

# ***Géologie Générale***

## ***Géotechnique et Génie Civil GGC3***

***Stéphane SCHWARTZ***  
***ISTerre - Polytech Grenoble***

# ***Géologie Générale***

## ***Géotechnique et Génie Civil GGC3***

***Stéphane SCHWARTZ***  
***ISTerre - Polytech Grenoble***

### **Partie 1. Les matériaux de l'écorce terrestre**

#### **1. Les constituants des roches**

- 1-1. La notion de roche
- 1-2. Qu'est-ce qu'un minéral
- 1-3. Comment déterminer les minéraux d'une roche
- 1-4. Les principaux minéraux

#### **2. Les roches magmatiques**

- 2-1. Mécanismes de fusion
- 2-2. Processus de cristallisation
- 2-2. Structure des roches magmatiques
- 2-3. Classification des roches magmatiques

#### **3. Les roches sédimentaires**

- 3-1. Définition et cycle sédimentaire
- 3-2. Roches sédimentaires détritiques
- 3-3. Roches sédimentaires biochimiques et chimiques
- 3-4. Environnements de dépôt

#### **4. Les roches métamorphiques**

- 4-1. Définition du métamorphisme
- 4-2. Minéraux index et grilles pétrogénétiques
- 4-3. Paragénèse et faciès
- 4-4. Nomenclature
- 4-5. Relation avec les contextes géodynamiques

#### **5. Les propriétés géotechniques des roches**

- 5-1. Propriétés mécaniques d'une roche
- 5-2. Comportement mécanique d'un massif
- 5-3. La roche : matériaux de construction

***Géologie Générale***  
***GGC 3***

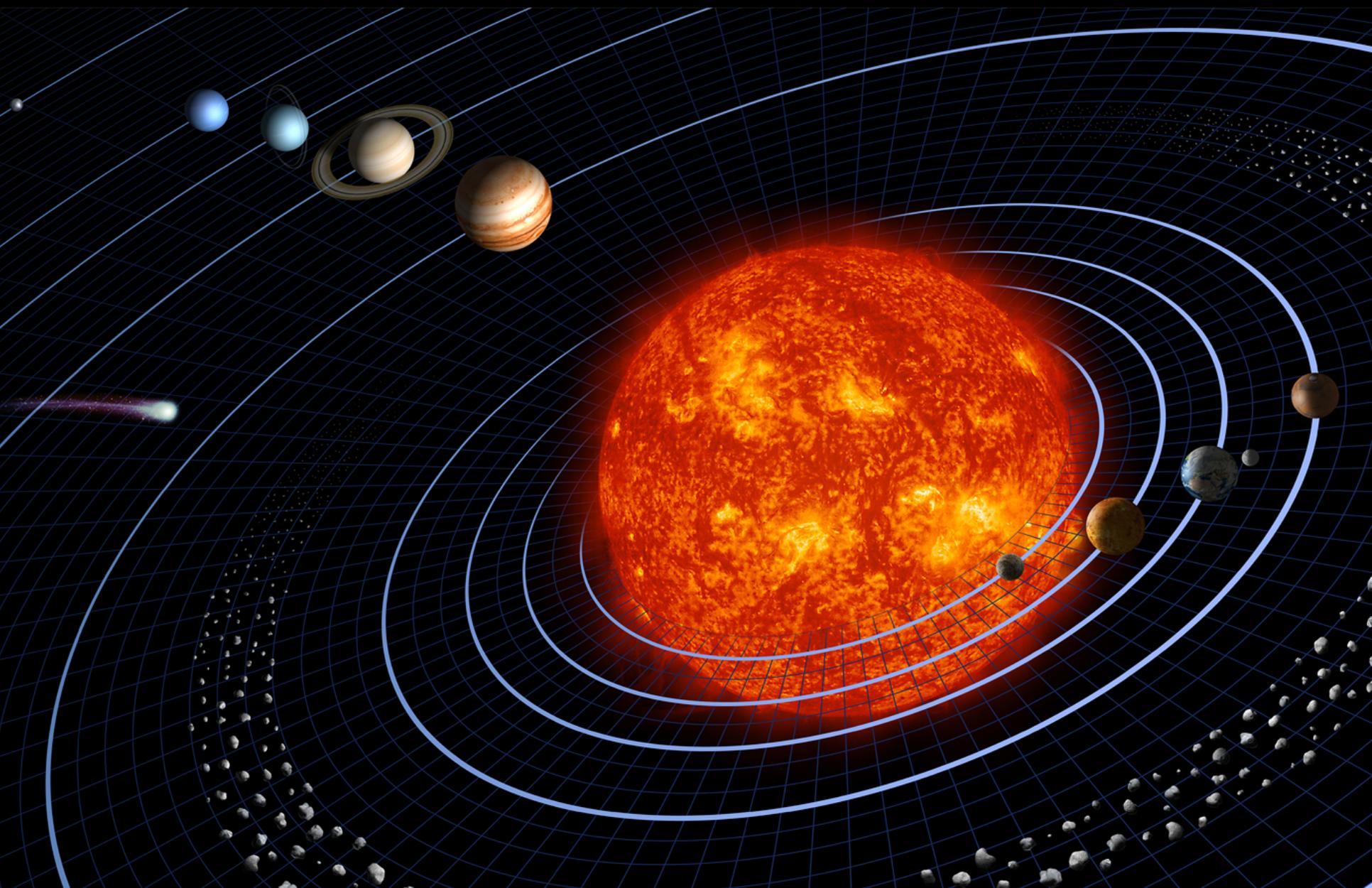
**→ Introduction**

**→ Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

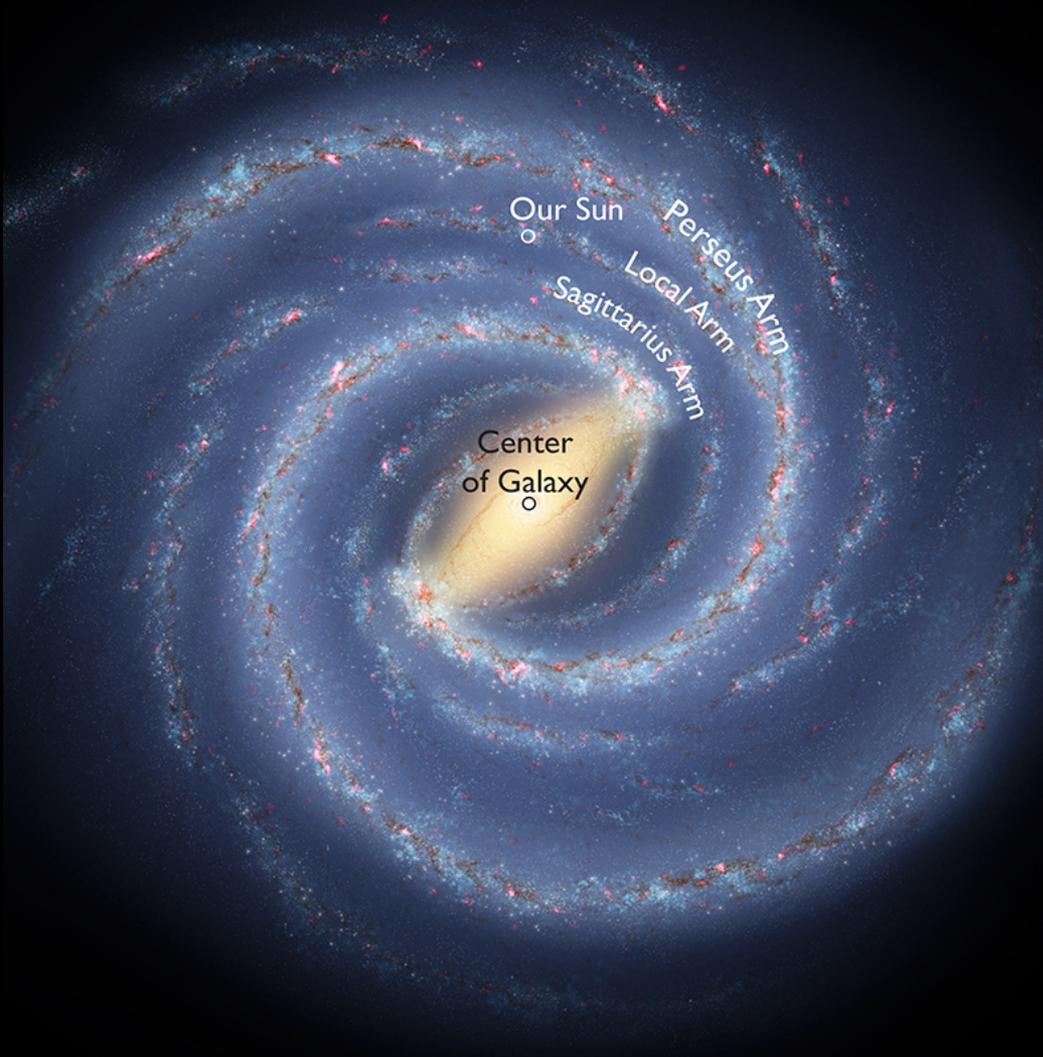
**→ Partie II. Structure du globe**

**→ Partie III. Géodynamique interne**

LA TERRE est une planète rocheuse qui tourne autour de son étoile (soleil) → système solaire...



Le système solaire (soleil et ses planètes) est à l'intérieur d'une galaxie (voie lactée)...



→ à 26.000 a.l. du centre de la galaxie...

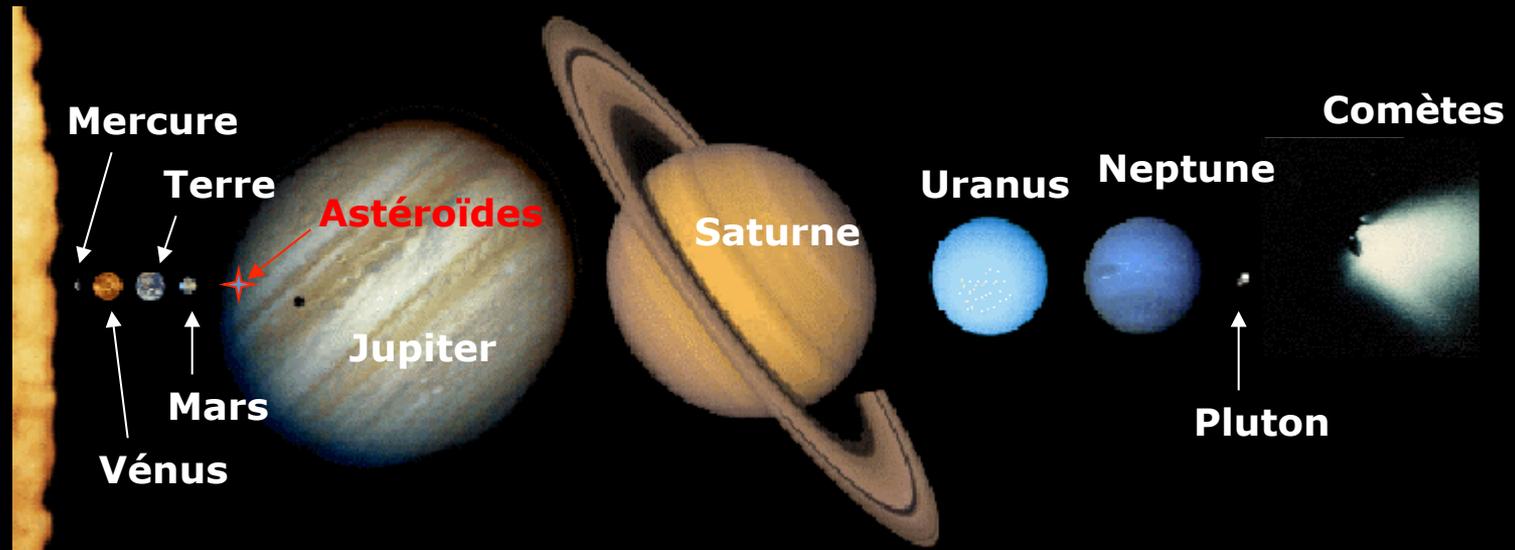
→ Voie lactée compte  $>200 \cdot 10^9$  étoiles ...

→ l'étoile la + proche (Alpha du centaure) est à 4.22 a.l. ...

→ dans l'Univers (connu) il y a  $>200 \cdot 10^9$  galaxies...

→ Age de l'Univers  $13,8 \cdot 10^9$  années...  
et  $4,54 \cdot 10^9$  années pour système solaire et Terre ...

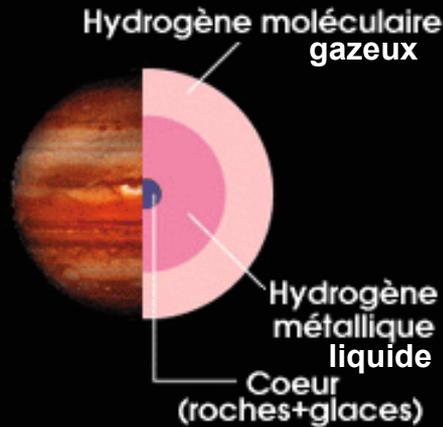
# LA TERRE DANS LE SYSTEME SOLAIRE



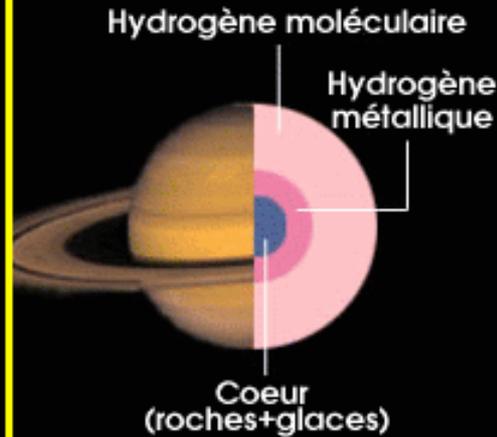
→ Existence de 2 types de corps

## **Composition et structure interne des planètes joviennes**

### **Jupiter**



### **Saturne**



### **Constituées de:**

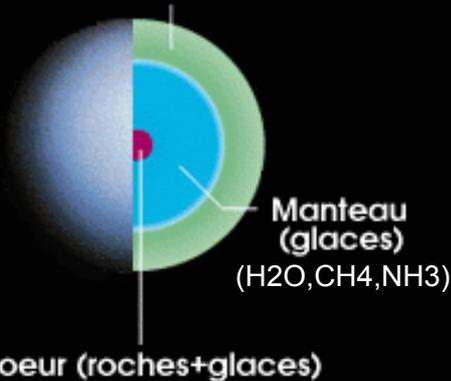
- ⌘ 80-90 % de H
- ⌘ 10-20 % de He
- et d'un peu de méthane

### **Pour une densité inférieure à 2**

-et une composition chimique très proche de celle du **soleil...**

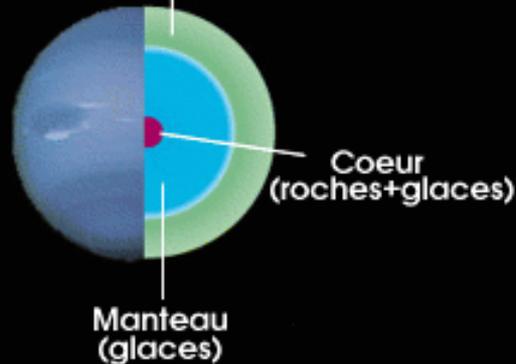
- ⌘ 92,1 % de H
- ⌘ 7,8 % de He

Hydrogène (+ helium, méthane)



### **Uranus**

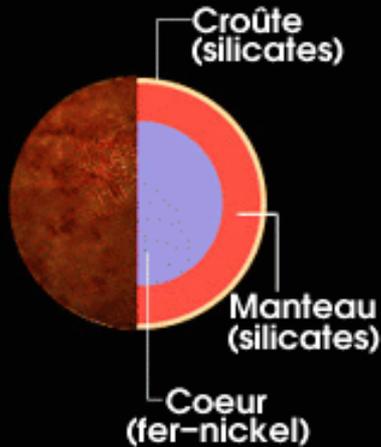
Hydrogène (+ helium, méthane)



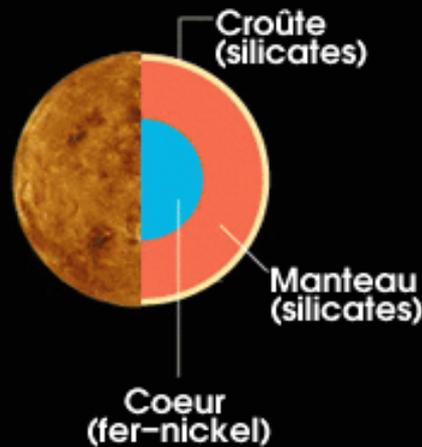
### **Neptune**

# **Composition et structure interne des planètes telluriques**

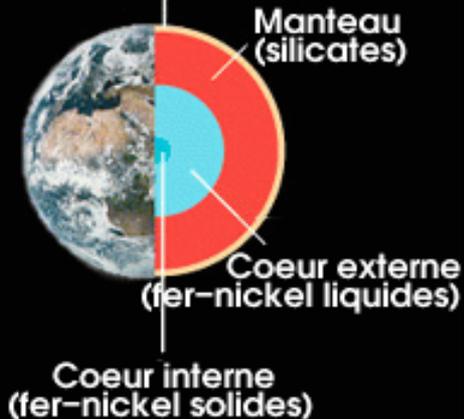
**Mercure**



**Vénus**

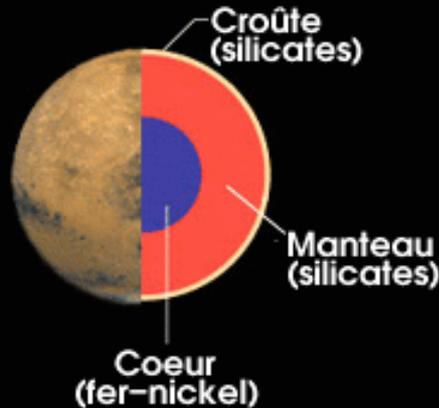


**Terre**



**Terre**

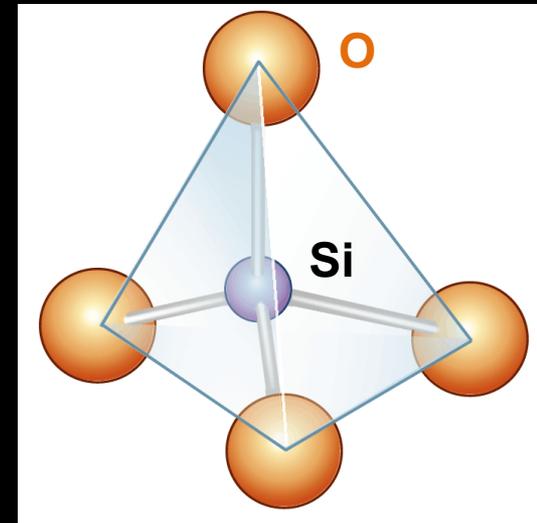
**Mars**



**Densité > 5**

**Constituées de:**

- Silicates (O, Si, etc...)
- Oxydes (Fer, nickel)

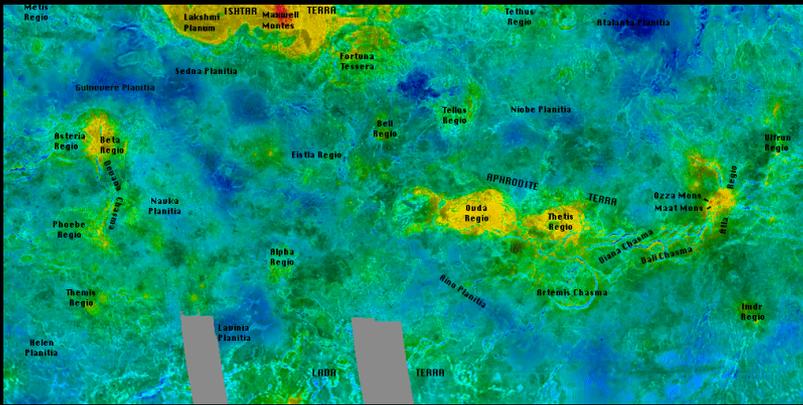


→ **Tétraèdre de silicium**

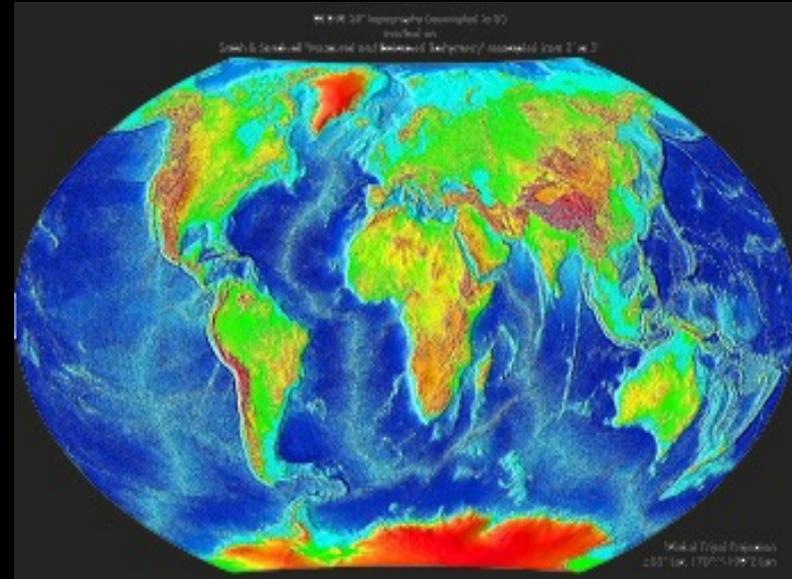
# Vénus, la Terre et Mars

les surfaces de ces planètes telluriques présentent des reliefs élevés (topographie) et une faible densité de cratères...

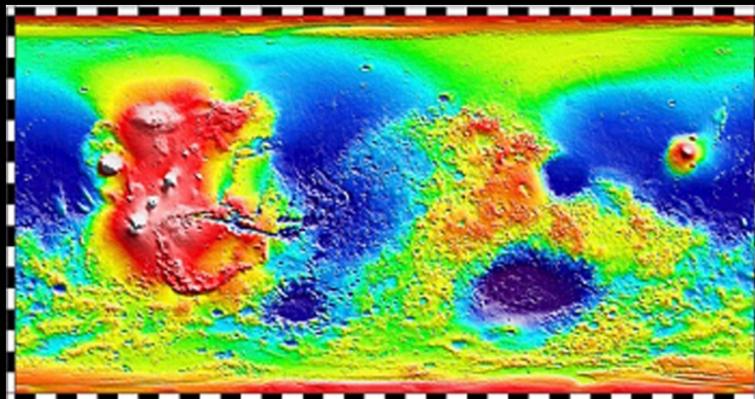
## Vénus



## Terre



## Mars

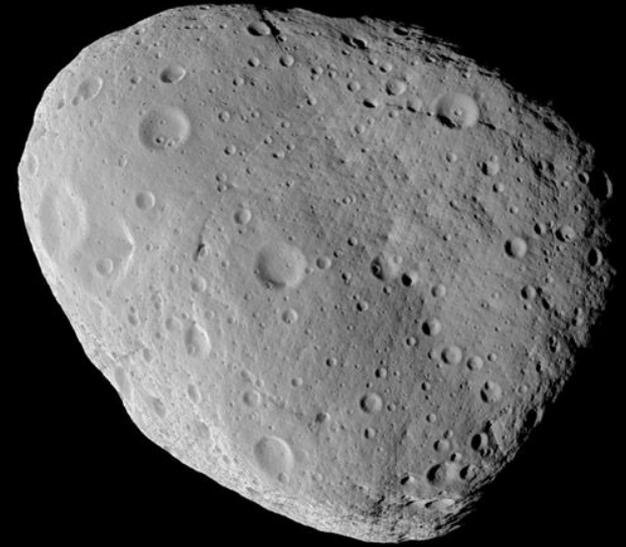
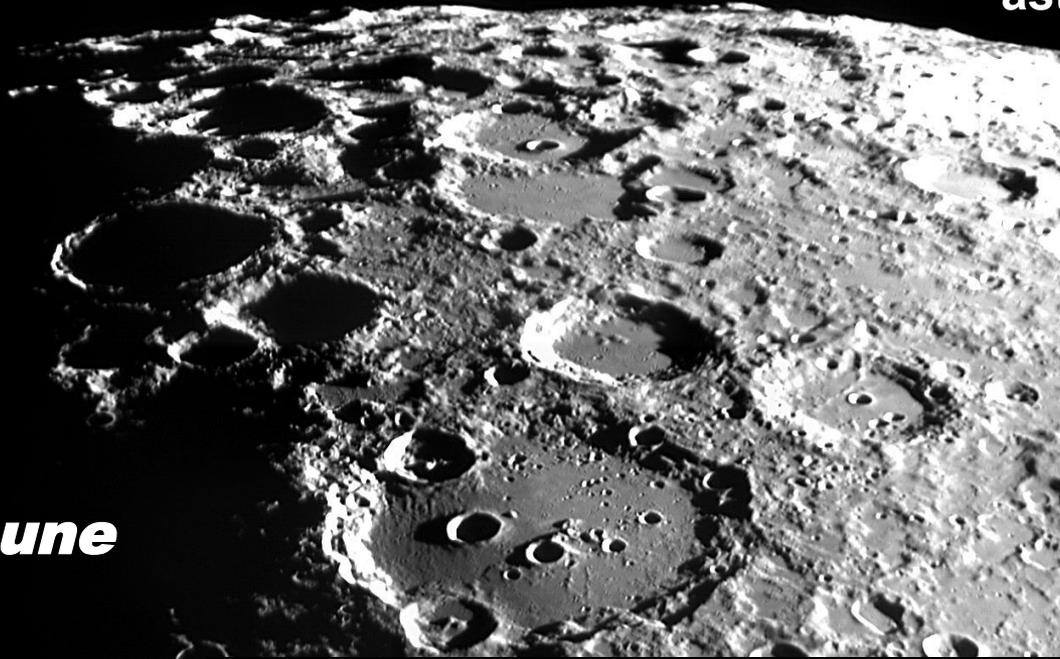


**Couplage entre activité tectonique (relief) et processus d'érosion → Effacent les cratères «rajeunissement de la surface crustale des planètes »**

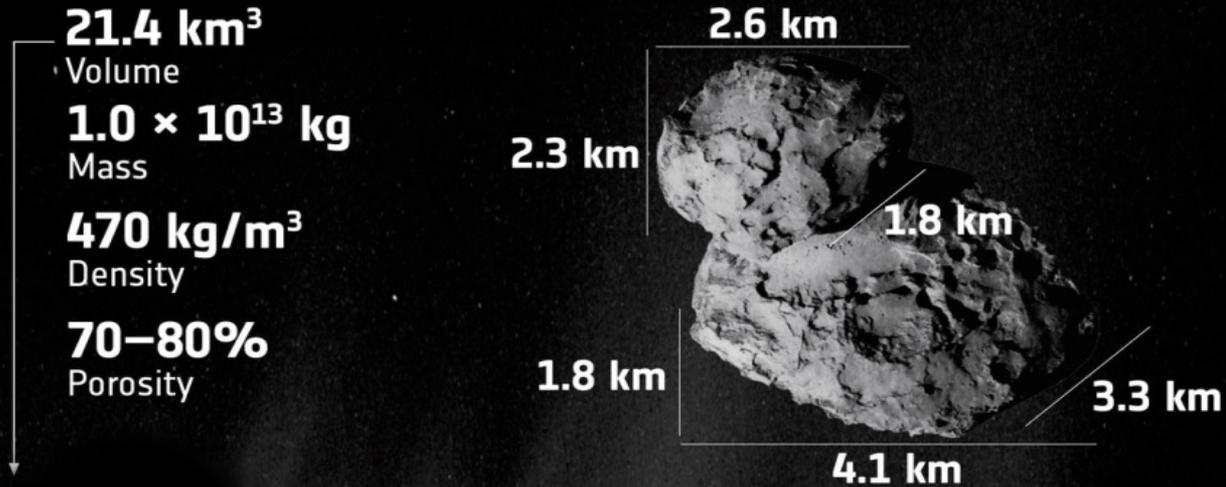
**Sans l'activité de ces processus couplés la surface des corps planétaires ressemblerait à la surface de la lune, des comètes ou à celle des astéroïdes...**

astéroïde Lutetia (Rosetta-CNES)

**Lune**

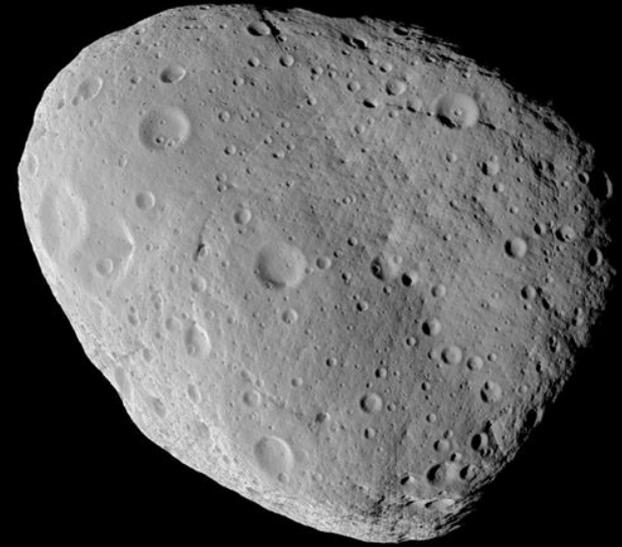
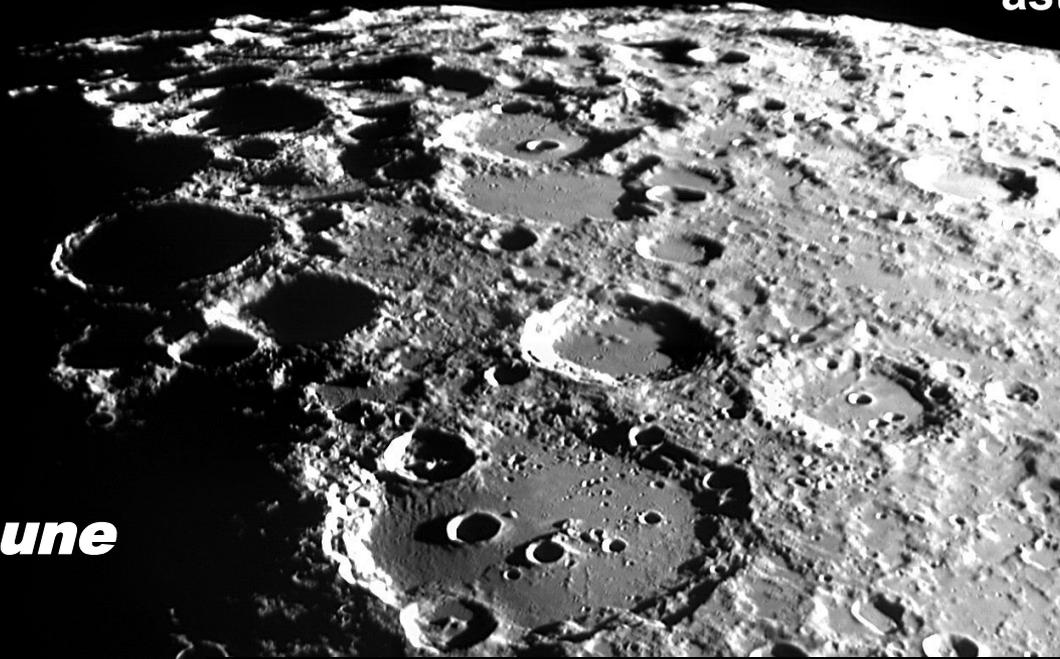


**How big is Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko?**



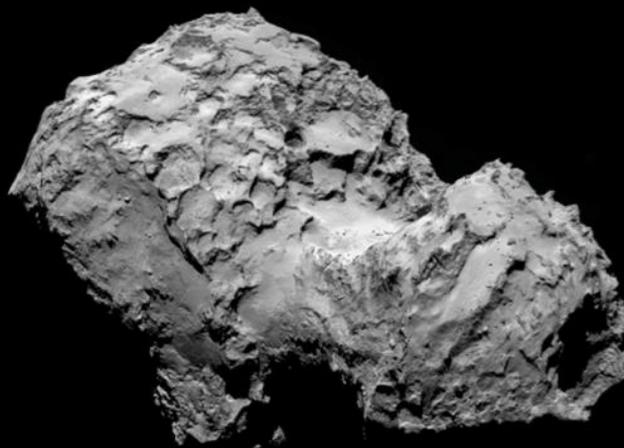
astéroïde Lutetia (Rosetta-CNES)

**Lune**



**How big is Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko?**

---



67P/Churyumov-Gerasimenko

Enterprise



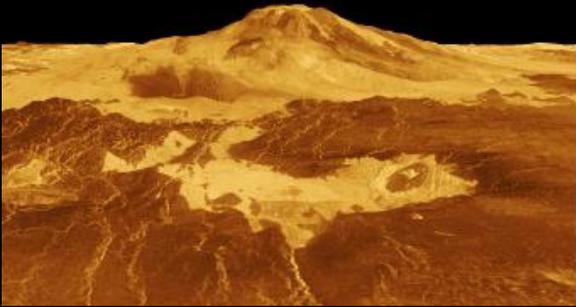
Galactica



Imperial  
Star Destroyer

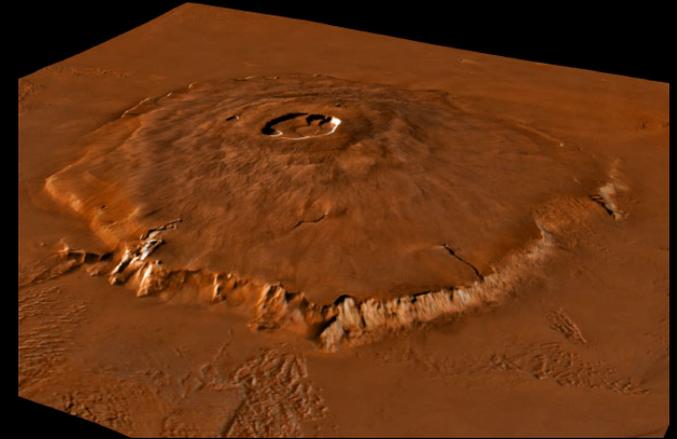
## **Vénus, la Terre et Mars**

*A la surface de ces trois planètes, il y a des édifices volcaniques...*



Sur Vénus, Maat Mons  
H=5 km

**PROBABLEMENT ENCORE ACTIFS**



Sur Mars, Olympus Mons  
H=26 km, Ø=550 km

**ETEINTS DEPUIS 150 Ma**



*traces récentes  
d'activité  
volcanique...*



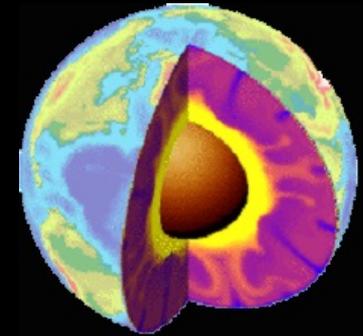
Sur Terre  
(Montagne Pelée)  
**ACTIFS**

## **Vénus, la Terre et Mars**

*Reliefs importants  
Faible densité de cratères  
Activités volcaniques récentes*



*Planètes  
**ACTIVES***



## **ACTIVES (sens géologique)**

### **Dynamique Interne**

*Production de chaleur interne et évacuation vers la surface  
(Processus convectifs et diffusifs)*

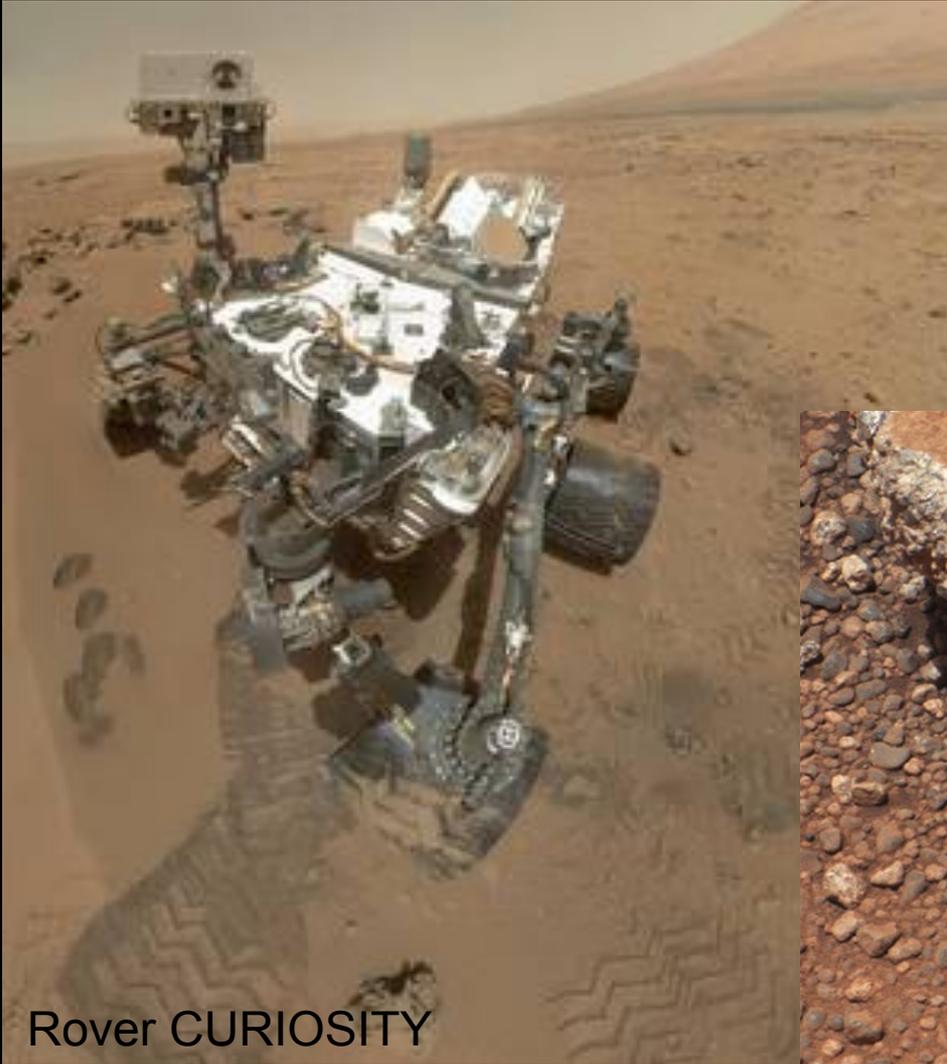
**→** *Volcanisme, activité sismique, tectonique des plaques*

### **Dynamique Externe**

*Processus d'altération, d'érosion, transport et sédimentation  
associés au cycle de l'eau*

**→** *Roches sédimentaires détritiques...*

**Mars**



Rover CURIOSITY



1cm



Mars

1 cm



Terre

1 cm

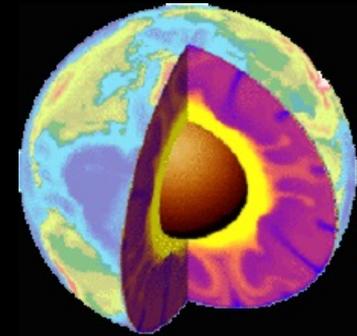
→ **Conglomérats indiquent action d'eau liquide**

## **Vénus, la Terre et Mars**

*Reliefs importants  
Faible densité de cratères  
Activités volcaniques récentes*



*Planètes  
**ACTIVES***



### **ACTIVE (sens géologique)**

#### **Dynamique Interne**

*Production de chaleur interne et évacuation vers la surface  
(Processus convectifs et diffusifs)*

**→** *Volcanisme, activité sismique, tectonique des plaques*

#### **Dynamique Externe**

*Processus d'altération, d'érosion, transport et sédimentation  
associés au cycle de l'eau*

**→** *Roches sédimentaires détritiques...*

**Couplage dynamique interne et externe → diversité des roches observées à la surface de la Terre et des autres planètes telluriques...  
Permet le modelage de la surface « rajeunissement des surfaces »...**

***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

→ Introduction

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→ Partie II. Structure du globe

→ Partie III. Géodynamique interne

***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→1. **Les constituants des roches**

→2. **Les roches magmatiques**

→3. **Les roches sédimentaires**

→4. **Les roches métamorphiques**

→5. **Les propriétés géotechniques des roches**

## ***Géologie Générale*** ***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→ **1. Les constituants des roches**

→ **1-1. La notion de roche**

→ **1-2. Qu'est-ce qu'un minéral**

→ **1-3. Comment déterminer les minéraux d'une roche**

→ **1-4. Les principaux minéraux**

**Définition ROCHE** : Matériau constitutif de l'écorce terrestre, formé d'un assemblage de minéraux présentant une certaine homogénéité, le plus souvent dur et cohérent...

**Trois familles de roches constituent la croûte terrestre :**

**1-magmatiques**



**2-sédimentaires**



**3-métamorphiques**



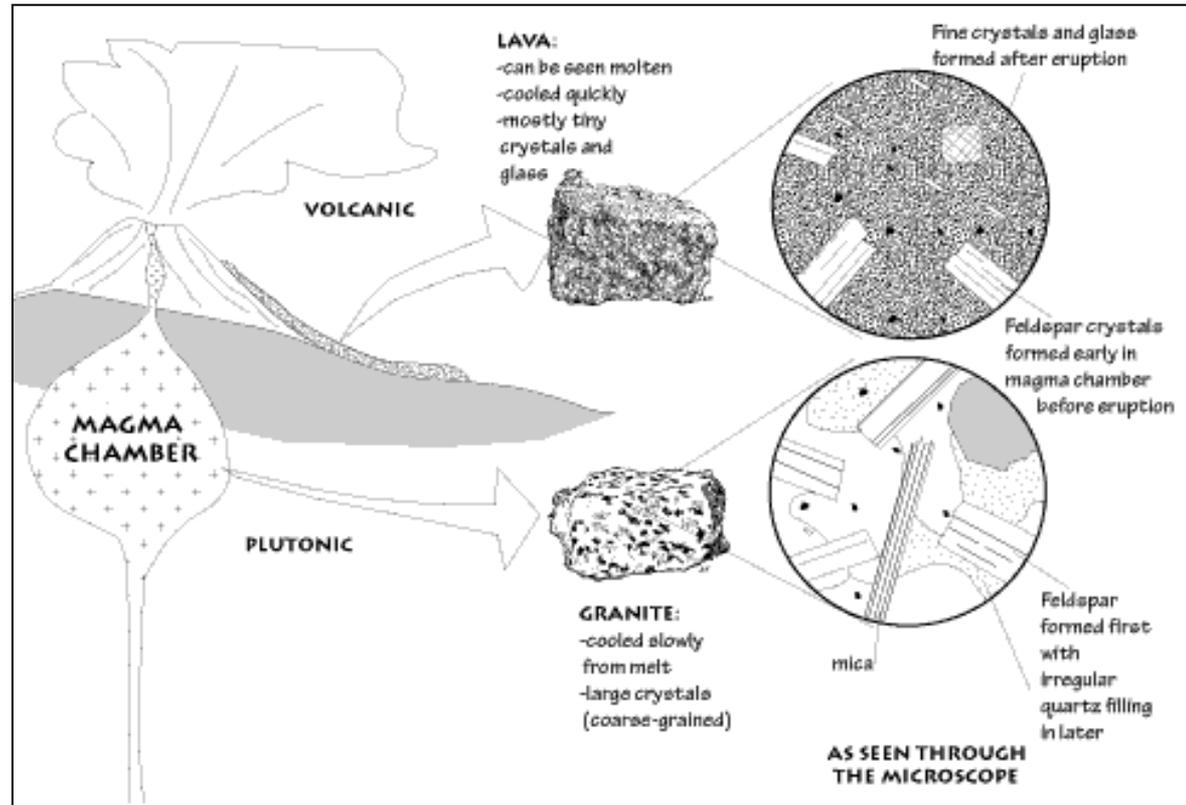
## - Les roches magmatiques

Proviennent d'un processus de la fusion partielle et de cristallisation fractionnée.

