

COURS DISPONIBLE SUR INTERNET

Serveur step.ipgp.jussieu.fr

—————> TICE

—————> Serveur de Cours

JE SERAI ABSENT

Jeudi 10 Novembre

Jeudi 8 Décembre

I - INTRODUCTION

II – PHENOMENES PHYSIQUES

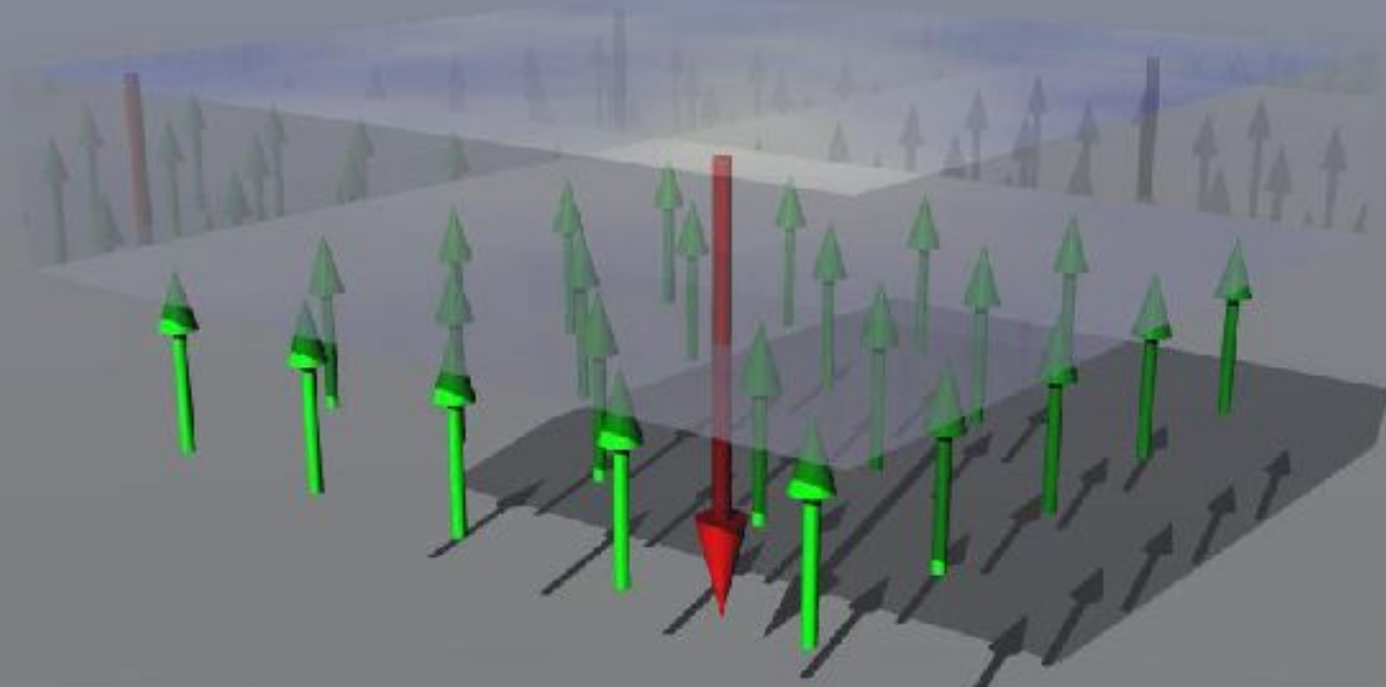
4°) Convection Thermique

5°) Déformation

6°) Fusion - Cristallisation

7°) Erosion - Sédimentation

Un milieu continu est soumis à :



- des forces exercées par l'intermédiaire des frontières (réaction d'un support, pression): **forces de surface.**
- des forces exercées sur la matière contenue à l'intérieur (le poids): **forces de volume.**

Les contraintes

La contrainte est une force divisée par une surface (comme la pression)

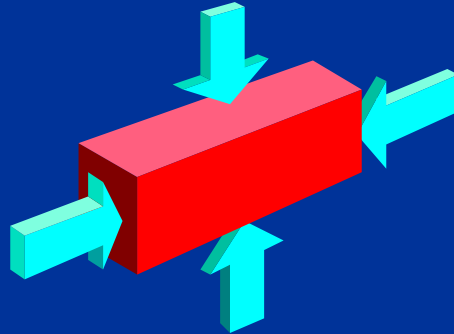
$$\sigma = F / S \text{ (en N/m}^2 \text{ = Pa, ou en bar)}$$

La contrainte s'exerce dans une direction (contrairement à la pression).

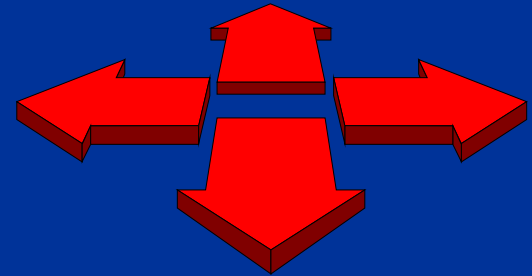
Les contraintes

On distingue trois grands types de contraintes:

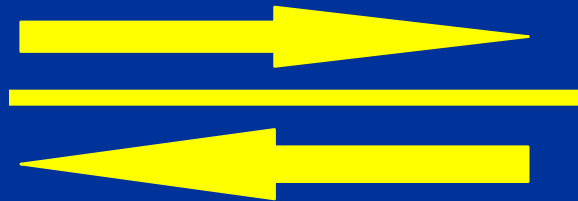
- Compression



- Extension



- Cisaillement



La déformation

La déformation exprime le changement de dimension d'un objet sous l'action d'une force.

Elle se mesure sous forme d'un accroissement de dimension rapporté à la dimension d'origine (donc sans dimension)

$$\varepsilon = \Delta L / L \quad (\text{par exemple en \%})$$

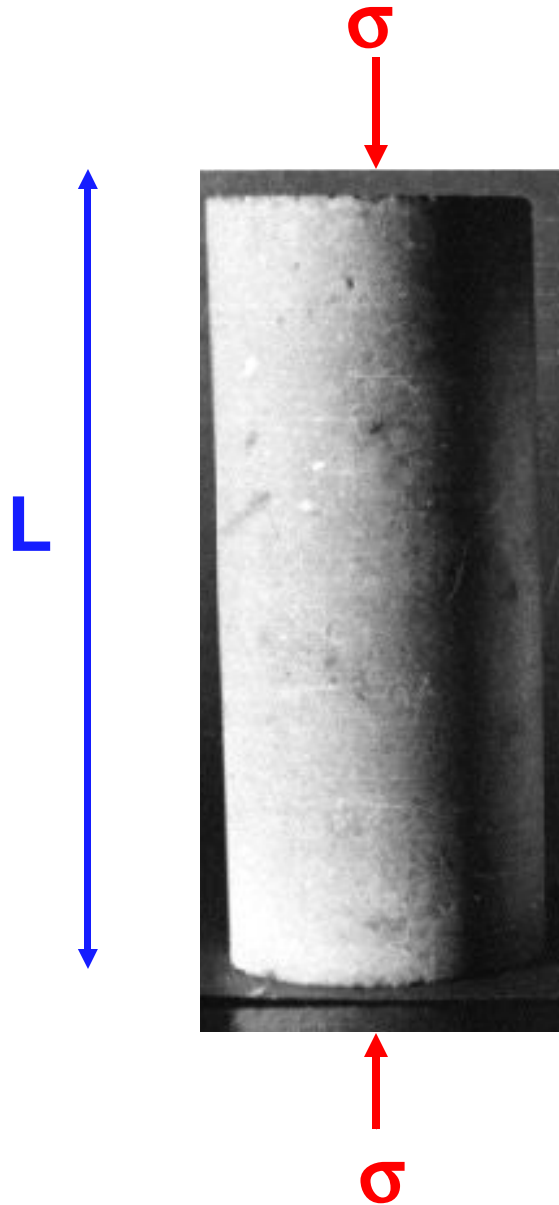
Les modes de déformation

On distingue trois grands modes de déformation:

- **Elastique** : réversible, déformation du réseau
- **Ductile (plastique)** : permanente, glissements d'atomes sans perte de cohésion
- **Fragile (rupture)** : perte de cohésion



