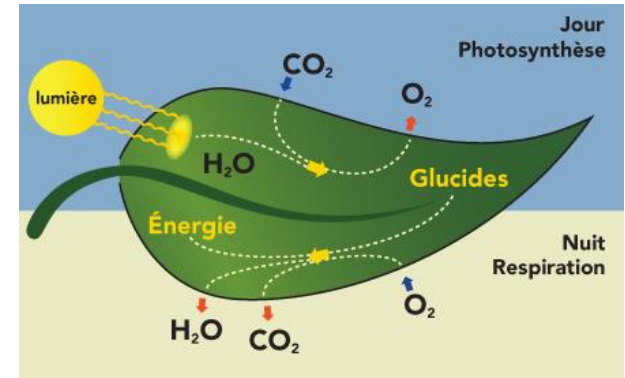
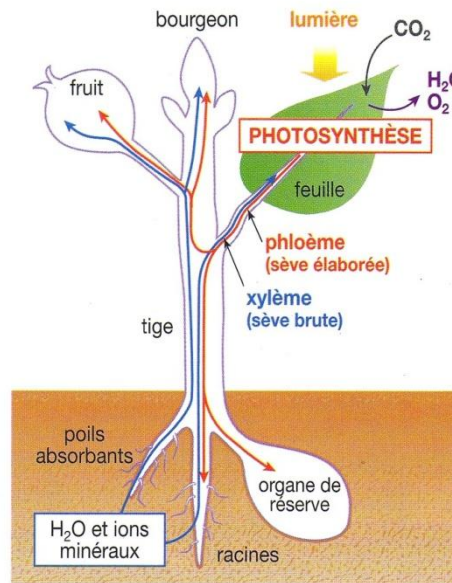


# Physiologie Végétale



Faculté des Sciences Appliquées Université Ibn Zohr  
Filière SV, Semestre 4

2019/2020

## Constituants, structure & propriétés du Sol

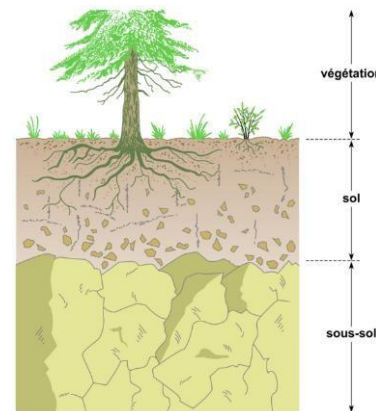
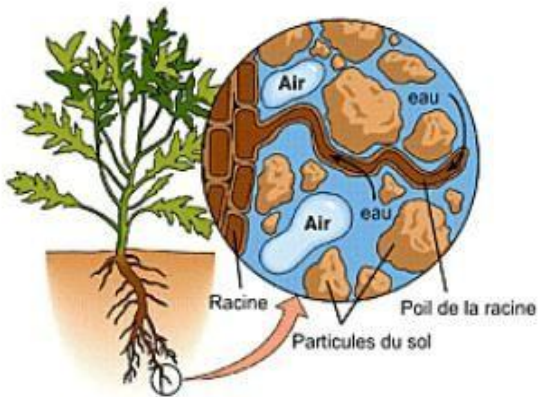
### Constituants du sol

- Pour le végétal, le sol constitue d'abord un support et aussi la source essentielle d'eau et de sels minéraux. Pour comprendre l'état de l'eau dans le sol il est nécessaire de connaître d'abord sa **structure**.
- Le sol, est la couche superficielle, meuble de l'écorce terrestre, dans laquelle se développent les racines des plantes.
- C'est un milieu complexe et organisé et divisé. Il est constitué:
  - ✓ d'une **phase solide** constituée de grains minéraux, de taille variable, et d'une fraction organique minoritaire. L'arrangement de cette phase ménage des pores.
  - ✓ Ces pores sont remplis par une **phase liquide** (solution du sol contenant des solutés)
  - ✓ une **phase gazeuse**, généralement en équilibre avec l'atmosphère.

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

- Les proportions de ces différentes phases varient, selon le type de sol bien entendu, mais aussi au cours du temps selon les épisodes climatiques.
- La phase minérale provient de la roche mère dégradée par l'érosion.



# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

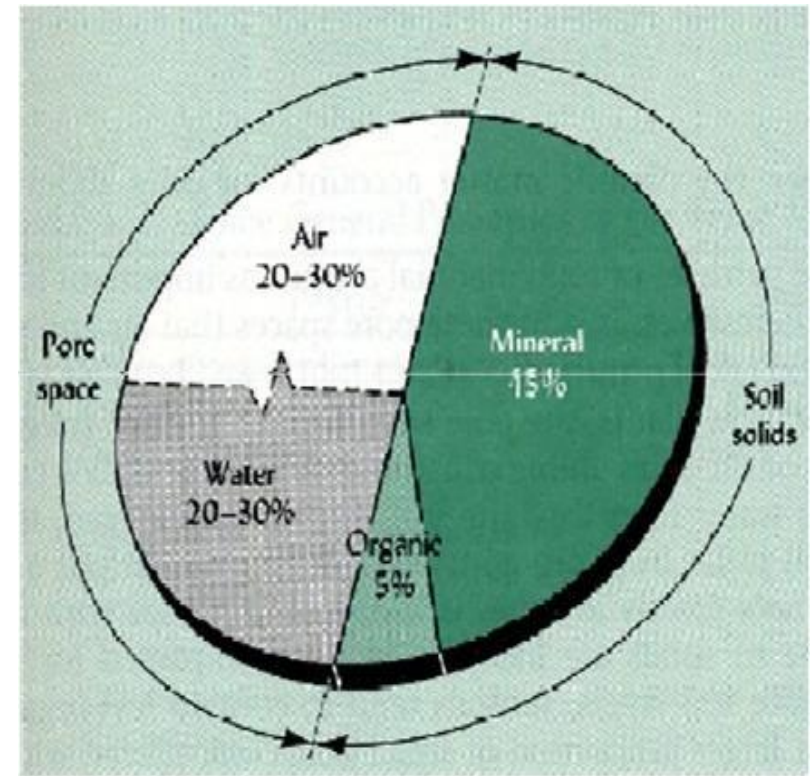
*Proportions relatives en volumes (%) des constituants solides des minéraux, organiques et des phases liquides et gazeuses dans sol.*

Fraction minérale: Phase solide

Fraction organique

Phase liquide: substances dissoutes et eau

Phase gazeuse: vapeur d'eau, dioxyde de carbone et mélange d'azote et d'oxygène



## Constituants, structure & propriétés du Sol

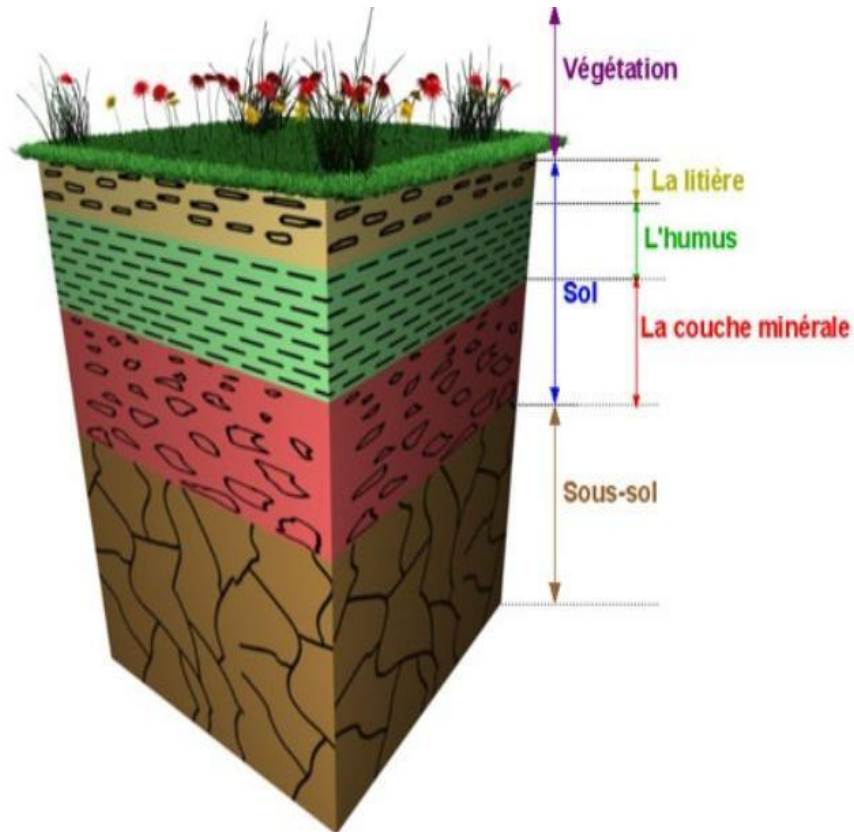
### Constituants du sol

Dans un sol, on peut distinguer trois types de constituants : Les constituants liquides, les constituants gazeux et les constituants solides.

- ✓ Les **constituants liquides**, représentent la solution du sol qui est formée d'eau contenant divers éléments dissous.
- ✓ Les **constituants gazeux**, encore appelés « air du sol », se situent dans les cavités ou pores du sol. Ce sont le diazote ( $N_2$ ), le dioxygène ( $O_2$ ), le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) et le dihydrogène ( $H_2$ ). Ces deux constituants occupent donc les espaces vides qui peuvent exister entre les agrégats et les mottes du sol.
- ✓ Les **constituants solides** on trouve deux types d'éléments:
  - Les **éléments organiques**: issues de l'évolution de la matière organique morte et de l'activité de la flore et la faune du sol (**humus**).
  - Les **éléments minéraux**: issues de la dégradation de la roche mère

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol



Titre: Schéma d'une coupe de sol

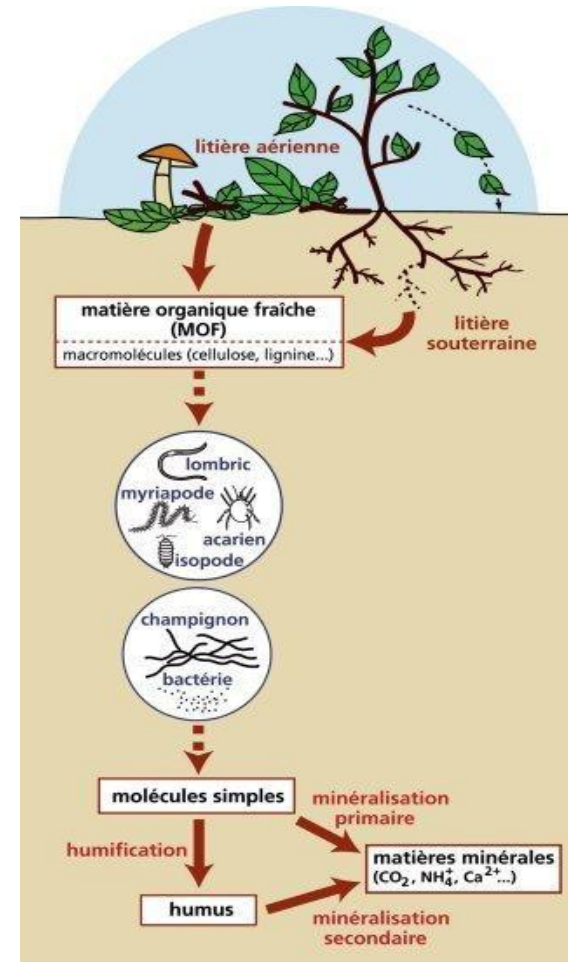


## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :

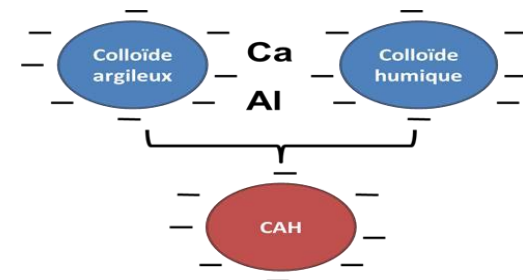
- Les éléments organiques: La partie organique d'un sol constitue l'humus qui comprend des substances dont la durée de vie est plus ou moins longue de 1 an à 1 siècle.
- La grande majorité de l'humus provient de la décomposition de litière (essentiellement débris des feuilles).
- L'humus est riche en C (45-58%) et en O (42-46 %) et un peu d'H (6 à 8 %), la teneur en N peut varier de 0.5 à 4 %.



## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

- Parmi ces constituants **solides**, on peut insister plus particulièrement sur les colloïdes qui sont des macromolécules **organiques ou minérales** qui, placées dans l'eau, ne forment pas une solution, mais forment une suspension colloïdale.
- Ils sont chargés en surface. On trouve des colloïdes électronégatifs comme **l'argile, l'humus et la silice**. On trouve également des colloïdes électropositifs comme **l'alumine et le fer**.
- Il peut donc se créer des liaisons électrostatiques entre ces différents colloïdes. C'est ainsi que se forme le complexe **argilo-humique (CAH)** dans lequel des micelles **d'argile** sont liées à des micelles **d'humus** par l'intermédiaire de cations comme  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ...





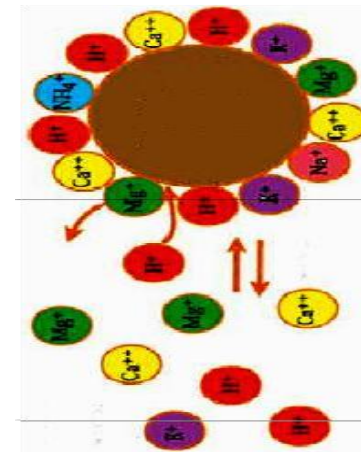
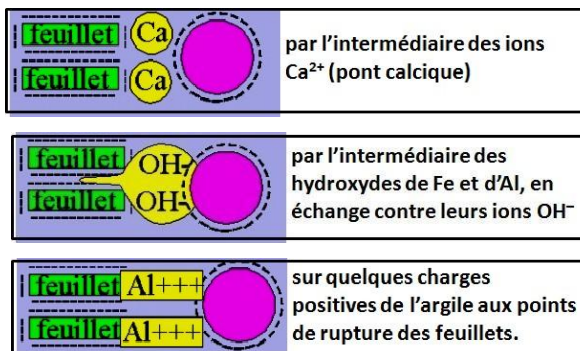
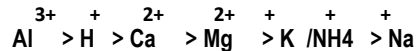
# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### Mode de formation du complexe argilo-humique (CAH)

- Les **cations** s'adsorbent de manière réversible et ils ont des affinités variables vis-à-vis des CAH :
- Quant aux **anions**, ils ne s'adsorbent pas directement, ils sont lessivés dans le sol (nitrate  $\text{NO}_3$ ), ou adsorbés via des cations di- ou trivalents

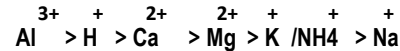


Complexe argilo-humique essentiel pour  
lutter contre le lessivage du sol.  
(drainage des éléments minéraux)

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :

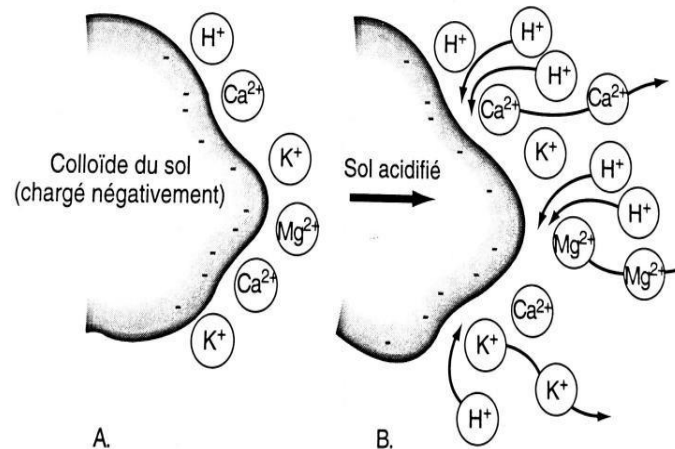


- ☐ Dans ces séries, les ions aluminium ont l'affinité de liaison la plus élevée, le sodium la plus faible. D'autre part, les ions sont hydratés, les ions faiblement hydratés ont une plus petite taille, ils peuvent approcher les surfaces colloïdales de plus près et former des liaisons.
- ☐ L'adsorption des cations est réversible, tout ion possédant une forte affinité (exemple  $\text{H}^+$ ) pourra déplacer un ion dont l'affinité est plus faible (exemple  $\text{Ca}^{+2}$ ).
- ☐ Par contre un ion de faible affinité pourra déplacer un ion de forte affinité, à la condition qu'il soit fourni en quantité suffisante, l'échange étant régi par la loi d'action de masse.
- ☐ Le processus d'échange entre les ions adsorbés et les ions en solution est nommé: échange ionique.

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :



Echange d'ions dans le sol :

(A) les **cations** adsorbés par des liaisons électrostatiques, sur les particules du sol chargées négativement.

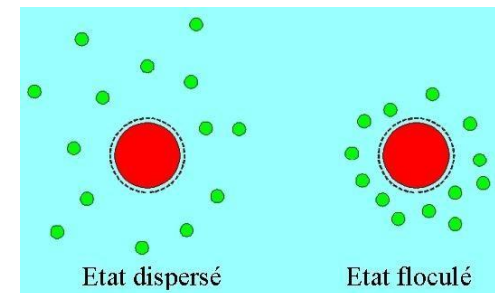
(B) L'acidification du sol augmente la concentration en ions hydrogènes dans le sol. Les ions hydrogènes supplémentaires sont plus fortement attirés par les échanges superficielles des colloïdes et déplacent ainsi les autres cations dans la solution du sol. (cas par exemple des pluies acides)

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :

- Selon les conditions du milieu (richesse en eau, en calcium...), les constituants du complexe argilo-humique peuvent exister sous forme **dispersée** ou sous forme **floculée**.
- Lorsque les charges **positives** sont en **petite quantité**, le nuage de charges positives autour d'une micelle **électronégative** est très lâche, les micelles, de même signe, se repoussent mutuellement, ne peuvent se déposer et occupent tout le volume du liquide. On dit que les colloïdes sont dans l'état **dispersé**.
- Si le nuage de charges positives est dense autour des colloïdes (sol riche en cation), les micelles ne peuvent plus se repousser. La neutralisation des charges négatives par les charges positives permet aux colloïdes de s'agglomérer et de former un **floc**. On dit que les colloïdes sont dans l'état **floculé**.



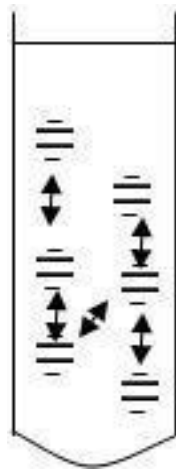
## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

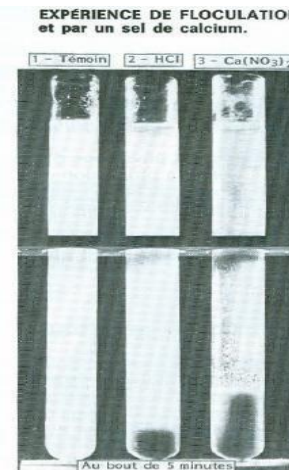
#### ○ Éléments Organiques :

##### □ Cas des argiles:

- Les argiles possèdent sur leur surface des charges **négatives**, ce sont des colloïdes négatifs, qui font que les particules se repoussent mutuellement. c'est ce qui se passe dans l'eau distillée, les argiles restent en suspension, à l'état dispersé.
- Si on introduit dans le liquide un acide, qui libère des ions  $H^+$ , ou un sel de calcium qui libère des cations  $Ca^{++}$ , ces ions positifs vont induire la neutralisation des charges négatives des micelles, qui vont s'agglutiner et se déposer: c'est la **floculation**.



- charge négative  
= particule d'argile



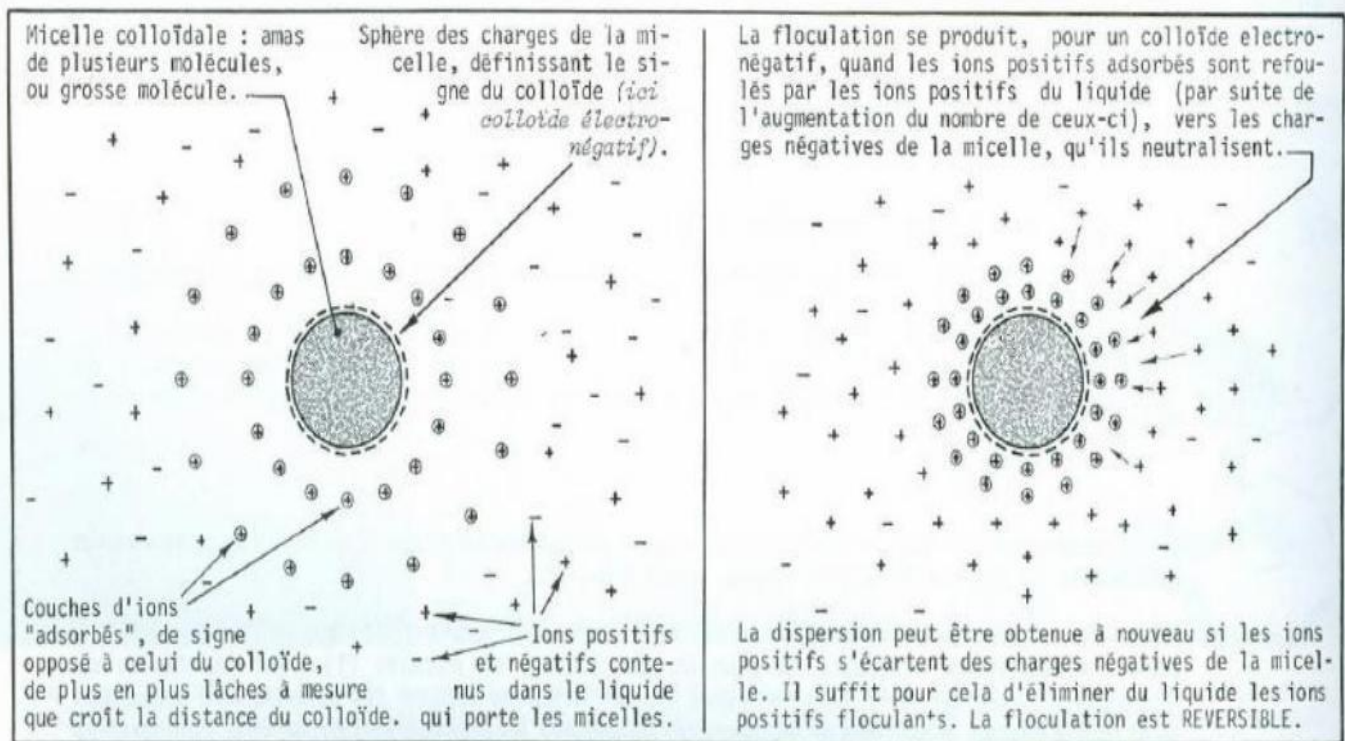
# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :

