

A photograph showing a person's hands using a soil sampling tool (a thin, grey, cylindrical probe) to collect a sample from the ground. The ground is covered with dry, brown leaves and some green moss. The person is wearing a dark shirt and a watch. The background is a blurred forest floor.

Introduction à la Géologie de Surface Altération et Science du Sol

Jean LEVEQUE

UMR CNRS/uB5561 Biogéosciences
UFR Sciences Vie, Terre, Environnement
Mail : jean.leveque@u-bourgogne.fr

Plan du cours Pédologie – Science du Sol / L2 – S3 géographie

A. Introduction

- définitions
- contexte géodynamique et temporel
- contexte géographique

B. Constituants Minéraux du sol

- Les roches mères ou le matériel parental (nature et origine, autochtones/allochtones)
- Formation de l'altérite (désagrégation mécanique, chimique, transformations, ...)
- Les argiles constituants importants de la matrice minérale
- Propriétés physiques des sols (texture, structure)

C. Constituants Organiques du sol

- Nature et origine des matières organiques du sol (MOS), humus et bilan
- Transformations des MOS dans le sol
- Principaux facteurs intervenants dans la dégradation des MOS

D. Formation des horizons pédologiques

- mécanisme de formation
- classification simple des horizons pédologiques

E. Facteurs contrôlant la pédogenèse

- Facteurs généraux
- Facteurs locaux

Introduction

Les Sciences du Sol est une discipline récente. Elle intègre tout ou une partie d'éléments des disciplines suivantes :

- **Pédologie : description et étude du fonctionnement du sol**

Cette discipline concerne l'étude des réactions réciproques entre les différentes phases (liquide, gazeuse, solide) composant le sol (d'après Wikipédia).

- **Agronomie : utilisation du sol à l'usage agricole**

L'agronomie est l'ensemble des sciences exactes, naturelles, économiques et sociales, et des techniques utiles à la pratique et la compréhension de l'agriculture (source Wikipédia).

- **Altérologie : étude de l'altération des roches et des sols en surface**

l'altération est la modification chimique et physique des roches, principalement due à l'eau et aux variations de températures et de pressions (source Wikipédia)

- **Géochimie environnementale : transfert naturel ou anthropique des éléments chimiques à la surface de la Terre.**

Cette discipline applique les outils et concepts de la chimie à l'étude des roches, eaux, sédiments et sols aux interfaces Atmosphère – Lithosphère - Hydrosphère- Biosphère.

Repères épistémologiques

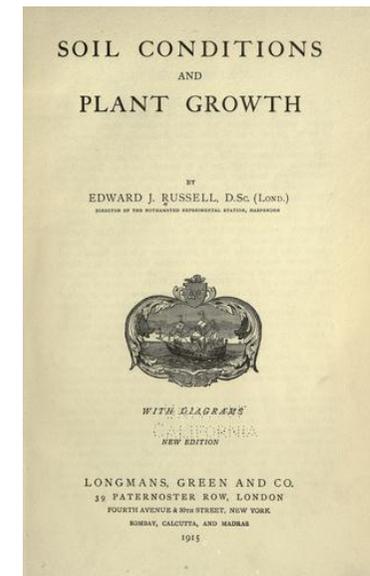
1. Début de la pédologie (fin du 19ème siècle)

Thèse du géologue-géographe russe Dokoutchaev (1846-1903).

A près les sécheresses des années 1873 et 1875 en Russie qui dévastent l'agriculture, **Dokoutchaev** observe que les sols sont liés, dans leur nature et leur répartition, aux facteurs suivants: le **climat, la roche sous-jacente, le relief, le temps et les agents biologiques**

2 . **Sir John Russel** (1872-1965) publie un ouvrage sur la description des relations sols /plantes.

3. Création de **l'Association Internationale de Science du Sol** en 1925



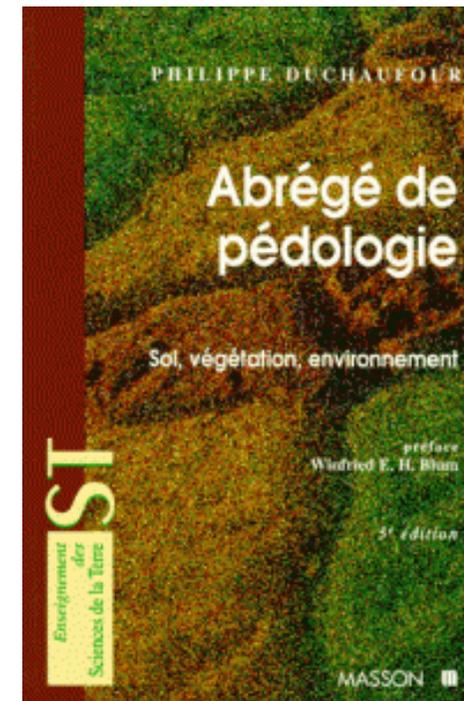
D'autres « écoles de pédologie » se sont développées et **se distinguent par la constitution de « classification » des sols.**

1. Allemagne
2. Chine
3. Etats-Unis
4. France (années 60)

Chacune de ces « écoles » a sa propre typologie adaptée aux théoriciens ou aux praticiens (Agronome – Géographe) , avec à chaque fois un nouveau vocabulaire, de nouveaux critères de diagnostic etc...

Nom à connaître **Philippe Duchaufour,**

Pédologue, début des années 1970.



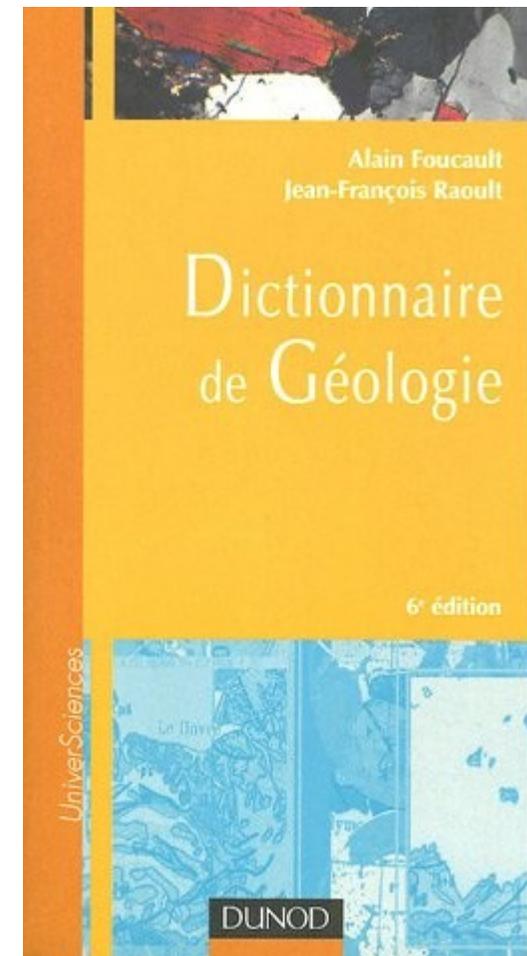
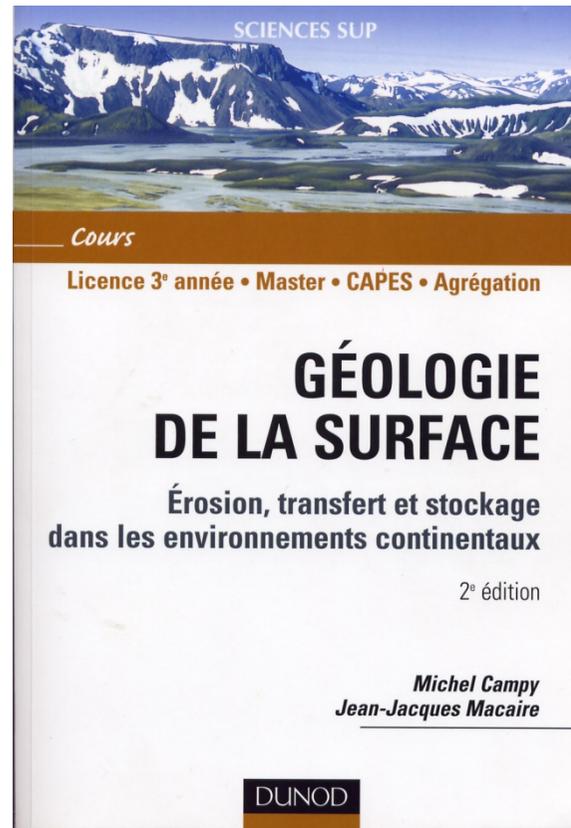
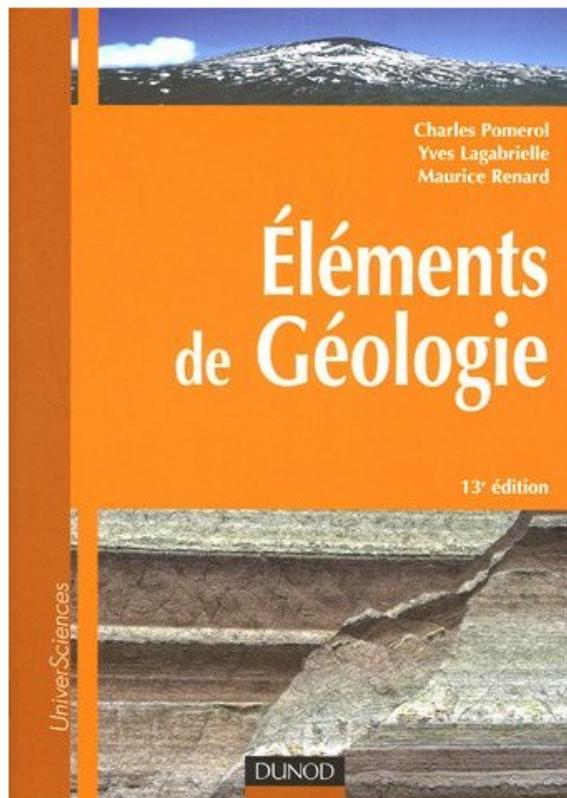
Quelques ouvrages Spécialisés

- Philippe DUCHAUFOR, *Introduction à la science du sol - Sol, végétation, environnement*, Dunod, 2001.

-Jean-Michel GOBAT, Michel ARAGNO, Willy MATTHEY, *Le sol vivant : bases de pédologie -Biologie des sols*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1998.

- E.M. BRIDGES, *World soils*, Cambridge University Press, 3rd ed., 1997.

