



# Pédologie 1 : Notions de base

---

Namur, le 28 novembre 2012

LIÉNARD AMANDINE

*Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech – Unité de Science du Sol*





# Plan

---

1. Introduction
2. Origine et formation du sol
3. Composante minérale (texture)
4. Composante organique
5. Structure (porosité)
6. Eau dans le sol (eau utile)

# Le SOL, c'est quoi ???

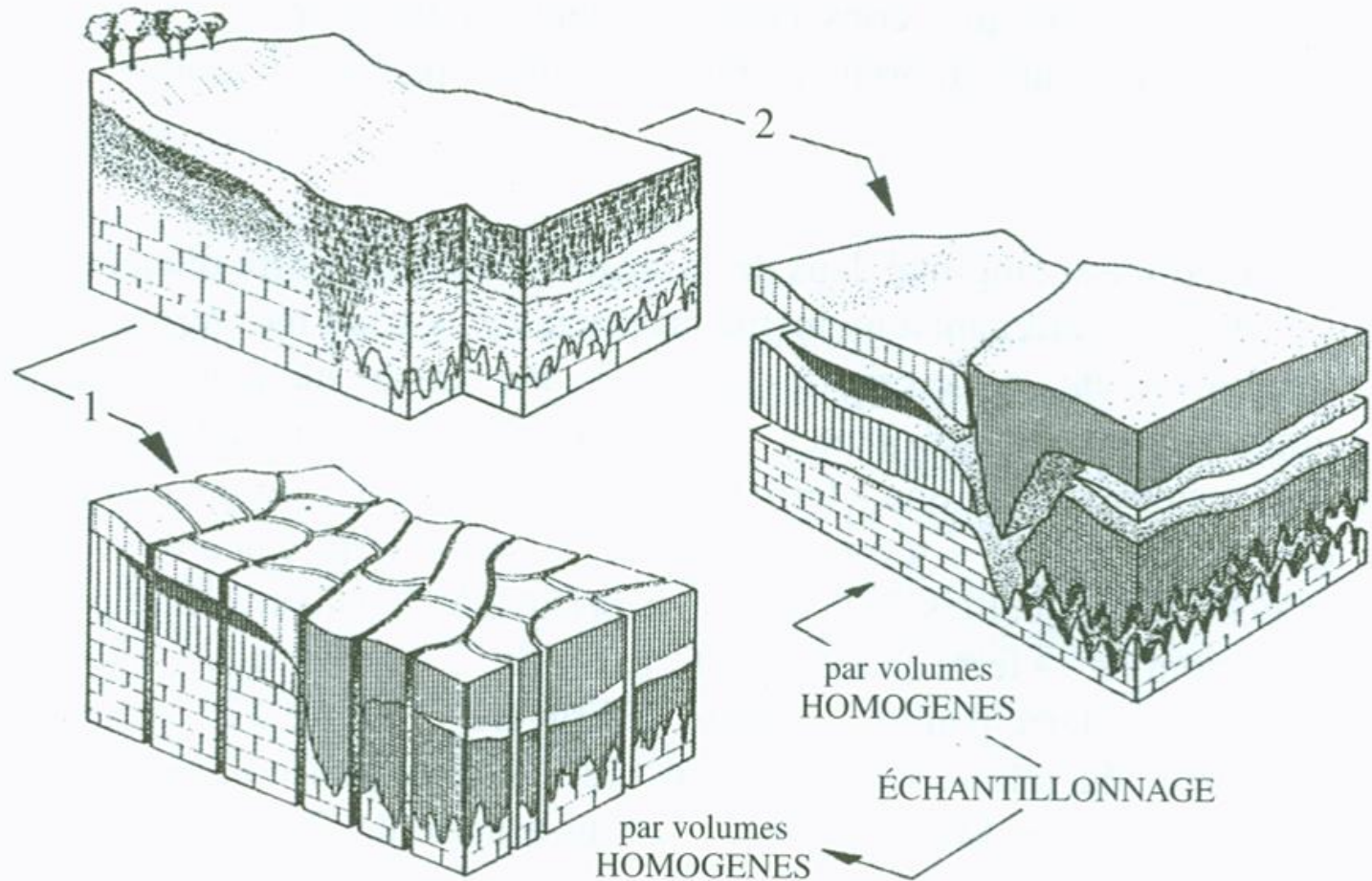
<http://vimeo.com/54012605>

# Pédologie

---

- Pédologie est la science qui étudie le sol
- Le sol est une interface
- Le sol est un ensemble d'entités homogènes

# Le sol est un ensemble d'horizons





# Plan

---

1. Introduction
- 2. Origine et formation du sol**
3. Composante minérale (texture)
4. Composante organique
5. Structure (porosité)
6. Eau dans le sol (eau utile)

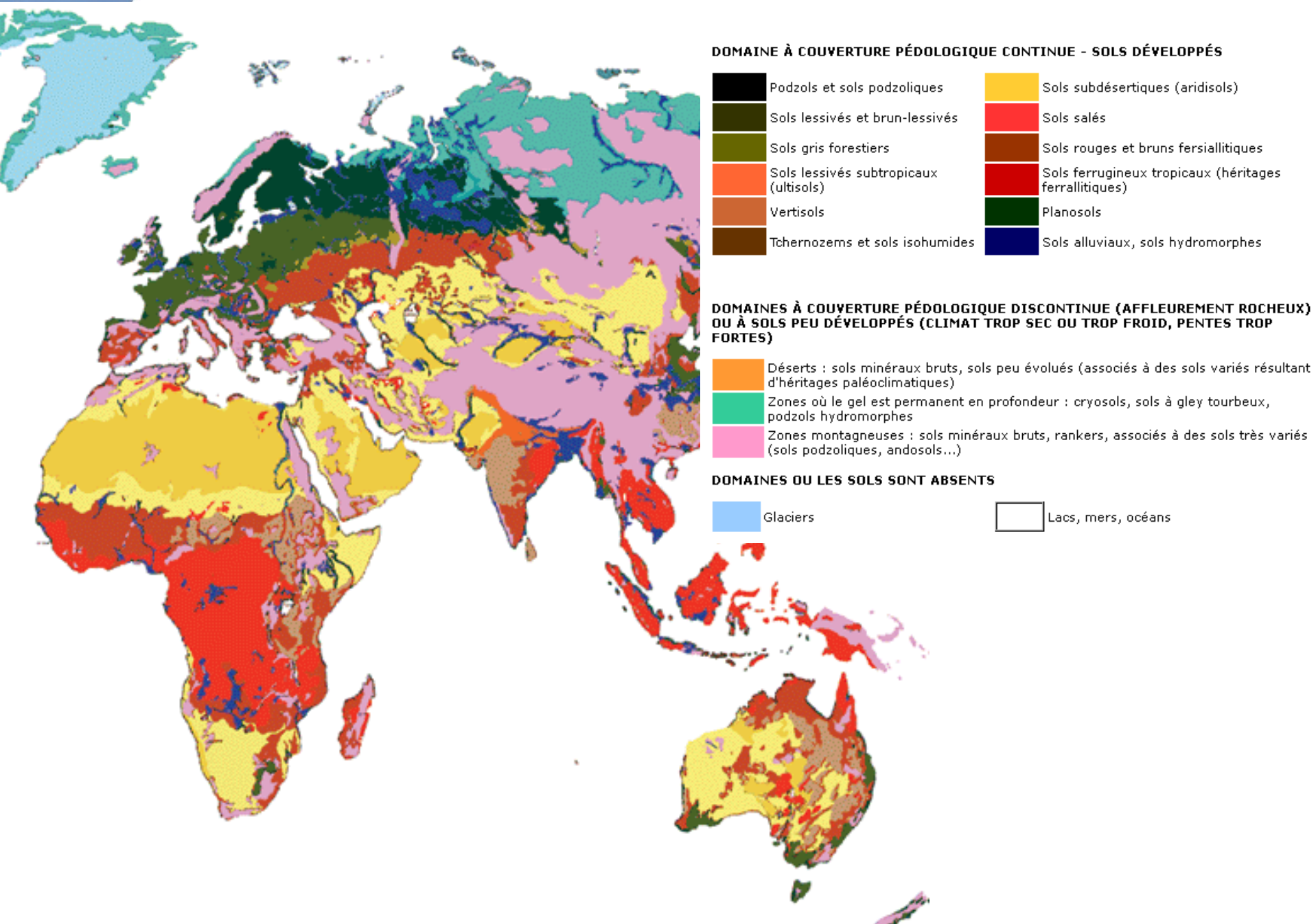
# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, r, g, o). T_1 + m.T_2$$

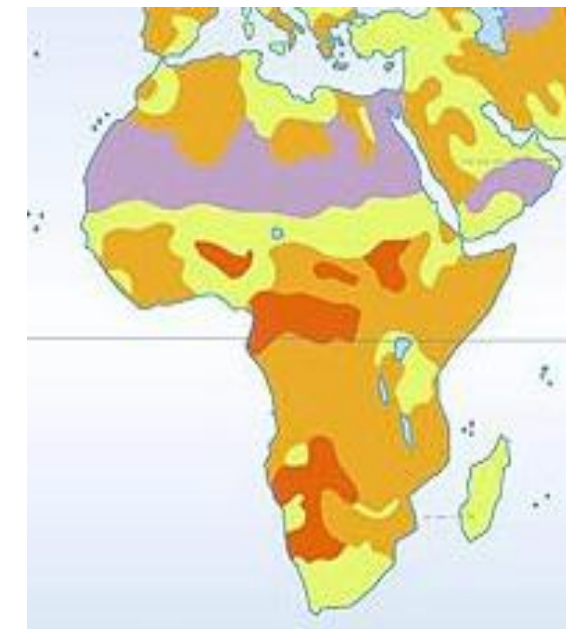
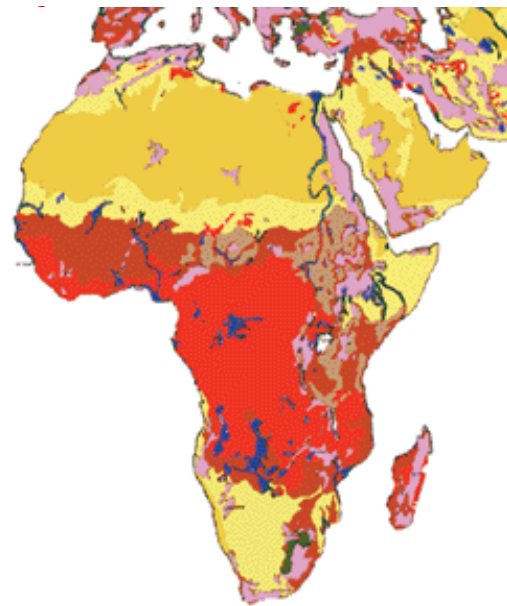
## Climat

- Principe de zonalité



# Le sol est fonction de paramètres

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, r, g, o). T_1 + m.T_2$$



## Introduction

17

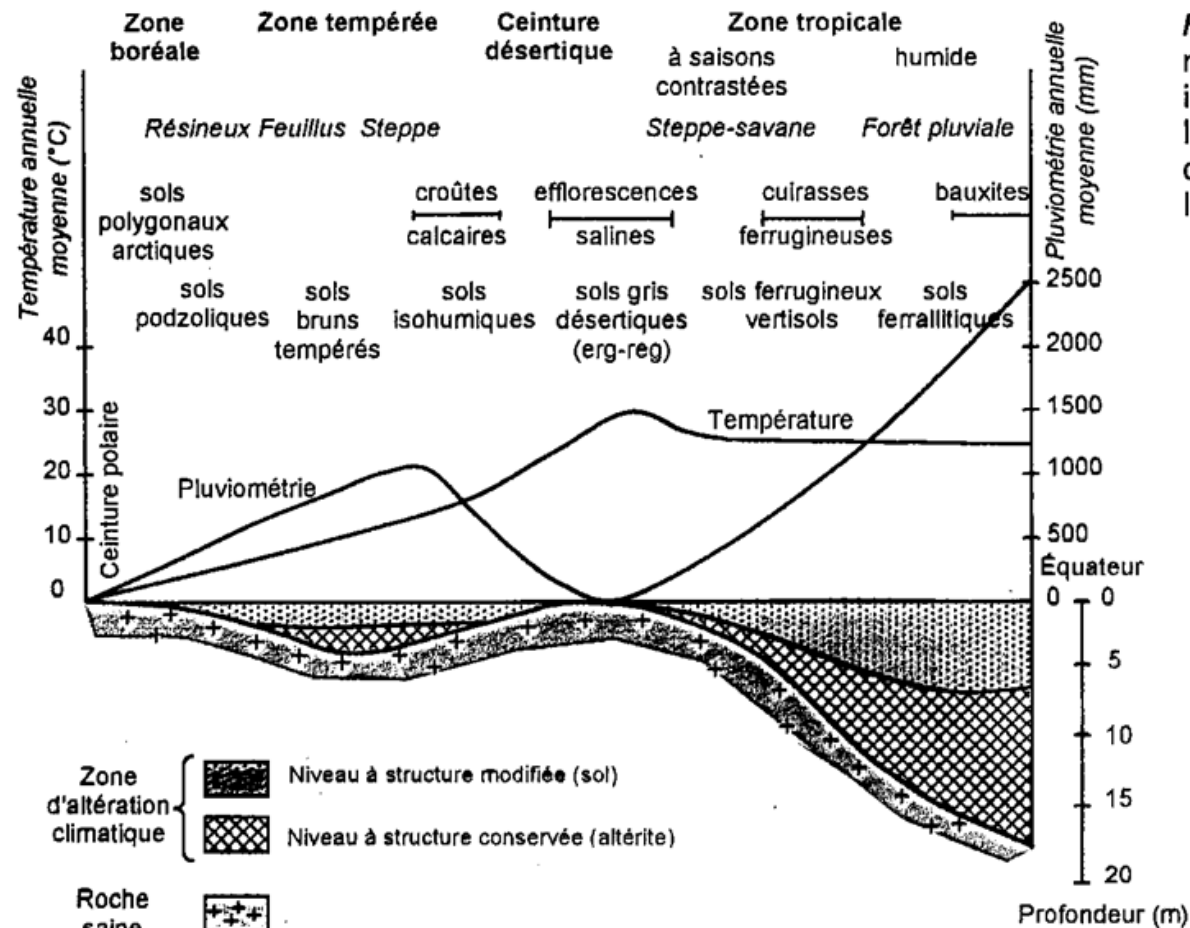


Figure 6. Séquence latitudinale d'origine bioclimatique indiquant les variations de la nature et de l'épaisseur des sols du pôle nord à l'équateur (Pédro, 1985).