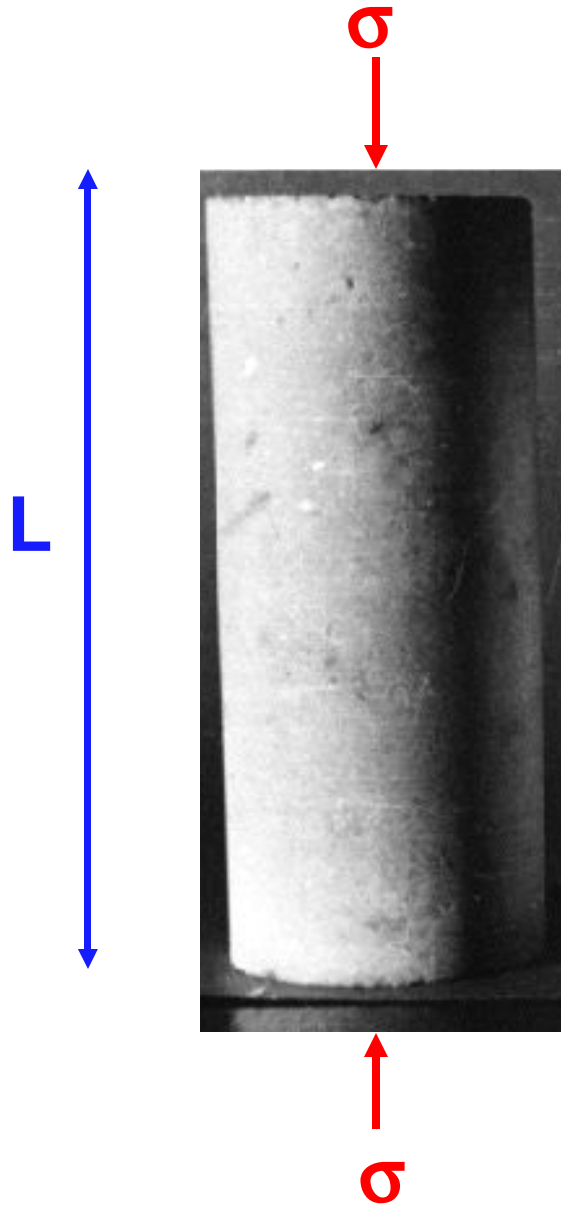
Déformation



$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

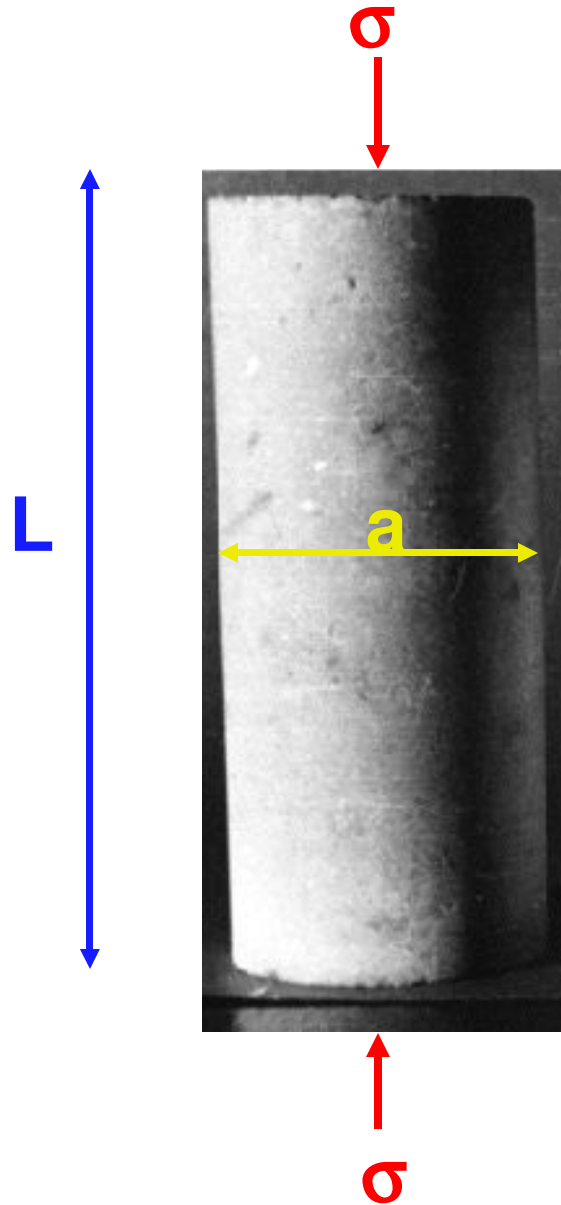
Relation
entre σ et ε

Plusieurs déformations



$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Plusieurs déformations



$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{L}$$

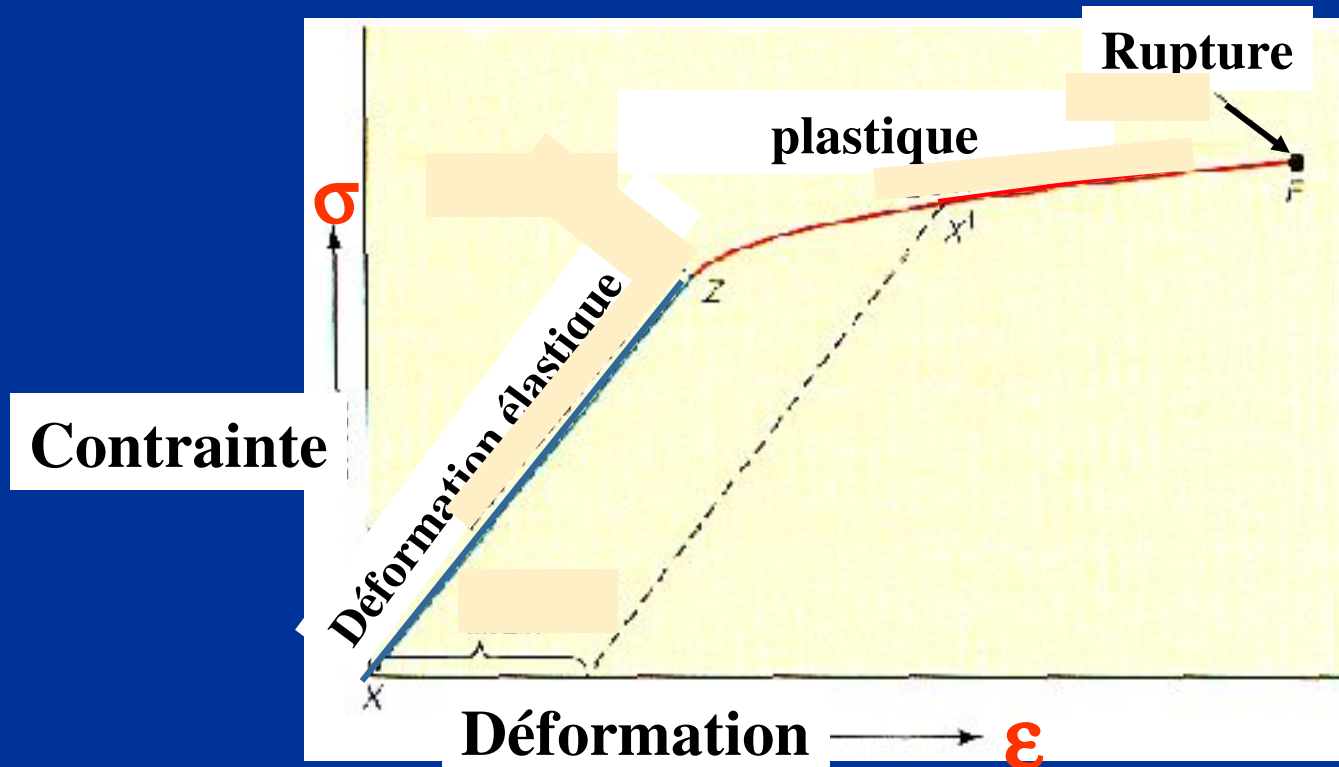
$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta a}{a}$$

Déformations et contraintes.