Quelques ouvrages Généraux



1. Définitions

Définition du Dictionnaire Robert : le sol est « la partie superficielle de l'écorce terrestre [...] formation naturelle de surface à structure meuble , d'épaisseur variable, résultant de la **transformation de la roche-mère sous-jacente** sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques »

Etymol. pédon = sol en grec (là où l'on pose le pied podos)





Végétation

Sol

Altérite

Roche mère

=

Substratum
géologique

Introduction



Le sol contient:

1. **Matières minérales** (roche \pm altérée)
2. **Matières organiques** mortes ou vivantes (= biomasse)
3. Des éléments (particules, éléments dissous et gaz) provenant ou rejoignant **l'atmosphère et l'hydrosphère (H₂O)**

Définition de Jean BOULAINÉ, *Géographie des sols* :

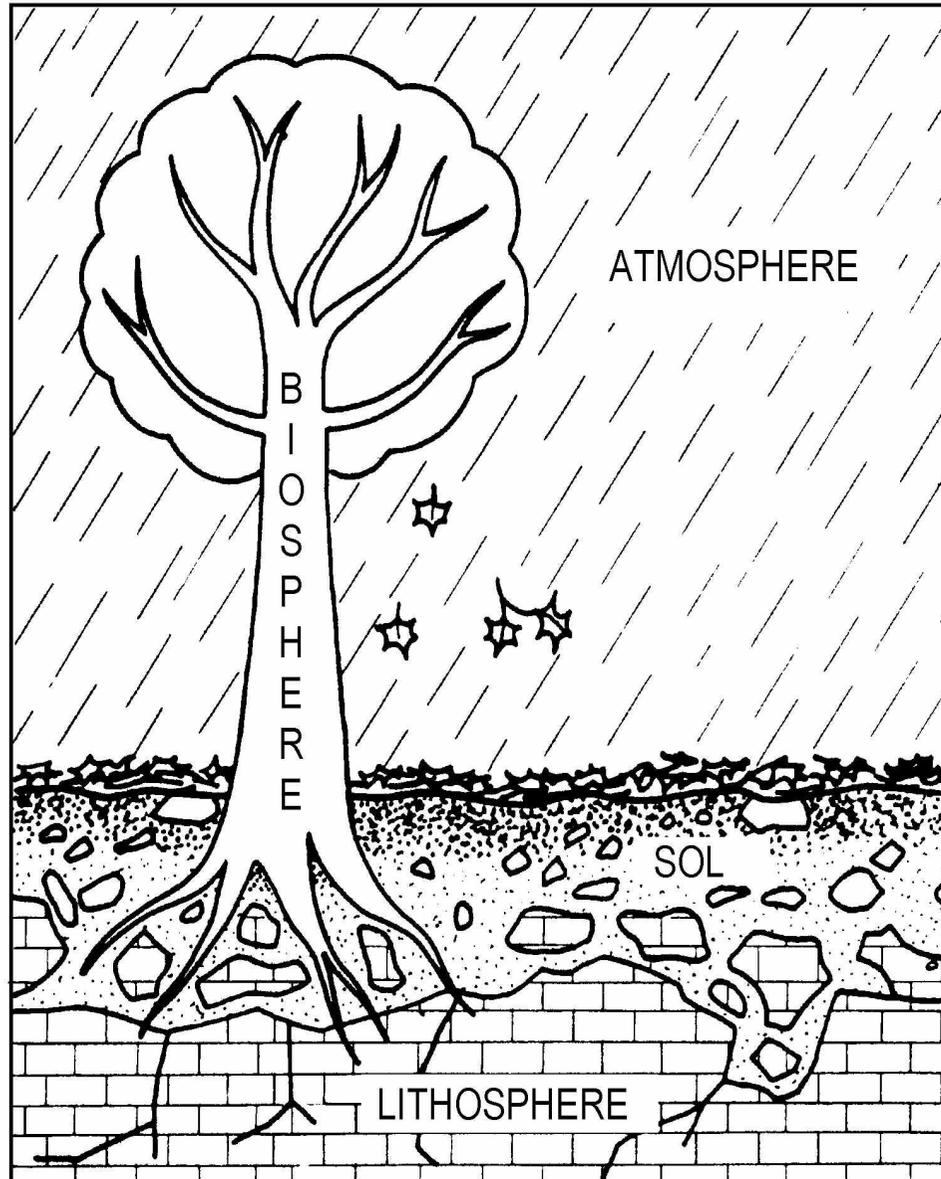
« Le sol est une **structure quadridimensionnelle** (une surface et un volume évoluant dans le temps) dans laquelle persistent ou transitent :

- les résidus et les produits de **l'altération de la couche minérale superficielle du globe,**
- les matières organiques mortes ou vivantes de **la biomasse,**
- les éléments provenant de **l'atmosphère,** soit de façon accidentelle, soit de façon cyclique. »

5 facteurs sont distingués:

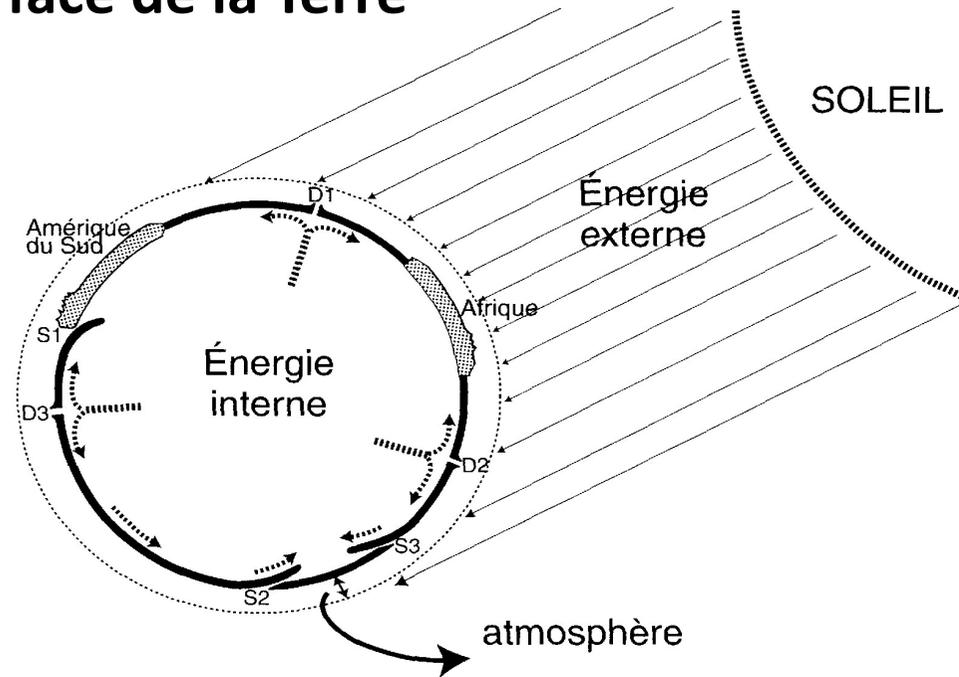
- a. Climat (atmosphère / hydrosphère)
- b. Relief (lithosphère)
- c. Roche-mère (lithosphère)
- d. Temps (aspect dynamique)
- e. Etres vivants (biosphère)

➤ Le sol: une interface entre la lithosphère, l'atmosphère, la biosphère et l'hydrosphère.



d'après Lacoste A. & Salanon R., *El. de Biogéographie et d'Ecologie*, 1969

Mode d'énergie à la surface de la Terre



Énergie interne : convection du manteau et création de reliefs positifs ou négatifs (subduction, collision, chaînes de montagnes).

Énergie externe : le soleil à l'origine de l'érosion (destruction et redistribution des reliefs).

L'eau (hydrosphère) participe aux échanges entre ces deux formes d'énergie (cycle de l'eau) en redistribuant les flux d'énergie sur la surface terrestre (climats).



Atmosphère

Evaporation
Gaz à effet serre

Précipitations
Température



Biosphère

Support mécanique
Support nutritif

Litière
Humification
Structuration
Éléments toxiques



Réserve en eau
Remontée capillaire

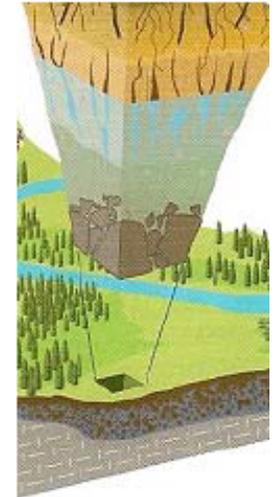
Lessivage
Filtration
Ruissellement
Erosion

Hydrosphère

Sédimentation

Altération
Éléments nutritifs

Lithosphère



A la surface de la lithosphère, **les roches magmatiques et métamorphiques se transforment** en roches sédimentaires (détritiques ou calcaires): **processus d'altération**

L'hydrosphère mobilise les produits de l'altération. Elle transporte et redistribue les éléments disponibles (forme ionique ou particulaire) issus de l'altération sous différents modes : **flux d'altération**

La biosphère interagit avec le flux d'altération en permettant le développement de différentes formes de vie microbienne, végétale, animale.

Le flux d'altération contrôle l'activité biologique (développement des formes de vie microbienne, végétale, animale)

L'activité biologique (Σ réactions physico-chimiques) amplifie ou diminue le flux d'altération (érosion-sédimentation).