# Le sol est fonction de paramètres

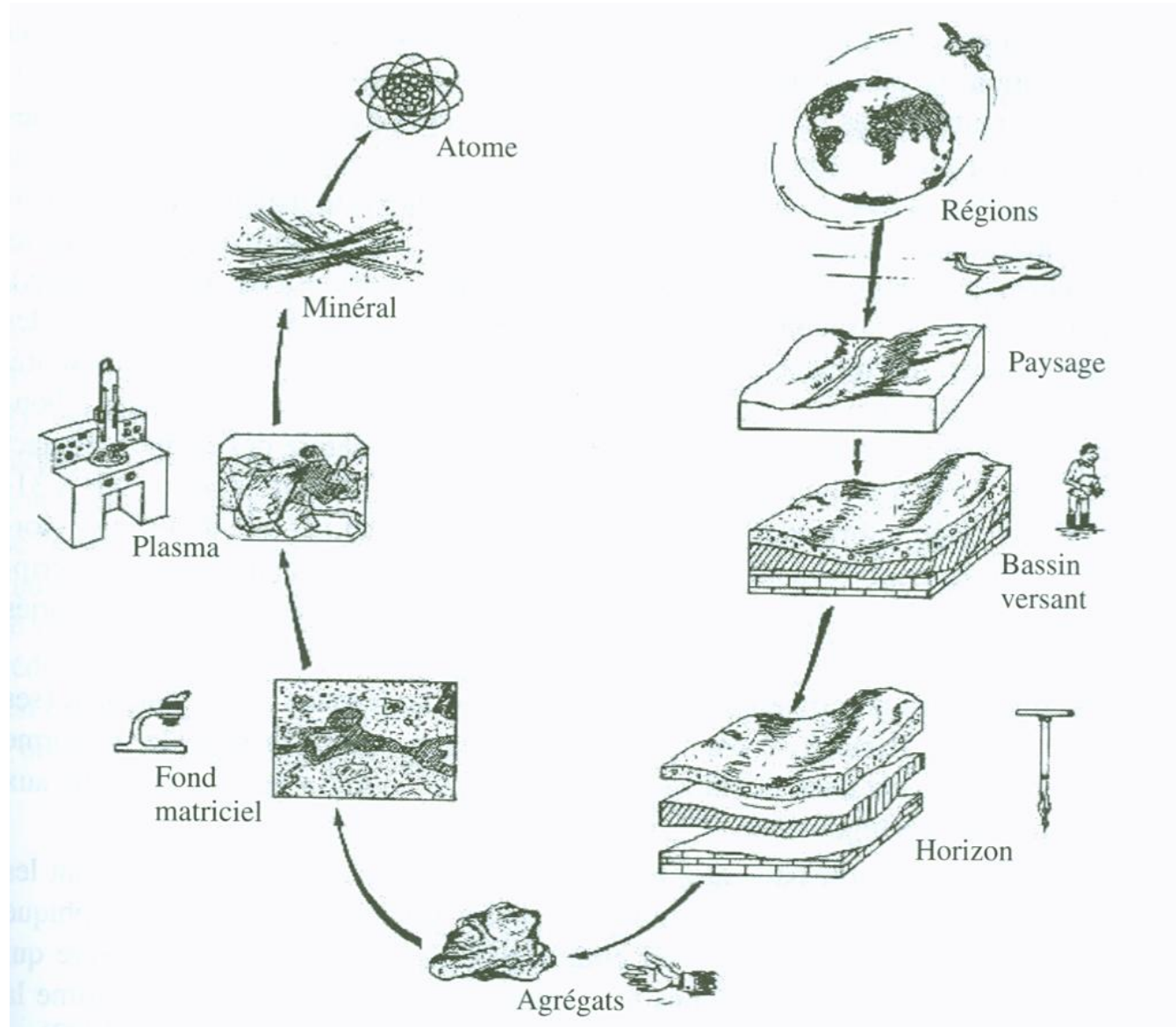
---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, r, g, o). T_1 + m.T_2$$

## Climat

- Principe de zonalité
- Niveau d'échelles de perception

# Le sol est fonction de paramètres



# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, \boxed{\text{r}}, \text{g}, \text{o}). T_1 + m.T_2$$

Roche-mère

[http://www.mtaterre.fr/sites/default/files/flash/ADEME\\_FormatonDunSol.swf](http://www.mtaterre.fr/sites/default/files/flash/ADEME_FormatonDunSol.swf)

# Le sol est fonction de paramètres

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, \boxed{\text{r}}, \text{g}, \text{o}). \text{T}_1 + \text{m.T}_2$$

## Roche-mère



*Altération de la roche et  
installation de la végétation...*



*... formation d'une couche  
meuble: le sol*

DES MILLIERS D'ANNÉES

# Le sol est fonction de paramètres

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, \text{r}, \text{g}, \text{o}). T_1 + m.T_2$$

## Roche-mère



*Altération de la roche et  
installation de la végétation...*



DES MILLIERS D'ANNÉES



Key Figure 3.2 I

## Minerals are the building blocks of rocks.

### Constituent minerals

Orthoclase feldspar



Quartz



Biotite



Plagioclase feldspar



Rocks are naturally  
occurring  
aggregates of minerals.



Plagioclase feldspar

Orthoclase feldspar

Biotite

Quartz



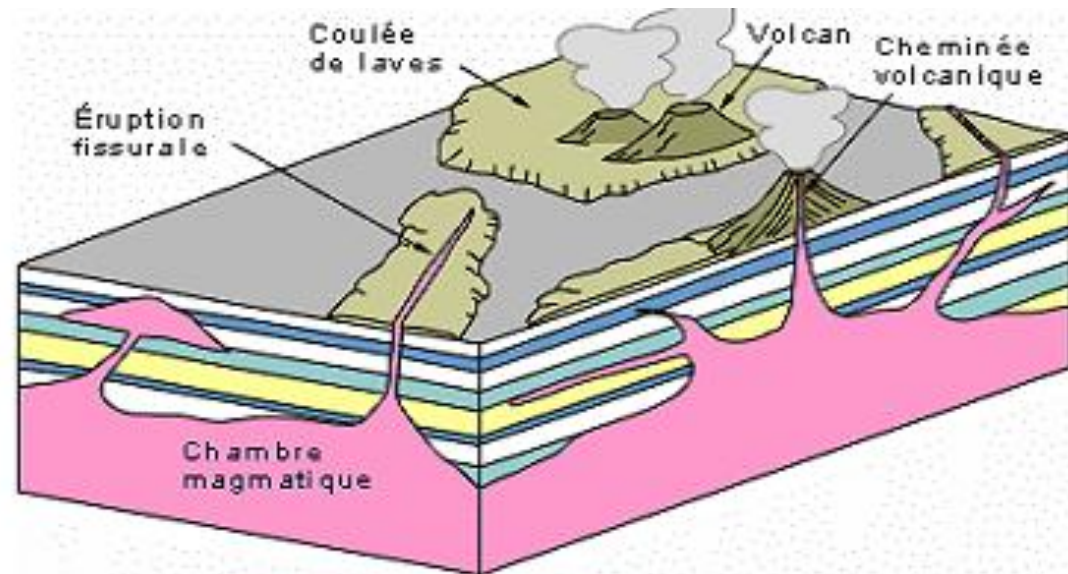
Rock (granite)

# Le sol est fonction de paramètres

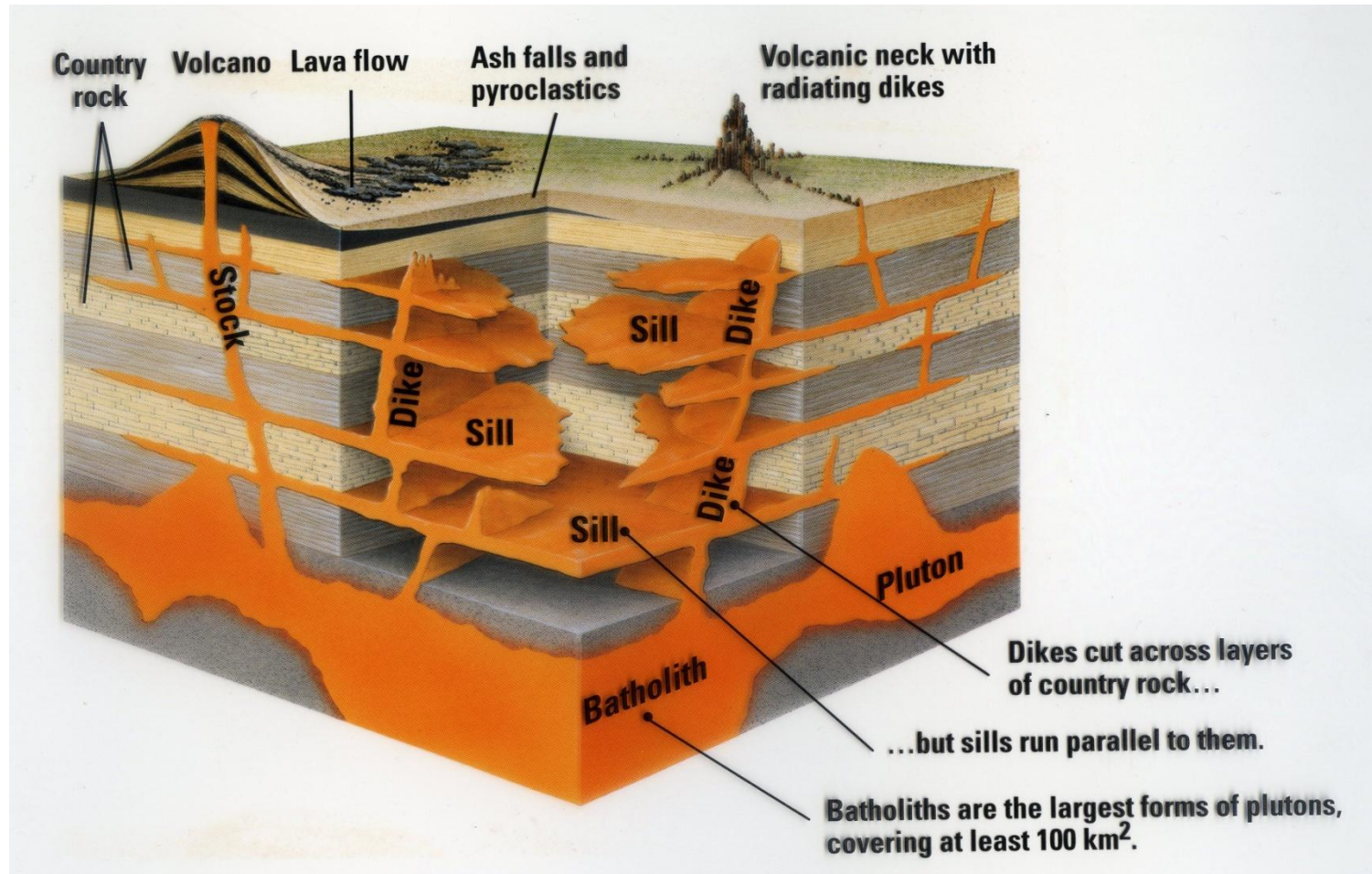
$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, \boxed{\text{r}}, \text{g}, \text{o}). T_1 + \text{m}.T_2$$

## Roche-mère

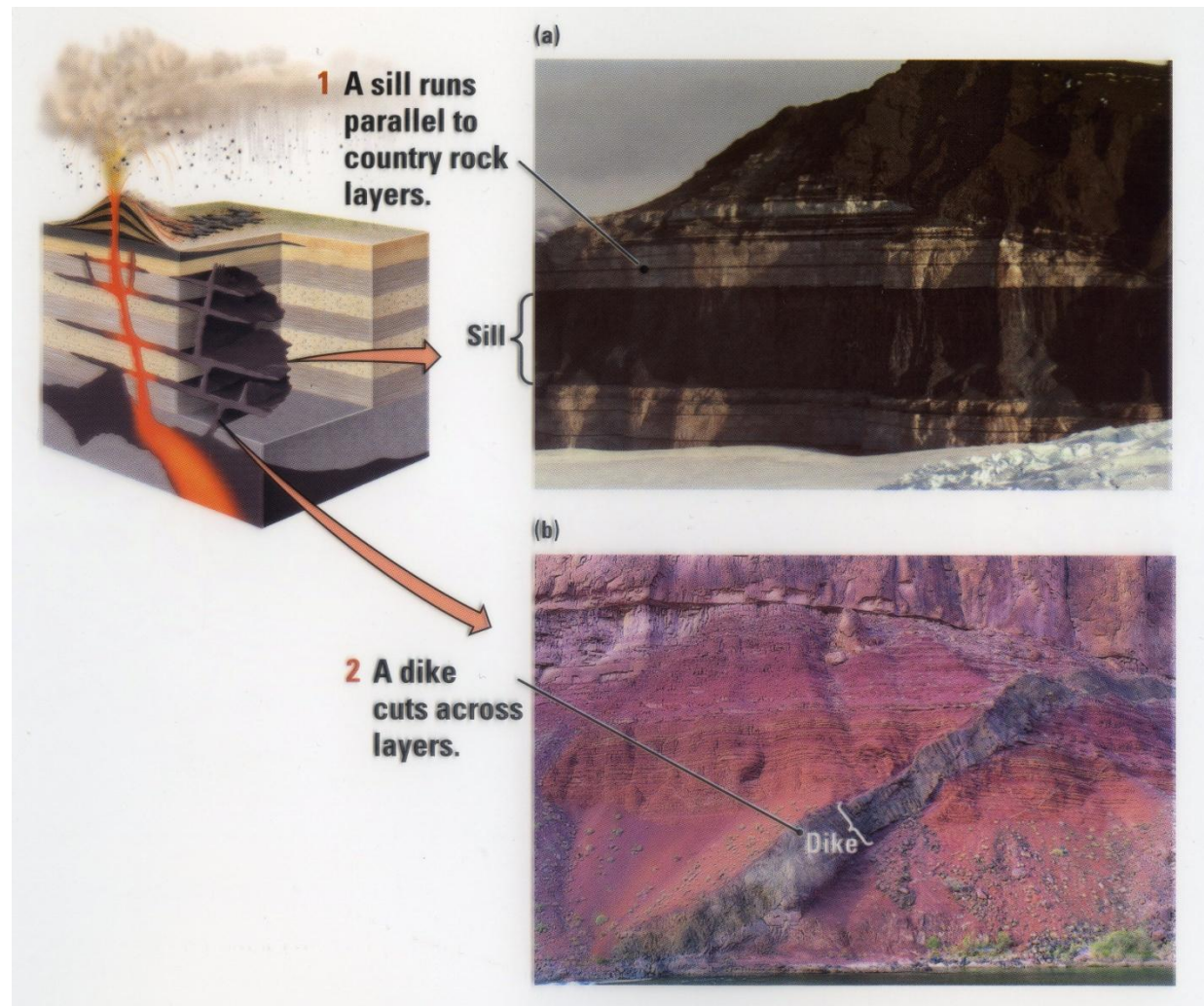
- Roche-mère magmatique



# Le sol est fonction de paramètres



# Le sol est fonction de paramètres



# Le sol est formé



# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, \boxed{\text{r}}, \text{g}, \text{o}). T_1 + m.T_2$$

## Roche-mère

- Roche-mère magmatique
- Roche-mère sédimentaire

**Earth System Figure 5.1**

The sedimentary stages of the rock cycle comprise several overlapping processes.

**1 Weathering** breaks down rocks physically and chemically.

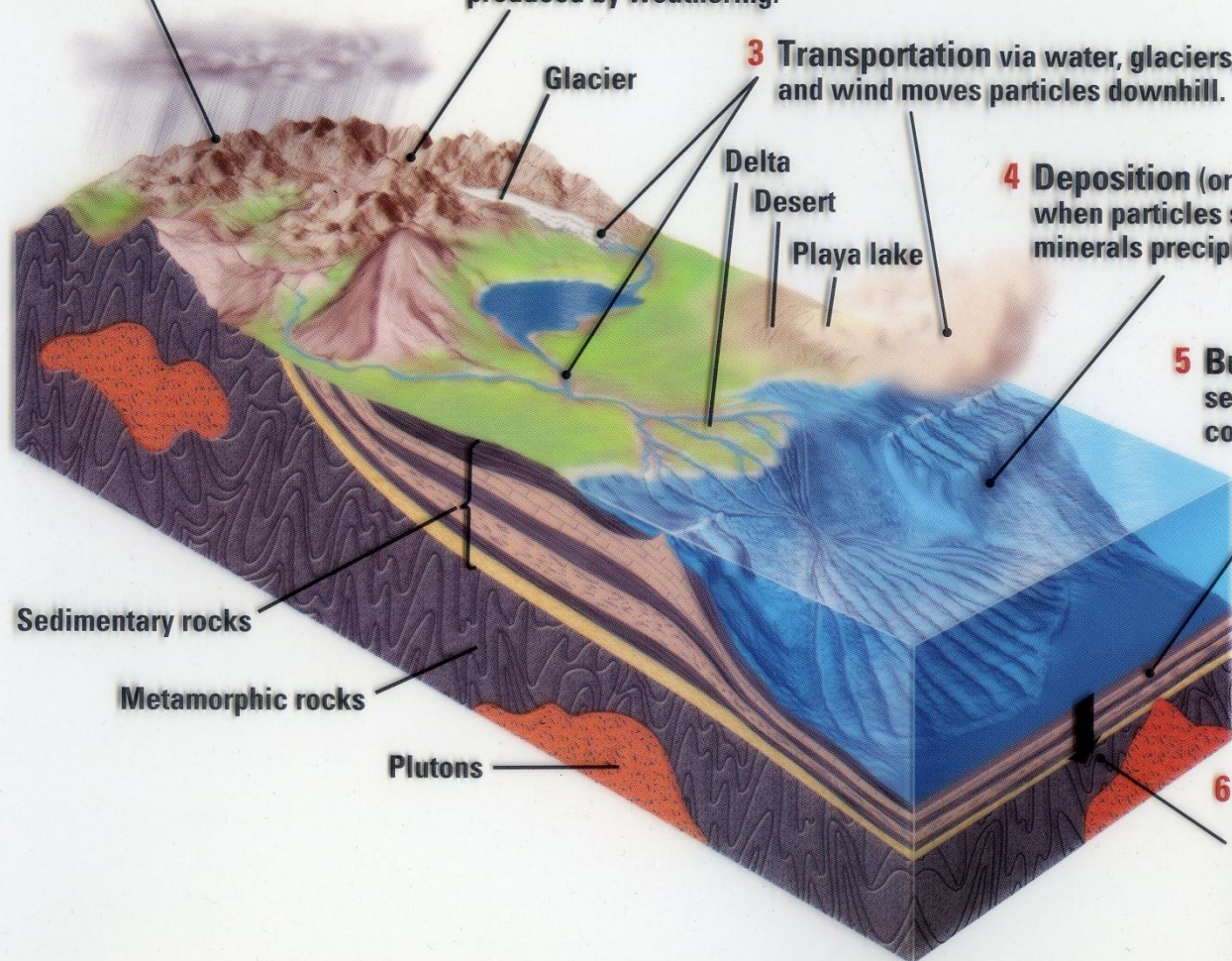
**2 Erosion** carries away particles produced by weathering.