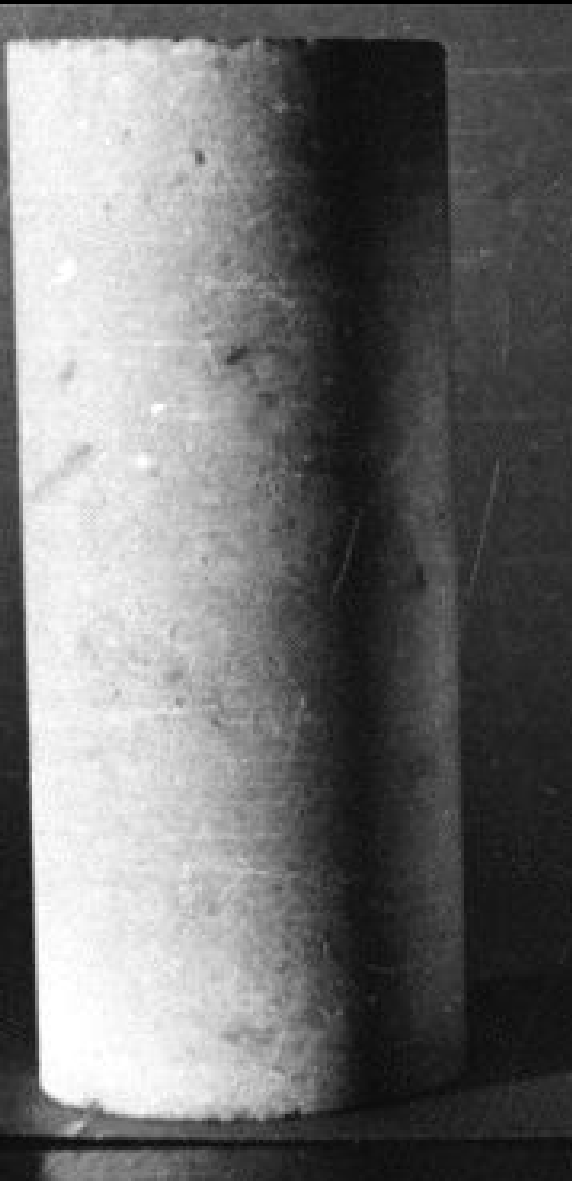
Contraintes faibles : régime élastique

Contraintes intermédiaire : régime « plastique »

Contraintes fortes : rupture



Déformation ductile



$$L - \Delta L$$



Déformation fragile (rupture)



Déformation cassante (fragile)

Faïlle sismique



Faïlle inverse décalant un filon

Stries sur miroir de faïlle



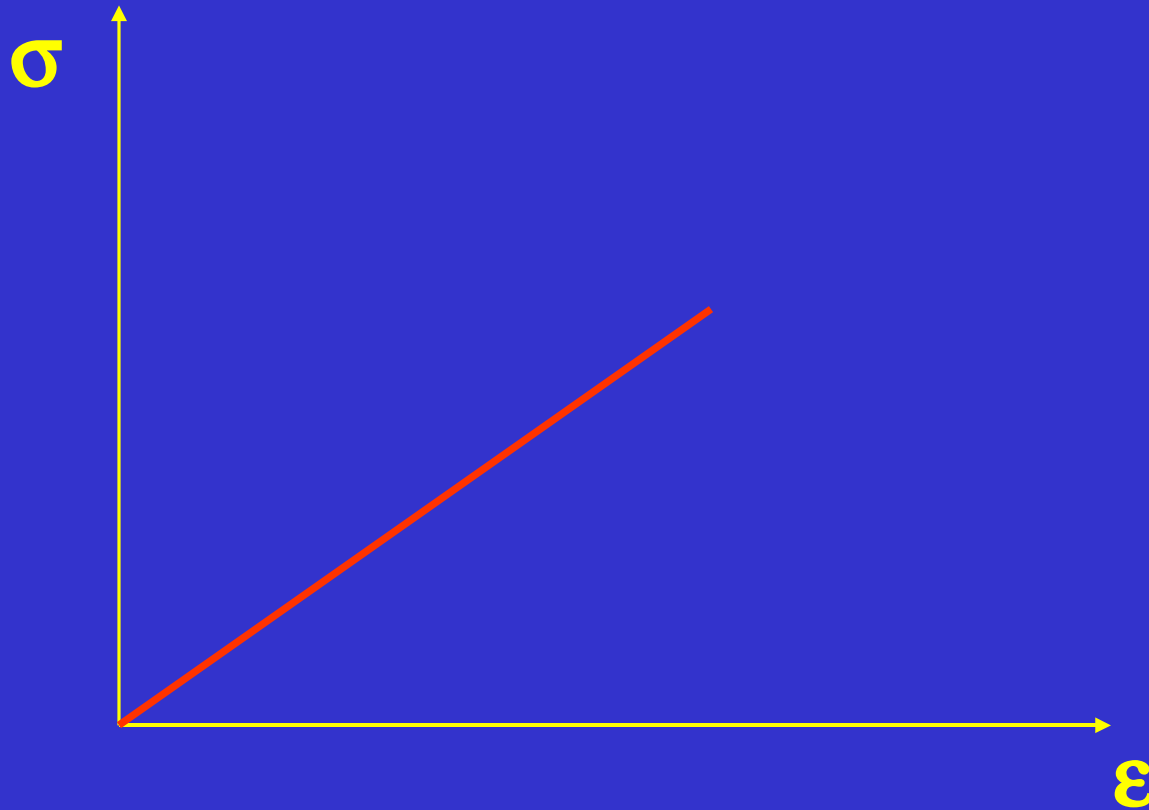
Facteurs affectant la déformation

- Température
- Pression
- Vitesse de déformation
- Type de roche



Régime élastique

(comme un ressort)



ε proportionnelle à σ :
 $\sigma = \lambda \varepsilon$, λ module "élastique"

$$\sigma = \lambda \varepsilon, \quad \lambda \text{ module "élastique"}$$

Unités :

$$\sigma = \text{contrainte} = \text{Pa (N/m}^2\text{)}$$

$$\varepsilon = \text{déformation} = \text{sans dimension}$$

$$\lambda = \text{module} = \text{Pa (N/m}^2\text{)}$$

Pour les roches

$$\lambda \approx 10^{10} \text{ Pa}$$

$$\text{Contraintes} \approx 10^7 - 10^8 \text{ Pa}$$

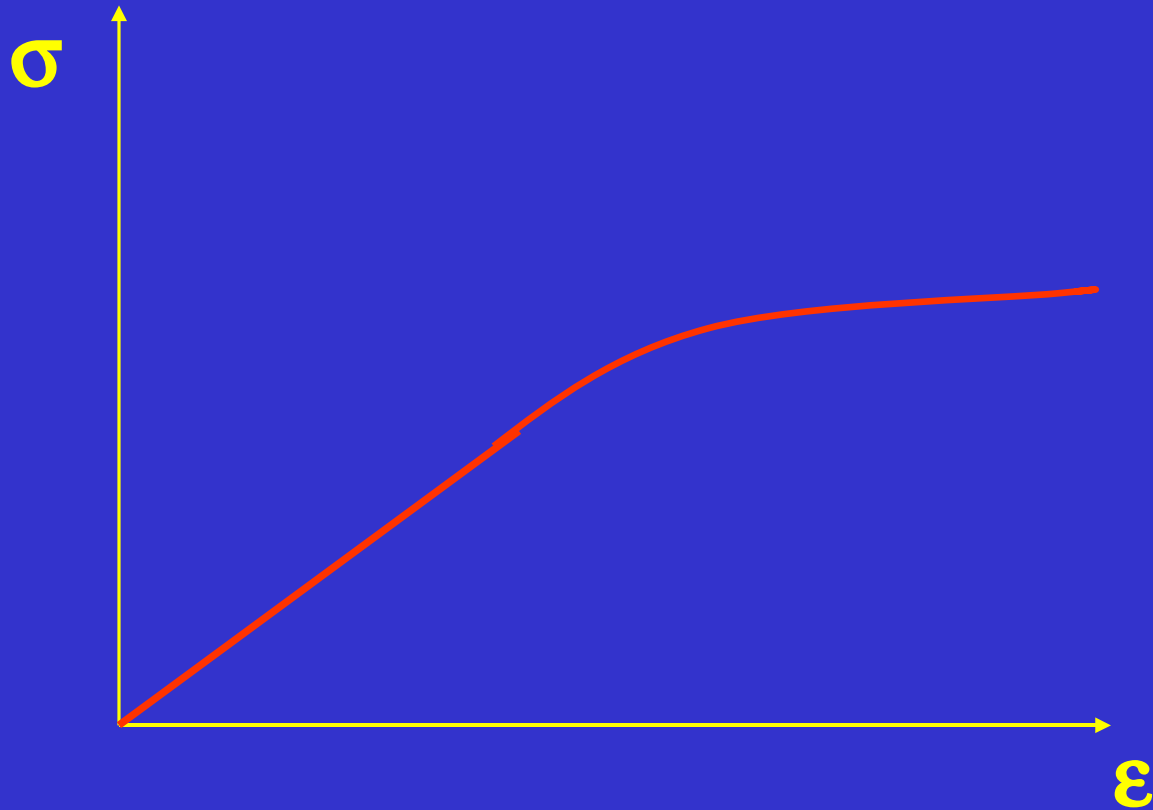
$$\text{donc } \varepsilon \approx 10^{-2} - 10^{-3} : \text{ TRES FAIBLE}$$

ε très faible, **MAIS**

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Pour $L \approx 100$ km, $\Delta L \approx 100$ m - 1 km.

