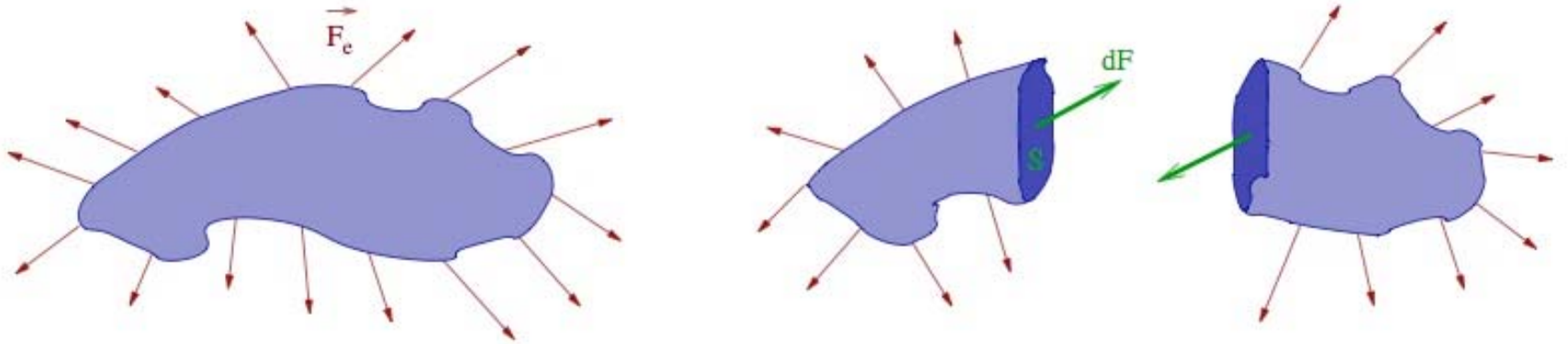


## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 1) Les roches sont soumises à des contraintes



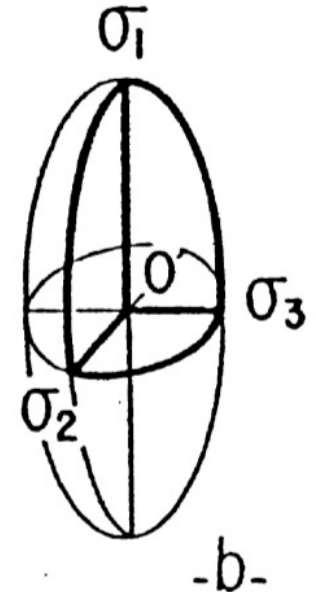
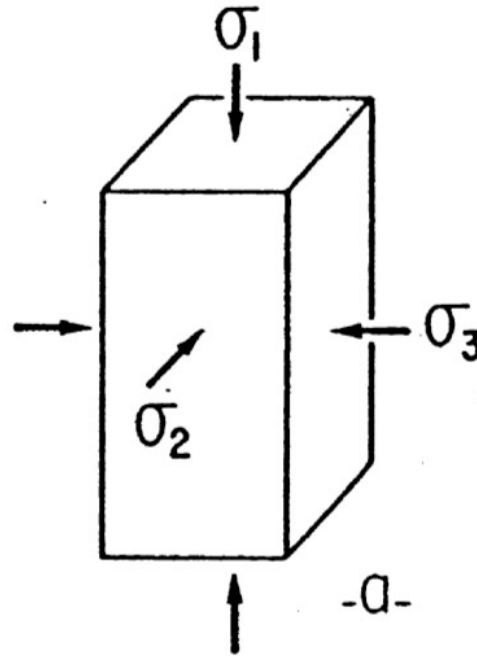
Définition : la contrainte est une force appliquée sur une surface qui s'exprime en Pa ( $\text{N/m}^2$ ). C'est l'équivalent d'une pression.

$$\sigma = dF / dS$$

## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 1) Les roches sont soumises à des contraintes

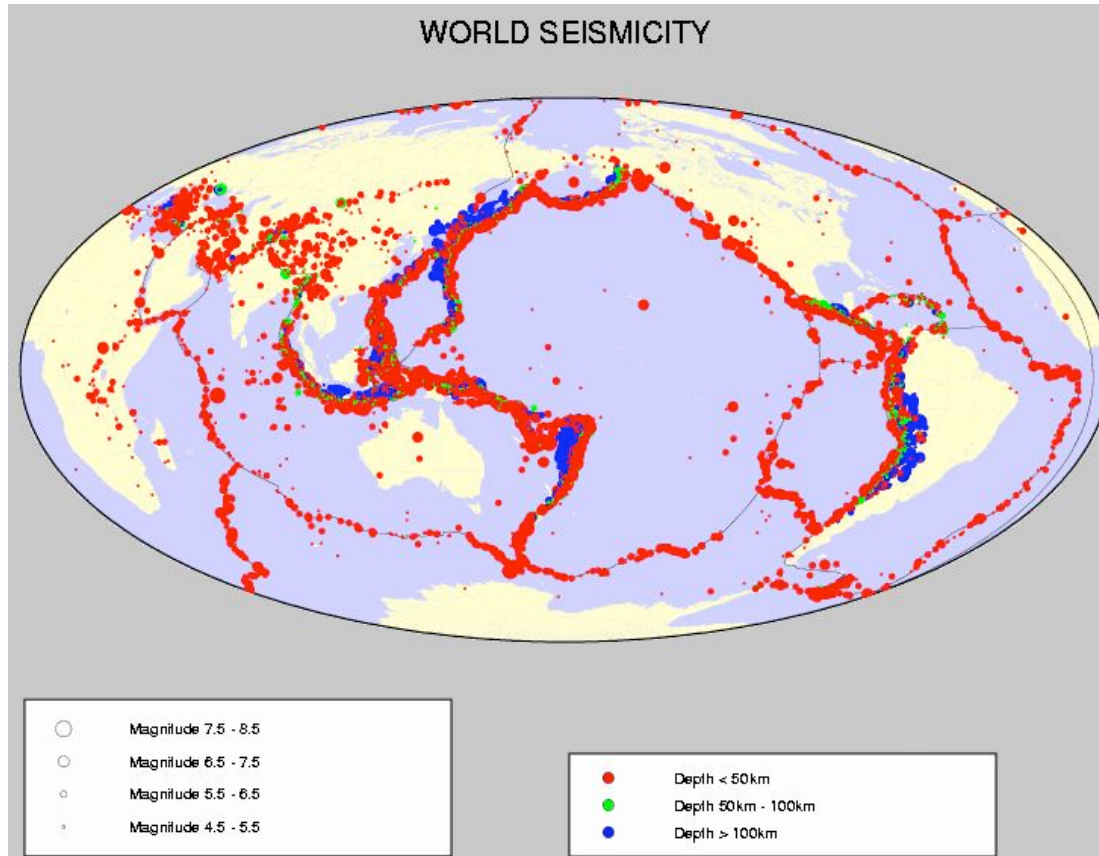
#### Ellipsoïde des contraintes



- $\neq$  ellipsoïdes des déformations
- décomposition de la contrainte sur 3 axes perpendiculaires tels que :
  - $\sigma_1$  = contrainte maximale
  - $\sigma_2$  = contrainte intermédiaire
  - $\sigma_3$  = contrainte minimale

## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 1) Les roches sont soumises à des contraintes



Contrainte lithostatique

vs.