##### □ Cas des argiles:



— REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DE LA DISPERSION ET DE LA FLOCCULATION DES MICELLES COLLOIDALES DANS UN LIQUIDE



# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :

Exemple:

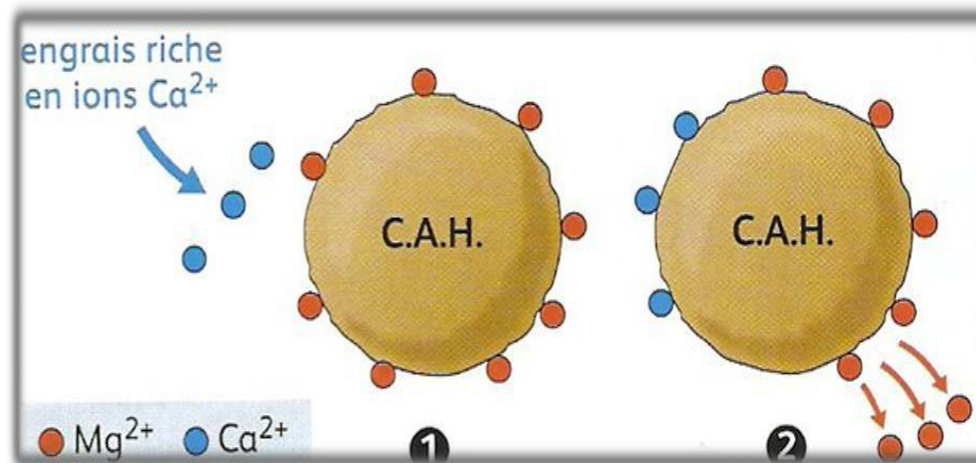
Le CAH confère au sol une structure granuleuse et aérée.

Interaction entre l'humus et les éléments nutritifs .



la nutrition des plantes

$Al^{3+} > H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ / NH_4^+ > Na^+$



## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :

##### □ Propriétés de l'humus

- L'argile et l'humus ont des propriétés relativement semblables
- L'humus est hydrophile (contient jusqu'à 15 fois son propre poids).
- L'humus est un colloïde électronégatif
- L'humus a la capacité de fixer des bases.
- Ces deux ensembles se retrouvent ensemble dans le complexe argilo-humique. Ils sont fixés ensemble par le calcium : formation d'un pont calcique.
- En présence de peu de calcium dans le sol, le pont peut se faire par l'intermédiaire de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  : C'est ainsi un pont ferrique.
- Dans certains sols, on considère les deux ensembles.

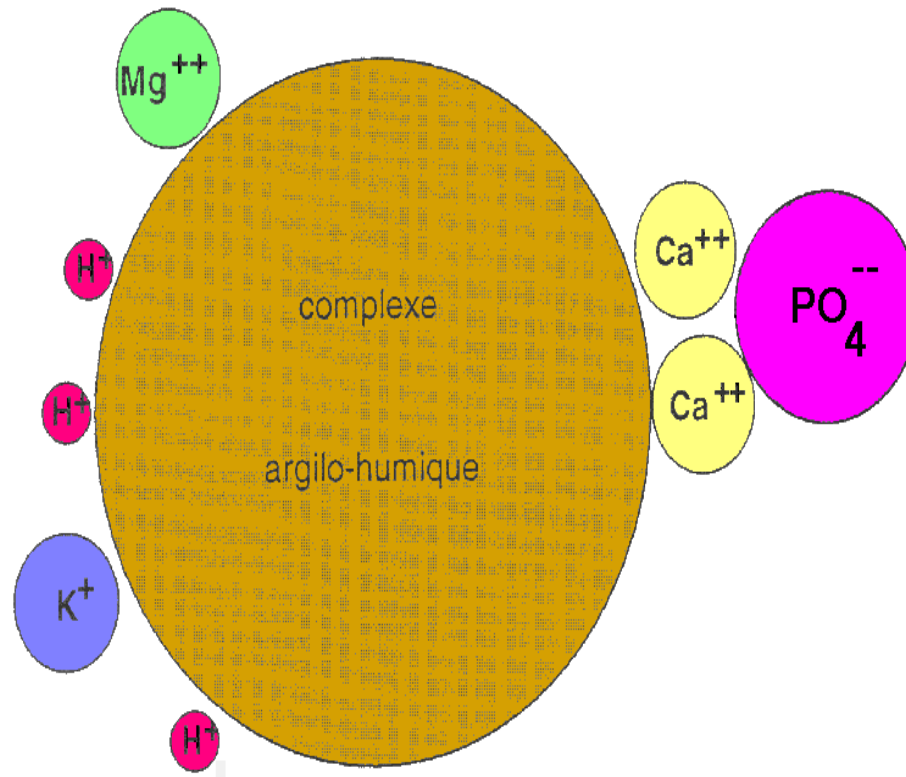
# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :

##### □ Propriétés de l'humus



*Fixation des ions sur le complexe argilo-humique.*

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :

##### □ Propriétés de l'humus

#### ○ Capacité d'Echange Cationique (CEC):

- La CEC est la quantité maximale de cations de toutes sortes qu'un poids déterminé de sol est capable de retenir (exprimé en micro équivalent par 100g).
- Cette CEC est quelque chose de relativement stable dans le sol.
- Les éléments perturbateurs sont  $H^+$  et  $Al^{3+}$ .

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :

##### □ Les organismes vivants du sol

- Le sol héberge une variété surprenante d'êtres vivants qui se chiffrent par million voir milliards par grammes de sols mais ne représentent que quelques pour cent de la fraction organique des sols.
- Dans la microfaune on trouve des vers de terre, nématodes, insectes, acariens, protozoaires, micro-organismes.
- La microflore est d'une extrême diversité taxonomique. On trouve des bactéries, des champignons, des actinomycètes et des algues.

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Organiques :

LES ETRES VIVANTS DANS LE SOL		
	Nombre (/g de sol)	Biomasse (Kg/Ha)
Bactéries	$10^4 - 10^{10}$	300 - 3000
Actinomycètes	$10^5 - 10^7$	50 - 500
Champignons	$10^4 - 10^6$	500 - 5000
Protozoaires	$10^4 - 10^5$	7 - 200
Algues	$10^5 - 10^8$	50 - 200
Faune	$10^3 - 10^4$	500 - 2000 (vers de terre)
La microflore peut représenter une à quelques tonnes de matière sèche par hectare de terrain		



## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ **Éléments Organiques :**

##### □ Les organismes vivants du sol

- On estime le nombre d'espèces différentes de micro-organismes dans un sol donné à quelques milliers
- La microflore du sol recouvre une grande diversité physique et écologique.
- Le sol a souvent été considéré comme un réservoir inépuisable d'espèces de micro-organismes
- Dans un sol peuvent coexister des micro-organismes hétérotrophes et autotrophes, aérobies et anaérobies.
- Cependant ce réservoir de biodiversité peut être affecté par des pollutions organiques ou métalliques des sols

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Minéraux:

L'analyse granulométrique du sol consiste à classer les éléments minéraux du sol d'après leur grosseur, et à déterminer le pourcentage de chaque fraction. A la suite d'une convention internationale, les particules sont classées de la façon suivante, en fonction de leur diamètre :

<b>TERRE FINE</b>	ARGILE	particules de moins de 2 $\mu$ m
	LIMONS FINS	2 à 20 $\mu$ m
	LIMONS GROSSIERS	20 à 50 $\mu$ m
	SABLES FINS	50 $\mu$ m à 200 $\mu$ m
	SABLES GROSSIERS	200 $\mu$ m à 2mm
<b>ELEMENTS GROSSIERS</b>	GRAVIERS	2 à 20 mm
	CAILLOUX	2 à 7,5 cm
	PIERRES	7,5 à 20 cm
	BLOCS	>20 cm

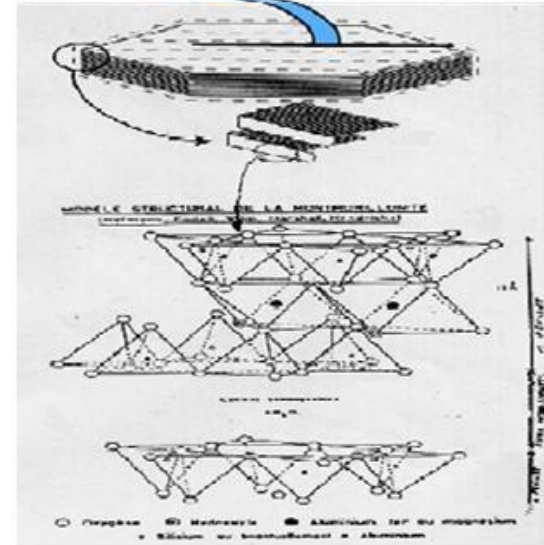
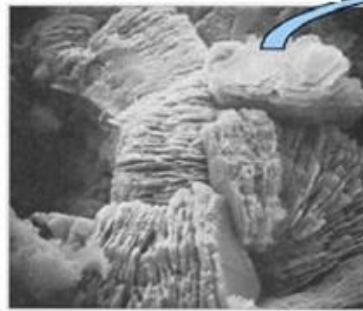
# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, structure & propriétés du Sol

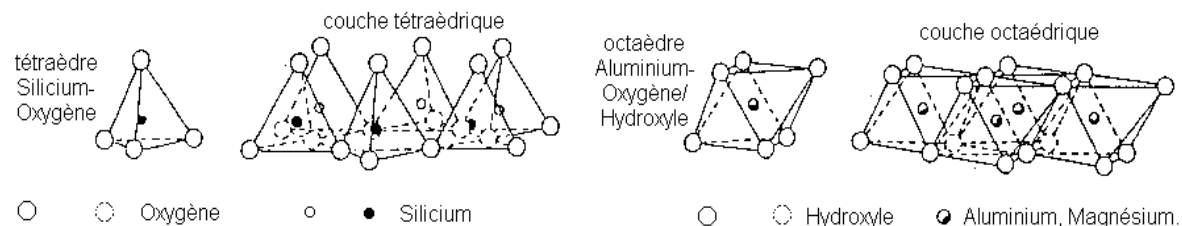
### Constituants du sol

#### ○ Éléments Minéraux:

#### Structure et nature des argiles



Ce sont des silicates d'alumine, plus ou moins hydratés à structure en feuillets. Ces feuillets sont constitués de couches de tétraèdre de la silice et de couches d'octaèdre d'alumine



## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

#### ○ Éléments Minéraux:

#### Structure et nature des argiles

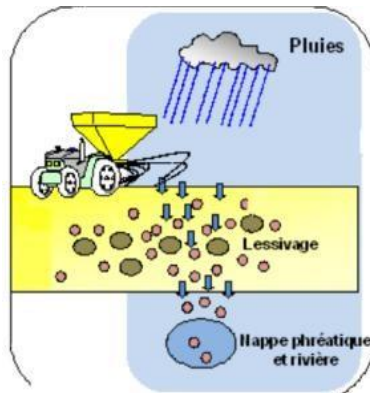
- En cas d'hydratation brutale (pluies orageuses) ou prolongée (longue période pluvieuse), les ions flocculant ont tendance à s'écarter des colloïdes : il y a risque de dispersion.
- Les complexes argilo-humiques assurent une résistance du sol à la dispersion et stabilisent sa structure.

