

Géologie Générale

GGC 3

Stéphane SCHWARTZ
ISTerre - Polytech Grenoble

Géologie Générale
Géotech 3

- Introduction
- Partie I. Les matériaux de l'écorce terrestre
- Partie II. Structure du globe
- Partie III. Géodynamique interne
- Partie IV. La déformation des roches

IV. La déformation des roches

→ 1. Aspects théoriques

→ 2. Mécanismes de déformation

→ 3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→ 4. Éléments d'analyse tectonique

→ 5. Relation avec la tectonique des plaques

Géologie Générale

Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→ 1. Aspects théoriques

→ 1-1. Rappels de mécanique

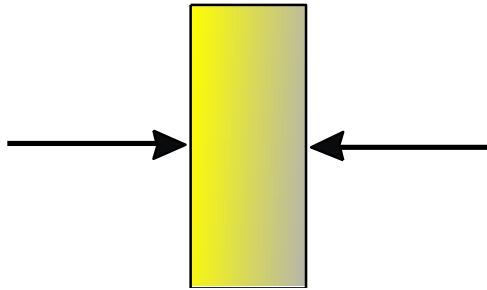
Rappels de mécanique

➔ **Force**

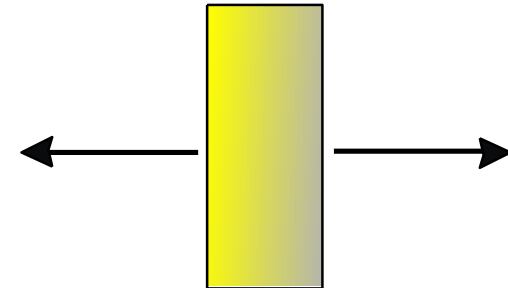
« *Toutes causes capables de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps, voire de le déformer est appelé force.* »

Sur une roche les forces peuvent s'appliquer de différentes manières :

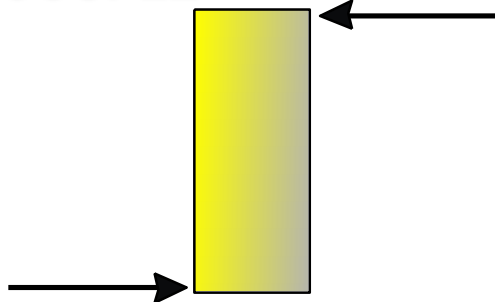
COMPRESSION



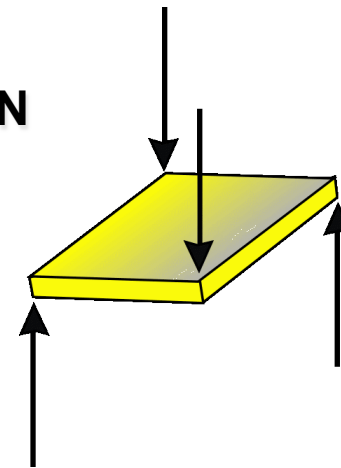
TENSION



COUPLE



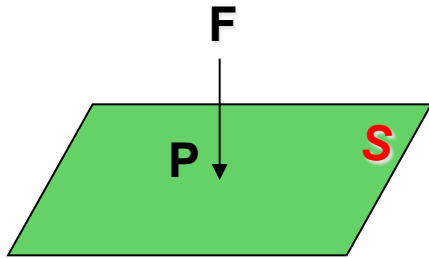
TORSION



Rappels de mécanique

➔ **Contrainte**

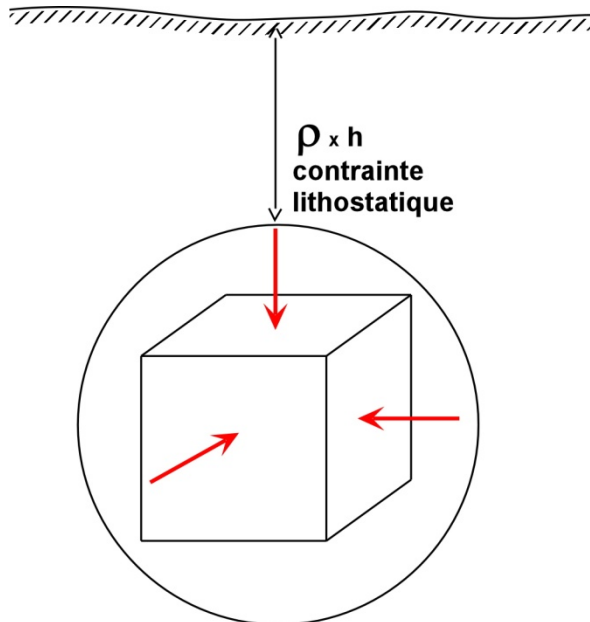
« L'application de forces extérieures sur un corps, y engendre à l'intérieur actions et réactions. Le corps est en état de **CONTRAINTE**. »



Au sein de la lithosphère, un élément de surface **S**, d'orientation quelconque, sur lequel s'applique en un point **P** une force **F**. La contrainte au point **P** s'écrit :

$$\sigma = dF/dS$$

qd S tend vers 0



Dans la croûte les roches sont soumises à une contrainte lithostatique **PI** (poids de la colonne de roche)....

$PI = Pf$ (fluides interstitiels) + Pc (confinement)

Equilibre local → contrainte isotrope qui ne permet pas de déformer !! (sauf changement de volume)

Géologie Générale
Géotech 3

→ **Partie IV. La déformation des roches**

→ 1. Aspects théoriques

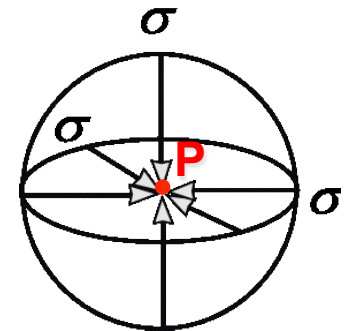
→ 1-1. Rappels de mécanique

→ 1-2. Ellipsoïde des contraintes

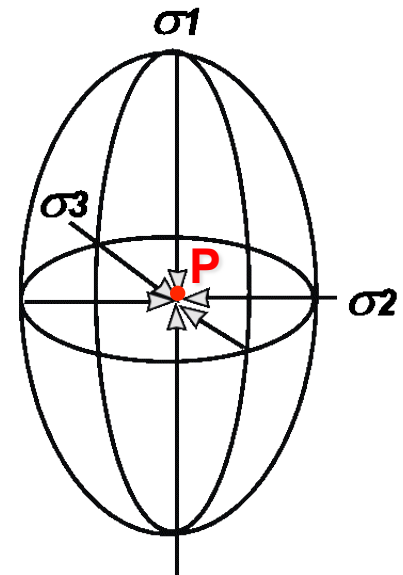
→ **Ellipsoïde des contraintes**

Si l'on considère 3 plans orthogonaux passant par le point P, deux cas peuvent se présenter :

La valeur de la contrainte sur chaque plan est **constante**. Il s'agit d'une **contrainte hydrostatique** (milieu isotrope), la représentation géométrique au point P correspond à une sphère.



La valeur de la contrainte n'est **pas constante** suivant les 3 directions. Il s'agit d'une **contrainte déviatorique** (milieu anisotrope). La représentation géométrique au point P correspond à un ellipsoïde dont les 3 axes portent les contraintes principales.