**3 Transportation** via water, glaciers, and wind moves particles downhill.

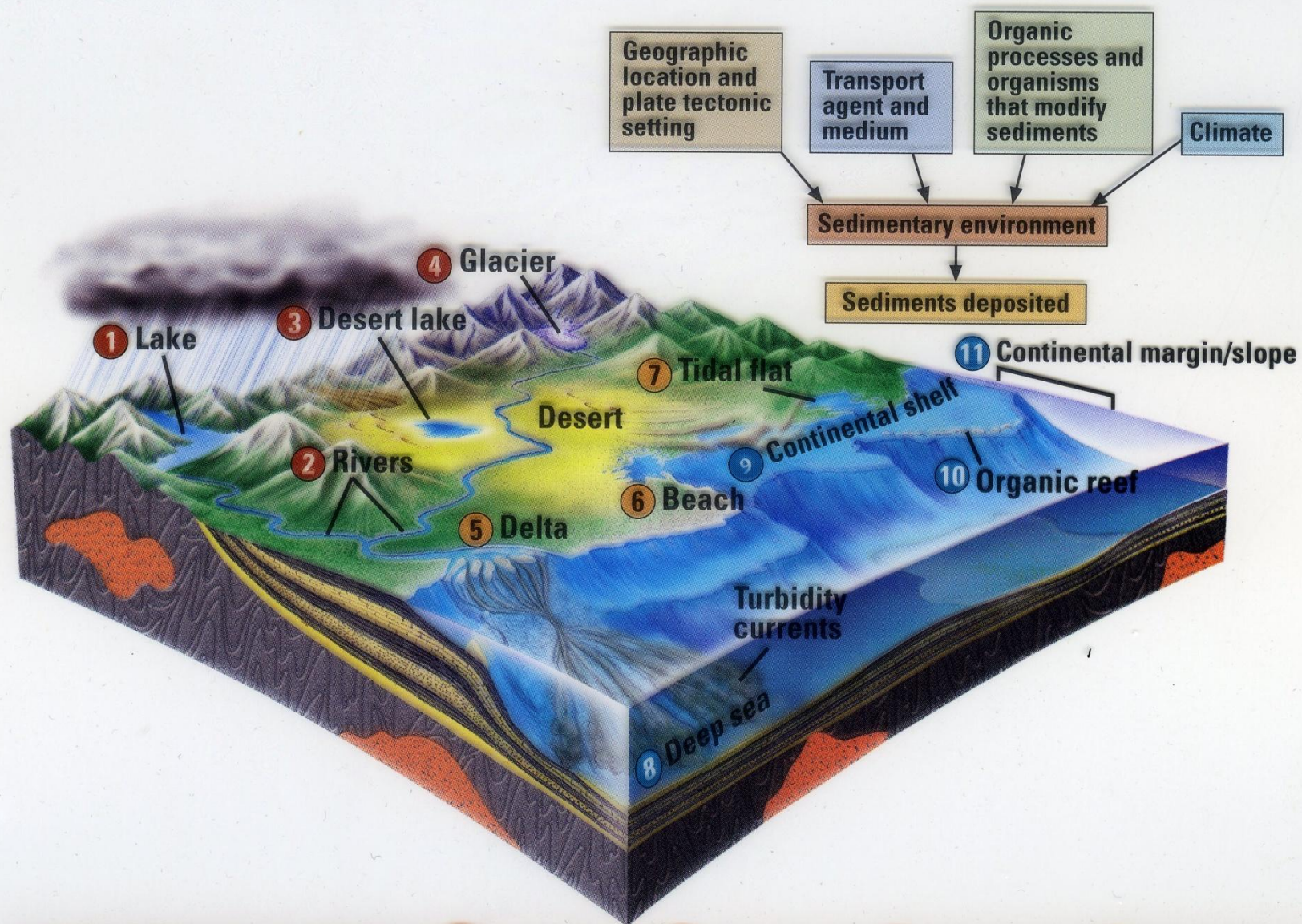
**4 Deposition** (or **sedimentation**) occurs when particles settle out or dissolved minerals precipitate.

**5 Burial** occurs as layers of sediment accumulate and compact previous layers.

**6 Diagenesis**, which involves pressure, heat, and chemical reactions, lithifies the sediment to make sedimentary rocks.

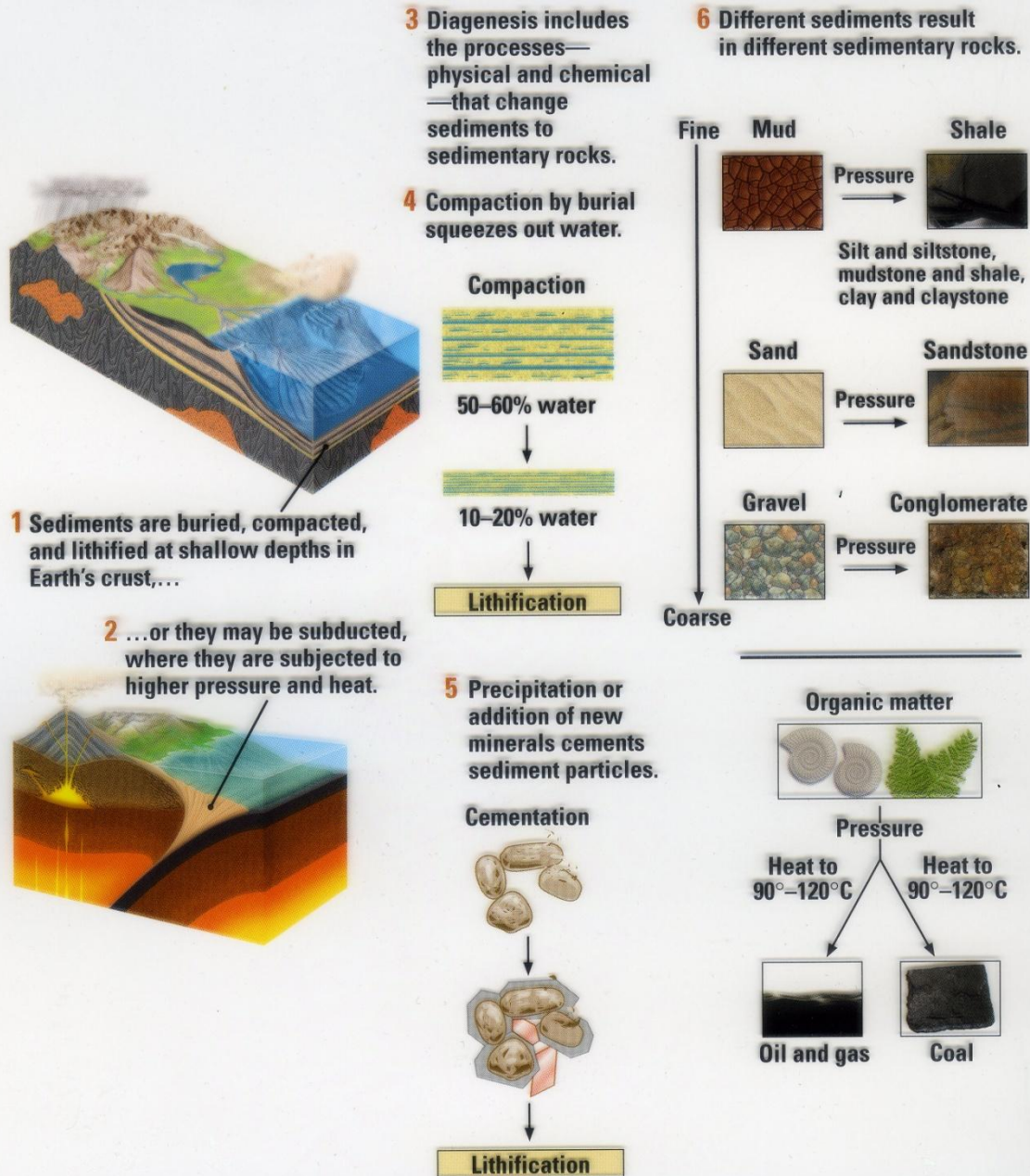


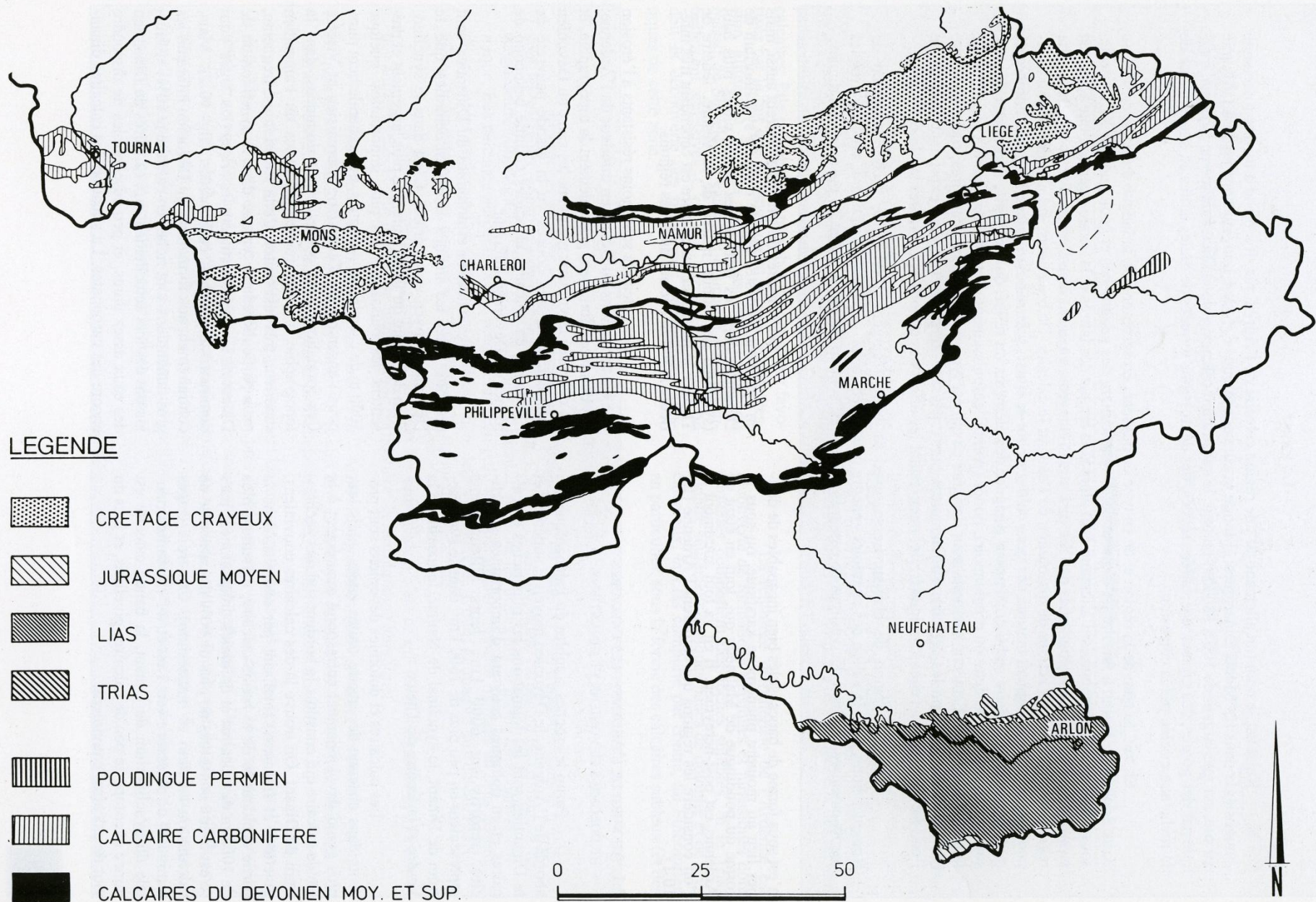
Key Figure 5.5

**Multiple factors interact to create sedimentary environments.**

Key Figure 5.12

Diagenesis is the physical and chemical change that converts sediments to sedimentary rocks.





## LE TROU DE HAN : RÉSURGENCE DE LA LESSE

Arrêt 16

La résurgence de la Lesse, appelée "Trou de Han", émerge des formations calcaires au droit du contact avec les shales de la vallée. Le réseau des grottes de Han s'étend sur plus de 8 km, c'est le plus grand réseau karstique de Wallonie.

Selon son débit, la Lesse met entre 2 et 13 heures pour traverser le massif, soit des vitesses variant entre 500 et 100 m/h.



La résurgence de Han-sur-Lesse est une grotte qui fut occupée par les hommes à plusieurs reprises. Des fouilles archéologiques, menées depuis 1963, ont permis de découvrir, principalement dans les sédiments de la Lesse, de nombreux objets (outils, bijoux, poteries).

La première occupation daterait du Néolithique récent (2000 avant JC). La seconde occupation, à l'Age du Bronze, place le Trou de Han parmi les stations les plus importantes d'Europe occidentale de cette époque. La grotte fut encore occupée au début et à la fin du second Age du Fer (400 ans avant JC et un siècle avant JC environ), ainsi qu'à l'époque gallo-romaine.



# Le sol est fonction de paramètres



# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, \boxed{\text{r}}, \text{g}, \text{o}). T_1 + \text{m}.T_2$$