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Constituants du sol

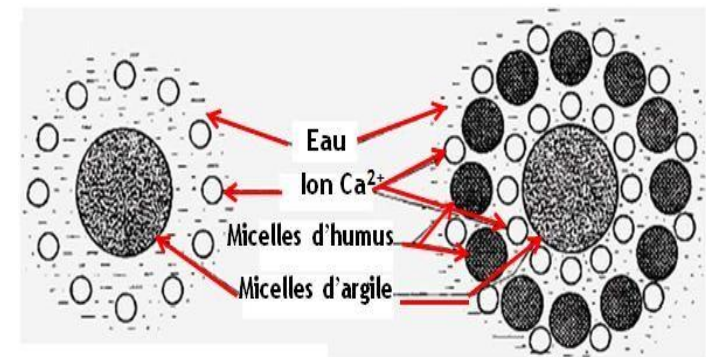
#### ○ Éléments Minéraux:

#### Structure et nature des argiles



La dispersion est facile pour l'argile seule: les ions flocculant s'écartent beaucoup des micelles argileuses. La structure du sol se dégrade : on dit qu'elle est instable.

La dispersion est difficile pour le complexe argilo-humique. L'humus flocculé forme autour de l'argile une enveloppe protectrice maintenant en place les ions flocculants. La structure du sol résiste : on dit qu'elle est stable.



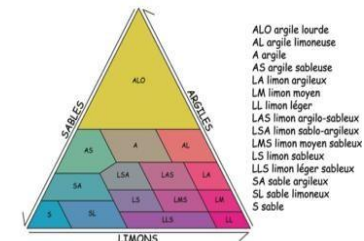
## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

Un sol est caractérisé par : Sa **texture**, sa **structure**, son **hygrométrie**, son **pH** et son **équilibre ionique**.

#### ○ Texture du Sol

- La **texture** est la répartition de l'ensemble des particules du sol en classes de taille allant des pierres et des cailloux de diamètre supérieur à 2 cm aux particules argileuses qui font moins de 2 cm.
- Elle joue un rôle très important dans la capacité d'un sol à la rétention de l'eau, l'oxygénation, la propagation de la chaleur et du froid, paramètres très importants pour l'alimentation en eau et la physiologie





## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

- De la texture dépendent la facilité avec laquelle le sol pourra être travaillé, la quantité d'eau et d'air qu'il retient, et la vitesse à laquelle l'eau peut entrer et circuler dans le sol.
- Pour établir la texture d'un échantillon de sol, commencez par séparer la terre fine



## Constituants, structure & propriétés du Sol

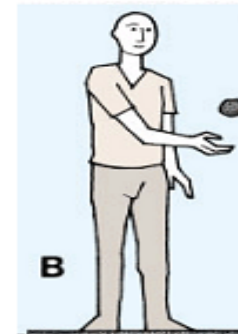
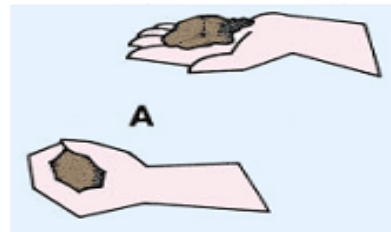
### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

Essais rapides à effectuer sur le terrain pour déterminer la texture du sol

##### *Test du lancer de la boule*

- Prenez une poignée de sol humide et pressez-la pour en faire une boule (A).
- Lancez la boule en l'air (B) à 50 cm environ et rattrapez-la...



- **Si la boule se désagrège (C)**, le sol est pauvre et contient trop de sable.
- **Si la boule reste formée (D)**, le sol est probablement bon et contient suffisamment d'argile.



## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

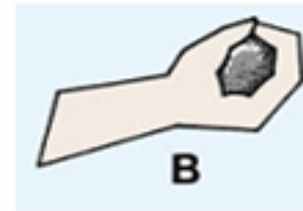
#### ○ Texture du Sol

#### Test de pression

Prenez une poignée de sol et humidifiez-la un peu (A) de façon à lier le sol sans qu'il colle à votre main.



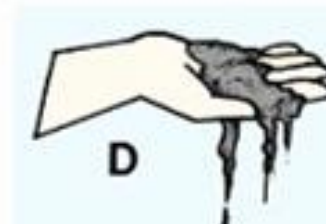
Pressez-la fortement (B), puis ouvrez la main...



Si le sol garde l'empreinte de votre main (C), c'est qu'il contient probablement assez d'argile pour la construction d'un étang.



Si le sol ne garde pas l'empreinte de votre main (D), c'est qu'il contient trop de sable.



## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

Comment trouver les proportions approximatives de sable, de limon et d'argile ?

#### Test de la Bouteille

Voici un test simple qui vous donnera une idée générale des proportions de sable, de limon et d'argile contenues dans le sol

# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

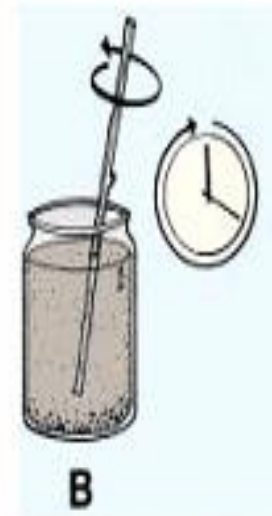
## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

#### Test de la Bouteille

- Mettez 5 cm de sol dans une bouteille que vous remplissez d'eau (A).
- Remuez bien le mélange d'eau et de sol, puis laissez reposer pendant une heure. Au bout d'une heure, l'eau se sera clarifiée et vous verrez que les particules les plus grosses se seront déposées (B).



## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

##### Test de la Bouteille

- Au fond de la bouteille, se trouve une couche de sable et de gravier
- Au milieu, une couche de limon.
- Au sommet, une couche d'argile. Si l'eau n'est pas encore claire, c'est qu'elle contient encore de très fines particules d'argile.
- A la surface de l'eau, on peut voir flotter des fragments de matière organique.
- Mesurez la hauteur des différentes couches de sable, de limon et d'argile et évaluez la proportion approximative de chacune d'elles (C).



C

29% d'argile  
28% de limon  
43% de sable et gravier



## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

#### Méthode du Triangle Texturale

- La détermination des principales classes texturales se fait en appliquant la méthode du triangle textural
- La méthode du triangle textural se fonde sur la classification granulométrique de l'USDA, qui répartit les particules de la façon suivante:
  - Le **limon** regroupe toutes les particules dont le calibre est compris entre **0,002 et 0,05 mm**.
  - **L'argile** comprend toutes les particules dont le calibre est inférieur à **0,002 mm**.
  - **Le Sable** comprend toutes les particules dont le calibre est compris entre **0,05 et 2 mm**

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

#### Méthode du Triangle Texturale

- Pour définir la texture de la fraction de terre fine, procédez de la manière suivante:
  - Envoyez votre échantillon de sol à un laboratoire qui en fera l'analyse mécanique.
  - Dès réception des résultats de cette analyse, trouvez, si nécessaire, les pourcentages respectifs de sable, de limon et d'argile, selon les définitions données ci-dessus, dans l'ensemble de la gamme granulométrique comprise entre 0,002 et 2 mm.
- Déterminez la classe texturale de chaque échantillon du sol à l'aide du diagramme triangulaire;

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

#### Méthode du Triangle Texturale

Photo d'une tamiseuse: Appareil pour la détermination au laboratoire de la texture du sol.



Tamis

Maille des tamis varie entre  $2\mu\text{m}$  à  $4\text{mm}$

ARGILE	particules de moins de $2\mu\text{m}$
LIMONS FINS	$2$ à $20\mu\text{m}$
LIMONS GROSSIERS	$20$ à $50\mu\text{m}$
SABLES FINS	$50\mu\text{m}$ à $200\mu\text{m}$
SABLES GROSSIERS	$200\mu\text{m}$ à $2\text{mm}$
GRAVIERS	$2$ à $20\text{mm}$





# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

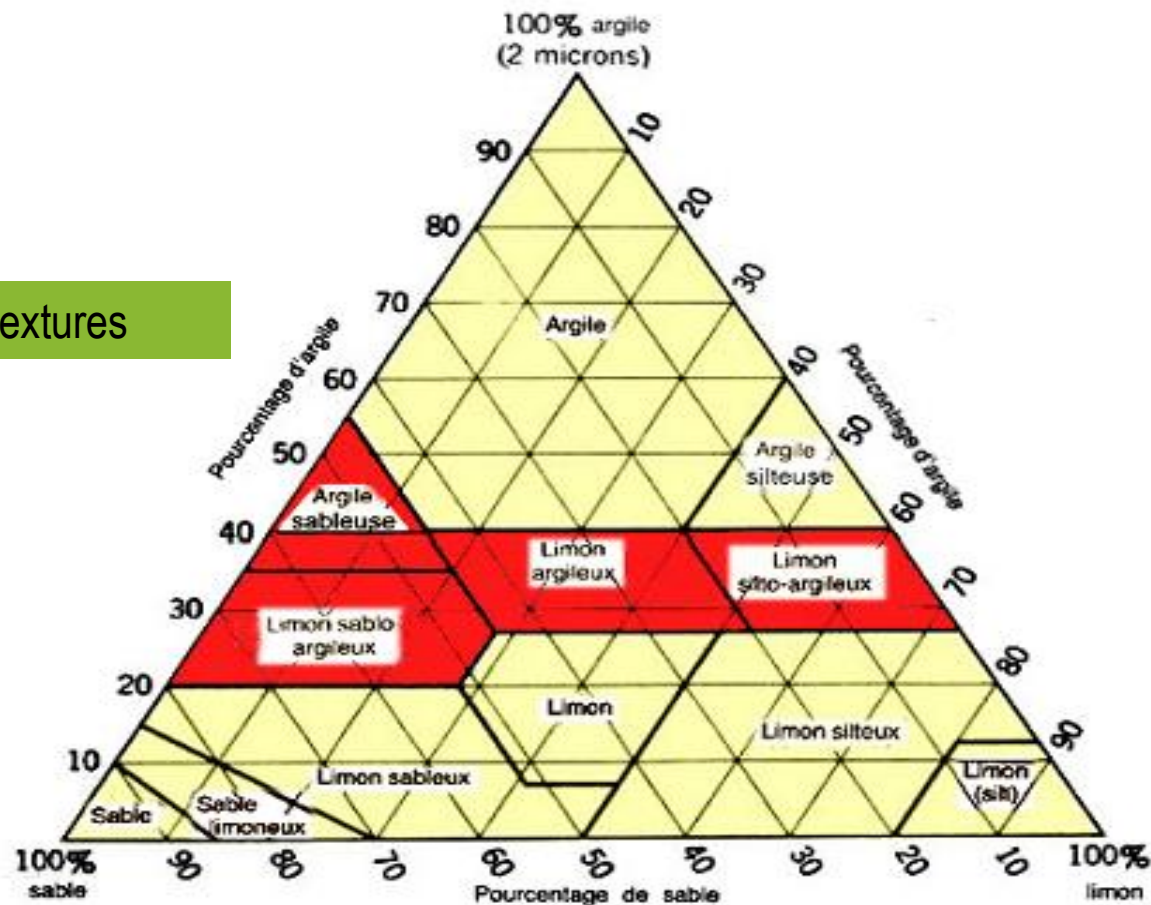
## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