Le sol est un bon exemple de cette **boucle de rétro-action**

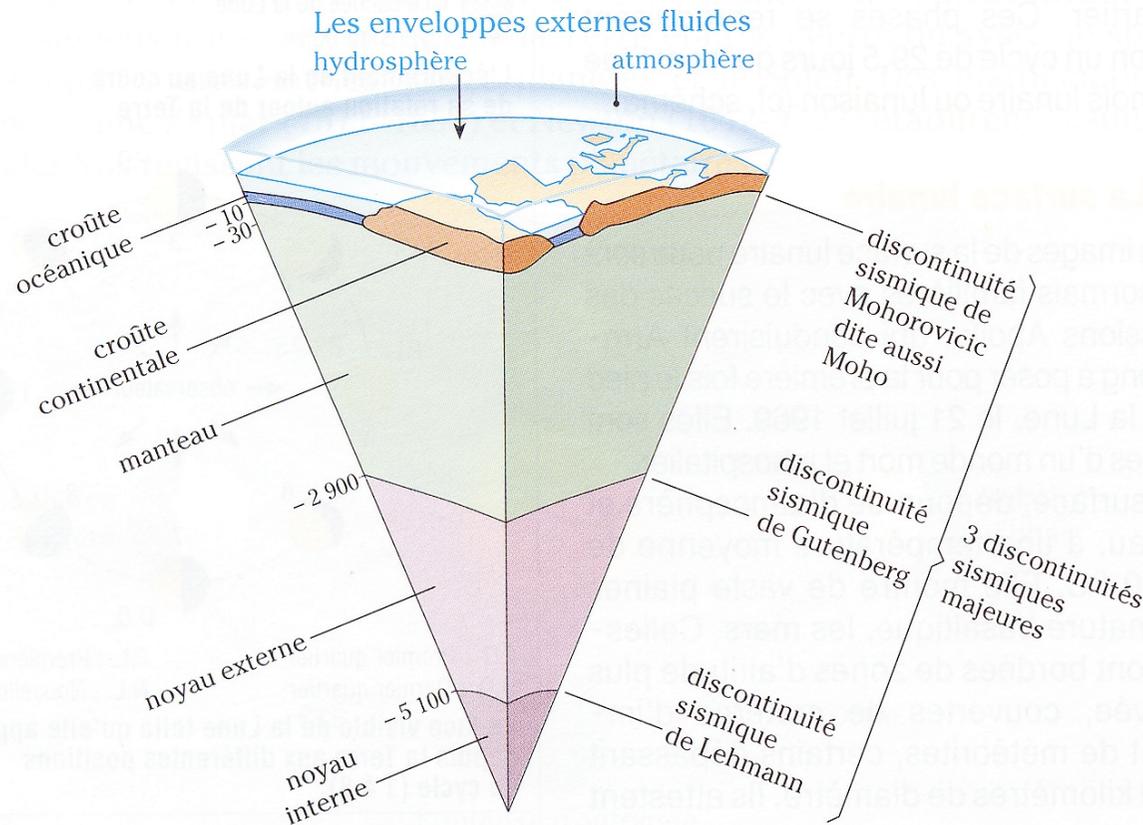
➤ **Le sol est un compartiment dynamique de la Terre**

a. contexte géodynamique global

b. contexte géologique temporel

c. contexte géographique climatique

Le sol dans le contexte géodynamique global



Beaux & Mamecier, 1994

La masse de la Terre (mT) est estimée à **$5,9736 \times 10^{24}$ kg**

Atmosphère = 5×10^{18} kg, soit **1/1 200 000** de la mT ou **0,00008 %**

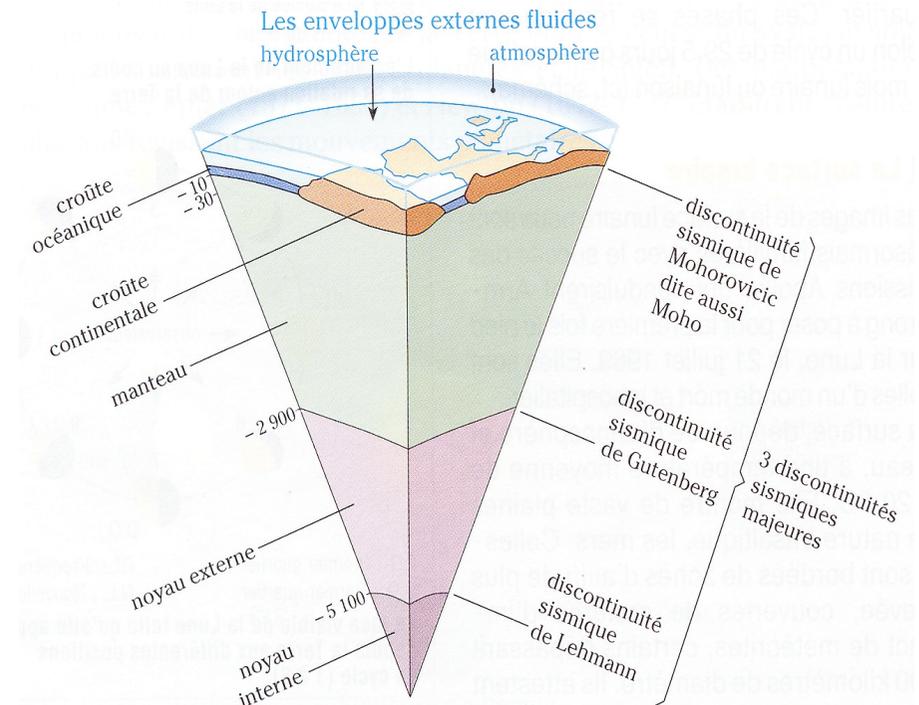
Hydrosphère = $1,4 \times 10^{21}$ kg, soit **0,023 %** de la mT

Croûte continentale = $2,1 \times 10^{22}$ kg, soit **0,37 %** de la mT **incluant les sols**

Croûte océanique = $5,9 \times 10^{21}$ kg, soit **0,1 %** de la mT

Manteau = $4,01 \times 10^{24}$ kg, soit **68 %** de la mT

Noyau = $2,24 \times 10^{24}$ kg, soit **31 %** de la mT



Avec les sols, la croûte continentale = 0,37 % de la masse de la Terre

- Epaisseur moyenne de la croûte continentale (CC) = 30 km

- Epaisseur de sols varient de 0 à maximum 300 m

- En moyenne les sols ont une épaisseur = **30 cm**

➤ le sol représente **0,001 % de la CC**

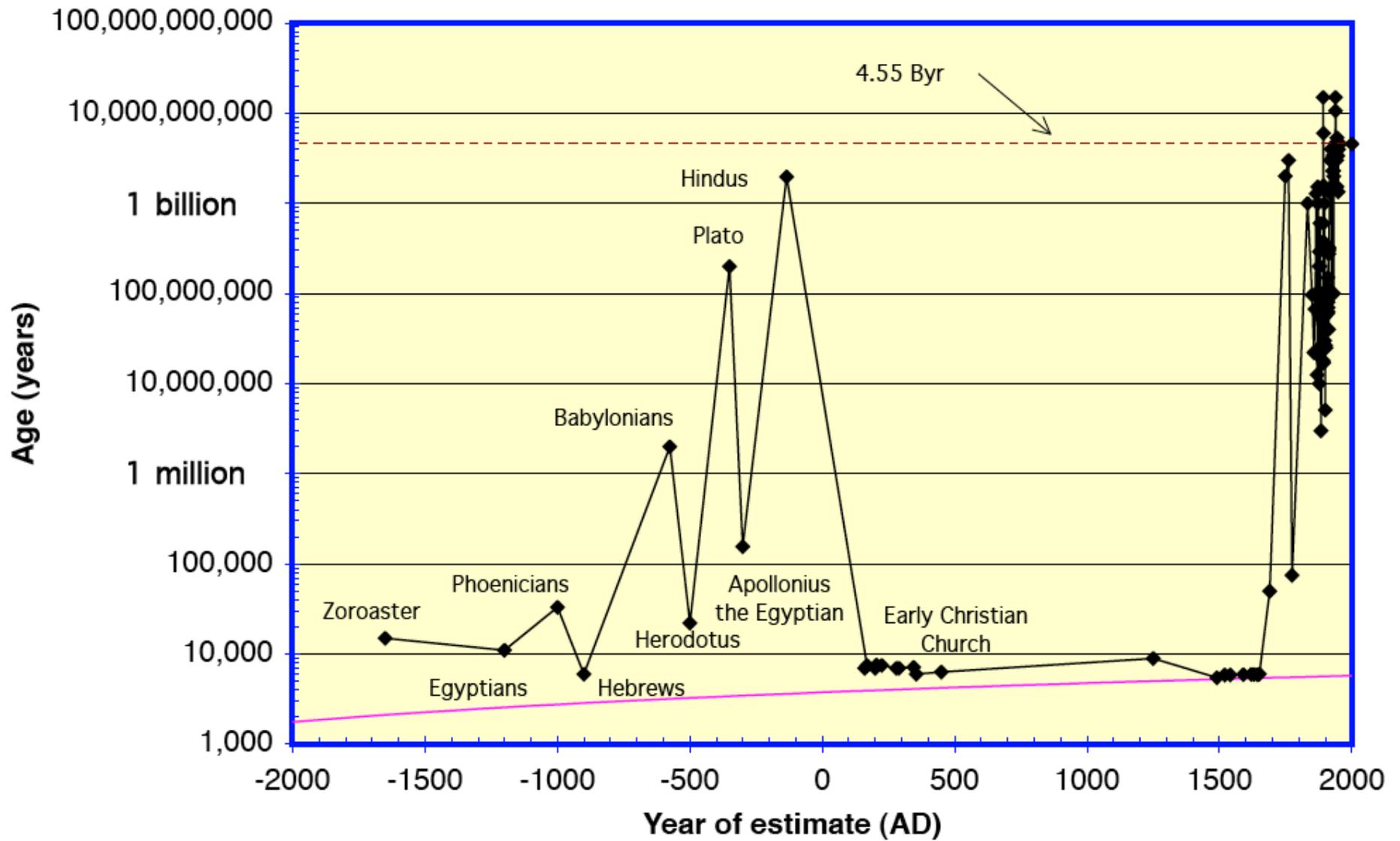
soit = **0,00037 % (i.e. 3,7 ppm) de mT !! APPROXIMATION MAXIMALE !!!!!**

Composante ténue et fragile du système Terre (étudiée par la géologie de surface)