Se divisent en deux catégories en fonction de la vitesse de refroidissement.

Refroidissement lent en profondeur → roche plutonique

Refroidissement rapide en surface → roche volcanique



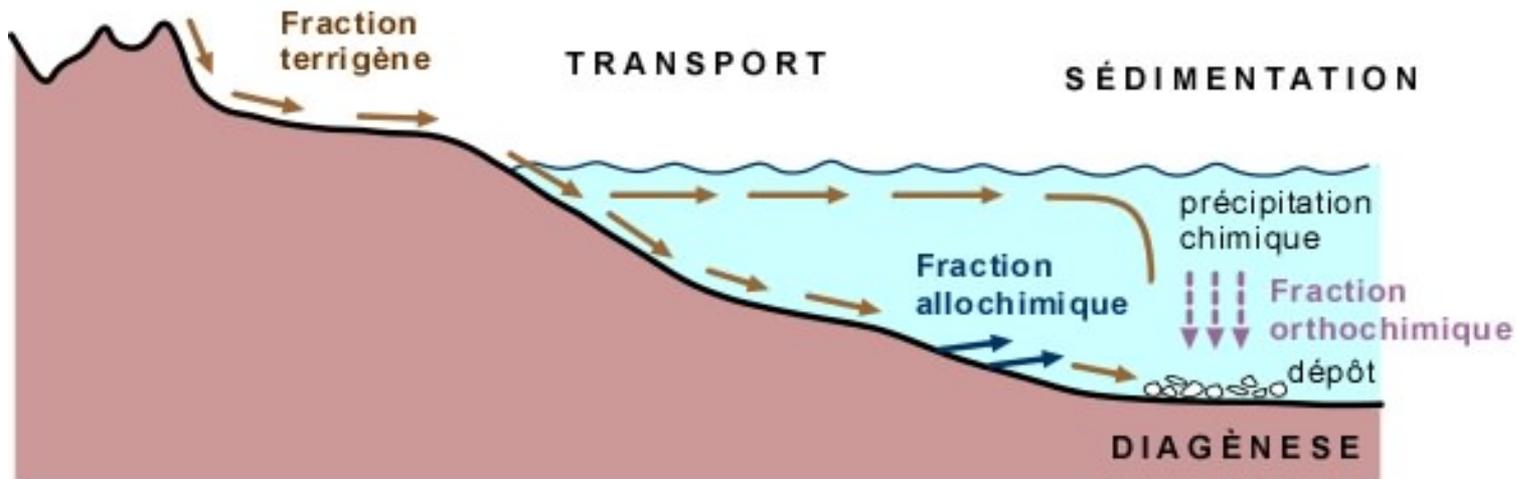
## - Les roches sédimentaires

Proviennent d'un processus de sédimentation et dérivent des roches préexistantes qui ont subi le cycle :

- Altération / érosion
- Transport
- Sédimentation → matériau stratifié ou lité
- Diagénèse



ALTÉRATION DES  
MATÉRIAUX & ÉROSION

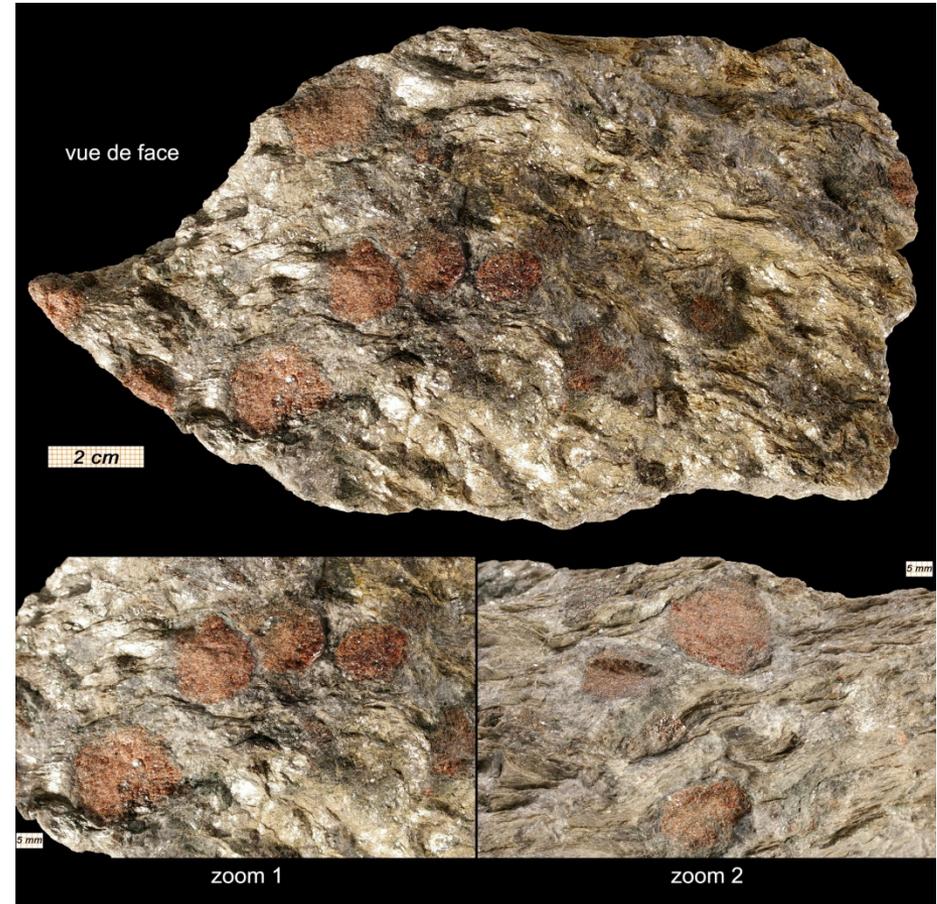
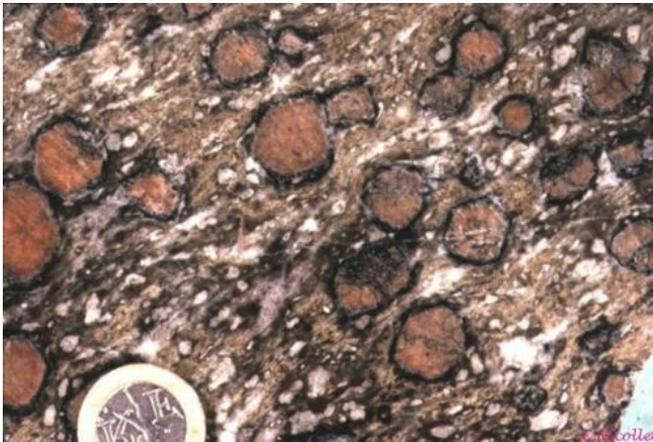
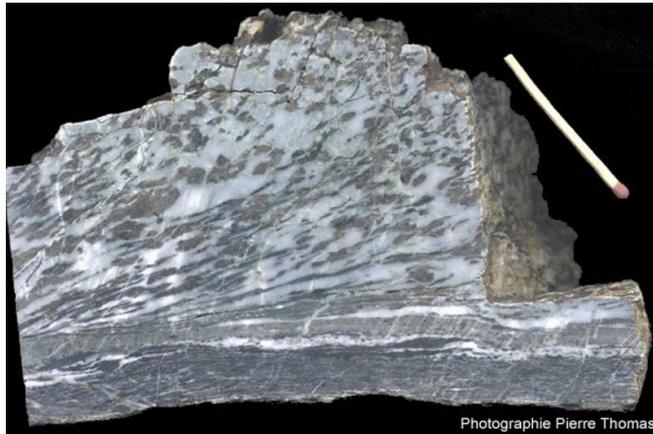


## - Les roches métamorphiques

Proviennent de la transformation à l'état solide de roches sédimentaires et / ou magmatiques par augmentation des conditions Pression et Température

Roches possèdent des déformations et des transformations minéralogiques

→ Roches anisotropes généralement schistosées



**Géologie Générale**  
**Géotech 3**

→ Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre

→ 1. Les constituants des roches

→ 1-1. La notion de roche

→ 1-2. Qu' est-ce qu' un minéral

→ 1-3. Comment déterminer les minéraux d' une roche

→ 1-4. Les principaux minéraux



# Minéral

---

Définition :

Solide homogène existant dans la nature, qui possède une composition chimique définie...

Quartz :  $\text{SiO}_2$

Calcite :  $\text{CaCO}_3$

Dolomite :  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

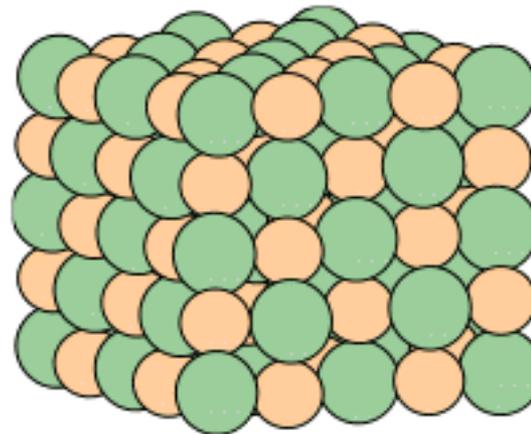
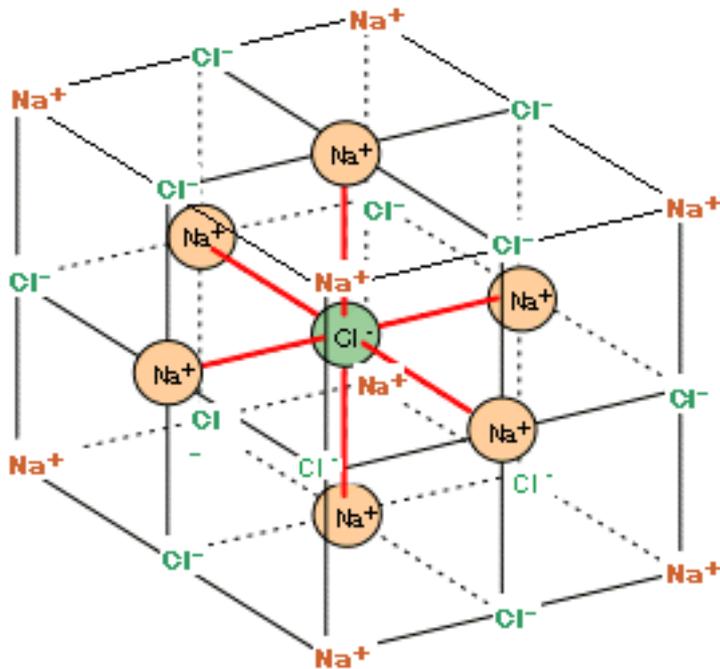
Halite :  $\text{NaCl}$

Formation :

- refroidissement d'un magma
- précipitation de composants en solution sursaturée
- ...

# Cristal

Solide dont les divers atomes sont arrangés de manière régulière selon une disposition fondamentale dont la répétition dans l'espace dessine le réseau cristallin (maille élémentaire)



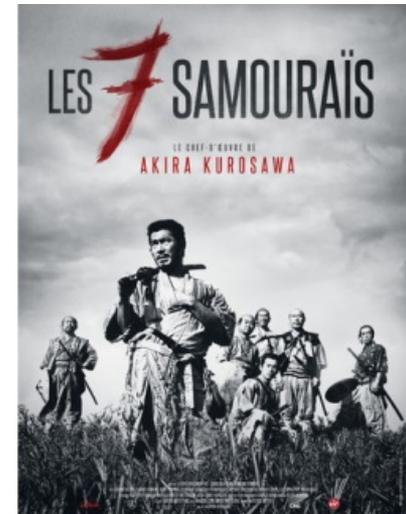
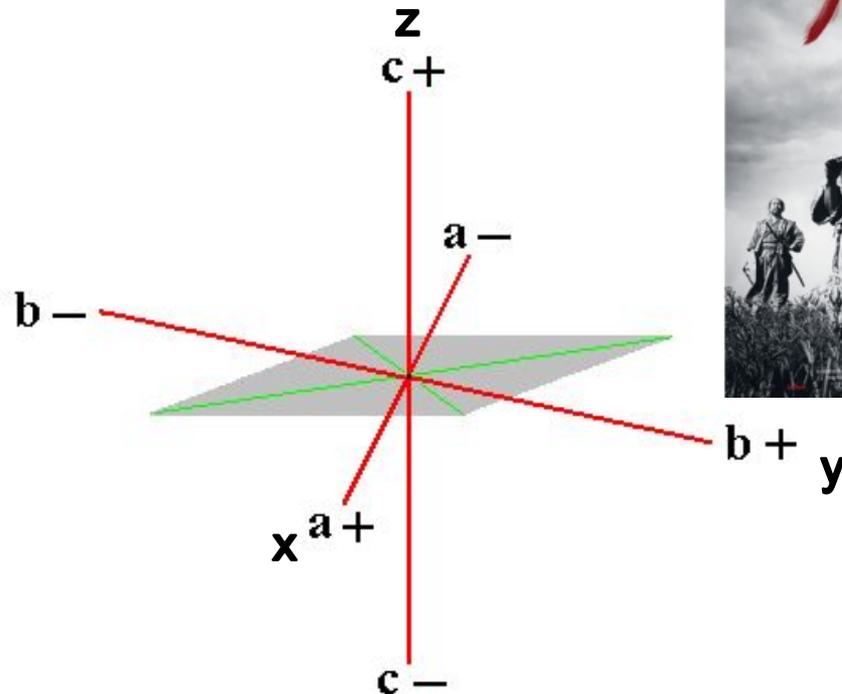
Halite : NaCl



Existe différentes géométries de maille élémentaire définissant différents systèmes cristallins...

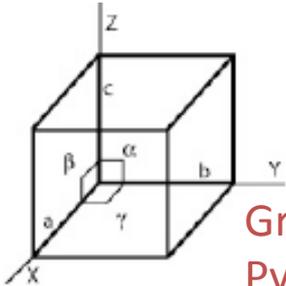
- **Les 7 systèmes cristallins**

- Cubique
- Tetragonal ou quadratique
- Hexagonal
- Rhomboédrique
- Orthorhombique
- Monoclinique
- Triclinique



→ Importants car définissent la géométrie des cristaux et leurs propriétés mécaniques et optiques...

# Cubique

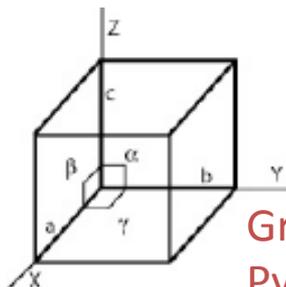


$$a=b=c$$

$$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$$

Grenat,  
Pyrite,  
Diamant,  
Halite, ...

# Cubique



$$a=b=c$$

$$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$$

Grenat,  
Pyrite,  
Diamant,  
Halite, ...

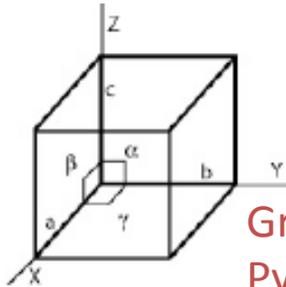


Diamant octaédrique

# Pyrite $\text{Fe}_2\text{S}$



# Cubique

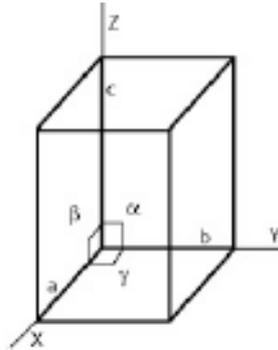


$$a=b=c$$

$$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$$

Grenat,  
Pyrite,  
Diamant,  
Halite, ...

# Quadratique

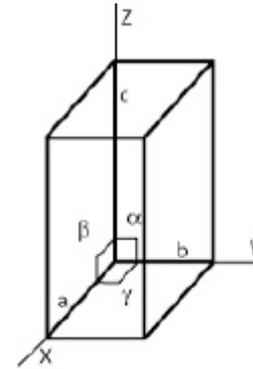


$$a=b \neq c$$

$$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$$

Zircon,  
Leucite,  
Rutile, ...

# Orthorhombique

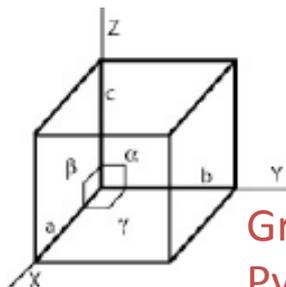


$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$$

Olivine, Opx,  
Aragonite,  
Stibnite, ...

# Cubique



$a=b=c$

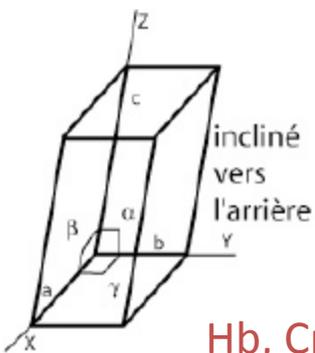
$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

Grenat,  
Pyrite,  
Diamant,  
Halite, ...

# Rhomboèdres de calcite CaCO3



# Monoclinique



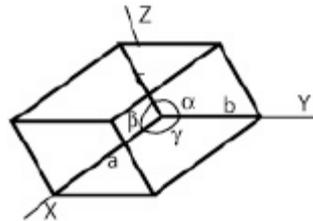
incliné  
vers  
l'arrière

$a \neq b \neq c$

$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$

Hb, Cpx,  
Staurolite,  
Gypse, ...

# Triclinique



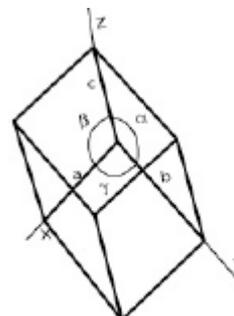
$a \neq b \neq c$

$\alpha \neq \beta \neq \gamma$

tous  $\neq 90^\circ$

Pl, Talc,  
Disthène, ...

# Rhomboédrique



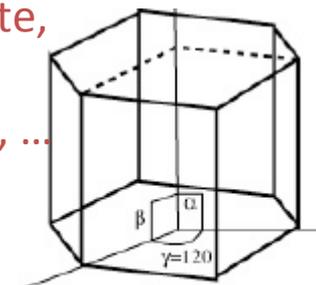
$a=b=c$

$\alpha=\beta=\gamma$  tous  $\neq 90^\circ$

Calcite,  
Corindon, ...

# Hexagonal

Graphite,  
Glace,  
Quartz, ...



$a=b \neq c$

$\alpha=\beta=90^\circ \gamma=120^\circ$

Prisme hexagonal  
bipyramidé de quartz  
 $\text{SiO}_2$



Prismes hexagonaux  
 $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$

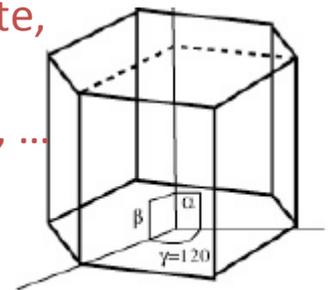


*Cluster of Natural Emerald, Hexagonal Crystals  
by Moonshadow*



Cristaux d'apatites  
 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$

Graphite,  
Glace,  
Quartz, ...



$$a=b \neq c$$
$$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$$

***Géologie Générale***

***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→ **1. Les constituants des roches**

→ **1-1. La notion de roche**

→ **1-2. Qu'est-ce qu'un minéral**

→ **1-3. Comment déterminer les minéraux d'une roche**

→ **1-4. Les principaux minéraux**

Deux approches :

- empirique (à l'œil nu)
- laboratoire (laser, rayons X...)

Sur le terrain utilisation de plusieurs critères :

- **Couleur** (Attention!)

# Couleur



## Variétés de quartz

FIGURE 5.15

# **Couleur**

---



**Saphir**



**Rubis**



PierreBedard.ca

**Corindon**

**Variétés de corindon:  $\text{Al}_2\text{O}_3$**

Deux approches :

- empirique (à l'œil nu)
- laboratoire (microcopie, laser, rayons X...)

Sur le terrain utilisation de plusieurs critères :

- Couleur (Attention!)
- **Eclat**

Pyrite  
 $\text{FeS}_2$



(a)

Eclat métallique

FIGURE 5.17

# Eclat non-métallique



(b)

**Feldspath**

FIGURE 5.17

*Earth: Portrait of a Planet*, 2nd Edition  
Copyright (c) W.W. Norton & Company

Deux approches :

- empirique (à l'œil nu)
- laboratoire (microscopie, laser, rayons X...)

Sur le terrain utilisation de plusieurs critères :

- Couleur (Attention!)
- Eclat
- Couleur d'abrasion

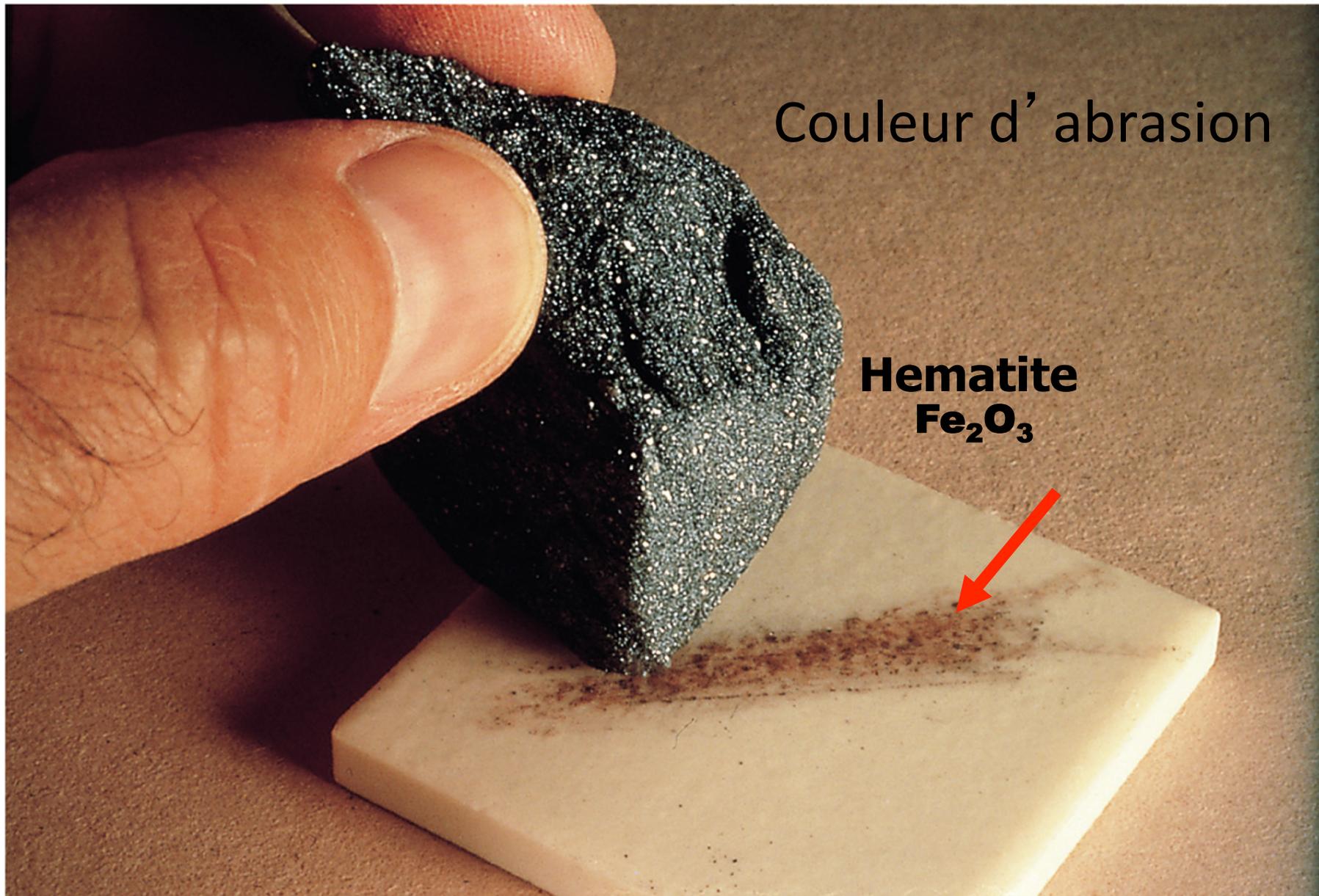


FIGURE 5.16

Deux approches :

- empirique (à l'œil nu)
- laboratoire (laser, rayons X...)

Sur le terrain utilisation de plusieurs critères :

- Couleur (Attention!)
- Eclat
- Couleur d'abrasion
- **Forme des cristaux**

# La forme des cristaux

---

## **Automorphe :**

lorsque le cristal a pu se former en se développant librement, il est limité par des surfaces planes, souvent brillantes, aux orientations caractéristiques.



## **Xénomorphe :**

lorsque le cristal se développe dans les interstices résiduels d'une roche.

Deux approches :

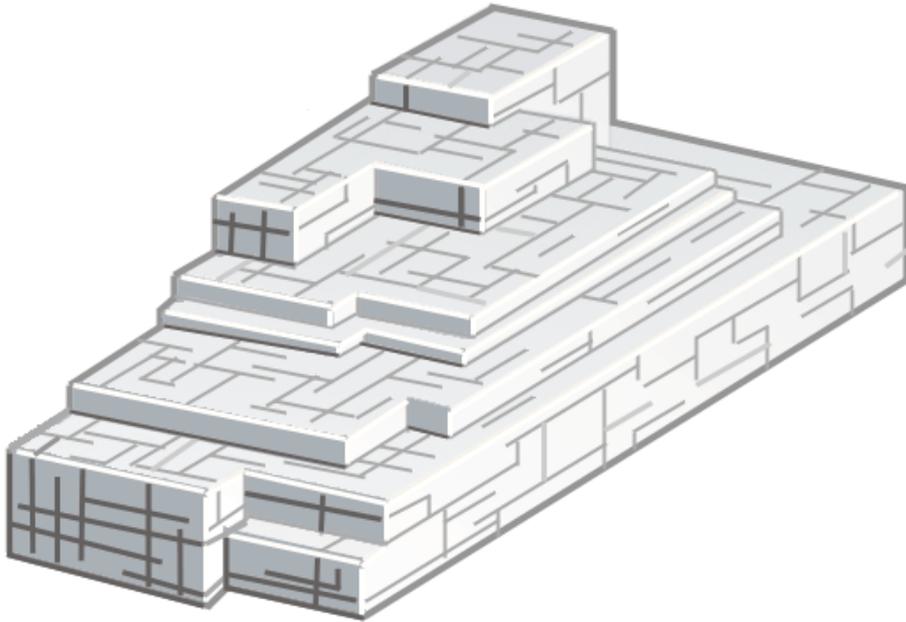
- empirique (à l'œil nu)
- laboratoire (laser, rayons X...)

Sur le terrain utilisation de plusieurs critères :

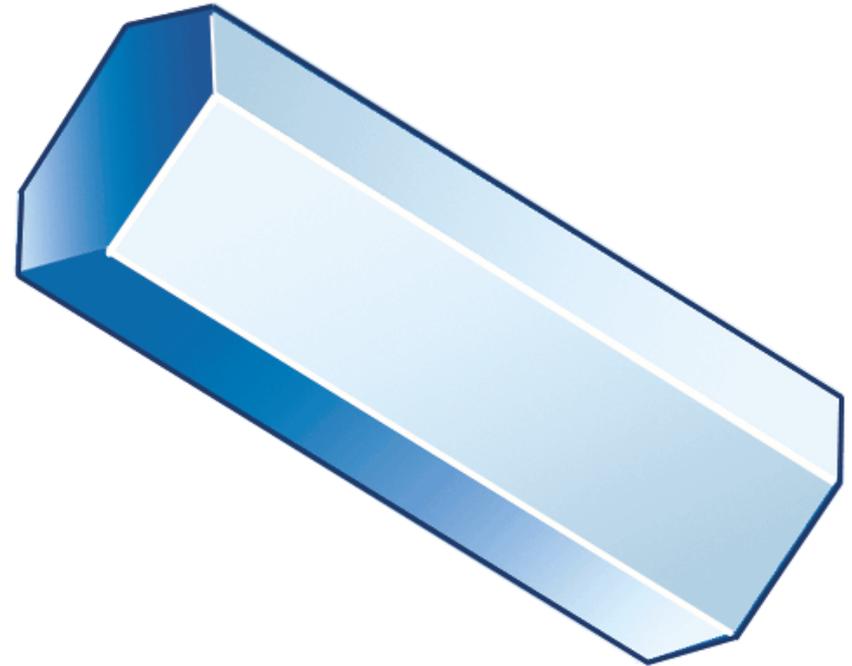
- Couleur (Attention!)
- Eclat
- Couleur d'abrasion
- Forme des cristaux
- **Clivages** (troncatures suivant les faces de croissance)

## Plans de clivage dans un cristal

plans de croissance dépendants du système cristallin  
surfaces de rupture préférentielles

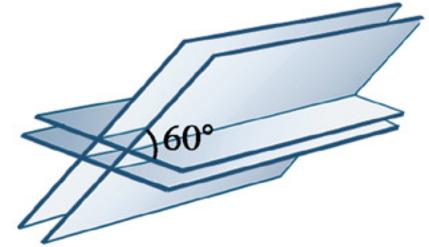
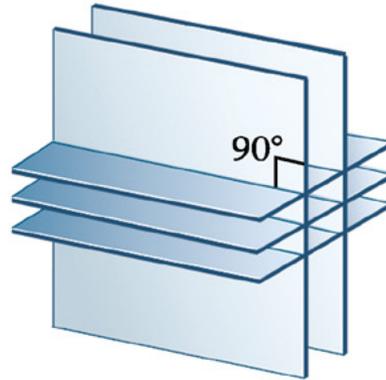
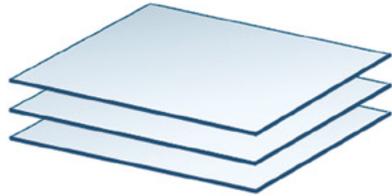


**Clivage**



**Surface d'un cristal**

# Clivage



(a)

**Micas**



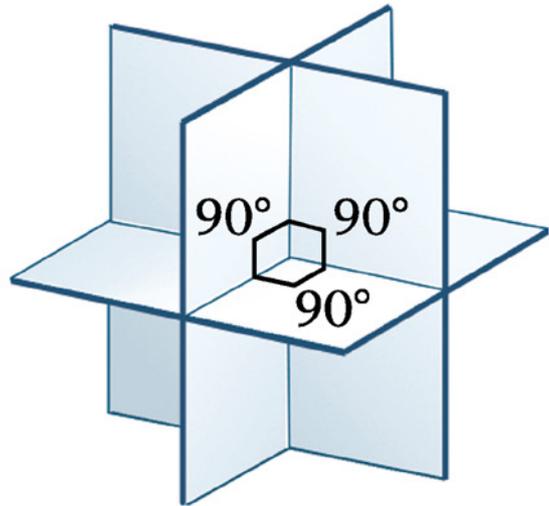
(b)

**Pyroxène**

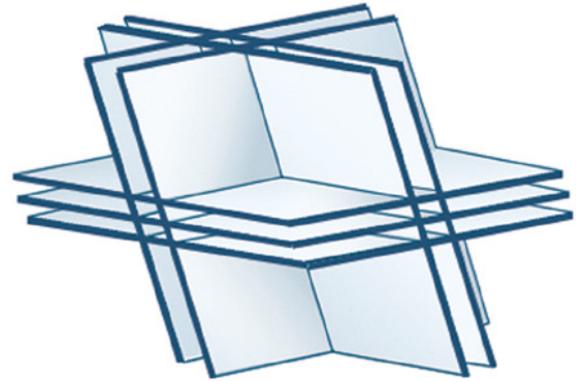


(c)

**Amphibole**



Clivage



(d) **Halite**



(e) **Calcite**

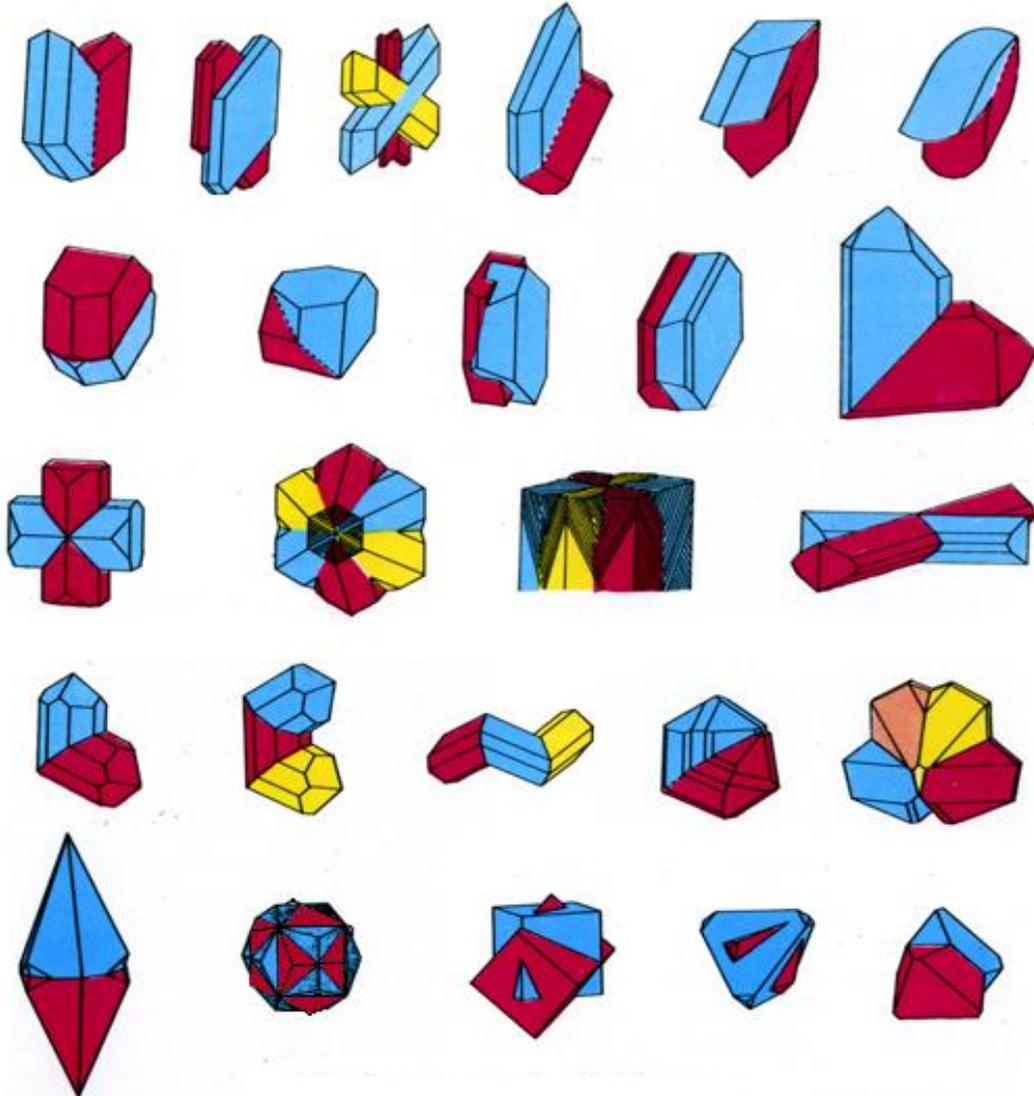
Deux approches :

- empirique (à l'œil nu)
- laboratoire (laser, rayons X...)

Sur le terrain utilisation de plusieurs critères :

- Couleur (Attention!)
- Eclat
- Couleur d'abrasion
- Forme des cristaux
- Clivages (troncatures suivant les faces de croissance)
- **Macles** (association de 2 cristaux de même espèce ou plus - intercroissance)

# Macles



Pyrite



Plagioclase (macles polysynthétiques)



Orthose (macle de Carlsbad)

Deux approches :

- empirique (à l'œil nu)
- laboratoire (laser, rayons X...)

Sur le terrain utilisation de plusieurs critères :

- Couleur (Attention!)
- Eclat
- Couleur d'abrasion
- Forme des cristaux
- Clivages (troncatures suivant les faces de croissance)
- Macles (association de 2 cristaux de même espèce ou plus - intercroissance)
- **Dureté**

## La dureté du cristal

- C'est la résistance d'un minéral à la rayure et à l'abrasion
- Une échelle de dureté a été établie en 1812 par Friedrich MOHS qui a classé 10 minéraux par ordre de dureté croissante, chacun d'eux pouvant rayer le précédent

# Echelle de Mohs

- 1 talc
- 2 gypse ou sel ← ongle (2,5)
- 3 calcite
- 4 fluorine
- 5 apatite ← acier (5,5)
- 6 orthose ← verre (6,5)
- 7 quartz
- 8 topaze
- 9 corindon
- 10 diamant

Deux approches :

- empirique (à l'œil nu)
- laboratoire (laser, rayons X...)

Sur le terrain utilisation de plusieurs critères :

- Couleur (Attention!)
- Eclat
- Couleur d'abrasion
- Forme des cristaux
- Clivages (troncatures suivant les faces de croissance)
- Macles (association de 2 cristaux de même espèce ou plus)
- Dureté
- **Densité**

# densité

- Gypse → 2.3
- Calcite → 2.7
- Dolomite → 2.9
- Orthose - feldspath → 2.6 à 2.8
- Quartz → 2.7
- Amphiboles → 3.1
- Pyroxènes → 3.2
- Olivine → 3.3
- Magnétite → 5.2
- Diamant → 8.5

Deux approches :

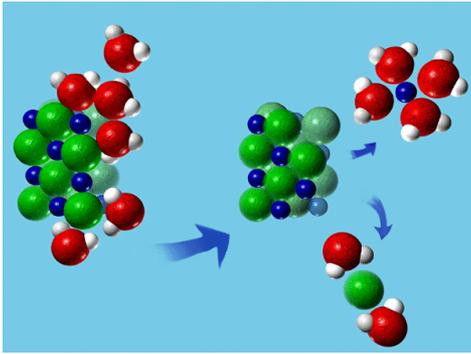
- empirique (à l'œil nu)
- laboratoire (laser, rayons X...)

Sur le terrain utilisation de plusieurs critères :

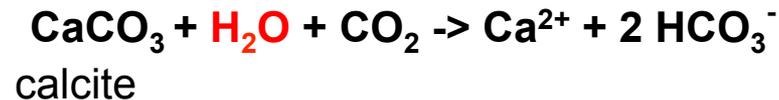
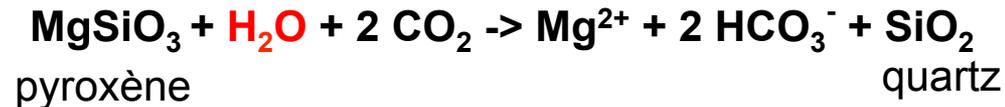
- Couleur (Attention!)
- Eclat
- Couleur d'abrasion
- Forme des cristaux
- Clivages (troncatures suivant les faces de croissance)
- Macles (association de 2 cristaux de même espèce ou plus)
- Dureté
- Densité
- **Solubilité**

## **Action chimique de l'eau : principe**

→ Mise en solution d'ions prélevés sur les minéraux des roches participant à leur destruction (dissolution ou altération)...



→ processus efficace pour l'ensemble des minéraux constitutifs des roches



→ Cette action est plus ou moins rapide suivant  $T^\circ$ , la quantité  $\text{H}_2\text{O}$  et la composition chimique des minéraux...

→ Caractéristiques chimiques de l'eau varient suivant les teneurs en  $\text{O}_2$  et  $\text{CO}_2$ ...

→ Les parties insolubles se recombinent pour former des argiles (minéraux néoformés)...

**Action de l'eau pure**

**Dissolution des roches solubles** type halite (NaCl) ou gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).  
→ se traduit dans les Alpes par la formation de cavités et d'entonnoirs d'effondrement (Col d'Izoard, Galibier...)



Deux approches :

- empirique (à l'œil nu)
- laboratoire (laser, rayons X...)

Sur le terrain utilisation de plusieurs critères :

- Couleur (Attention!)
- Eclat
- Couleur d'abrasion
- Forme des cristaux
- Clivages (troncatures suivant les faces de croissance)
- Macles (association de 2 cristaux de même espèce ou plus)
- Dureté
- Densité
- Solubilité
- **Acide chlorhydrique** (effervescence avec carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ )

# La Calcite $\text{CaCO}_3$

- Minéral très courant et ubiquiste!
- Couleur: transparent ou blanc laiteux (le + souvent)
- Système cristallin: rhomboédrique
- 'Polymorphe' : l' aragonite (orthorhombique)
- Dureté = 3
- Gisement: constituant majeur des roches sédimentaires (calcaires) provient de l' accumulation de 'tests' d' organismes marins ou dans des filons par précipitation chimique.

# La Calcite $\text{CaCO}_3$



# Le Quartz $\text{SiO}_2$

- Minéral très courant et ubiquiste
- Couleur: transparent, blanc laiteux (le + souvent) ou coloré
- Système cristallin: hexagonal
- Dureté = 7
- Température de cristallisation =  $573^\circ\text{C}$
- Gisement: Dans tous les types de roches! C' est un minéral très important!

Granite



Grès



Gneiss



Grès



# Le Quartz $\text{SiO}_2$

- Minéral très courant et ubiquiste
- Couleur: transparent, blanc laiteux (le + souvent) ou coloré
- Système cristallin: hexagonal
- Dureté = 7
- Température de cristallisation =  $573^\circ\text{C}$
- Gisement: Dans tous les types de roches! C' est un minéral très important!

## **Reconnaissance:**

- Test à l' HCl: pas d' effervescence
- Test de dureté: n' est pas rayé par l' acier

***Géologie Générale***

***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**

→ **1. Les constituants des roches**

→ **1-1. La notion de roche**

→ **1-2. Qu' est-ce qu' un minéral**

→ **1-3. Comment déterminer les minéraux d' une roche**

→ **1-4. Les principaux minéraux**

Quelle est la famille de minéraux  
la plus importante dans la croûte  
terrestre ?