Contrainte déviatorique ?

Contrainte

=

Contrainte  
lithostatique

$$P = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

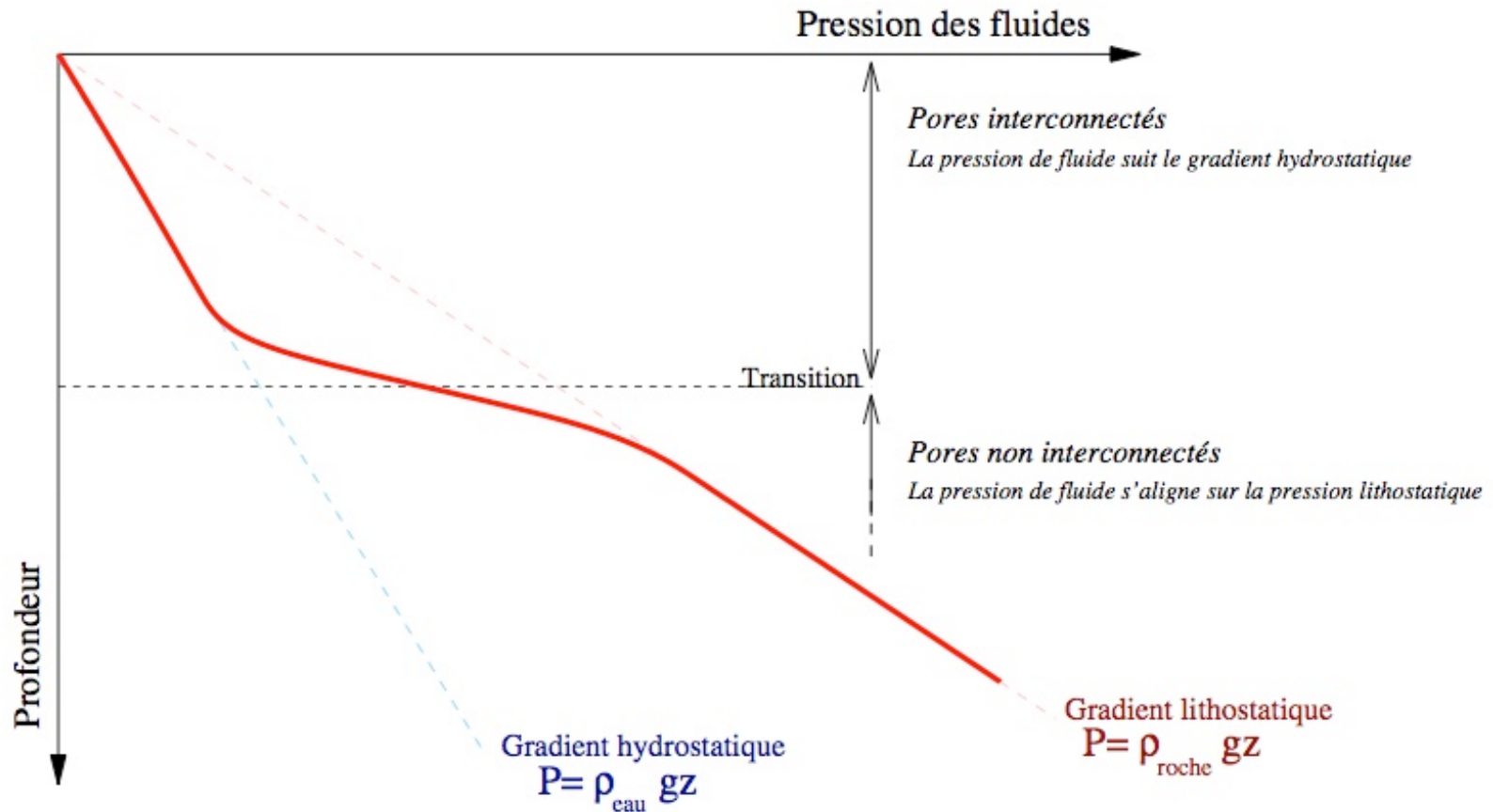
+

Contrainte  
déviatorique

$\sigma_d$  = perturbations  
= tectonique

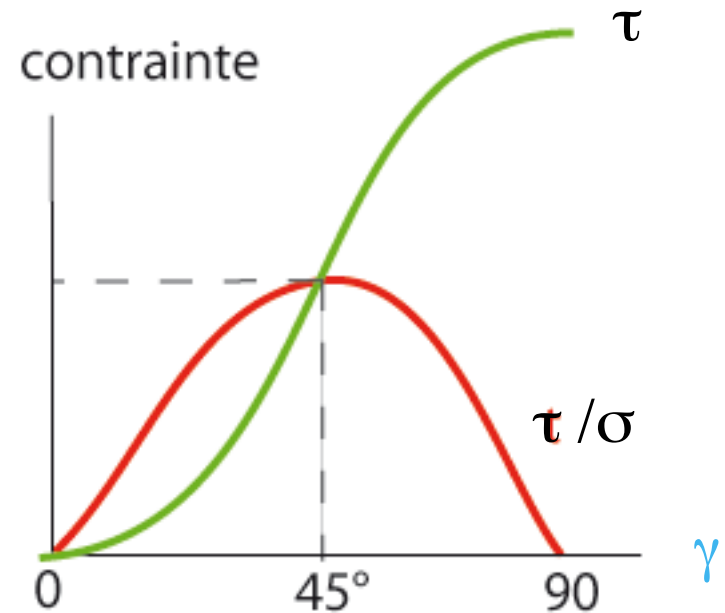
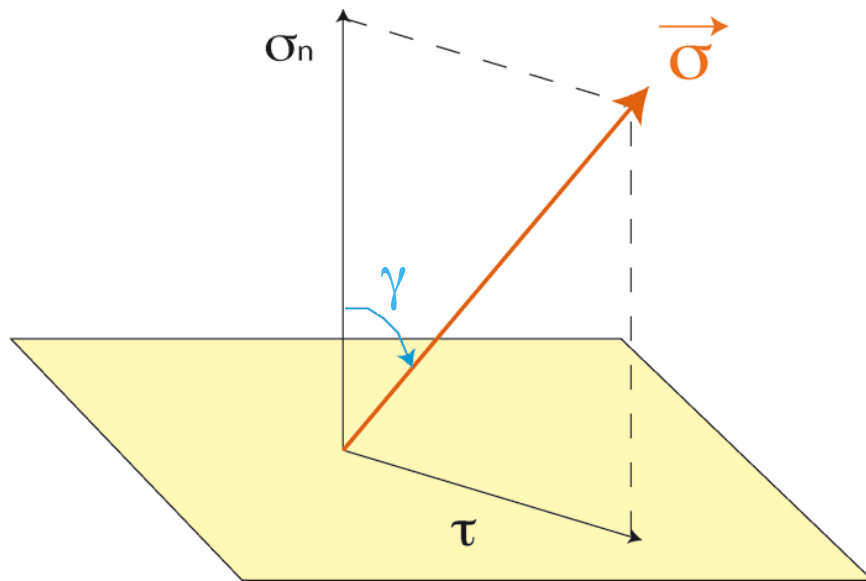
## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 1) Les roches sont soumises à des contraintes



## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 1) Les roches sont soumises à des contraintes