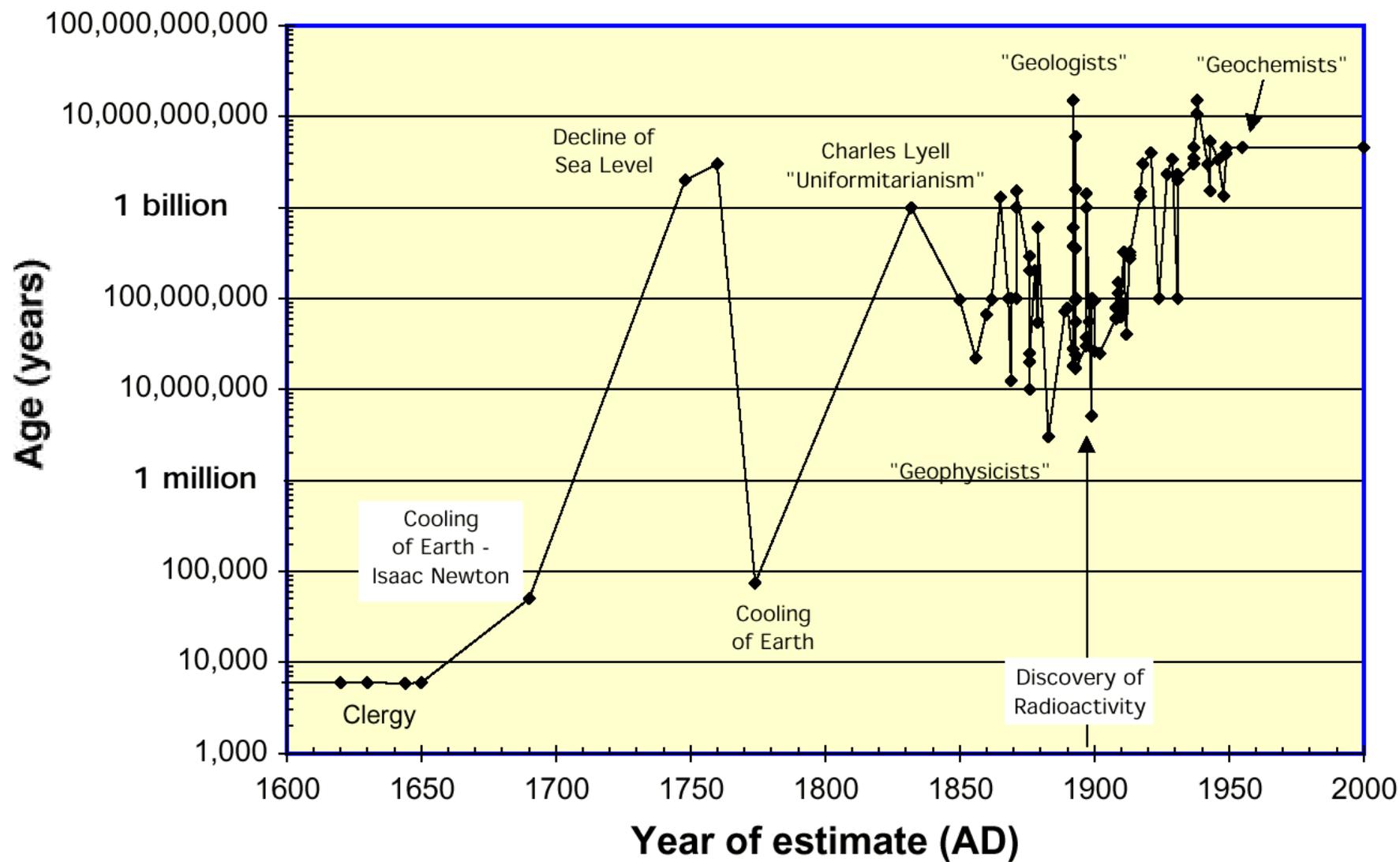
Le sol dans le contexte temporel géologique

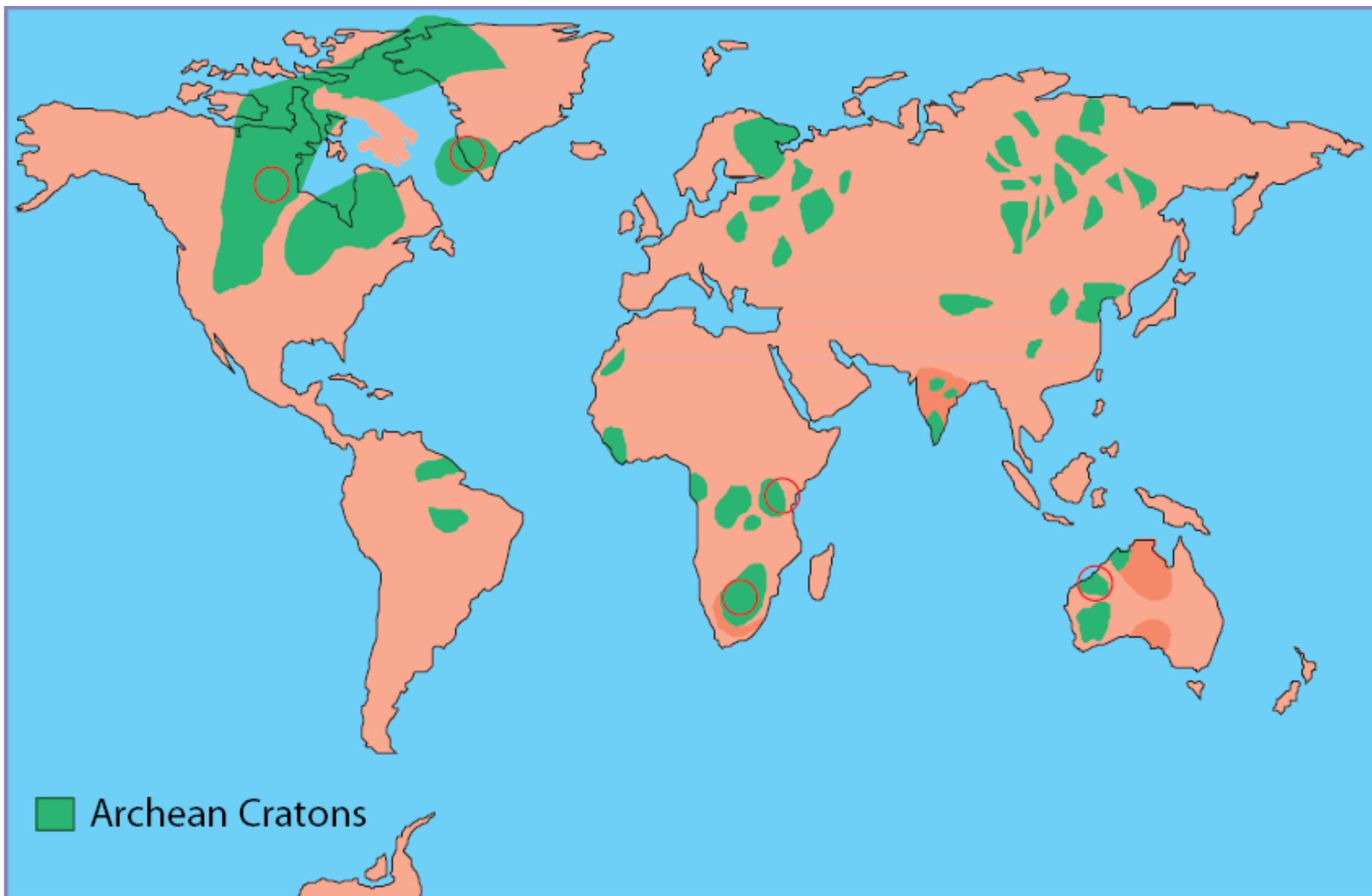
Echelle des temps géologiques				
Eon	Ere	Periode	Epoque	Date (millions d'années)
Phanérozoïque	Cénozoïque	Quaternaire	Holocène	0,01
			Pleistocène	1,8
		Tertiaire	Pliocène	5,3
			Miocène	23
			Oligocène	34
			Eocène	56
			Paléocène	65
	Mésozoïque	Crétacé	145	
		Jurassique	199	
		Triassique	251	
	Paléozoïque	Permien	299	
		Carbonifère	359	
		Dévonien	416	
		Silurien	443	
Ordovicien		488		
Cambrien		542		
Précambrien	Protérozoïque		2500	
	Archéen		4600	

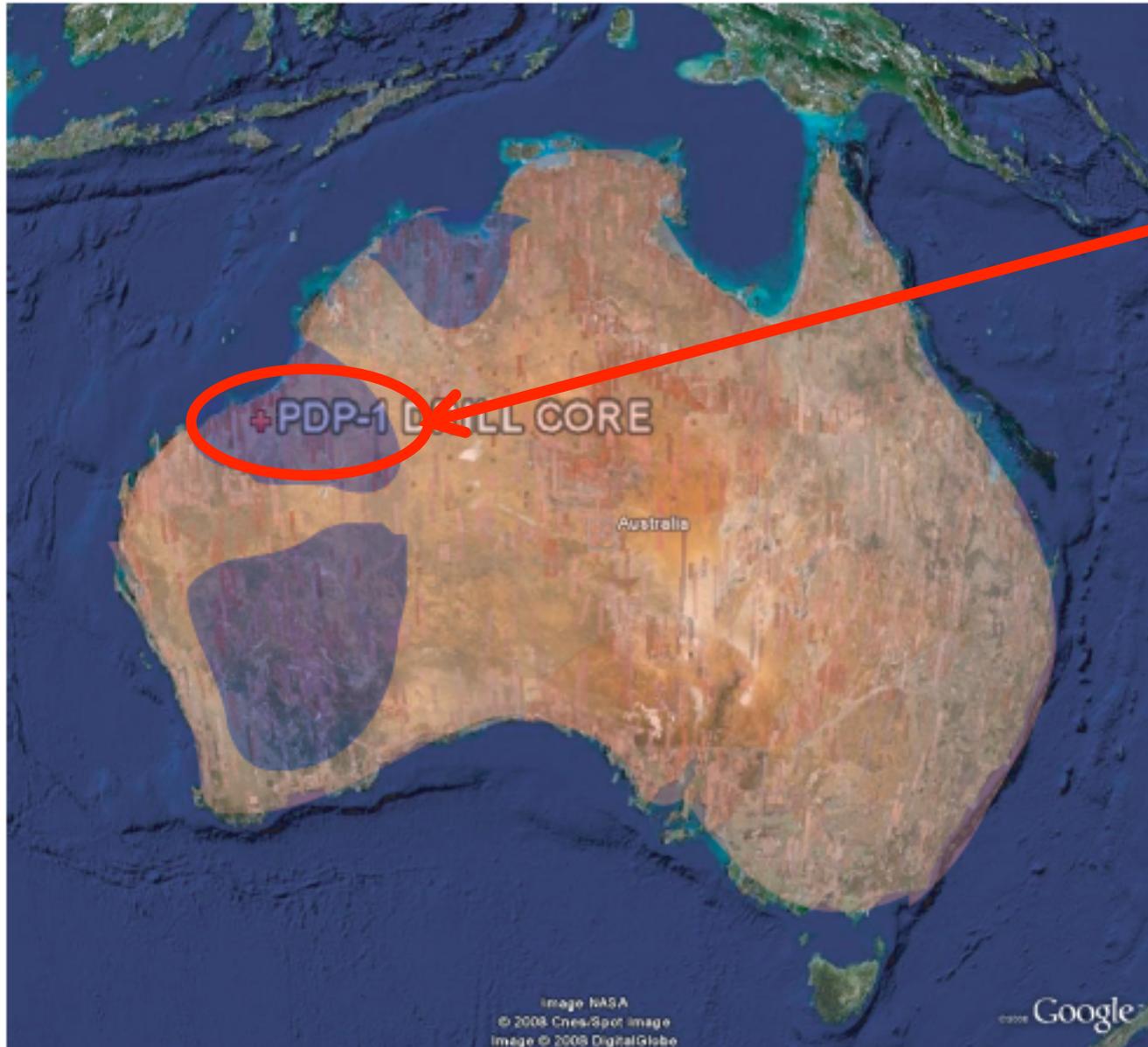
Age of Earth vs Year of Estimate



Age of Earth vs Year of Estimate







Craton Australien
Pilbara
3,5 – 2,1 Ga



Mt Roe Basalt
~ 2,7 Ga

Interaction sol / atmosphère - hydrosphère



Craton Sud-Africain
Barberton
3,5 – 2,9 Ga



Paléosol
Mozaan Group
~ 2,9 Ga

Interprétation basée sur l'observation d'indice d'altération – transformation de la roche mère



Mt Saint Helens (Washington, Portland), 18 Mai 1980
Vitesse de la coulée ~ 100 Km/h, Temperature > 400°C.



