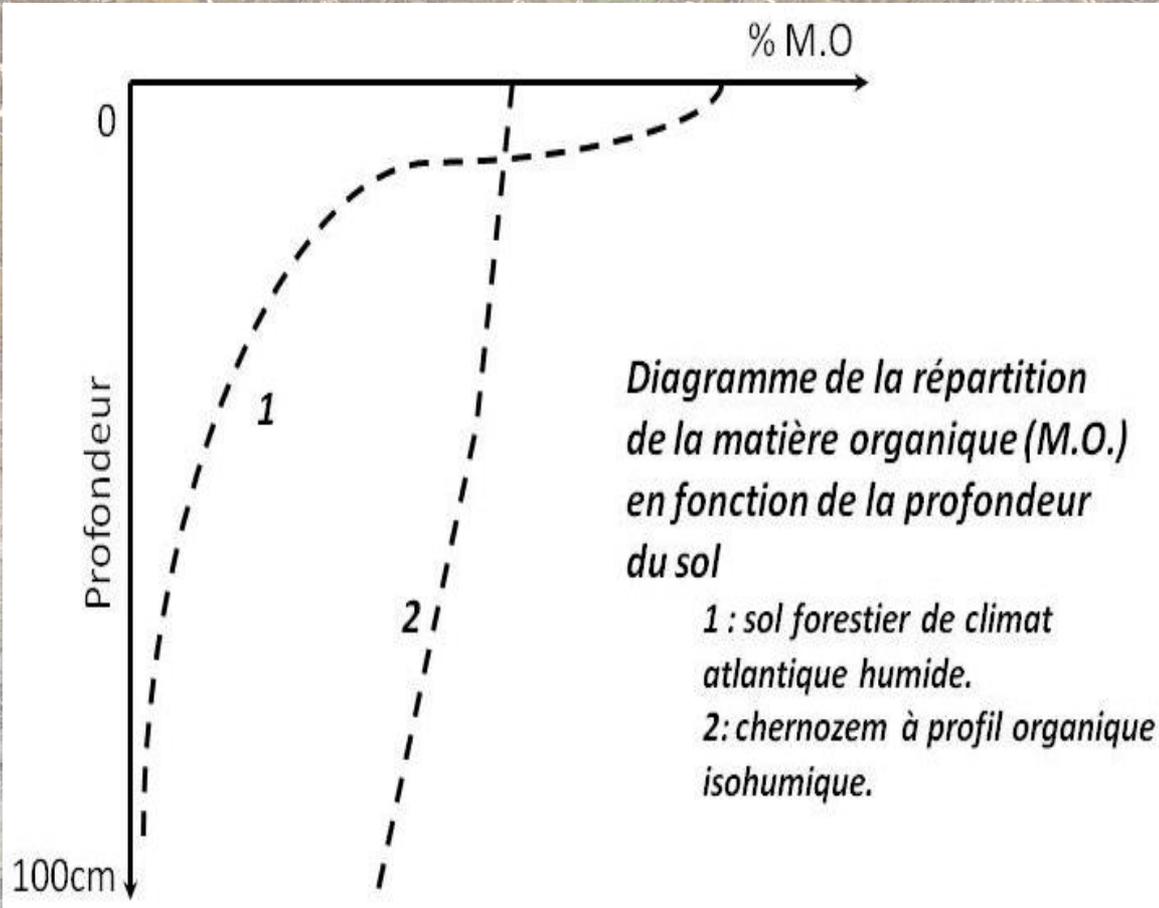
Les principaux processus pédogénétiques

Carbonatation/Décarbonatation : conditionnée par la présence de calcaire actif (CaCO_3) dans le profil qui bloc le processus de l'humification à un stade précoce et l'activité biologique est intense (Rendzines). Si la pluviométrie est suffisante on peut assister à un processus d'entraînement des carbonates de calcium vers le bas du profil (formation d'un horizon d'accumulation calcaire : nodules, croûte, ...) ou même drainé en dehors du profil : c'est la décarbonatation.

Brunification : Processus de pédogenèse de type climatique dans les zones à *climat tempéré* et dont la végétation naturelle (climax) est dominée par les *forêts de feuillues*. La brunification est due à l'association de l'oxyde de fer avec l'argile et la matière organique (humus de type mull) conférant au sol une structure fragmentaire et stable.