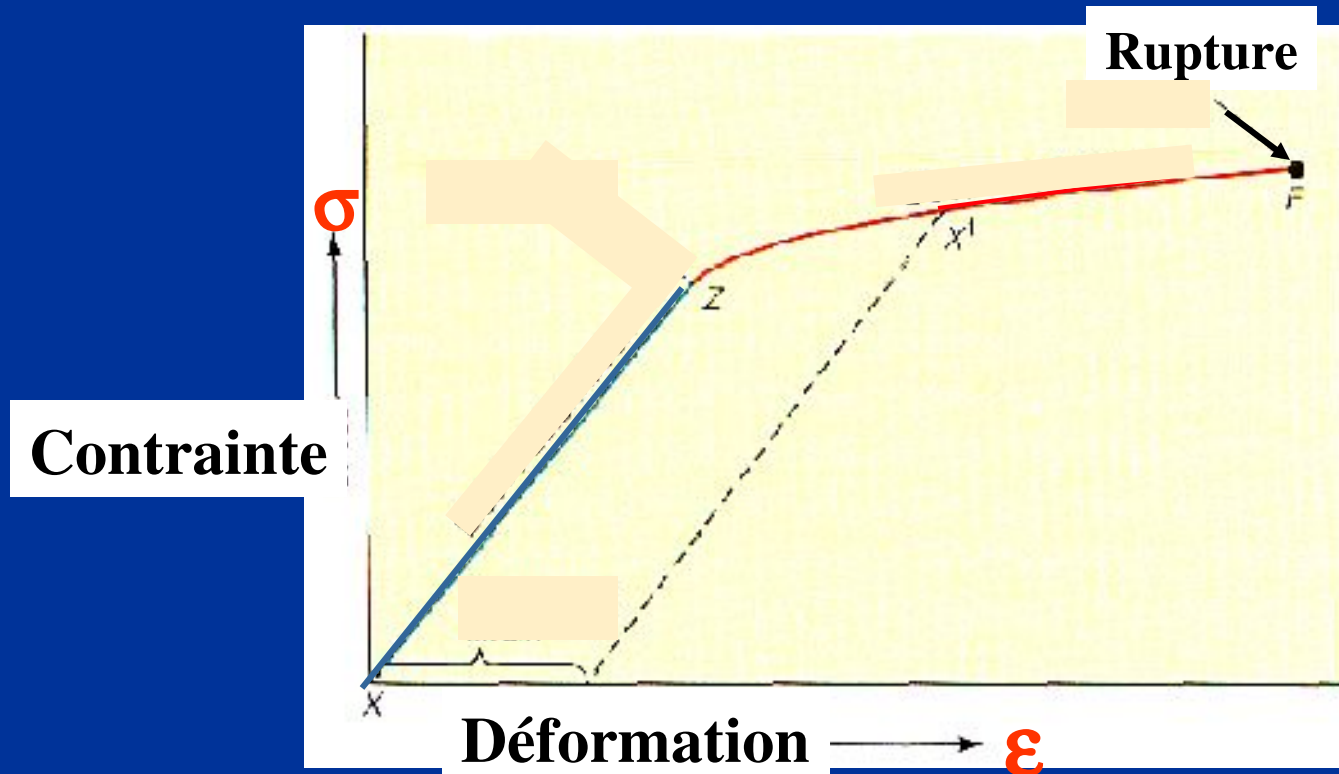
Régime plastique



ε n'est pas proportionnelle à σ .

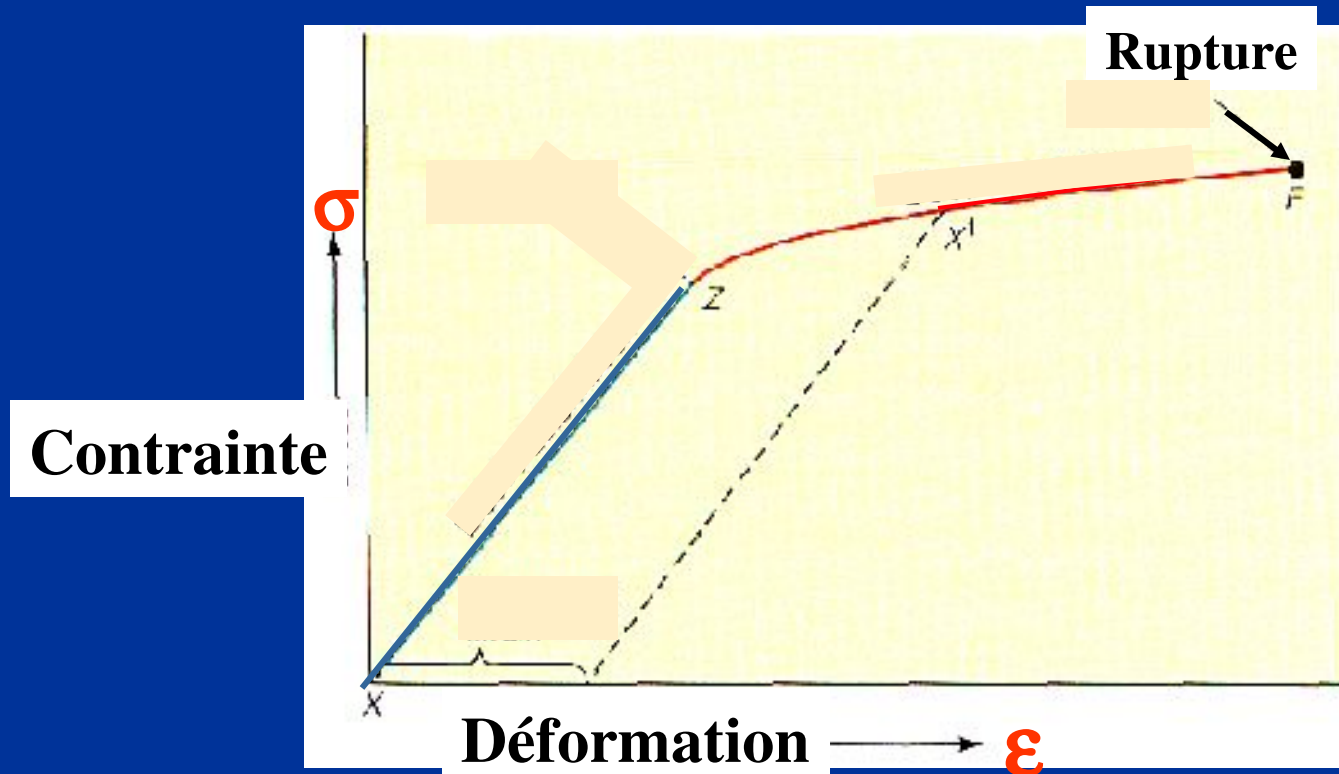
Déformations et contraintes.

Contraintes fortes : rupture



Déformations et contraintes.