Géologie Générale

Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

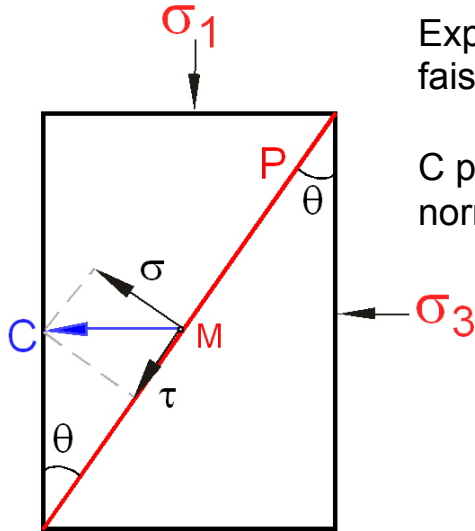
→1. Aspects théoriques

→ 1-1. Rappels de mécaniques

→ 1-2. Ellipsoïde des contraintes

→ 1-3. Diagramme de Mohr

➔ **Diagramme de Mohr**



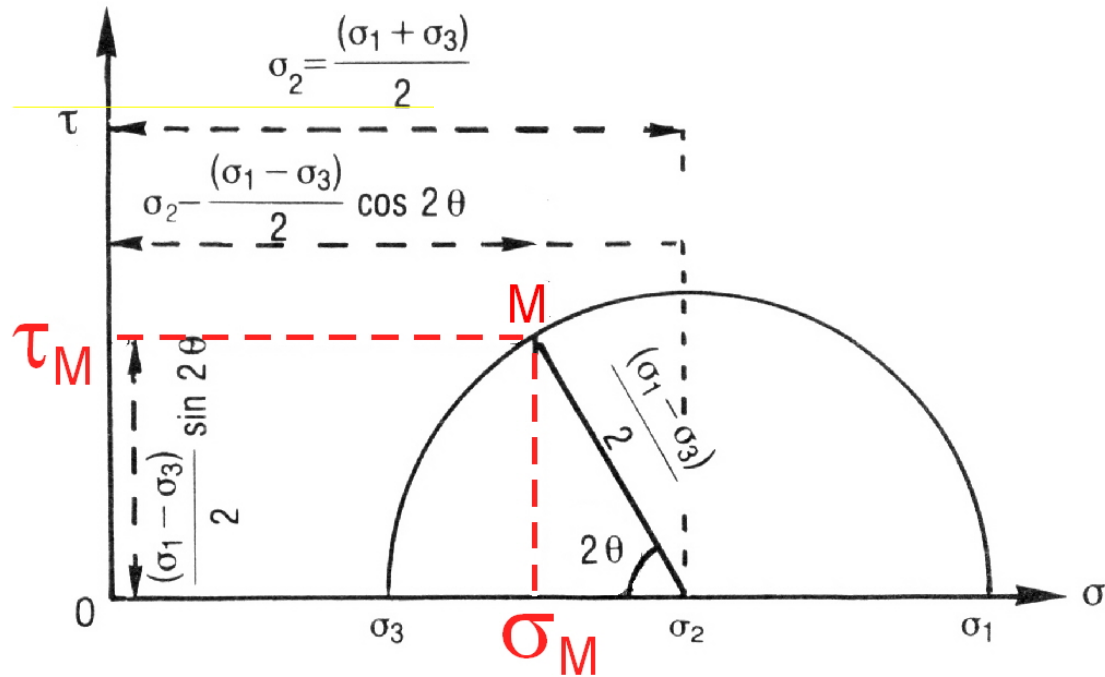
Exprime la contrainte C au point M dans le plan P faisant un angle θ avec la contrainte principale (σ_1).

C peut être décomposé en une contrainte normale (σ) et tangentielle (τ)

On peut représenter graphiquement l'état de contrainte au point M → cercle de Mohr

$$\tau_M = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta$$

$$\sigma_M = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta$$



Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→ 1. Aspects théoriques

- 1-1. Rappels de mécaniques**
- 1-2. Ellipsoïde des contraintes**
- 1-3. Diagramme de Mohr**
- 1-4. La déformation**

→ **La déformation**

« Sous l'effet des contraintes extérieures, un objet géologique peut se déformer et subir des déplacements. »

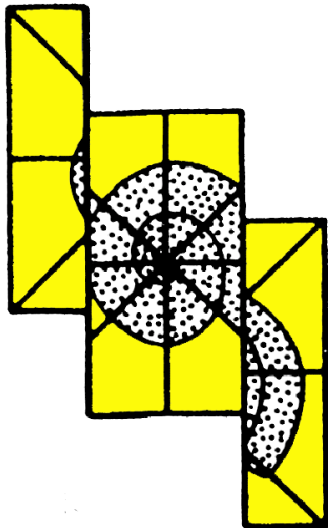
- **DIFFERENTS TYPES DE DEFORMATION**

Par référence à un objet de forme initiale connue, plusieurs types de déformation peuvent être distingués :

- **Déformation discontinue**

pts voisins avant déformation sont
distants après déformation

→ Présence de discontinuités.

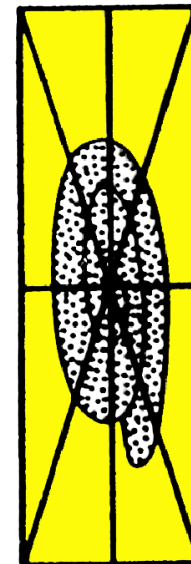
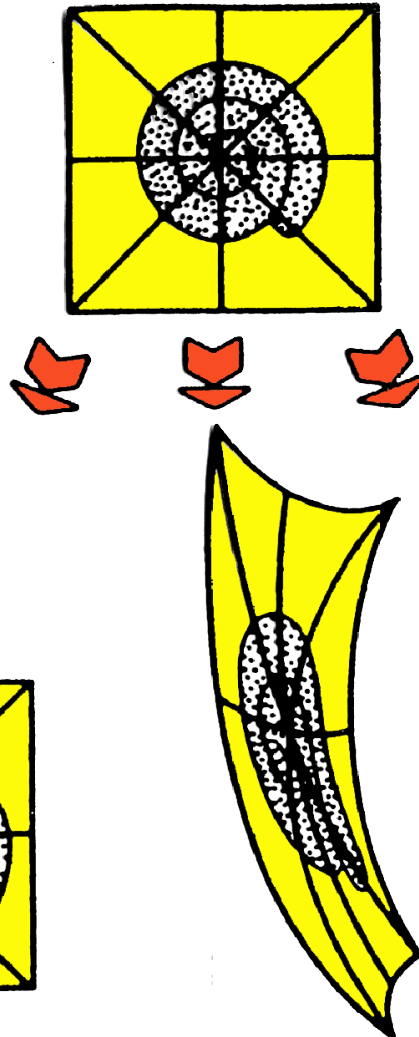


- **Déformation continue**

pts voisins avant déformation sont
encore voisins après déformation.

→ continue **homogène** (droites restent des droites)

→ continue **hétérogène** (droites deviennent courbes)



Géologie Générale
Géotech 3

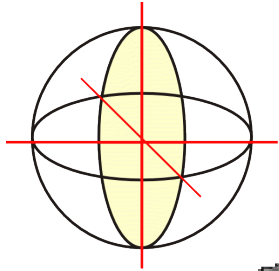
→ Partie IV. La déformation des roches

→ 1. Aspects théoriques

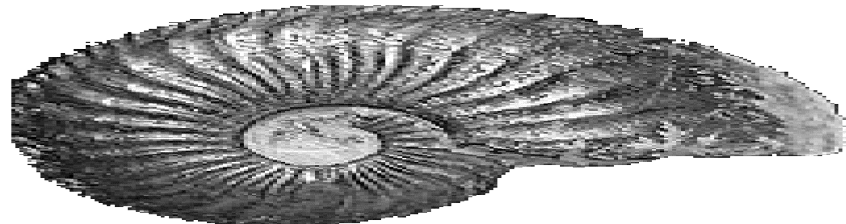
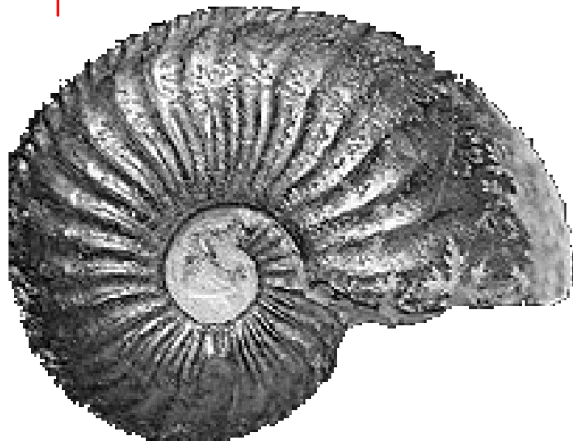
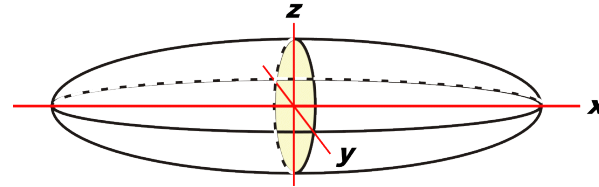
- 1-1. Rappels de mécaniques**
- 1-2. Ellipsoïde des contraintes**
- 1-3. Diagramme de Mohr**
- 1-4. La déformation**
- 1-5. Ellipsoïde de la déformation**

➔ **Ellipsoïde de la déformation** (que si on connaît objet initial !!)