Ignimbrite

Tronc d'arbre

Préservation du sol par enfouissement rapide sous une coulée pyroclastique

Le sol dans le contexte temporel fonctionnel

La Soufrière – Volcan Actif – Guadeloupe / Basse Terre



- Coulée basaltique récente (1977)



- Coulée basaltique plus ancienne

➤ Installation d'un sol ou **Pédogenèse** ~ 10 000 ans

➤ **Variation saisonnière liée au climat** (exemple d'une croûte de battance)



2a

Forte présence de matière organique

Gros agrégats de terre, pas de croûte de battance



2b

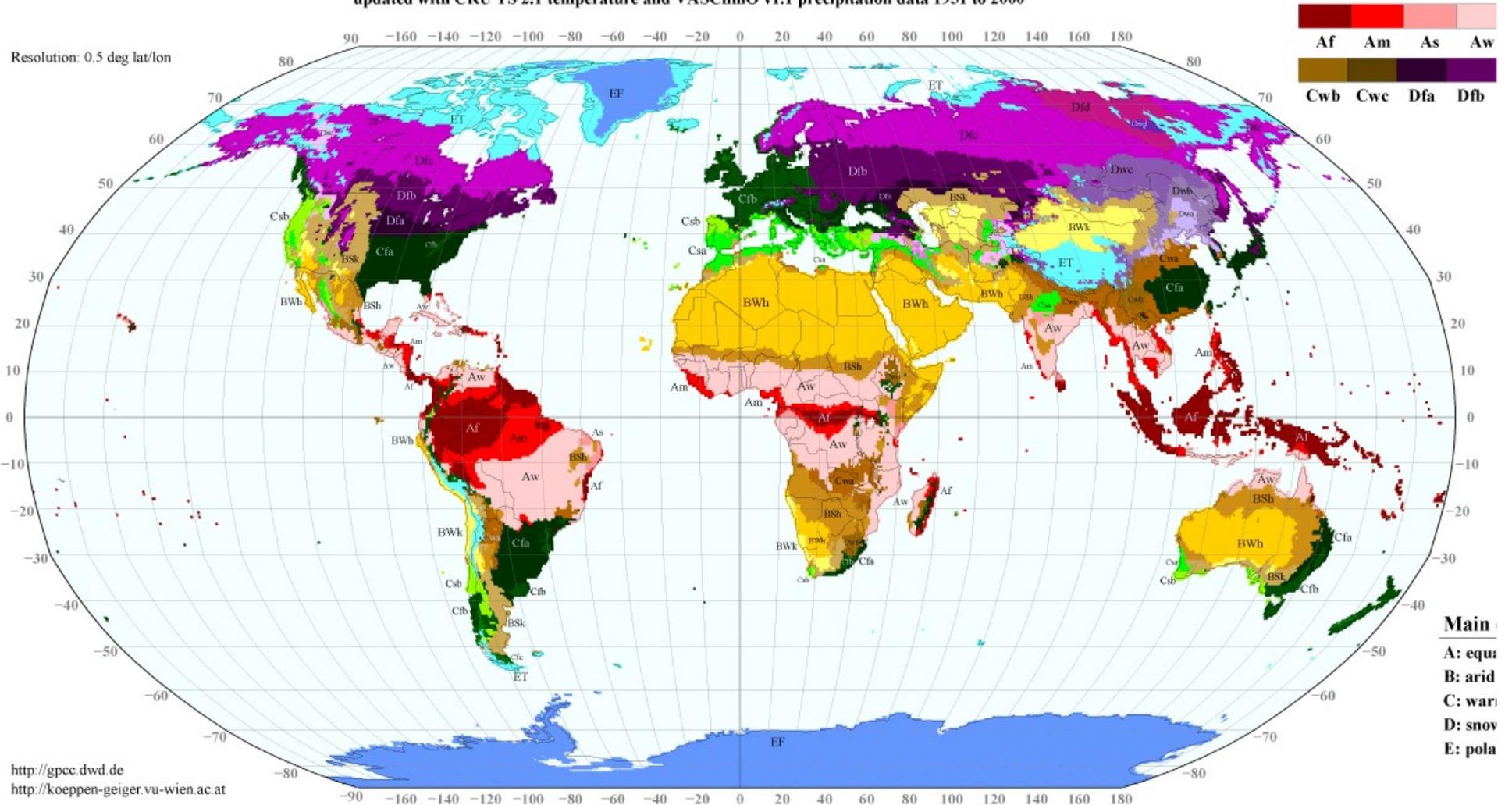
Impacts de gouttes de pluie

Croûte de battance, déjà formée en octobre

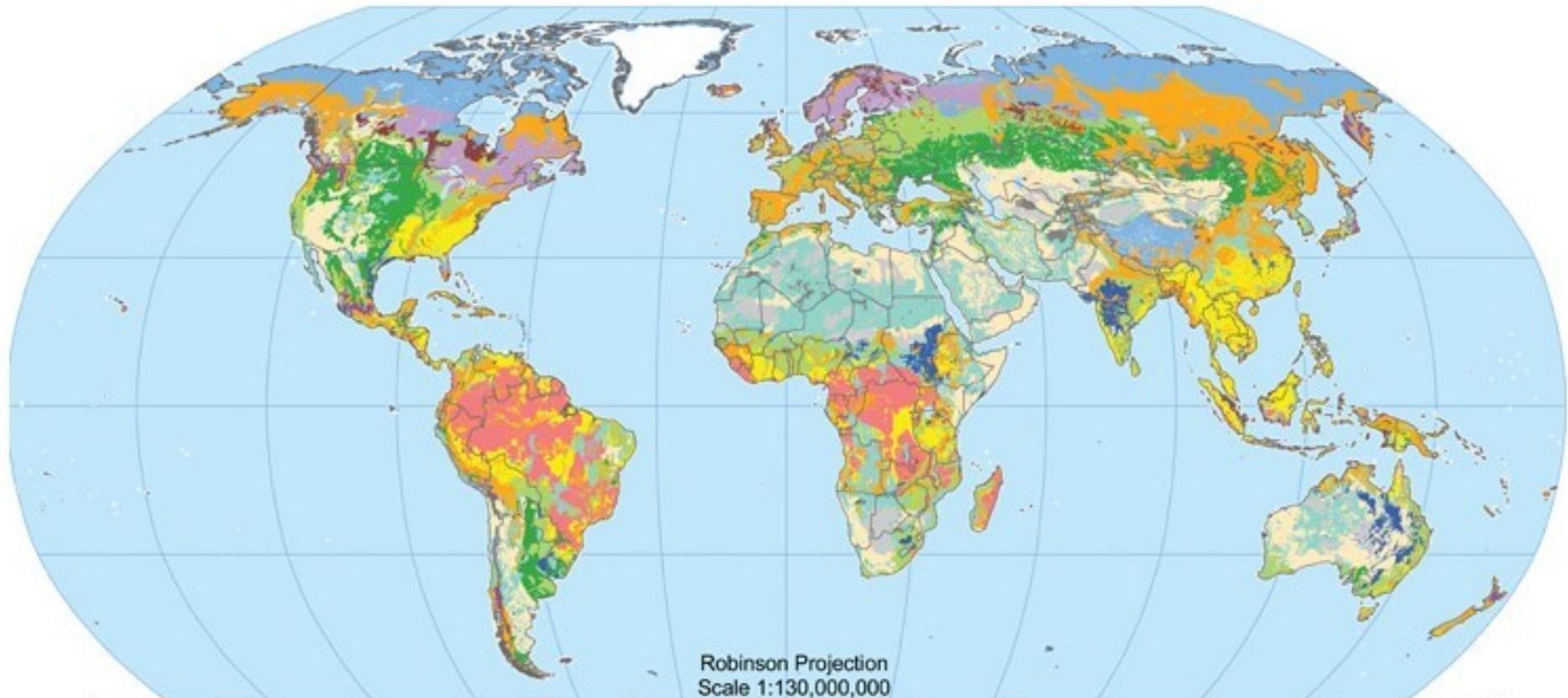
Le sol dans le contexte géographique

World Map of Köppen–Geiger Climate Classification

updated with CRU TS 2.1 temperature and VASCLimO v1.1 precipitation data 1951 to 2000