Seuil de rupture $\sigma_{\text{critique}} \approx 10^7 \text{ Pa}$

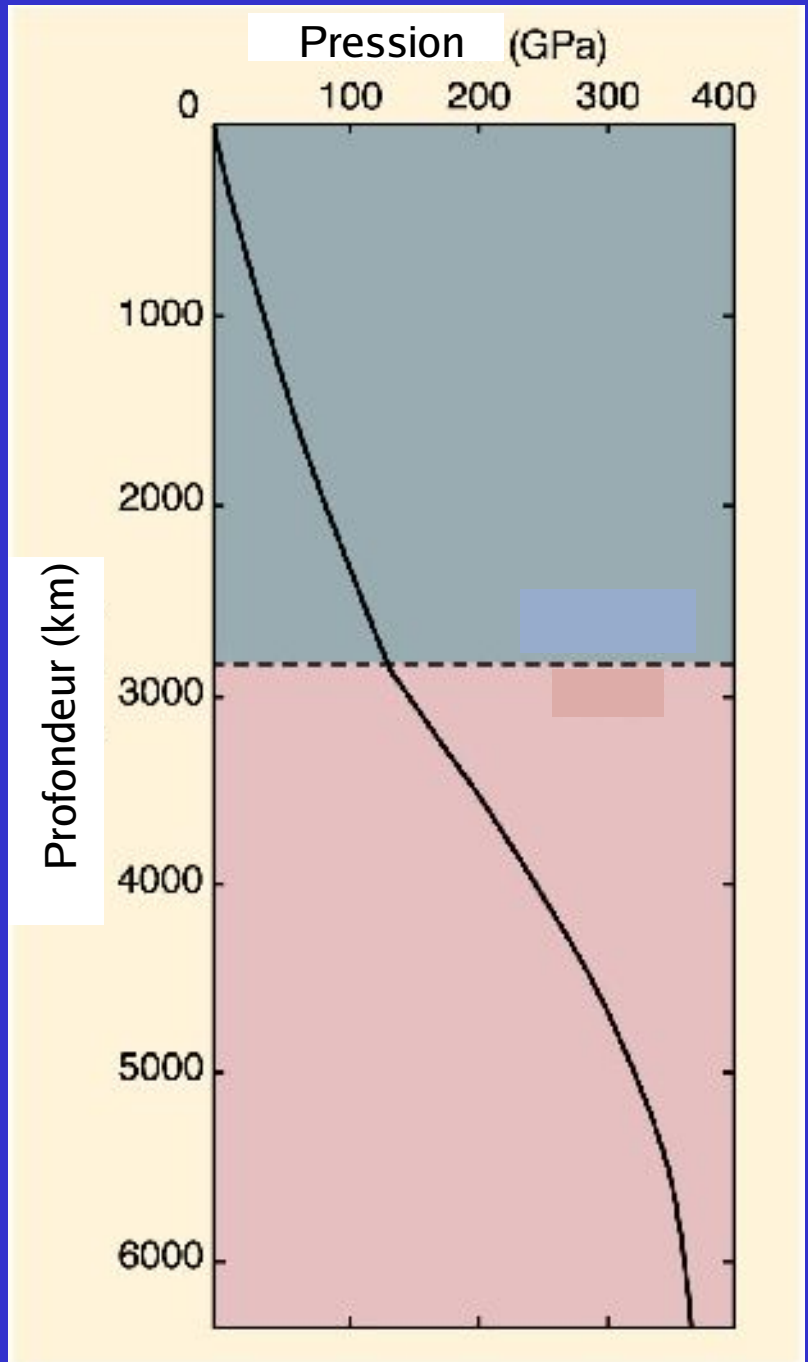


Facteurs affectant la déformation

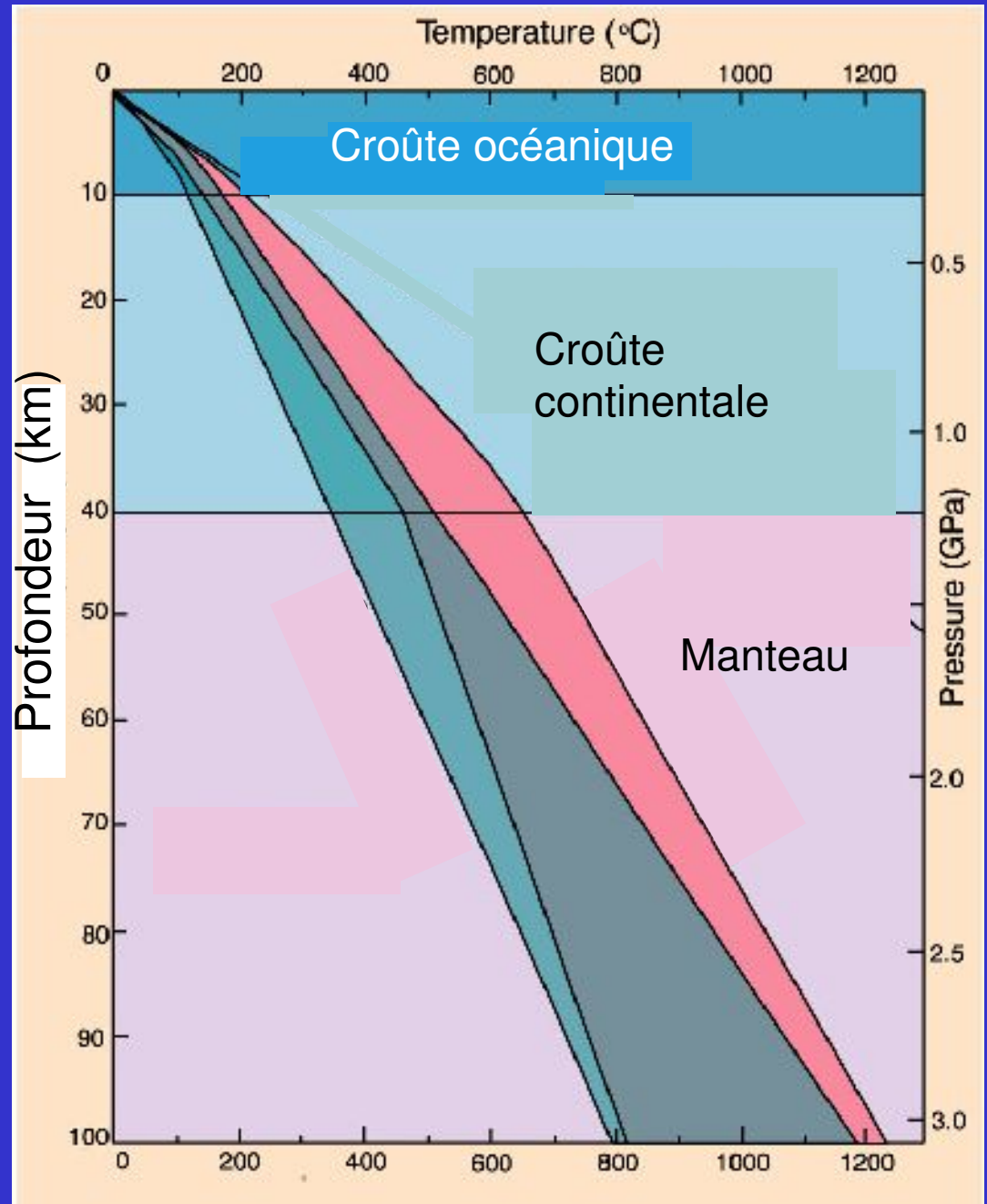
- Température
- Pression
- Vitesse de déformation
- Type de roche