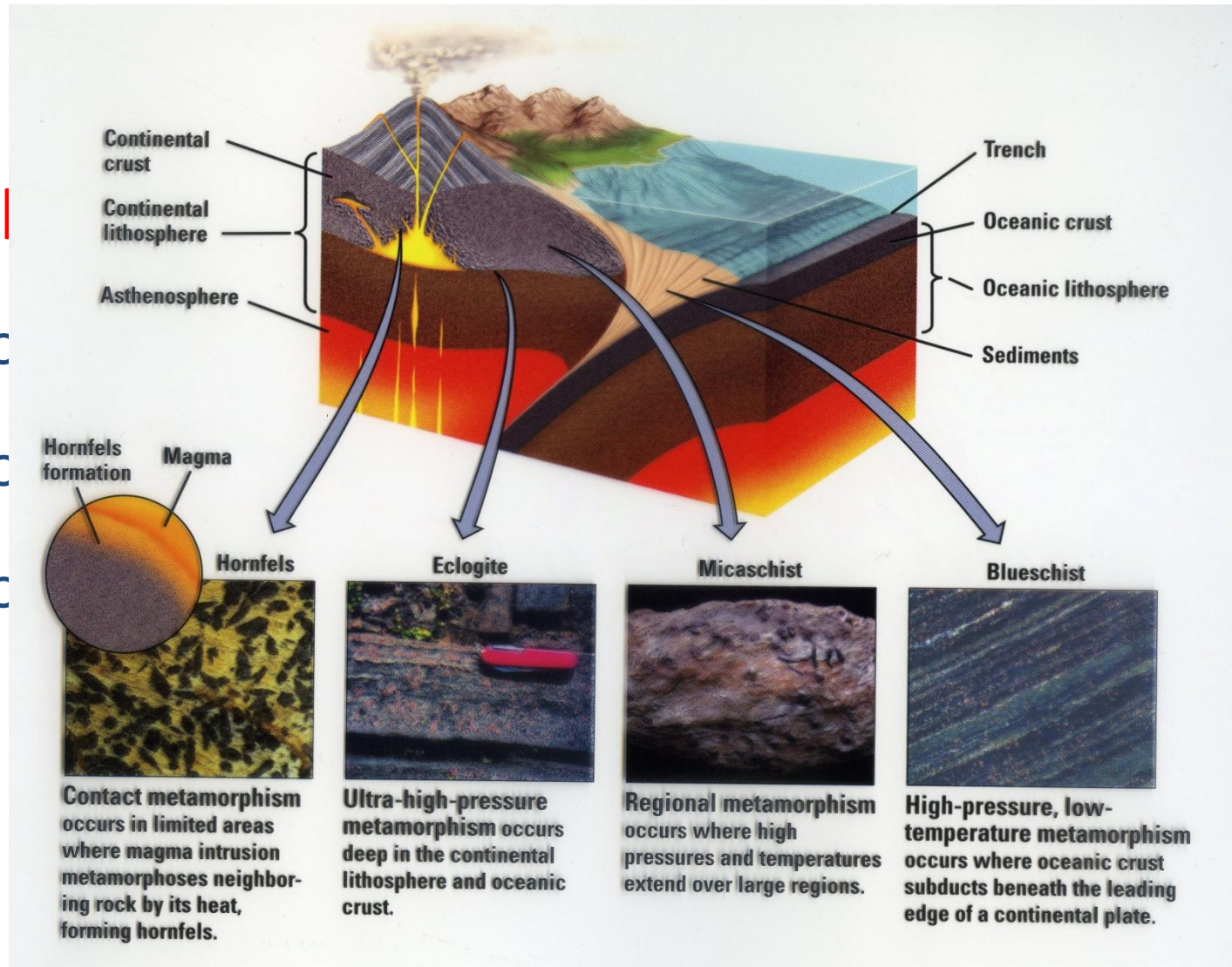
## Roche-mère

- Roche-mère magmatique
- Roche-mère sédimentaire
- Roche-mère métamorphique

# Le sol est fonction de paramètres

## Roches

- Roches
- Roches
- Roches

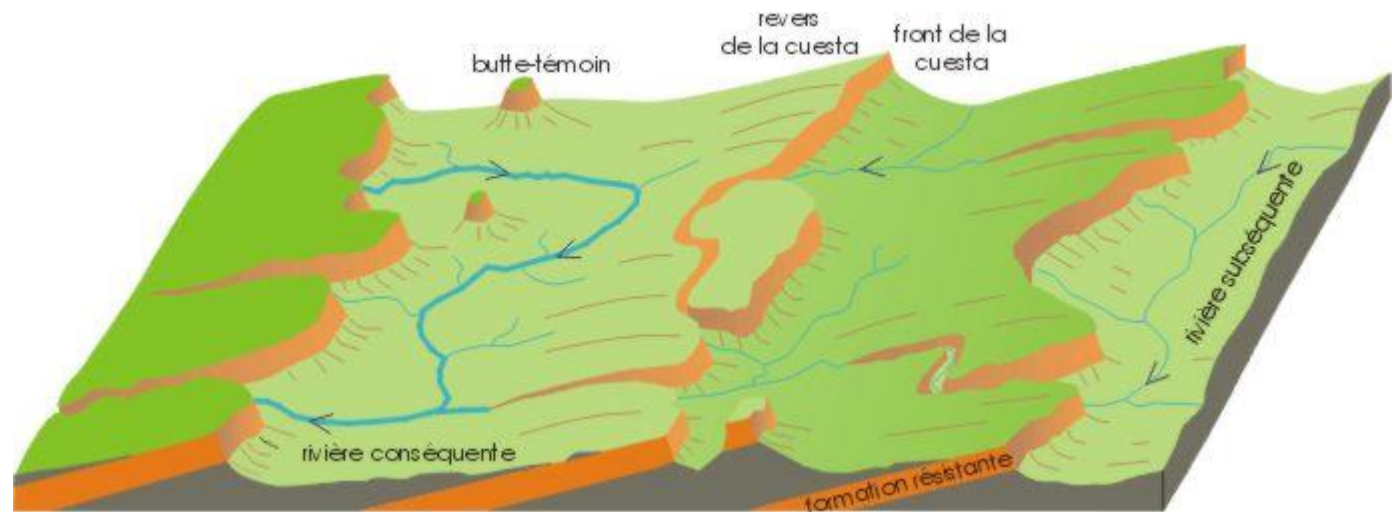


# Le sol est fonction de paramètres

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, r, \boxed{g}, o). T_1 + m.T_2$$

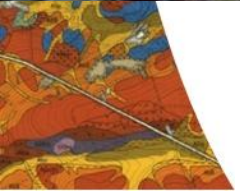
## Géomorphologie

- Compréhension de la physiographie, du relief et des aspects dynamiques



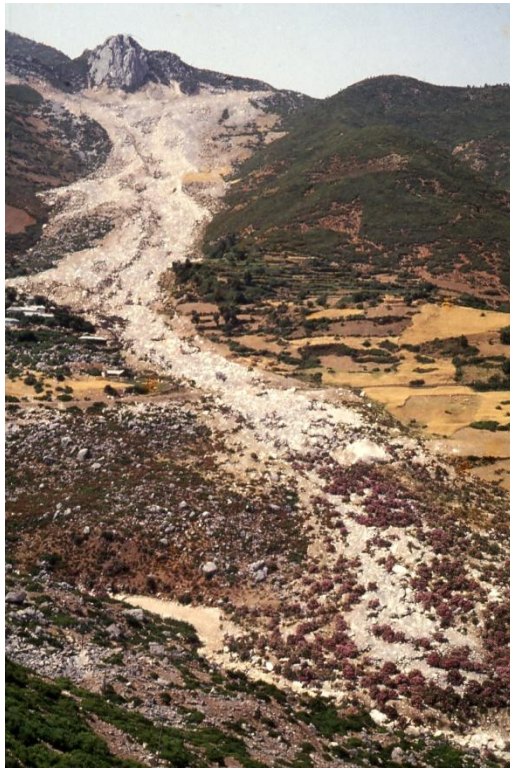
# Le sol est fonction de paramètres

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, r, \boxed{g}, o). T_1 + m.T_2$$



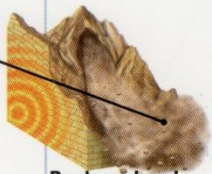
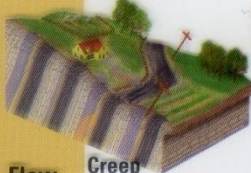
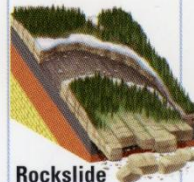
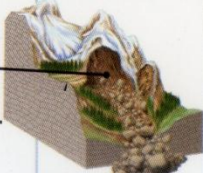
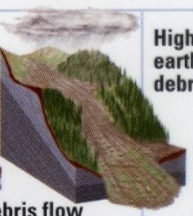
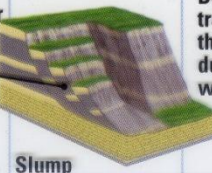
# Le sol est fonction de paramètres

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, r, \text{g}, o). T_1 + m.T_2$$



Key Figure 16.17

Mass movements are classified according to the dominant material, water or air content, and velocity of the movement.

|                         |                  | Velocity →                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material                | Nature of motion | Slow<br>(1 cm/year)<br>Low water content                                                                                                                                                                                | Moderate<br>(1 km/hour)<br>High water content                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Fast<br>(5 km/hour or more)<br>High air content                                                                                                                                     |
| Rock                    | Flow             |                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>Rock avalanches ride on a cushion of air.</p>  <p>Rock avalanche</p>                          |
|                         | Slide or fall    | <p>Creep occurs very slowly, driven only by the tendency of matter to move downhill.</p>  <p>Creep</p>                                 | <p>Rocks slide on bedding planes that form weak zones.</p>  <p>Rockslide</p>                                                                                                                                                                                                                    | <p>Rocks fall from steep cliff faces, forming a fresh face.</p>  <p>Rockfall</p>                 |
| Unconsolidated material | Flow             |                                                                                                                                                                                                                         | <p>High rainfall induces earthflows and debris flows.</p>  <p>Earthflow</p>  <p>Debris flow</p>                                                                                                              |                                                                                                                                                                                     |
|                         | Slide or fall    | <p>Slumps occur when pore water pressure is raised to a high enough level to support the weight of soil and rock.</p>  <p>Slump</p> | <p>Mudflows occur when fine ash is mixed with rainwater on the flanks of volcanoes.</p>  <p>Mudflow</p> <p>Debris slides travel farther than slumps due to higher water content.</p>  <p>Debris slide</p> | <p>Debris avalanches occur when the flank of a volcano collapses.</p>  <p>Debris avalanche</p> |

# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, r, \boxed{g}, o). T_1 + m.T_2$$

## Géomorphologie

- Compréhension de la physiographie, du relief et des aspects dynamiques
- Transport des produits d'altération (allochtonie – autochtonie)

# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, r, g, \boxed{o}). T_1 + m.T_2$$

## Organismes vivants/morts

- Pénétration de la matière organique dans le profil

# Le sol est fonction de paramètres



# Le sol est fonction de paramètres

---



# Le sol est fonction de paramètres



# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, \text{r}, \text{g}, \text{o}). T_1 + \text{m}.T_2$$

## Organismes vivants/morts

- Pénétration de la matière organique dans le profil
- Sol est un support nutritif pour les plantes et la vie microbienne
- Turnover de la matière organique

# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, \text{r}, \text{g}, \text{o}). T_1 + \text{m}.T_2$$

Temps géologique :  $T_1$

→ Notion d'héritage

# Le sol est fonction de paramètres

$T_1$  : héritage



# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, \text{r}, \text{g}, \text{o}). T_1 + \text{m}.T_2$$

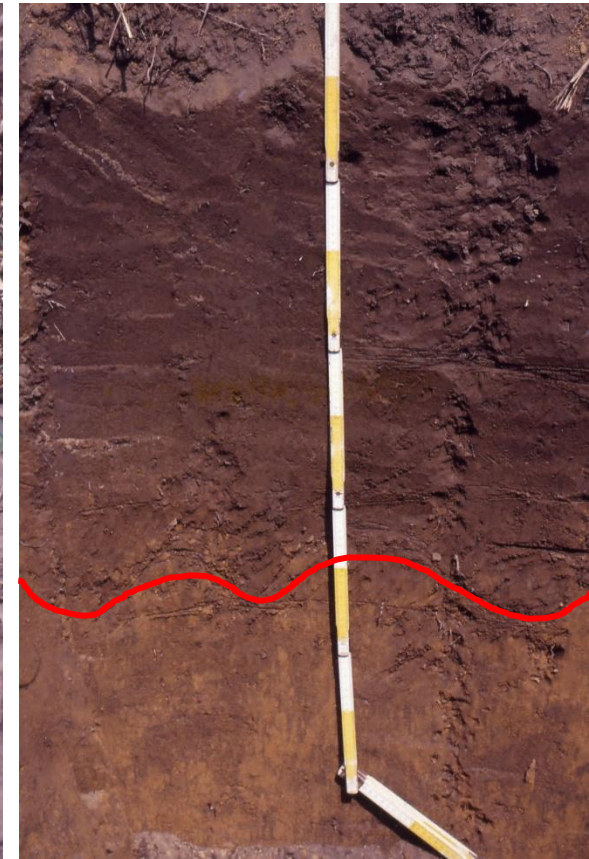
Temps géologique :  $T_1$

→ Notion d'héritage

Activités humaines :  $\text{m}$

→ Management, la gestion humaine des sols

# Le sol est fonction de paramètres



# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, \text{r}, \text{g}, \text{o}). T_1 + \text{m}.T_2$$

Temps géologique :  $T_1$

→ Notion d'héritage

Activités humaines :  $\text{m}$

→ Management, la gestion humaine des sols

Temps à l'échelle humaine :  $T_2$

# Le sol est fonction de paramètres

---

$$\text{Sol} = \text{fct} (\text{Cl}, r, g, o). T_1 + m.T_2$$

Temps géologique :  $T_1$

→ Notion d'héritage

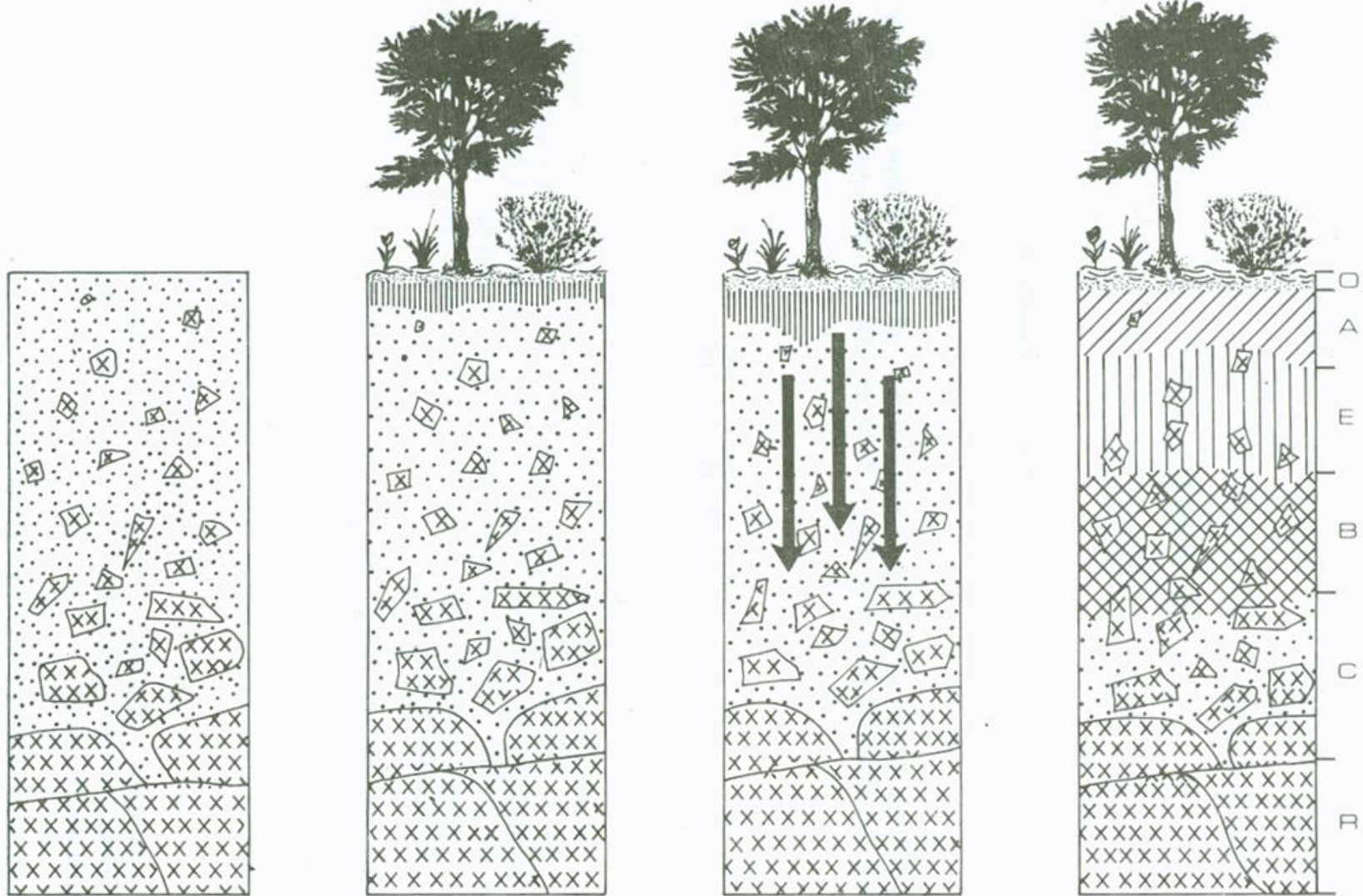
Activités humaines :  $m$

→ Management, la gestion humaine des sols

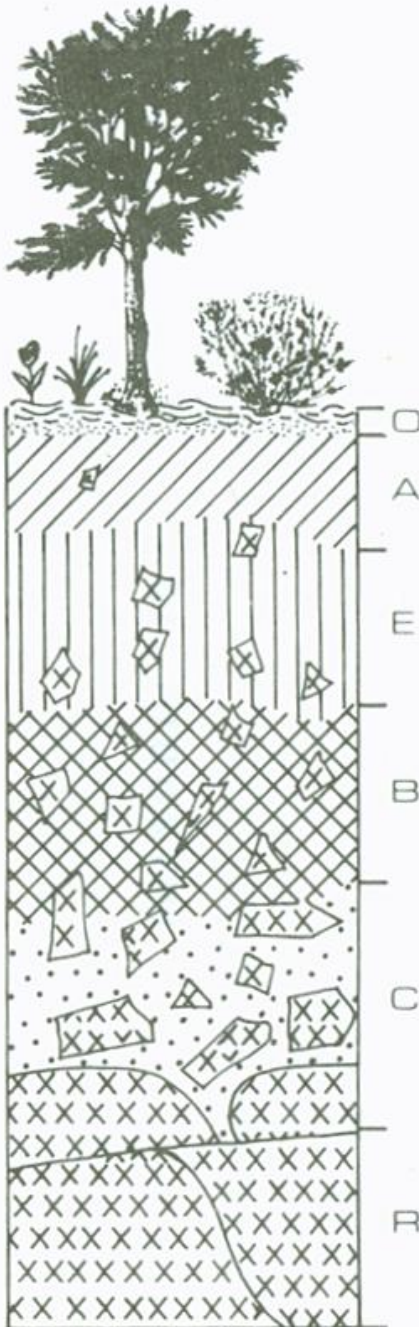
Temps à l'échelle humaine :  $T_2$

→ Analyses des pressions et des risques (pas de tps court)