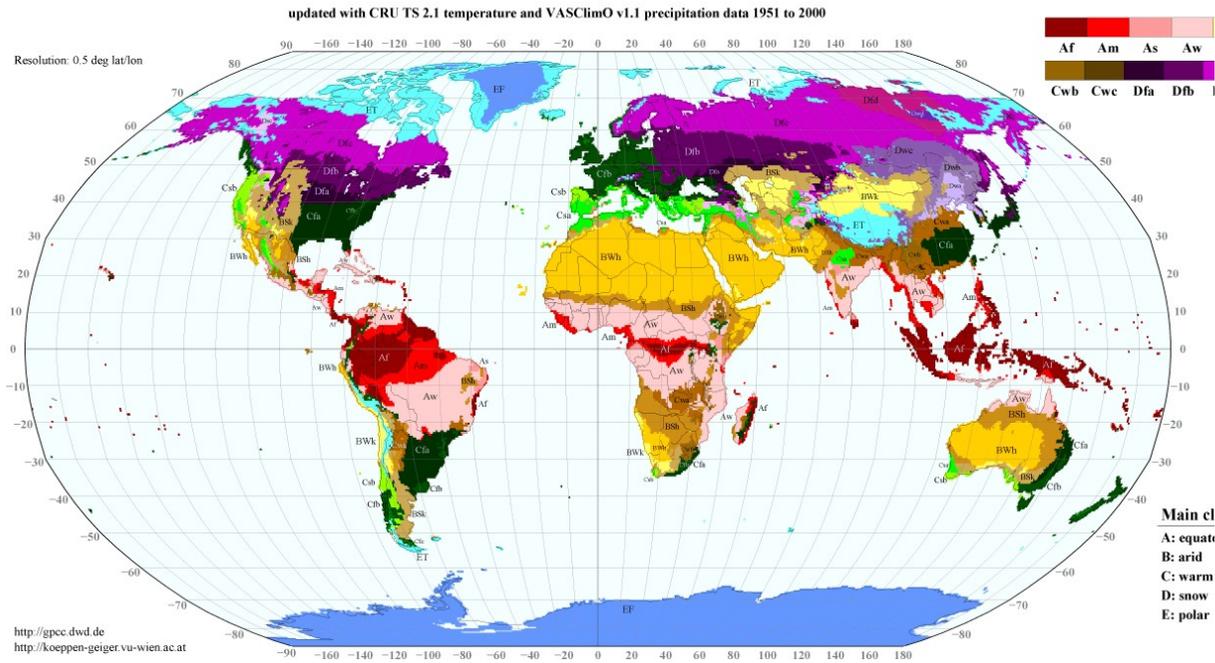


Global Soil Regions

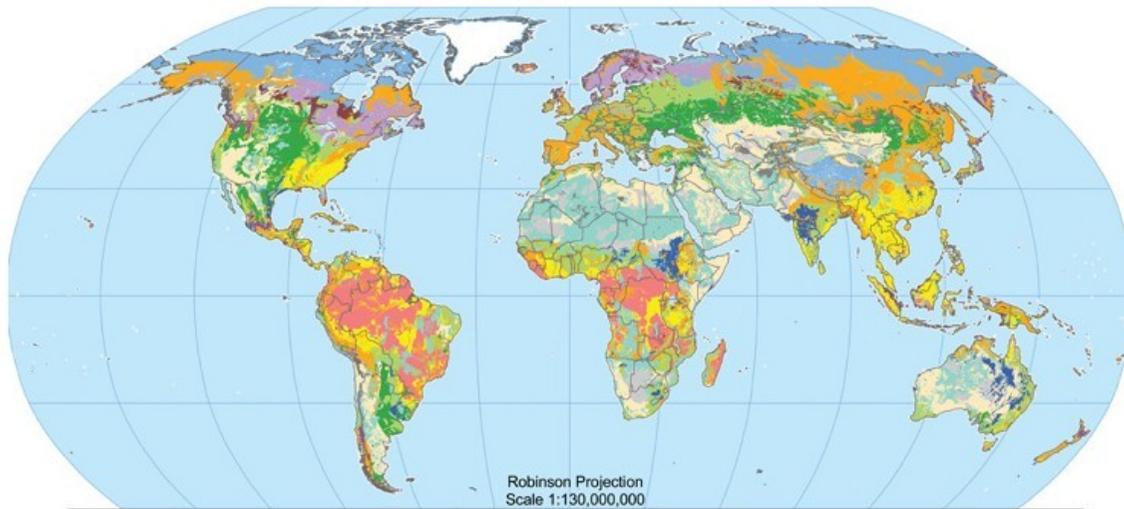


Soil Orders

 Alfisols	 Entisols	 Inceptisols	 Spodosols	 Rocky Land
 Andisols	 Gelisols	 Mollisols	 Ultisols	 Shifting Sand
 Aridisols	 Histosols	 Oxisols	 Vertisols	 Ice/Glacier



Global Soil Regions



Soil Orders				
Alfisols	Entisols	Inceptisols	Spodosols	Rocky Land
Andisols	Gelisols	Mollisols	Ultisols	Shifting Sand
Aridisols	Histosols	Oxisols	Vertisols	Ice/Glacier

Climat humide = Sols ferrugineux ou Oxisols (sols rouges)



(c)Kurty.net
2006

Climat humide/sec = Cuirasse ferrugineuse

Laterite



Climat méditerranéen ou tropical sec = Vertisol (smectites ou argiles gonflantes)

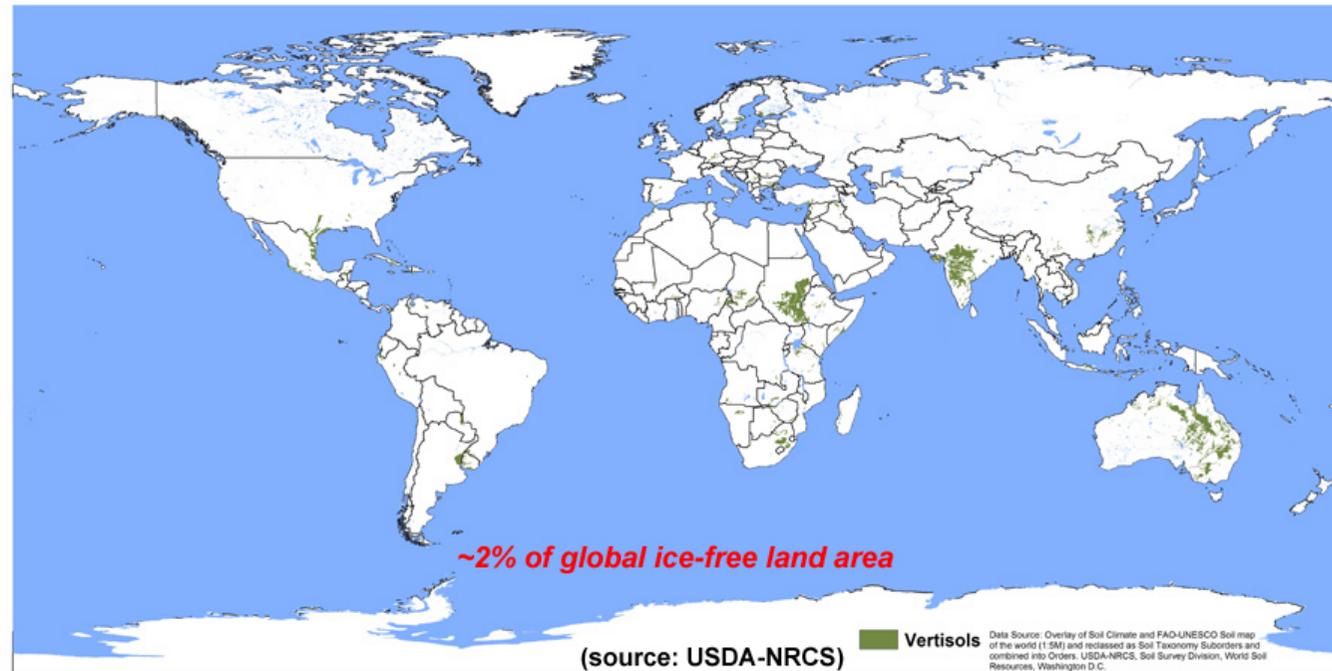
Sol caractéristique de ce type de climat: climat chaud à fortes alternances saisonnières dont une saison sèche très marquée



Vertisol



Global Distribution of Vertisols



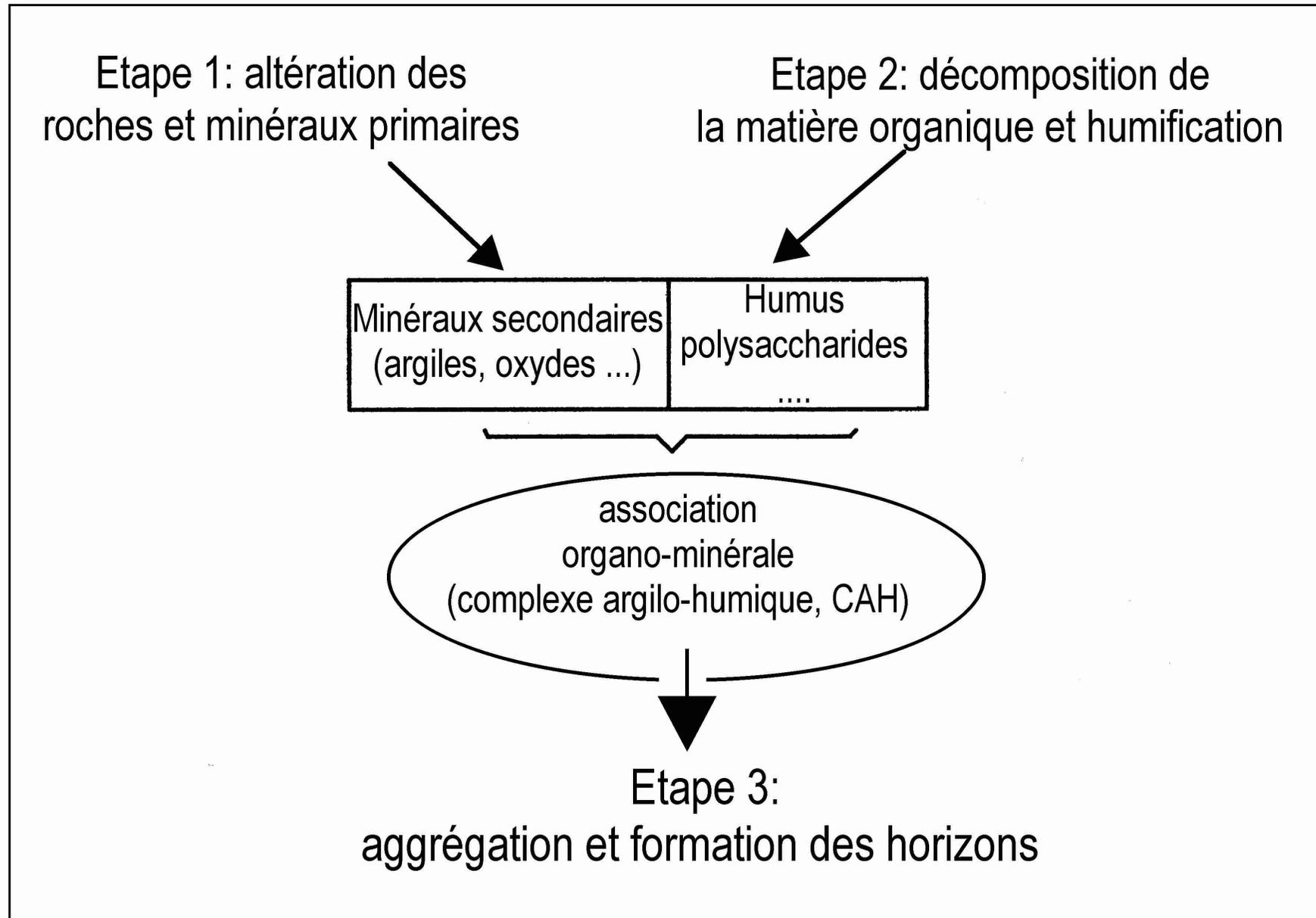
Climat tempéré = Sol riche



Climat froid = Sol blanc / Podzol



Principales étapes de la formation des sols



d'après M. Robert, le sol: interface dans l'environnement, ressources pour le développement (1996)