Lessivage : C'est un processus d'entraînement mécanique par les eaux de gravité, de particules fines depuis les horizons supérieurs vers les horizons profonds. Les premiers qualifiés d'*éluviaux*, sont appauvris et partiellement décolorés. Les seconds, *illuviaux*, se retrouvent donc enrichis et de ce fait, plus colorés. Les horizons illuviaux ou B_t (*ton* = argile en allemand).

- **Podzolisation** : c'est la destruction des argiles par des acides organiques. Il s'agit du transport de substances sous forme de chélates, c'est-à-dire de complexes organométalliques, formés par des molécules organiques et des métaux comme le fer ou l'aluminium. Les conditions pour la podzolisation sont : climat humide et froid, roche perméable et milieu fortement acide (du fait de la roche-mère ou de la végétation acidifiante, comme la plupart des conifères ou les éricacées). Sous ces conditions, la percolation d'eau produira un lavage intense du sol et entraîne les particules métalliques en profondeur, l'horizon éluvial est de couleur cendré à cause de la forte teneur en quartz qui résiste à l'altération biochimique (podzol = sol cendreux en russe).
- **Mélanisation** : Ce terme remplace l'ancien terme d'*isohumisme* qui faisait allusion à une *incorporation profonde de la matière organique dans le profil*. Elle est favorisée, d'une part l'effet rhizosphère, d'autre part, par la forte bioturbation. Le cycle biogéochimique actif maintient le profil saturé en Ca^{2+} .



*Diagramme de la répartition
de la matière organique (M.O.)
en fonction de la profondeur
du sol*

*1 : sol forestier de climat
atlantique humide.*

*2: chernozem à profil organique
isohumique.*

Encroûtement (ou Calcification) : Ce processus est de nature physico-chimique et il est étroitement lié aux alternances d'humectation et de dessiccation. Les phases d'humectation sont nécessaires à la mobilisation du calcaire, principalement par dissolution (formation de bicarbonate). Les phases de dessiccations favorisent la précipitation, puis la consolidation et enfin la cristallisation sous forme de calcite du calcaire mobilisé.

Fersiallisation : Elle caractérise les zones à **climat méditerranéen**, à saisons contrastées sèche et humide. L'altération des minéraux primaires est moins marquée. Les argiles de type 2/1 sont dominants (bisiiallisation) et résultent partiellement de néoformations et partiellement d'héritage. L'individualisation d'oxydes fer (hématite qui donne la couleur rouge de ces sols) est plus importante que les hydroxydes de fer (goethite). Le complexe absorbant reste le plus souvent saturé par le calcium. Fréquemment le profil présente un horizon argilique (B_t) résultant du lessivage des argiles. La rubéfaction des sols fersiallitiques est assurée par la liaison du fer (hématite) avec les argiles donnant aux sols la couleur rouge caractéristique ; la décarbonatation du profil est une condition nécessaire pour éviter la complexation de la matière organique avec les colloïdes argileux.

La pédogénèse des sols rouges fersiallitiques se résume comme suit :

- **Décarbonatation du profil mais le complexe absorbant reste souvent saturé (saison humide)**
- **Altération incomplète des minéraux primaires donnant des argiles de type 2/1 (la bisiallisation) → saison humide**
- **La minéralisation rapide de la matière organique → chaleur + humidité (printemps et automne)**
- **L'altération des minéraux primaires donnent aussi des résidus comme le fer qui s'oxyde (hématite) → saison sèche**
- **L'hématite se lie avec les argiles pour donner la couleur rouge de ce type de sol.**

Ferruginisation : L'altération est plus poussée encore, mais certains minéraux peuvent subsister. Les argiles 2/1 deviennent minoritaires par rapport aux argiles 1/1 (kaolinite). Les oxydes de fer peuvent être rubéfié ou non. Le taux de saturation est en général plus bas et fonction de l'humidité du climat et de l'importance de la saison sèche. Le lessivage est moins constant et moins bien caractérisé.

Ferrallitisation : Elle caractérise les zones à climat chaud et humide (équatorial ou tropical humide). L'altération est rapide et pratiquement complète des minéraux primaires (sauf le quartz). En cas d'un mauvais drainage il y a néoformation des kaolinites (1/1). Le profil atteint souvent plusieurs mètres. Si le profil possède une faible réserve en silice et le drainage est important (pente) l'aluminium s'individualise en gibbsite (hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$).