Comme pour les contraintes on peut obtenir un ellipsoïde de déformation, qui correspond à la distorsion d'une sphère initiale de rayon unité.



(X) direction d'étirement principal
(Z) direction de raccourcissement principal
(Y) direction moyenne



Plan XY -> plan d'aplatissement

Plan ZX -> déformation maximale (cinématique)

Géologie Générale
Géotech 3

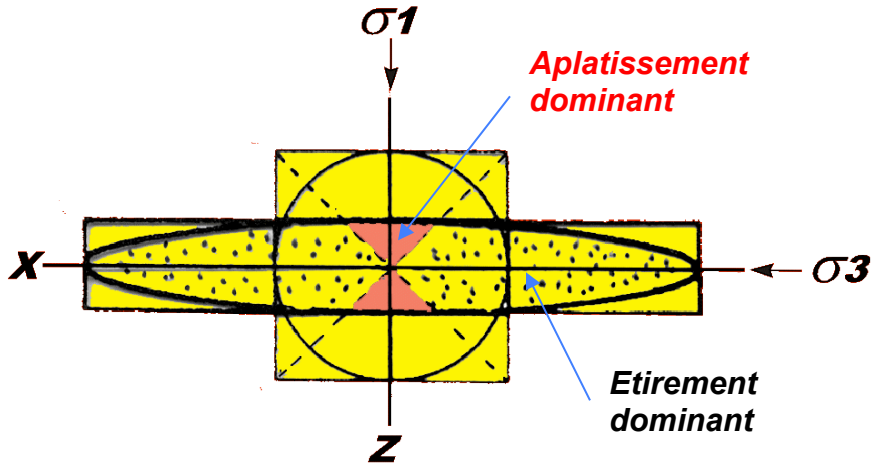
→ Partie IV. La déformation des roches

→ 1. Aspects théoriques

- 1-1. Rappels de mécaniques**
- 1-2. Ellipsoïde des contraintes**
- 1-3. Diagramme de Mohr**
- 1-4. La déformation**
- 1-5. Ellipsoïde de la déformation**
- 1-6. Déformation progressive**

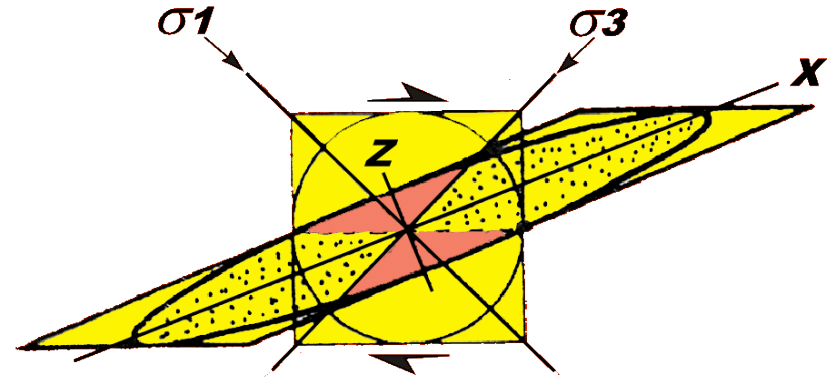
➔ **Déformation progressive**

Déformation transformant une sphère en un ellipsoïde par l'addition d'incrément successifs.
Les vecteurs principaux de l'ellipsoïde peuvent être parallèles ou non aux axes de la déformation.



cisaillement pur

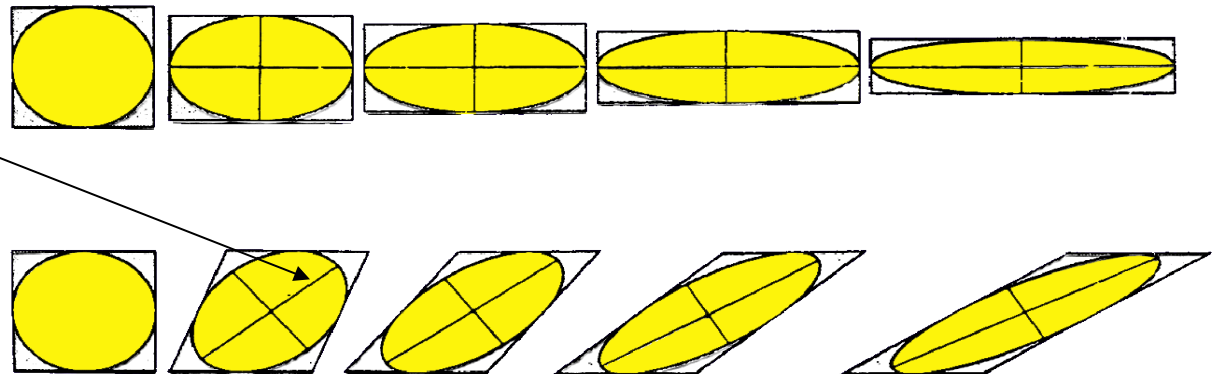
Vecteurs contraintes // axes de la déformation
-> **déformation COAXIALE**



cisaillement simple

Vecteurs contraintes pas // axes de la déformation
-> **déformation NON COAXIALE**

Rotation des axes de l'ellipsoïde en cisaillement simple par rapport au déplacement imposé aux limites



Géologie Générale

Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→ 1. Aspects théoriques

- 1-1. Rappels de mécaniques**
- 1-2. Ellipsoïde des contraintes**
- 1-3. Diagramme de Mohr**
- 1-4. La déformation**
- 1-5. Décomposition de la déformation**
- 1-6. Ellipsoïde de la déformation**
- 1-7. Déformation progressive**
- 1-8. Relation entre contrainte et déformation ?**

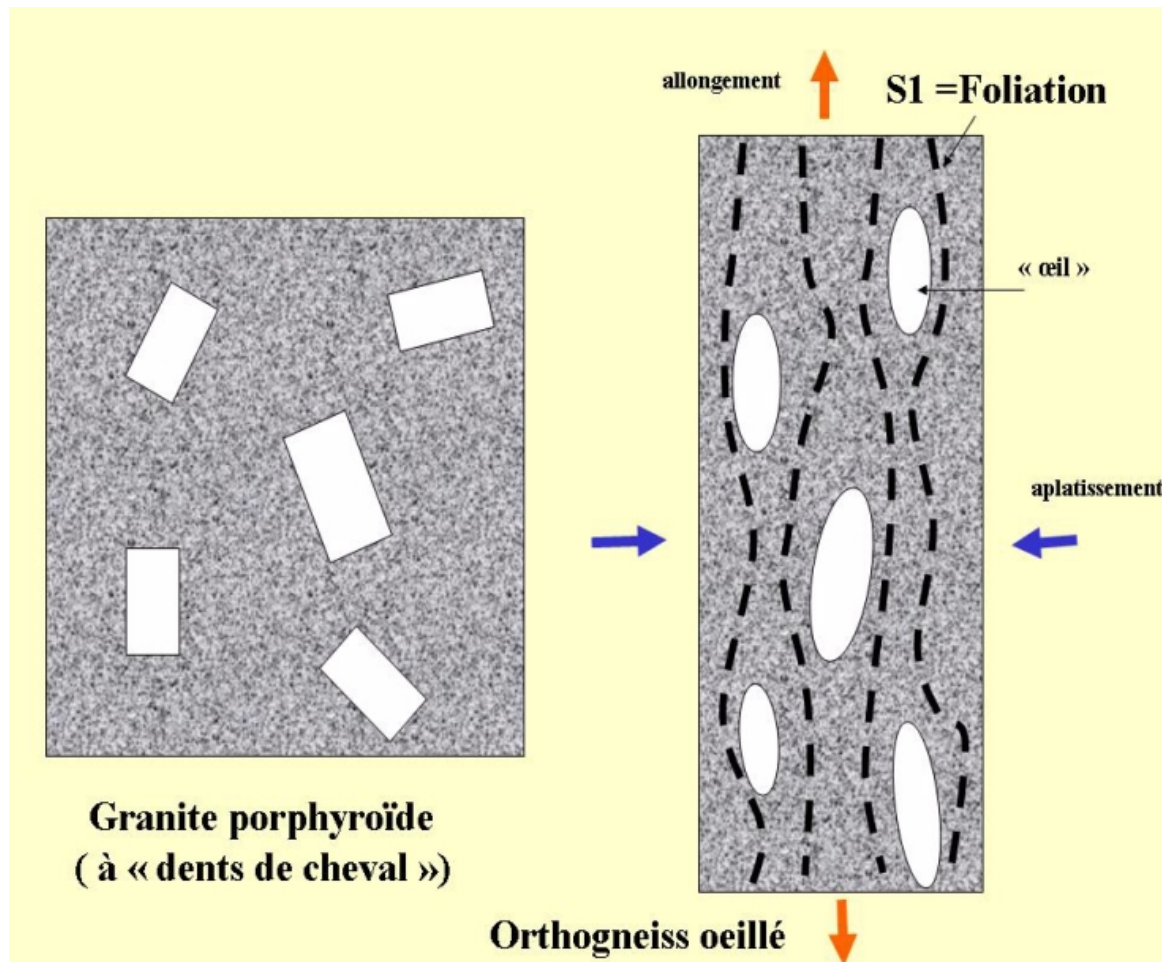
➔ *Relation entre contrainte et déformation ?*

Dans le cas des déformations continues → marche pas...
(sauf déf coaxiale dans un milieu isotrope mais rare en géologie!!!)