Plan du cours Pédologie – Science du Sol / L2 – S3 géographie

A. Introduction

- définitions
- contexte géodynamique et temporel
- contexte géographique

B. Constituants Minéraux du sol

- Les roches mères ou le matériel parental (nature et origine, autochtones/allochtones)
- Formation de l'altérite (désagrégation mécanique, chimique, transformations, ...)
- Les argiles constituants importants de la matrice minérale
- Propriétés physiques des sols (texture, structure)

C. Constituants Organiques du sol

- Nature et origine des matières organiques du sol (MOS), humus et bilan
- Transformations des MOS dans le sol
- Principaux facteurs intervenants dans la dégradation des MOS

D. Formation des horizons pédologiques

- mécanisme de formation
- classification simple des horizons pédologiques

E. Facteurs contrôlant la pédogenèse

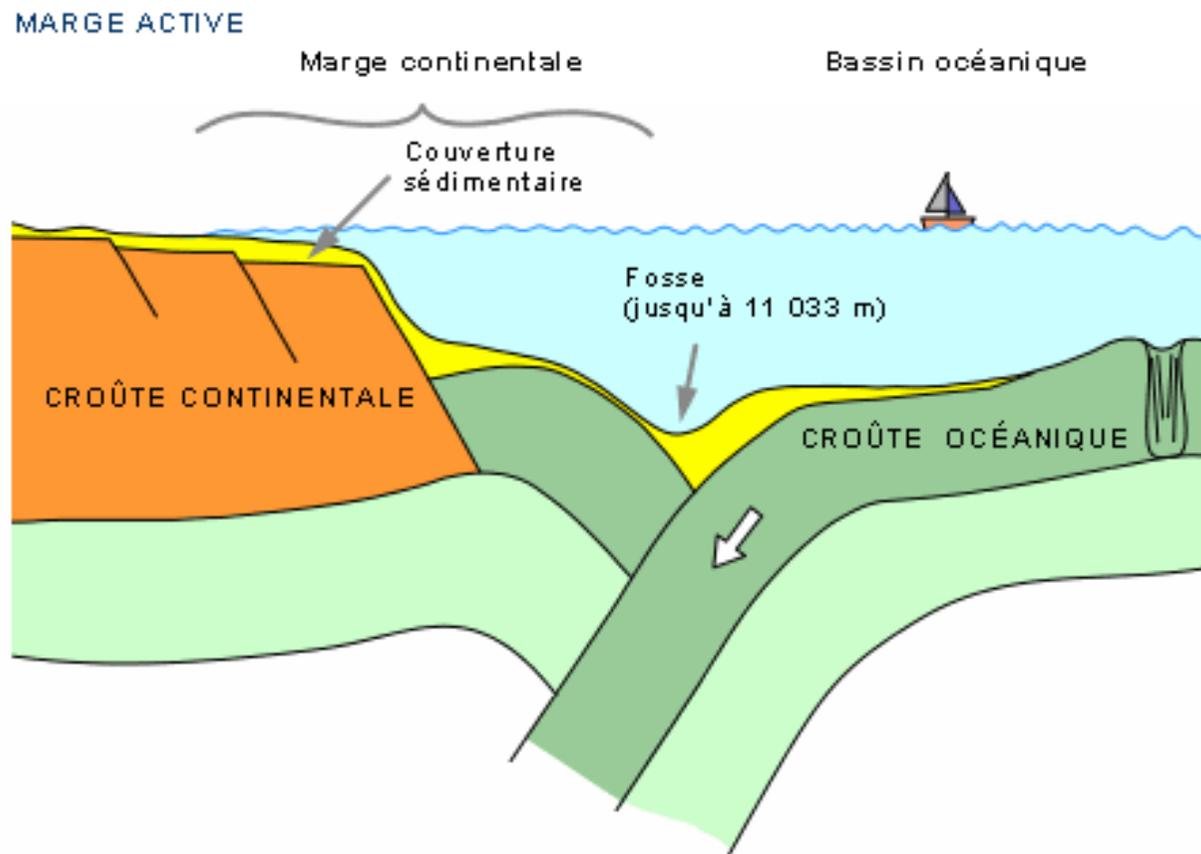
- Facteurs généraux
- Facteurs locaux

Les constituants minéraux du sol

➤ La matrice minérale du sol est héritée des roches de la **croûte continentale**

- 3 principaux types de roches : les roches magmatiques, sédimentaires et métamorphiques

1. Les roches magmatiques (consolidation des magmas)



➤ Exemples de roches magmatiques

- Basalte (orgue)