Généralement les horizons humifères possèdent une couleur brun foncée. Une partie de l'horizon organique O en contient ainsi qu'une partie de l'horizon B.
L'horizon A de ce podzol a une couleur de cendre parce qu'il est lessivé (l'eau d'infiltration a tout emporté sous forme de chélates)= Horizon éluvial.
L'horizon B d'accumulation=

O

A

B

C

humus

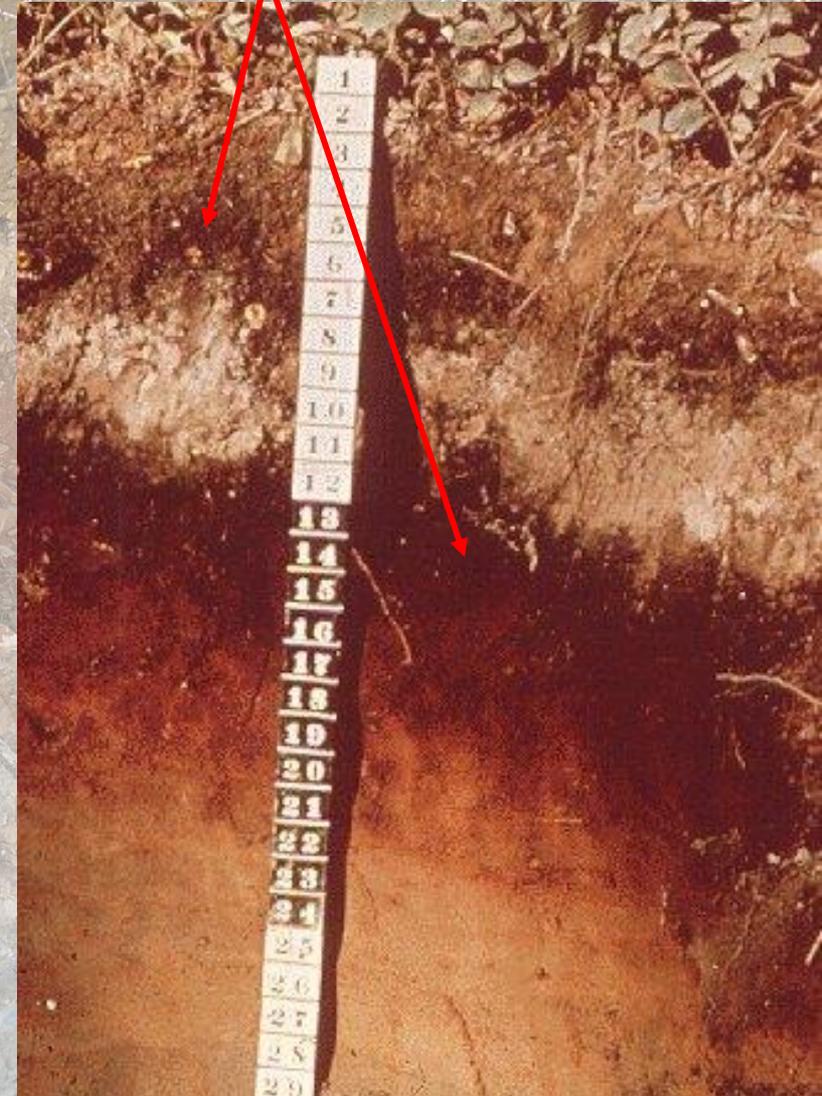


Photo : Université Northern British Columbia :
<http://web.unbc.ca/~quarles/nres/soc/soc.htm>

Classification des sols

Les sols ne constituent pas d'entité limitée dans l'espace, comme une plante ou un animal. Ils forment un ***continuum*** au sein duquel il faut placer des limites forcément arbitraires. Le nombre d'unités ainsi créé, se succèdent les uns aux autres par des changements brutaux et graduels. Une classification doit donc satisfaire au principe d'homologie et de subordination des caractères.