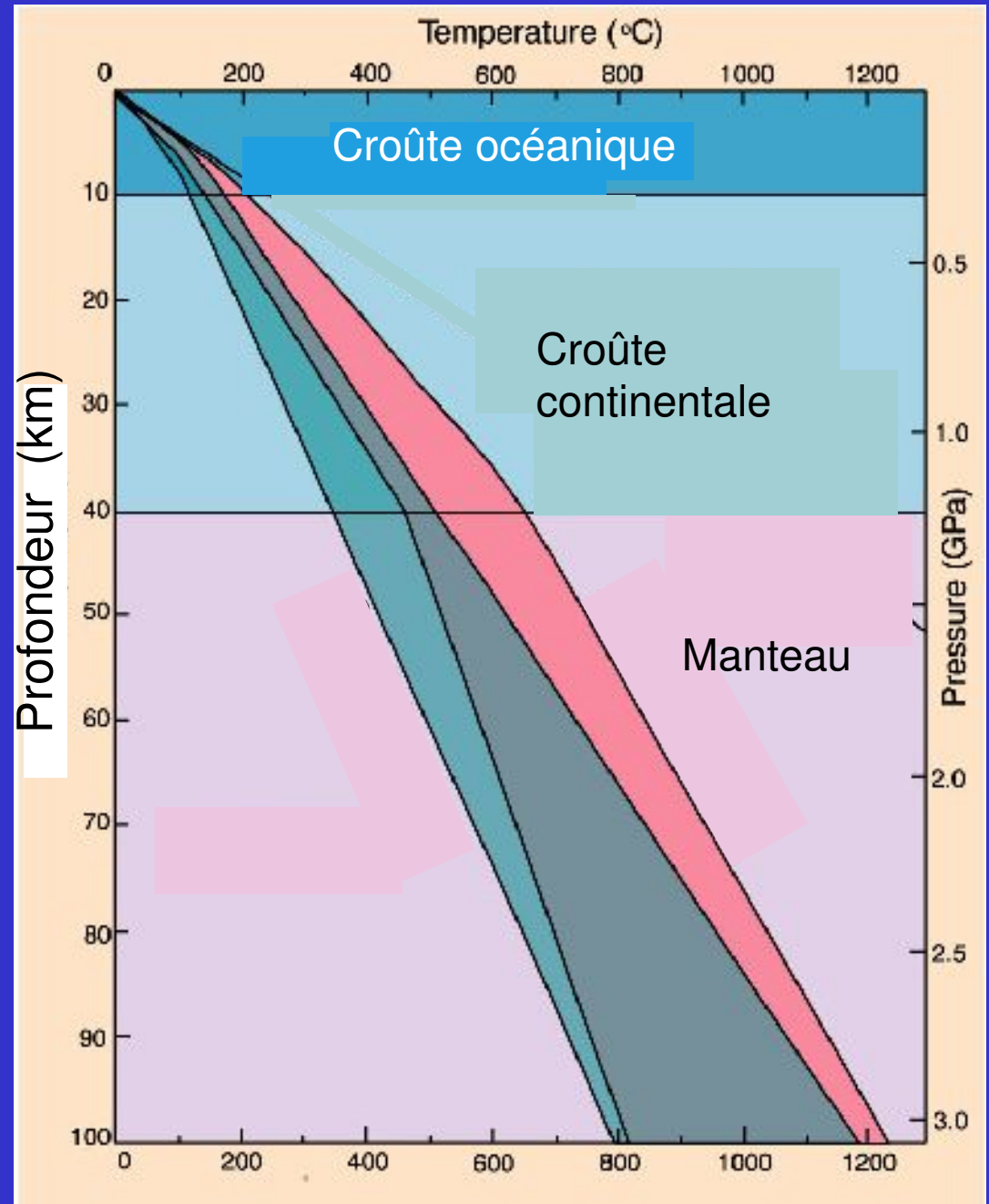
La pression



La température



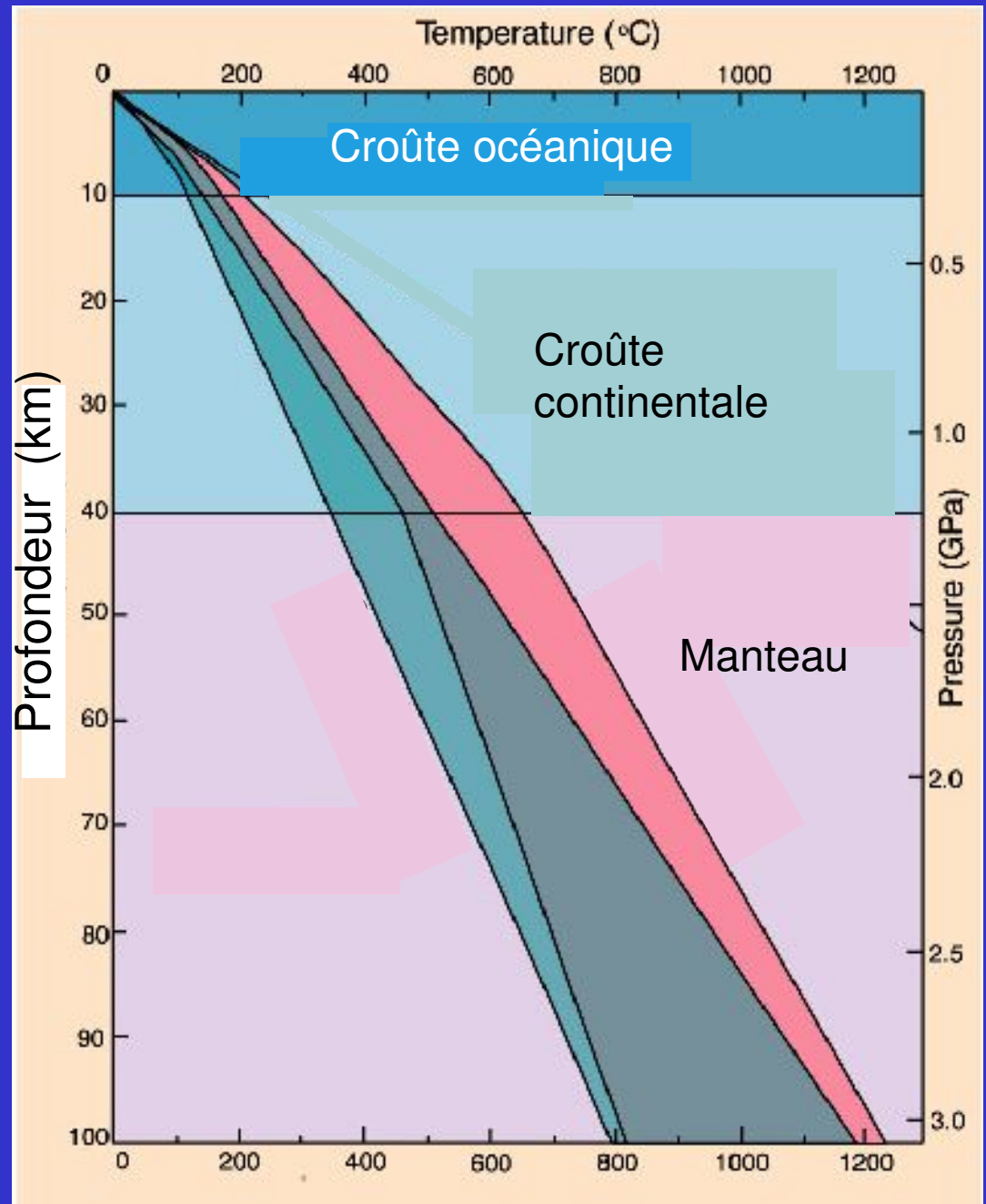
**Stratification
thermique
=
stratification
rhéologique**