# Les grandes étapes de la formation d'un sol

**Altération****+****Humification****+****Migrations =****Profil d'horizons**

# Profil = ensemble d'horizons



O : horizon holorganique MO > 30%

A : horizon enrichi en matière organique MO < 30%

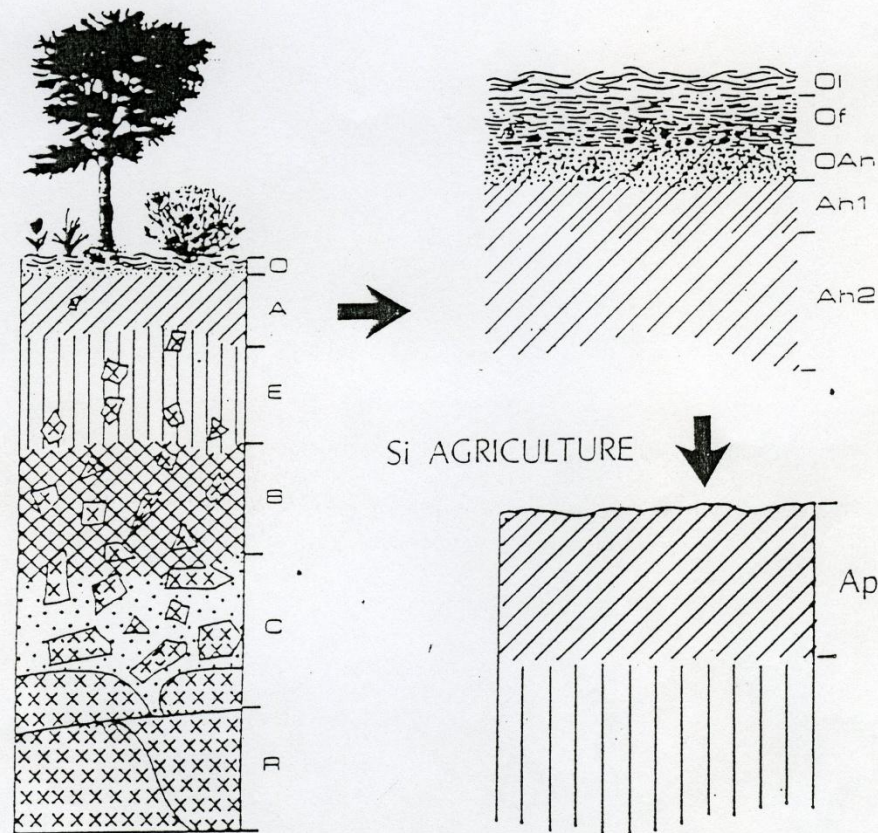
E : horizon éluvial appauvri ou dit lessivé en humus, en argile, en sesquioxides

B : horizon illuvial enrichi ou d'accumulation

C : roche-mère plus ou moins meuble permettant encore le développement racine

R : roche-mère dure, continue, plus ou moins fissurée mais ne permettant pas le développement racinaire

# Impact de l'activité humaine



Oi : litière de feuilles ; Of : horizon organique formé de résidus végétaux plus ou moins fragmentés ; Oh : horizon organique formé de substances fines, gras et lisse sous les doigts (humus) ; Ah : horizon humifère coloré par infiltration de composés humifères ; E : horizon éluvial, appauvri par lessivage ; B : horizon illuvial, enrichi en argile ; C : roche-mère meuble (matériau parental) ; R : roche-mère dure (substratum géologique).  
Ap : horizon de labour.

Figure 1 - Profil de sol brun lessivé sous forêt et influence de la mise en culture.

Source - HANOTIAUX (1985).

# Quelques grands types de sol



# Quelques grands types de sol

**Luvisol (sol brun limoneux) reposant  
sur des sables du Bruxellien (Tertiaire)**



# Quelques grands types de sol



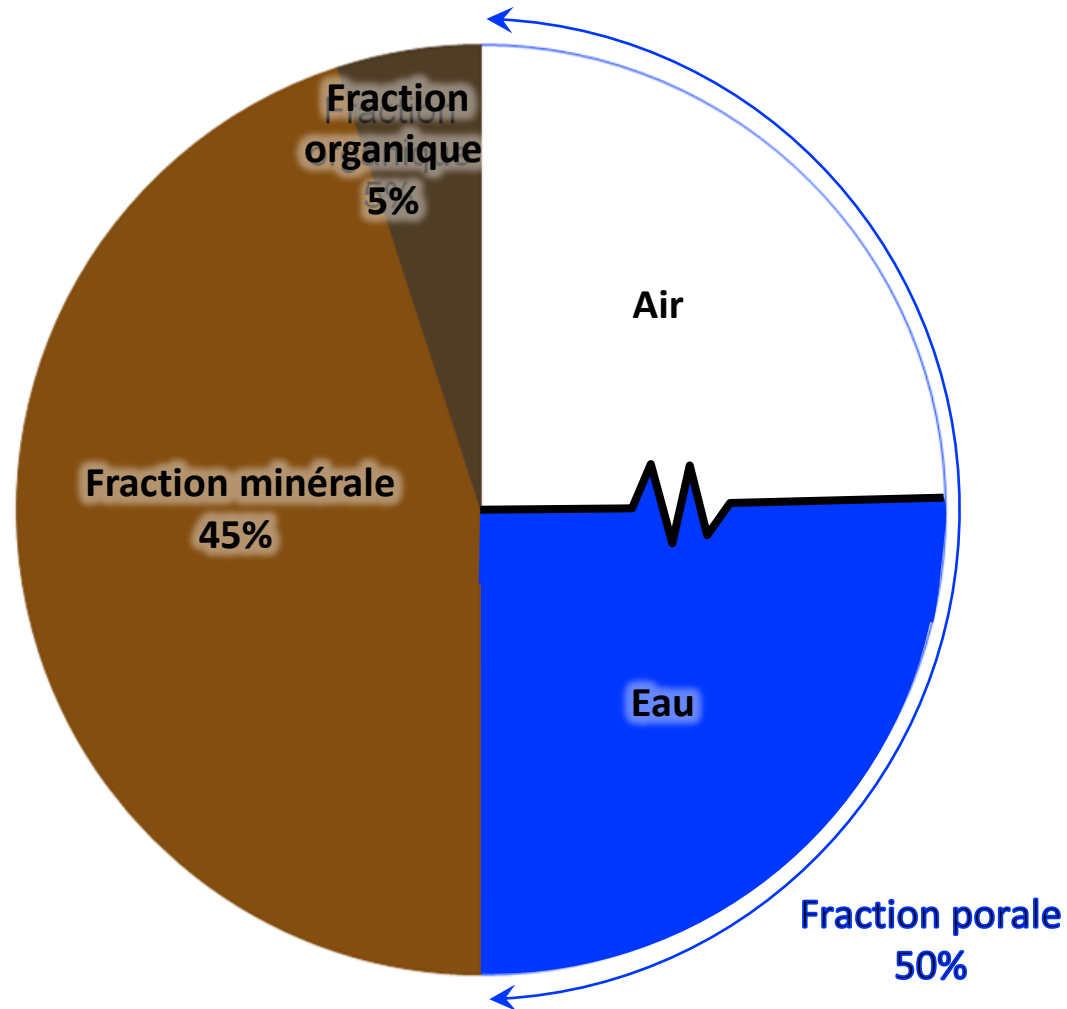


# Plan

---

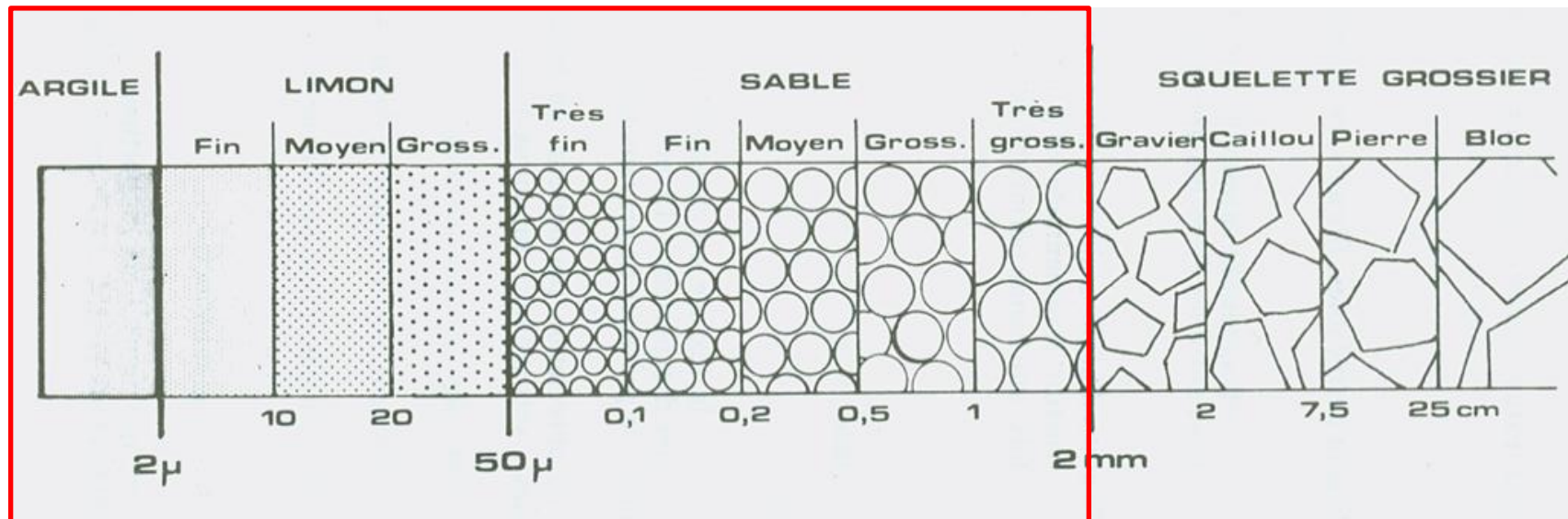
1. Introduction
2. Origine et formation du sol
- 3. Composante minérale (texture)**
4. Composante organique
5. Structure (porosité)
6. Eau dans le sol (eau utile)

# Composantes du sol



# Texture du sol

- La proportion relative de particules de dimensions différentes



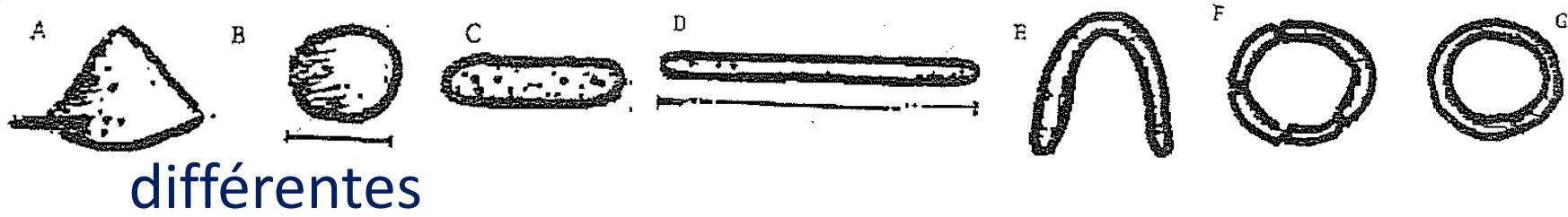
# Texture du sol

---

- La proportion relative de particules de dimensions différentes
- Appréciation de la texture **sur le terrain**



# Texture du sol



e l



err



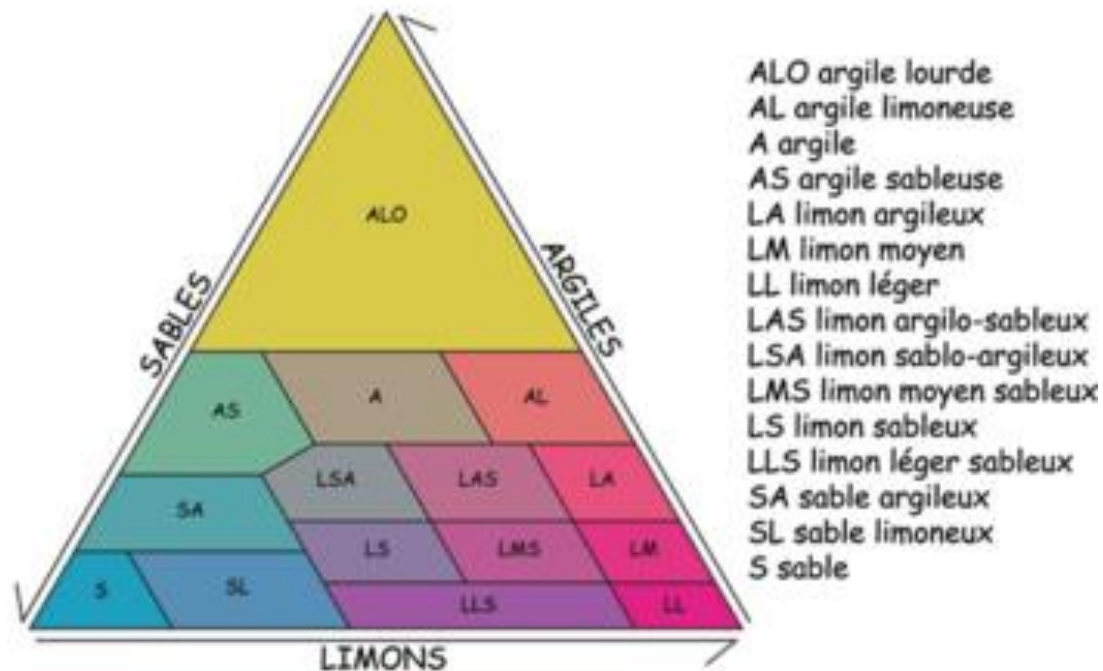
# Texture du sol

- La proportion relative de particules de dimensions différentes
- Appréciation de la texture **sur le terrain**
- Analyse granulométrique **en laboratoire**