Le but de la classification :

La systématique des sols doit résoudre un double problème :

- **Classer les unités supérieures, grouper les grands types de sols mondiaux, en fonction de leur genèse, de leurs propriétés fondamentales.**
- **Donner aux cartographes un outil commode, pour dresser des cartes à grande échelle, utilisables à des fins pratiques (agronomie, foresterie, aménagement, ...). Il faut alors classer les sols, souvent d'après des caractères de détail ; il faut aussi les définir et les désigner.**

Le but final est d'aboutir à une classification unique hiérarchisée, comprenant toutes les catégories d'unités ; elle doit se présenter sous forme d'une pyramide : les unités supérieures peu nombreuses forment le sommet, les unités inférieures, de plus en plus subdivisées et nombreuses, en formant la base.

Types de classifications

- **La classification climatique** : on synthétisait les caractères généraux des climats, à l'aide de formules climatiques simples, exprimant surtout l'aridité. Ces classifications climatiques divisaient les sols en trois grands groupes : sols zonaux, azonaux et intrazonaux. La plus ancienne classification génétique des sols est la classification Russe élaborée par DOKUCHAEV et basée sur le climat (le climat est un facteur de la pédogénèse).
- **La classification chimique** : elle s'appuie sur les propriétés chimiques des sols exemple : classification basée sur la notion de complexe absorbant.
- **La classification mixte** : elle fait intervenir, à la fois, la base climatique et la base chimique.
- **La classification française CPCS 1967 (Commission de Pédologie et de Cartographie des sols)** : C'est une classification hiérarchique et génétique. L'aspect hiérarchique est lié à la division en unités majeurs : Classe, Sous-Classes, Groupes et enfin sous-groupes. L'aspect génétique est lié surtout à la prise en compte de du climat considéré d'abord au niveau de la classe. Il existe 12 classes :

Classe (1): Sols minéraux bruts

Sols de profil (A)/C, (A)/R, ou R

Reg vers Brézina (sud d'El-Bayadh):
Lithosol à profil (A)/C



Hammada de Taghit : R
Le sable couvre une dalle rocheuse



Régosols : ce sont des sols bruts d'érosion sur roche tendre, ici marnes. Ce paysage dégradé et érodé s'appelle « badlands », très fréquent dans le nord algérien.



Classe (2): Sols peu évolués



Tableau 4.5 Les classes de la CPCS 1967.

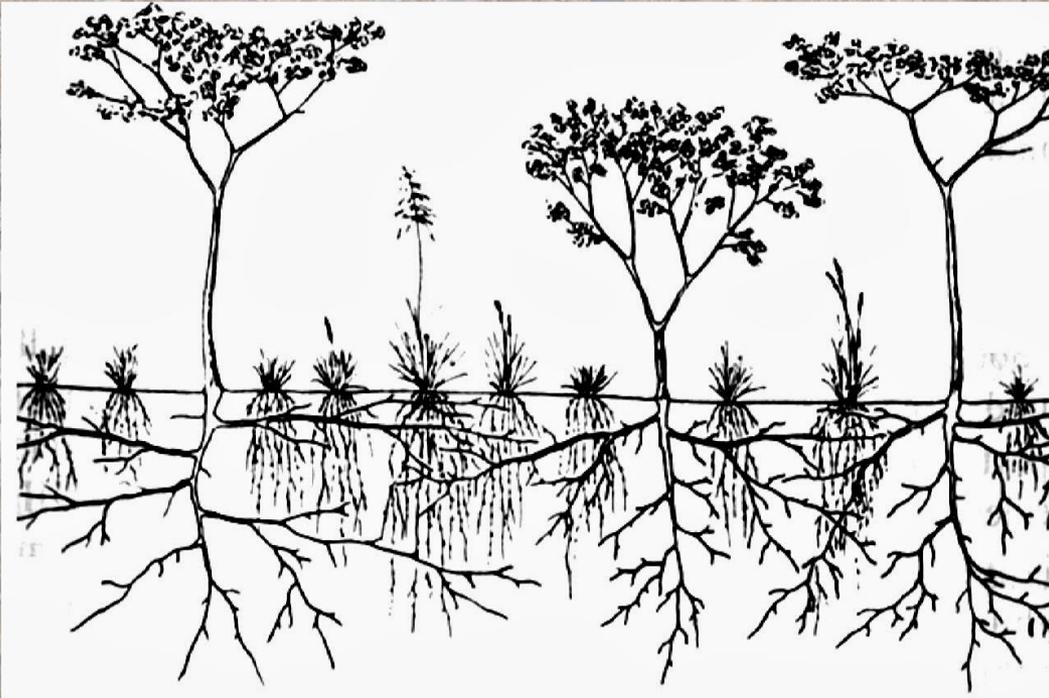
N°	Classe	Mécanisme dominant	Climats caractéristiques
1	Sols minéraux bruts	Aucun (roches affleurantes)	Différenciés au niveau de la sous-classe
2	Sols peu évolués	Pas net (sols jeunes)	Différenciés au niveau de la sous-classe
3	Vertisols	Evolution orientée, voire bloquée, par la présence d'une forte teneur en argile de type 2/1 ; c'est la <i>vertisolisation</i>	Méditerranéens ou subtropicaux
4	Andosols	Evolution liée à la présence d'une roche volcanique très altérable fournissant des produits mal cristallisés (allophanes) ; cela correspond à l' <i>andosolisation</i> et parfois à la brunification	Humides avec une différenciation au niveau de la sous-classe
5	Sols calcimagnésiques	Evolution liée à la présence de calcium en quantité variable ; on prend en compte la <i>décarbonatation</i> et la <i>décalcification</i>	Indifférents
6	Sols isohumiques	Evolution liée à la présence simultanée d'une forte activité biologique et d'une matière organique humifiée et stable	Continentaux avec une différenciation au niveau de la sous-classe
7	Sols brunifiés	Evolution liée à la présence puis à l'éventuelle dégradation du complexe « argile / humus / fer » ; on prend en compte la <i>brunification</i> , la <i>dégradation</i> , la <i>planosolisation</i>	Tempérés avec une différenciation au niveau de la sous-classe