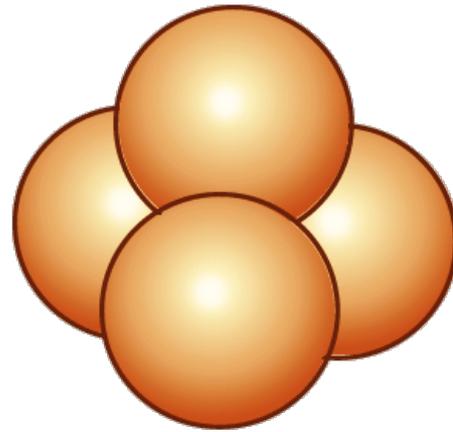
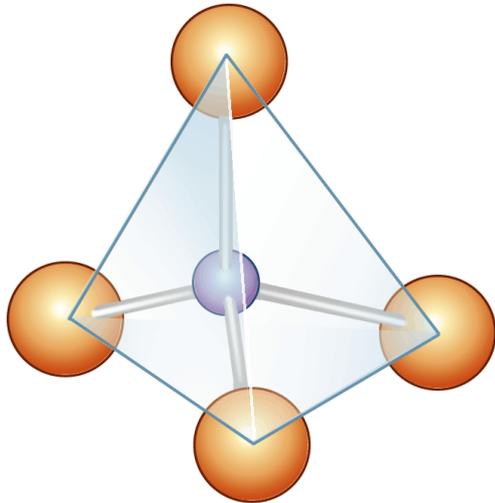
## Composition chimique de la croûte terrestre

Ordre	Elément	% masse	% volume
1	O	46,6	93,8
2	Si	27,7	0,9
3	Al	8,1	0,8
4	Fe	5	0,5
5	Ca	3,6	1,0
6	Na	2,8	1,2
7	K	2,6	1,5
8	Mg	2,1	0,3

→ Croûte dominée par O et Si, combinés forment oxydes de silicium (silicates)

# Les silicates

Les minéraux silicatés résultent de l'empilement de tétraèdres de  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  (brique élémentaire)



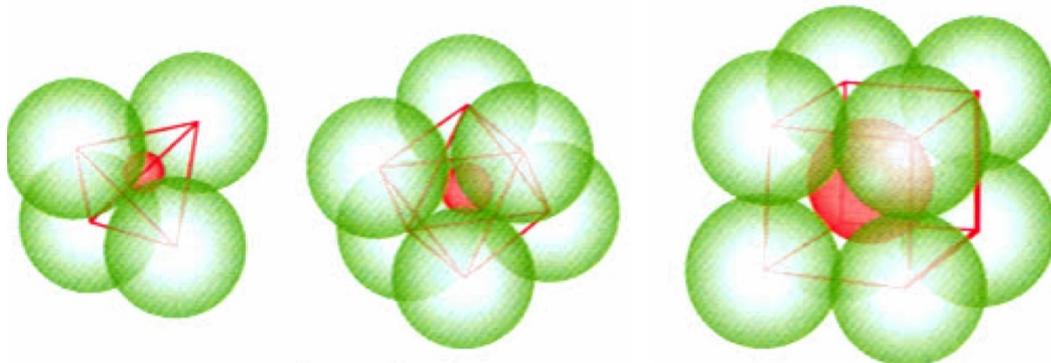
$\text{Si}^{4+}$  : 0,42 Å

$\text{O}^{2-}$  : 1,40 Å

$R_c/R_a=0,3$

## Pourquoi un tétraèdre ?

→ Place disponible pour le cation



$0,225 < R_c/R_a < 0,414 \rightarrow$  tétraèdre

$0,414 < R_c/R_a < 0,732 \rightarrow$  octaèdre

$0,732 < R_c/R_a < 1 \rightarrow$  cubique

# Les silicates

L'agencement des tétraèdres se fait selon une maille élémentaire qui correspond à un système cristallin...

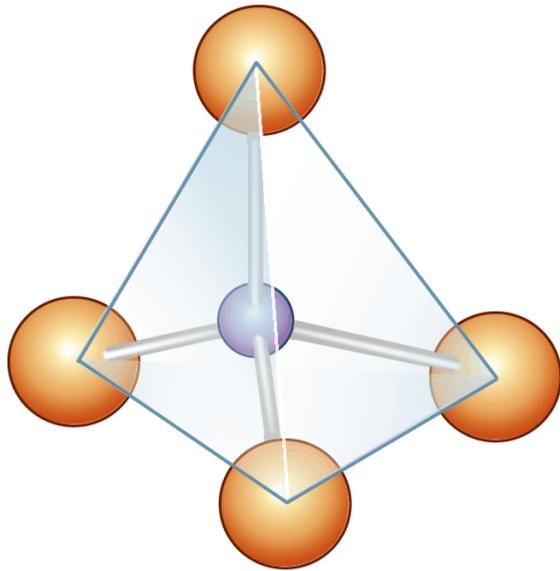
Il existe 7 familles de silicates en lien avec l'agencement des tétraèdres...



# Les silicates

Il existe 7 familles de silicates :

## Les silicates



Les tétraèdres forment la structure de base mais cette structure est chargée négativement : Alors, on compense les charges par des cations !

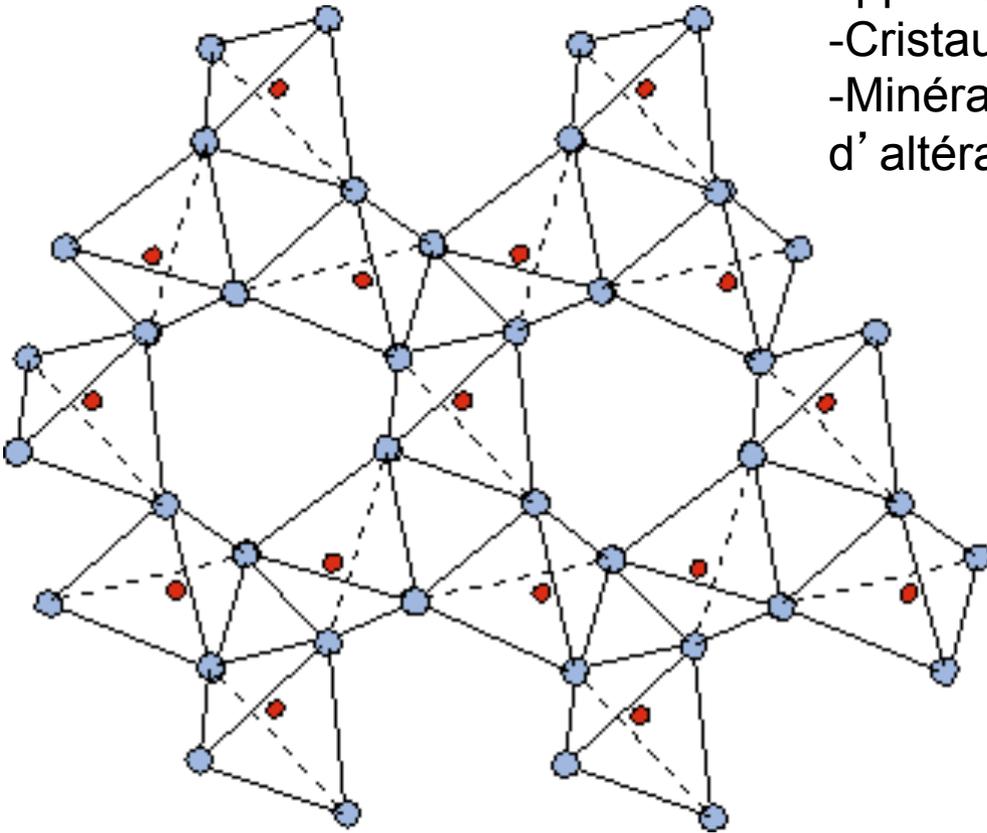
$(\text{SiO}_4)^{4-}$  et  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  !

On finit par avoir les formules des minéraux !

## Famille des Tectosilicates: Quartz $\text{SiO}_2$ (oxyde de silicium)

Chaque oxygène appartient à  
2 tétraèdres voisins :

- Structure difficile à former, dernier minéral à apparaître lors de la cristallisation d'un magma...
- Cristaux xénomorphes.
- Minéraux très résistants au processus d'altération...

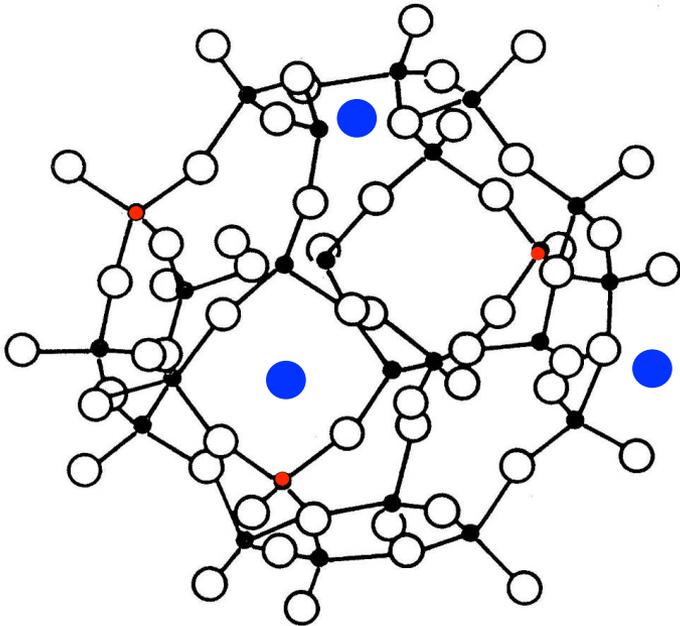


Dureté 7



## Famille des Tectosilicates: Feldspaths

- Substitution de  $\text{Si}^{4+}$  par  $\text{Al}^{3+}$  équilibre les charges en ajoutant des ions  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$



Substitution  $\text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Al}^{3+}$



$\text{NaAl}(\text{Si}_3\text{O}_8)$  albite

$\text{KAl}(\text{Si}_3\text{O}_8)$  orthose



Feldspaths  
alcalins



$\text{CaAl}(\text{Si}_2\text{O}_8)$  Anorthite

$\text{NaAl}(\text{Si}_3\text{O}_8)$  albite



Plagioclases

**Feldspathoïdes** plus riche en Al, Na et K.

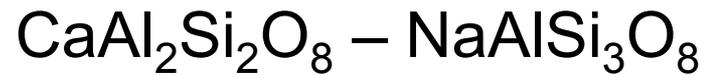
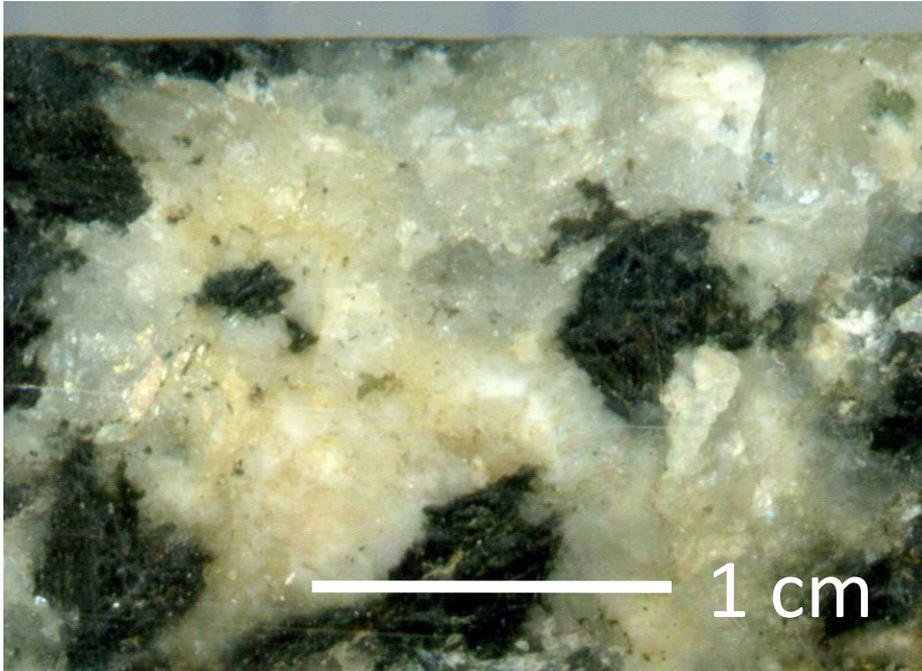
**Zéolites (silicate riche en alcalins)** tectosilicates éponges, contenant beaucoup de molécules  $\text{H}_2\text{O}$  ou d'ions divers utilisés comme catalyseur dans l'industrie.

# Feldspath – Orthose

---

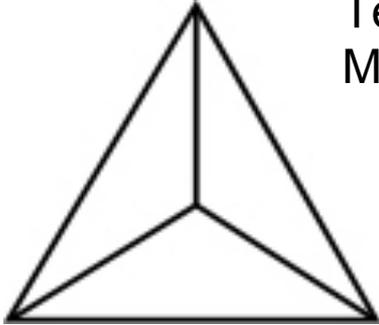


# Feldspath – Plagioclase



(feldspath calco-sodique)

## Famille des NESOSILICATES (2)



Tétraèdre isolé  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  équilibre les charges par des cations Mg ou Fe (équilibre des charges)...

### Olivine

$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  fayalite

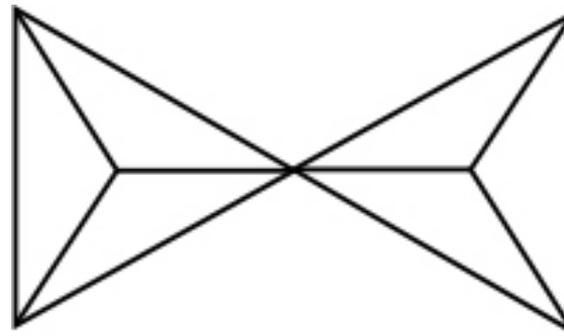
$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  forsterite

### Silicates d'alumine

$\text{Al}_2\text{SiO}_5$  andalousite, silimanite, disthène



## Famille des SOROSILICATES (3)

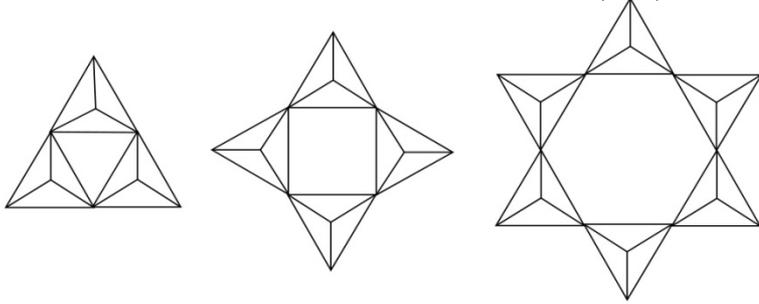


Tétraèdres groupés par 2  $\rightarrow [\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$

### Epidotes

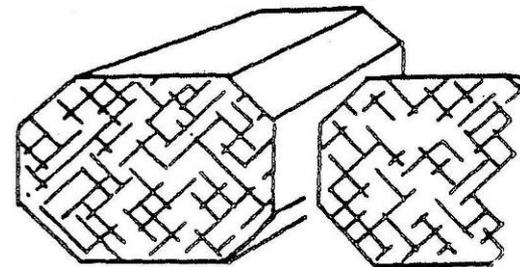
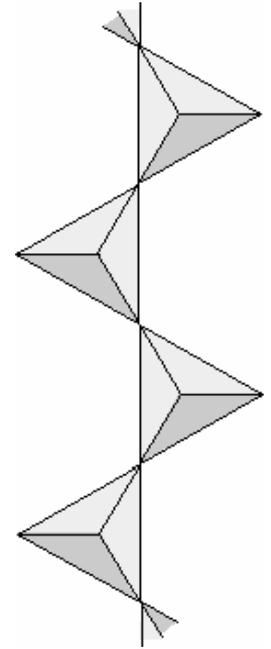
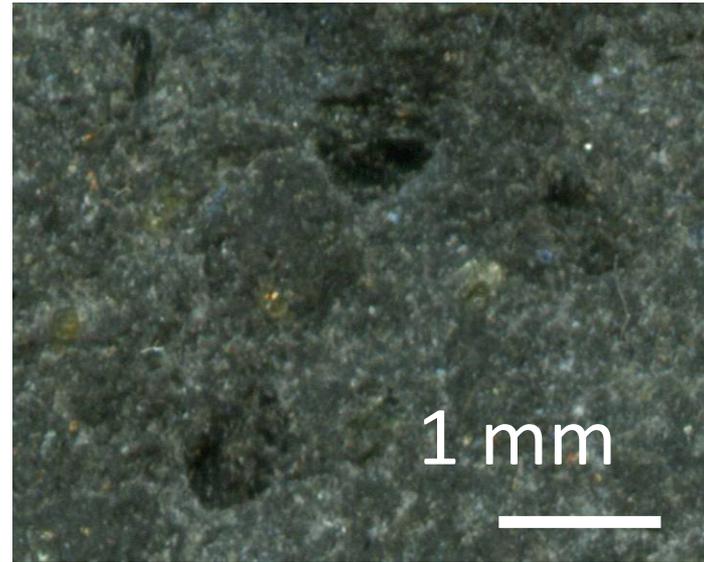
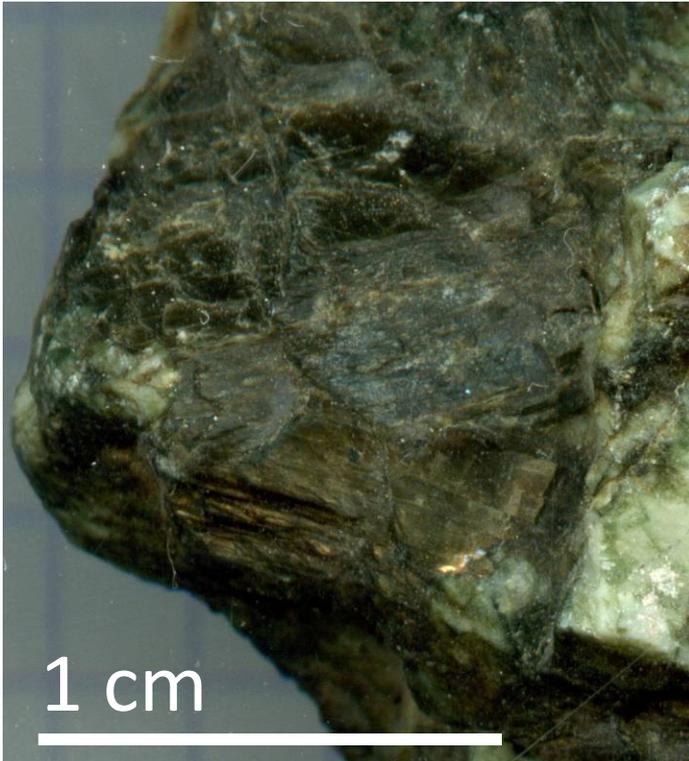
## Famille des **CYCLOSILICATES** (4)

Tétraèdre en anneau de 3, 4, 6 ou plus...



Cordiérite  
Tourmaline  
Béryl

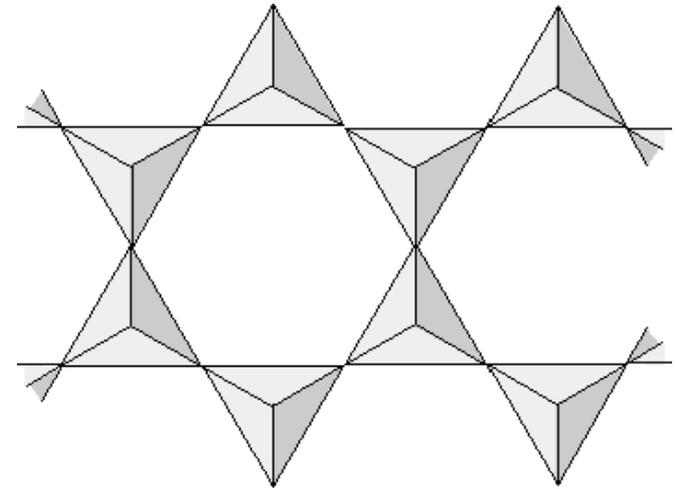
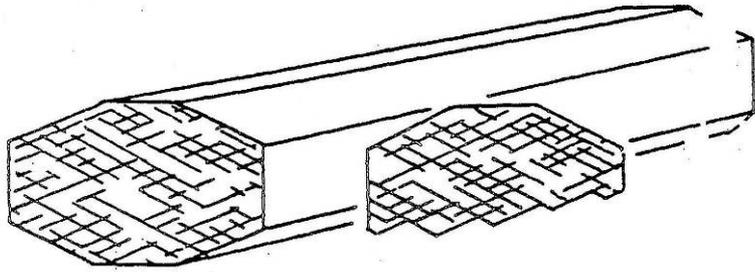
# Pyroxènes Inosilicates



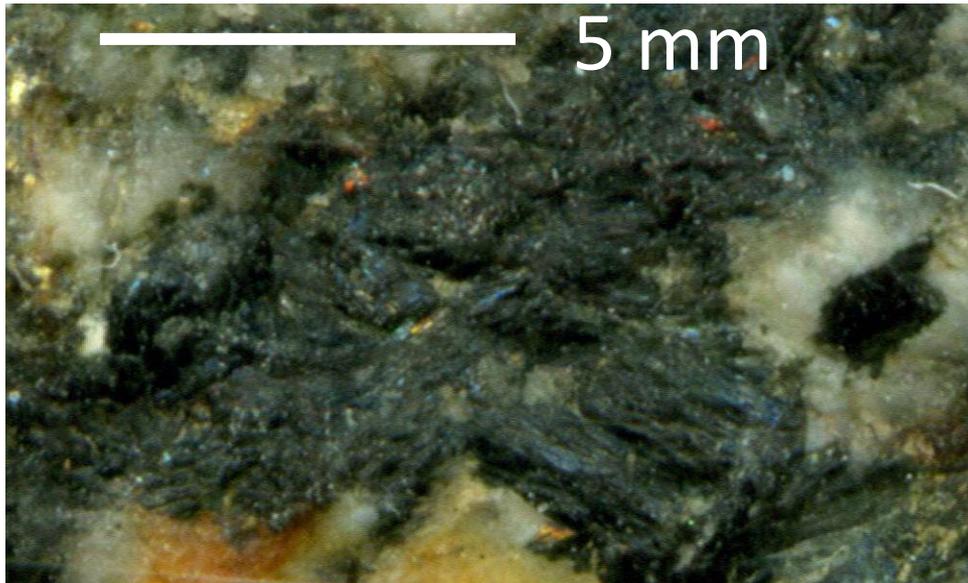
Dureté 6

Clivages à 90° « marches d'escalier »

# Amphiboles Inosilicates



Plans de clivage à  $120^\circ$   
Dureté 6

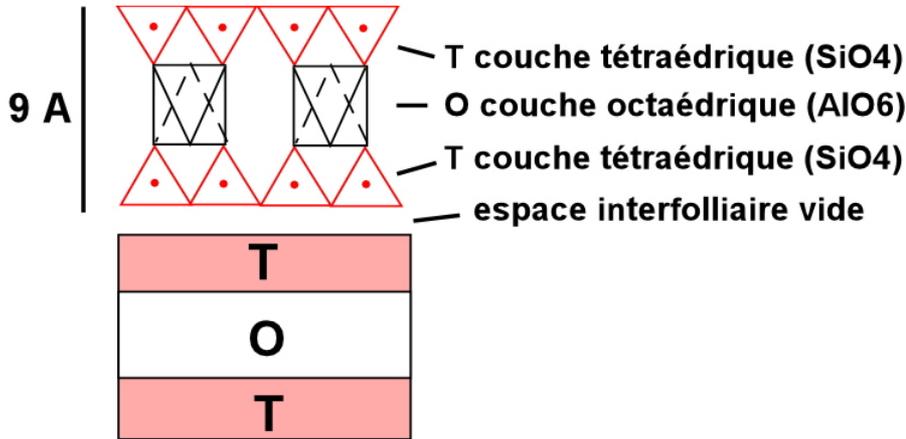
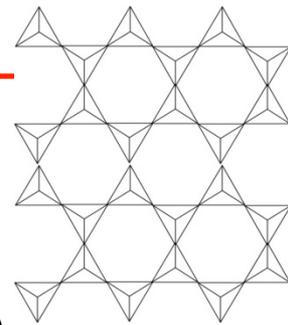


**Famille des PHYLLOSILICATES (7)**

Tétraèdre en feuillets → **Micas et Argiles**

Structure d'un feuillet

- en plan : n chaînes ou rubans parallèles
- en coupe : 2 couches tétraédriques (T) reliées par une couche d'octaèdre (O)



Feuillets TOT libres → Talc

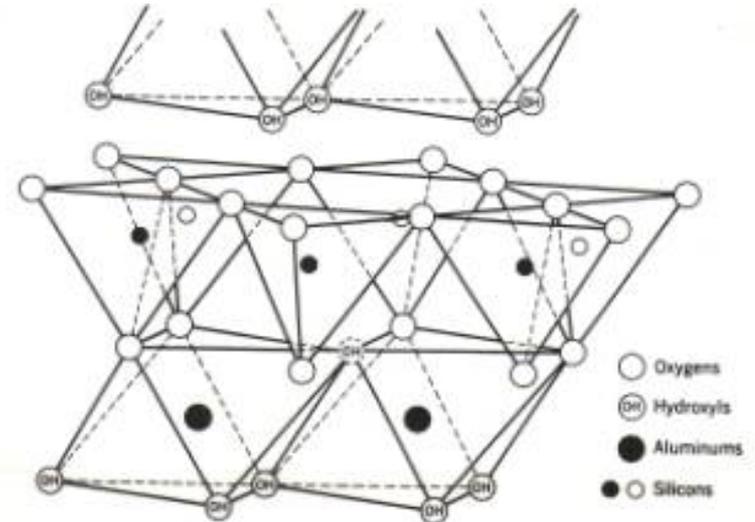
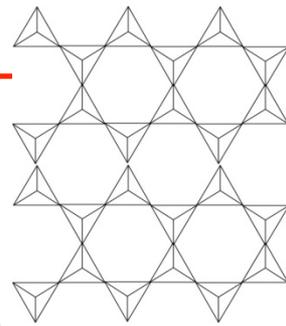


Figure 5: Diagrammatic sketch of the structure of the kaolinite layer (after Grim, 1968).

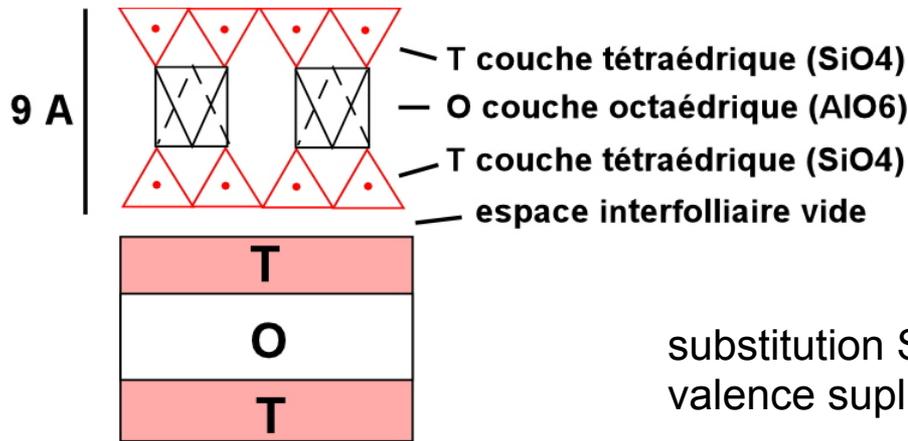


## Famille des PHYLLOSILICATES (7)

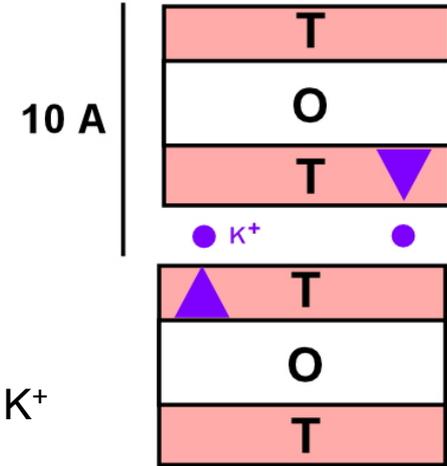
Tétraèdre en feuillets → **Micas et Argiles**

### Structure d'un feuillet

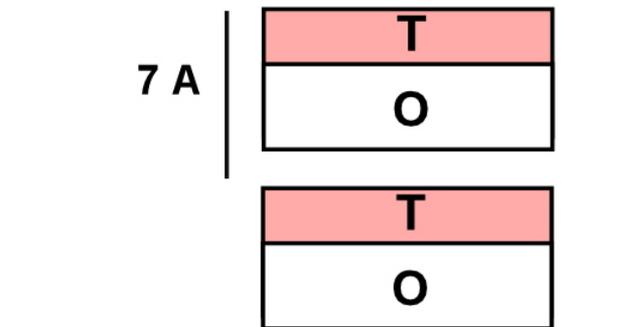
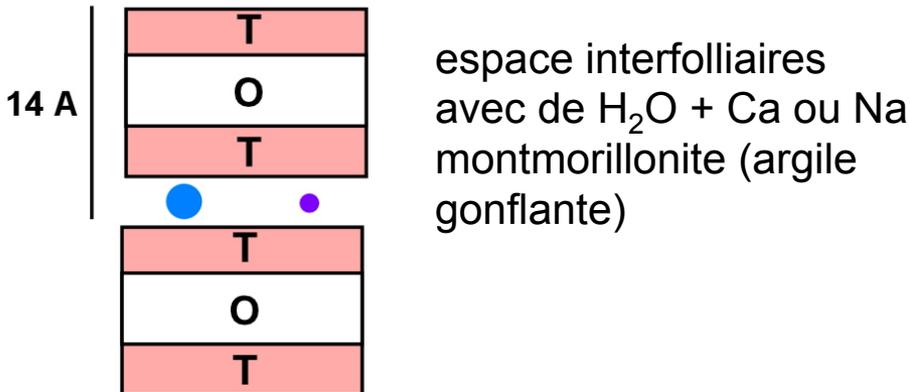
- en plan : n chaînes ou rubans parallèles
- en coupe : 2 couches tétraédriques (T) reliées par une couche d'octaèdre (O)



Feuillets TOT libres → Talc

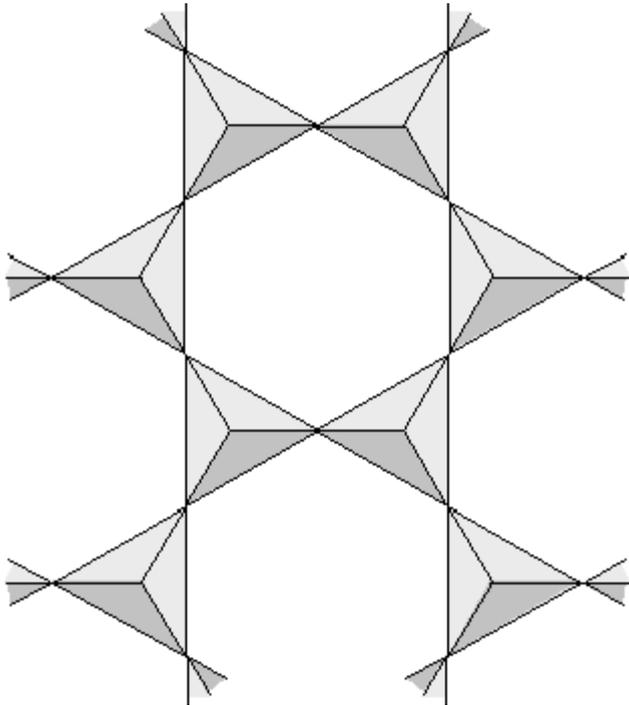


Feuillets TOT fixés → Micas



Feuillets minces TO → kaolinite

# Muscovite Phyllosilicates



Dureté 2,5 à 3



mica « blanc »

# Biotite

Phyllosilicates



3 cm



Dureté 2,5 à 3

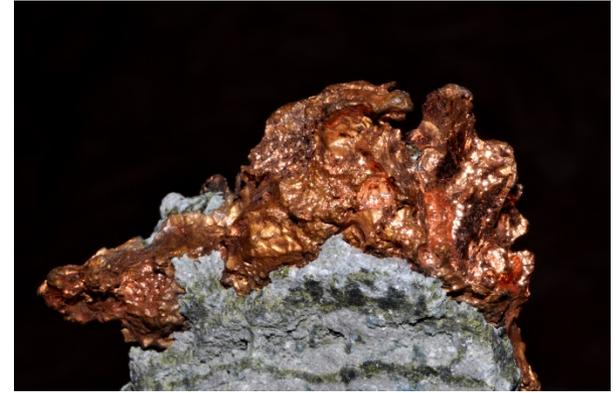
1 mm

## Les minéraux non silicatés ?

Minéraux non silicatés

**1- Éléments natifs**

Au, Ag, Cu, S, C



Minéraux non silicatés

**1- Éléments natifs**

Au, Ag, Cu, S, C

**2- Sulfures**

Galène PbS

Blende ZnS

Pyrite FeS<sub>2</sub>



Minéraux non silicatés

**1- Éléments natifs**

Au, Ag, Cu, S, C

**2- Sulfures**

Galène PbS

Blende ZnS

Pyrite FeS<sub>2</sub>



**3- Sulfates**

Gypse CaSO<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>

Anhydrite CaSO<sub>4</sub>

**4- Halogénures**

Halite NaCl

Fluorine CaF<sub>2</sub>

Sylvine KCl



Minéraux non silicatés

**1- Eléments natifs**

Au, Ag, Cu, S, C

**2- Sulfures**

Galène PbS

Blende ZnS

Pyrite FeS<sub>2</sub>

**3- Sulfates**

Gypse CaSO<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>

Anhydrite CaSO<sub>4</sub>

**4- Halogénures**

Halite NaCl

Fluorine CaF<sub>2</sub>

Sylvine KCl

**5- Oxydes et hydroxydes**

Hématite Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Corindon Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Minéraux non silicatés

**1- Eléments natifs**

Au, Ag, Cu, S, C

**2- Sulfures**

Galène PbS

Blende ZnS

Pyrite FeS<sub>2</sub>

**3- Sulfates**

Gypse CaSO<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>

Anhydrite CaSO<sub>4</sub>

**4- Halogénures**

Halite NaCl

Fluorine CaF<sub>2</sub>

Sylvine KCl

**5- Oxydes et hydroxydes**

Hématite Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Corindon Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**6- Carbonates**

Calcite CaCO<sub>3</sub>

Dolomite CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

Ankérite CaFeCO<sub>3</sub>

Sidérite FeCO<sub>3</sub>



Minéraux non silicatés

**1- Éléments natifs**

Au, Ag, Cu, S, C

**2- Sulfures**

Galène PbS

Blende ZnS

Pyrite FeS<sub>2</sub>

**3- Sulfates**

Gypse CaSO<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>

Anhydrite CaSO<sub>4</sub>

**4- Halogénures**

Halite NaCl

Fluorine CaF<sub>2</sub>

Sylvine KCl

**5- Oxydes et hydroxydes**

Hématite Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Corindon Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**6- Carbonates**

Calcite CaCO<sub>3</sub>

Dolomite CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

Ankérite CaFeCO<sub>3</sub>

Sidérite FeCO<sub>3</sub>

**7- Phosphates**

Apatite Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH, Cl, F)



**Géologie Générale**

**Géotech 3**

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→1. Les constituants des roches

→2. Les roches magmatiques

→3. Les roches sédimentaires

→4. Les roches métamorphiques

→5. Les propriétés géotechniques des roches

***Géologie Générale***

***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→ **2. Les roches magmatiques**

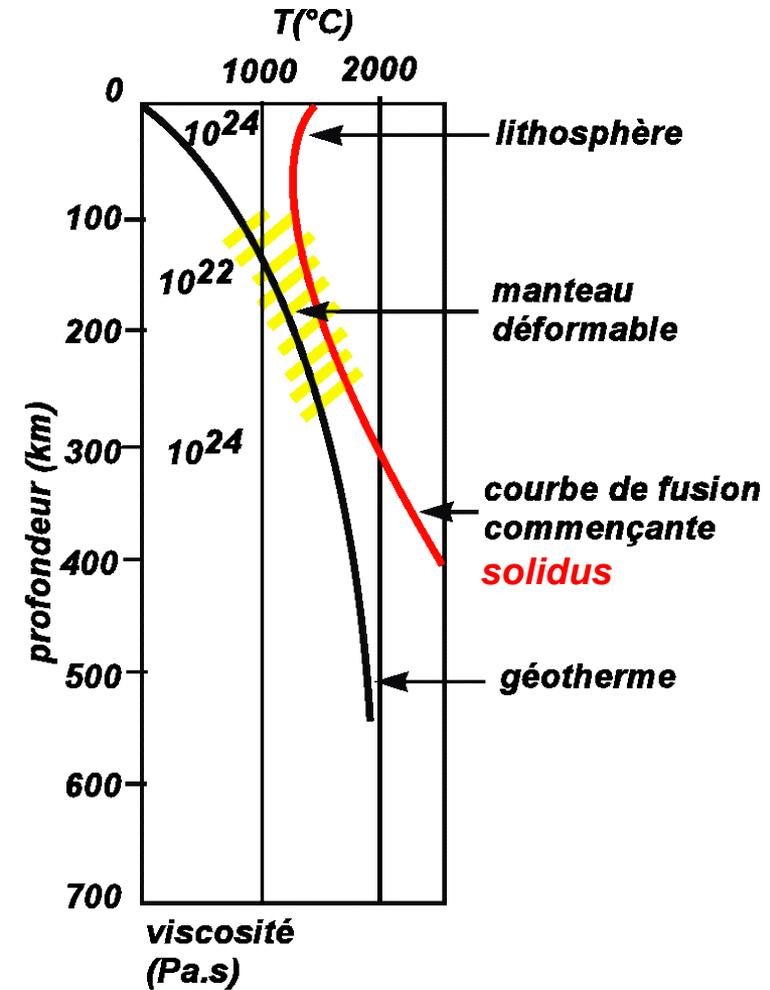
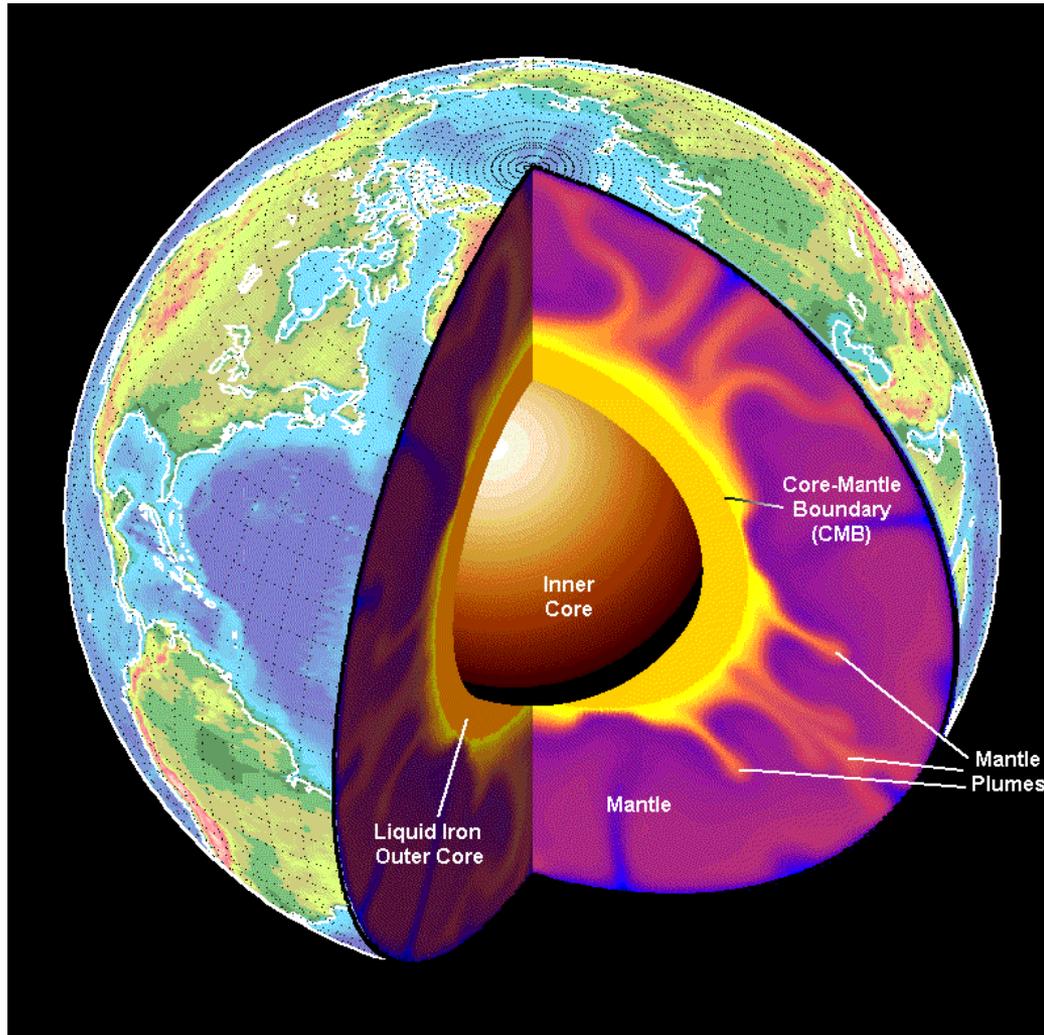
→ **2-1. Mécanismes de fusion**

→ **2-2. Processus de cristallisation**

→ **2-3. Structures des roches magmatiques**

→ **2-4. Classifications des roches magmatiques**

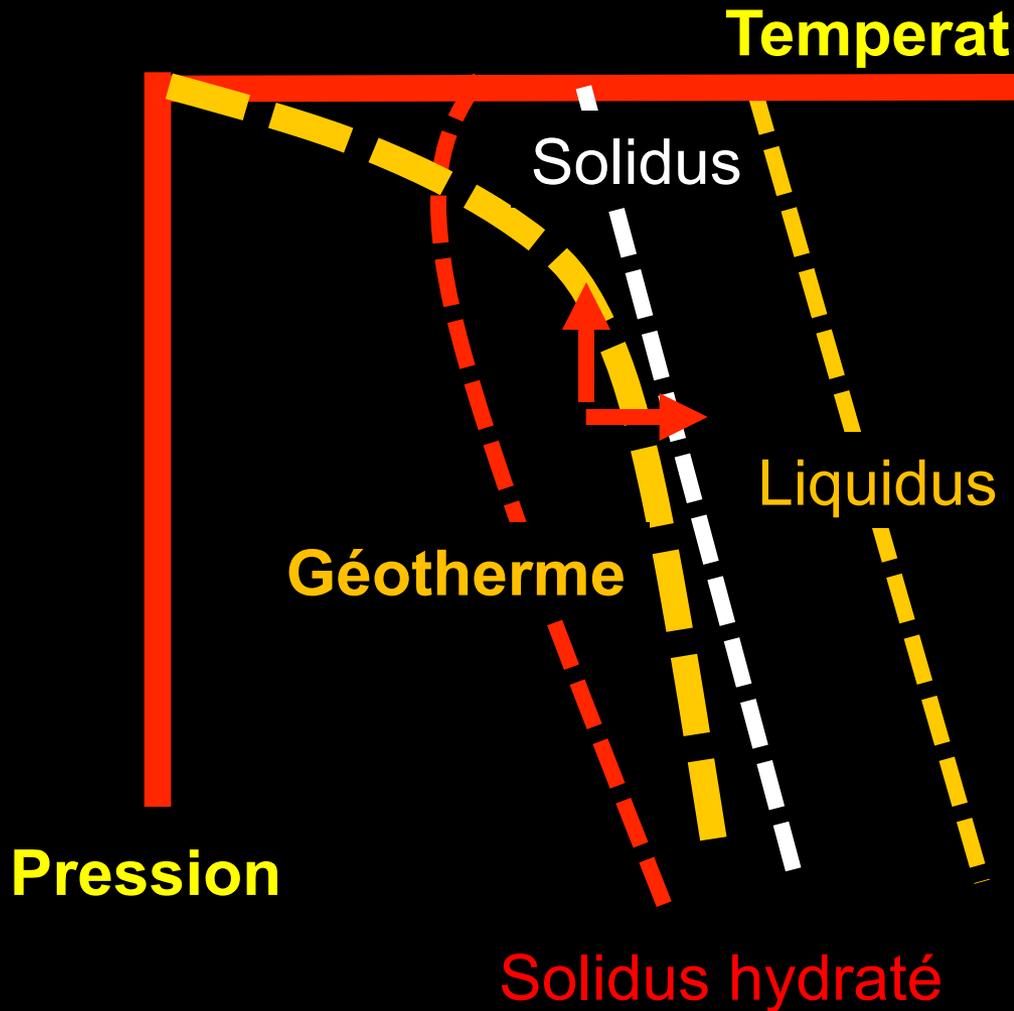
Les roches magmatiques proviennent de la cristallisation d'un magma....