#### Décomposition sur un plan :

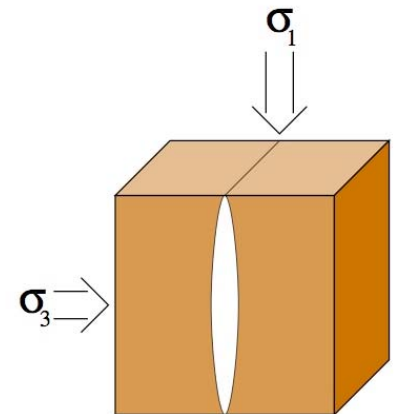
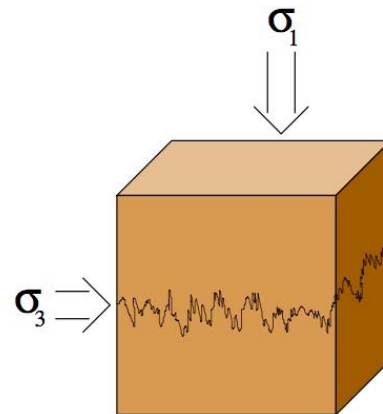
- composante **dans le plan** = composante tangentielle  $\tau$
- composante **normale au plan** = composante normale  $\sigma_n$

## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 1) Les roches sont soumises à des contraintes

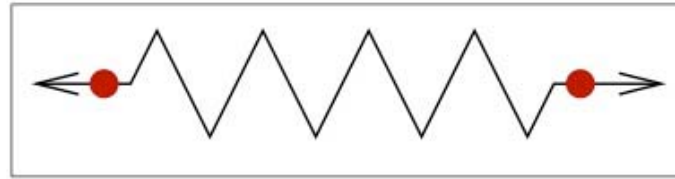
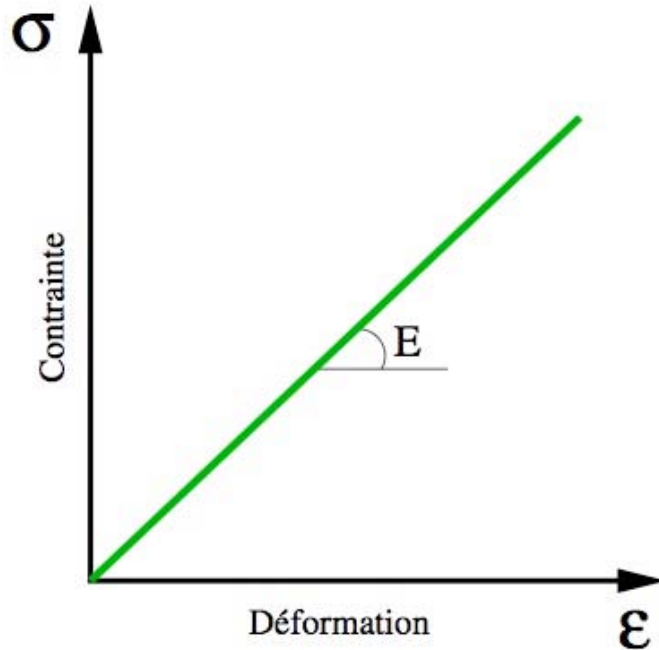
#### Relation déformation/ contraintes :

- **stylolithes**
- **fentes** de tension
- ... et c'est à peu près tout !



## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 2) Comportements élémentaires des roches - Elasticité



Définition : déformation **immédiate** (pas de seuil), **réversible**, relation **proportionnelle** entre contrainte et déformation.

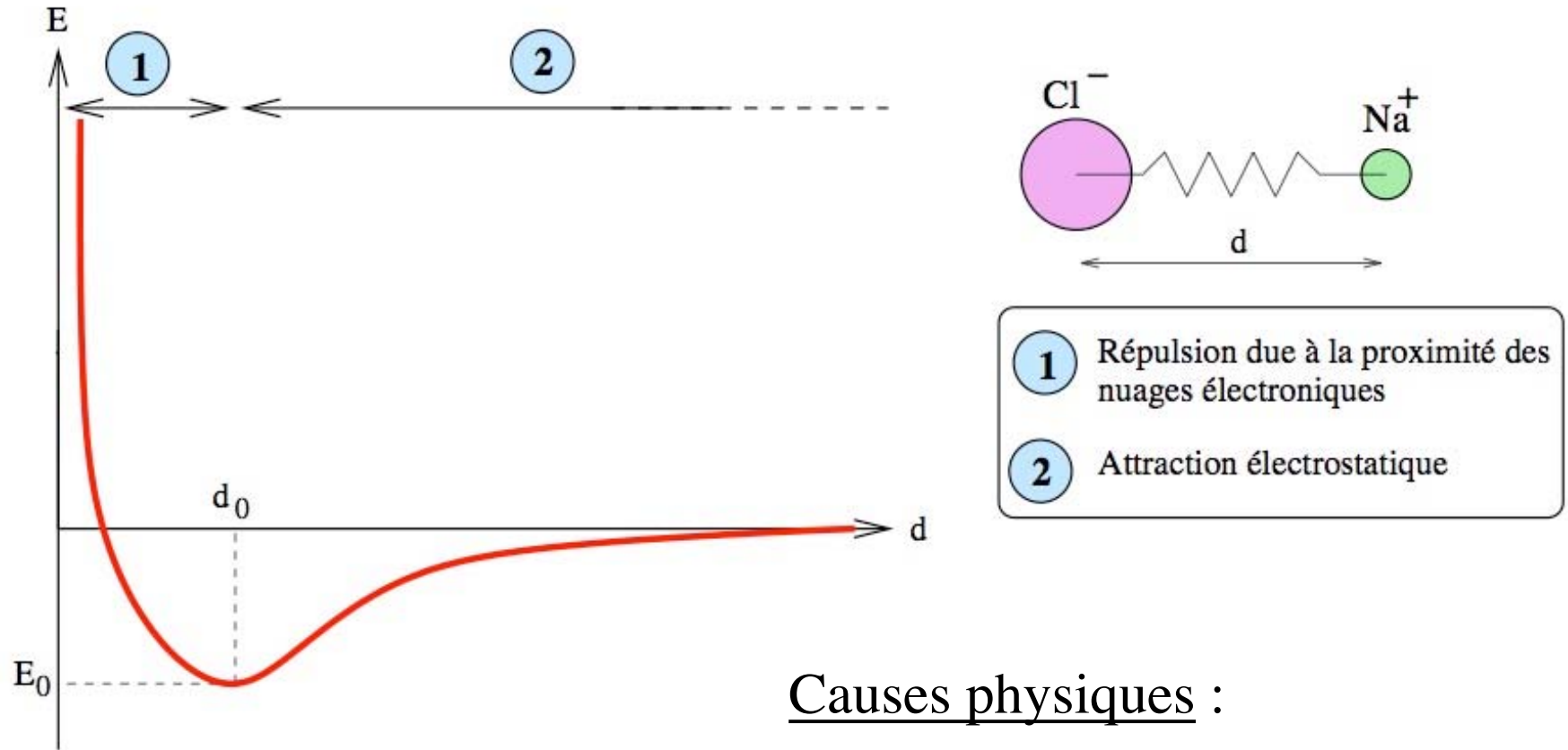
$$\epsilon = \sigma / E$$

$E$  : module d'Young



## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 2) Comportements élémentaires des roches - Elasticité