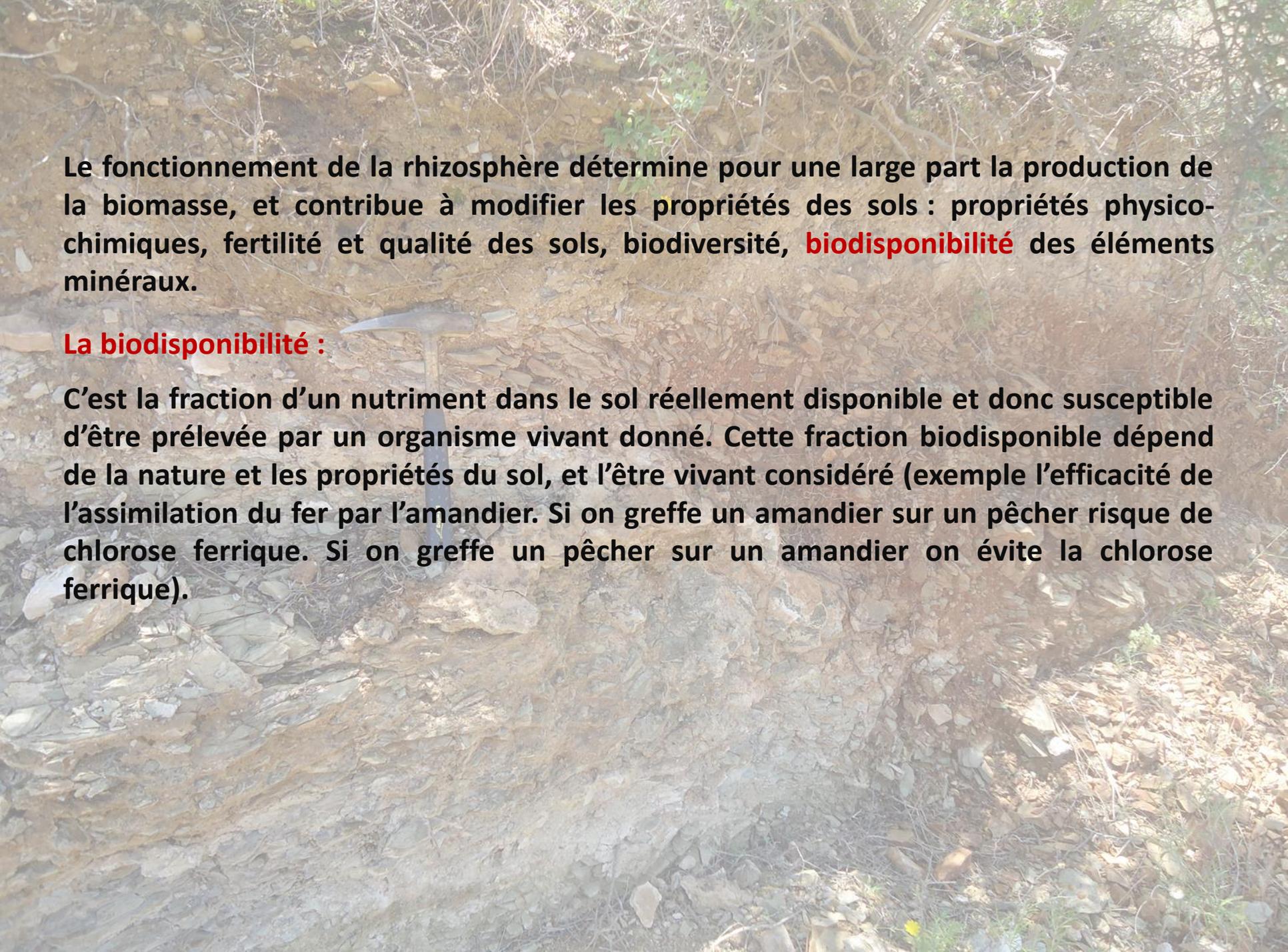
8	Sols podzolisés	Evolution matérialisée par une acidification détruisant les minéraux silicatés, éliminant les bases et la silice issues des silicates, redistribuant légèrement fer et aluminium, c'est la <i>podzolisation</i>	Estimés tempérés ou froids (à l'époque de la CPCS) et différenciés au niveau de la sous-classe
9	Sols à sesquioxides de fer et manganèse	Evolution parallèle à celle des sols brunifiés mais en présence de fortes quantités de fer (sols ferrugineux tropicaux et sols fersiallitiques); on étudie la <i>rubéfaction</i> et la <i>dérubéfaction</i>	Subtropicaux et méditerranéens
10	Sols ferrallitiques	Sols liés à la dissolution totale des minéraux primaires, à l'exportation des bases et de la silice (y compris quartz), à la concentration relative du fer et de l'aluminium; c'est la <i>ferrallitisation</i>	Chauds
11	Sols hydromorphes	Sols liés à un excès d'eau; c'est l' <i>hydromorphie</i>	Indifférents
12	Sols sodiques	Sols évoluant dans des milieux riches en sels solubles; on examine <i>salinisation</i> et <i>sodisation</i>	Indifférents