Sur Terre seul le noyau externe est liquide....  
Comment obtenir de la fusion en surface ? ....

→ Le géotherme doit recouper le solidus!!.....

# Comment obtenir de la fusion ?

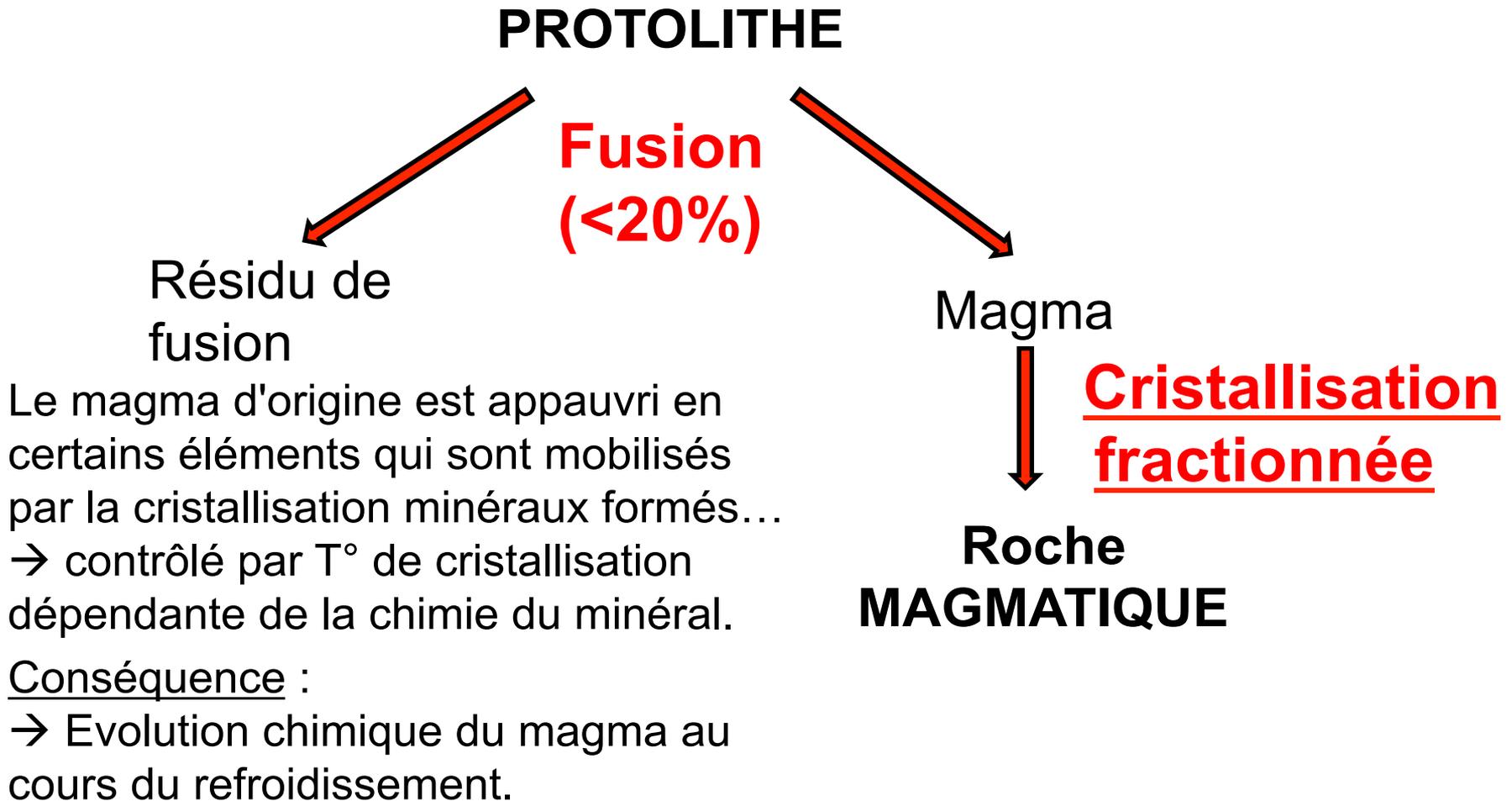


3 possibilités :

- Augmentation de la température
- Décompression
- Ajout H<sub>2</sub>O  
solidus hydraté

## LES ROCHES MAGMATIQUES

→ **MAGMA** : liquide qui provient de la fusion partielle, en profondeur, de roche préexistantes (protolithe ou source).



**Géologie Générale**

**Géotech 3**

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→ **2. Les roches magmatiques**

→ **2-1. Mécanismes de fusion**

→ **2-2. Processus de cristallisation**

→ **2-3. Structures des roches magmatiques**

→ **2-4. Classifications des roches magmatiques**

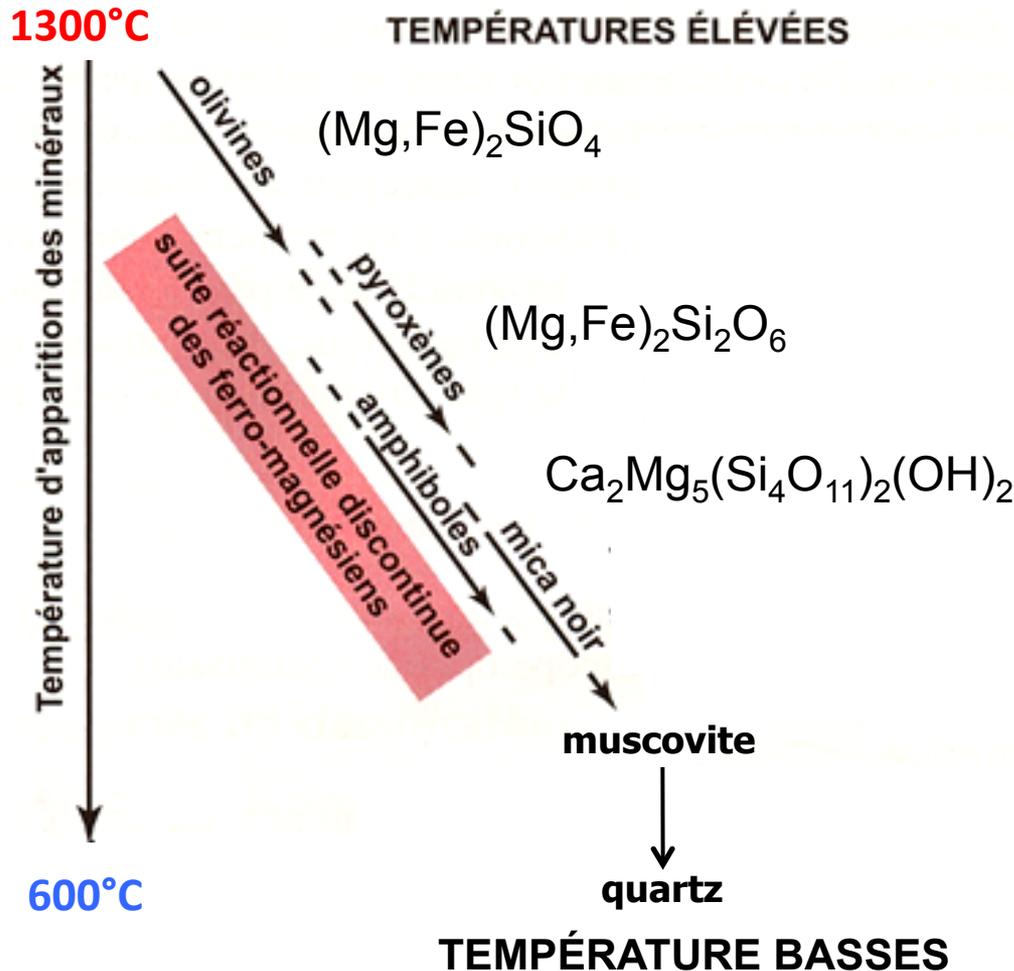
## Les séries réactionnelles de Bowen

Dans le cas de **réactions discontinues**

Revient à préciser l'ordre d'apparition des différents minéraux en fonction de la température.

Plus le minéral est ferro-magnésien, plus il cristallise à haute température...

Conséquences sur l'évolution chimique du magma (- de Fe-Mg au cours de la cristallisation).



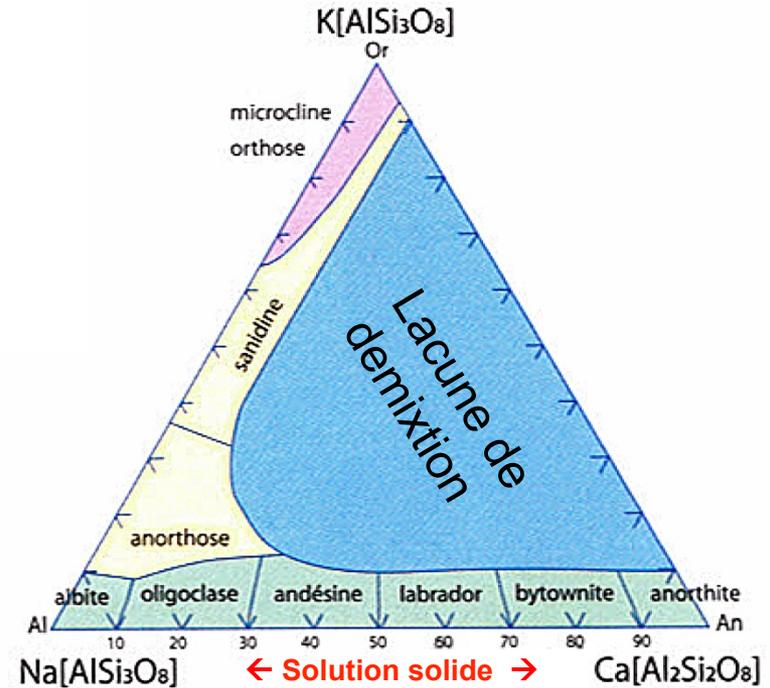
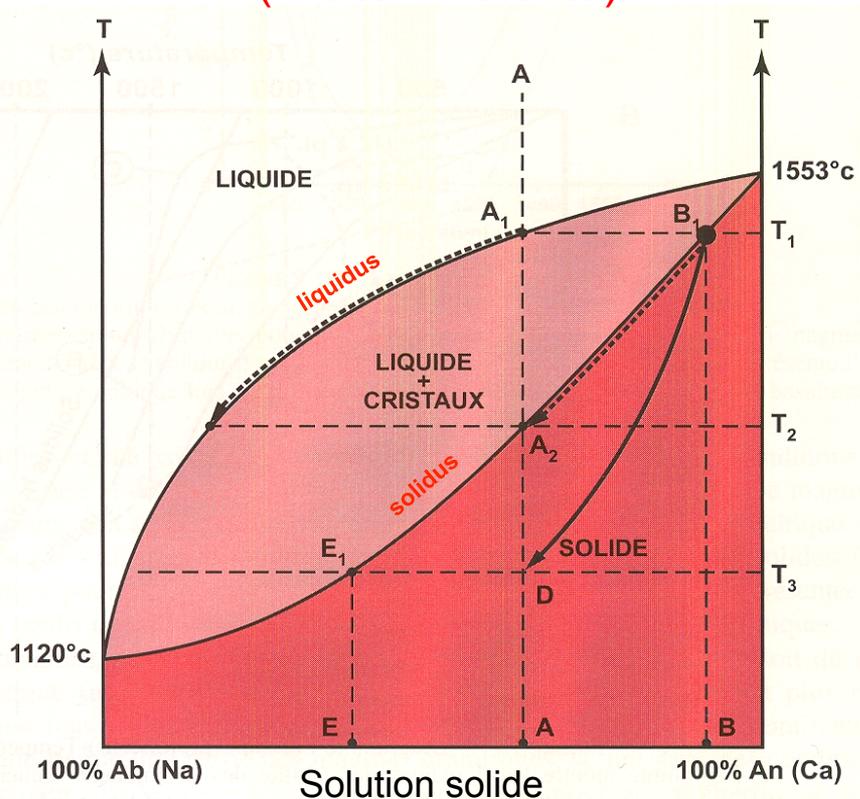
Dans le cas des réactions continues (solution solide)

**Exemple du système Albite / Anorthite**

Implique ?

→ Evolution chimique du liquide différente de celle du solide...

**Diagramme de phase (Albite-Anorthite)**



**Pôles purs T° cristallisation = T° fusion :**

T° de cristallisation de l'anorthite (Ca) = 1553°C

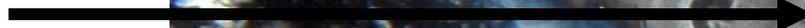
T° de cristallisation de l'albite (Na) = 1120°C

Entre les deux (solution solide) ce n'est plus le cas...

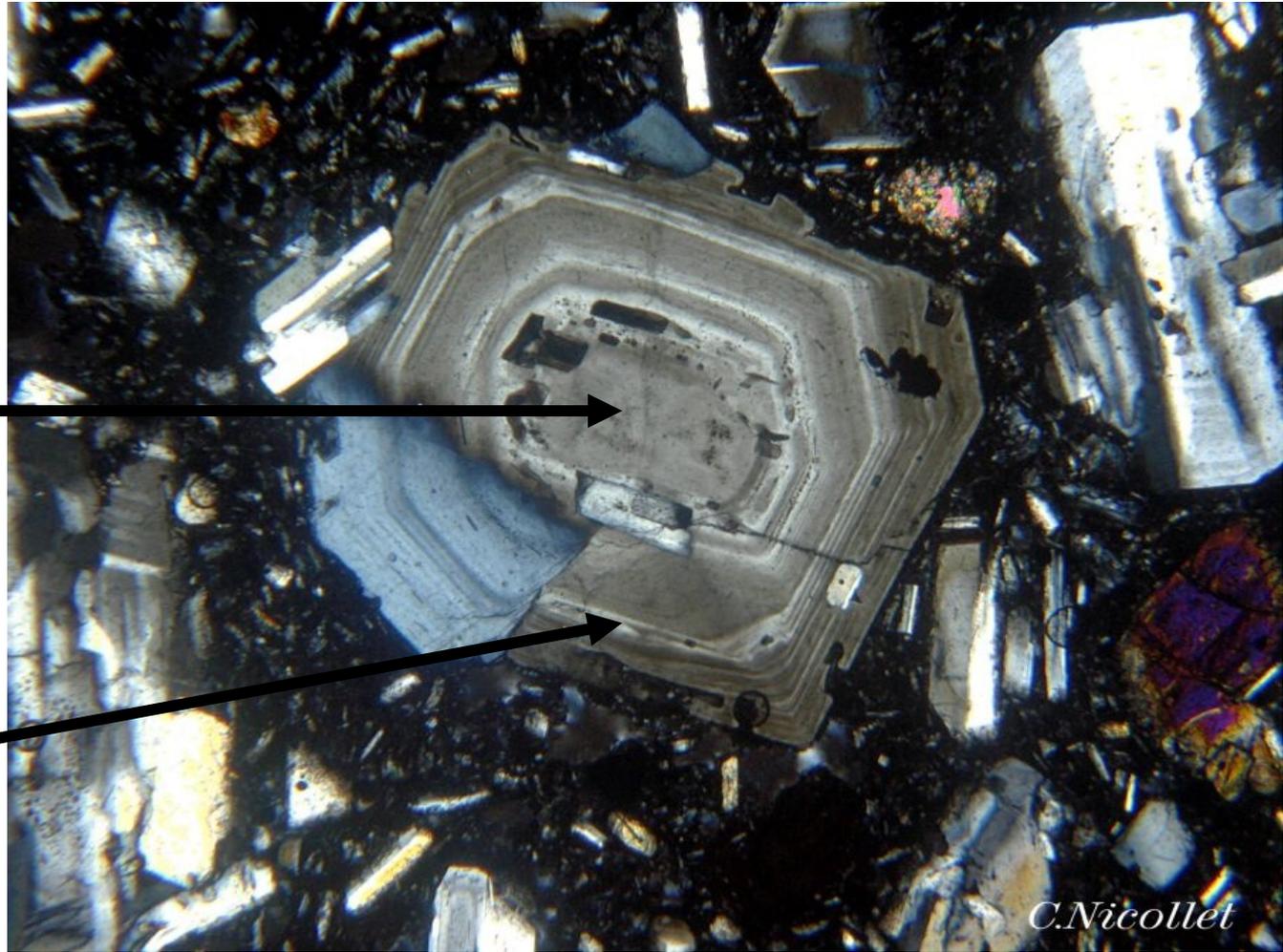


**Refroidissement rapide : plagioclase zoné**

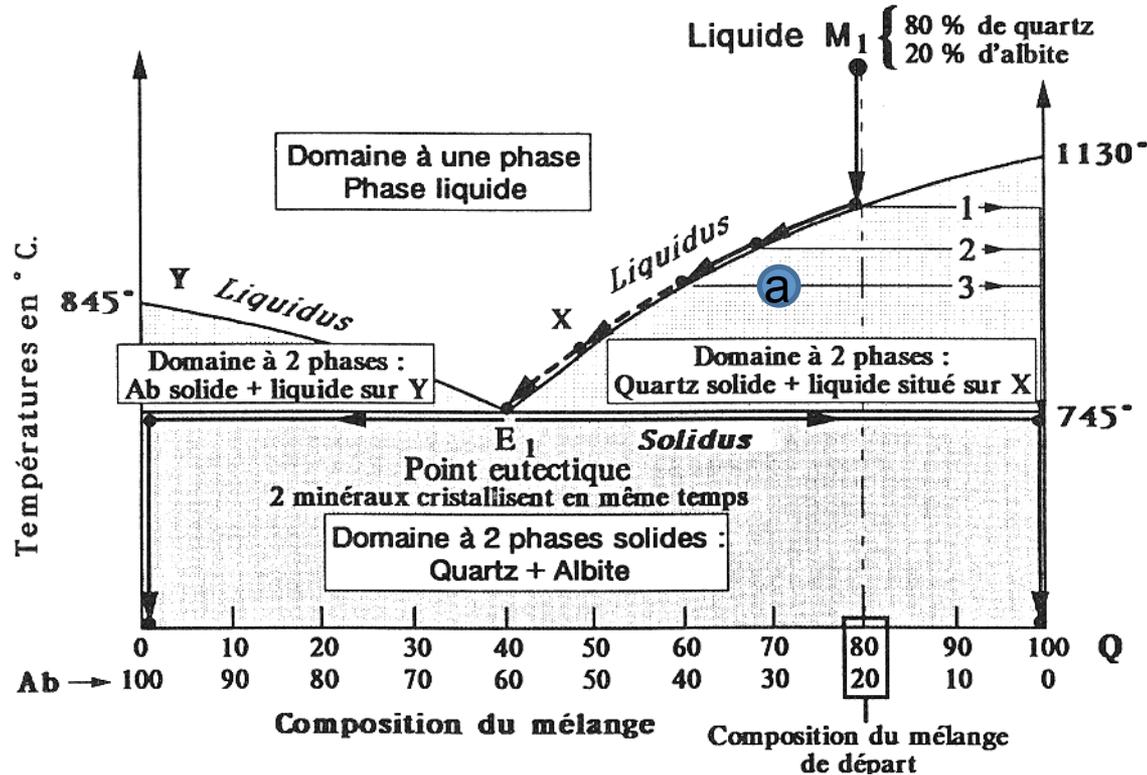
Le cœur du minéral est plus riche en anorthite (Ca)



La périphérie du minéral est plus riche en albite (Na)



**Diagramme de phase pour deux minéraux non miscibles à l'état solide (Quartz-Albite)**



**Expression minéralogique ?**

En E : 66% de la roche = phénocristaux de Qtz  
 et 34% de la roche = microcristaux de Qz+Ab dans  
 les proportions données en E : 40% Qtz + 60% Ab

# **géologie générale - Partie I - 2.2. Processus de cristallisation**

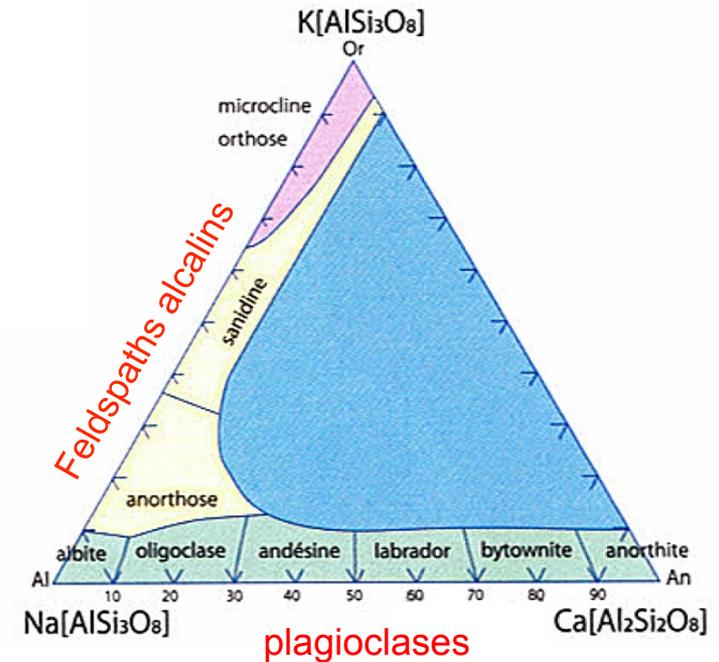
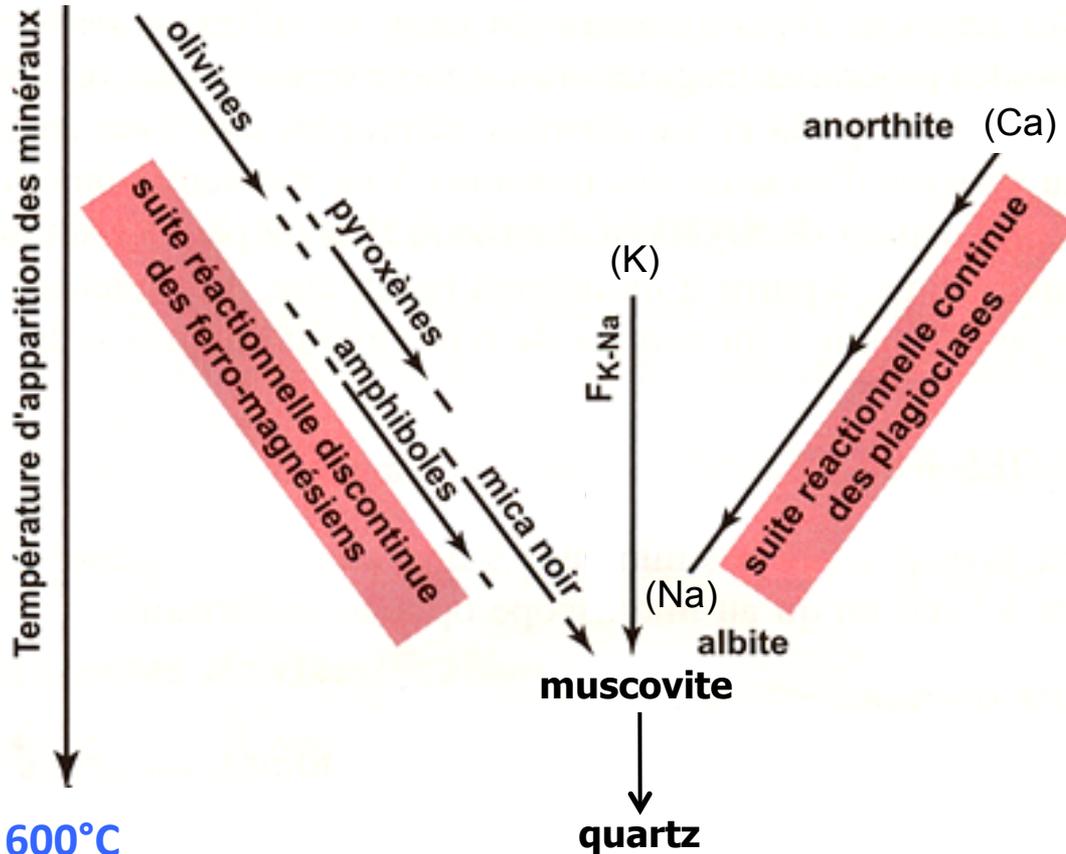
Généralisation de ces expériences sur des composés complexes permet de définir des domaines de coexistence des minéraux en fonction de la température et de la composition du magma initial.

Ordre d'apparition des différents minéraux en fonction de la température.

## **→ séries réactionnelles de Bowen**

**1300°C**

TEMPÉRATURES ÉLEVÉES



***Géologie Générale***

***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→ **2. Les roches magmatiques**

→ **2-1. Mécanismes de fusion**

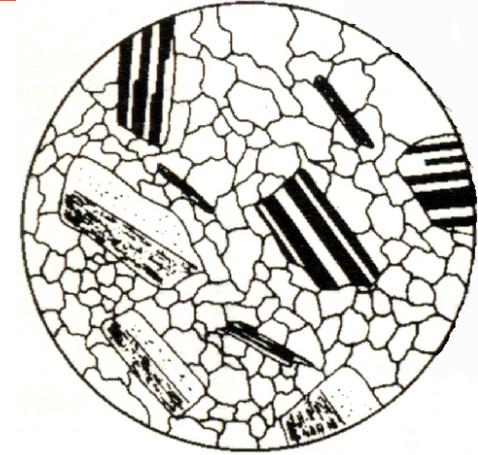
→ **2-2. Processus de cristallisation**

→ **2-3. Structures des roches magmatiques**

→ **2-4. Classifications des roches magmatiques**

Structure des roches magmatiques contrôlée par la vitesse de refroidissement du magma

→ roches plutoniques, refroidissement lent, en profondeur les minéraux sont tous visibles à l'œil nu → **structure grenue**

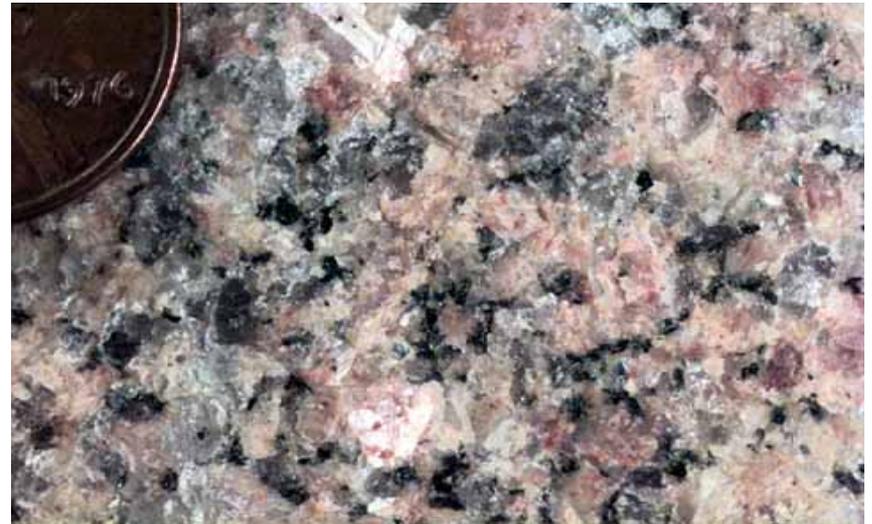
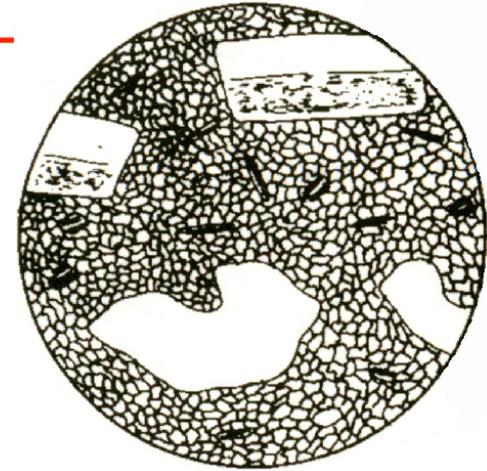


**Structure des roches magmatiques contrôlée par la vitesse de refroidissement du magma**

→ roches plutoniques, refroidissement lent, en profondeur les minéraux sont tous visibles à l'œil nu → **structure grenue**

→ roches filoniennes, refroidissement intermédiaire dans des filons, les minéraux sont tous visibles mais de petite dimension

→ **structure microgrenue**



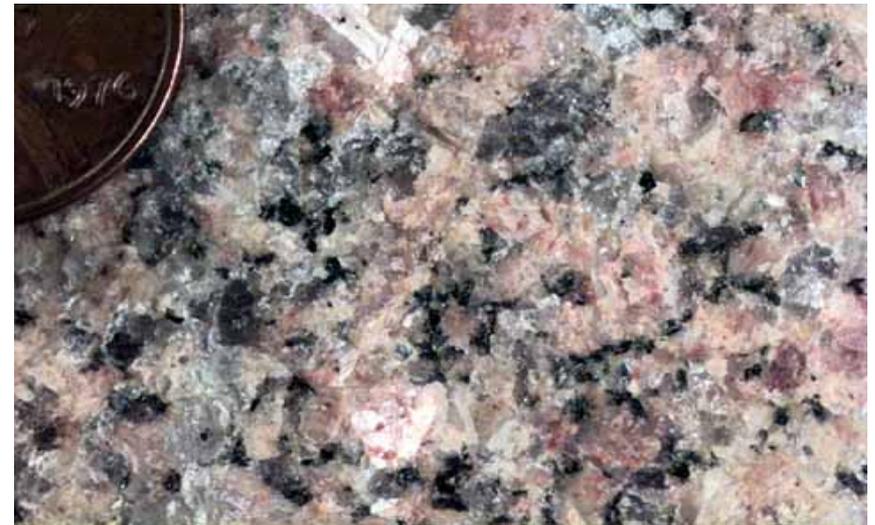
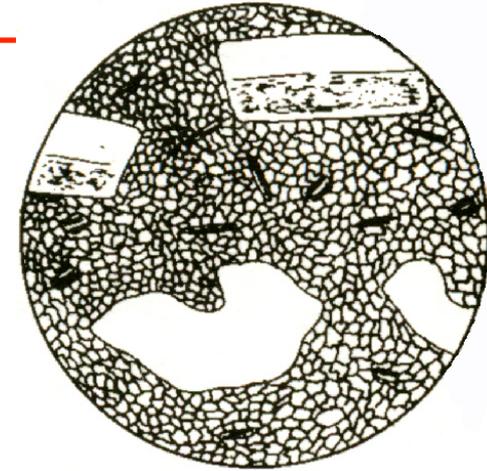
**Structure des roches magmatiques contrôlée par la vitesse de refroidissement du magma**

→ roches plutoniques, refroidissement lent, en profondeur les minéraux sont tous visibles à l'œil nu → **structure grenue**

→ roches filoniennes, refroidissement intermédiaire dans des filons, les minéraux sont tous visibles mais de petite dimension

→ **structure microgrenue**

→ **structure pegmatitique : minéraux de grande dimension, généralement associée à la circulation de fluide**



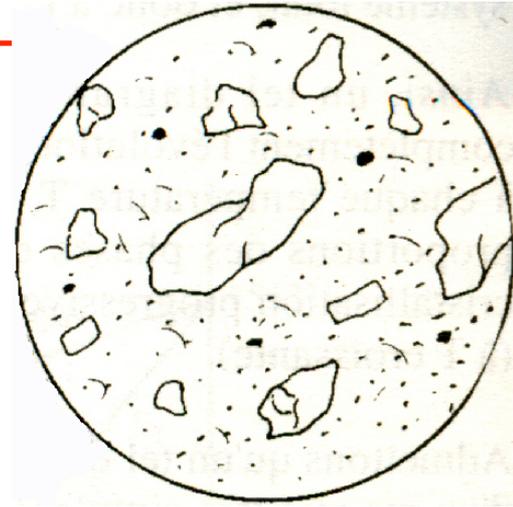
**Structure des roches magmatiques contrôlée par la vitesse de refroidissement du magma**

→ roches plutoniques, refroidissement lent, en profondeur les minéraux sont tous visibles à l'œil nu → **structure grenue**

→ roches filoniennes, refroidissement intermédiaire dans des filons, les minéraux sont tous visibles mais de petite dimension

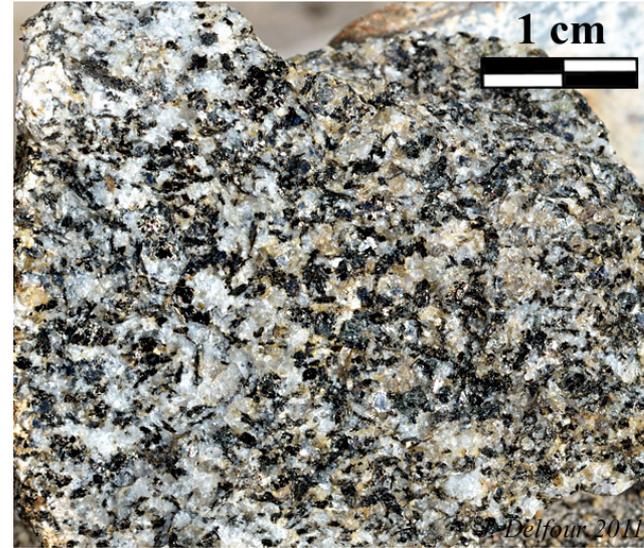
→ **structure microgrenue**

→ roches volcaniques, refroidissement rapide (trempe), en sub-surface, petits cristaux baignant dans une pâte (verre) → **structure microlitique**



**Différents types de texture :**

**Texture équate** : roche grenue dont les cristaux ne présentent pas d'orientation préférentielle (isotrope)



**Texture orientée** : les cristaux présentent une orientation préférentielle (feldspaths)

**Texture vacuolaire** : la roche présente de petites cavités, liées à la présence de bulles de gaz lors de la solidification du magma (roches volcaniques)



L'agencement des minéraux permet de caractériser le comportement mécanique des roches !!

**Géologie Générale**

**Géotech 3**

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→ **2. Les roches magmatiques**

→ **2-1. Mécanismes de fusion**

→ **2-2. Processus de cristallisation**

→ **2-3. Structures des roches magmatiques**

→ **2-4. Classifications des roches magmatiques**

## **Classification ça sert à quoi ?**

- Simplification permettant de faire ressortir les grandes familles de roche.
- Faciliter la reconnaissance.
- Traduire l'origine et la formation des roches.

## **Classification ça sert à quoi ?**

- Simplification permettant de faire ressortir les grandes familles de roche.
- Faciliter la reconnaissance.
- Traduire l'origine et la formation des roches.

## **Quelques paramètres de classification**

- Acidité (teneur en  $\text{SiO}_2$ )
  - roches acides  $\text{SiO}_2 > 65\%$
  - roches intermédiaires  $52\% < \text{SiO}_2 < 65\%$
  - roches basiques  $45\% < \text{SiO}_2 < 52\%$
  - roches ultra-basiques  $\text{SiO}_2 < 45\%$
- Alcalinité (teneur  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ )
  - roches alcalines (Feldspaths K-Na)
  - roches calco-alcalines (Feldspaths K-Na + plagioclases)
  - roches calco-sodiques (plagioclases)

## Classification ça sert à quoi ?

- Simplification permettant de faire ressortir les grandes familles de roche.
- Faciliter la reconnaissance.
- Traduire l'origine et la formation des roches.

## Quelques paramètres de classification

- Acidité (teneur en  $\text{SiO}_2$ )
  - roches acides  $\text{SiO}_2 > 65\%$
  - roches intermédiaires  $52\% < \text{SiO}_2 < 65\%$
  - roches basiques  $45\% < \text{SiO}_2 < 52\%$
  - roches ultra-basiques  $\text{SiO}_2 < 45\%$
- Alcalinité (teneur  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ )
- Coloration (% de minéraux ferromagnésiens le reste correspond aux minéraux quartzo-feldspathiques)
  - 12,5 et 37,5% roches leucocrates
  - 37,5 et 62,5% roches mésocrates
  - 62,5 et 87,5% roches mélanocrates
- Structure de la roche
  - grenue (plutonique)
  - microgrenue (filonienne)
  - microlitique (volcanique)



## **Classification ça sert à quoi ?**

- Simplification permettant de faire ressortir les grandes familles de roche.
- Faciliter la reconnaissance.
- Traduire l'origine et la formation des roches.