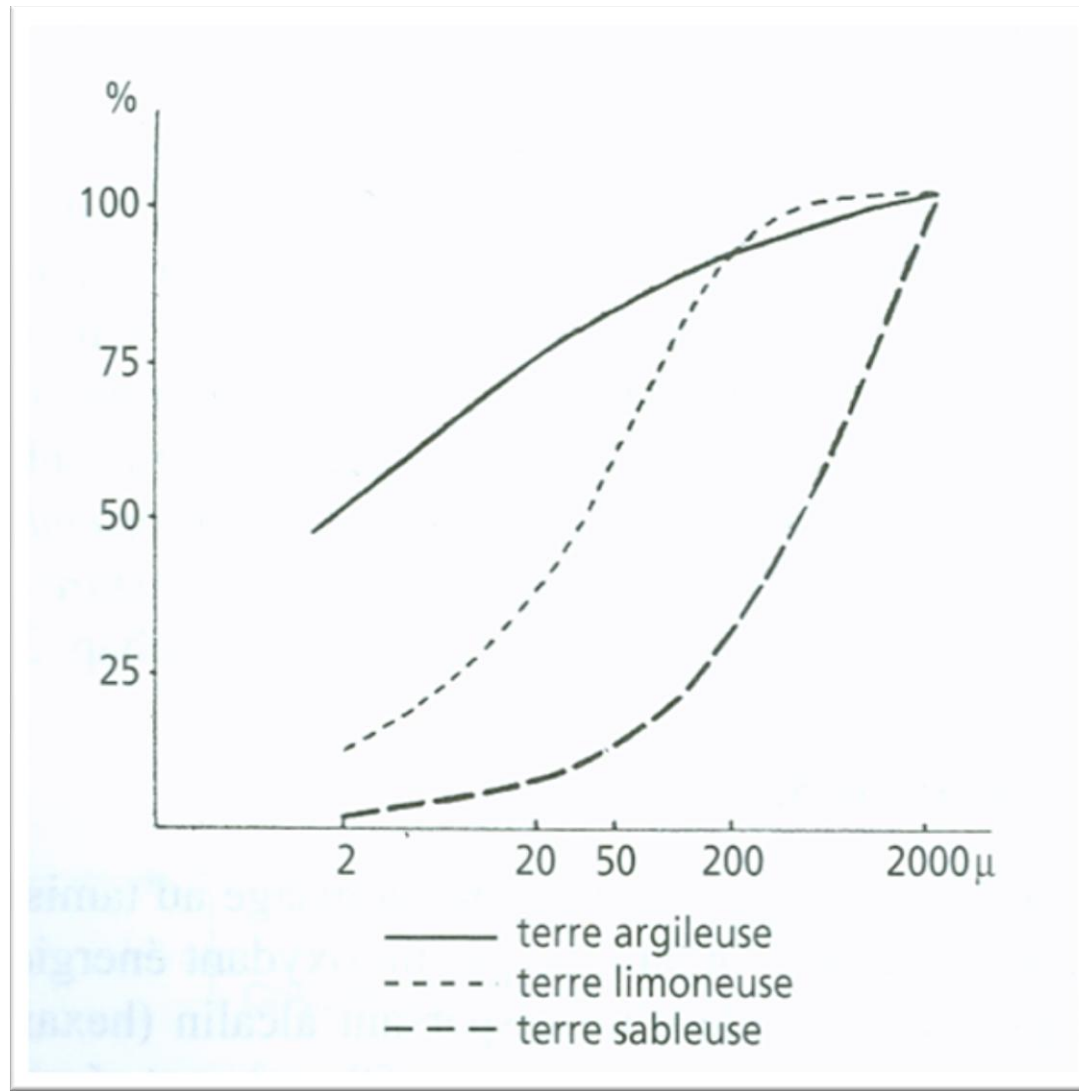
# Texture du sol

## Diagramme triangulaires des textures



# Texture du sol

## Courbe granulométrique cumulative par texture



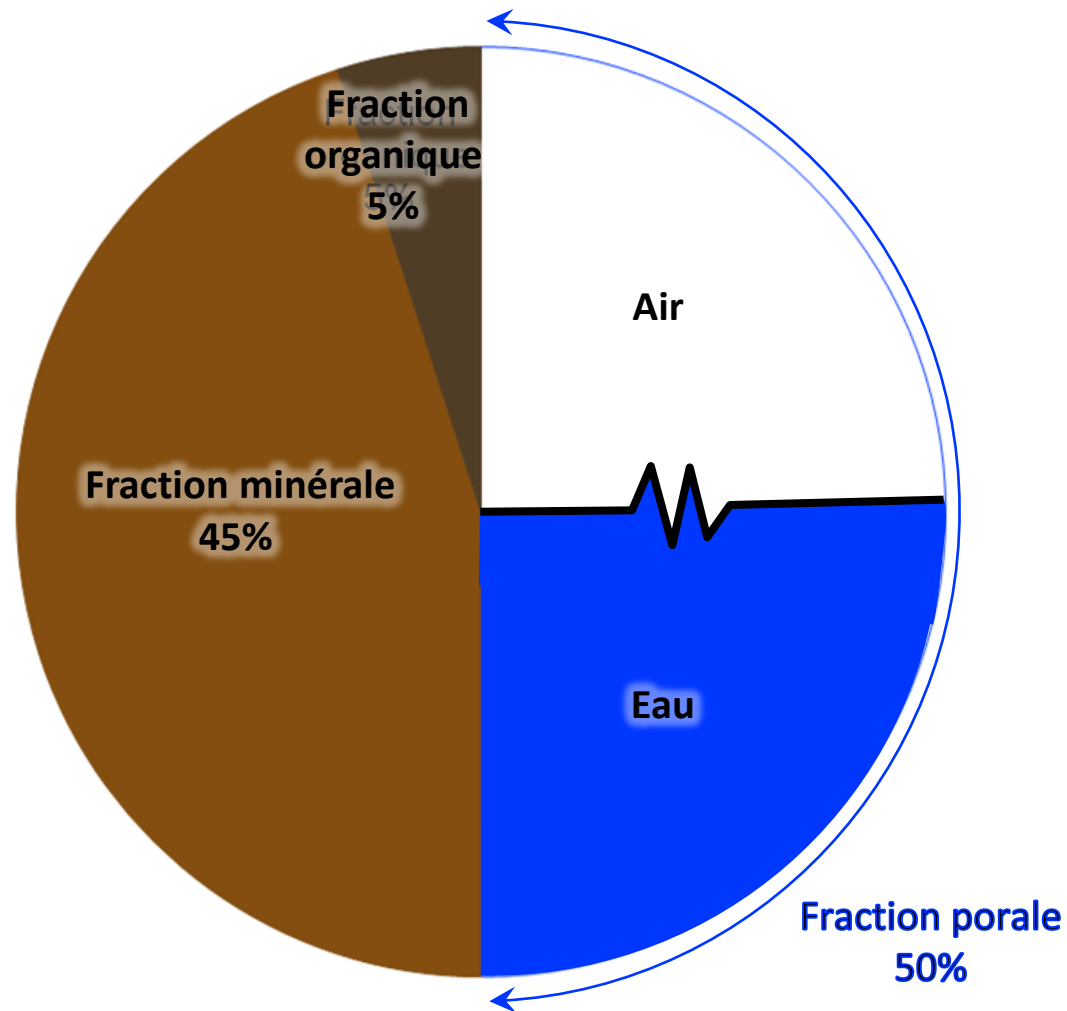


# Plan

---

1. Introduction
2. Origine et formation du sol
3. Composante minérale (texture)
- 4. Composante organique**
5. Structure (porosité)
6. Eau dans le sol (eau utile)

# Composantes du sol



# Généralités

---

- Matière organique

*Substrat indispensable au développement de la vie biologique des sols*

*→ source majeur de carbone et d'énergie pour les micro-organismes*

- Matière organique fraîche (M.O.F.)

*Fraction organique encore peu transformée d'origine végétale ou animale*

# Généralités

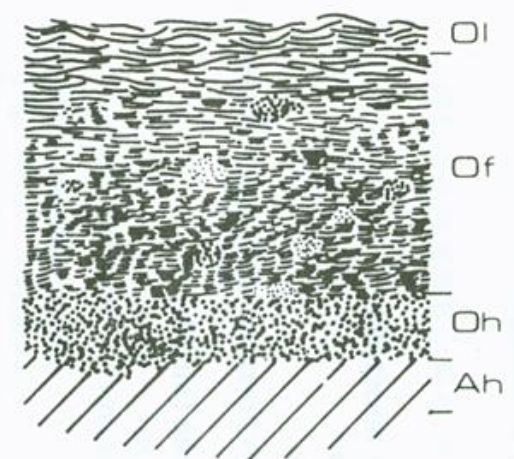
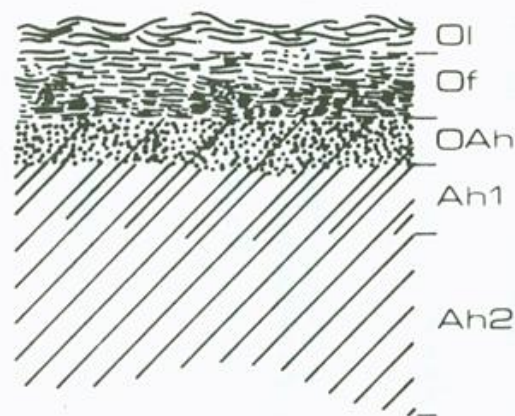
---

- Trois grandes catégories de matériaux organiques

Débris – Résidus – substances fines

- Horizons holorganiques : proportion en matériaux variables
  - L: débris + substances fines (10%)
  - F: résidus + substances fines (variable de 10-70%)
  - H: substances fines + résidus (< 30%)
- Horizons humifères : substances fines plus ou moins intimement incorporées aux constituants minéraux

# La matière organique en milieu forestier



Oi/Of  
Oh  
Ah  
B/E

# La matière organique en milieu forestier

---

- Apport annuel en M.O.F., par la chute des feuilles → Litière
- La forme de l'humus est le reflet de l'activité biologique du sol
- Trois grandes familles d'humus terrestre
- Si le sol est couvert d'une végétation herbacée → réelle participation au cycle du carbone



# La matière organique en milieu agricole

- Apport de M.O.F. discontinu, dépendant de l'homme (fumier, résidus de récolte, paille incorporée, engrais verts,...)
- Décomposition est activée par l'enfouissement, le travail du sol et l'apport d'engrais minéral
- Apport doit être équivalent à l'exportation:
  - Rupture de l'équilibre induit une diminution du stock d'humus parfois jusqu'à un seuil critique de 2%
  - Dégradations des propriétés physiques et chimiques du sol

# Minéralisation de la M.O.F.

- Vitesse (mesure)

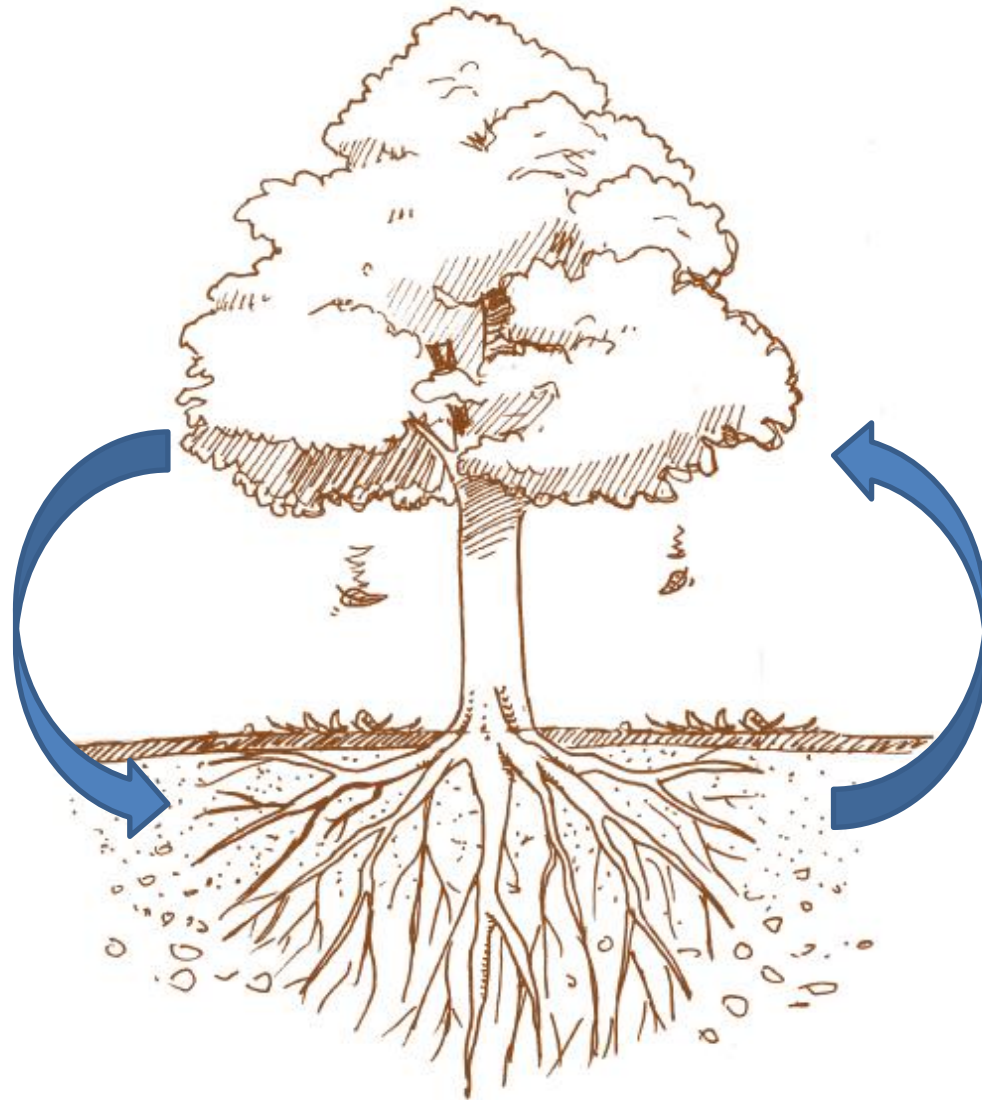
→ défini

- *Turno* faible
- *Turno* car ta

ret de  
de temps

ns le sol

le sol élevé



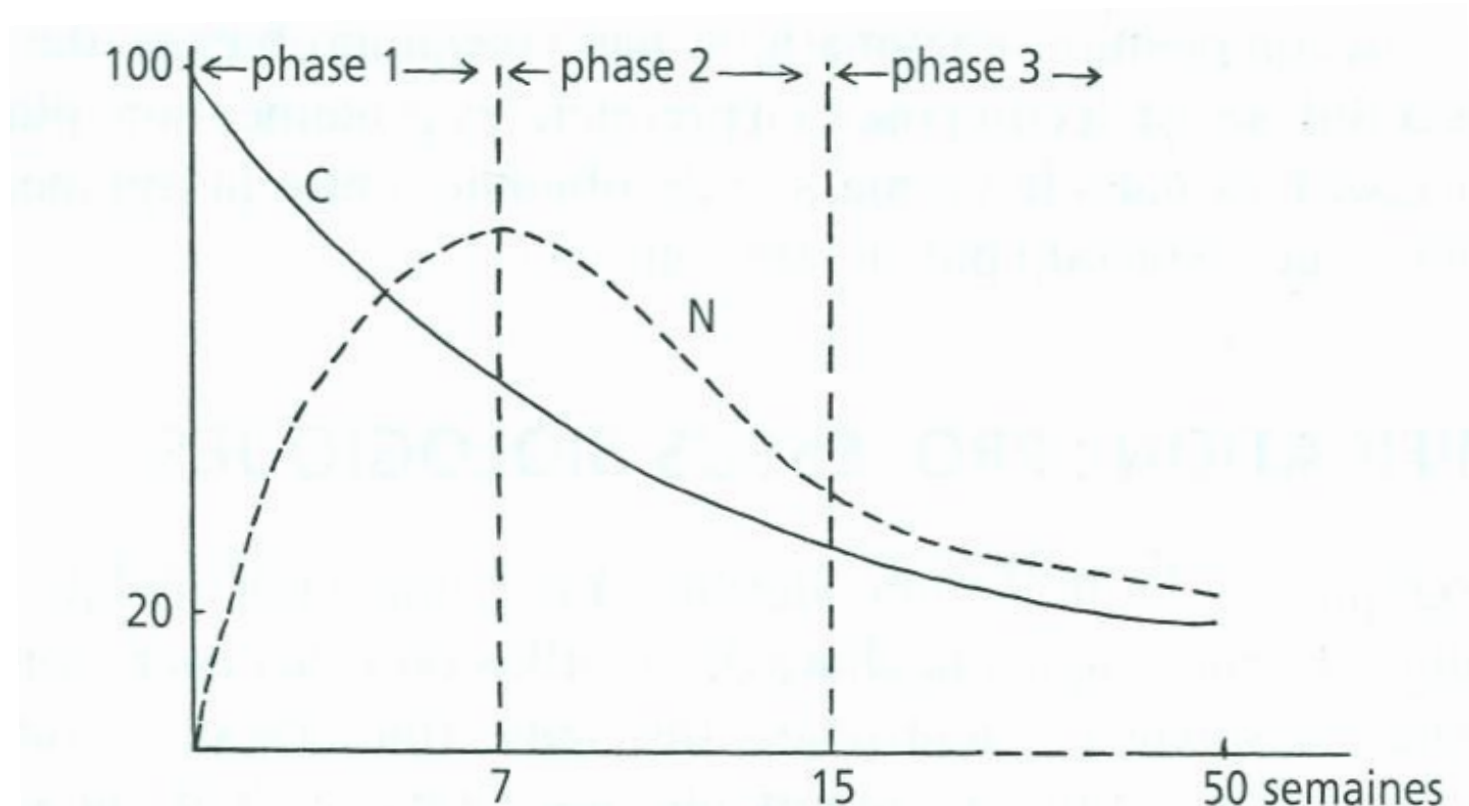
# Minéralisation de la M.O.F.

---

- Facteur le plus influant : le *rapport C/N* de la M.O.F.
  - Facteurs positifs: C/N bas, soit une richesse en azote ainsi qu'en cellulose, tannins vite décomposés → favoriser les graminées, légumineuses et le fumier de ferme bien décomposé...
  - Facteurs négatifs: C/N élevé, soit une faible teneur en azote ainsi qu'une forte teneur en lignine, tannins peu décomposables → éviter les amendements organiques, les pailles très lignifiées, la sciure de bois...