Causes physiques :

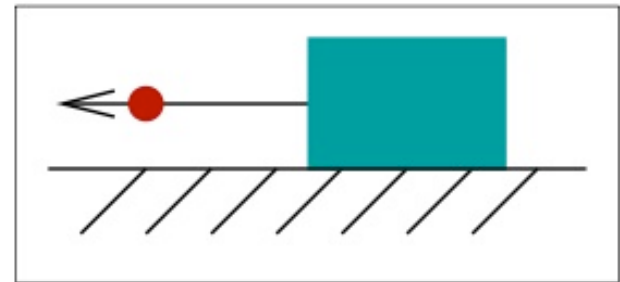
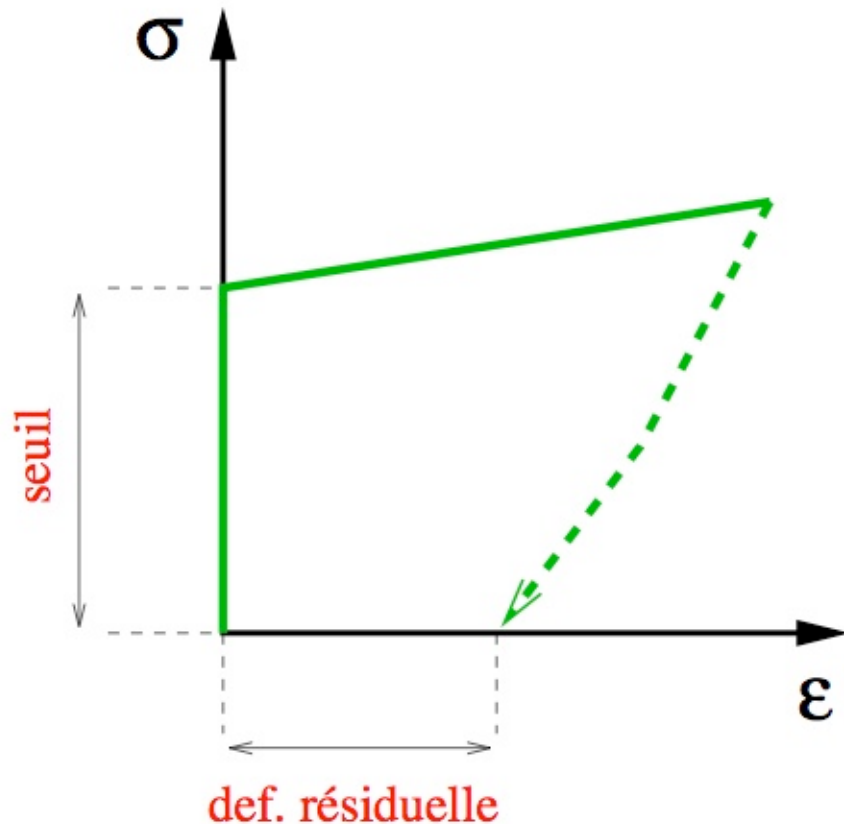
- élasticité des **liaisons** atomiques



## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

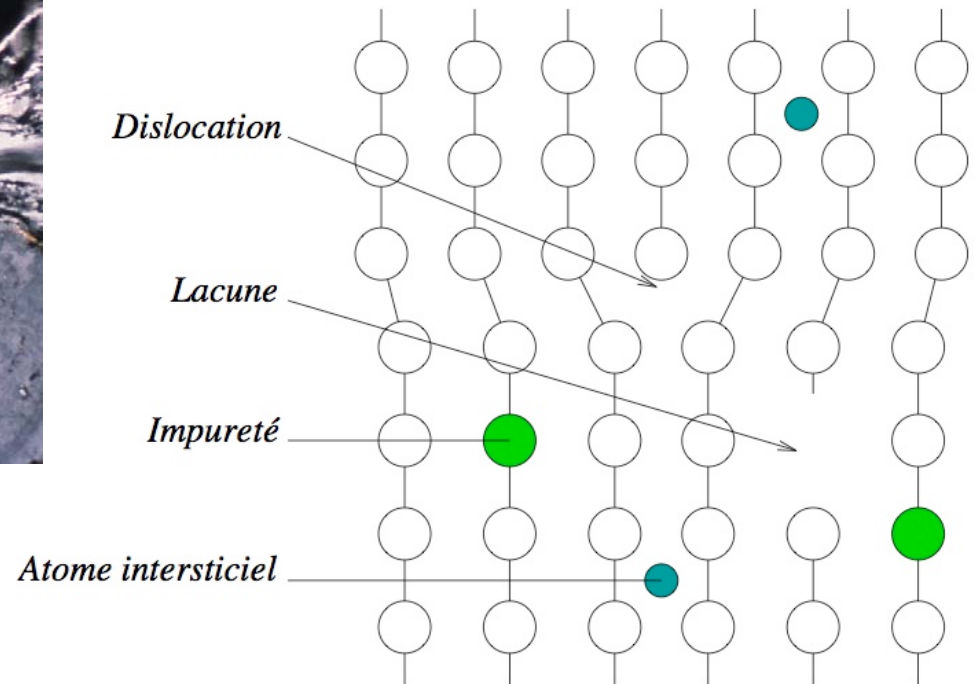
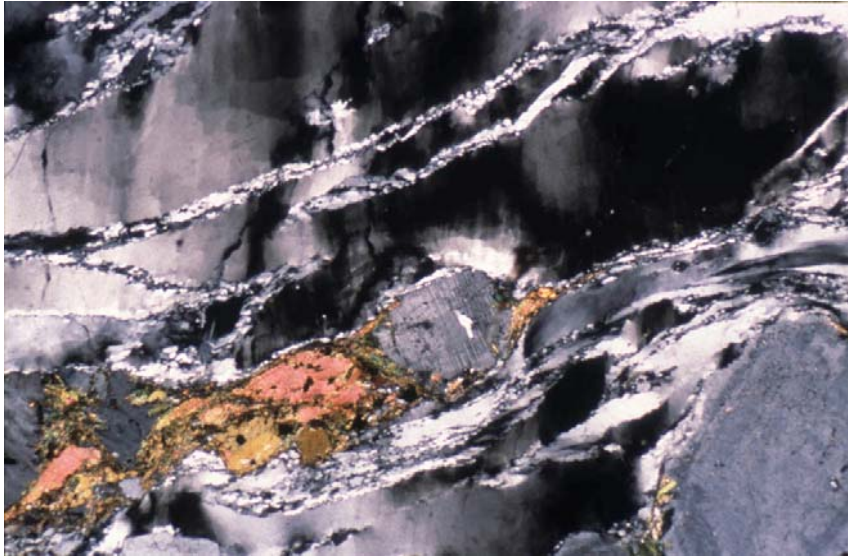
### 2) Comportements élémentaires des roches - Plasticité

Définition : existence d'un **seuil** et d'une déformation **résiduelle**.



## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 2) Comportements élémentaires des roches - Plasticité



#### Causes physiques :

- **Migration** des impuretés du réseau cristallin
- **Cassure** du matériau

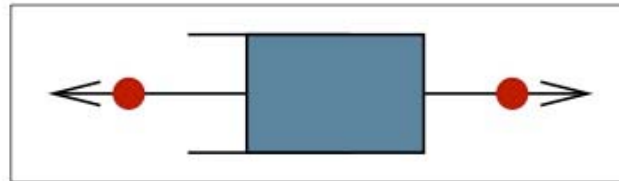
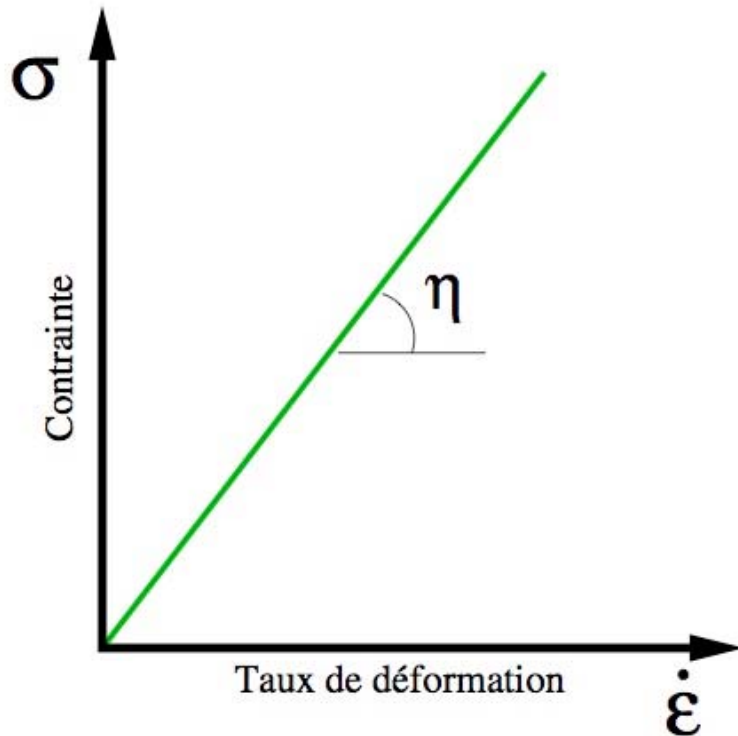
## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 2) Comportements élémentaires des roches - Viscosité

Définition : la viscosité n'a pas de seuil mais inclut le paramètre **temps** dans son expression (vitesse de déformation).

$$d\varepsilon/dt = \sigma / \eta$$

$\eta$  est la viscosité



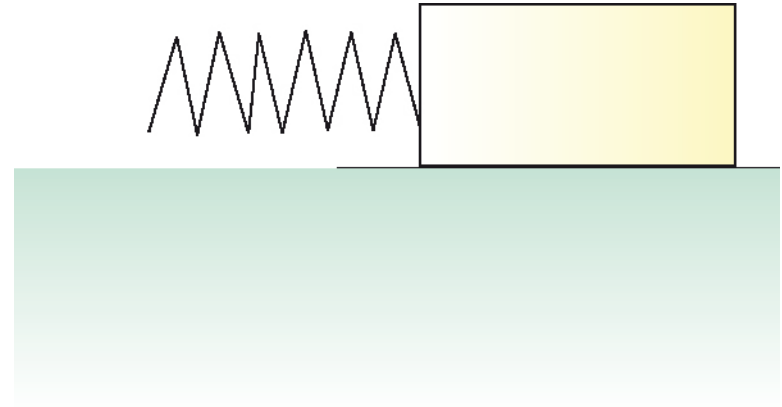
## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 2) Comportements élémentaires des roches

#### Modélisation analogique

-Elasto- plastique :  
= **Cassant**

*Exemple : le cycle sismique*



-Visco- élastique :  
≈ **Ductile**

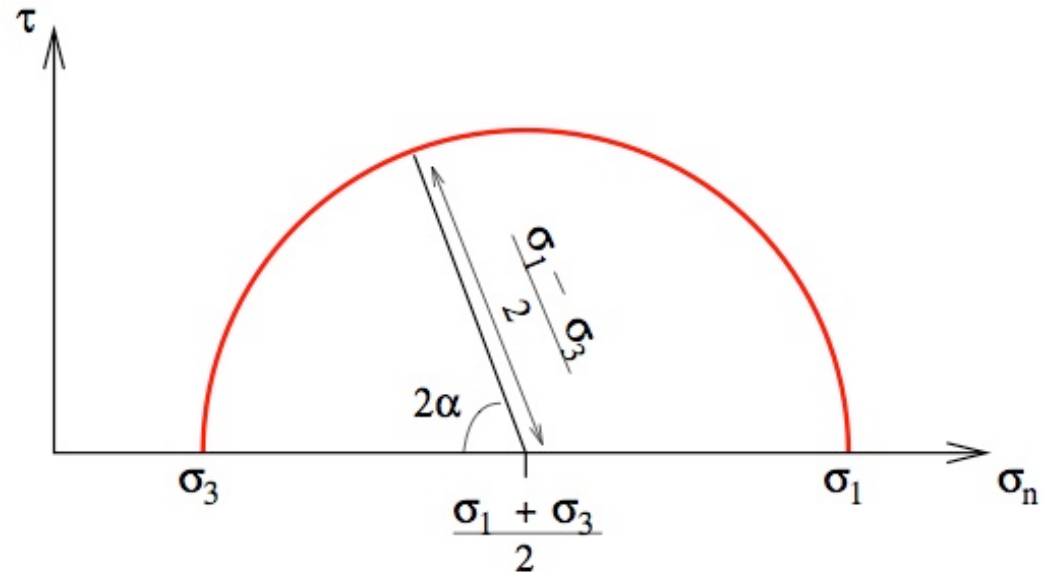
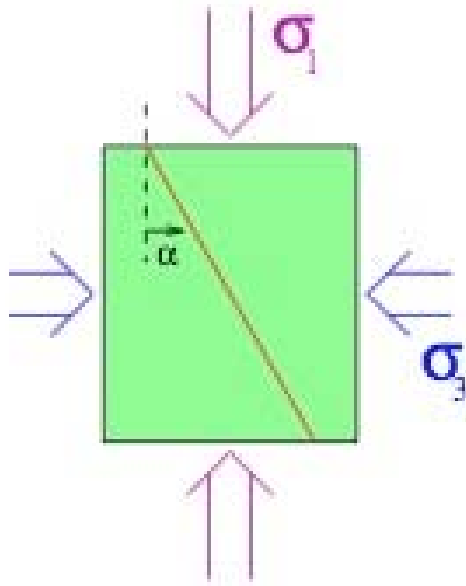
*Exemple : le manteau convecte et transmet des ondes sismiques*



## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 3) Comportement cassant : loi de Mohr- Coulomb

Cercle de Mohr :