## **Quelques paramètres de classification**

### → Acidité (teneur en $\text{SiO}_2$ )

- roches acides  $\text{SiO}_2 > 65\%$
- roches intermédiaires  $52\% < \text{SiO}_2 < 65\%$
- roches basiques  $45\% < \text{SiO}_2 < 52\%$
- roches ultra-basiques  $\text{SiO}_2 < 45\%$

### → Alcalinité (teneur $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ )

### → Coloration (% de minéraux ferromagnésiens le reste correspond aux minéraux quartzo-feldspathiques)

- 12,5 et 37,5% roches leucocrates
- 37,5 et 62,5% roches mésocrates
- 62,5 et 87,5% roches mélanocrates

### → Structure de la roche

- grenue (plutonique)
- microgrenue (filonienne)
- microlitique (volcanique)

### → Agencement des minéraux

- holocristalline (plutonique)
- hypocristalline (filonienne et volcaniques)
- hyaline ou vitreuse (volcanique)

Granite : roche  
**holocristalline**



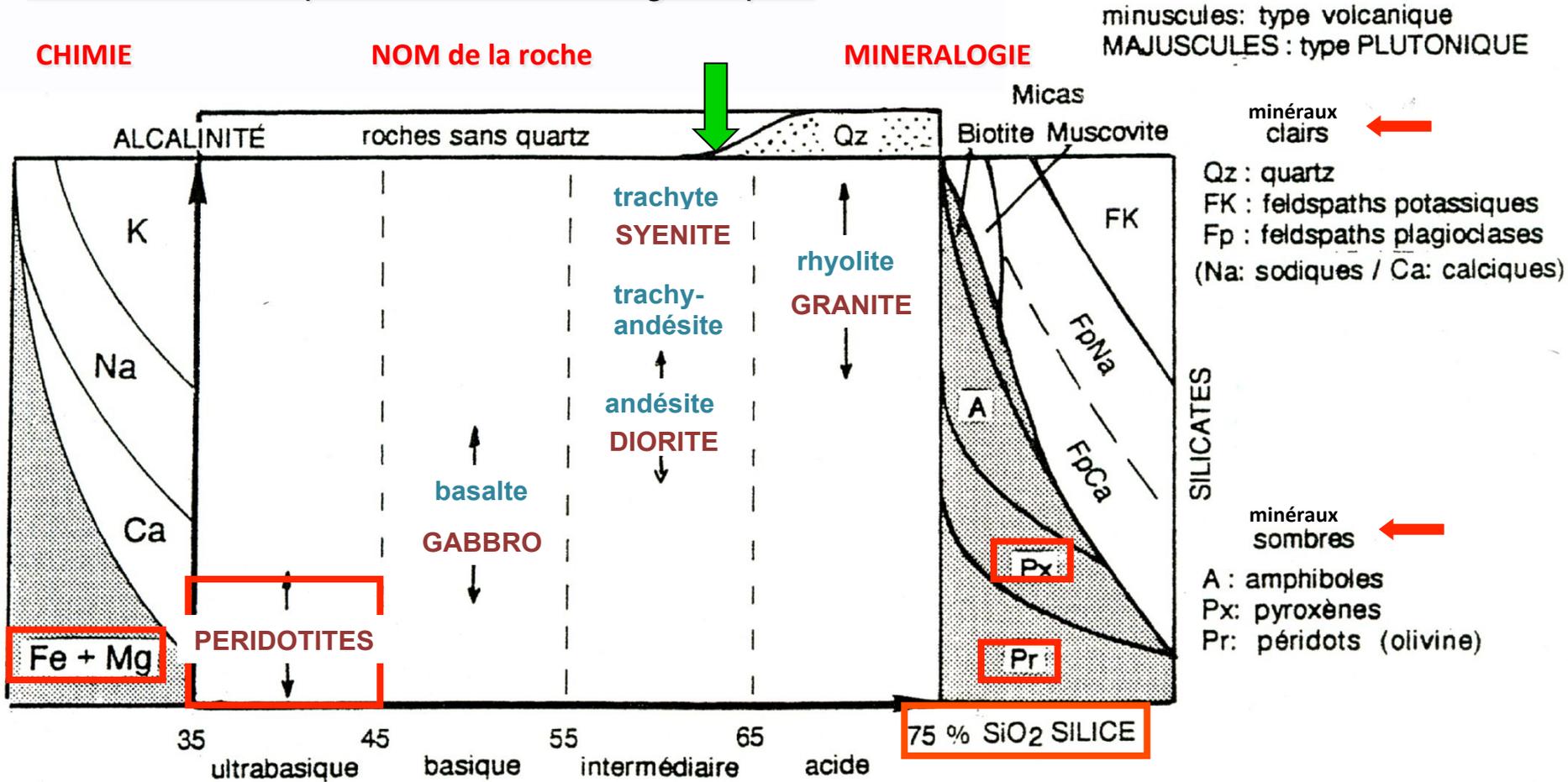
Andésite : roche  
**hypocristalline**



Obsidienne :  
roche **hyaline ou vitreuse**  
(aucun minéral n'a cristallisé)



Classification simplifiée des roches magmatiques

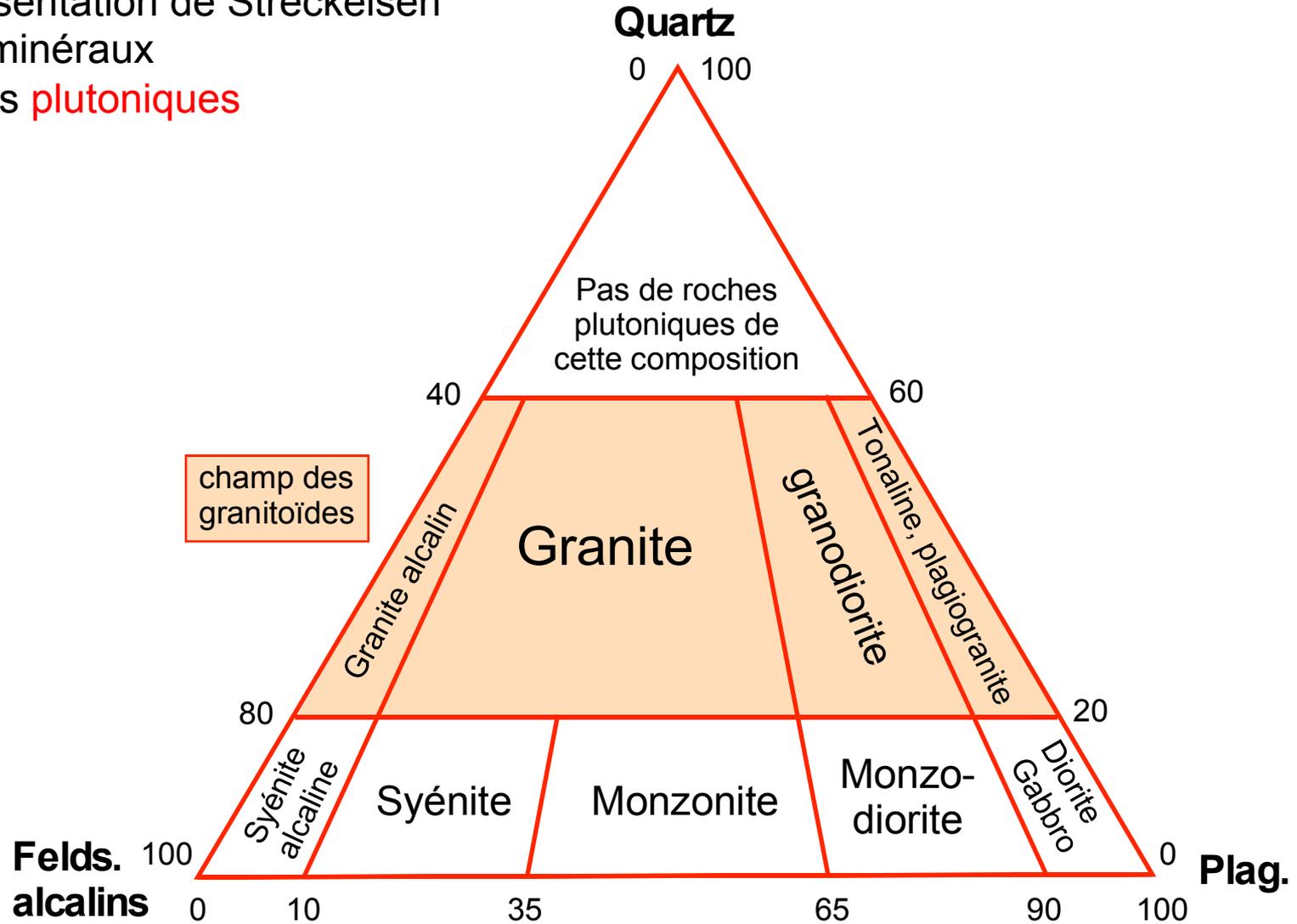


Apparition du quartz pour des magmas riches en Si ( $SiO_2 > 60\%$ )

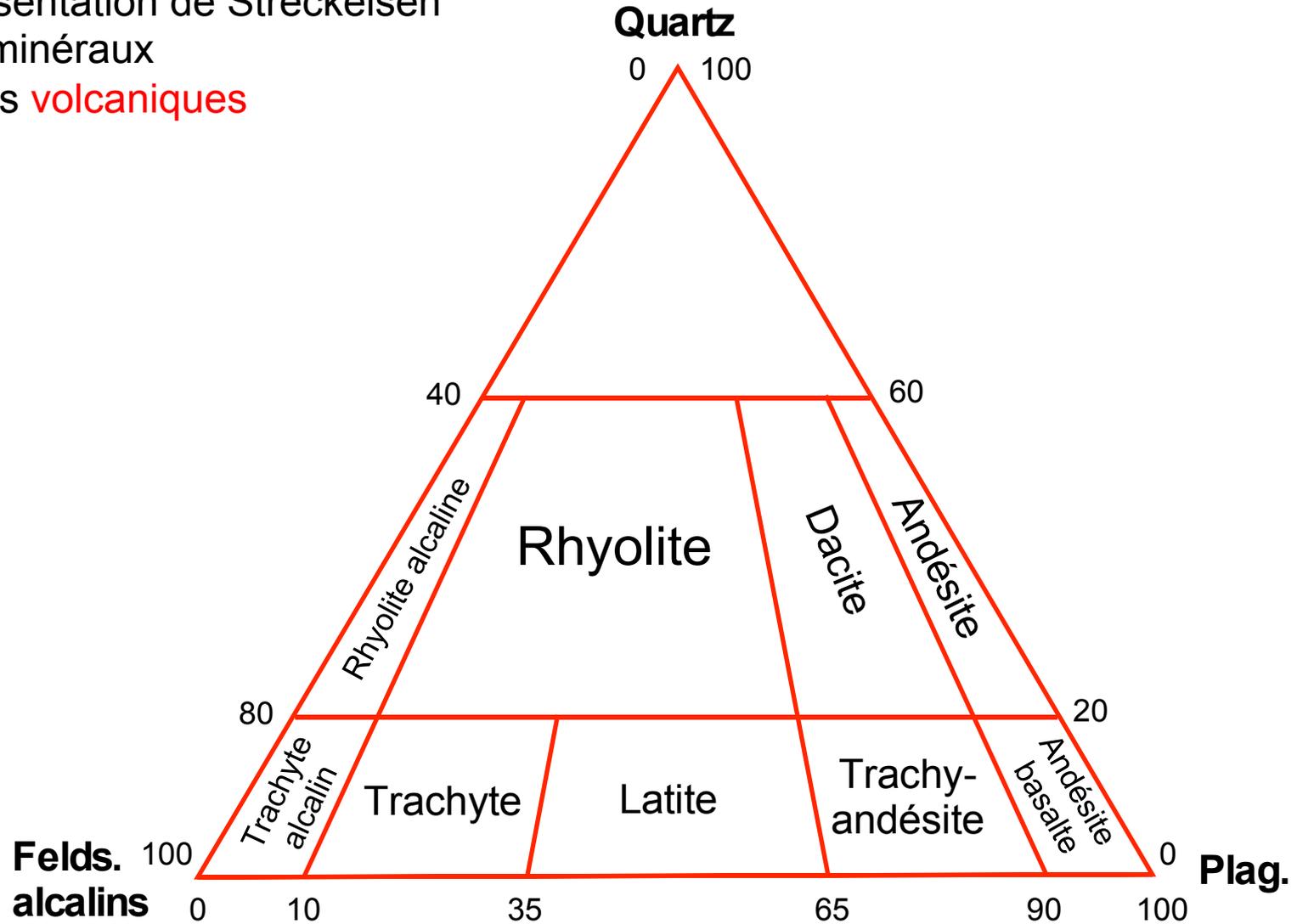
→ reflète la différenciation chimique et minéralogique des magmas

Pb: classification incomplète série sous saturée non représentée (feldspathoïdes)

Représentation de Streckeisen  
% de minéraux  
Roches **plutoniques**



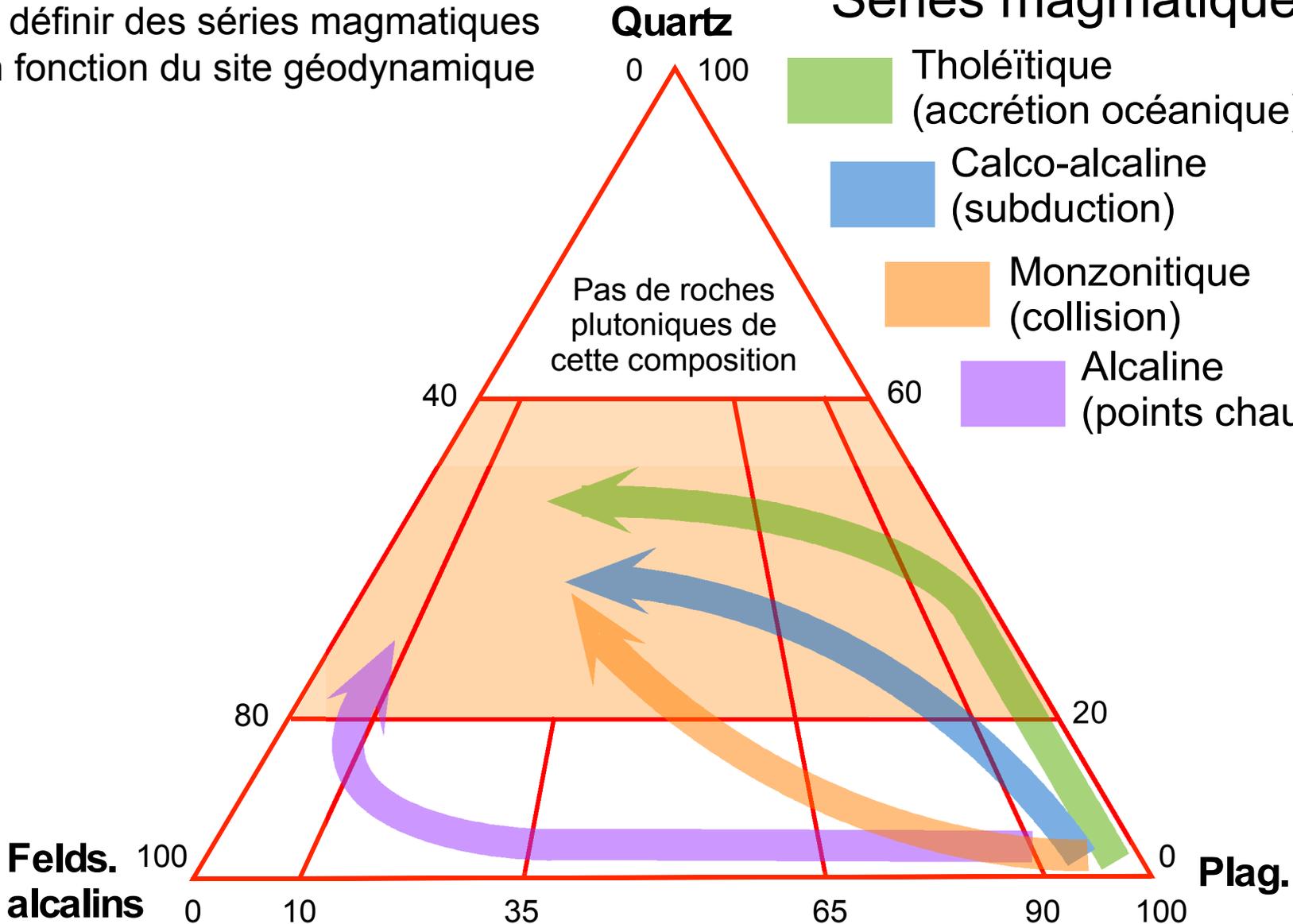
Représentation de Streckeisen  
% de minéraux  
Roches volcaniques



Représentation de Streckeisen  
→ définir des séries magmatiques  
en fonction du site géodynamique

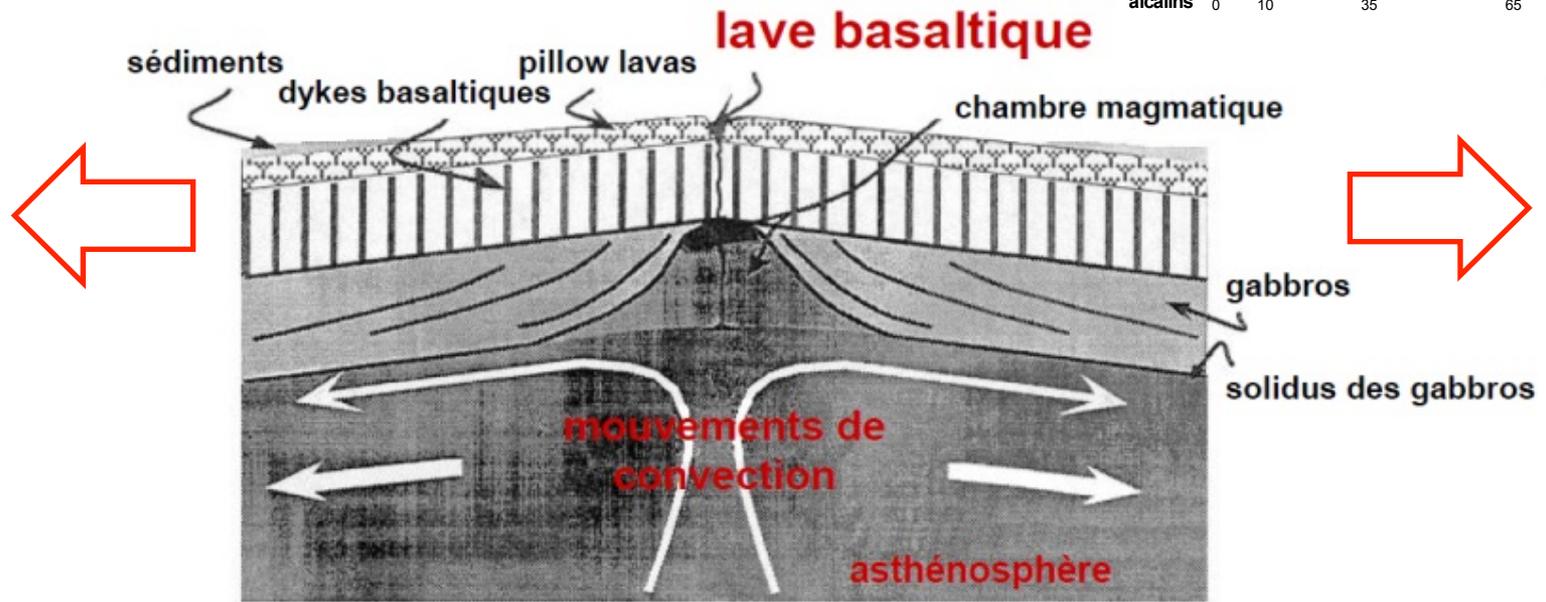
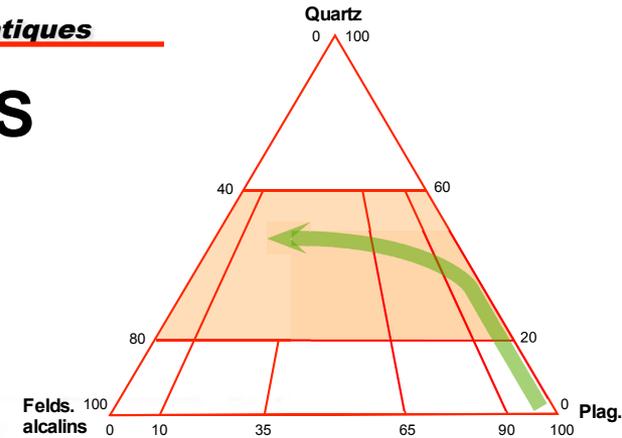
## Séries magmatiques

- Tholéitique (accrétion océanique)
- Calco-alcaline (subduction)
- Monzonitique (collision)
- Alcaline (points chauds)



# LES MAGMAS BASALTIQUES (série tholéïtique)

→ **Contexte distensif**  
**(dorsale océanique - accrétion)**

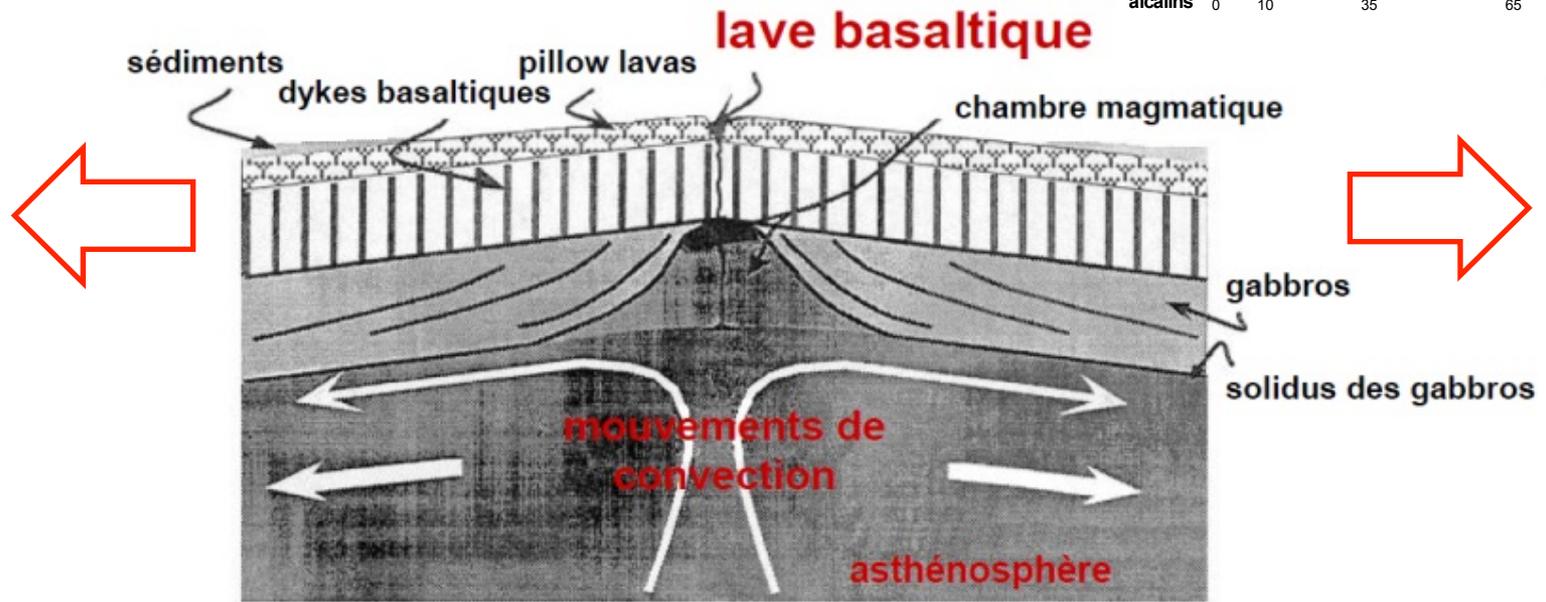
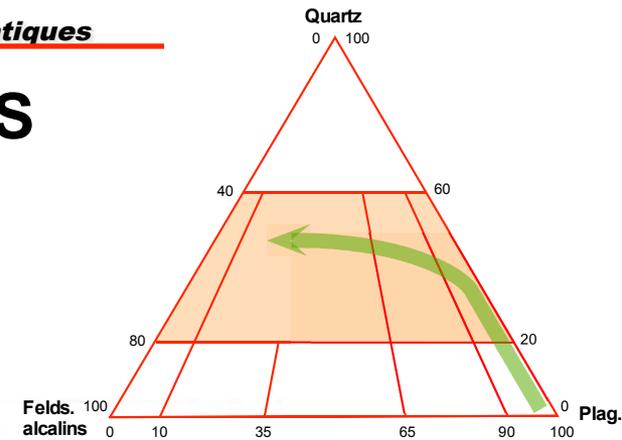


**SOURCE** : Roche du manteau (Péridotite)

Volcanisme effusif

# LES MAGMAS BASALTIQUES (série tholéïtique)

→ **Contexte distensif**  
**(dorsale océanique - accrétion)**



**BASALTES** avec des phénocristaux: PYROXENE (+olivine) et PLAGIOCLASES

EQUIVALENT PLUTONIQUE : **GABBROS**

# LES MAGMAS BASALTIQUES

→ **Contexte distensif**

Basalte vacuolaire



Gabbro

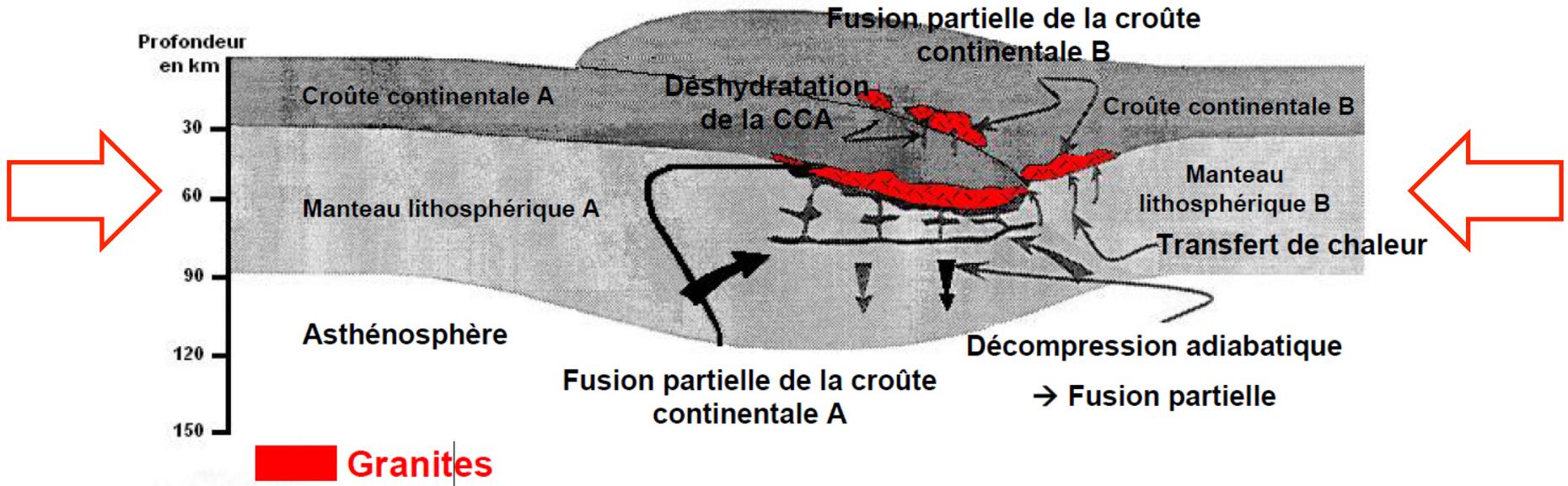
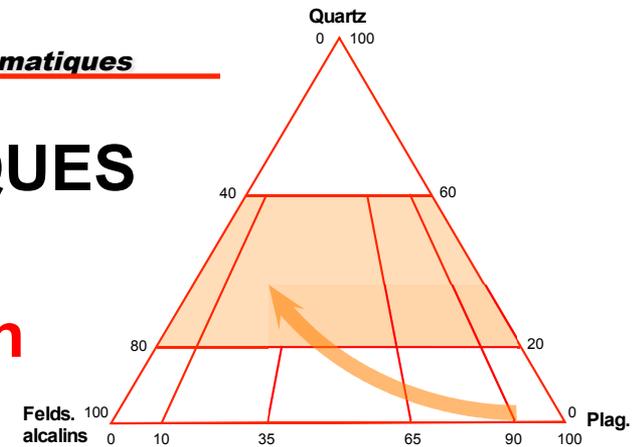


Pillow lava



# LES MAGMAS GRANITIQUES (série monzonitique)

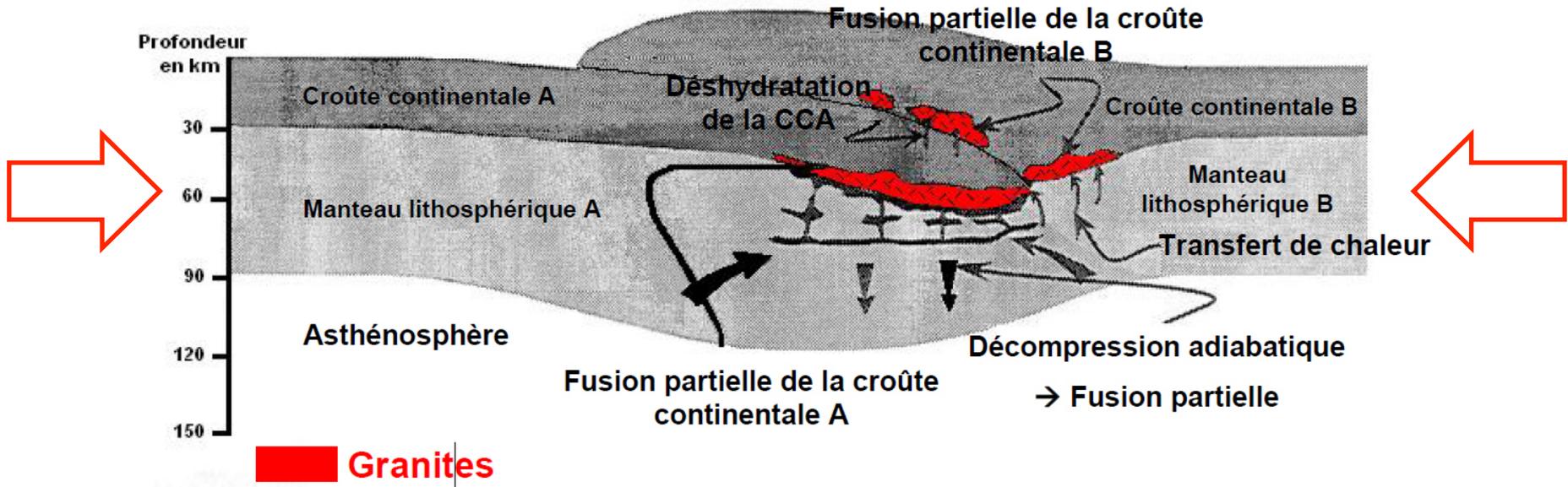
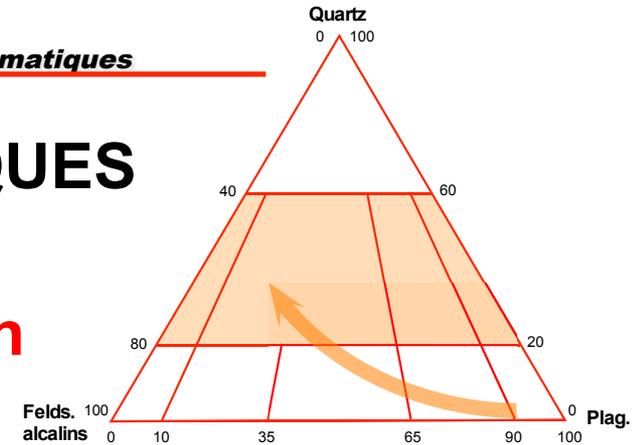
→ Contexte de collision



**SOURCE** : Roches de la croûte continentale  
Volcanisme rare (<1%) plutons dominants

# LES MAGMAS GRANITIQUES (série monzonitique)

→ Contexte de collision



**GRANITES** : QUARTZ, MICAS, FELDSPATH K

EQUIVALENT VOLCANIQUE : **RHYOLITE**

# LES MAGMAS GRANITQUES

Granite



Intrusion granitique (Brandberg Namibie)



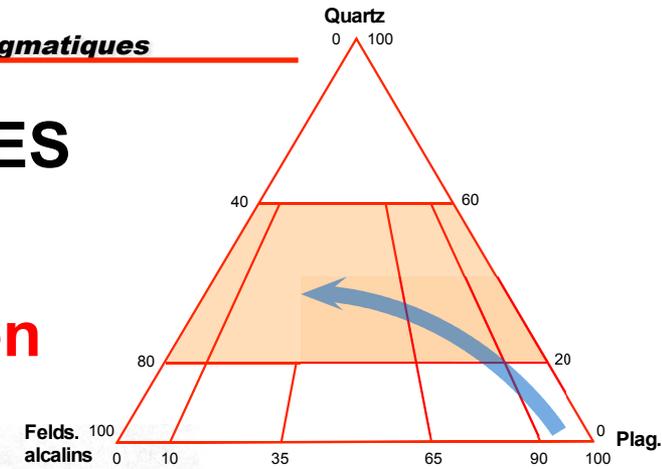
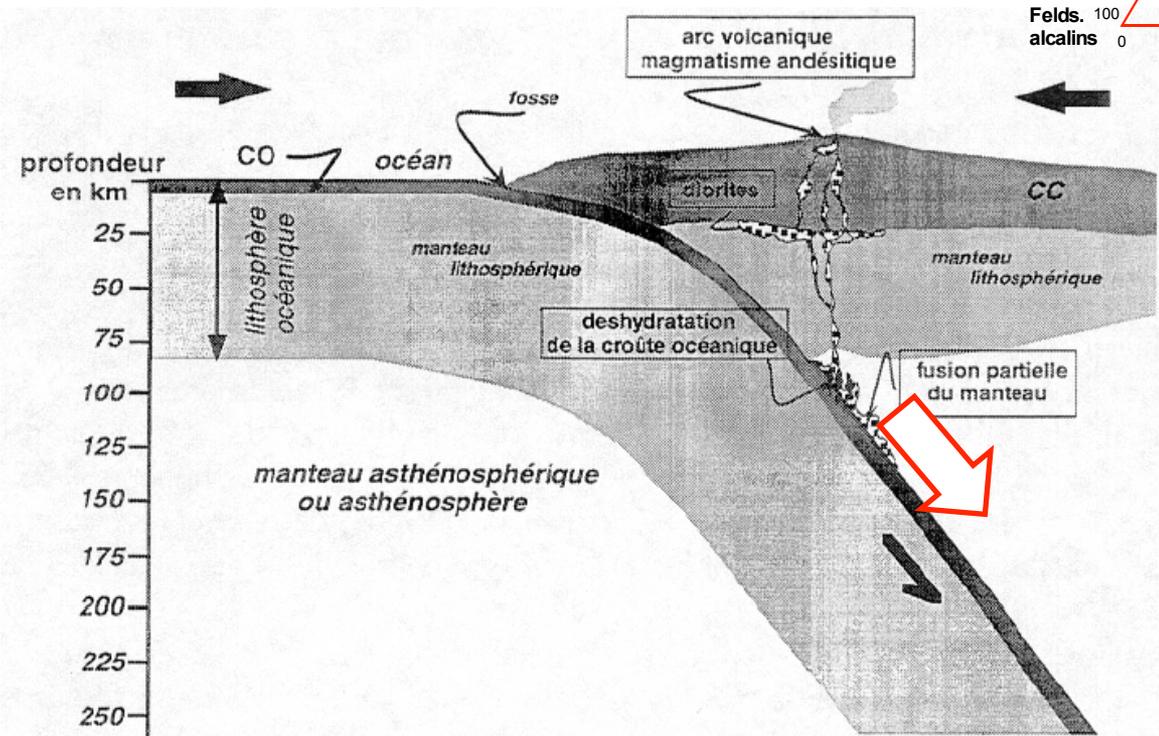
Rhyolite



Photographie I:C pour [www.meeaucollege.com](http://www.meeaucollege.com)

# LES MAGMAS ANDESITIQUES (série calco-alcaline)

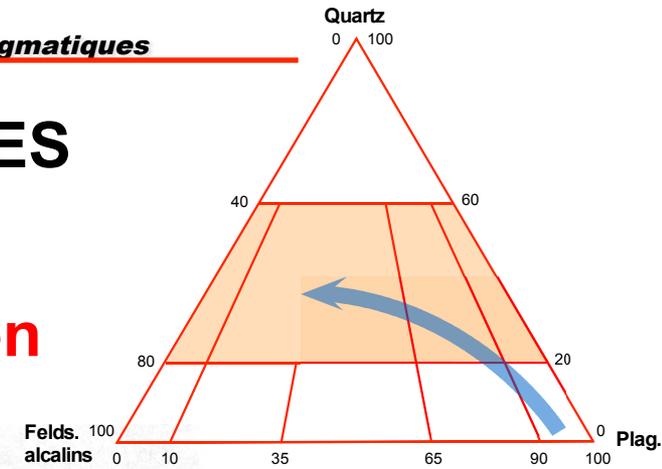
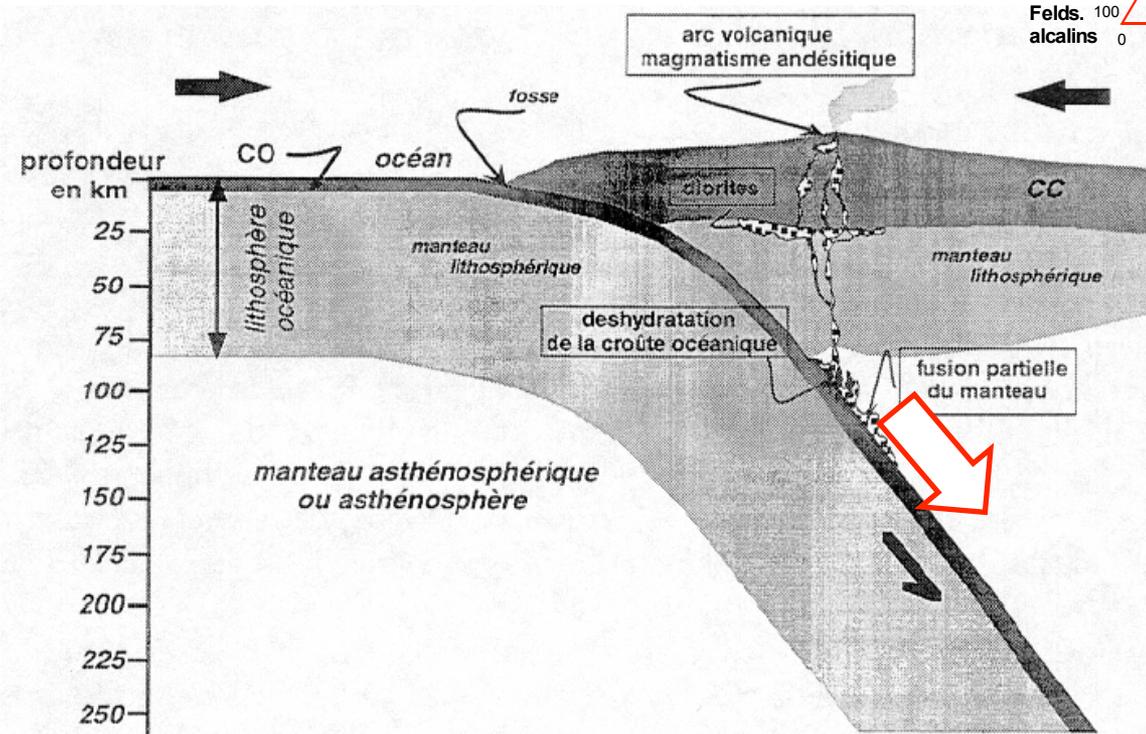
→ Contexte de subduction



**SOURCE** : Roches du manteau enrichies en eau  
Volcanisme explosif et plutons

# LES MAGMAS ANDESITIQUES (série calco-alcaline)

→ Contexte de subduction



**Andésite** avec des phénocristaux : Plagioclases et amphiboles  
EQUIVALENT PLUTONIQUE : **DIORITE**

## LES MAGMAS ANDESITIQUES

→ **Contexte de subduction**

Andésite



Diorite



### **Famille des granites (croûte continentale)**

- Granite → Feldspaths (F. Alcalin et Plagio) Micas Quartz  
Couleur claire à texture équante, présente une structure grenue ou microgrenue et peut comporter des porphyroïdes (gros feldspaths).
- Rhyolite → équivalent du granite mais roche volcanique à texture microlitique.

### **Famille des diorites**

- Diorite → roche riche en feldspaths (plagioclases) et amphibole pouvant contenir du pyroxène.  
Roche grenue et sombre à texture équante.
- Andésite → équivalent de la diorite mais roche volcanique microlitique.
- Granodiorite → roche entre un granite et une diorite contenant du quartz.

### **Famille des gabbros (croûte océanique)**

- Gabbro → roche constituée par des pyroxènes et des plagioclases (jamais de quartz).  
Les pyroxènes sont parfois déstabilisés en amphiboles.  
Roche grenue le plus souvent à structure équante.
- Basalte → roche constituée par des pyroxènes et des plagioclases (jamais de quartz).  
Roche volcanique à texture microlitique.

### **Famille des péridotites (manteau)**

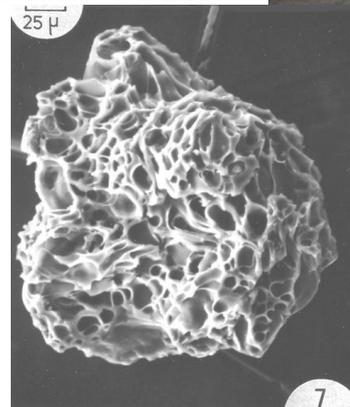
- Péridotite → roche constituée par des pyroxènes et olivines (jamais de quartz).  
Roche grenue. Ces roches sont le plus souvent serpentinisées.

## Les roches associées aux roches volcaniques

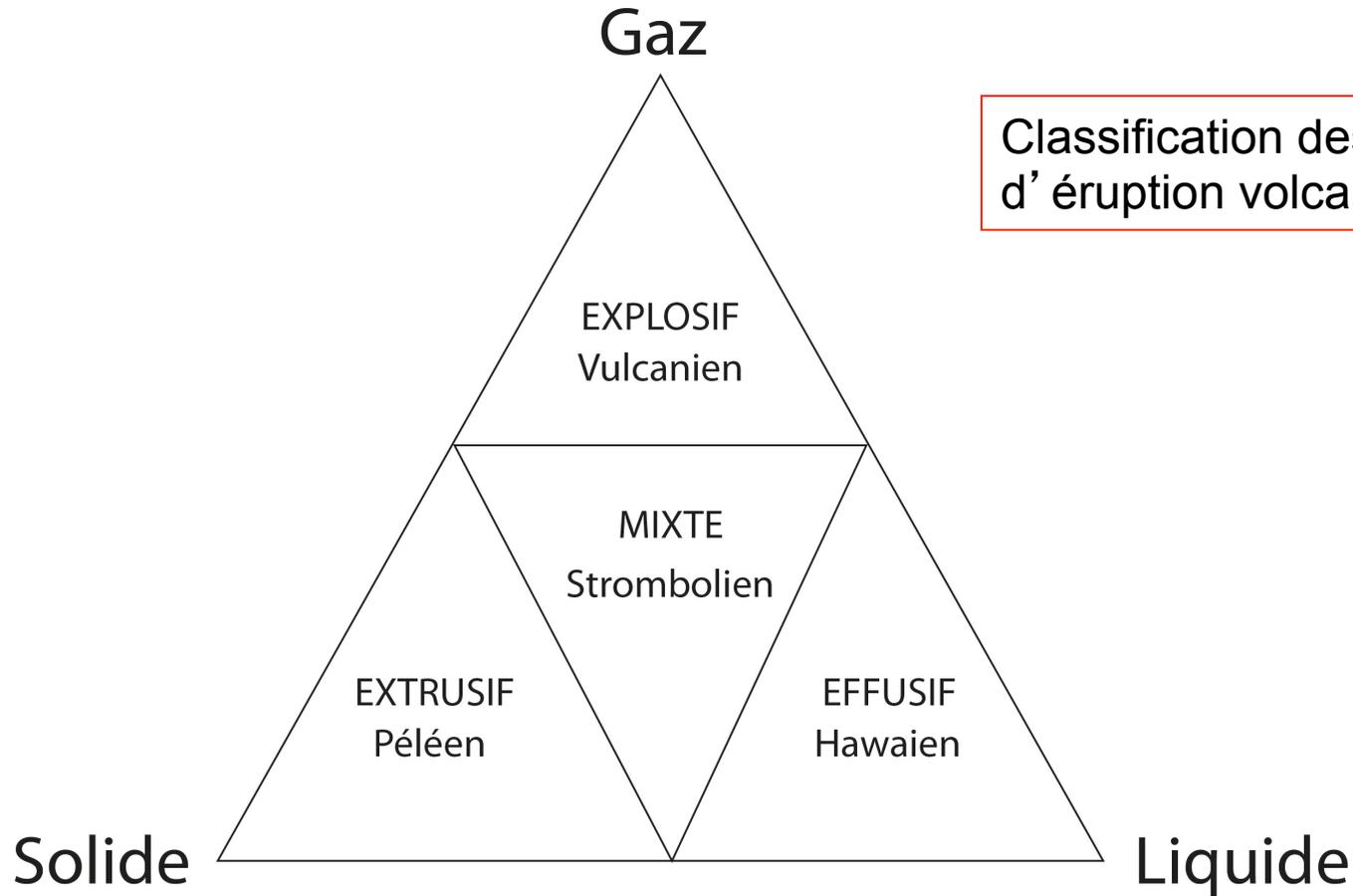
-Ecoulements de lave et éruption (solide, gazeuse ou liquide).

Ces projections peuvent être classées suivant des critères de granulométrie et de consolidation.

$\phi$ des fragments	Roches meubles	Roches consolidées
> 30mm	Blocs ou bombes	Brèches volcaniques
2-30mm	Lapillis	Tufs volcaniques
< 2mm	Cendres	Cinérites



Ces roches sont liées à la dynamique de mise en place des édifices volcaniques.  
Classés en fonction du type d'éruption.



Classification des types  
d'éruption volcaniques

Geze, 1964

**Type effusif Hawaïen : prédominance de lave**

**Eruption fissurale d'Islande.** Surfaces recouvertes importantes



© Time Life

**Type extrusif Péléen**



Nuées ardentes (cendres, blocs, lapillis..)

**Type explosif : Krakatoa en Indonésie**

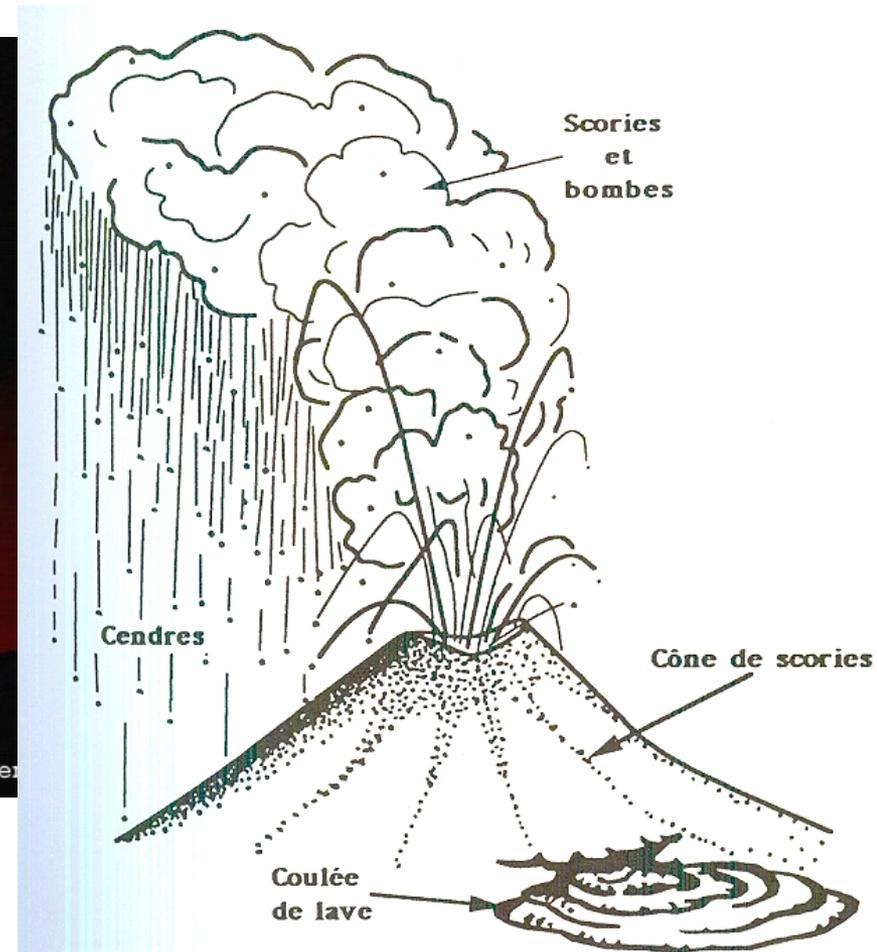


## Le volcanisme mixte Strombolien

Alternance de phases explosives et de phase effusives



Le Stromboli dans les îles Eoliennes



**Géologie Générale**

**Géotech 3**

- **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**
  - 1. Les constituants des roches
  - 2. Les roches magmatiques
  - 3. Les roches sédimentaires
  - 4. Les roches métamorphiques
  - 5. Les propriétés géotechniques des roches

***Géologie Générale***

***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**

→ **3. Les roches sédimentaires**

→ **3-1. Définition et cycle sédimentaire**

→ **3-2. Roches sédimentaires détritiques**

→ **3-3. Roches biochimiques et chimiques**

→ **3-4. Environnements de dépôt**

## **Définition :**

Roches exogènes (formées à la surface du globe), forment env. 70% des roches de surface. Leur formation est associée à un cycle sédimentaire :

1-altération : dissolution et hydrolyse (mise en solution d'élts constitutifs).