Géologie structurale en domaine ductile se contente de représenter l'ellipsoïde de la déformation et d'étudier les variations des paramètres de l'ellipsoïde

➔ *Exemple de déformation ductile dans un gneiss*



Quantification entre raccourcissements et allongements par rapport à une sphère de rayon unitaire

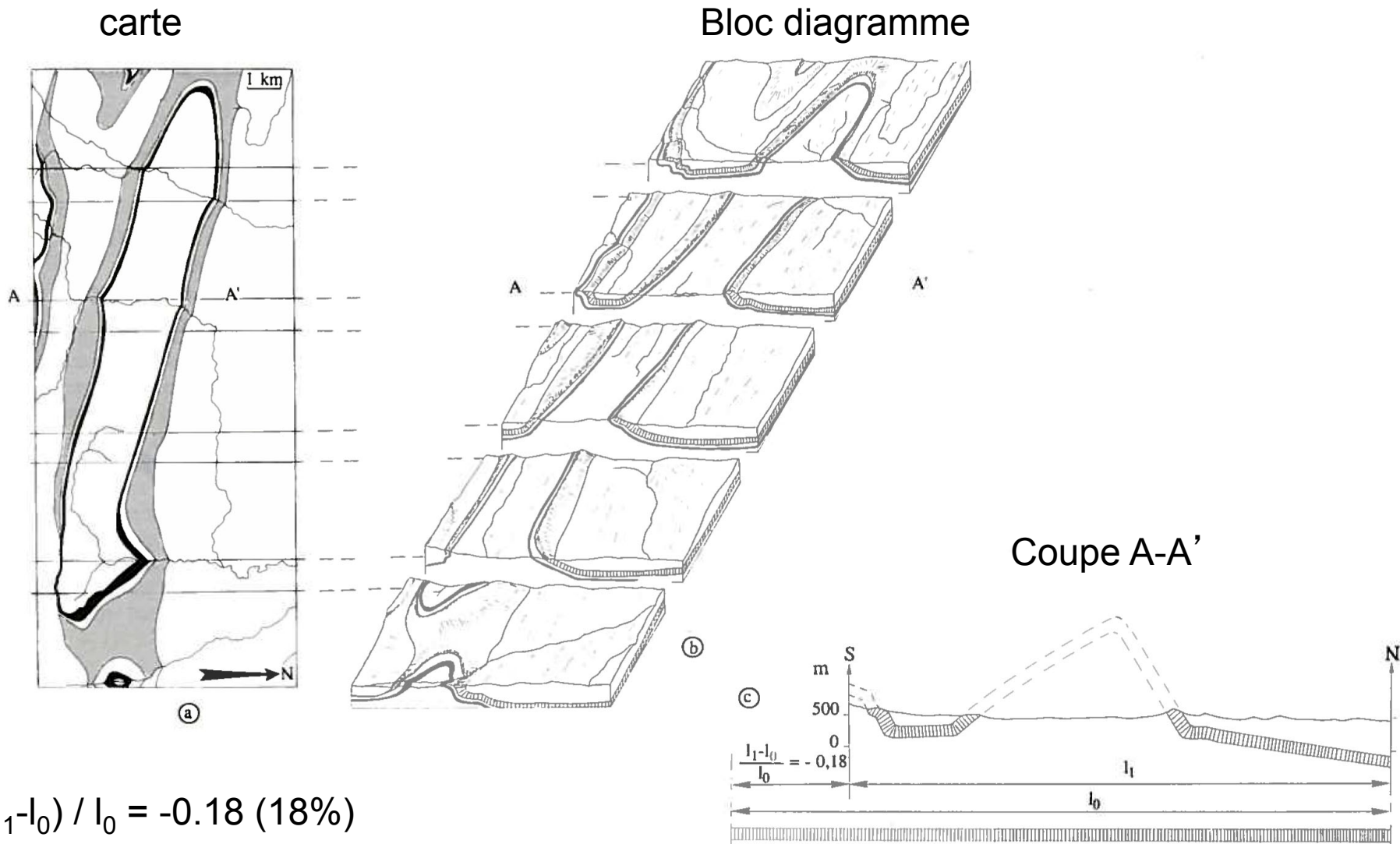
Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→ 1. Aspects théoriques

- 1-1. Rappels de mécaniques**
- 1-2. Ellipsoïde des contraintes**
- 1-3. Diagramme de Mohr**
- 1-4. La déformation**
- 1-5. Ellipsoïde de la déformation**
- 1-6. Déformation progressive**
- 1-7. Relation entre contrainte et déformation ?**
- 1-8. Vitesses de déformation naturelles**

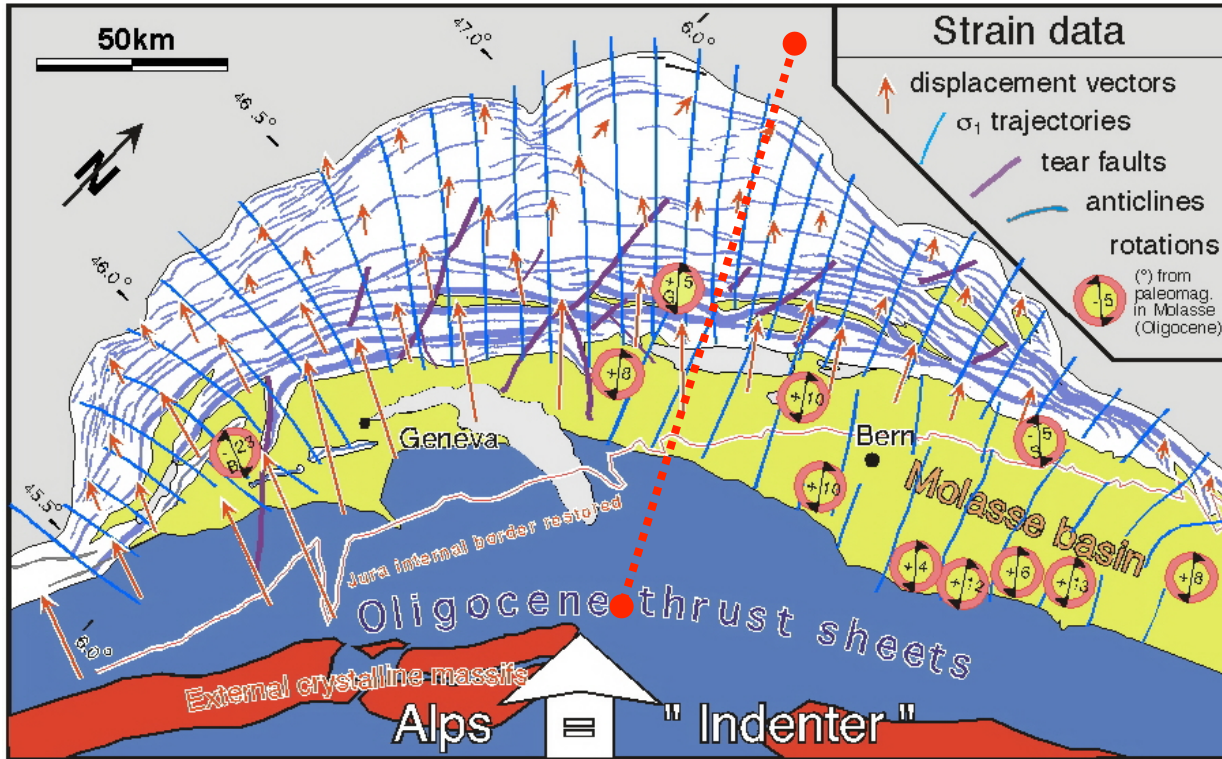
→ **vitesse de déformations naturelles**
Raccourcissement pour une structure plicative



$$(l_1 - l_0) / l_0 = -0.18 \text{ (18\%)}$$

→ Raccourcissement de **18%** (taux de déformation ϵ)