# Minéralisation de la M.O.F.

- Exemple d'évolution de la paille de blé à C/N 100 et son incorporation



# M.O. et humus: incidences sur et dans le sol

---

- Constante pédogénétique
  - Horizons organiques et humifères
  - Migration et entraînement
  - Décomposition des roches et minéraux
- Aspect physique
  - Favorables : thermoprotection – structuration – protection contre l'érosion
  - Défavorable : rare
- Nutritifs (sources en nutriments)
- Aspects physico-chimiques
  - Favorable: contribution au complexe argilo-humique
  - Défavorables : consommation de l'oxygène, diminution du pH



## Détermination quantitative de la M.O.

---

- Evaluation de la quantité de M.O. du sol par dosage du carbone organique total

*En milieu agricole:  $C \times 1.72$*

*En milieu forestier :  $C \times 2$*

- Dosage de la M.O. par mesure du carbone organique total → méthode de *Springer-Klee*



# Plan

---

1. Introduction
2. Origine et formation du sol
3. Composante minérale (texture)
4. Composante organique
- 5. Structure (porosité)**
6. Eau dans le sol (eau utile)

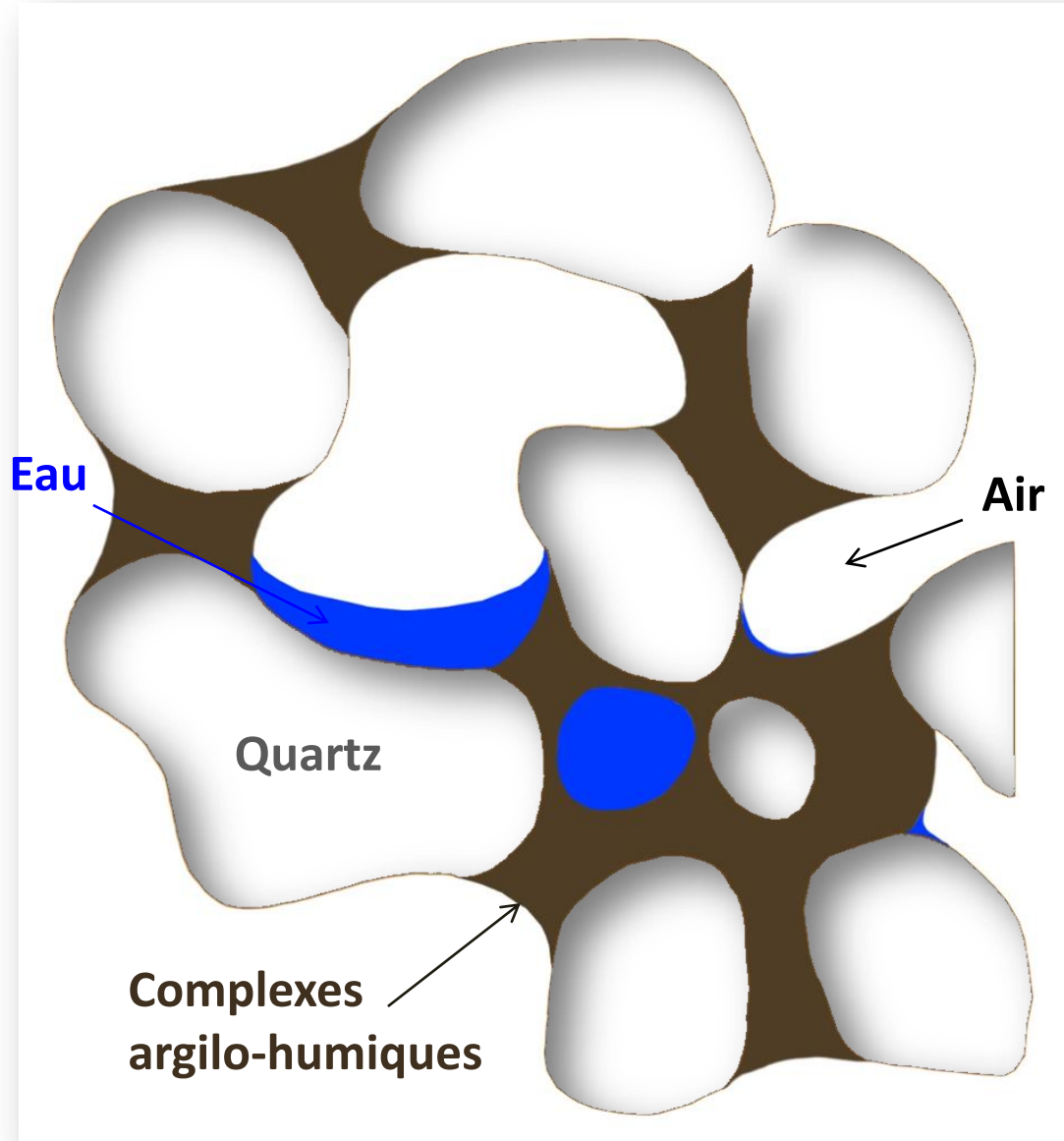
# La structure du sol

---

- La structure du sol se définit comme le mode d'assemblage des constituants solides du sol
- Origine: Cimentation des grains grossiers (sable et limon) par les éléments colloïdaux (argile et humus) associés en complexes argilo-humiques



# Agencement des composantes



# La structure du sol

---

- La structure du sol se définit comme le mode d'assemblage des constituants solides du sol
- Origine: Cimentation des grains grossiers (sable et limon) par les éléments colloïdaux (argile et humus) associés en complexes argilo-humiques
- Paramètre du sol variable dans le temps et influencé par des facteurs favorables ou défavorables

# Porosité

---

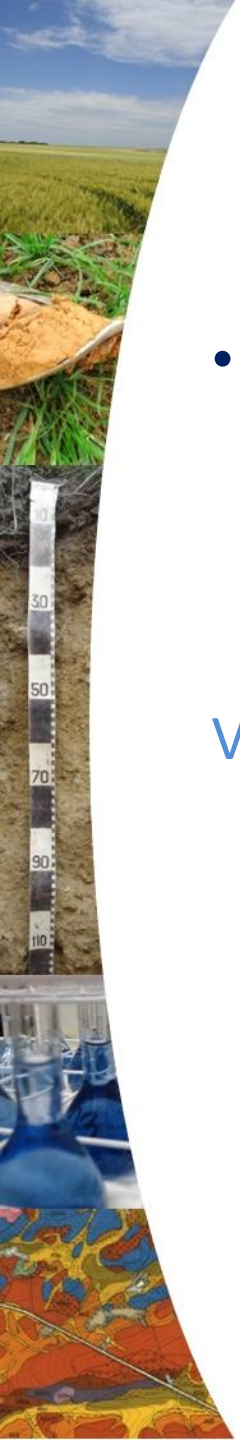
- Structuration du sol conduit à la notion de volume
  - 50% du volume → solide (fraction minérale et organique)
  - 50% du volume → espace poral (air + eau)
- Espace poral : microporosité et macroporosité
  - Microporosité : remplie d'eau
  - Macroporosité : remplie d'air

# Diagrammes de porosité

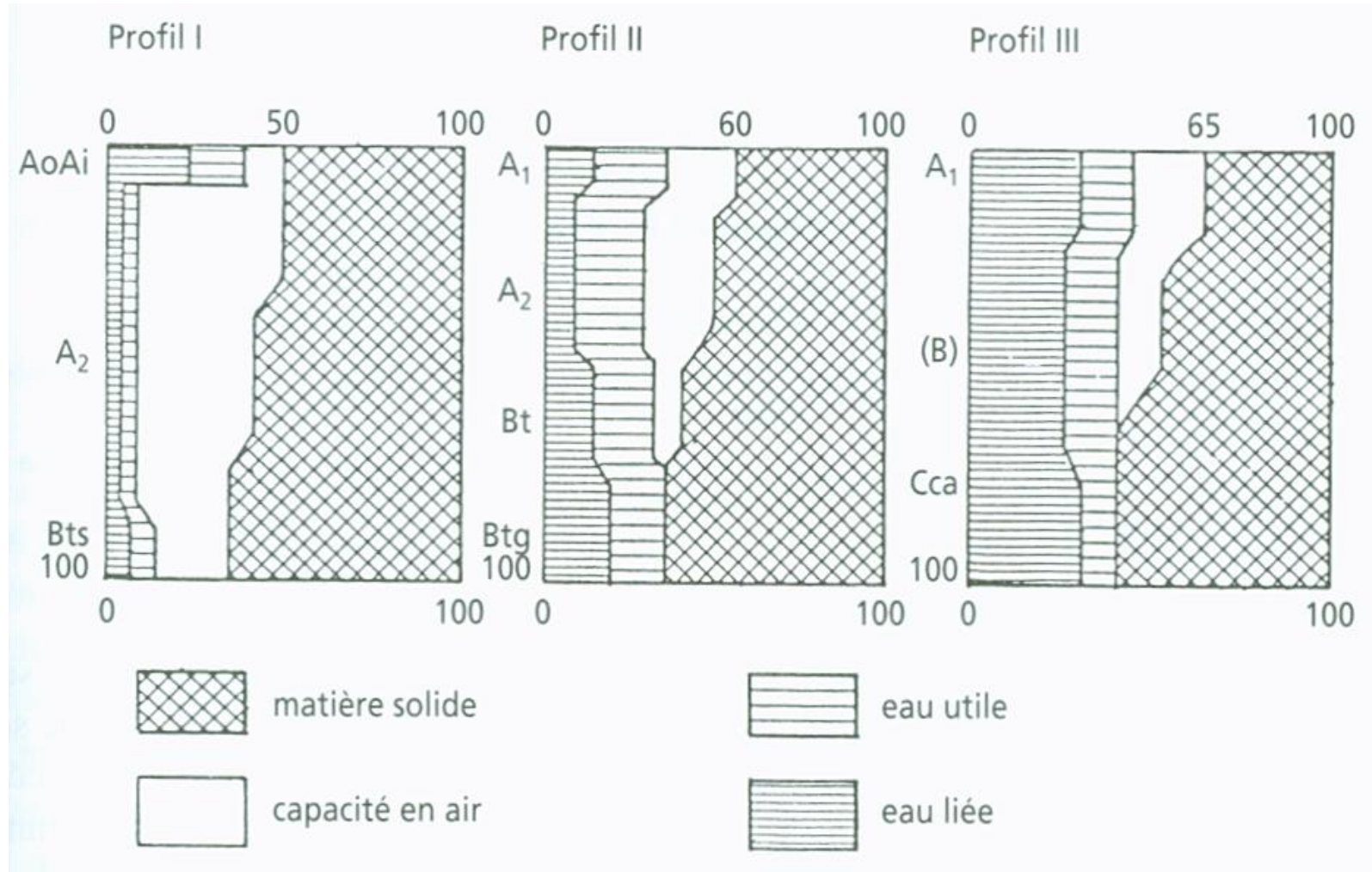
---

- Les diagrammes de porosité permettent de représenter la répartition volumétrique par horizon des différentes formes de porosité

Volume des substances solides – capacité en air – capacité en eau utile – volume d'eau liée



# Diagrammes de porosité



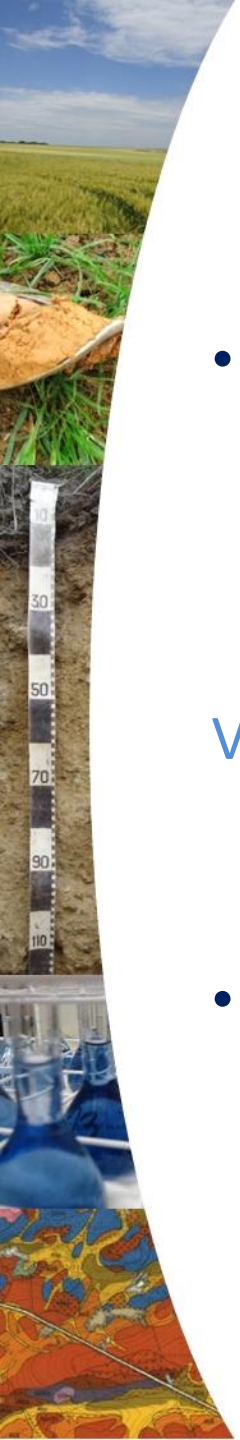
# Diagrammes de porosité

---

- Les diagrammes de porosité permettent de représenter la répartition volumétrique par horizon des différentes formes de porosité

Volume des substances solides – capacité en air – capacité en eau utile – volume d'eau liée

- Porosité structurale et porosité texturale



# Rôles de la structure

---

- Porosité: circulation air et eau → activité biologique
- Résistance à l'érosion: infiltration des eaux favorisée
- Amélioration du contact sol-racines
- Echanges thermiques entre sol et atmosphère



# Aspects pratiques

---

- Consistance
  - Traduit la cohésion et la résistance à la pression des unités structurales
  - Influencée par la granulométrie, le type de structure, la stabilité et le degré d'humidité
  - Meuble - friable - cohérente – durci suivant la résistance à la pression
  - Influence l'enracinement et les possibilités de travail du sol

# Aspects pratiques

---

- Stabilité de la structure
  - La structure n'est pas stable dans le temps et évolue selon les circonstances
  - Facteurs de dégradation
    - Saison humide
    - Action mécanique des pluies battantes → effet splash
    - Altérations du ciment colloïdale par acidification et modification d'état de l'humus
    - Tassement et compaction par les engins lourds

# Aspects pratiques

---

- Stabilité de la structure
  - La structure n'est pas stable dans le temps et évolue selon les circonstances
  - Facteurs de dégradation
  - Facteurs de conservation
    - Teneurs équilibrées en argile et humus
    - Présence de vers de terre → rôle primordial dans la formation du complexe
    - Présence de calcium et d'oxydes de fer et d'aluminium → rôle dans la floculation



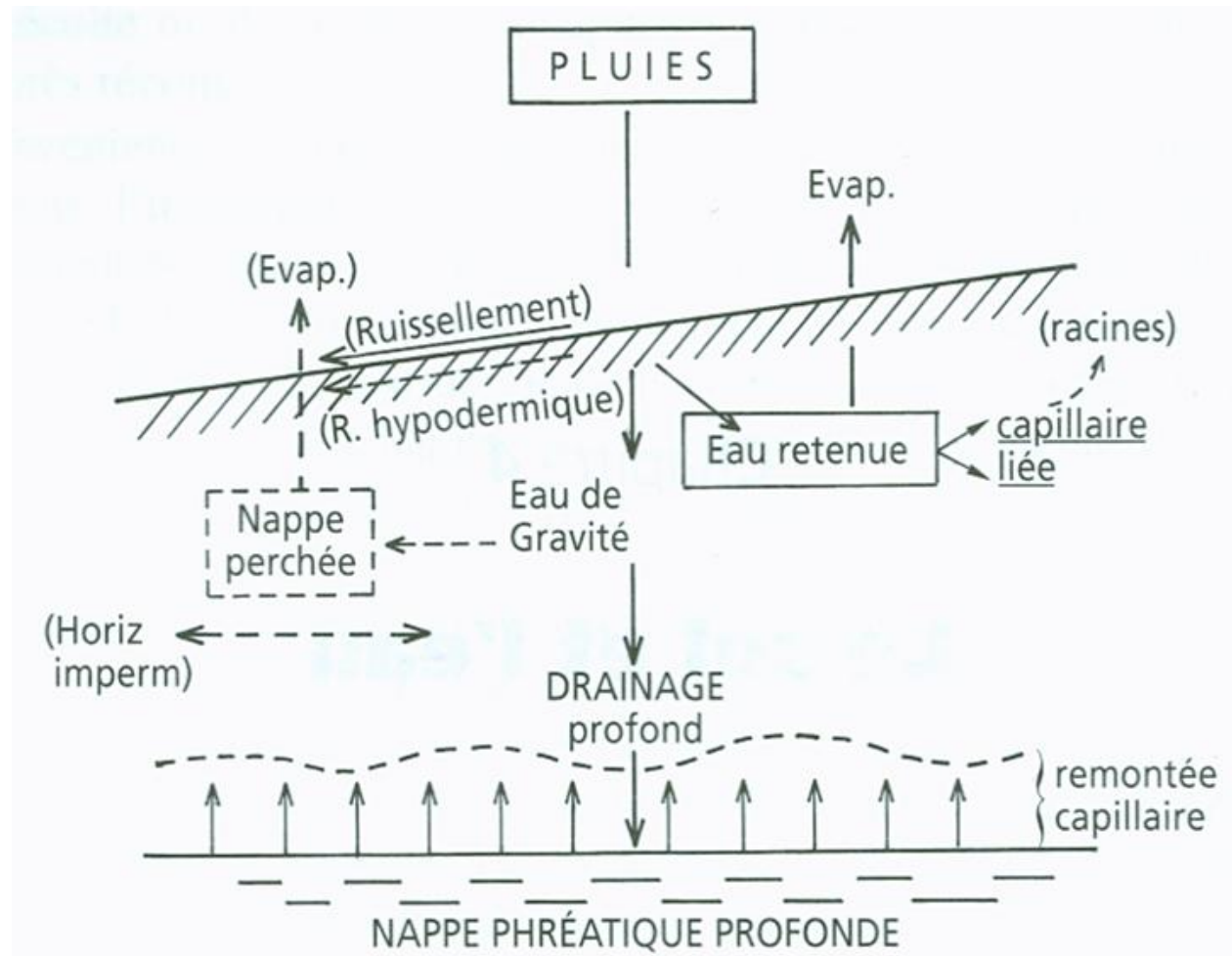
# Plan

---

1. Introduction
2. Origine et formation du sol
3. Composante minérale (texture)
4. Composante organique
5. Structure (porosité)
- 6. Eau dans le sol (eau utile)**