2-érosion : fractionnement mécanique de la roche (eau, vent , gravité).

3-transport : assuré par l' eau liquide, la glace ou le vent.

4-sédimentation : dépôts par gravité de débris solides et phénomène de précipitation chimique ou biochimique.

5-diagénèse : transformation d' un sédiment meuble en une roche par compaction puis cimentation et recristallisation.

**→ Le cycle sédimentaire peut se faire en milieu océanique ou continental**

## **Caractères généraux des roches sédimentaires :**

-Roches stratifiées (plan de stratification) fortement anisotropes.

-Roches présentant des faciès lithologiques variables. Classées en deux grandes familles : détritique, biochimique (et/ou chimique).



Photographie : Pierre Thomas

Origines et processus de formation très divers et complexes. Classification doit prendre en compte (i) la **structure** des **composants** et (ii) les **modes de dépôt**...

***Géologie Générale***

***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**

→ **3. Les roches sédimentaires**

→ **3-1. Définition et cycle sédimentaire**

→ **3-2. Roches sédimentaires détritiques**

→ **3-3. Roches biochimiques et chimiques**

→ **3-4. Environnements de dépôt**

**Définition :** Roches polygéniques, constituées par des fragments (débris) provenant de l'érosion mécanique. La classification est basée sur la taille des fragments.

**PARTICULES SOLIDES**

Matériel:

terrigne: débris de roches ou lithoclastes  
grains minéraux (quartz  $\text{SiO}_2$ ) dominant)

biogène: débris de coquilles/squelettes ou bioclastes  
projections volcaniques ou pyroclastes

Dépôt sédiment meuble

	diamètre des particules
blocs	> 250 mm
1 galets	> 50 mm
graviers	> 2 mm
2 sables	> 0,06 (1/16)
3 silts	> 0,004 mm (1/250)
4 argiles	

ROCHE (ciment liant les particules)

**INDURATION ou CIMENTATION : diagenèse**

compaction, expulsion d'eau, dissolution et précipitation de calcite ou de silice

**ROCHES DETRITIQUES**

1-conglomérats (D>2mm)

-brèche (éls anguleux)

-poudingue (éls arrondis)

**Conglomérats (poudingues)**



**Conglomérats (brèches)**



**Définition :** Roches polygéniques, constituées par des fragments (débris) provenant de l'érosion mécanique. La classification est basée sur la taille des fragments.

**PARTICULES SOLIDES**

Matériel:

terrigne: débris de roches ou lithoclastes  
grains minéraux (quartz  $\text{SiO}_2$ ) dominant)

biogène: débris de coquilles/squelettes ou bioclastes  
projections volcaniques ou pyroclastes

Dépôt sédiment meuble

	diamètre des particules
blocs	> 250 mm
1 galets	> 50 mm
graviers	> 2 mm
2 sables	> 0,06 (1/16)
3 silts	> 0,004 mm (1/250)
4 argiles	

ROCHE (ciment liant les particules)

**INDURATION ou CIMENTATION : diagenèse**

compaction, expulsion d'eau, dissolution et précipitation de calcite ou de silice

**ROCHES DETRITIQUES**

1-conglomérats ( $D > 2\text{mm}$ )

-brèche (éltés anguleux)

-poudingue (éltés arrondis)

2-grès ( $2 < D < 0,2\text{mm}$ )

**Grès :** sables consolidés peuvent être :

- à **ciment siliceux** (abrasif et résistant),

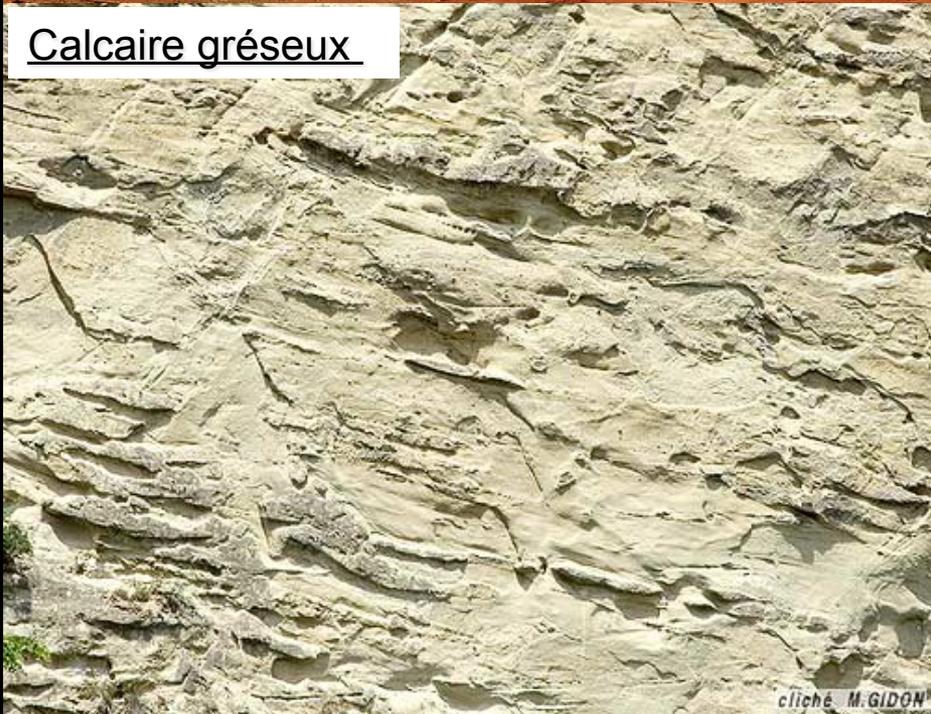
- à **ciment calcaire** (poreux, soluble et moins résistant)

- **grès arkosiques** (à feldspaths, produits d'altération d'un granite cimenté par la silice)

Grès (Monument Valley)



Calcaire gréseux



Grès arkosique



**Définition :** Roches polygéniques, constituées par des fragments (débris) provenant de l'érosion mécanique. La classification est basée sur la taille des fragments.

**PARTICULES SOLIDES**

Matériel:

terrigne: débris de roches ou lithoclastes  
grains minéraux (quartz  $\text{SiO}_2$ ) dominant)

biogène: débris de coquilles/squelettes ou bioclastes  
projections volcaniques ou pyroclastes

Dépôt sédiment meuble

	diamètre des particules
blocs	> 250 mm
1 galets	> 50 mm
graviers	> 2 mm
2 sables	> 0,06 (1/16)
3 silts	> 0,004 mm (1/250)
4 argiles	

ROCHE (ciment liant les particules)

**INDURATION ou CIMENTATION : diagenèse**

compaction, expulsion d'eau, dissolution et précipitation de calcite ou de silice

**ROCHES DETRITIQUES**

- 1-conglomérats ( $D > 2\text{mm}$ )
  - brèche (éltés anguleux)
  - poudingue (éltés arrondis)
- 2-grès ( $2 < D < 0,2\text{mm}$ )
- 3-pélites ( $D < 0,2\text{mm}$ )

**Grès :** sables consolidés peuvent être :

- à **ciment siliceux** (abrasif et résistant),
- à **ciment calcaire** (poreux, soluble et moins résistant)
- **grès arkosiques** (à feldspaths, produits d'altération d'un granite cimenté par la silice)

**Pélites :** correspondent à des silts consolidés plus ou moins riche en silice. En moyenne 60% d'argile et 30% de silice. Si argile >65% on parle d'argilite.

Pélite rouge (bassin de Lodève)



***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→ **3. Les roches sédimentaires**

→ **3-1. Définition et cycle sédimentaire**

→ **3-2. Roches sédimentaires détritiques**

→ **3-3. Roches biochimiques et chimiques**

→ **3-4. Environnements de dépôt**

Origines et processus de formation très divers et complexes. Classification doit prendre en compte en plus de la structure et de leur composants, leur mode de dépôt...

## Composants provenant d'ions en solution

**Transformés par le métabolisme  
des êtres vivants**



**ROCHES BIOCHIMIQUES**  
**CARBONATES** calcaire  $\text{CaCO}_3$   
dolomie  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$   
calcaire argileux, mame  
**R. SILICEUSES** silex, chert, radiolarite, diatomite  
**R. FERRUGINEUSES** oolithes ferrugineuses  
**R. ALUMINEUSES** : bauxite  
**R. CARBONEES** (avec carbone organique)

**Précipités chimiquement**



**EVAPORITES**  
calcrètes  $\text{CaCO}_3$   
gypse  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
halite  $\text{NaCl}$   
sylvite  $\text{KCl}$

## **1-Roches carbonatées**

Roches formées de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) (calcite) fortement effervescentes à HCl.  
Solubles à grande échelle de temps, bonne résistance mécanique en dehors des zones altérées.  
Classées en fonction de leurs structures :

**Dolomie** = formée de dolomite ( $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ ), plus résistant que le calcaire mais très sensible à l'altération.  
Effervescence moindre à l'HCl. Formée par l'activité de voiles algaires sous une faible tranche  $\text{H}_2\text{O}$ .



## **1-Roches carbonatées**

Roches formées de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) (calcite) fortement effervescentes à HCl.

Solubles à grande échelle de temps, bonne résistance mécanique en dehors des zones altérées.

Classées en fonction de leurs structures :

**Dolomie** = formée de dolomite ( $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ ), plus résistant que le calcaire mais très sensible à l'altération. Effervescence moindre à l' HCl. Formée par l' activité de voiles algaires sous une faible tranche  $\text{H}_2\text{O}$ .

**Calcaire lithographique** = calcaire à grains fins à cassures conçoïdales (issue de boues carbonatées constituées par du nano-plancton).

calcaire lithographique

grains très fins

cassure conchoïdale



## **1-Roches carbonatées**

Roches formées de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) (calcite) fortement effervescentes à HCl.

Solubles à grande échelle de temps, bonne résistance mécanique en dehors des zones altérées.

Classées en fonction de leurs structures :

**Dolomie** = formée de dolomite ( $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ ), plus résistant que le calcaire mais très sensible à l'altération. Effervescence moindre à l'HCl. Formée par l'activité de voiles algaires sous une faible tranche H<sub>2</sub>

**Calcaire lithographique** = calcaire à grains fins à cassures conchoïdales (issue de boues carbonatées constituées par du nano-plancton).

**Calcaire oolithique** = calcaire formé de sphères millimétriques (concrétions) de calcite et d'oxyde de fer noyées dans un ciment calcaire. (cimentation souvent incomplète, forte porosité). Formé dans des mers chaudes près de massifs coralliens.

Calcaire à oolithes



## **1-Roches carbonatées**

Roches formées de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) (calcite) fortement effervescentes à HCl.  
Solubles à grande échelle de temps, bonne résistance mécanique en dehors des zones altérées.  
Classées en fonction de leurs structures :

**Dolomie** = formée de dolomite ( $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ ), plus résistant que le calcaire mais très sensible à l'altération. Effervescence moindre à l'HCl. Formée par l'activité de voiles algaires sous une faible tranche H<sub>2</sub>

**Calcaire lithographique** = calcaire à grains fins à cassures conchoïdales (issue de boues carbonatées constituées par du nano-plancton).

**Calcaire oolithique** = calcaire formé de sphères millimétriques (concrétions) de calcite et d'oxyde de fer noyées dans un ciment calcaire. (cimentation souvent incomplète, forte porosité). Formé dans des mers chaudes près de massifs coralliens.

**Calcaire coquillier** = calcaire formé de fragment de coquille (résistance variable suivant le ciment).

Calcaire coquillier



## **1-Roches carbonatées**

Roches formées de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) (calcite) fortement effervescentes à HCl.  
Solubles à grande échelle de temps, bonne résistance mécanique en dehors des zones altérées.  
Classées en fonction de leurs structures :

**Dolomie** = formée de dolomite ( $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ ), plus résistant que le calcaire mais très sensible à l'altération. Effervescence moindre à l' HCl. Formée par l' activité de voiles algaires sous une faible tranche H2

**Calcaire lithographique** = calcaire à grains fins à cassures conchoïdales (issue de boues carbonatées constituées par du nano-plancton).

**Calcaire oolithique** = calcaire formé de sphères millimétriques (concrétions) de calcite et d' oxyde de fer noyées dans un ciment calcaire. (cimentation souvent incomplète, forte porosité). Formé dans des mers chaudes près de massifs coralliens.

**Calcaire coquillier** = calcaire formé de fragment de coquille (résistance variable suivant le ciment).

**Craie** = formée par l' accumulation de tests de micro-organismes (coccolites phytoplancton).  
Forte porosité  $n > 40\%$  et compressibilité importante.

**Tufs calcaires** = se forme près des sources d' eau drainant un massif calcaire et associés à des végétaux.  
Cristallisation de  $\text{CaCO}_3$  par diminution de pression.

**Cargneules** = roche vacuolaire, constituée de dolomies (20%) et de calcaire (70%) à texture bréchique à forte porosité. Roches toujours associées à des couches de gypse ( $(\text{CaSO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$ ) dans des zones déformées tectoniquement.

Tufs et concrétions



Cargneule



# **géologie générale - Partie I - 3.3. Roches biochimiques et chimiques**



## Classification des roches carbonatées (Dunham)

→ basée sur l'agencement des différents constituants (texture) : grains, matrice, ciment et porosité



→ **Grains** >  $63\mu\text{m}$  (éléments figurés, fossiles ou fragments de roche)

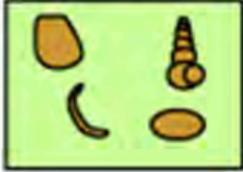
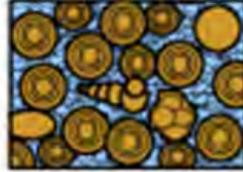
→ **Matrice** (boue ou phase de liaison (argile ou carbonate) qui s'est infiltrée entre les grains lors du dépôt)

→ **Ciment** (calcite qui précipite entre les grains après le dépôt)

→ **Porosité** (qui peut être Remplie par de l'eau ou des hydrocarbure)

## Classification des roches carbonatées (Dunham)

→ basée sur l'agencement des différents constituants (texture) : grains, matrice, ciment et porosité

Classification texturale de Dunham (1962)				
La roche contient de la boue (carbonatée ou de l'argile)			Absence de boue	
texture mud-supported		texture grain-supported		
Moins de 10% de grains	Plus de 10% de grains (non jointifs)	Grains jointifs + boue	Grains jointifs + ciment	Boundstone
<p><b>Mudstone</b></p> 	<p><b>Wackestone</b></p> 	<p><b>Packstone</b></p> 	<p><b>Grainstone</b></p> 	

## Classification des roches carbonatées (Dunham)

Mudstone (calcaire micritique)



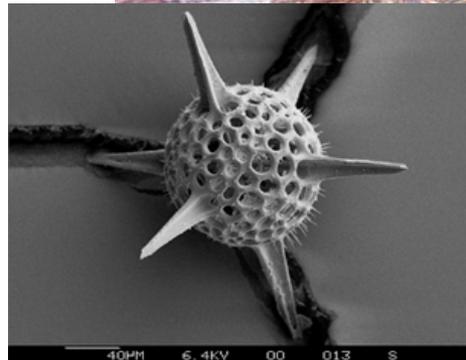
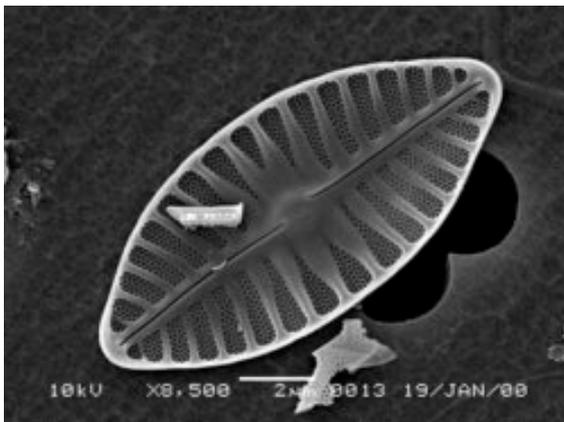
Grainstone (calcaire coquillier)



## 2-Roches siliceuses

**Diatomite** = roche légère, claire, très poreuse formée presque entièrement de diatomées. Algues unicellulaires, marines ou lacustres à tests siliceux (phytoplancton).

**Radiolarite** = roche formée de radiolaire, protozoaires marins à squelette siliceux (zooplancton).



C. Nicolle +

## **2-Roches siliceuses**

**Diatomite** = roche légère, claire, très poreuse formée presque entièrement de diatomées. Algues unicellulaires, marines ou lacustres à tests siliceux.

**Radiolarite** = roche formée de radiolaire, protozoaires marins à squelette siliceux.

**Meulière** = calcaire lacustre silicifié, généralement phénomène de dissolution préférentielle dans les zones de battement de nappe (altérite soustractive). Roche très vacuolaire. Bonne pierre de construction, légère, facile à tailler et de bonne résistance mécanique.



## **2-Roches siliceuses**

**Diatomite** = roche légère, claire, très poreuse formée presque entièrement de diatomées. Algues unicellulaires, marines ou lacustres à tests siliceux.

**Radiolarite** = roche formée de radiolaire, protozoaires marins à squelette siliceux.

**Meulière** = calcaire lacustre silicifié, généralement phénomène de dissolution préférentielle dans les zones de battement de nappe (altérite soustractive). Roche très vacuolaire. Bonne pierre de construction, légère, facile à tailler et de bonne résistance mécanique.

**Silex** = Silice amorphe se présentant sous la forme de nodule dans les calcaires. Liés à des phénomènes diagénétique (gel siliceux). Les couches à silex peuvent poser des problèmes liés à leur forte résistance mécanique lors des forages.



## 2-Roches siliceuses

**Diatomite** = roche légère, claire, très poreuse formée presque entièrement de diatomées. Algues unicellulaires, marines ou lacustres à tests siliceux.

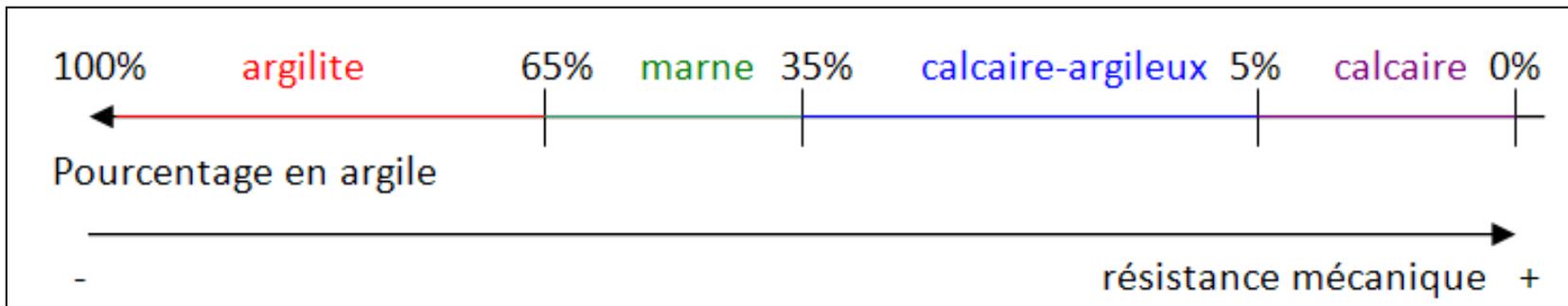
**Radiolarite** = roche formée de radiolaire, protozoaires marins à squelette siliceux.

**Meulière** = calcaire lacustre silicifié, généralement phénomène de dissolution préférentielle dans les zones de battement de nappe (altérite soustractive). Roche très vacuolaire. Bonne pierre de construction, légère, facile à tailler et de bonne résistance mécanique.

**Silex** = Silice amorphe se présentant sous la forme de nodule dans les calcaires. Liés à des phénomènes diagénétique (gel siliceux). Les couches à silex peuvent poser des problèmes liés à leur forte résistance mécanique lors des forages.

## 3-Roches silico-alumineuses

Roche renfermant un pourcentage variable de minéraux argileux par rapport à la composante carbonatée, conférant des caractéristiques imperméables et une résistance mécanique faible.



Argile provient de l'altération des roches continentales amenée par les fleuves qui se mélange à la fraction carbonatée biogénique (zoo+ phyto)

## 4-Roches évaporitiques

Roches formées par évaporation généralement de l'eau de mer.

**Halite** = (NaCl) très faible densité, génère généralement des diapirs et viscosité très faible.

**Anhydrite** = (CaSO<sub>4</sub>) roche ductile, soluble (10X plus que la calcaire) peu résistante et facilement érodable. Génère des entonnoirs de dissolution.

**Gypse** = (CaSO<sub>4</sub>)2H<sub>2</sub>O roche ductile, soluble (100X plus que la calcaire) peu résistante et facilement érodable. Forme également des diapirs et s'observe dans les nappes de charriage.



Photographie : Pierre Thomas

## 5-Roches organiques

Roches formées par l'accumulation de composés organiques. Associés à des milieux de dépôts anoxiques. Classées en fonction du type de précurseurs organiques (marin, continental, lacustre) et de la maturation de la matière organique. Très fort intérêt économique car roches mères des principaux hydrocarbures.

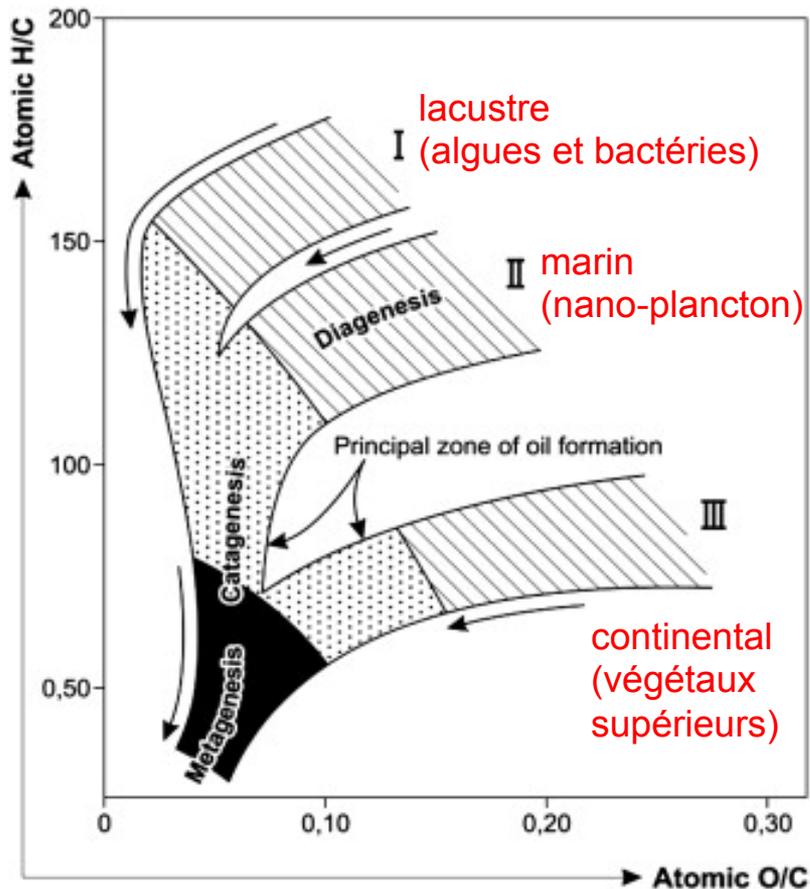
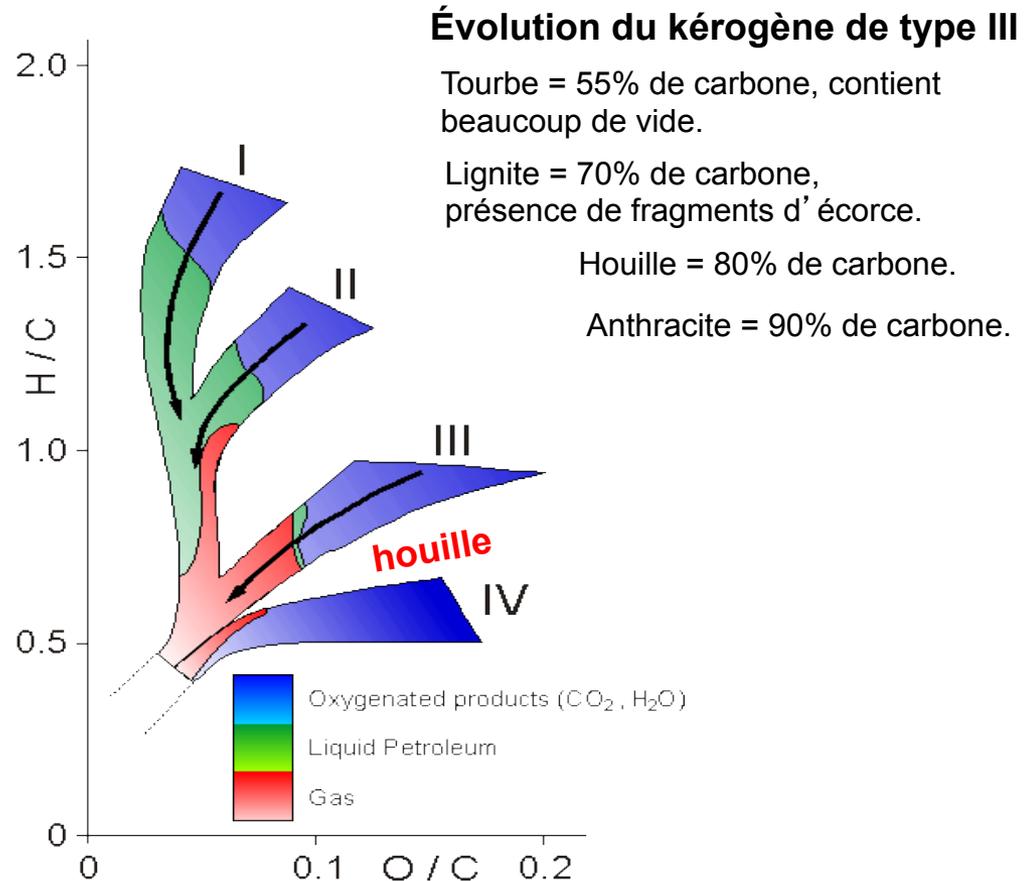


Diagramme de Van Krevelen

Catagenèse → entre 50°C et 80°C





***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

→ **3. Les roches sédimentaires**

→ **3-1. Définition et cycle sédimentaire**

→ **3-2. Roches sédimentaires détritiques**

→ **3-3. Roches biochimiques et chimiques**

→ **3-4. Environnements de dépôt**

Aires de dépôt de sédiments (continentales ou aquatiques) se distinguant par une combinaison de critères physiques, chimiques, biologiques et environnementaux

L'étude des environnements de dépôt actuels est la base de l'étude des milieux de sédimentation fossiles (principe d'actualisme)



Environnements continentaux



Environnements de transition

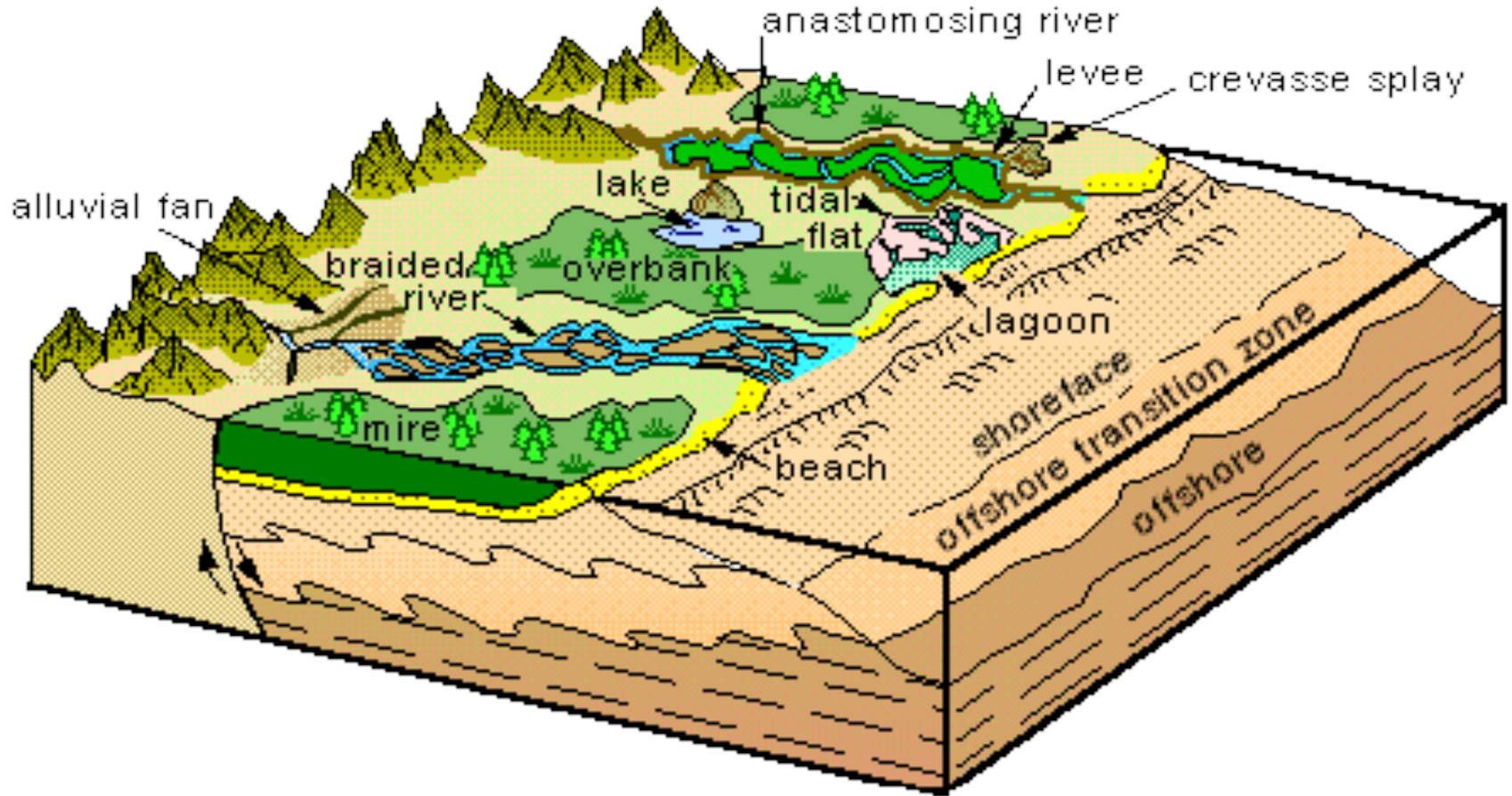
- estuaires / deltas
- plage
- embouchure tidale



Environnements marins

- plate-forme
- talus
- bassin profond

1- Les environnements continentaux



## Dépôts fluviaux

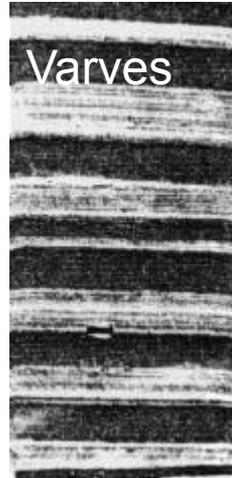
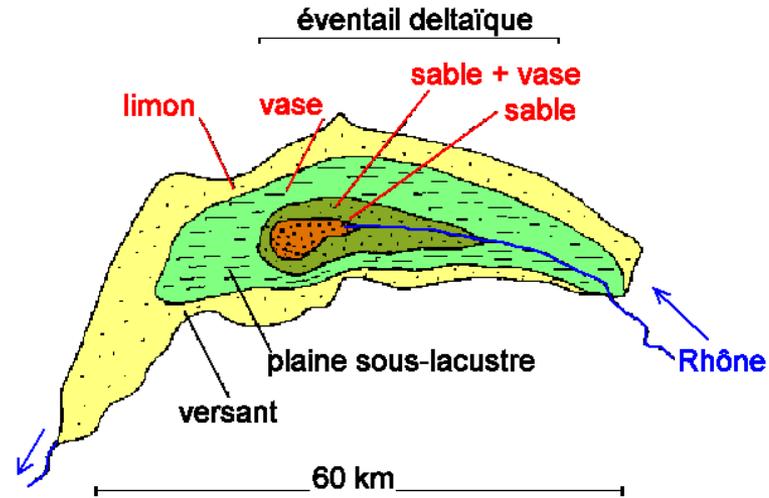
Rivière en tresse



Rivière à méandres



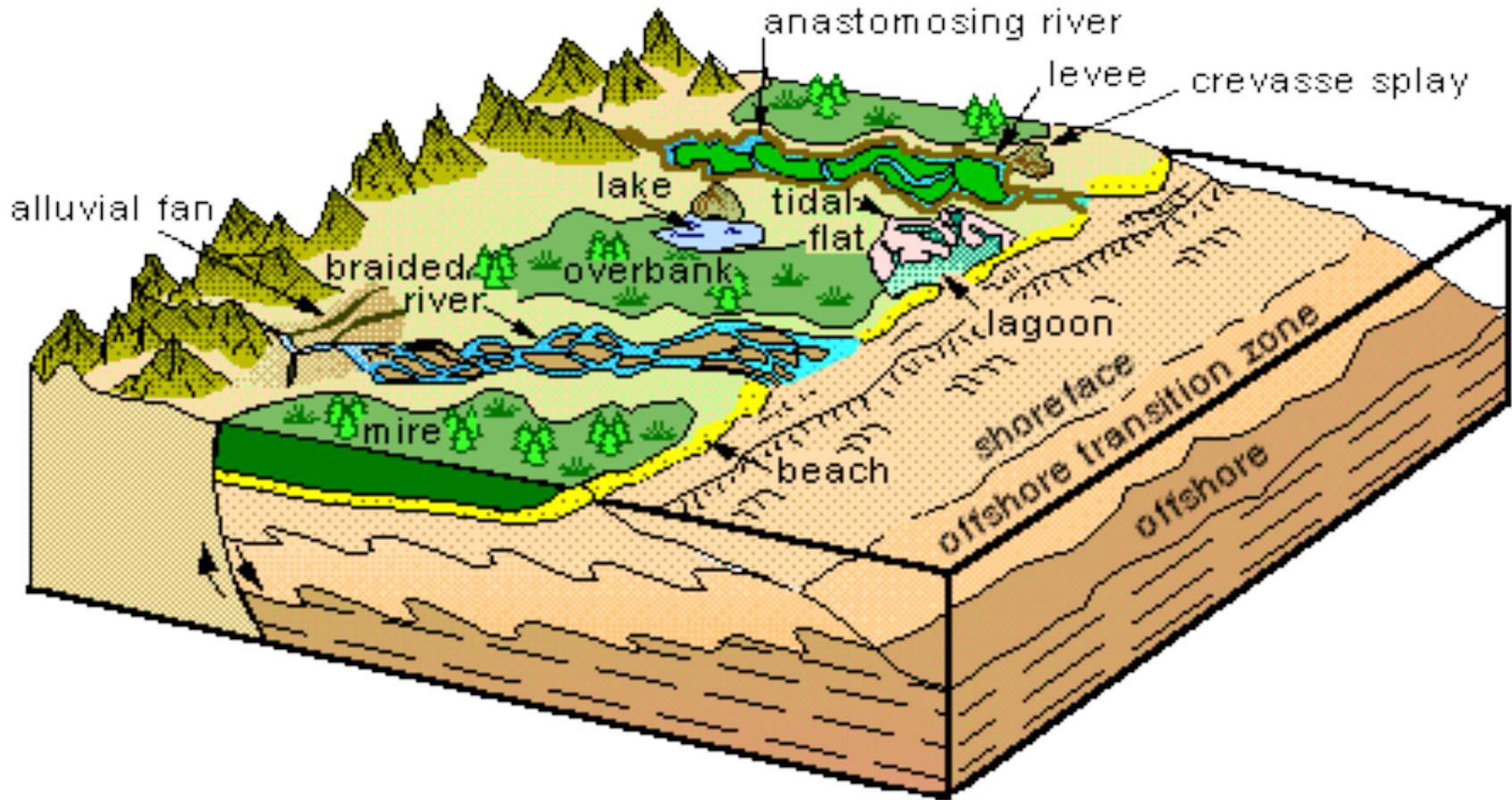
## Lacs et dépôts glaciaires



Cone de déjection



2- Les environnements de transition



# Estuaires vs deltas

Deltas et estuaires = zones d'embouchure de cours d'eau dans un océan ou une mer.

$$\frac{V_{\text{courant marin}}}{V_{\text{sed. fluviale}}} < 0.5 \rightarrow \text{DELTA}$$

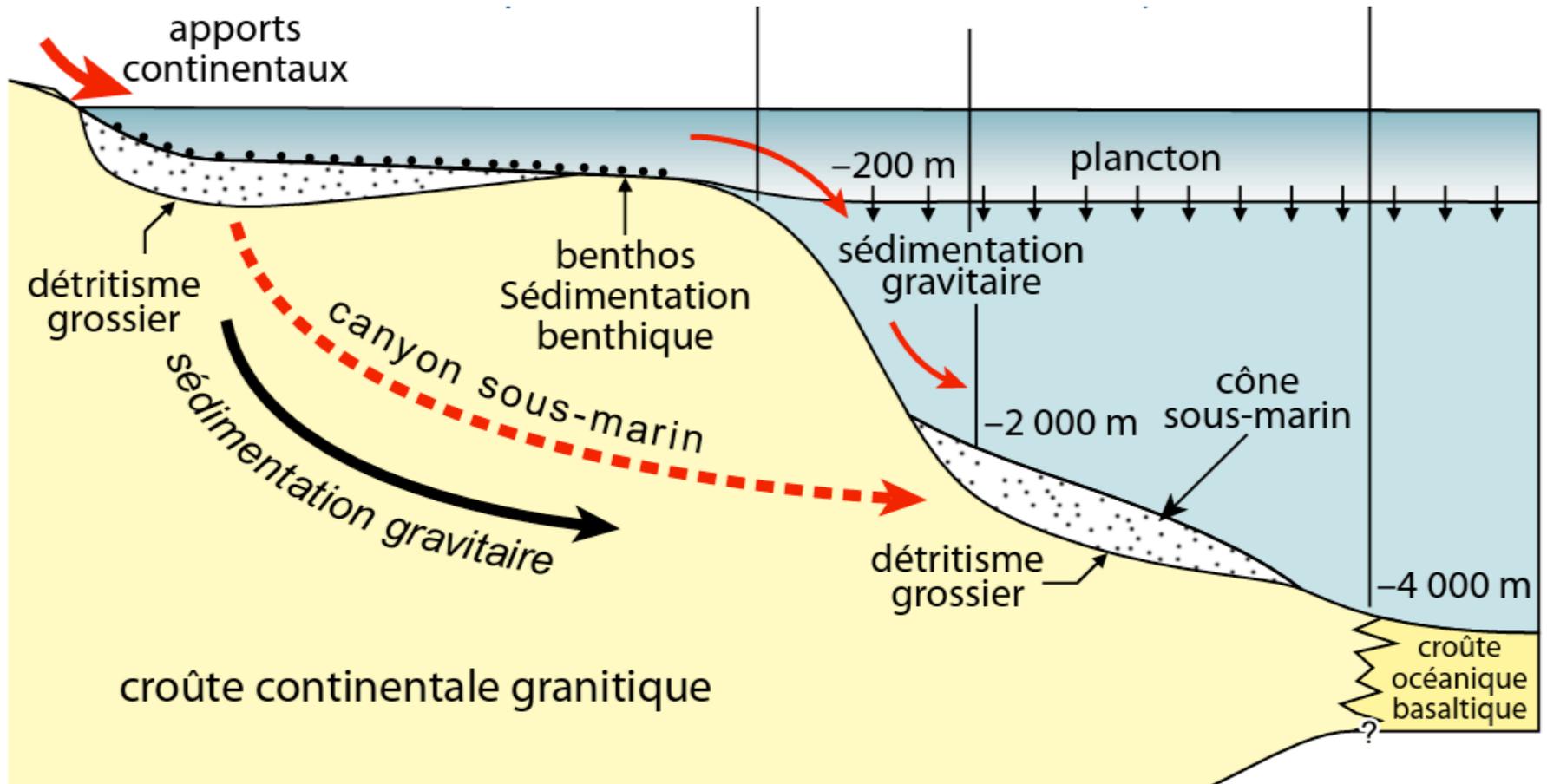
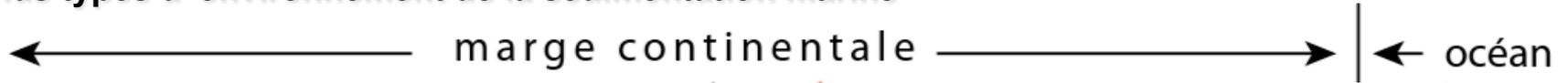


$$\frac{V_{\text{courant marin}}}{V_{\text{sed. fluviale}}} > 0.5 \rightarrow \text{ESTUAIRE}$$



### 3- Les environnements marins

Grands types d'environnement de la sédimentation marine



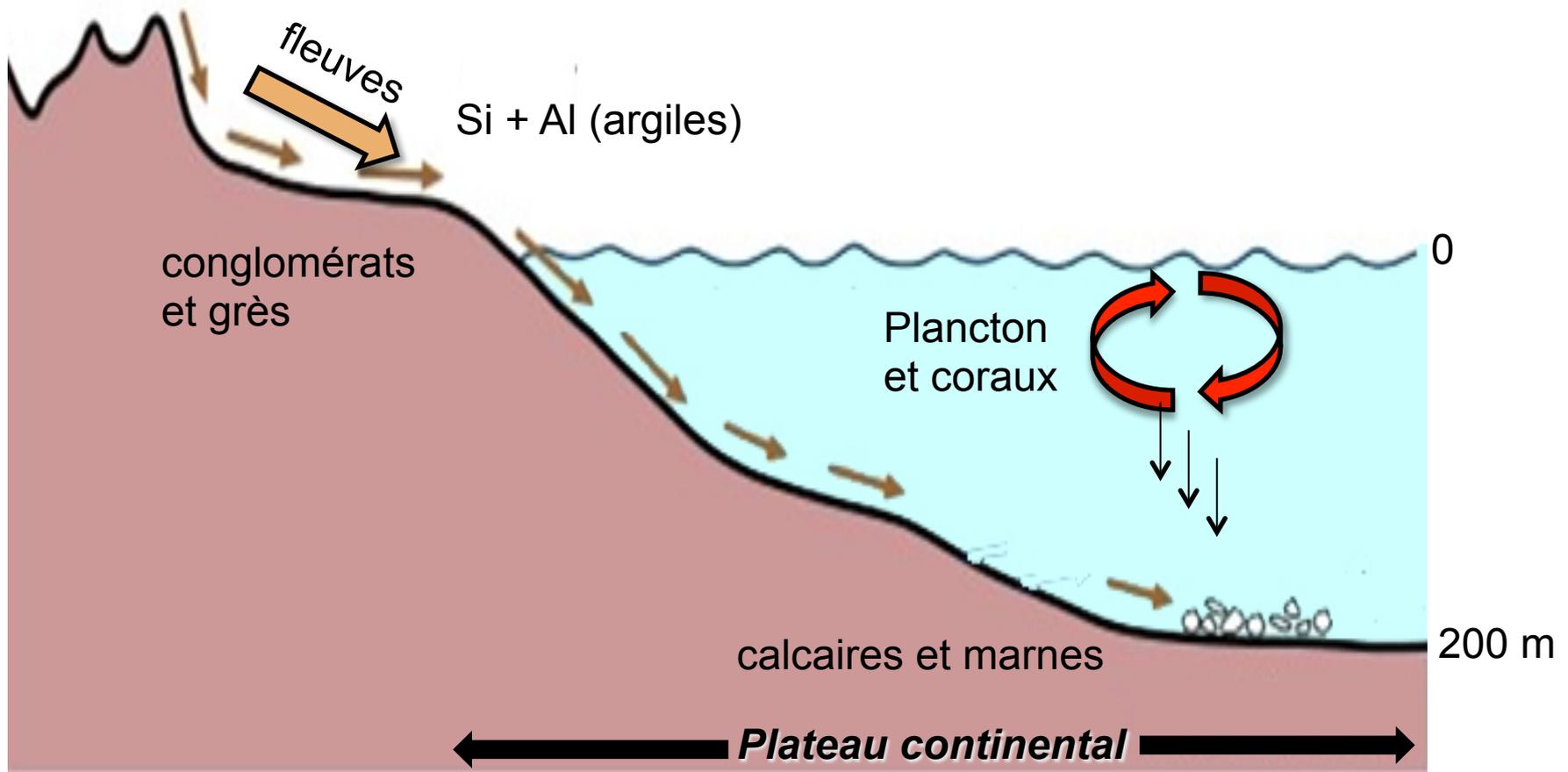
## Quels sont les facteurs qui contrôlent la sédimentation?