→ **vitesse de déformations naturelles**
exemple du Jura



30% en 10Ma ($3 \cdot 10^{14}$ s)



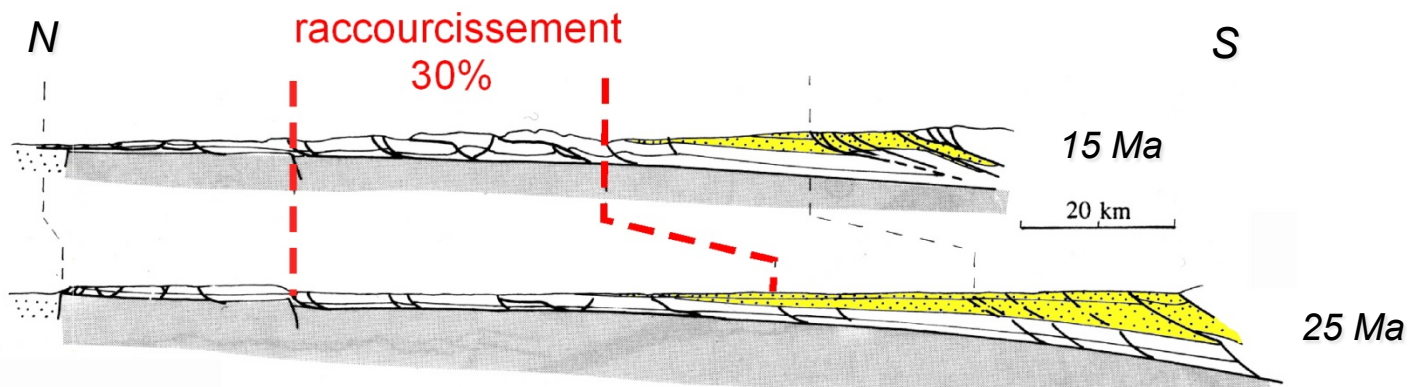
vitesse de déformation ($\dot{\epsilon}$)
 ($d\epsilon/dt$) du Jura de 10^{-15} s $^{-1}$

$\dot{\epsilon}$ en géologie variable

10^{-1} s $^{-1}$ → séismes

10^{-2} à 10^{-4} s $^{-1}$ → essais triaxiaux

10^{-18} s $^{-1}$ → compensation isostatique et subsidence sédimentaire



coupe équilibrée

→ *vitesses de déformations naturelles*

Problème car en laboratoire les expériences sur les vitesses de déformation ne peuvent pas descendre en dessous de 10^{-8} s^{-1}

30% en 10Ma ($3 \cdot 10^{14} \text{ s}$)



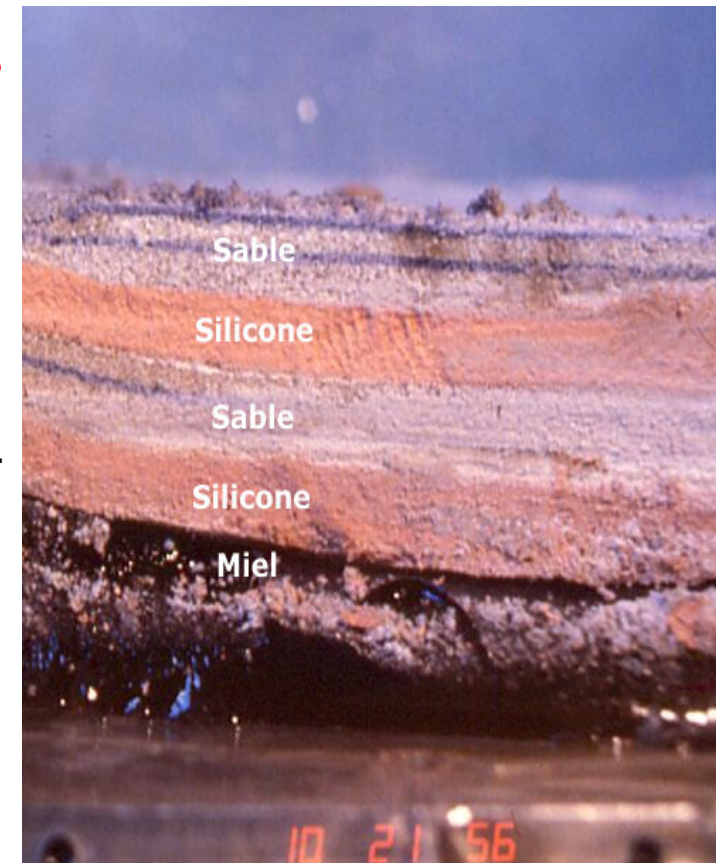
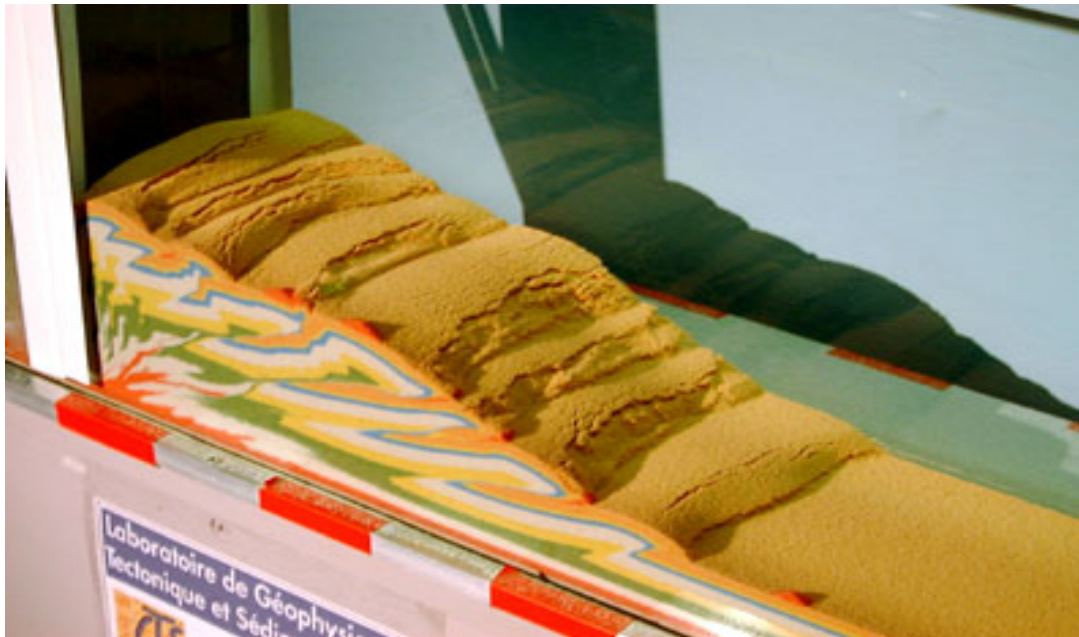
vitesse de déformation ($\dot{\epsilon}$) du Jura de 10^{-15} s^{-1}

Modélisation analogique

Utilisation de matériaux analogues

(homothétie mécanique, densité et de géométrie...)

→ permet de comprendre l'influence des paramètres mécaniques et géométriques sur un champ de déformation...