En surface = éruptive

- Granite



En profondeur = Ignée

➤ Exemples de roches magmatiques

- Basalte



En surface = éruptive

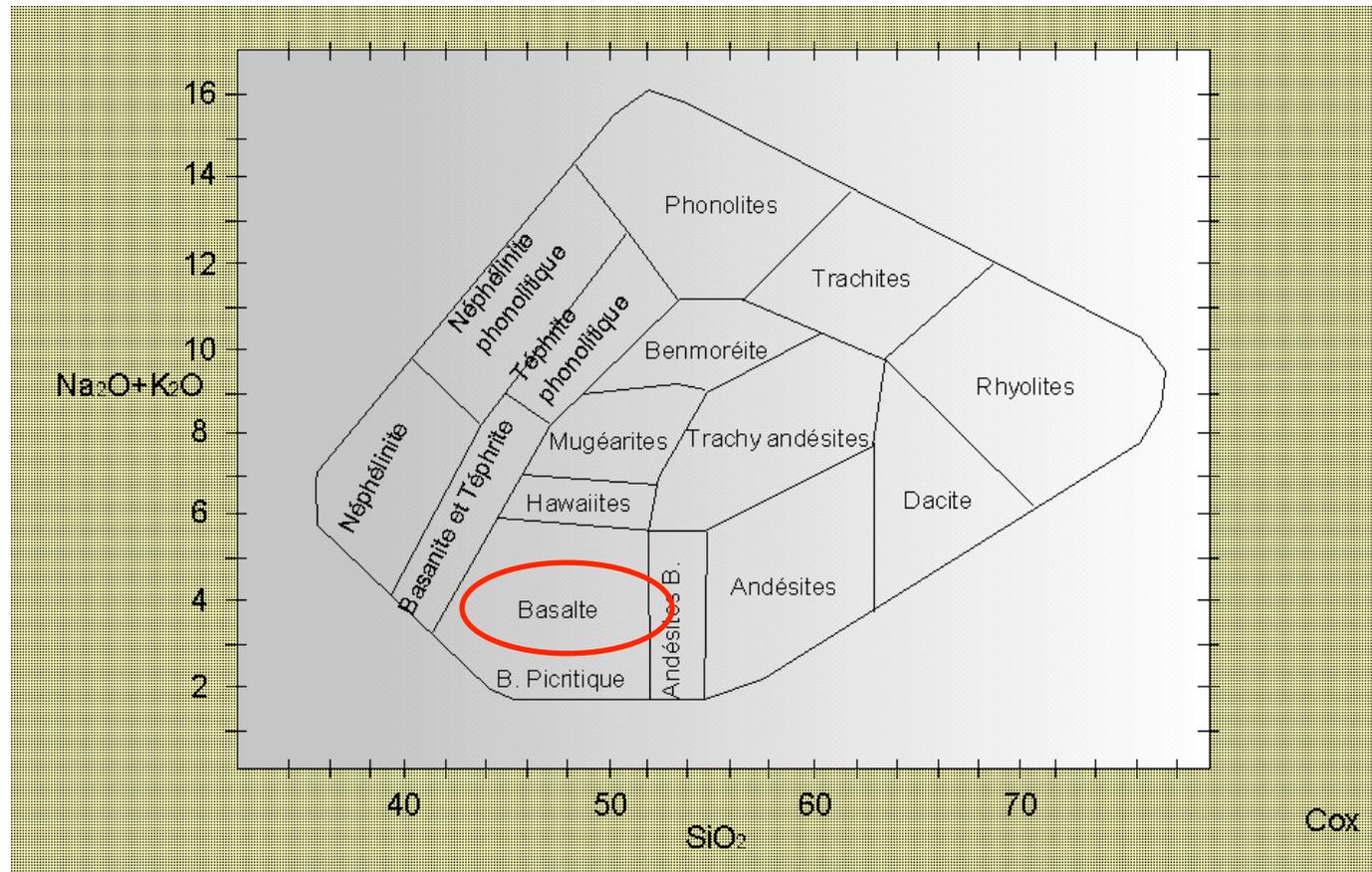
- Granite



En profondeur = Ignée

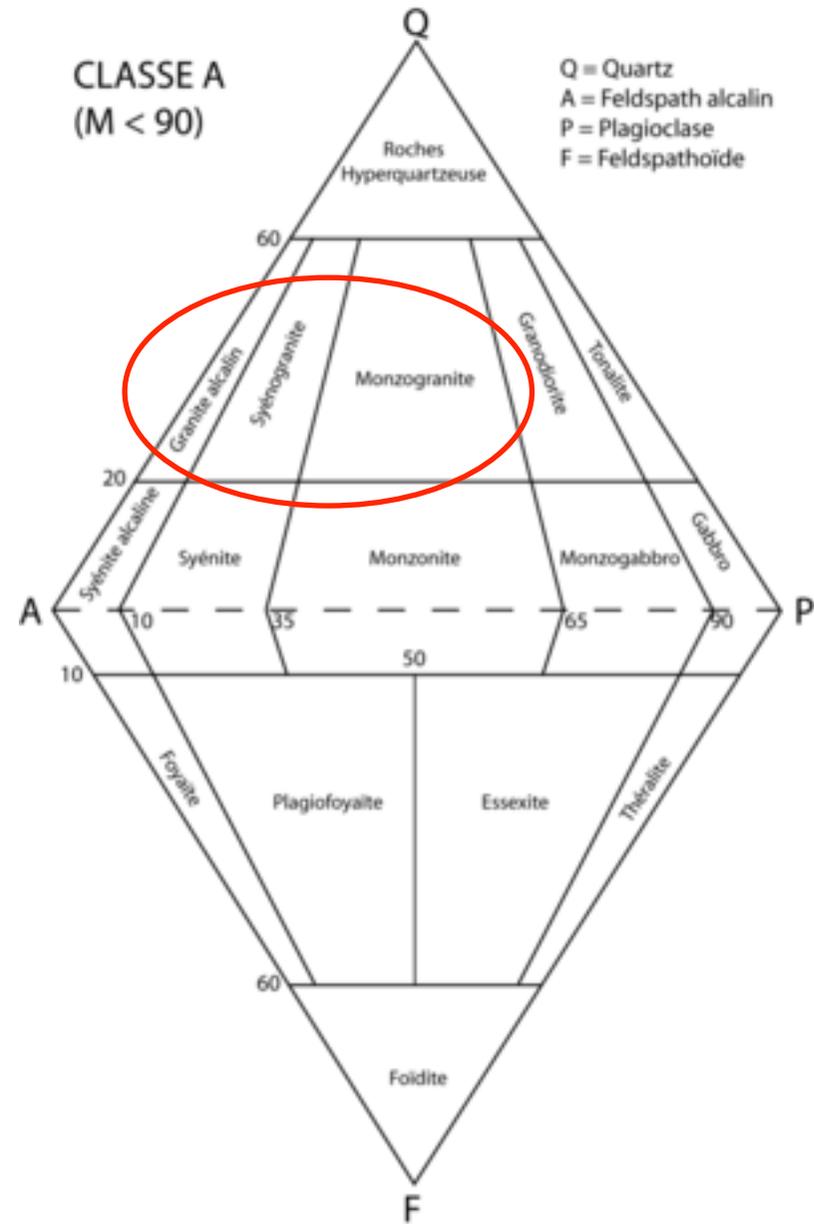
➤ Exemples de roches magmatiques

Classification des roches éruptives



➤ Exemples de roches magmatiques

Classification des roches ignées



2. Les roches sédimentaires se forment à la surface de la croûte terrestre ou océanique.

Elles sont issues :

- soit des processus d'érosion, de transport et de sédimentation (roches sédimentaires détritiques)
- soit d'accumulations ou de précipitations d'origine biologique ou physico-chimique dans les océans (calcaires, roches siliceuses, évaporites, etc)

➤ Exemples de roche sédimentaire



- Carbonates (CaCO_3)

➤ Exemples de roche sédimentaire

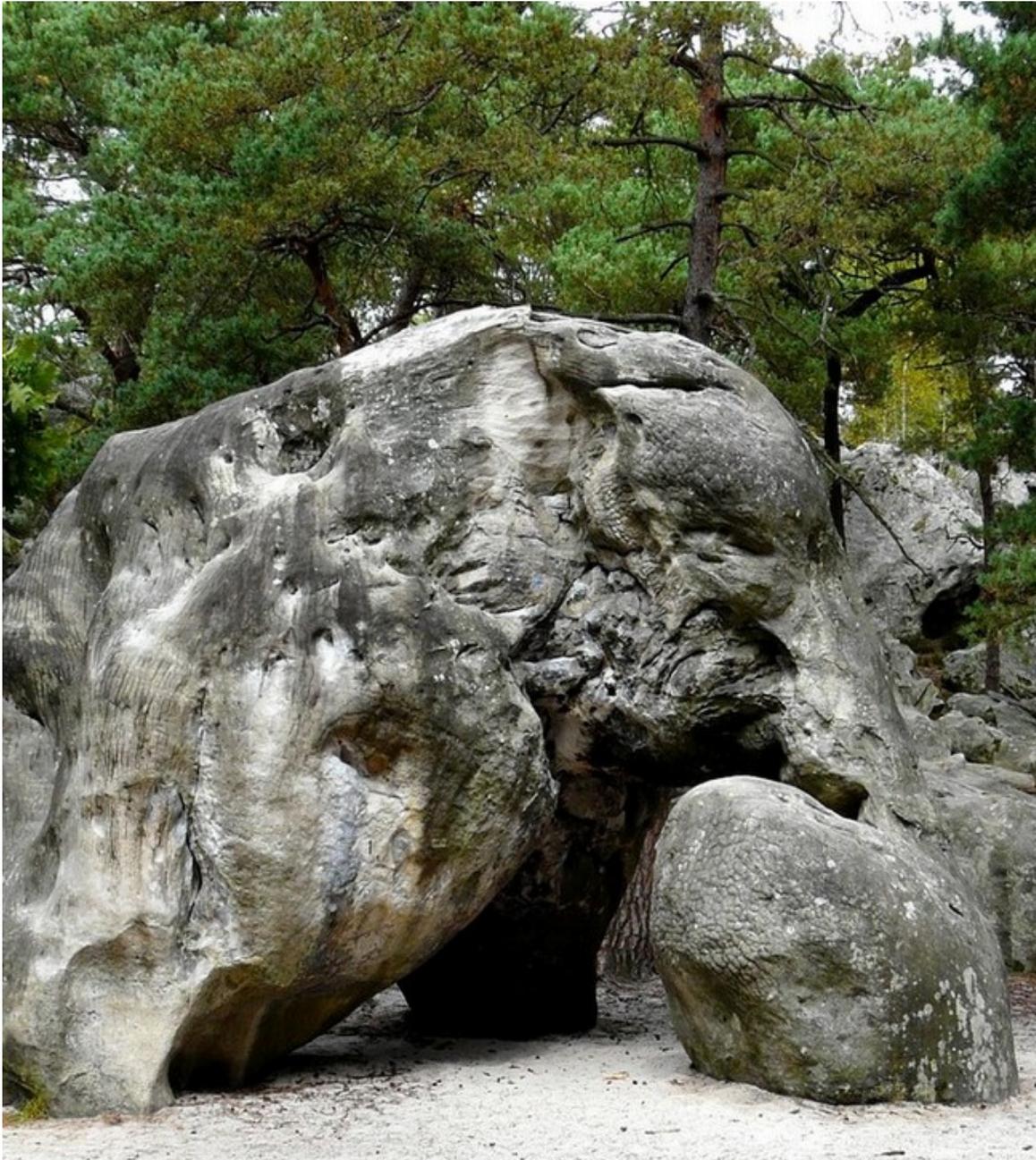


• Carbonates (CaCO_3)

➤ Formation par accumulation de coquilles carbonatées – dans les océans

(exemple foraminifères)

➤ Exemples de roche sédimentaire détritique : Grès/sable (SiO_2 , sous la forme de quartz)

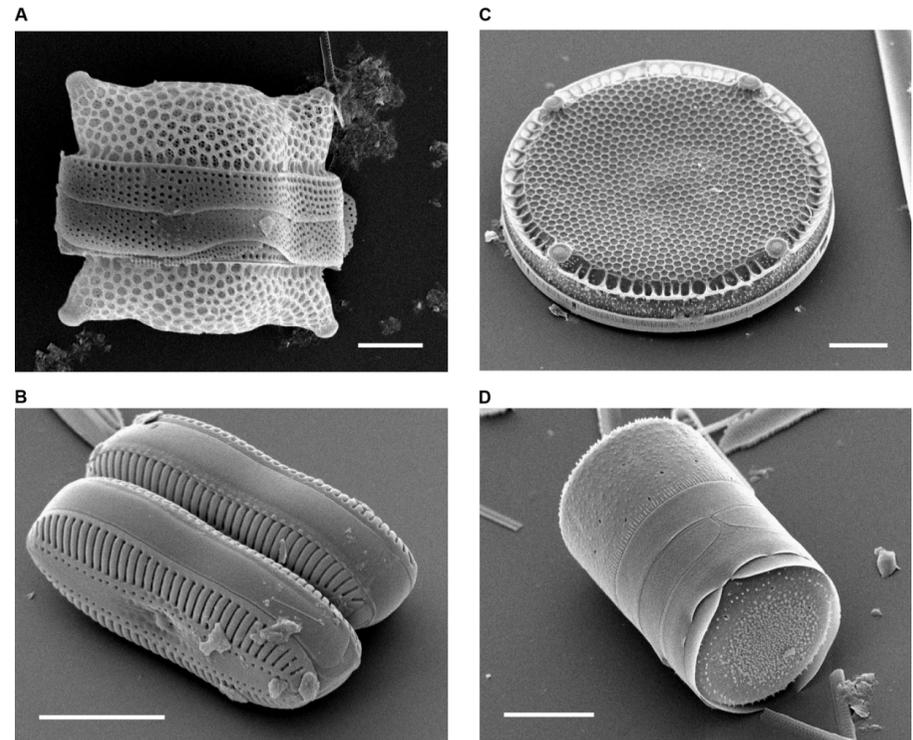


➤ Exemples de roche sédimentaire accumulation de squelettes siliceux d'algues marines ou lacustres (diatomées)

➤ échantillon de diatomite



➤ Formation par accumulation de tests siliceux SiO_2 (diatomées, photo MEB ci-contre) – dans les océans ou les lacs



➤ Exemples de roche sédimentaire physico-chimiques : les évaporites



Cristallisation d'évaporites à Death Valley
<http://www.marlimillerphoto.com/>



« L'eau de la Mer morte, saturée en sel, précipite des évaporites, ... »
<http://christian.nicollet.free.fr>



Rose des sables
Tunisie

Le Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) est un minéral qui précipite dans les milieux évaporitiques avec la Halite (NaCl , photos ci-dessus).

➤ le gypse résulte d'un processus de précipitation chimique au cours de l'évaporation de solutions salines comme l'eau de mer (séquence évaporitique)

Classification des roches sédimentaires