Relations sol-Végétation

La **rhizosphère** est définie comme le volume de sol directement soumis à l'action des racines. C'est un lieu de passage obligé de tous les éléments minéraux depuis le sol vers les plantes, et un lieu d'interactions très fortes entre les plantes et les micro-organismes du sol. C'est donc un lieu d'échanges de matière et d'énergie entre les plantes et le sol.



La présence de différentes strates (arborée, arbustive, herbacée et muscinale) contribue à une utilisation optimale de tous les horizons du sol par les racines et à le protéger contre toute forme d'érosion.

A photograph of a geological site showing a rock hammer placed on a rock surface for scale. The hammer is a standard geological hammer with a wooden handle and a metal head. The rock surface is light-colored and appears to be a sedimentary or metamorphic rock. The background shows a rocky slope with some sparse vegetation and a small stream or gully.

Le fonctionnement de la rhizosphère détermine pour une large part la production de la biomasse, et contribue à modifier les propriétés des sols : propriétés physico-chimiques, fertilité et qualité des sols, biodiversité, **biodisponibilité** des éléments minéraux.

La biodisponibilité :

C'est la fraction d'un nutriment dans le sol réellement disponible et donc susceptible d'être prélevée par un organisme vivant donné. Cette fraction biodisponible dépend de la nature et les propriétés du sol, et l'être vivant considéré (exemple l'efficacité de l'assimilation du fer par l'amandier. Si on greffe un amandier sur un pêcher risque de chlorose ferrique. Si on greffe un pêcher sur un amandier on évite la chlorose ferrique).