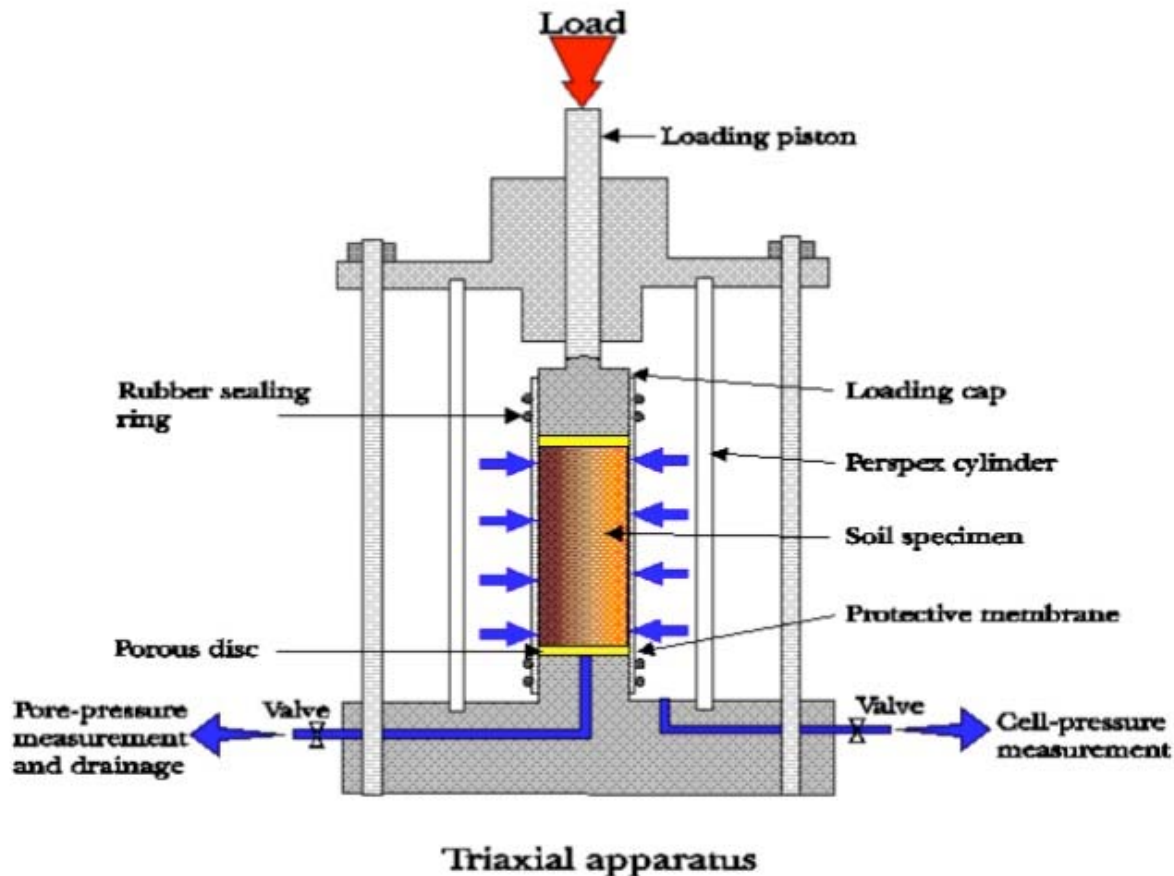
$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\alpha$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha$$

## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

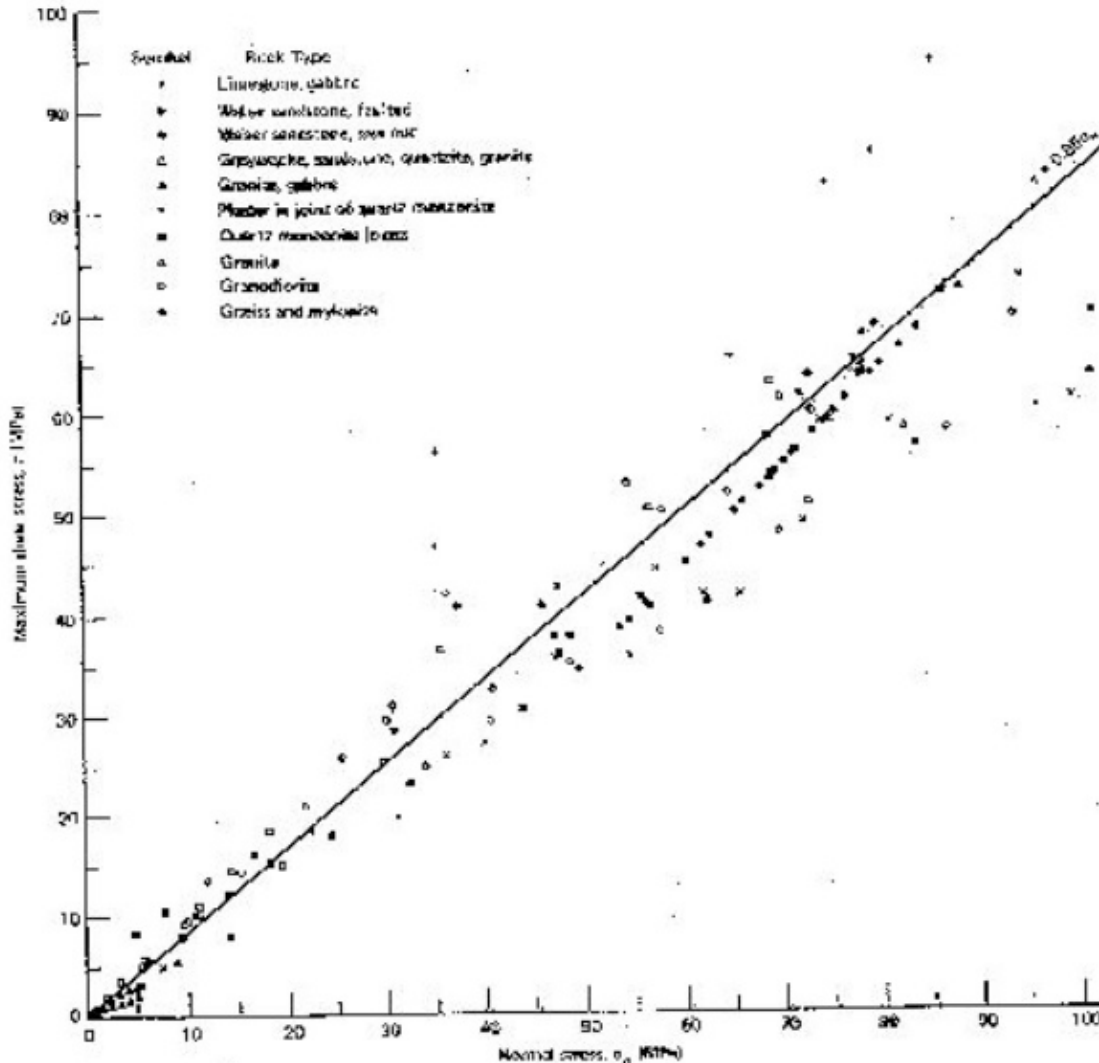
### 3) Comportement cassant : loi de Mohr- Coulomb

Critère de rupture : expériences sur presses



## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 3) Comportement cassant : loi de Mohr- Coulomb