IV. La déformation des roches

➔ **1. Aspects théoriques**

➔ **2. Mécanismes de déformation**

➔ **3. Régimes tectoniques et comportement des roches**

➔ **4. Éléments d'analyse tectonique**

➔ **5. Relation avec la tectonique des plaques**

Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

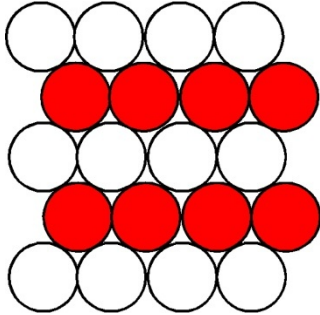
→2. Mécanismes de déformation

→ 2-1. Principaux défauts

→ 2-2. Différents mécanismes de déformation

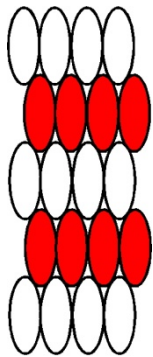
➔ La déformation des roches résulte de la distorsion et de la rupture de liaisons dans les minéraux, ou de la perte de cohésion interne d'un agrégat polycristallin

État initial



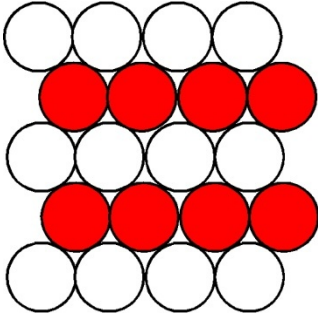
Les mécanismes de déformation peuvent se faire soit :

(i) l'intérieur des minéraux
→ déformation intracristalline



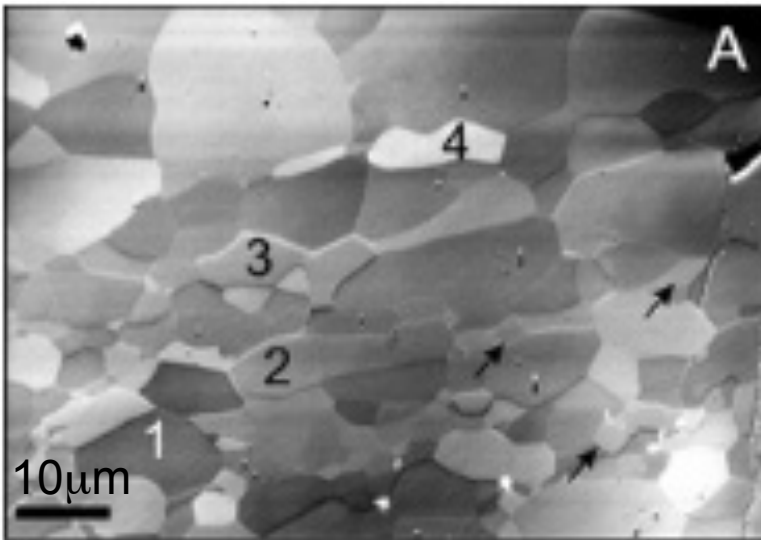
➔ La déformation des roches résulte de la distorsion et de la rupture de liaisons dans les minéraux, ou de la perte de cohésion interne d'un agrégat polycristallin

État initial

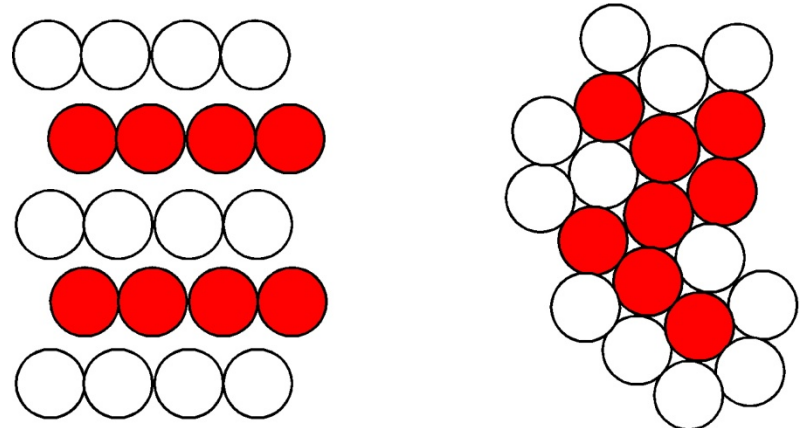


Les mécanismes de déformation peuvent se faire soit :

(ii) à la limite de grains
→ déformation intercrystalline



Glissement entre des cristaux d'olivine

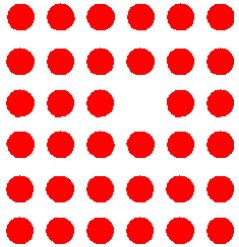


➔ **Principaux défauts**

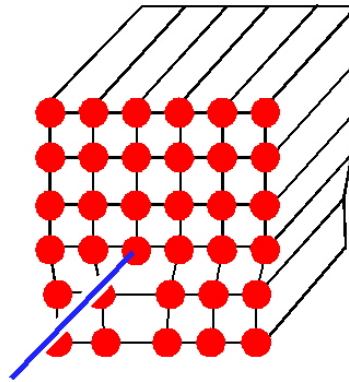
Les mécanismes de déformation utilisent des défauts préexistants ou des défauts générés lors de la déformation

Déformation intracristalline

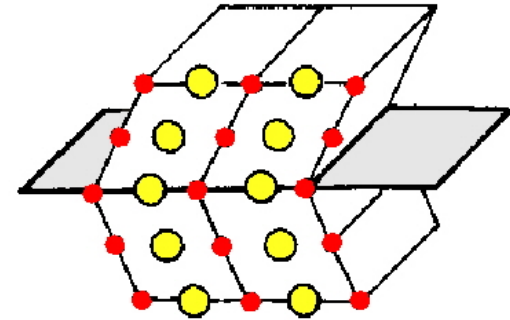
1-lacune défaut ponctuel



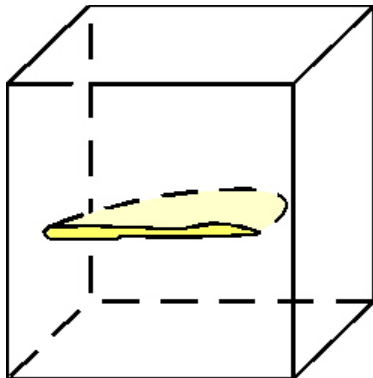
2-dislocation défaut linéaire



3-mâcle défaut plan

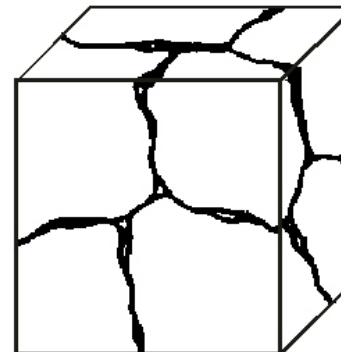


4-inclusion fluide, craquelure défauts volumiques



Déformation inter et intracristalline

5-joints de grains défauts volumiques



Déformation intercristalline

Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

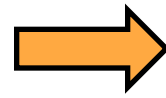
→2. Mécanismes de déformation

→ 2-1. Principaux défauts

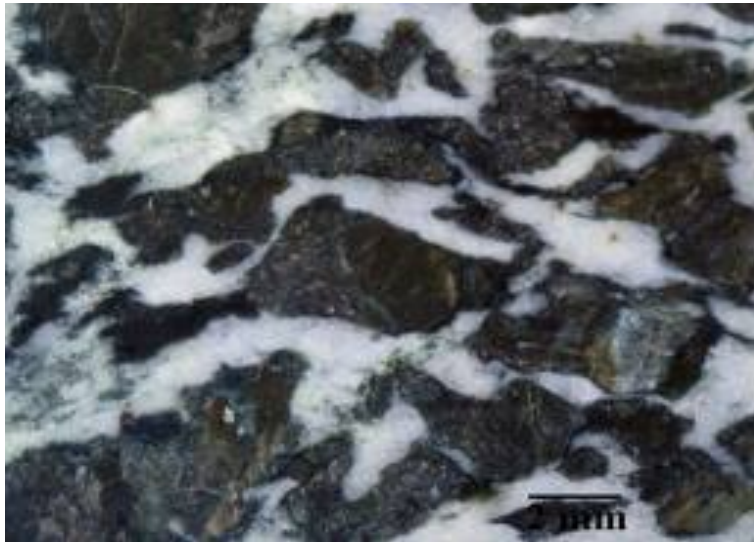
→ 2-2. Différents mécanismes de déformation

Roche = assemblage de minéraux
si variation

- * $\sigma_1 - \sigma_3$ = déviateur des contraintes
- *Pression et la Température (fluides)
- *temps