# Eau dans le sol

- Apports en eau:



# Eau dans le sol

---

- Apports en eau:

Précipitation → stagnation – ruissellement – infiltration →  
phénomènes d'humification → percolation



# Eau dans le sol

---

- Apports en eau:

Précipitation → stagnation – ruissellement – infiltration → phénomènes d'humification → percolation

- Alimentation en eau des végétaux dépend de:
  - Quantité d'eau météorique infiltrée
  - Quantité d'eau emmagasinée sur la zone de développement racinaire
  - Fraction d'eau effectivement utilisable par les végétaux (fraction présente dans les pores de diamètre  $> 0.2\mu$ )

# Eau dans le sol

---

- Écoulement vers les nappes → réseau de **drainage** structuré

Drainage lent : macroporosité se libère difficilement de l'eau

→ formation de gley et pseudogley



# Eau dans le sol

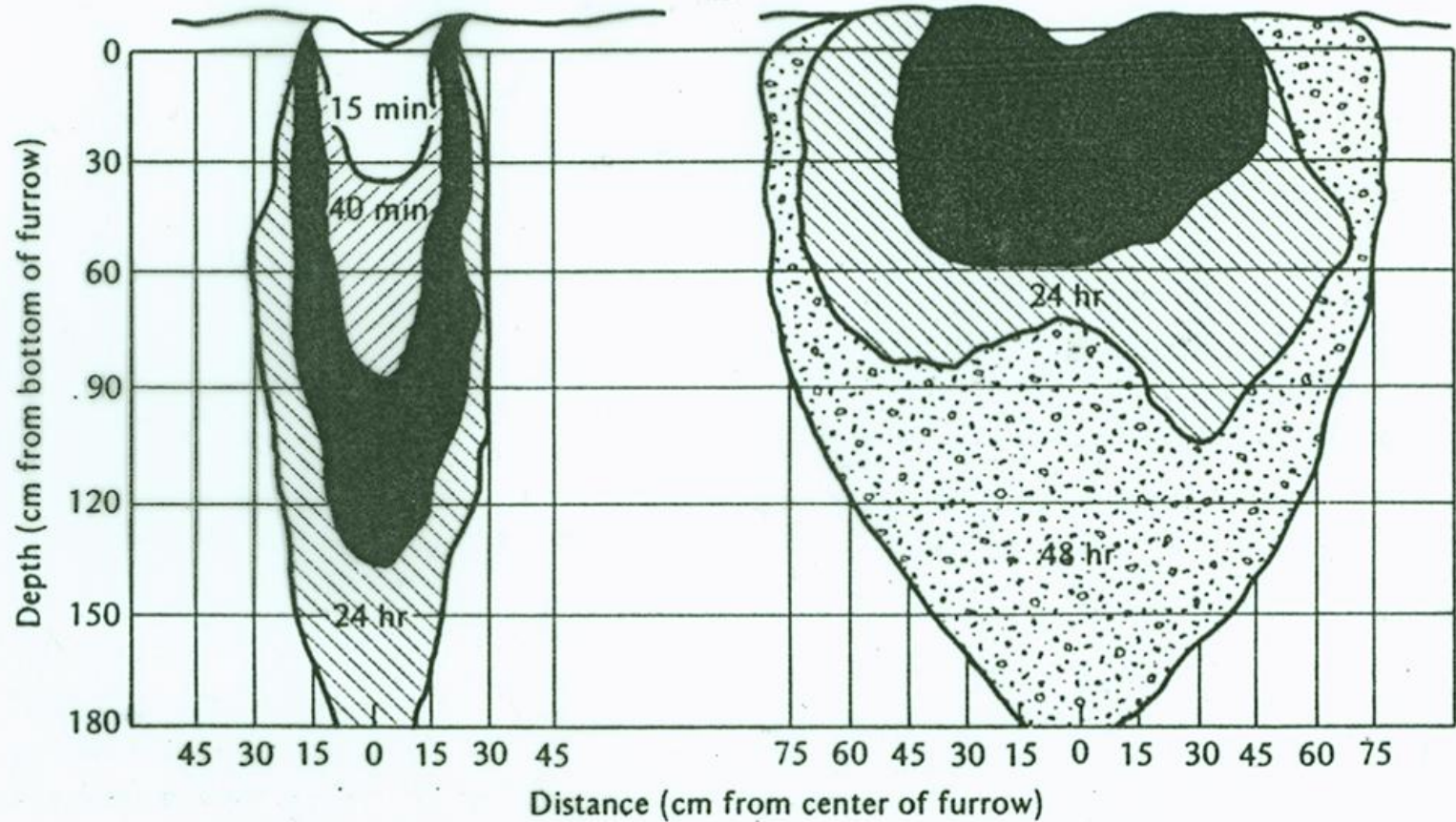
---

- Écoulement vers les nappes → réseau de **drainage** structuré
- Infiltration de l'eau → importance des **propriétés texturales**

Bulbe d'humectation plus étroit et profond en sol sableux →  
volume de sol humidifié plus important en sol argileux



# Eau dans le sol



(a) Sandy loam

(b) Clay loam

# Eau dans le sol

---

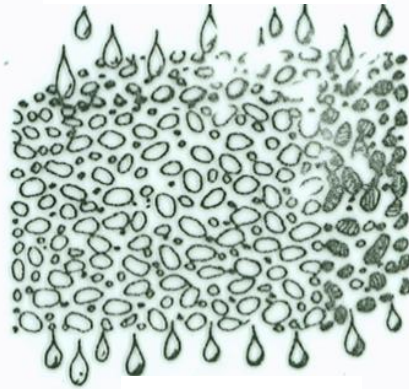
- Écoulement vers les nappes → réseau de drainage structuré
- Infiltration de l'eau → importance des propriétés texturales
- Mouvements de l'eau → variables suivant les structures

Particulaire / grumeleuse – bloc / prismatique – laminaire / massive : évolution vers une diminution de la perméabilité



# Eau dans le sol

**Grains isolés**



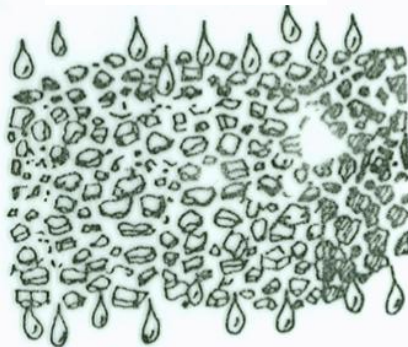
**En blocs**



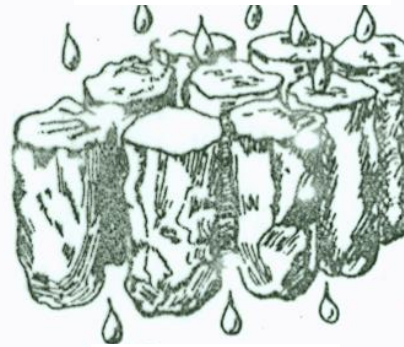
**En plaques**



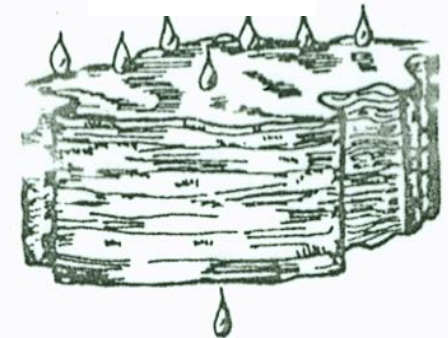
**Granulaire**



**Prismatique**



**Massive**

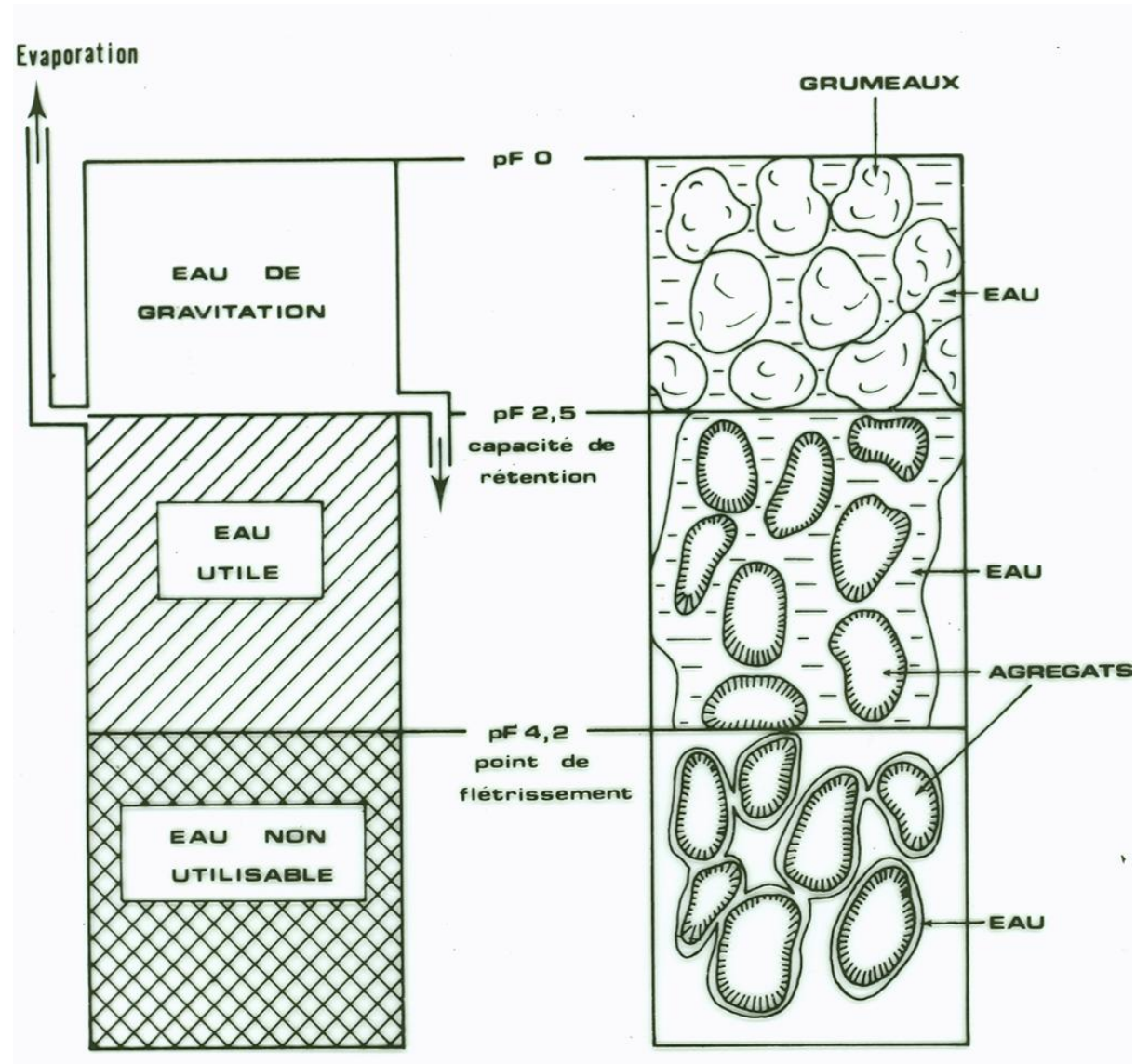


**Forte**

**Moyenne**

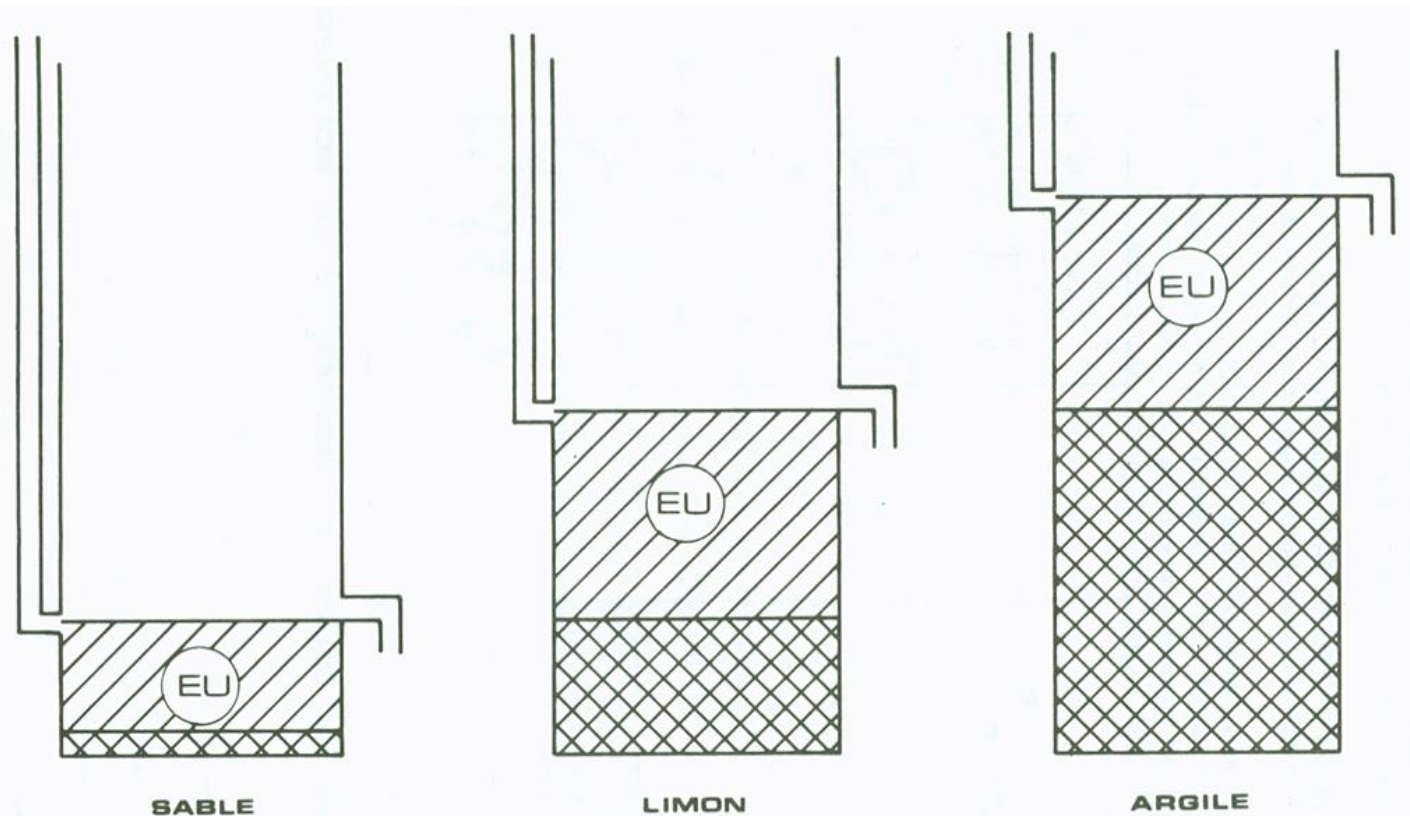
**Faible**

# Les eaux du sol



# L'eau utile du sol

| Texture | pF 2.5   | pF 4.2   | Eau utile |
|---------|----------|----------|-----------|
| Sable   | 5 – 15%  | 1 – 3%   | 4 – 12%   |
| Limon   | 15 – 30% | 5 – 15%  | 15 – 20%  |
| Argile  | 30 – 45% | 15 – 30% | +/- 15%   |



# Influence sur l'alimentation en eau

---

- Rôle des saisons → le besoin varie
- Conditions de géomorphologie
- Aptitude de la végétation à utiliser l'eau du sol
  - Exigence en eau ou aptitude à absorber l'eau utile dépend des espèces forestières comme cultivées
  - Influence de l'enracinement



# Crédits images

---

- F. Delecour : Initiation à la pédologie – 77pg
- P. Duchaufour : Introduction à la Science du sol – Sol, végétation, environnement – 331pg
- M. Robert : Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement – 241pg
- M-C Girard : sols et environnement – 816pg
- Photos : Bock Laurent – Liénard Amandine