#### Méthode du Triangle Texturale

Triangle des textures



# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

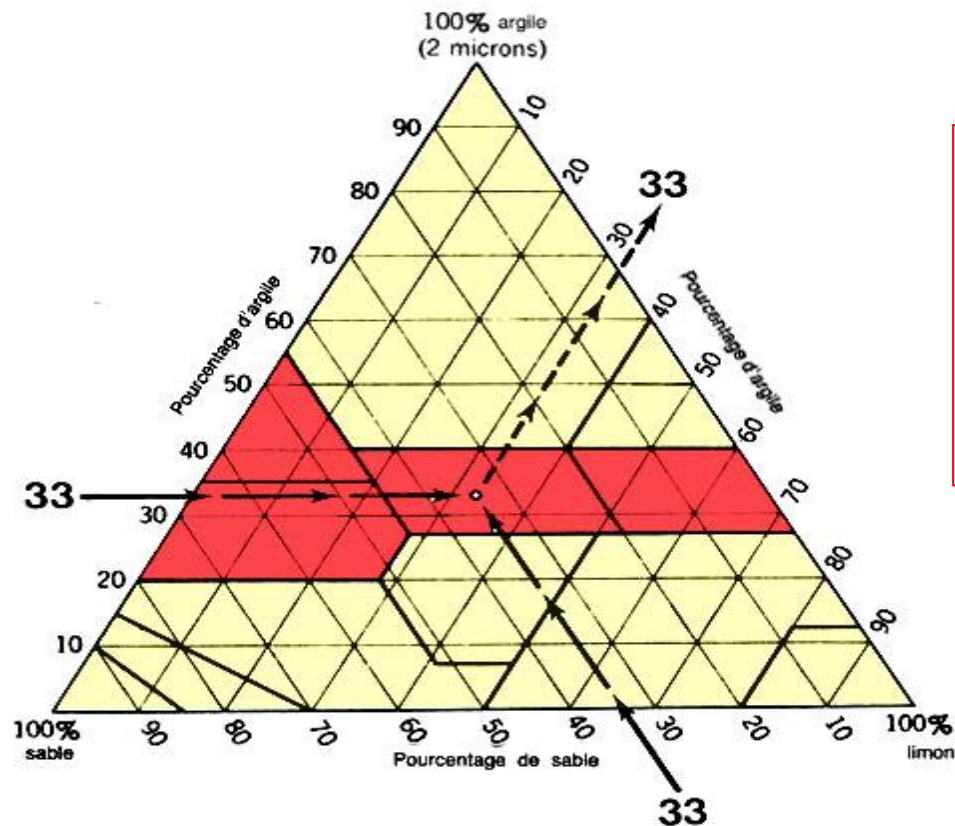
## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

#### Méthode du Triangle Texturale

Triangle des text



#### DIMENSIONS DES PARTICULES

Argile	<0,002 mm
Limon (silt)	0,002-0,05 mm
Sable	0,05-2 mm



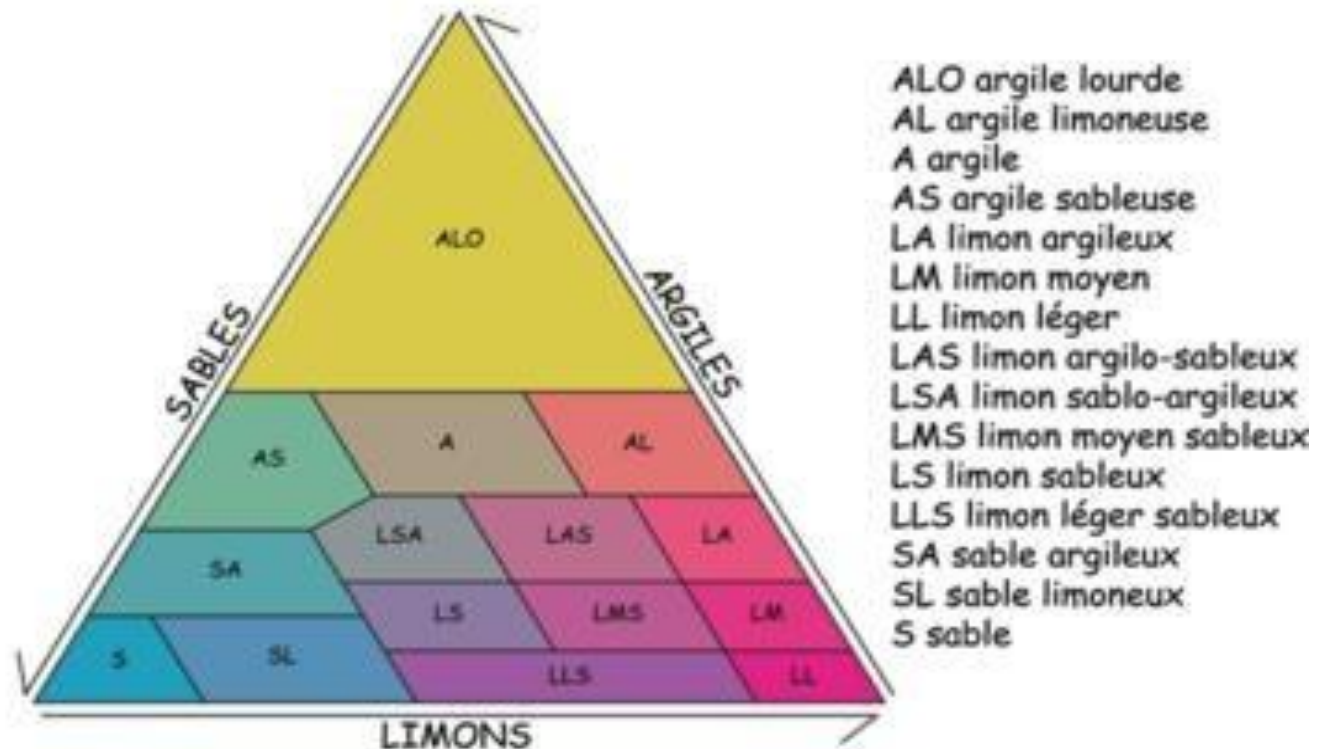
# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

#### Méthode du Triangle Texturale



Triangle des textures



# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Texture du Sol

#### Types des Textures

Types de textures	Types de sols	Travail du sol
Texture argileuse: +45%	Sols lourds.	Difficiles à travailler.
Texture sableuse: +85%	Sols légers, souvent secs.	Faciles à travailler.
Texture équilibrée: 25A-30I-45s	Sols limono-argilo-sableux.	Faciles à travailler.
Texture limoneuse: +60%	Sols riches en limons.	Sols peu perméables et mal aérés.

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Structure du Sol

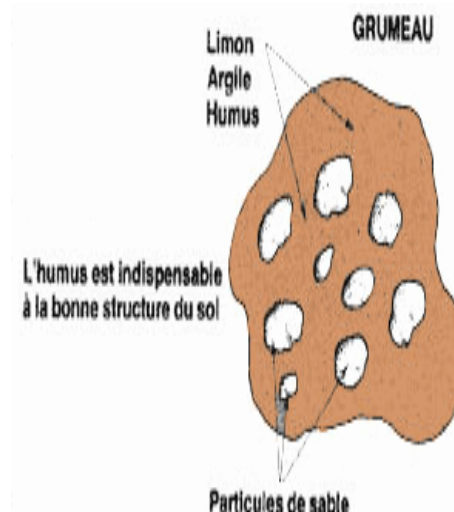
- La Structure du sol désigne le mode de l'organisation de la phase solide du sol, à différents niveaux d'échelle. Le complémentaire de cette phase solide, la phase des vides, constitue la porosité du sol.
- On peut définir la structure du sol comme étant, l'ensemble des caractères liés à la disposition spatiale des constituants du sol ainsi qu'à la nature et à l'intensité des liaisons qui existent entre eux .

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Structure du Sol

- La porosité structurale varie au cours du temps sous l'effet de différents facteurs (compactage, fragmentation, de la faune, du climat, des racines,...)
- Les particules isolées, une fois assemblées, apparaissent comme des particules plus grosses.
- C'est ce qu'on appelle des **grumeaux**. Ces grumeaux s'organisent en **agrégats**.

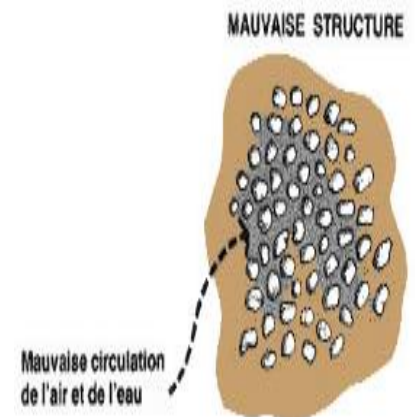


## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Structure du Sol

- Les particules et les grumeaux peuvent s'agréger de différentes façons, ce qui donne diverses structures de sol. De la structure dépend en grande partie la circulation de l'eau dans le sol.
- Ce sont les analyses de laboratoire qui permettent de dire si le sol a une bonne ou une mauvaise structure (pores/canaux capillaires, etc.).
- Ces analyses peuvent aussi renseigner sur la circulation de l'eau ou la perméabilité.

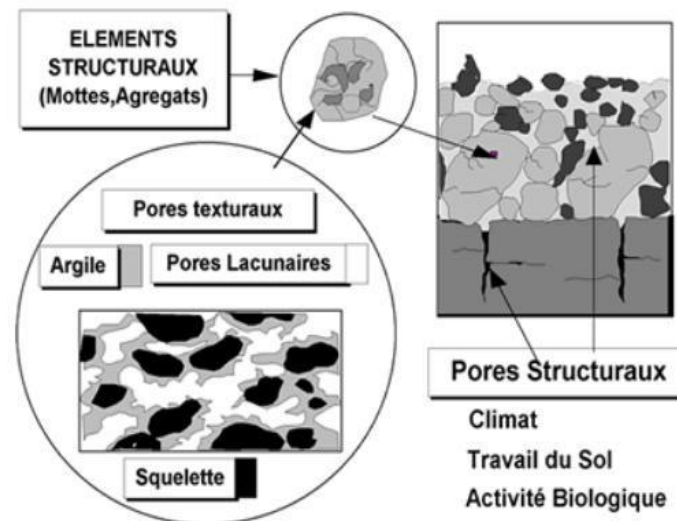


## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Structure et texture du Sol

#### ○ Structure du Sol

- Le sol présente des espaces (pores) entre les mottes et les agrégats minéro-organiques qui le constituent.
- Ces espaces seront occupés par l'air et une proportion d'eau qui dépend de sa composition organo-minérale.



## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

□ Différentes formes de l'eau dans le sol :

L'eau du sol se présente sous deux formes :

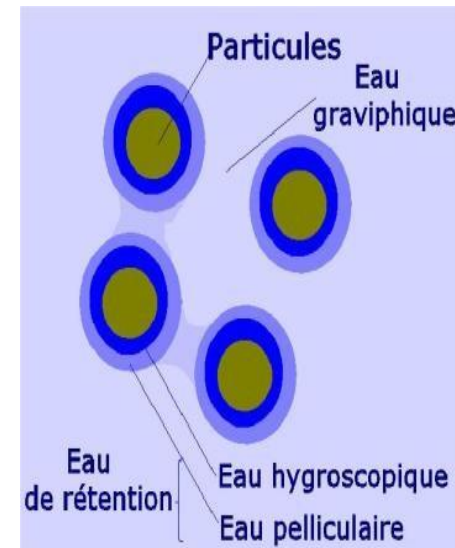
- ✓ l'eau libre : L'eau qui circule librement dans le sol entre les pores grossiers ou plus petits ( $>10 \mu\text{m}$ ).
- ✓ l'eau retenue dans le sol: L'eau qui est retenue par les constituants du sol occupe les pores moyens

## Constituants, structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

- La **capacité de rétention de l'eau** dépend beaucoup de la porosité du sol. Deux types de pores sont généralement pris en considération: les macropores et les pores capillaires.
- L'eau est difficilement retenue dans des pores qui dépassent 10 à 60  $\mu\text{m}$ .
- Après une forte pluie, un volume de sol contient le maximum d'eau: c'est la **capacité de rétention maximale** = A
- Dans les heures qui suivent, une partie de l'eau retenue dans les plus grandes cavités et entre les plus gros grains s'écoule vers le bas (la percolation), qui correspond à **l'eau de gravité** = B.