Critère de rupture

**Critère de Coulomb**  
(théorie) :

$$\tau = C_0 + \mu \sigma_n ; \mu = \tan \phi$$

**Loi de Byerlee**  
(loi empirique) :

$$\tau = 0,85 \sigma_n \Rightarrow \text{Sub-surface}$$

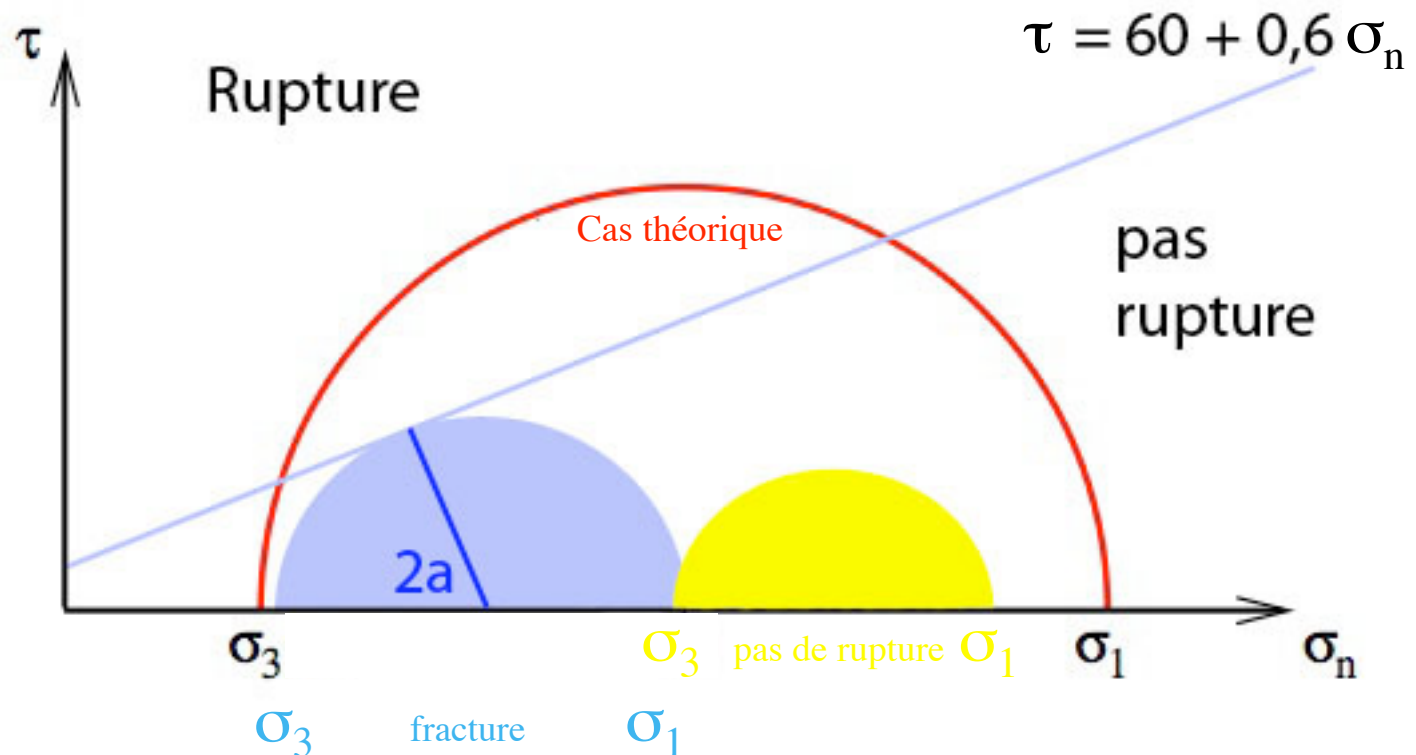
$$\tau = 60 + 0,6 \sigma_n$$



## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 3) Comportement cassant : loi de Mohr- Coulomb

Diagramme Mohr – Coulomb : le critère de rupture délimite un champ **sans rupture** (bas) et un champ où la roche **se fracture** (haut).



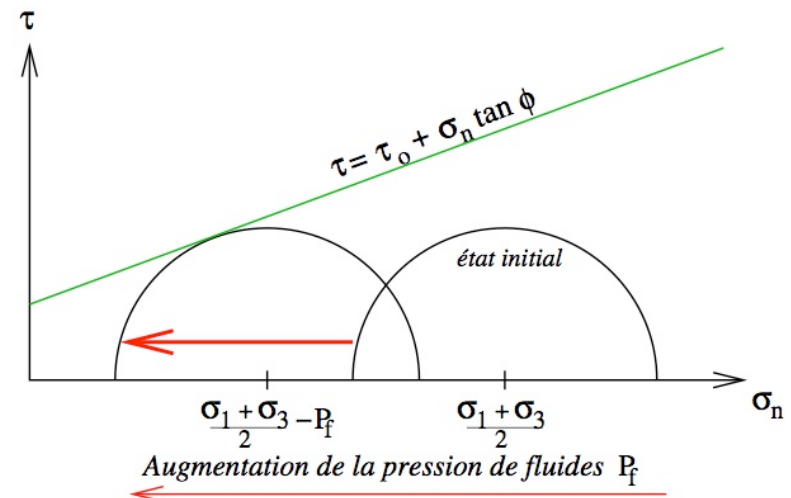
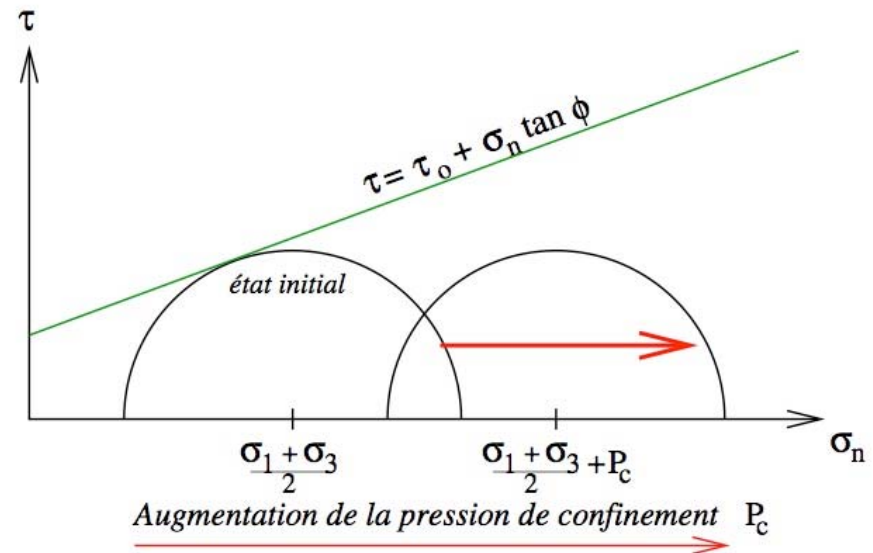
## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 3) Comportement cassant : loi de Mohr- Coulomb

#### Conséquence n°1 :

L'augmentation de la **pression de confinement** éloigne des conditions de rupture.  
= enfouissement

L'augmentation de la **pression de fluides** rapproche des conditions de rupture  
= fracturation hydraulique



## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 3) Comportement cassant : loi de Mohr- Coulomb