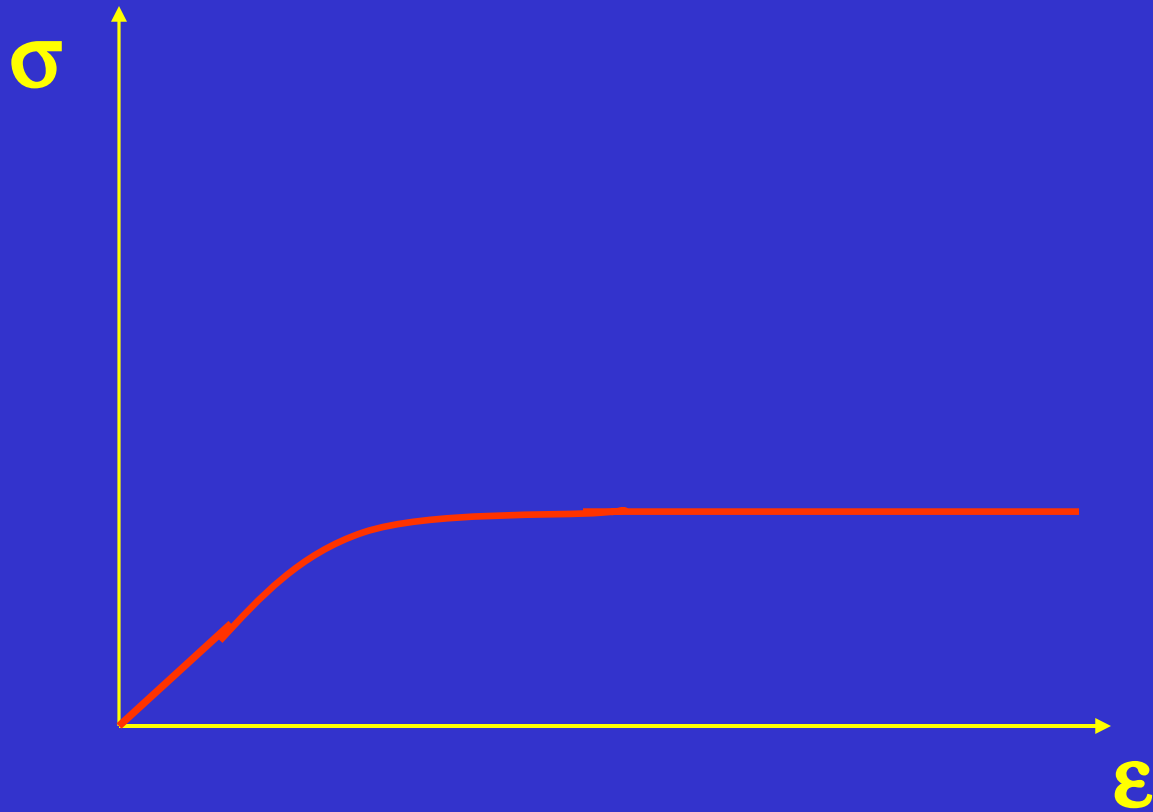
Elastique-cassant

Plastique-ductile

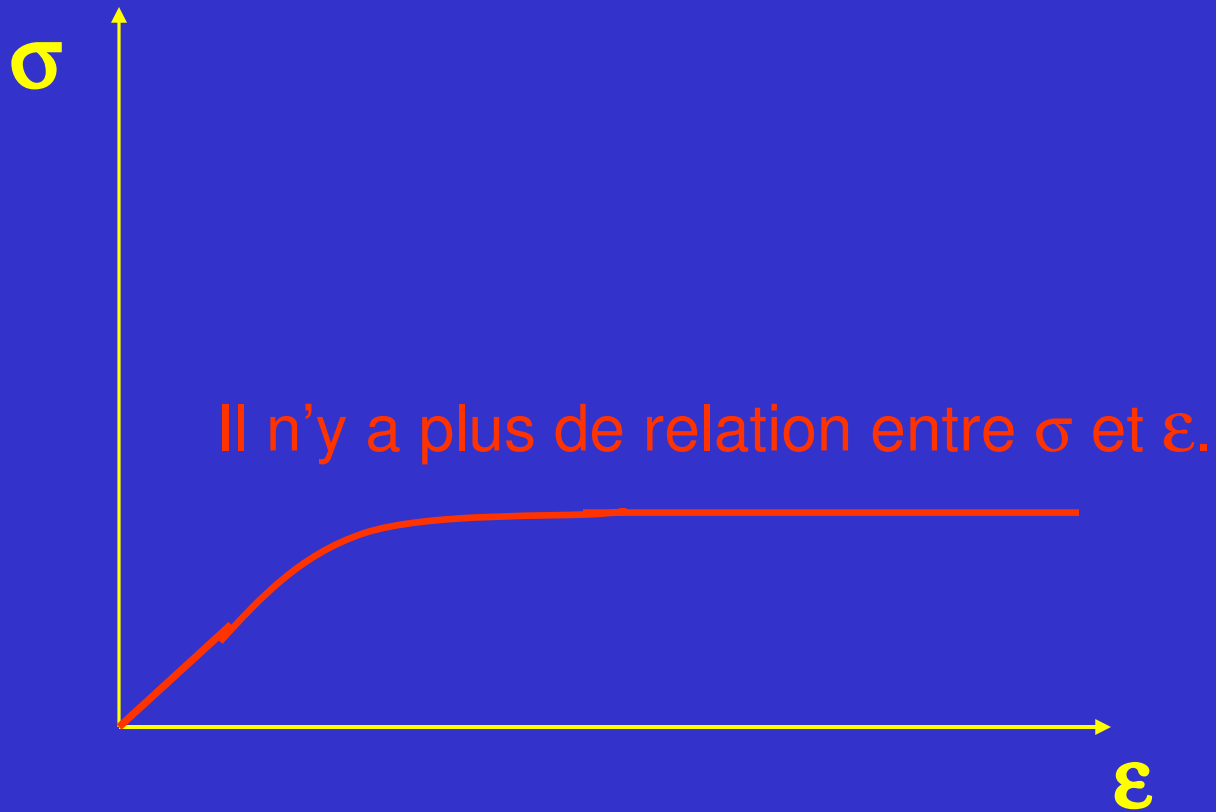
Fluage



A haute température : fluage



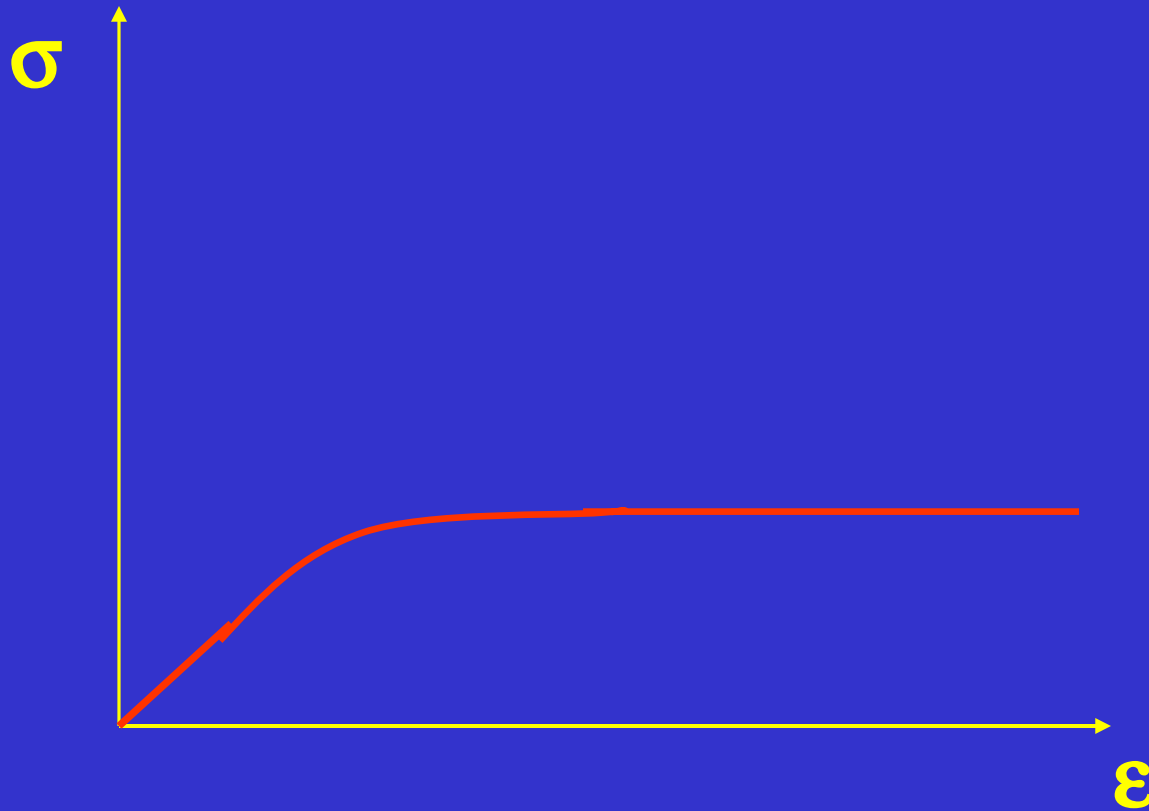
A haute température : fluage



Il n'y a plus de relation entre σ et ε .

Relation entre σ et $d\varepsilon/dt$.

A haute température : fluage



Relation entre σ et $d\varepsilon/dt$.