### 1-**APPORTS** (nature des matériaux et quantité)

→ Détritiques ou terrigène (quartz et argiles)

→ Production biogénique (calcite)

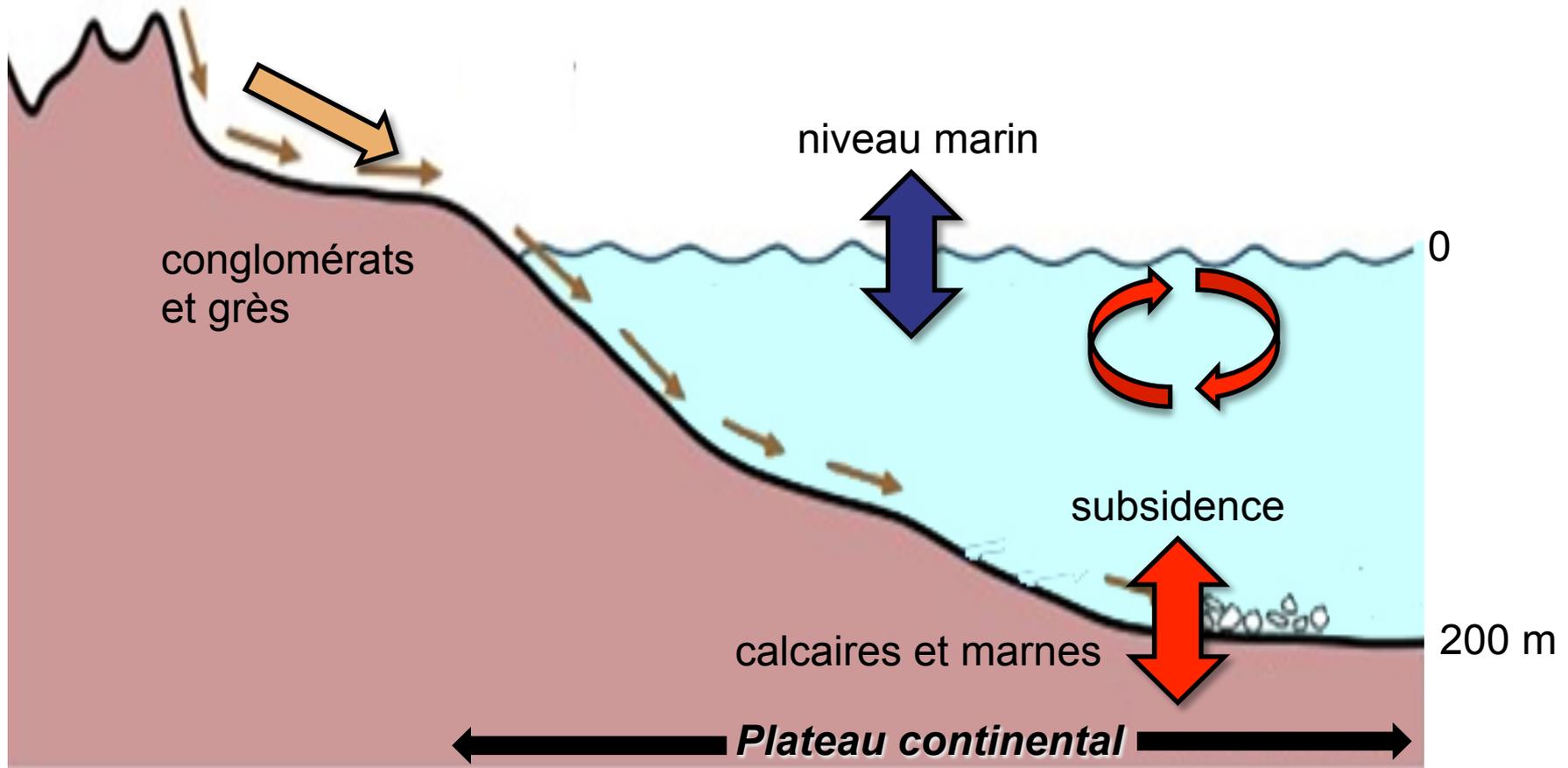
→ **Taux de sédimentation**



Quels sont les facteurs qui contrôlent la sédimentation?

**2-STOCKAGE des matériaux**

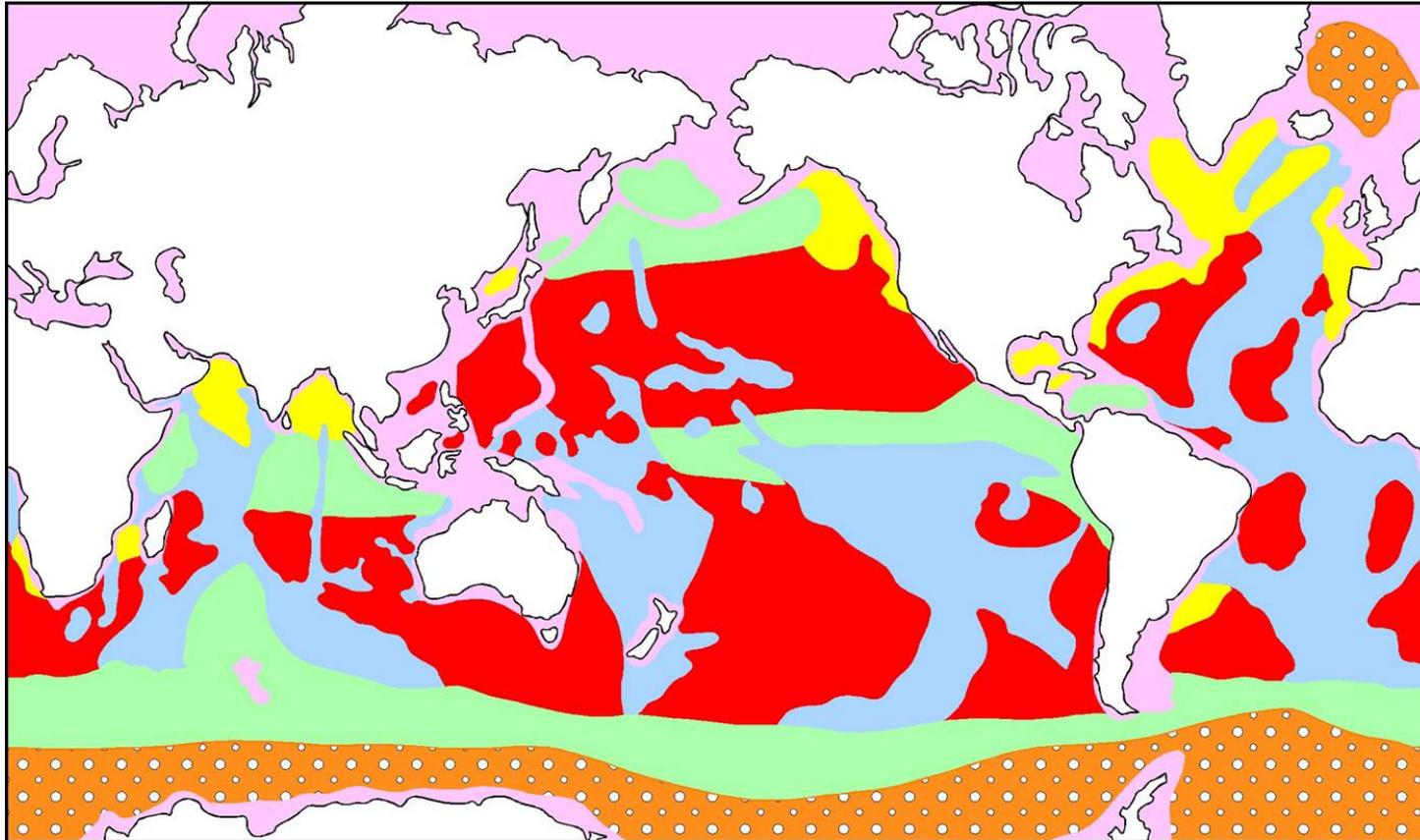
- Transgression / régression (variations climatiques)
- Subsidence du bassin
- Dynamique marine



Apport et stockage contrôlent la répartition des sédiments des environnements marins

→ Taux de sédimentation de 1 cm pour 1000 ans (10m/Ma)

→ Zonation latitudinale de la nature du dépôt dépendant du climat (T° eau mer)...



**Particules fines** : Argiles d'origine continentale (vents et courants marins)  
Poussières (volcans, glaciers), éléments planctoniques carbonatés et siliceux

***Géologie Générale***

***Géotech 3***

- **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**
  - 1. Les constituants des roches
  - 2. Les roches magmatiques
  - 3. Les roches sédimentaires
  - 4. Les roches métamorphiques
  - 5. Les propriétés géotechniques des roches

***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**

→ **4. Les roches métamorphiques**

→ **4-1. Définition du métamorphisme**

→ **4-2. Minéraux index et grilles pétrogénétiques**

→ **4-3. Paragénèse et faciès**

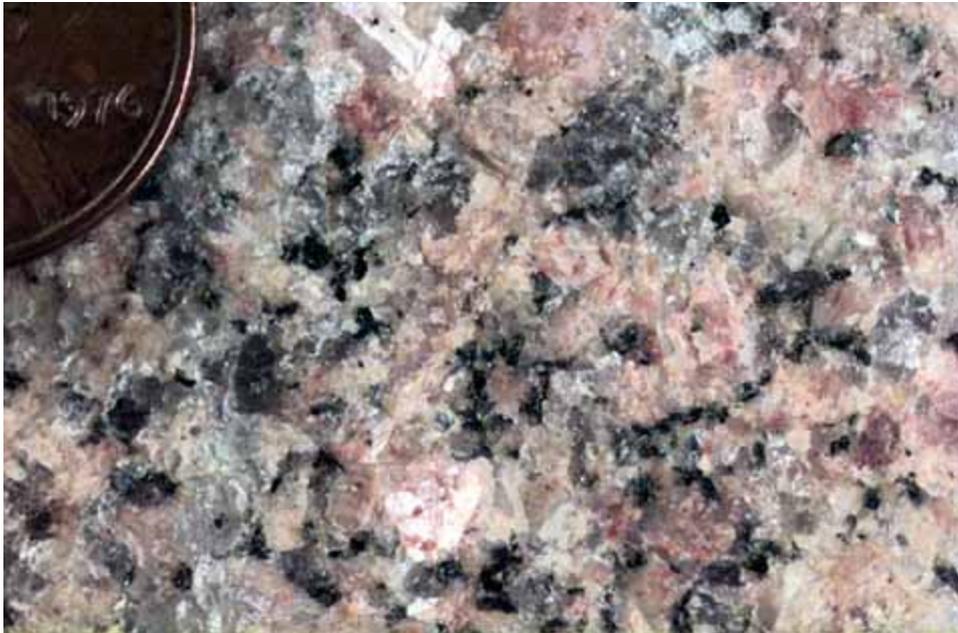
→ **4-4. Relation avec les contextes géodynamiques**

→ **4-5. Nomenclature**

***Définition du métamorphisme***

Ensemble des **transformations à l'état solide** que subi une roche lié à des variations des conditions de **Pression et de Température** par rapport à celles qui existaient lors de la **formation** de la roche.

Transformations à l'état solide → **recristallisations...**



granite → assemblage Qtz+FK+Biot  
stable pour des conditions P-T d'une  
croûte supérieure

granite dans les conditions de  
surface n'est plus stable

**réaction:**

FK + eau → argile

cinétique  
très faible



***Minéraux stables dans les conditions de surface → ARGILES***

***Dans le cas d'un granite la réaction : Feldspath + H<sub>2</sub>O → Argile***

***L'assemblage minéralogique est métastable...***

cinétique  
très lente

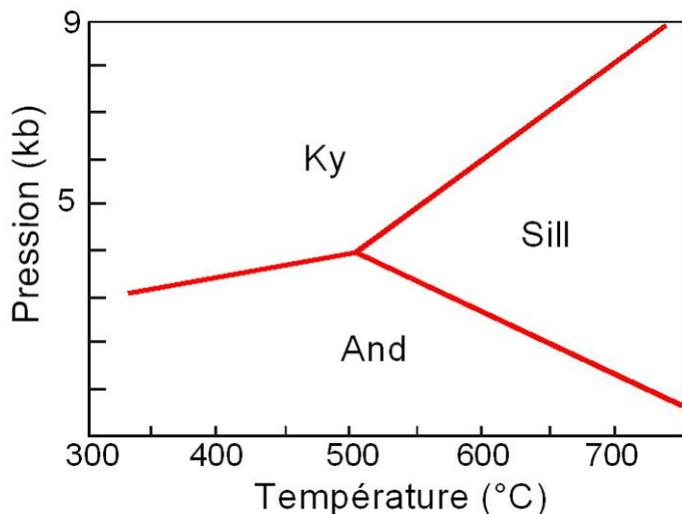
## Pourquoi les roches recristallisent-elles?

→ Si **P** augmente le volume diminue, les minéraux seront remplacés par de nouveaux minéraux avec structure cristalline + dense

→ Si **T** augmente l'entropie augmente (désordre augmente). Les minéraux sont remplacés par des minéraux de haute température à entropie élevée.

### Cas des silicates d'alumine $\text{Al}_2\text{SiO}_5$

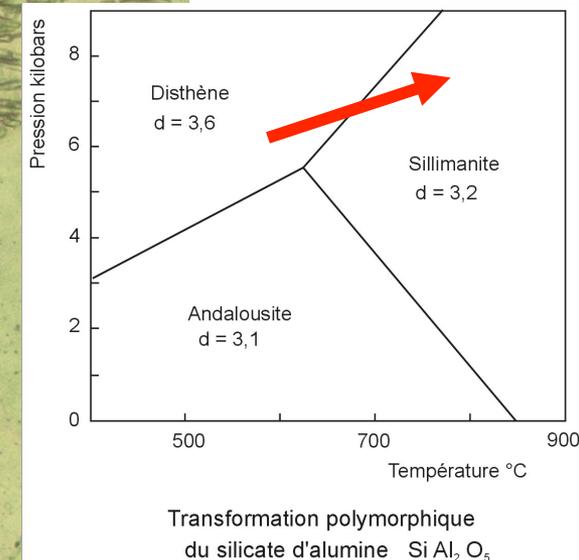
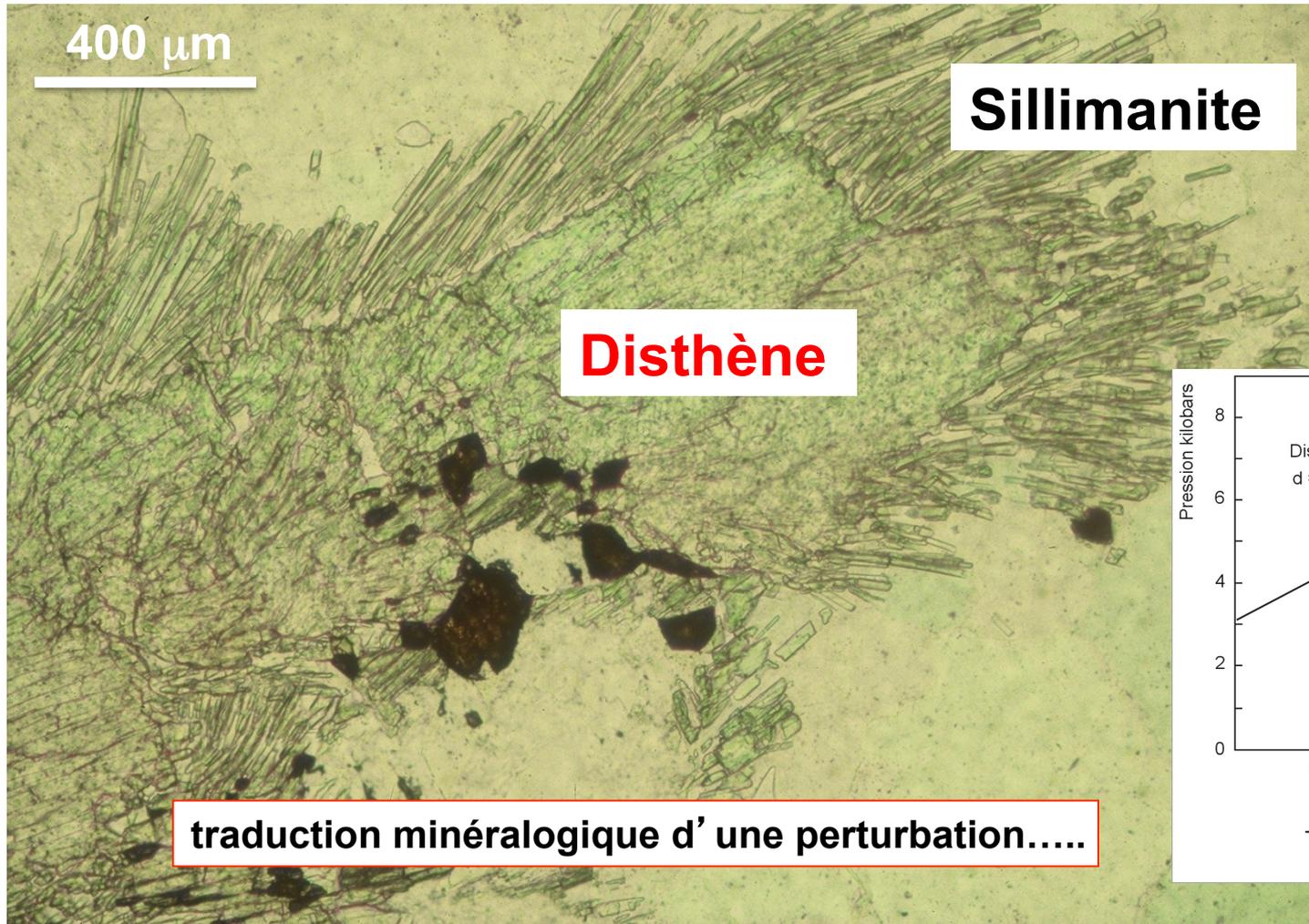
Disthène  
Andalousite  
Sillimanite



Une transformation polymorphique observée sur un échantillon  
→ micaschiste à disthène-sillimanite



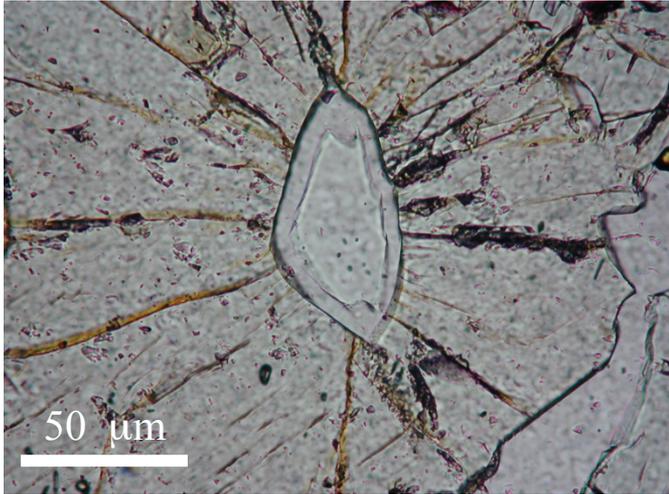
## Une transformation polymorphique observée au microscope optique



**Roches métamorphiques présentent des réactions et des structures...**

**les variations des conditions P-T induisent des phénomènes de recristallisation**

plusieurs mécanismes peuvent intervenir



→ minéral change de structure cristalline en gardant sa chimie (polymorphe)



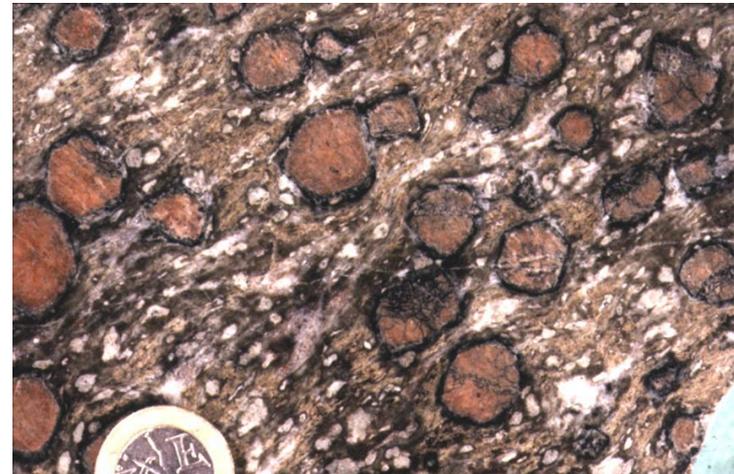
quartz → coesite

structure plus compacte mieux résistante à la pression (variation de volume)

→ apparition d'une nouvelle phase minérale par déstabilisation de plusieurs autres

Grt + Cpx → Amphibole

contrôlée par des processus de diffusion (dépendants de la température !!)



Dans ce cas observation de la réaction  
 $\text{Grt} + \text{Cpx} \rightarrow \text{Amphibole}$



- ➔ Par chance la réaction est incomplète car la cinétique de la réaction est très faible
- ➔ Accès aux réactants et donc à un équilibre P-T antérieur à l'apparition de l'amphibole
- ➔ Traduction minéralogique d'une perturbation qu'a subi la roche (aug. T° associée à une dim. P → exhumation, déplacement de matière)

***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**

→ **4. Les roches métamorphiques**

→ **4-1. Définition du métamorphisme**

→ **4-2. Minéraux index et grilles pétrogénétiques**

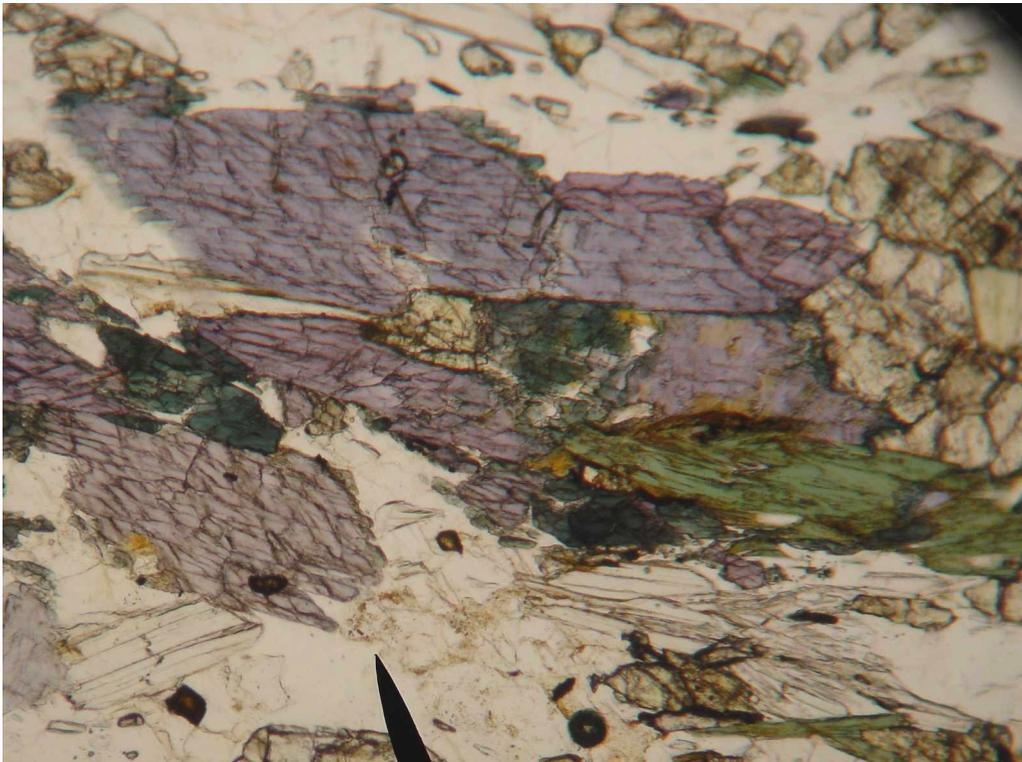
→ **4-3. Paragenèse et faciès**

→ **4-4. Relation avec les contextes géodynamiques**

→ **4-5. Nomenclature**

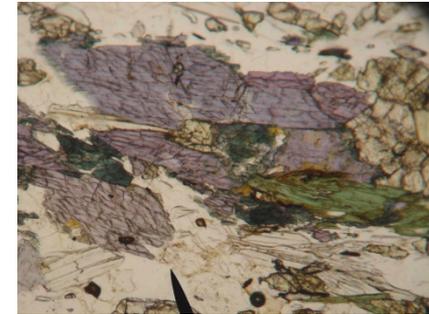
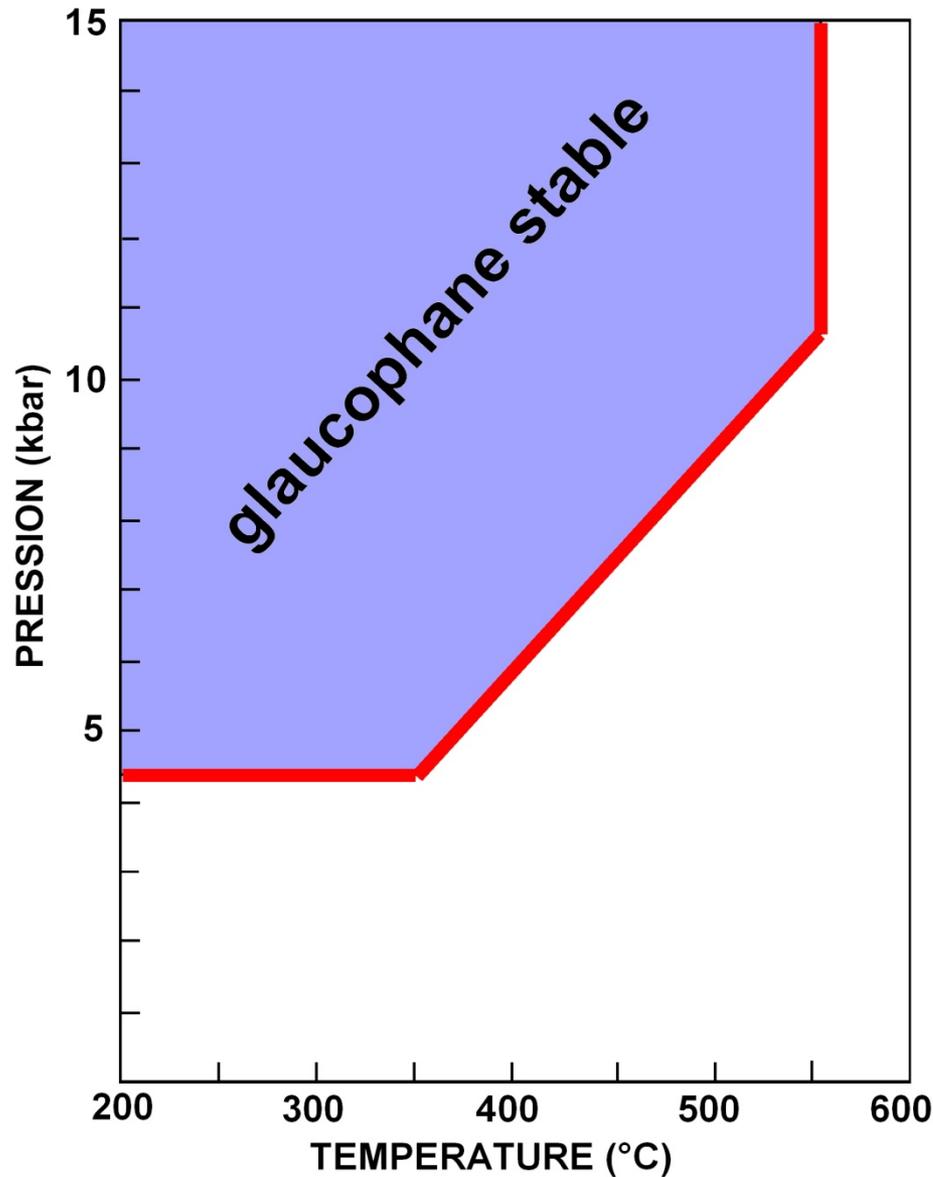
Les réactions entre différentes phases minéralogiques où l'apparition d'une espèce peuvent être **calibrées dans un champ P-T** grâce à la **pétrologie expérimentale** (Thermodynamique)

Exemple de l'amphibole sodique → **glaucophane**



minéral qui s'observe dans des roches riches en Na...

Expérimentalement définition de son domaine de stabilité P-T  
→ Maresch, 1977

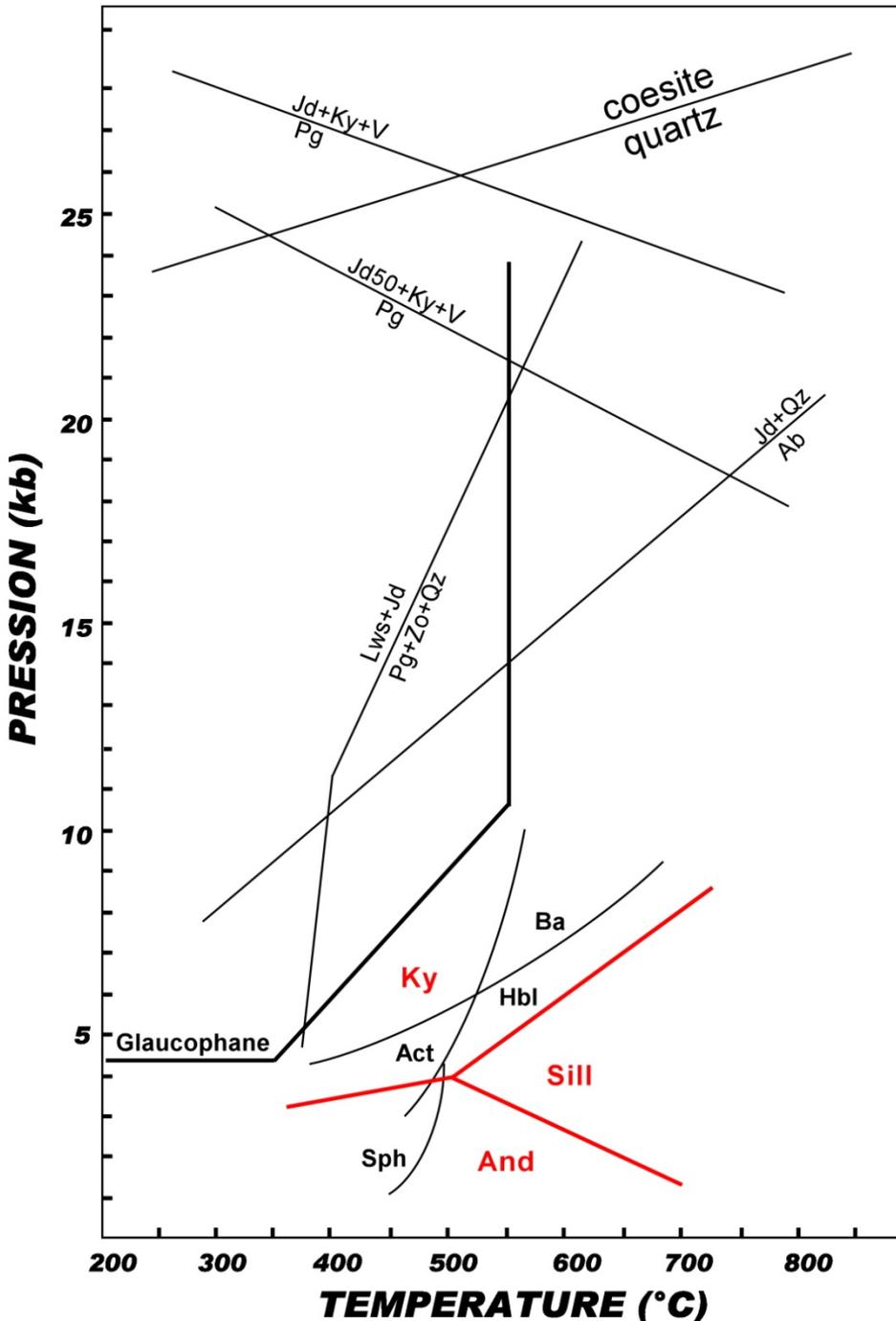


**minéral qui s'observe dans des roches riches en Na...**

Expérimentalement définition de son domaine de stabilité P-T  
→ Maresch, 1977

**Minéral indicateur** de faibles températures et de hautes pressions....

→ on peut le faire pour différents minéraux



## Minéralogie expérimentale

- ➔ Grille pétrologique permet de définir **des champs P-T** où des assemblages de minéraux sont stables... (Jd-Qz ou Lws-Jd)
- ➔ limite de stabilité du quartz
- ➔ amphiboles calco-sodiques, silicates d'alumine, sphène...
- ➔ **glaucophane et sillimanite jamais ensemble...**
- ➔ Grilles **pétrogénétiques valables** pour une chimie de roche donnée

***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**

→ **4. Les roches métamorphiques**

→ **4-1. Définition du métamorphisme**

→ **4-2. Minéraux index et grilles pétrogénétiques**

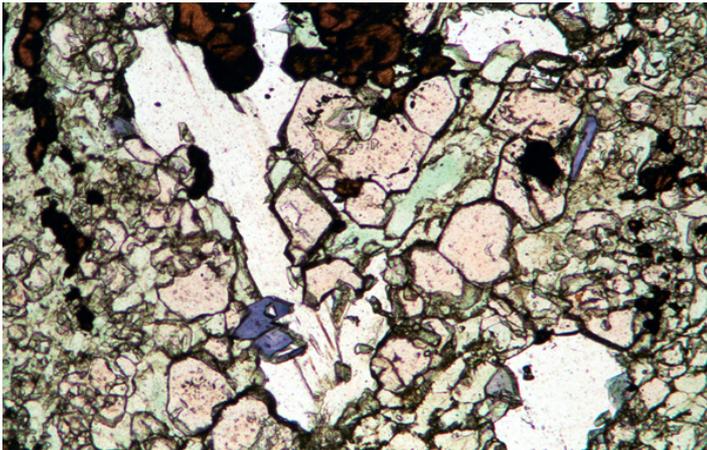
→ **4-3. Paragenèse et faciès**

→ **4-4. Relation avec les contextes géodynamiques**

→ **4-5. Nomenclature**

Quelques définitions...

**Paragenèse** correspond à un assemblage de minéraux métamorphiques co-stables dans une roche dans une gamme de Pression et Température et pour une chimie donnée.

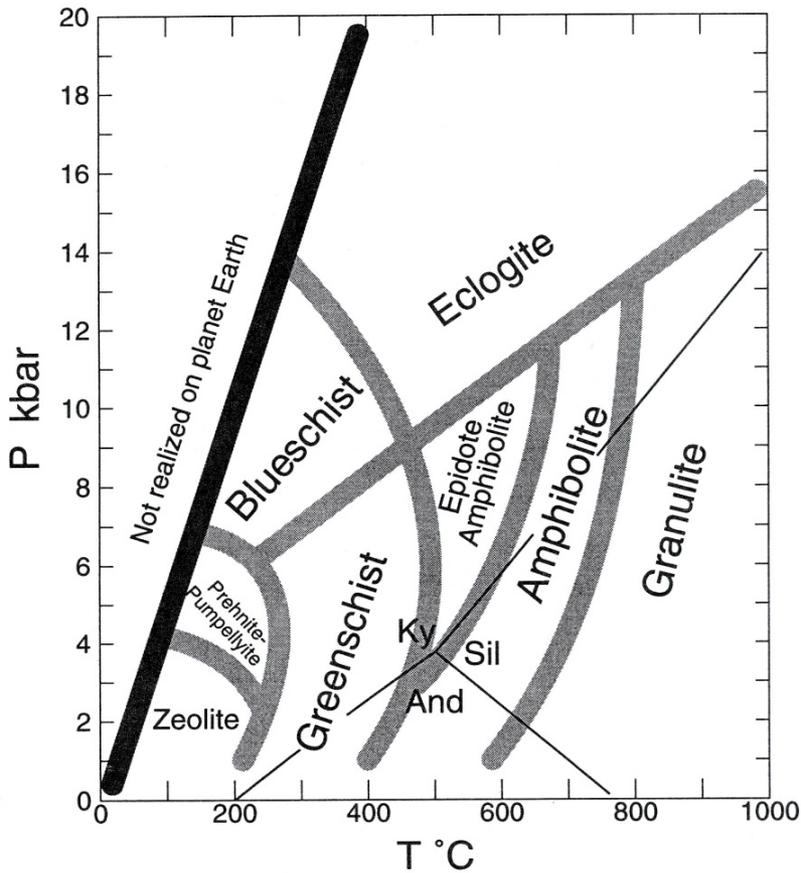


Exemple :

Gabbro qui a recristallisé à Haute Pression (métagabbro)  
→ Paragenèse à grenat et pyroxène HP

Quelques définitions...

**Paragenèse** correspond à un assemblage de minéraux métamorphiques co-stables dans une roche dans une gamme de Pression et Température et pour une chimie donnée.