Déformation *intercristalline*
ou intracristalline



σ_3

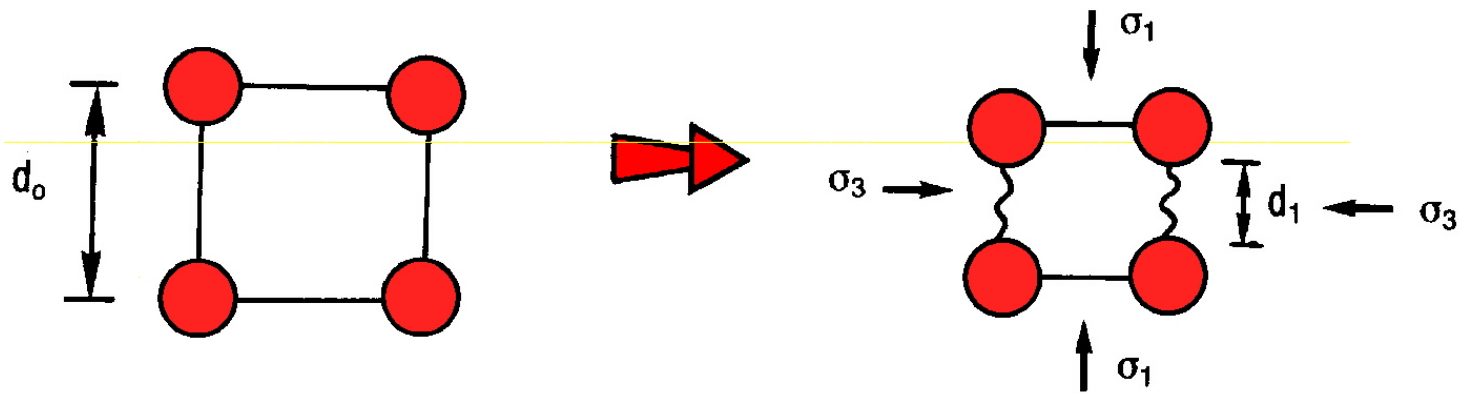


σ_1

Quels sont les mécanismes mis en jeu ?

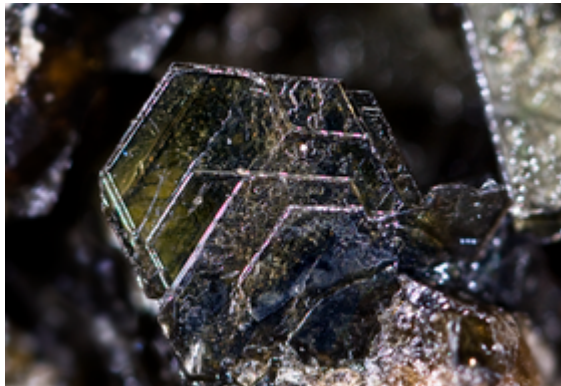
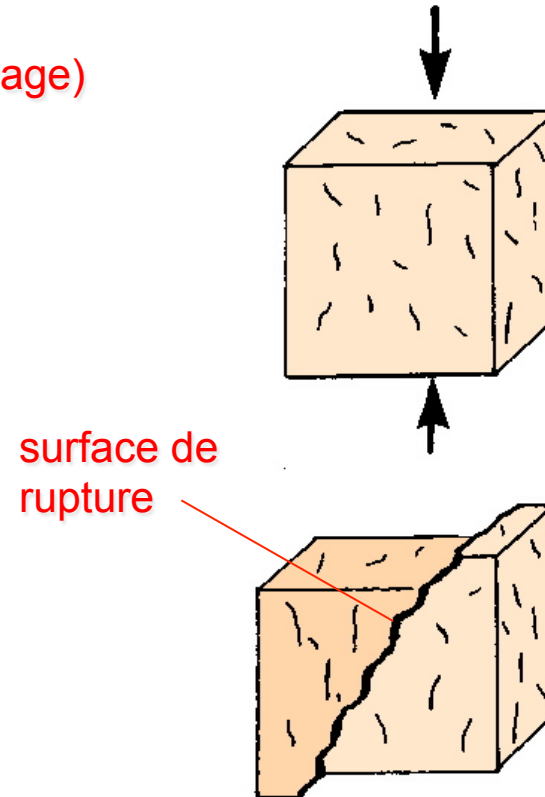
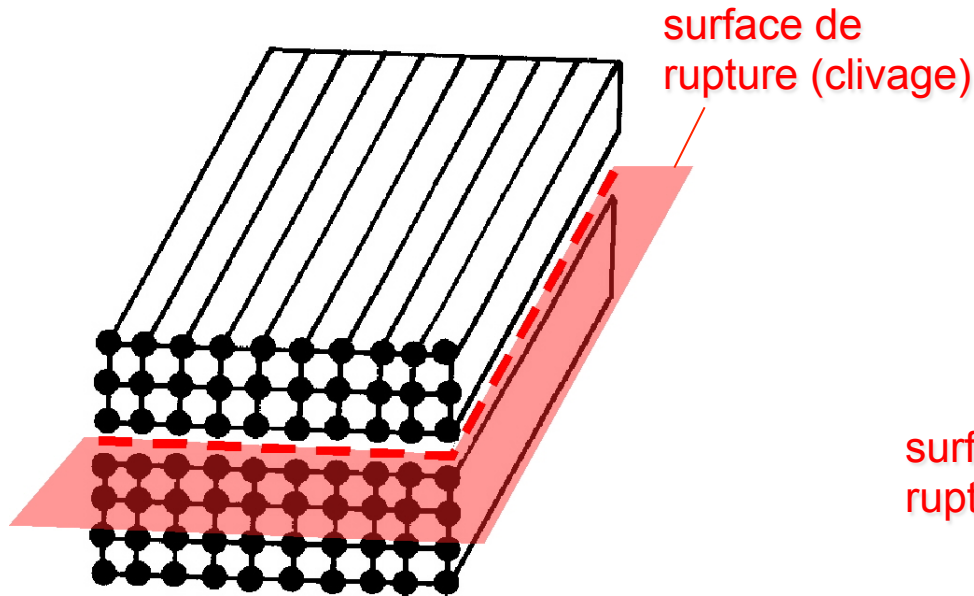
→ *mécanisme de déformation : déformation élastique (1)*

A l'échelle cristalline → pas de réarrangement d'atome ou de lacune, chaque atome garde ses plus proches voisins seules les distances Interatomiques peuvent varier...



→ *La rupture (2)*

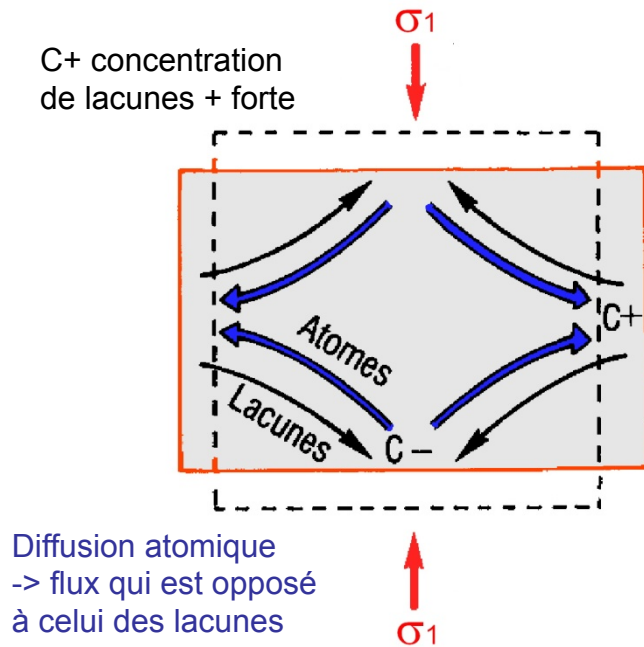
Propagation et coalescence de craquelures intra ou intercrystalline activées par la présence de fluides → formation d'une surface de rupture



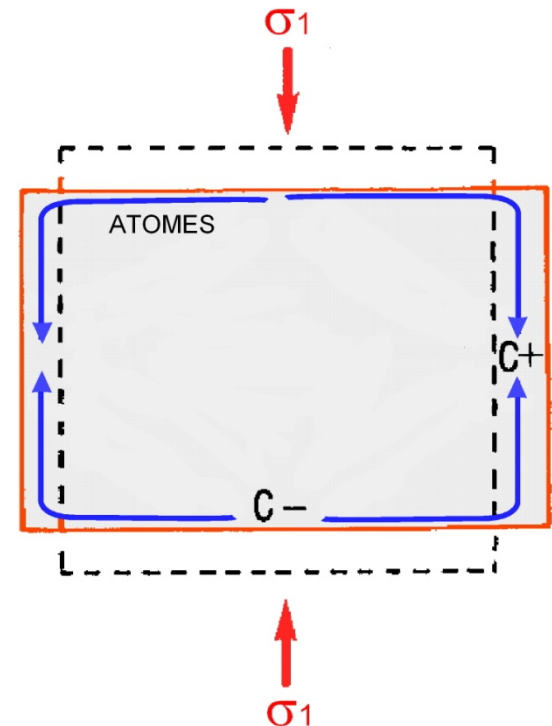
Ce phénomène se traduit par une augmentation de volume → dilatance

→ **Fluage par diffusion (3)**

Migration d'atomes de lacune en lacune depuis les faces de compression maximale vers les faces de compression minimale (migration des défauts).