Un certain nombre de contraintes peuvent survenir lors de l'alimentation des plantes en eau et en sels minéraux. Les plantes ont développé plusieurs stratégies d'adaptations :

- Croissance d'un système racinaire puissant et ramifié
- Un **cortex racinaire lacuneux** qui abrite de nombreux micro-organismes symbiotiques (nodosités bactériennes, mycorhizes de champignons)

Flux hydrique et minéraux dans la rhizosphère

Le flux hydrique entre le sol et la végétation est assuré par la transpiration, elle-même dépendante de l'énergie climatique (température et vent).

Le flux d'eau transpiré par une plante est considérable. Exemple : dans les mêmes conditions météorologiques et en plein été :

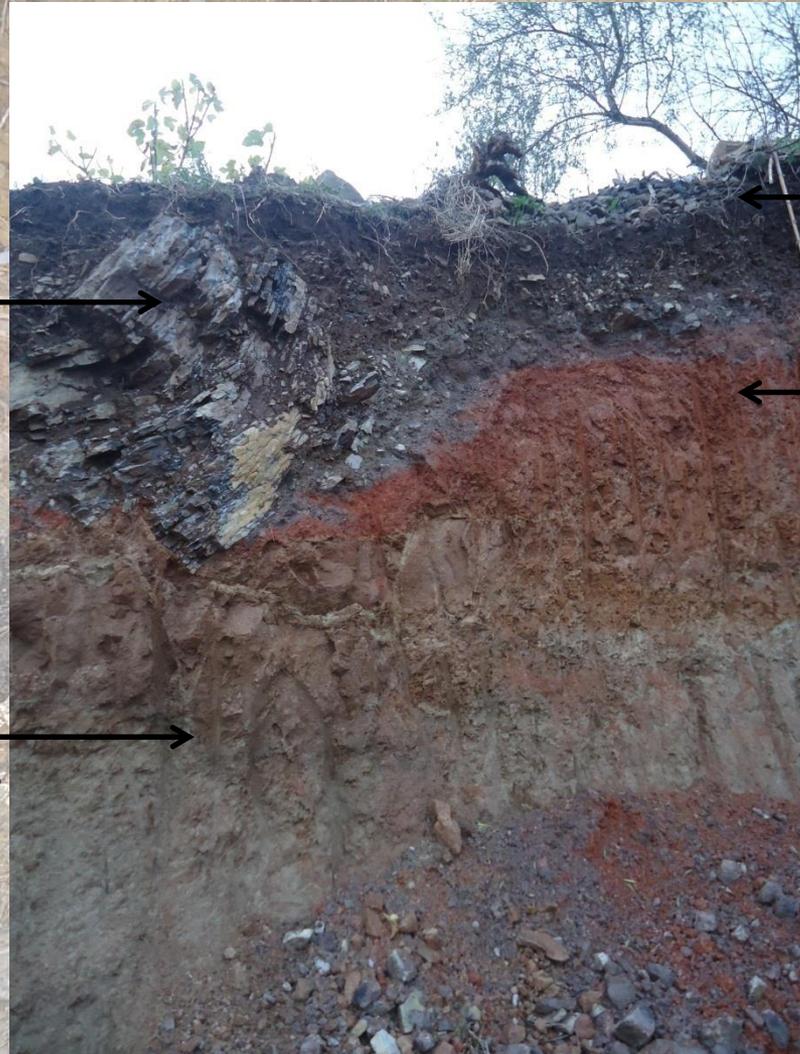
- Un sol nu humide transpire 1mm/jour.
- Un gazon bien alimenté en eau transpire 2 à 3mm/jour
- Une luzerne près de 4 à 5mm/jour

Au niveau des racines ce processus est à l'origine d'une diminution de la teneur en eau et donc une augmentation du potentiel matriciel (pF).

Exemple d'un sol vertique dans la région de Souk Ethnine (Traras)

Coulée basaltique la plus récente (niveau supérieur)

Coulée basaltique la plus ancienne c'est un basalte altéré (niveau inférieur)



0 m

Sol noir vertical

Un paléosol pris en sandwich. C'est un vertisol qui a subi la cuisson de la lave d'où la couleur rouge-brique.

3 m



Pour information : cette année la FAO organise



2015

Année internationale
des sols

<http://www.fao.org/soils-2015/fr/>