Exemple :

Gabbro qui a recristallisé à Haute Pression (métagabbro)  
→ Paragenèse à grenat et pyroxène HP

La paragenèse appartient à un **faciès métamorphique** (espace P-T)  
**Une droite dans ce diagramme représente un gradient géothermique !**

→ Faciès Eclogite (haute pression et basse température)  
(6 à 8°C/km) marqueur d'un contexte géodynamique  
→ **Subduction océanique**

***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**

→ **4. Les roches métamorphiques**

→ **4-1. Définition du métamorphisme**

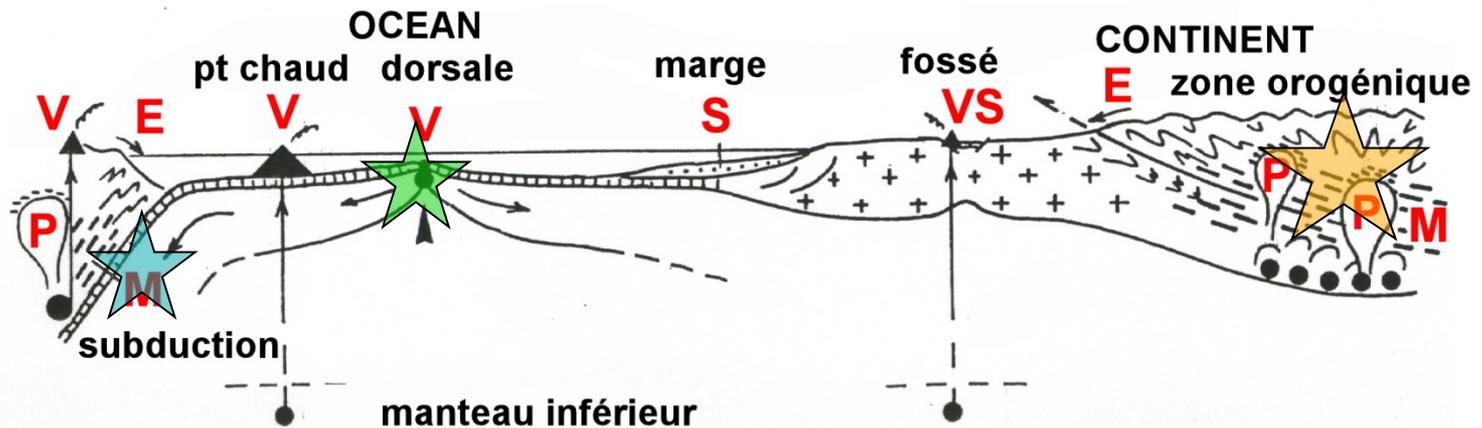
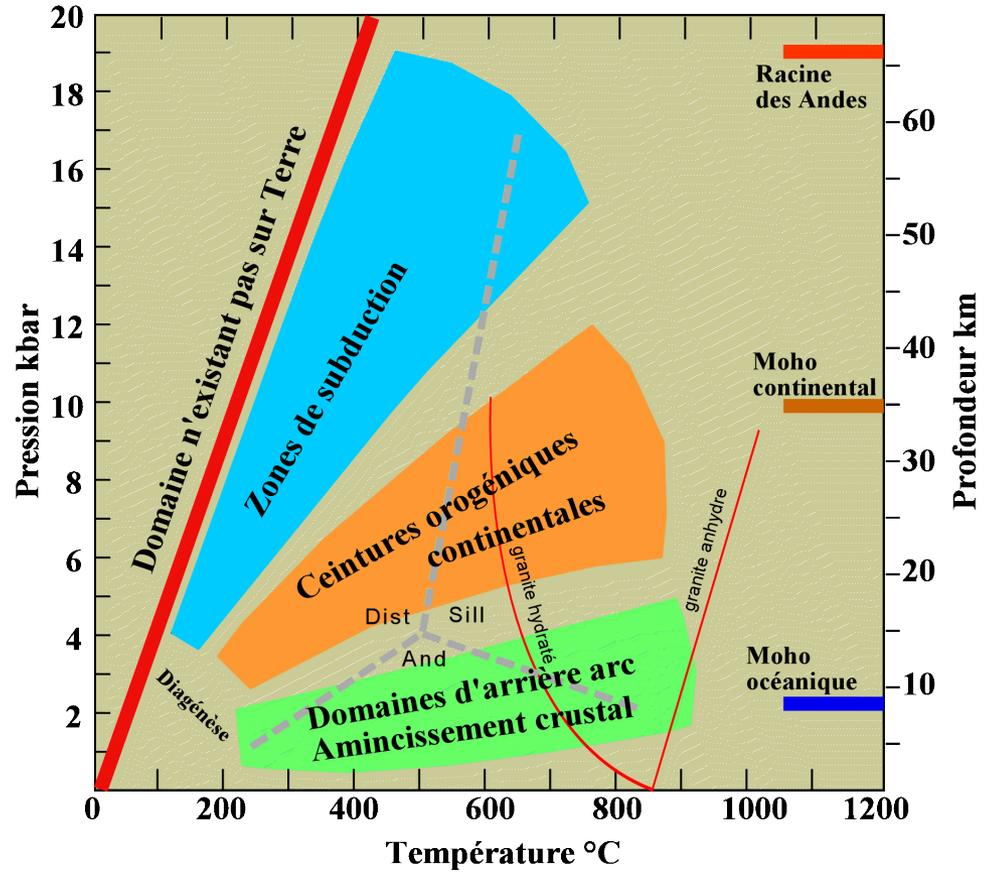
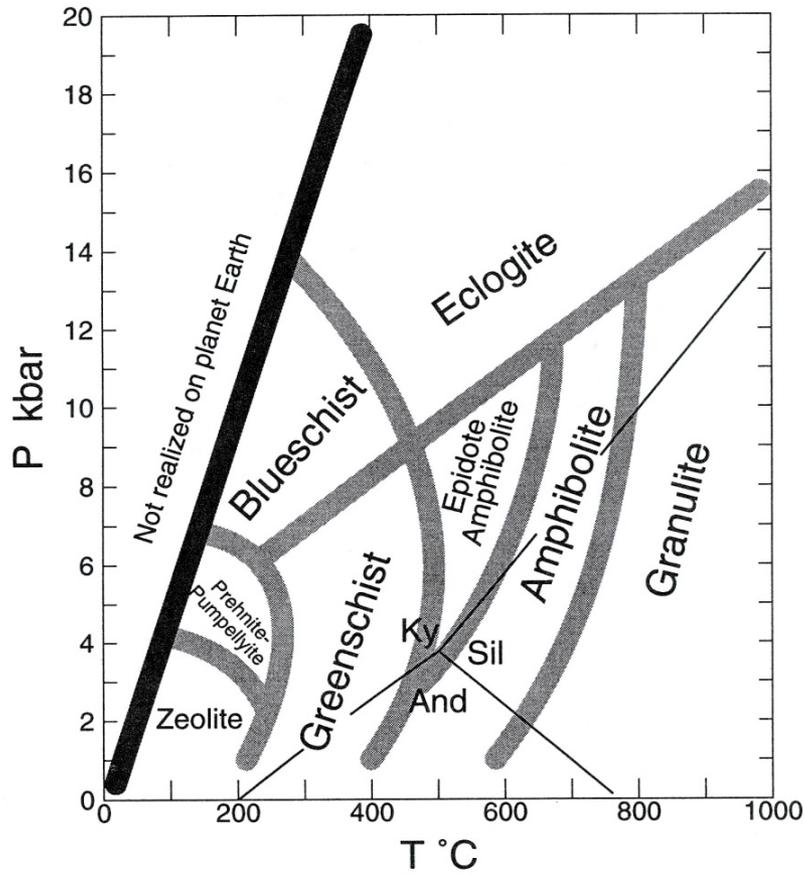
→ **4-2. Minéraux index et grilles pétrogénétiques**

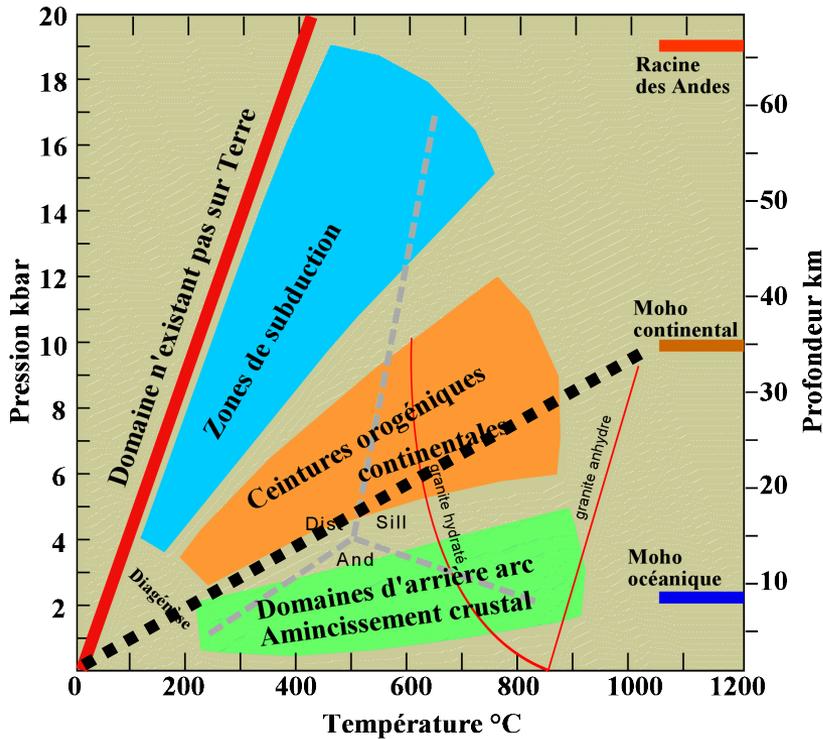
→ **4-3. Paragénèse et faciès**

→ **4-4. Relation avec les contextes géodynamiques**

→ **4-5. Nomenclature**

# Relations entre faciès métamorphique et contexte géodynamique





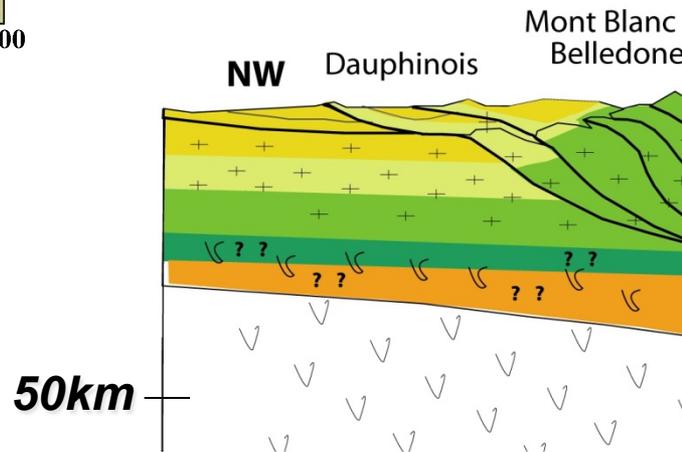
Gradient thermique normal  
 $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$

croûte supérieure (20km):

→ équilibrée dans les conditions  
du faciès Schistes Verts

croûte inférieure :

→ équilibrée dans les conditions  
du faciès des amphibolites



***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**

→ **4. Les roches métamorphiques**

→ **4-1. Définition du métamorphisme**

→ **4-2. Minéraux index et grilles pétrogénétiques**

→ **4-3. Paragénèse et faciès**

→ **4-4. Relation avec les contextes géodynamiques**

→ **4-5. Nomenclature**

Nomenclature des roches métamorphiques

ROCHE ORIGINELLE  
(protolite)

ROCHE METAMORPHIQUE CORRESPONDANTE

Nomenclature des roches métamorphiques

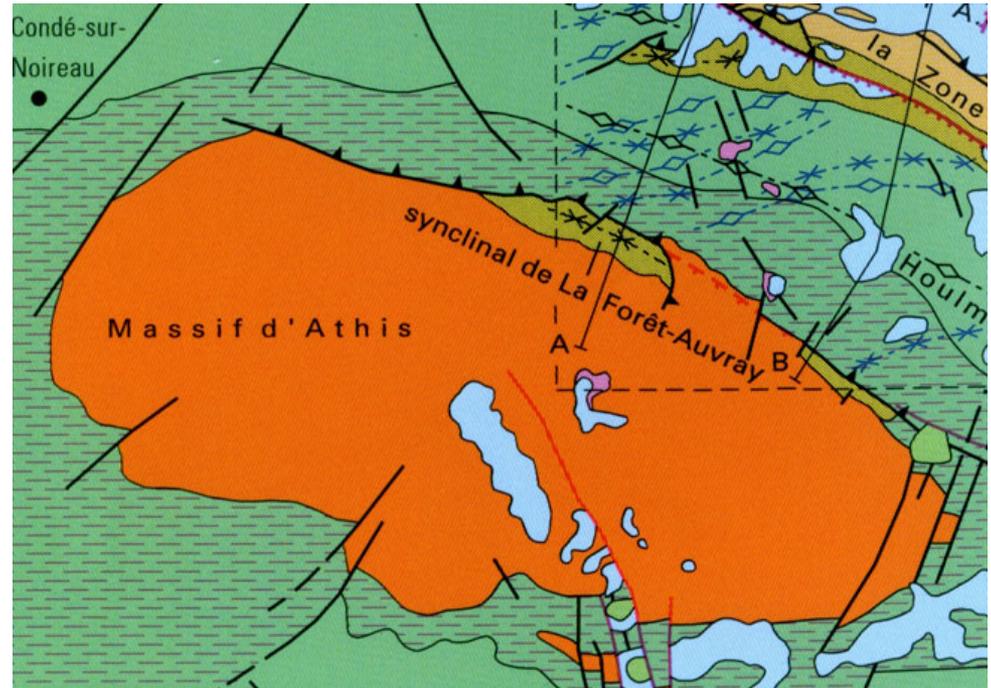
ROCHE ORIGINELLE  
(protolite)

ROCHE METAMORPHIQUE CORRESPONDANTE

**METAMORPHISME GENERAL**  
roches déformées tectoniquement  
minéraux orientés  
roches feuilletées ou litées (foliées)

**METAMORPHISME DE CONTACT**  
roches peu ou pas déformées  
minéraux non orientés  
roches d'aspect massif

Mise en place d'un pluton (550 Ma) dans des terrains sédimentaires (600Ma) et formation d'une auréole métamorphique de contact (M. Américain)



Nomenclature des roches métamorphiques

ROCHE ORIGINELLE  
(protolite)

ROCHE METAMORPHIQUE CORRESPONDANTE

**METAMORPHISME GENERAL**  
roches déformées tectoniquement  
minéraux orientés  
roches feuilletées ou litées (foliées)

**METAMORPHISME DE CONTACT**  
roches peu ou pas déformées  
minéraux non orientés  
roches d'aspect massif

Gneiss déformé



Nomenclature des roches métamorphiques

ROCHE ORIGINELLE  
(protolite)

ROCHE METAMORPHIQUE CORRESPONDANTE

METAMORPHISME GENERAL  
roches déformées tectoniquement  
minéraux orientés  
roches feuilletées ou litées (foliées)

METAMORPHISME DE CONTACT  
roches peu ou pas déformées  
minéraux non orientés  
roches d'aspect massif

calcaire



marbre (CaCO<sub>3</sub> calcite microcristalline)

marbre

Nomenclature des roches métamorphiques

ROCHE ORIGINELLE  
(protolite)

ROCHE METAMORPHIQUE CORRESPONDANTE

**METAMORPHISME GENERAL**  
roches déformées tectoniquement  
minéraux orientés  
roches feuilletées ou litées (foliées)

**METAMORPHISME DE CONTACT**  
roches peu ou pas déformées  
minéraux non orientés  
roches d'aspect massif

calcaire  
grès



marbre ( $\text{CaCO}_3$  calcite microcristalline)



quartzite ( $\text{SiO}_2$  quartz microcristallin)

marbre

quartzite

Nomenclature des roches métamorphiques

ROCHE ORIGINELLE  
(protolite)

ROCHE METAMORPHIQUE CORRESPONDANTE

METAMORPHISME GENERAL

roches déformées tectoniquement  
minéraux orientés  
roches feuilletées ou litées (foliées)

METAMORPHISME DE CONTACT

roches peu ou pas déformées  
minéraux non orientés  
roches d'aspect massif

calcaire



marbre (CaCO<sub>3</sub> calcite microcristalline)

marbre

grès



quartzite (SiO<sub>2</sub> quartz microcristallin)

quartzite

grès argileux



micaschiste (quartz + micas)  
ou gneiss (quartz + micas + feldspaths)

cornéenne

Nomenclature des roches métamorphiques

ROCHE ORIGINELLE  
(protolite)

ROCHE METAMORPHIQUE CORRESPONDANTE

**METAMORPHISME GENERAL**  
roches déformées tectoniquement  
minéraux orientés  
roches feuilletées ou litées (foliées)

**METAMORPHISME DE CONTACT**  
roches peu ou pas déformées  
minéraux non orientés  
roches d'aspect massif

calcaire →

marbre (CaCO<sub>3</sub> calcite microcristalline)

marbre

grès →

quartzite (SiO<sub>2</sub> quartz microcristallin)

quartzite

grès argileux →

micaschiste (quartz + micas)  
ou gneiss (quartz + micas + feldspaths)

cornéenne

siltite, pélite argileuse

schiste, phyllade, micaschiste

schiste tacheté à minéraux

Nomenclature des roches métamorphiques

ROCHE ORIGINELLE  
(protolite)

ROCHE METAMORPHIQUE CORRESPONDANTE

**METAMORPHISME GENERAL**  
roches déformées tectoniquement  
minéraux orientés  
roches feuilletées ou litées (foliées)

**METAMORPHISME DE CONTACT**  
roches peu ou pas déformées  
minéraux non orientés  
roches d'aspect massif

calcaire →  
grès →  
grès argileux →  
  
siltite, pélite argileuse  
roche magmatique acide

marbre (CaCO<sub>3</sub> calcite microcristalline)  
quartzite (SiO<sub>2</sub> quartz microcristallin)  
micaschiste (quartz + micas)  
ou gneiss (quartz + micas + feldspaths)  
schiste, phyllade, micaschiste  
gneiss, leptynite (gneiss fin)

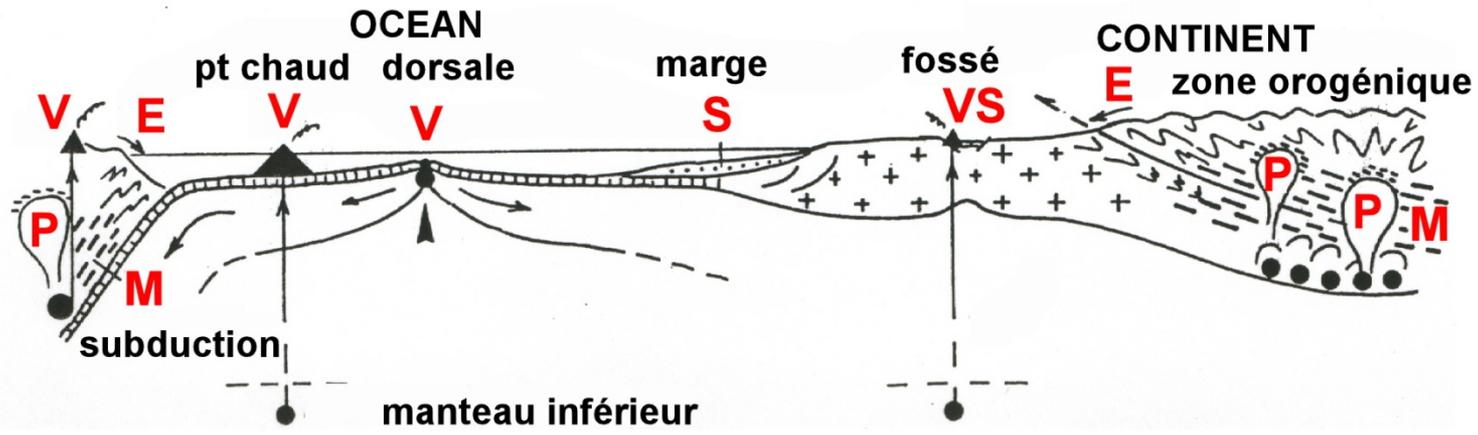
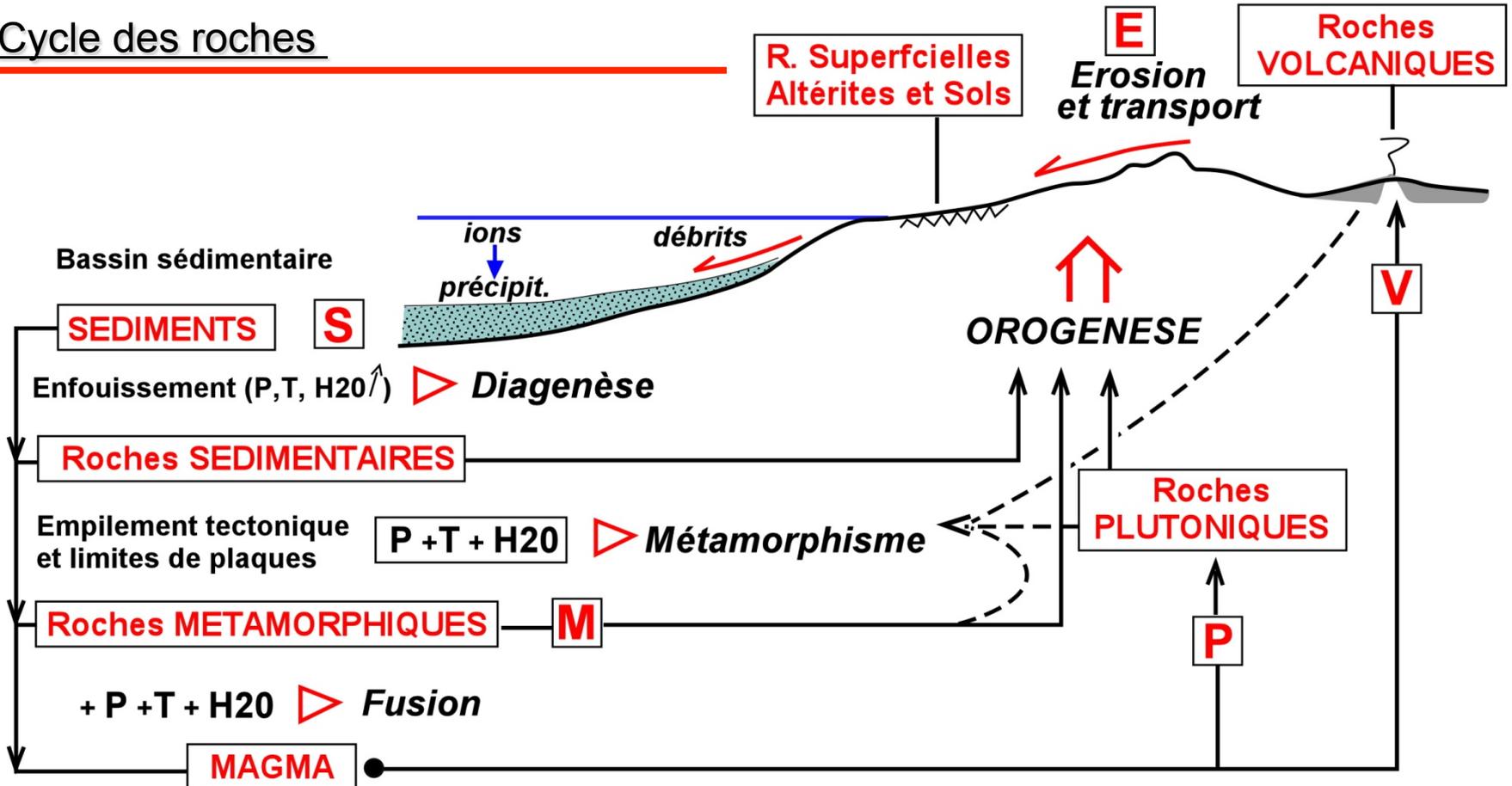
marbre  
quartzite  
cornéenne  
  
schiste tacheté à minéraux

Nomenclature des roches métamorphiques

ROCHE ORIGINELLE (protolite)	ROCHE METAMORPHIQUE CORRESPONDANTE	
	METAMORPHISME GENERAL roches déformées tectoniquement minéraux orientés roches feuilletées ou litées (foliées)	METAMORPHISME DE CONTACT roches peu ou pas déformées minéraux non orientés roches d'aspect massif
calcaire	marbre (CaCO <sub>3</sub> calcite microcristalline)	marbre
grès	quartzite (SiO <sub>2</sub> quartz microcristallin)	quartzite
<b>grès argileux</b>	micaschiste (quartz + micas) ou gneiss (quartz + micas + feldspaths)	cornéenne
siltite, pélite argileuse	schiste, phyllade, micaschiste	schiste tacheté à minéraux
<b>roche magmatique acide</b>	gneiss, leptynite (gneiss fin)	
roche magmatique basique	amphibolite (amphibole + feldspath)	

**Attention** le gneiss peut avoir une origine sédimentaire (para-dérivé) ou magmatique (ortho-dérivé)

# Cycle des roches



***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

**→ Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**

**→1. Les constituants des roches**

**→2. Les roches magmatiques**

**→3. Les roches sédimentaires**

**→4. Les roches métamorphiques**

**→5. Les propriétés géotechniques des roches**

***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

- **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**
  - **5. Les propriétés géotechniques des roches**
    - **5-1. Propriétés mécaniques d'une roche**
    - **5-2. Comportement mécanique d'un massif**
    - **5-3. La roche: matériaux de construction**

Les propriétés mécaniques d'une roche dépendent de trois facteurs : la composition chimique, la minéralogie et la structure.

### **Porosité**

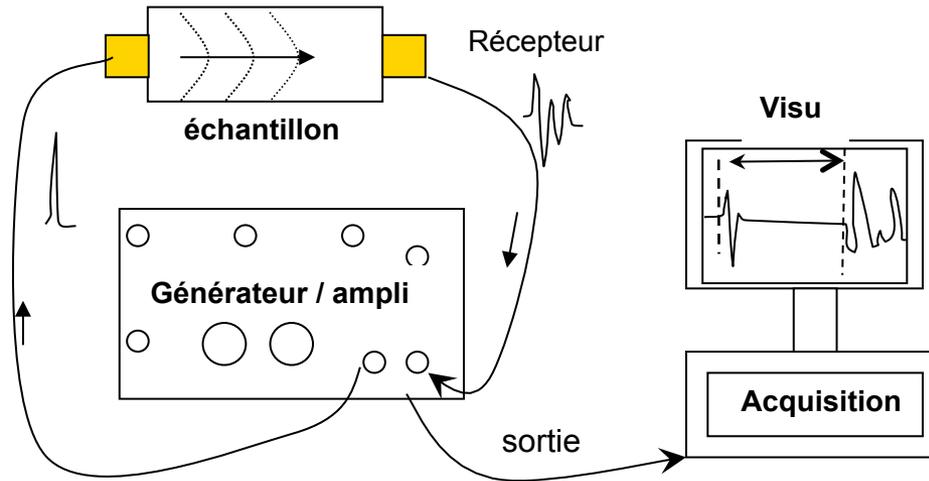
-Les roches forment un milieu polycristallin hétérogène. Le milieu est discontinu avec la présence de pores ou de fissures.

-Dans les **roches cristallines** un volume de vide équivalent à **2%** entraîne une diminution de 50% des caractéristiques mécaniques.

-Dans les **roches sédimentaires** un volume de vide équivalent à **20%** entraîne une diminution de 50% des caractéristiques mécaniques.

**Comment estimer la porosité d'une roche?**

**On peut estimer la porosité d'une roche par l'utilisation des vitesses de propagation des ondes P...**



**principe :**  
**enregistrement du temps de propagation de l'onde P à travers l'échantillon...**  
**Connaissant la dimension de l'échantillon on remonte à la vitesse...**

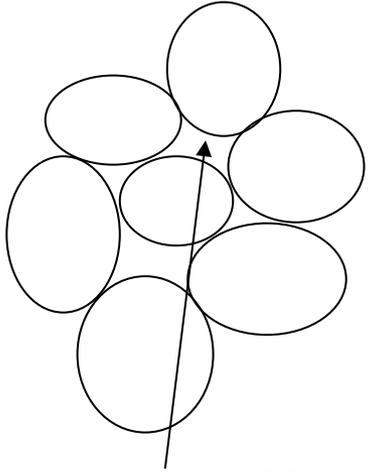
**→ les vitesses diminuent en fonction de l'augmentation de la porosité...**

<b>Porosité (%)</b>	<b>Vl (m/s) Calcaires</b>	<b>Vl (m/s) Grès</b>
0	6660	6050
1	6500	5900
5	6000	5200
10	5200	4700
20	4000	3200
30	3000	-
45	1850	-

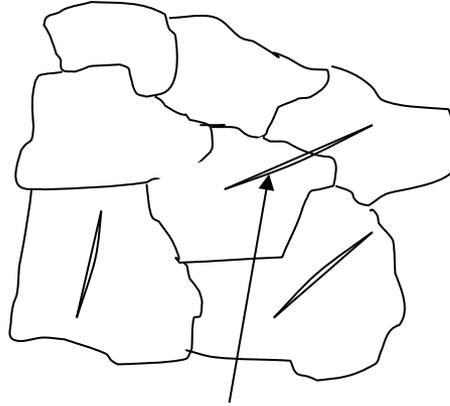
Vitesse dans l'air  
= 340m/s

Vitesse dans l'eau  
= 1500m/s

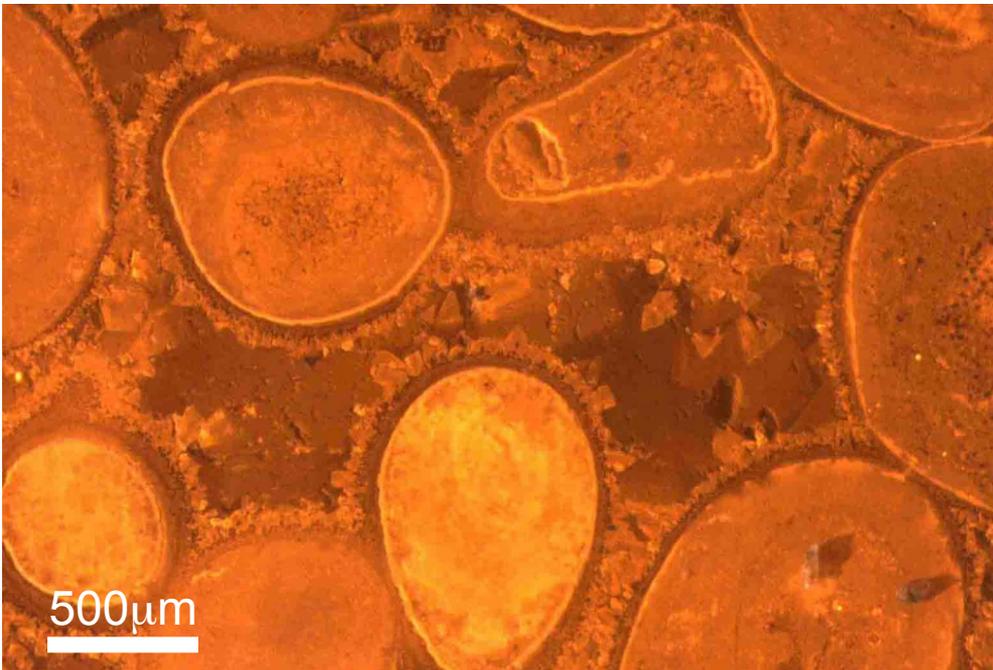
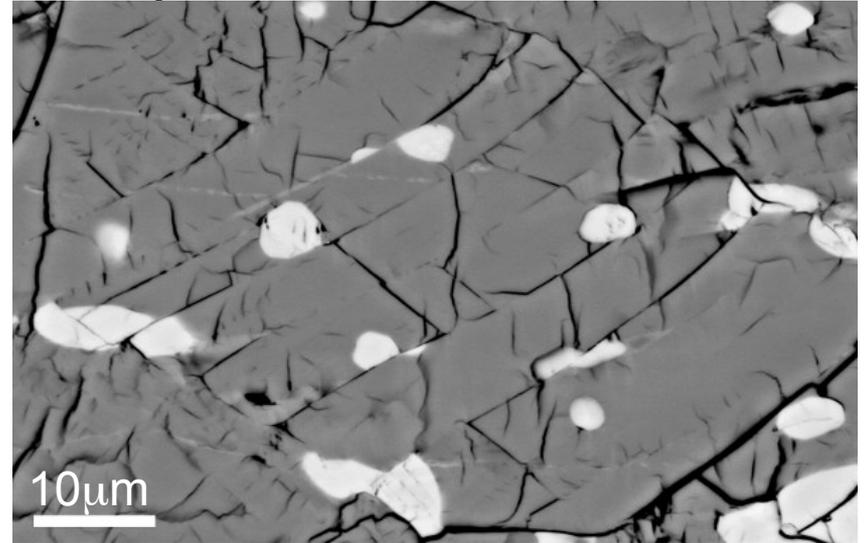
La porosité en fonction du matériau peut être soit : de pores, de fissures ou les deux...



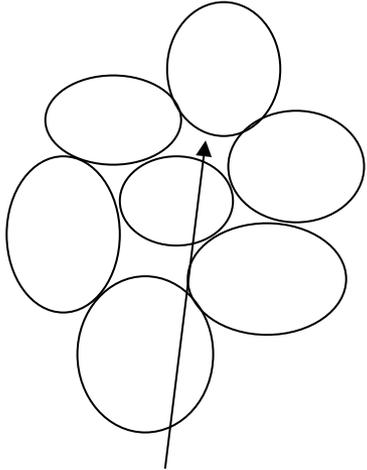
Porosité de pores  $n_p$



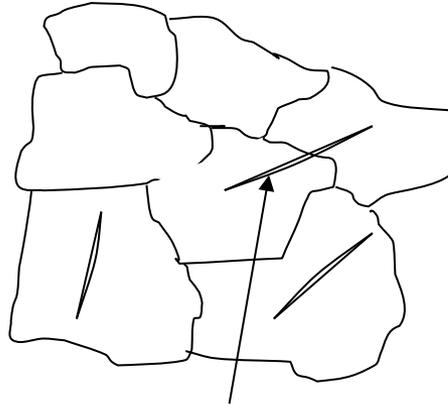
Porosité de fissures  $n_f$



La porosité en fonction du matériau peut être soit : de pores, de fissures ou les deux...



Porosité de pores  $n_p$



Porosité de fissures  $n_f$

**En géotechnique afin de déterminer la proportion de porosité de pores et de fissures**

**→ utilisation d'un indice de continuité  $I_c$**

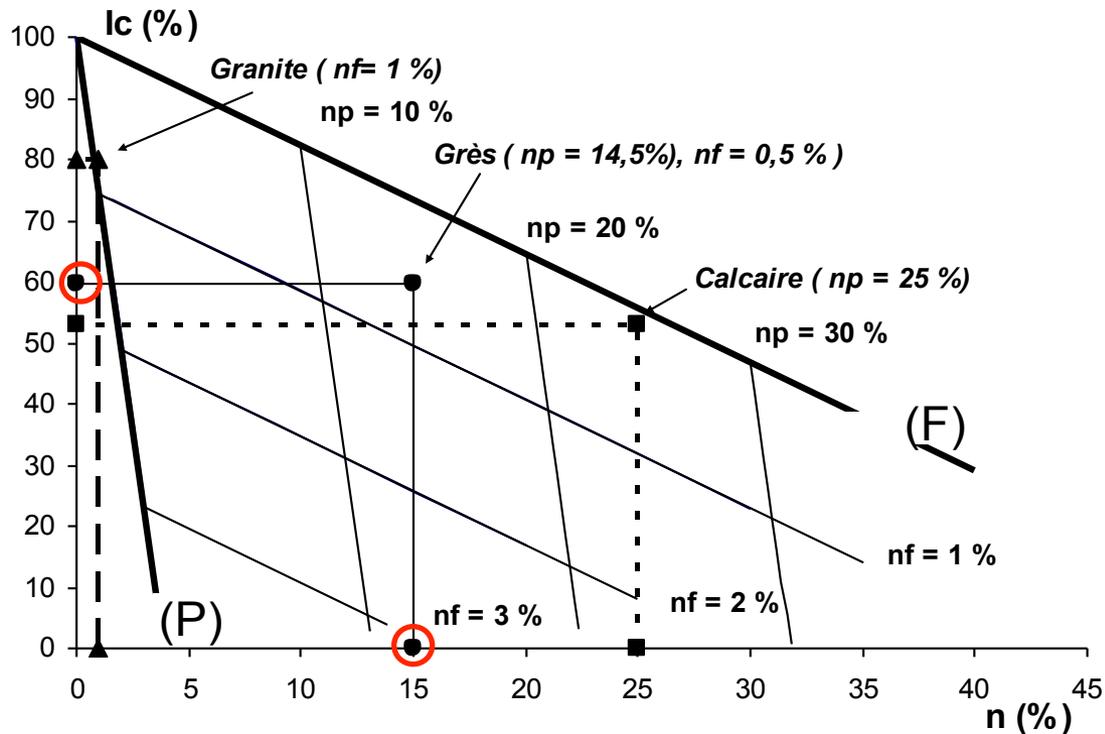
$$I_c = 100 \times VI / V_{lc} \quad (\text{en } \%)$$

VI = vitesse mesurée

$V_{lc}$  = vitesse maximale théorique pour une porosité nulle

Minéraux	$V_{lc}$ (m/s)
Quartz	6050
Calcite	6660
Dolomite	7500
Feldspaths potassiques (Orthose)	6250
Feldspaths sodique (Albite)	5800
Biotite	5150
Muscovite	5800
Amphibole	7200
Gypse	5200
Magnétite	7400
Pyrite	8000

Utilisation des abaques de **FOURMAINTRAUX**  
permet d'obtenir le type de porosité pour un  $I_c$  et une porosité donnés  
(porosité de fissures ( $nf$ ) et de pores ( $np$ ))



**exemple pour grès...**

En labo mesure porosité de 15% (saturation) et  $I_c$  de 60%

Porosité totale = 14,5%  $np$  et 0,5%  $nf$

# ***géologie générale*** - Partie I - 5.1. ***Propriétés mécaniques des roches***

Les propriétés mécaniques d'une roche dépendent de trois facteurs : la composition chimique, la minéralogie et la structure.

## **Porosité**

## **Anisotropie**

-Liée soit (i) au dépôt dans les roches sédimentaires (stratification) soit (ii) à la déformation on parle d'anisotropie mécanique (schistosité ou foliation). L'anisotropie a une forte incidence sur les caractéristiques physiques des matériaux (résistance à la compression, perméabilité, vitesses sismiques...)



# ***géologie générale - Partie I - 5.1. Propriétés mécaniques des roches***

Les propriétés mécaniques d'une roche dépendent de trois facteurs : la composition chimique, la minéralogie et la structure.

## **Porosité**

## **Anisotropie**

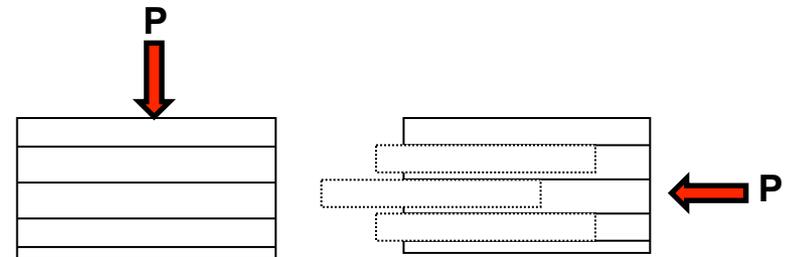
-Liée soit (i) au dépôt dans les roches sédimentaires (stratification) soit (ii) à la déformation on parle d'anisotropie mécanique (schistosité ou foliation). L'anisotropie a une forte incidence sur les caractéristiques physiques des matériaux (résistance à la compression, perméabilité, vitesses sismiques...)

## **Test à la compression**

-On teste la capacité qu'a la roche à résister à la compression. Cela permet d'avoir une idée sur la résistance des roches.

Basalte, quartzite	>200 MPa
Granite, gneiss, cipolin	> 100-200 MPa
Calcaire, grès, schiste	50-100 MPa
Marne	3-20 MPa
Gypse	3-10 MPa
Craie	1-20 MPa

-Dans les roches litées, l'orientation des sollicitations par rapport au litage modifie de 1 à 10 la résistance de la roche.



***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

- **Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre**
  - **5. Les propriétés géotechniques des roches**
    - **5-1. Propriétés mécaniques d'une roche**
    - **5-2. Comportement mécanique d'un massif**
    - **5-3. La roche: matériaux de construction**

Le comportement mécanique d'un massif dépend de trois facteurs :

- Les caractéristiques mécaniques de la roche (essais in situ)
- La déformation et rupture subies par le massif
- L'altération

Morphologie des fissures et milieu fissuré

Les fissures sont des fractures allongées, à ouverture plus ou moins large. Leur ensemble constitue la fissuration (origine mécanique).

2 catégories de fissures suivant leurs dimensions :

- microfissures
- macrofissures



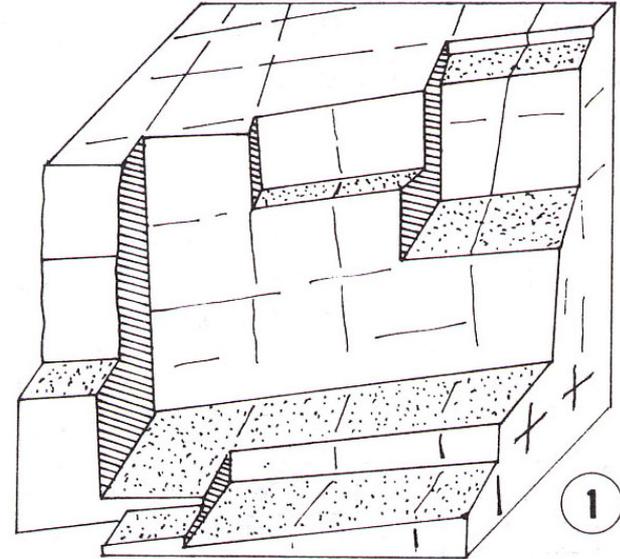
## Microfissures

Ouverture de qqs 1/10ème de mm, longueur métrique à décamétrique

→ Diaclases et microjoints de stratification

→ Plans de schistosité

Elles découpent le massif en un réseau de microfissures



## Macrofissures

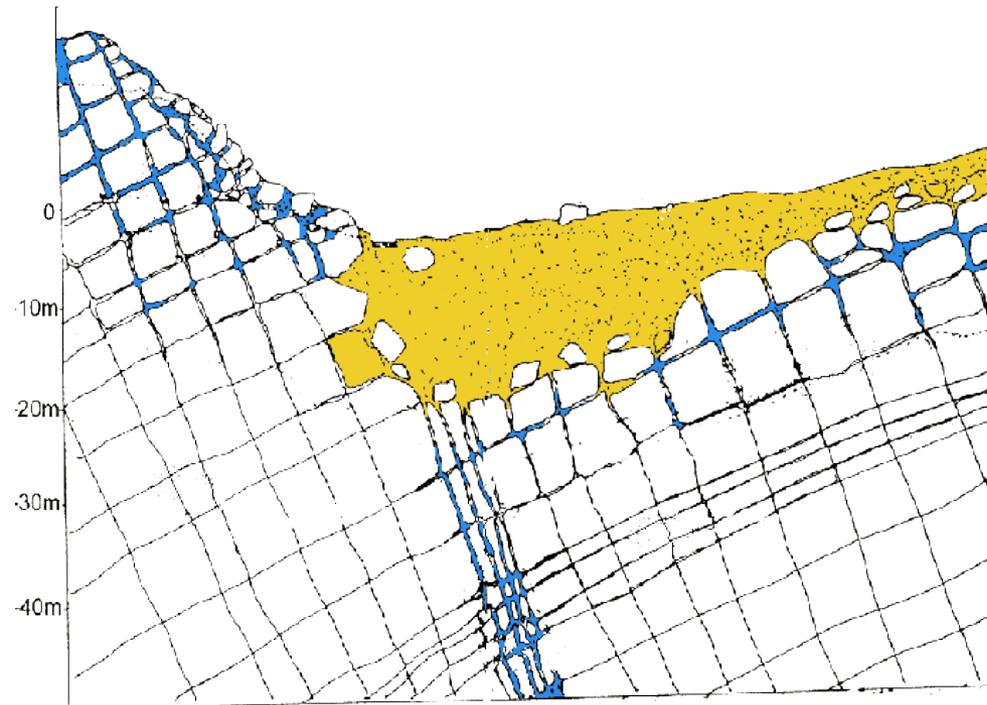
Ouverture > qqs mm (décimétrique à métrique)

longueur hectométrique à kilométrique

→ Zones de broyage

→ Failles et décrochements

Milieu fissuré discontinu  
(déformation localisée)



***Géologie Générale***  
***Géotech 3***

→ **Partie I. Les matériaux de l' écorce terrestre**

→ **5. Les propriétés géotechniques des roches**

→ **5-1. Propriétés mécaniques d' une roche**

→ **5-2. Comportement mécanique d' un massif**

→ **5-3. La roche: matériaux de construction**

## ***géologie générale - Partie I - 5.3. La roche : matériaux de construction***

---

**Granulats** = matériaux meubles (alluvions dans les rivières) arrondies ou concassés. Les agrégats pour le béton doivent être résistants, propres (sans argile), isotrope et non gélifs. Matériaux schistosés pas utilisés.

**Ciment** = Mélange à l'eau de calcaire (70%) et d'argile (30%) permettant d'agglomérer du sable ou des granulats

**Enrochements** = blocs de protection de quelques dizaine de kilos à quelques tonnes. Doivent être sélectionnés en fonction de leur forme et de leur fragmentation.

**Pierres à bâtir** = matériaux de construction. Les roches les mieux adaptées pour ce type de travaux sont les roches sédimentaires. Les grès mal cimentés, la craie et la dolomie posent des problèmes d'altération, tandis que les tufs offrent des trop faible résistances mécaniques.



**Ouvrages généraux :**

Lagabrielle et al., 2013. Mémo visuel de géologie. Dunod

Peycru et al., 2008. Géologie BCPST. Dunod

Caron et al., 2009. Comprendre et enseigner le Planète Terre. Ophrys

Pomerol et al., 2012. Eléments de géologie. Dunod

Brahic et al., 2000. Sciences de la Terre et de l' Univers. Vuiber