## Constituants, structure & propriétés du Sol

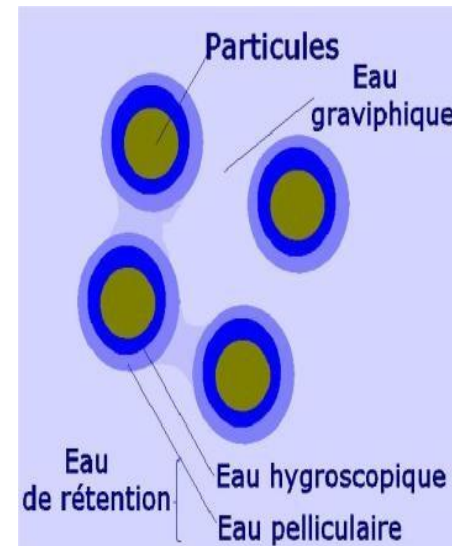
### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

- capacité de rétention maximale = A
- l'eau de gravité = B.
- Il reste alors dans le sol une eau fixée par capillarité appelée eau de rétention, cette eau représente la **capacité au champ** (field capacity)

**capacité au champ = C.**

$$C = A - B$$



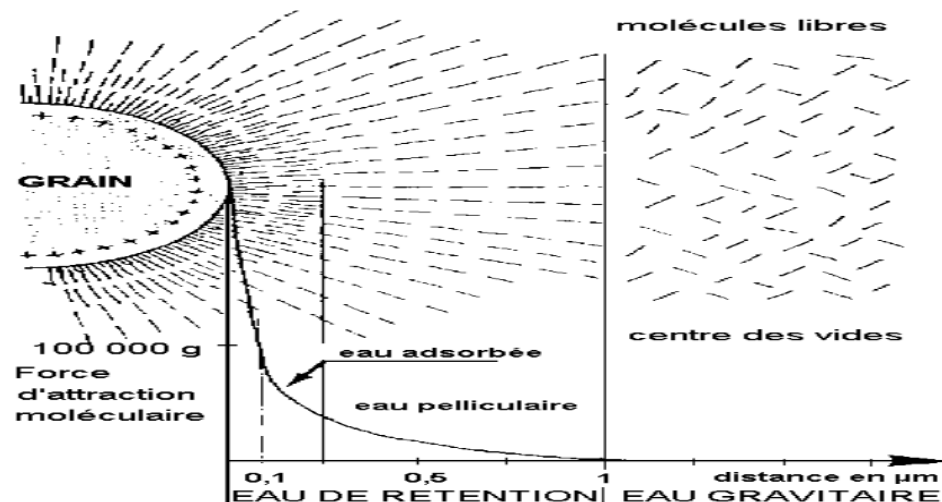
- Par définition, la capacité au champ c'est l'humidité d'un sol après écoulement de l'excès d'eau. Cette humidité est atteinte en un jour à une semaine, suivant la nature du sol.

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

- L'eau de rétention est la fraction d'eau maintenue dans les vides ( $<10\text{ }\mu\text{m}$ ) et la surface des grains par des forces supérieures à celle de la gravité. Elle n'est pas mobilisable.
- Les forces d'attraction moléculaires, consécutives de la polarité de la molécule d'eau, peuvent atteindre 200 000 fois celle de la gravité.
- Dans cette eau de rétention on distingue: l'eau adsorbée et l'eau pelliculaire.

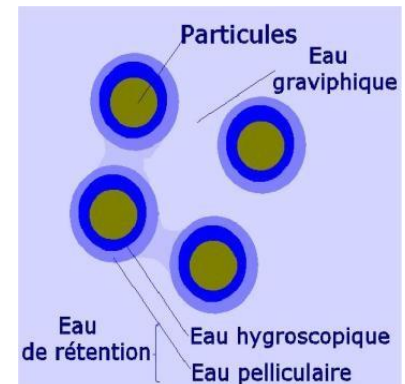


## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

- L'eau **adsorbée** (hygroscopique) forme un mince film autour des grains, d'une épaisseur de l'ordre du dixième de micron.
- Sa quantité augmente en fonction inverse de la granulométrie:
  - ✓ Sables grossiers: 2-5%
  - ✓ Sables fins: 10-15%
  - ✓ Argiles: 40-50%
- Cette eau retenue très énergiquement, n'est pas absorbable par les racines.

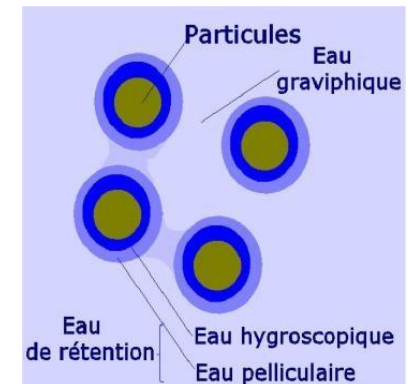


## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

- L'eau de **gravité** (**graviphique**) circule librement dans le sol, est entraînée par la pesanteur, elle n'est pas disponible pour les plantes.
- L'eau **pelliculaire** absorbable par les racines, occupe les pores moyens, ou forme des « ménisques » entre les particules solides
- La résultante de toutes ces forces de rétention correspond au potentiel hydrique ( $\psi$ ) qui traduit l'état de liaison de l'eau dans le sol et donc l'énergie qu'il faudrait dépenser pour faire passer 1 cm<sup>3</sup> d'eau de l'état lié à l'état libre. Il est donc toujours exprimé en unité de pression et sa valeur est toujours négative



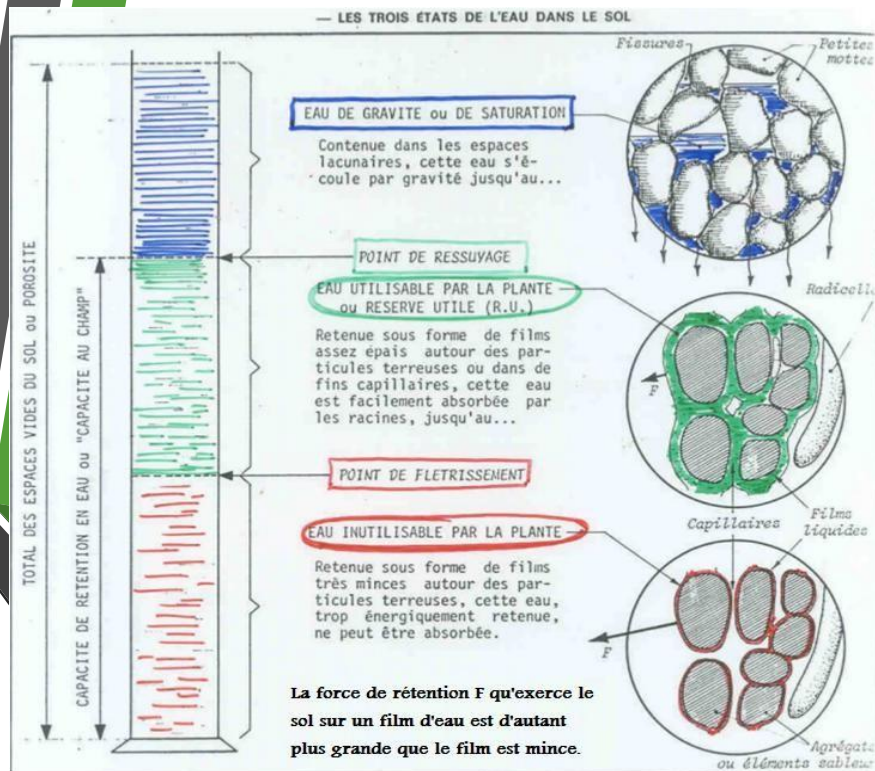
# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

- Réserves utiles d'eau pour la plante (RU) = quantité d'eau dans le sol au point de ressuyage – quantité d'eau dans le sol au point de flétrissement.



Point de ressuyage: correspond à la quantité d'eau maximale dans le sol après écoulement par gravité (d'où le nom de capacité au champ).

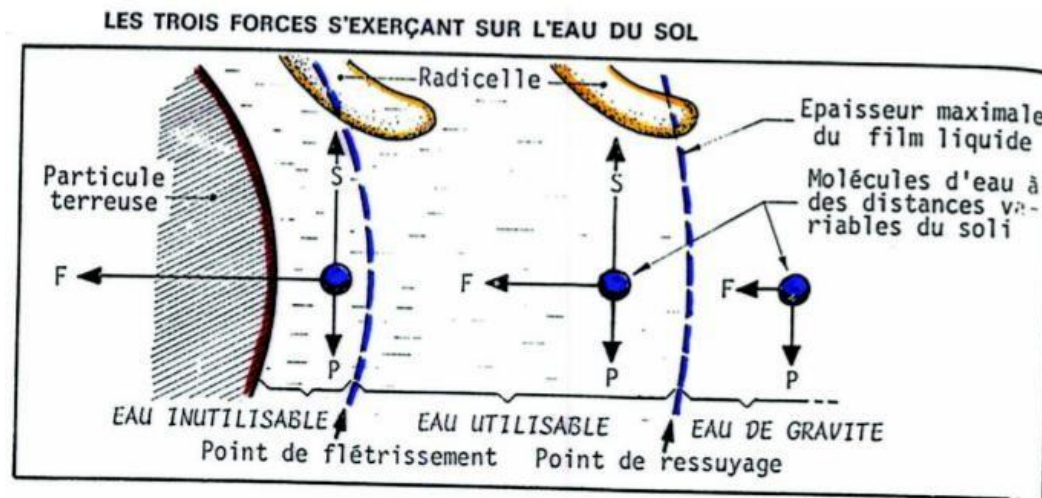
Point de flétrissement permanent: correspond à la quantité d'eau que contient le sol au moment où la plante commence à se flétrir de manière irréversible. À partir de ce point, il ne reste dans le sol que l'eau adsorbée qui forme une fine pellicule à la surface des particules et qui, retenue très énergiquement par ces particules, ne peut être absorbée par les racines.

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

- Les molécules d'eau sont soumises à 3 forces:
  - ✓ La pesanteur P.
  - ✓ L'attraction par les solides F.
  - ✓ La succion par les racines S.
- La pesanteur entraîne l'eau tant que P est supérieur à F, ces 2 forces s'égalisent au point de ressuyage. L'eau est alors disponible pour les racines. Mais au point de flétrissement, F devient supérieure à S: l'eau n'est plus utilisable.





## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

- La **capacité de rétention** en eau d'un sol (en%) et son humidité au point de flétrissement dépend de sa teneur en éléments fins et en humus.
- Plus le % d'éléments fins d'un sol augmente, plus sa capacité de rétention en eau augmente, et plus son point de flétrissement s'élève.
- D'autre part, l'augmentation du taux d'humus d'un sol a l'avantage d'augmenter sa capacité de rétention en eau, mais sans élever son point de flétrissement.