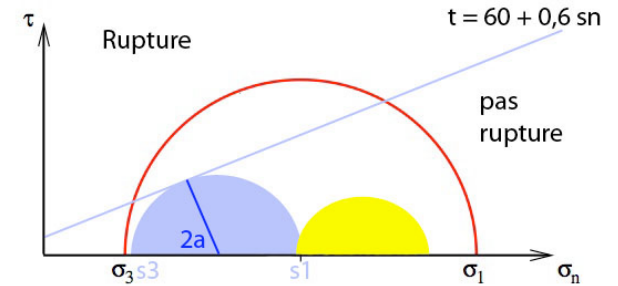
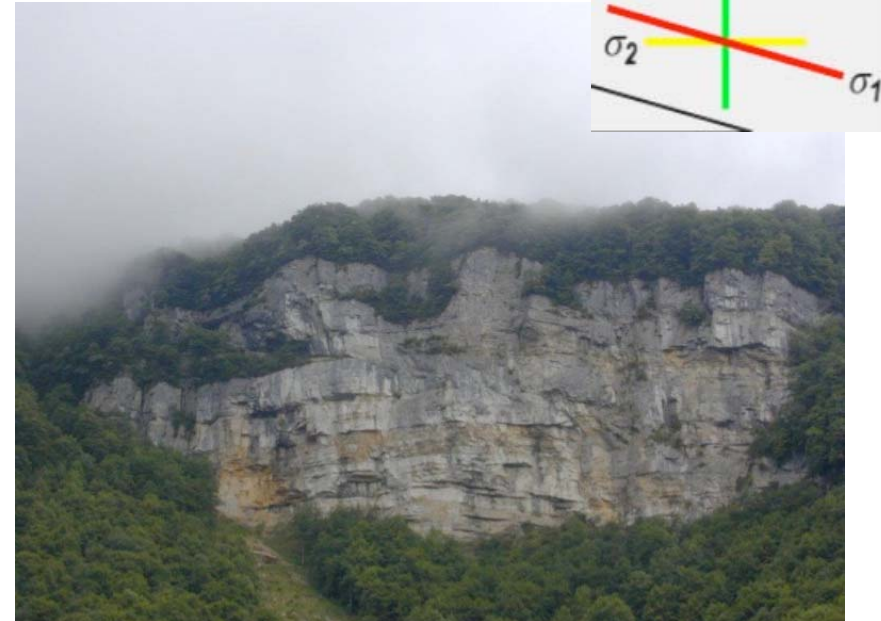
Conséquence n°2 :

$$2\alpha = 60^\circ \text{ donc } \alpha = 30^\circ$$

Failles normales  
= pendage de  $60^\circ$



Failles inverses  
= pendage de  $30^\circ$

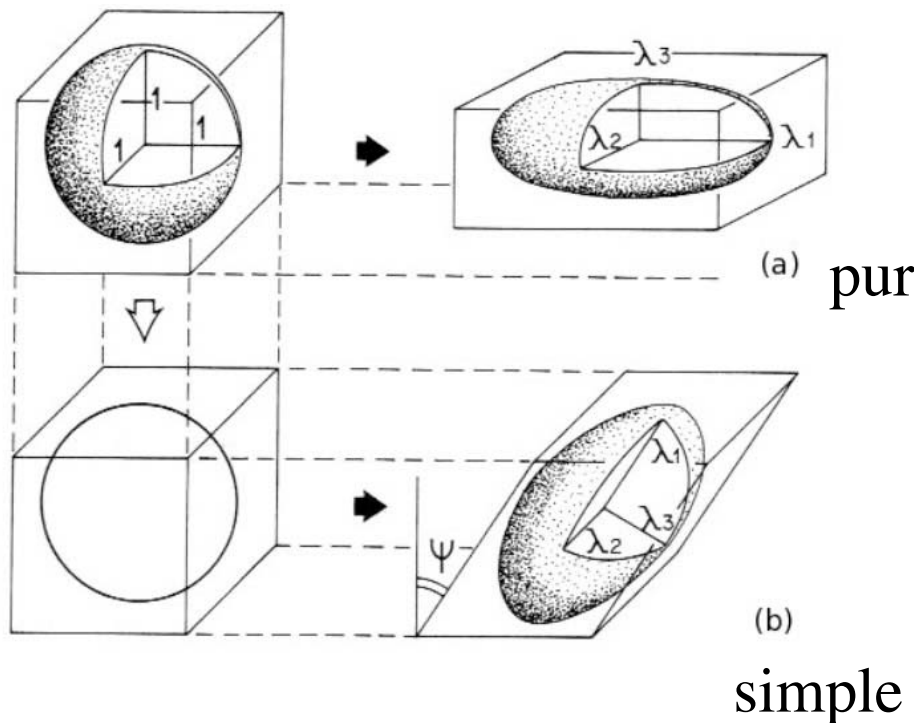


## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

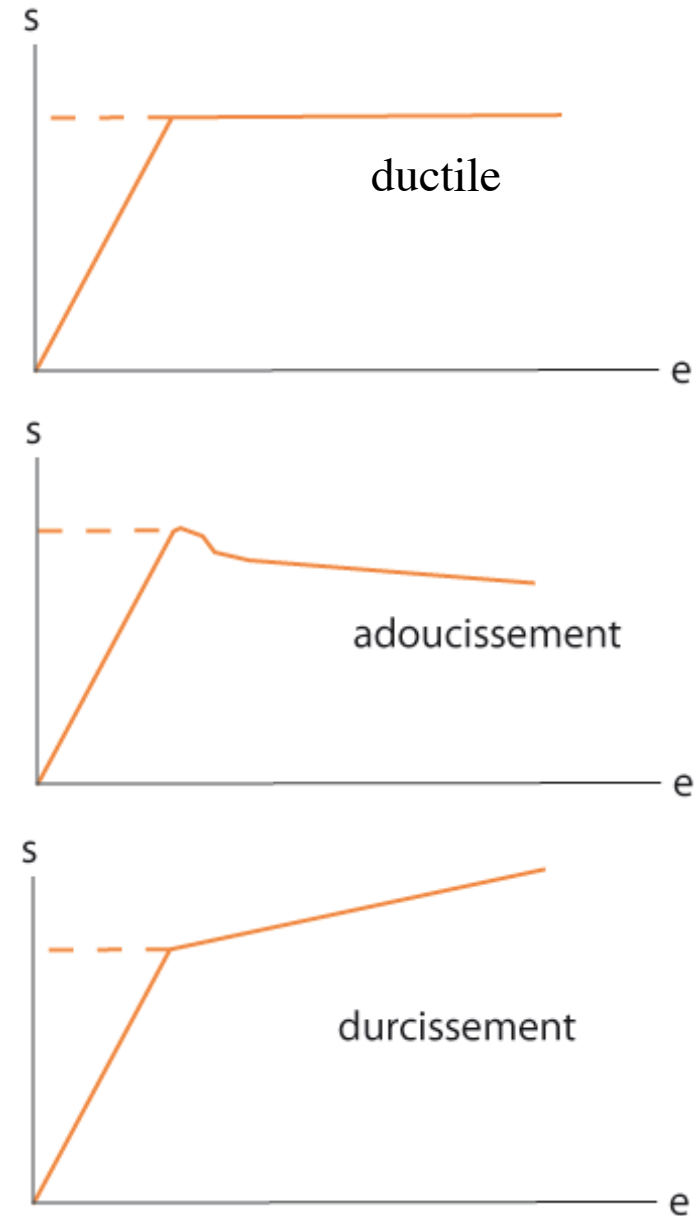
### 4) Comportement ductile.

#### Deux grands types de cisaillement :

- cisaillement **pur** : aplatissement
- cisaillement **simple** : cisaillement



Choukroune, fig. 10



## II - CONTRAINTES ET RHEOLOGIE

### 4) Comportement ductile.

Loi de viscosité : loi expérimentale entre la **vitesse de déformation** et la **contrainte déviatorique**.

Elle inclut le paramètre **temps** et la **température**.

$$d\varepsilon/dt = A \sigma_d^n \exp^{-Q/RT}$$