Régime visqueux:

$$\sigma = \mu \, d\varepsilon/dt, \quad \mu \text{ est la viscosité}$$

Fluage visqueux

$$\sigma = \mu \, d\varepsilon/dt .$$

Unités:

σ : Pa

$d\varepsilon/dt$: s⁻¹

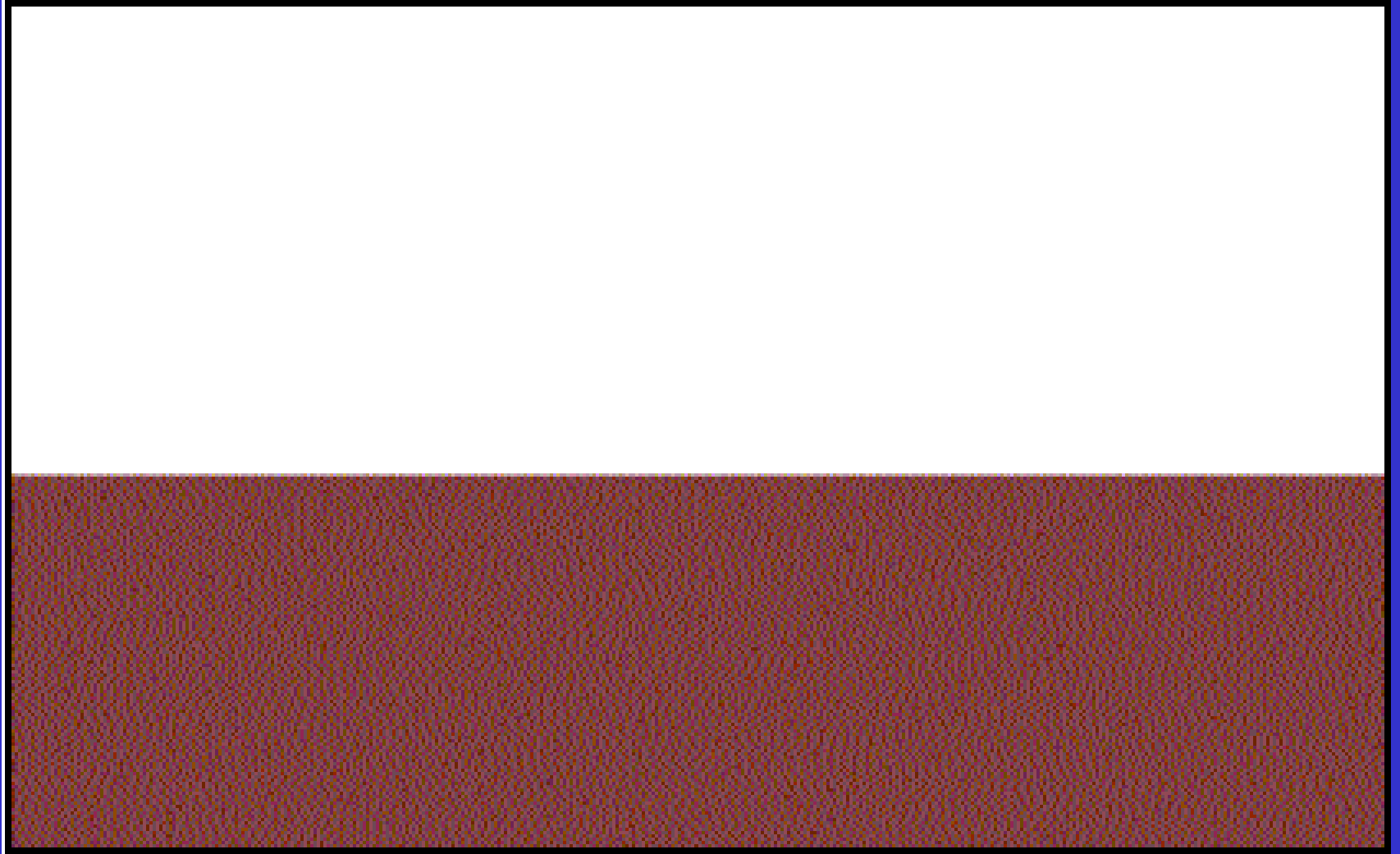
donc μ : Pa s.

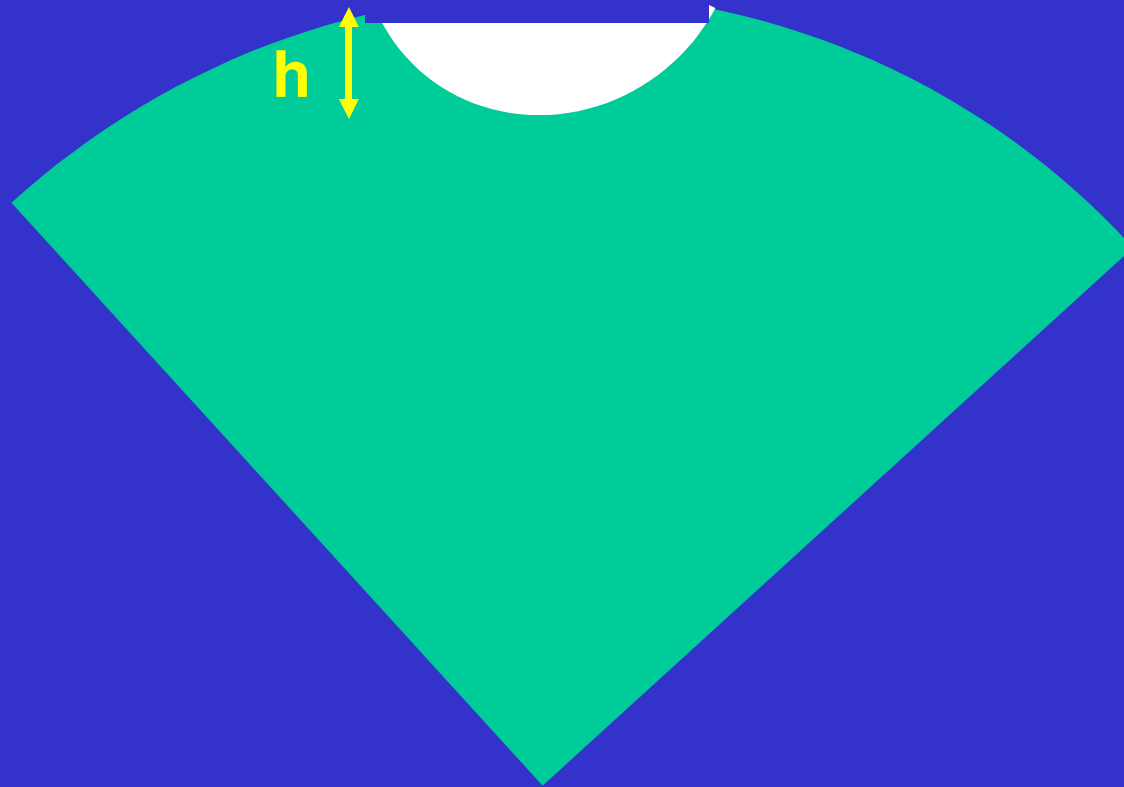
Pour le manteau terrestre:

$\mu \approx 10^{21}$ Pa s

(huile de cuisine $\approx 10^{-1}$ Pa s)

Rebond post-glaciaire





Différence de pression $\approx \rho g h$
 $\approx \sigma$ (contrainte)

Rebond post-glaciaire

$$\sigma \approx \rho g h$$

$$h \approx 100 \text{ m}, \rho \approx 3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\sigma \approx 2 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$d\varepsilon/dt \approx \sigma/\mu = 2 \times 10^{-15} \text{ s}^{-1}$$

$$L \approx 1000 \text{ km} = 10^6 \text{ m}$$

$$d(\Delta L)/dt = dL/dt = \text{vitesse} \approx 2 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$$

$$\approx 6 \text{ cm/an}$$

(vitesse initiale)

Forces tectoniques et déformations résultantes

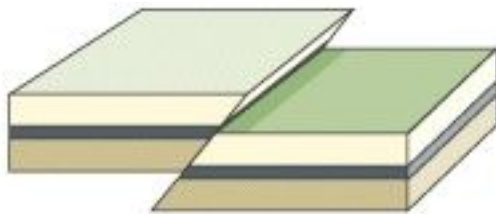
FORCES COMPRESSIVES



Plissement



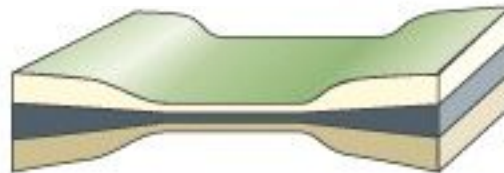
Faule inverse



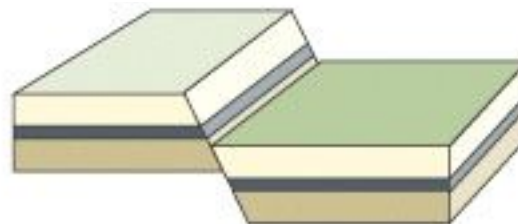
FORCES EXTENSIVES



Etirement et amincissement



Faule normale



FORCES DE CISAILLEMENT



Cisaillement



Faule de cisaillement (décrochement)