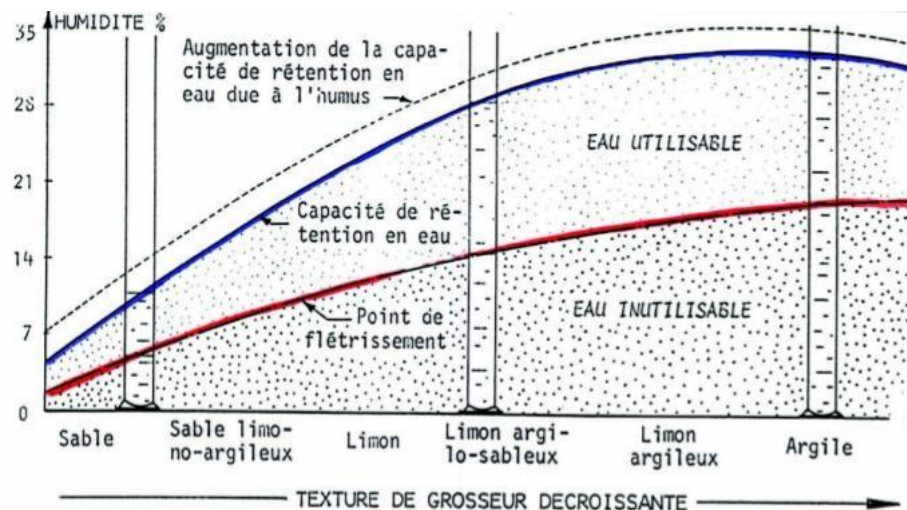


## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

- ✓ Les sols sableux présentent de faibles capacités de rétention en eau, ce qui implique de plus faibles réserves utiles d'eau (RU).
- ✓ Les sols à forte proportion de particules fines (limons et argiles) emmagasinent davantage d'eau, en contrepartie, une grande partie de ces réserves en eau restent indisponibles pour les plantes.



## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

Estimation de la réserve utile (RU) selon la texture du sol:

- ✓ La RU d'un sol peut être évaluée à partir de la texture. Elle peut être déterminée par analyse de la granulométrie (répartition des particules d'un sol selon leurs tailles).
- ✓ Le triangle de texture ci-dessous permet d'estimer la RU à partir de la granulométrie.
- ✓ La RU y est exprimée en millimètres d'eau par centimètre cube de terre fine (particules dont la taille est inférieure à 2 mm).

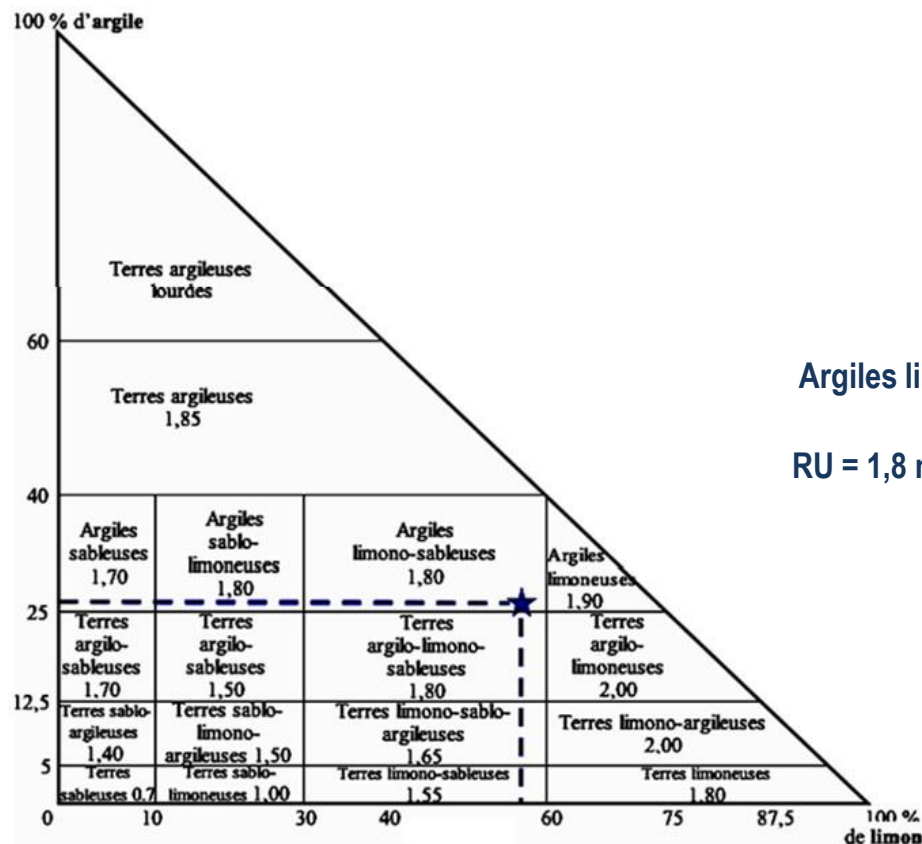
# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

Estimation de la réserve utile (RU) selon la texture du sol:



Argiles limono-sableuses

RU = 1,8 mm/cm³ de terre fine

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

Estimation de la réserve utile (RU) selon la texture du sol:

- ✓ Les sols à forte proportion d'éléments grossiers possèdent une RU limitée, car les éléments grossiers (éléments du sol dont la taille est supérieure à 2 mm : cailloux, graviers...) ne permettent pas de stocker l'eau.
- ✓ Les matières organiques présentent des capacités de rétention plus élevées que les argiles. Par contre, elles restituent l'eau plus difficilement. Le bilan des apports de matières organiques est toutefois positif sur la RU, d'où leur intérêt en culture.



## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

Calcul de l'humidité d'un sol :

- ✓ **Humidité pondérale**: quantité d'eau retenue par un sol par rapport à son poids sec.

$$H\% = \frac{P_f - P_s}{P_s} * 100$$

*H%: Humidité pondérale*

**Pf: Poids frais**

**Ps: Poids sec**

- ✓ **Humidité volumique**: pourcentage d'eau retenue par unité de volume.

$$H\% = \frac{P_f - P_s}{V} * 100$$

*H%: Humidité pondérale*

**Pf: Poids frais**

**Ps: Poids sec**

**V: volume**

- ✓ Dans les deux cas il faut éviter les pertes d'eau par évaporation entre le l'échantillonnage et le moment de la mesure au laboratoire.

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

Exemple de calcul de l'humidité d'un sol :

- Soit un échantillon de terre de 125g de poids frais, après passage à l'étuve à 105 °C pendant 24h son poids sec est de 95,5g.
- Calculons l'humidité de cet échantillon

?

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

Exemple de calcul de l'humidité d'un sol :

$$H\% = \frac{125 - 95,5}{95,5} * 100 = 30,89$$



## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

L'humidité volumique

- Qui représente le pourcentage d'eau retenue par unité de volume.

$$H_v = \frac{P_f - P_s}{V} * 100$$

$$P_s / V = \mu \text{ Densité apparente}$$

$$P_s / \mu = V$$

$$H_v = 1 / V * (P_f - P_s) * 100$$

$$H_v = \mu / P_s * (P_f - P_s) * 100$$

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

L'humidité volumique

- Ces deux techniques ont deux inconvénients majeurs :
  - ✓ 1-Perte d'eau par transpiration entre le prélèvement et le lieu de mesure.
  - ✓ 2-absorption de l'eau après séchage.

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :

Autres méthodes de mesure de l'humidité d'un sol

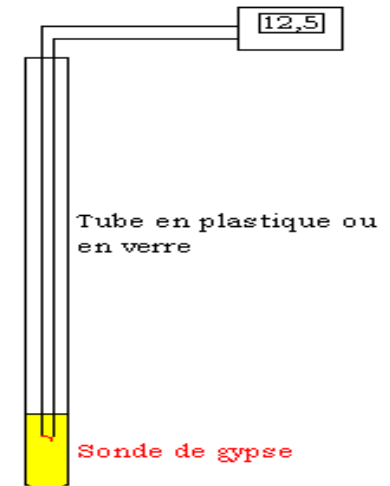
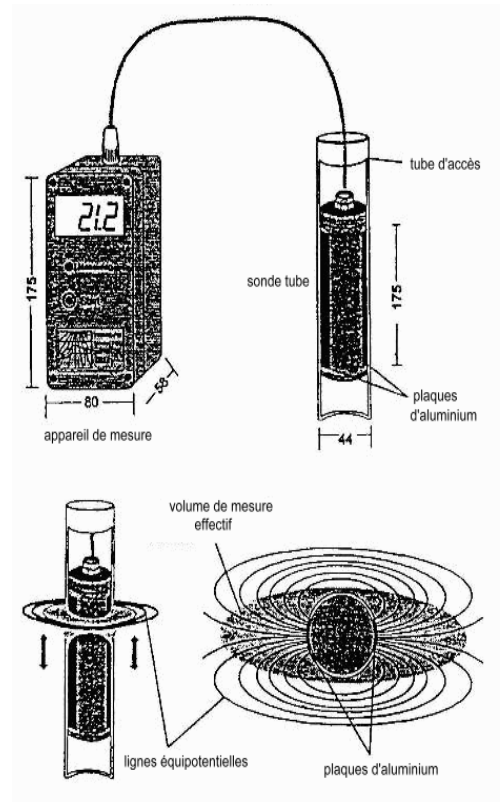
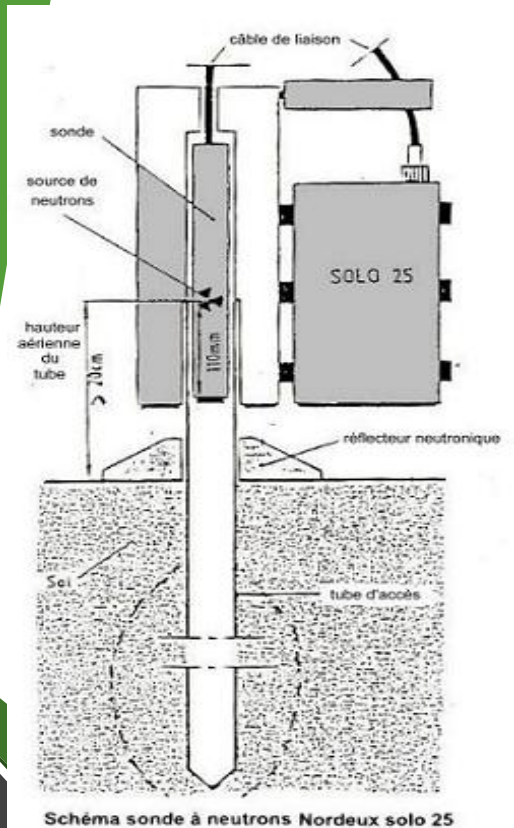
- Bloc de résistivité: La sonde à neutron ou humidimètre neutronique:

# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Hygrométrie du sol :



## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Propriétés chimiques:

Les qualités chimiques des sols évoluent dans le temps

- La dégradation de la roche mère par l'eau conditionne, dans une large mesure, la composition chimique du sol qui en est le résultat final.
- Certaines substances chimiques sont **lessivées\*** et s'enfoncent dans les profondeurs du sol, où elles s'accumulent.
- D'autres substances, moins solubles, demeurent dans les couches supérieures du sol.
- Les éléments chimiques qui sont enlevés le plus rapidement sont les chlorures et les sulfates, suivis du calcium, du sodium, du magnésium et du potassium.

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Propriétés chimiques:

- Les silicates et les oxydes de fer et d'aluminium se décomposent très lentement et sont rarement lessivés\*.
- Quand certains de ces éléments entrent en contact avec l'air du sol, il se produit des réactions chimiques, d'oxydation en particulier, qui ont pour effet de transformer les substances chimiques originelles en substances plus solubles ou plus fragiles.

## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Propriétés chimiques:

- L'air qui se trouve dans le sol contient aussi du **gaz carbonique**. Ce gaz, combiné à l'eau, peut se transformer en un acide faible (acide carbonique) qui réagira avec certains éléments chimiques pour en former de nouveaux



## Constituants, Structure & propriétés du Sol

### Propriétés du Sol

#### ○ Propriétés chimiques:

#### Réaction chimique du sol (le pH)

- Qu'est-ce que le Ph ?
- Les sols peuvent avoir une **réaction acide ou alcaline**; d'autres peuvent être **neutres**.
- On mesure la réaction chimique du sol d'après la **valeur de son pH**.
- La valeur du pH varie de 0 à 14, le pH = 7 correspondant à une réaction neutre.
- Des valeurs inférieures à 7 indiquent que le sol est acide; des valeurs supérieures à 7 indiquent que le sol est alcalin. Plus le pH s'éloigne de la neutralité, plus fortes sont l'acidité ou l'alcalinité.

## Mobilité de l'eau dans le sol

- ✓ La mobilité de l'eau dans le sol varie suivant plusieurs facteurs:
  - L'humidité rencontrée dans le sol.
  - La texture du sol.
  - Le tassement du sol et sa porosité.

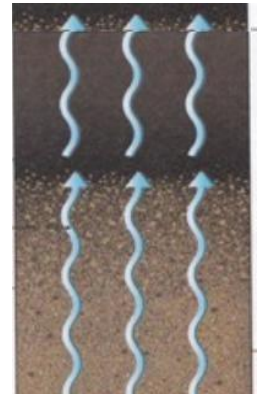
## Mobilité de l'eau dans le sol

### L'humidité rencontrée dans le sol

- En sol sec, l'eau est fortement retenue par les particules de sol. De plus, l'eau se dirige depuis les zones les plus humides vers les zones plus sèches, ce qui implique des mouvements multidirectionnels de l'eau.
- Cela explique les phénomènes de diffusion et de capillarité depuis les horizons profonds plus humides vers les horizons de surface plus secs.

#### Diffusion et capillarité

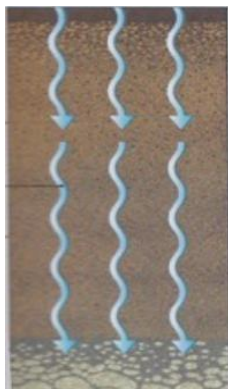
Zone sèche



Zone humide

#### Ecoulement gravitaire

Zone humide



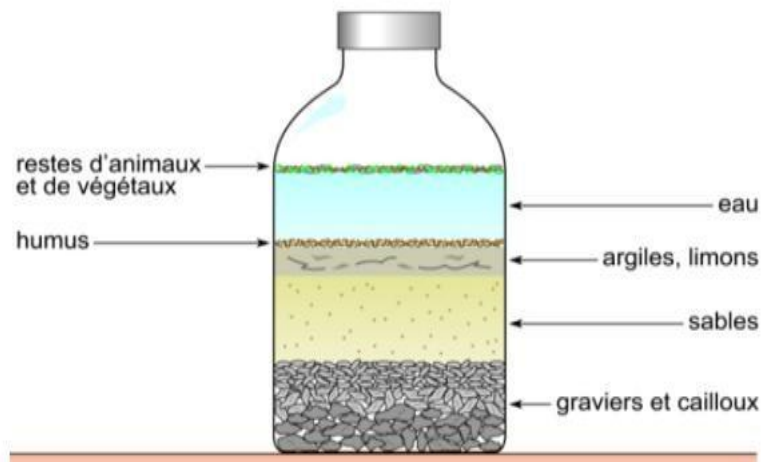
Zone sèche

- Par contre, en sol saturé d'eau, l'écoulement gravitaire prédomine.

## Mobilité de l'eau dans le sol

### La texture, le tassement et la porosité du sol

- ✓ La **texture du sol**: **l'argile et l'humus** retiennent fortement l'eau du fait de la  *finesse* des particules, de leur *polarité* et de leurs grandes *surfaces d'échange*.
- ✓ Le **tassement du sol et sa porosité** : l'eau est d'avantage retenue et circule lentement en sol tassé et/ou faiblement poreux.



## Mobilité de l'eau dans le sol

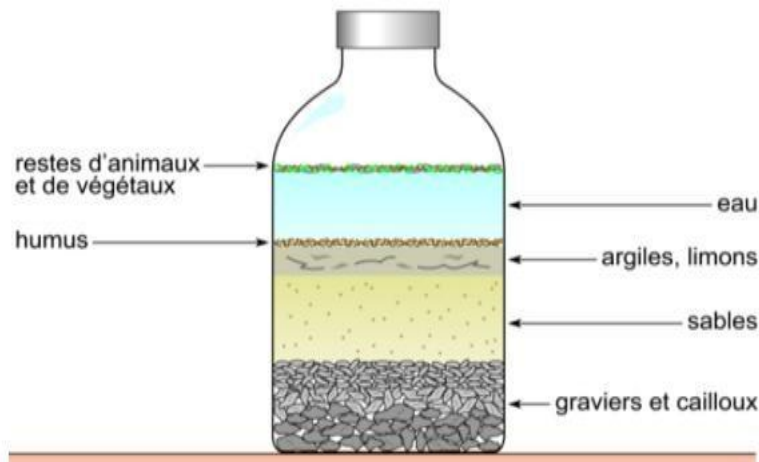
### La texture, le tassement et la porosité du sol

- ✓ L'énergie avec laquelle le sol retient l'eau est exprimée au travers d'une pression négative. Celle-ci est mesurée en bar à l'aide d'un tensiomètre ou d'une sonde tensio-électrique.
- ✓ La pression exercée par le sol sur l'eau limite la disponibilité de l'eau pour la plante. Les racines doivent alors appliquer une **force de succion** plus élevée pour absorber l'eau nécessaire à leurs besoins vitaux.

## Mobilité de l'eau dans le sol

### La texture, le tassement et la porosité du sol

- ✓ Le sol s'assèche plus rapidement dans les horizons de surface du fait de l'évaporation naturelle et de la forte densité de racines.
- ✓ La succion des racines et les différences d'humidité entre la surface et les horizons plus profonds occasionnent des remontées d'eau par capillarité.



## Mobilité de l'eau dans le sol

### La texture, le tassement et la porosité du sol

- ✓ Ces remontées diffèrent selon la texture du sol et sa porosité :
  - En sols sableux, les remontées sont plus rapides mais elle n'interviennent que sur de faibles profondeurs (20 à 30 cm de sol).
  - En sols argileux et/ou compacts, les remontées sont bien plus lentes, mais elles interviennent sur des profondeurs plus importantes (80 à 100 cm).



## Mobilité de l'eau dans le sol

### La texture, le tassement et la porosité du sol

✓ Deux techniques culturales permettent de limiter l'évaporation au sol et ainsi préserver les réserves en eau pour l'alimentation hydrique des plantes :

- Le Mulching
- Le Binage

**Zone sèche**



**Zone humide**

## Mobilité de l'eau dans le sol

### La texture, le tassement et la porosité du sol

- ✓ Le mulching (ou paillage du sol). Cette pratique est rendue difficile par la dispersion de la paille par le vent et par la progression des incendies au niveau du sol.



# Chapitre I : Nutrition Hydrique & Minérale

## Mobilité de l'eau dans le sol

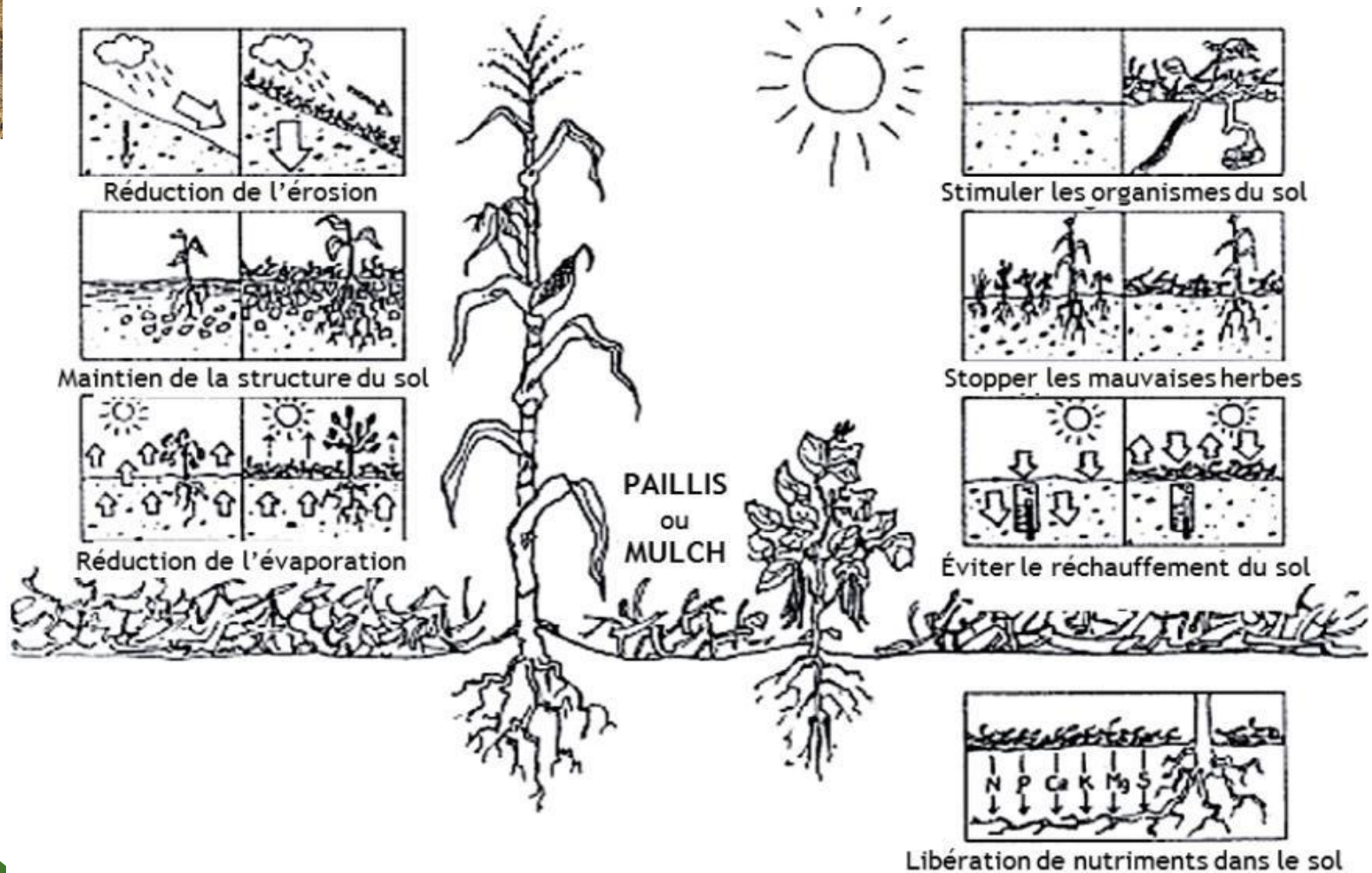


Figure – Les effets bénéfiques de la pratique du paillage (ou mulching)



## Mobilité de l'eau dans le sol

### La texture, le tassement et la porosité du sol

- ✓ **Le binage**: En agriculture et jardinage, le **binage** consiste à ameublir la couche superficielle du sol autour des plantes cultivées.

Ce procédé permet ainsi de favoriser la pénétration de la chaleur et de la pluie indispensables à une bonne croissance des légumes.

**1 binage vaut 2 arrosages**