→ processus à l'intérieur du minéral
« **fluage Nabarro-Herring** »

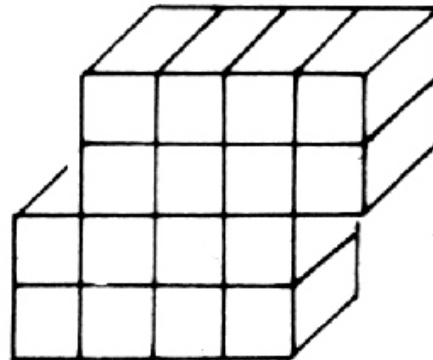
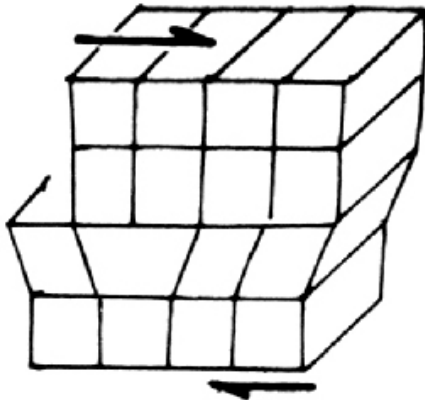
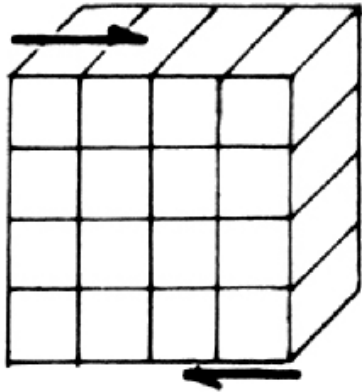


→ Processus de diffusion dépendant de la T° suivant une loi exponentielle

➔ **Fluage par mouvement de dislocations (3)**

Migration ou glissement de dislocations à l'intérieur du minéral :

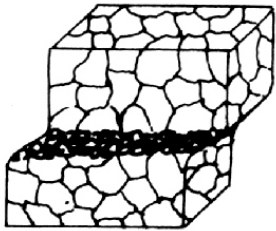
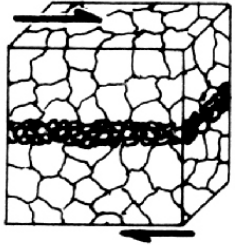
-glissement correspond à la rupture d'une rangée de liaisons



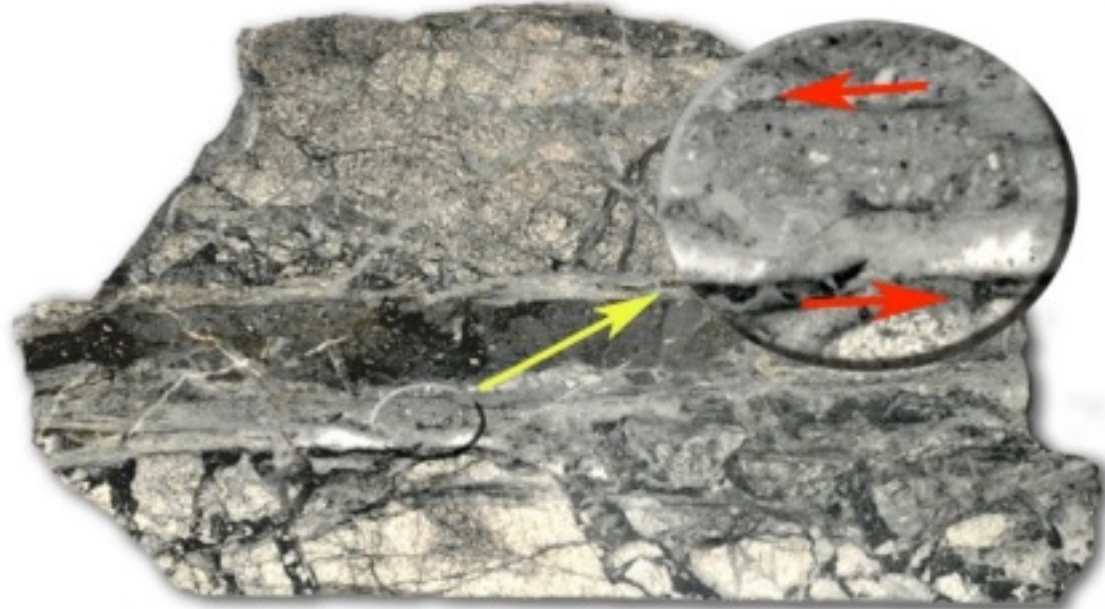
Changement de forme et d'orientation de minéraux (extinction roulante du quartz)

➔ **Fluage par glissement grain sur grain (4)**

glissements générés aux limites des grains. Mécanisme qui nécessite pour être efficace des grains de petite dimension...

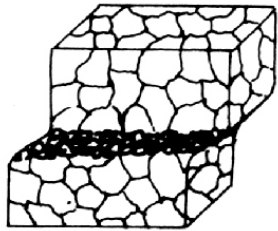
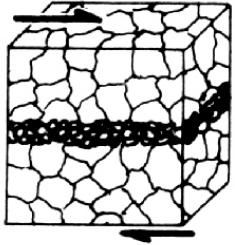


Déformation conduit à la diminution de la taille des Grains → Formation d' une cataclase ou mylonite



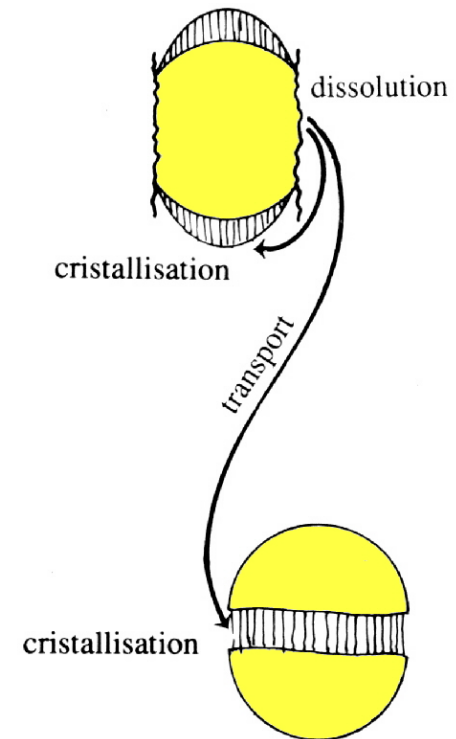
→ **Fluage par glissement grain sur grain (4)**

glissements générés aux limites des grains. Mécanisme qui nécessite pour être efficace des grains de petite dimension...



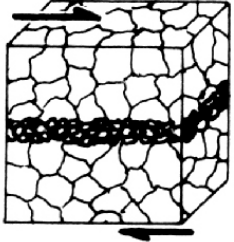
→ **fluage par dissolution - cristallisation (5)**

Migration d'atomes dans une phase fluide sous l'action d'un gradient de pression



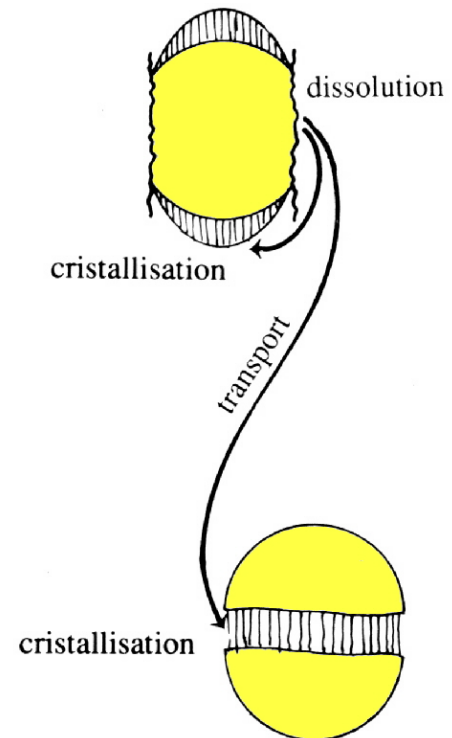
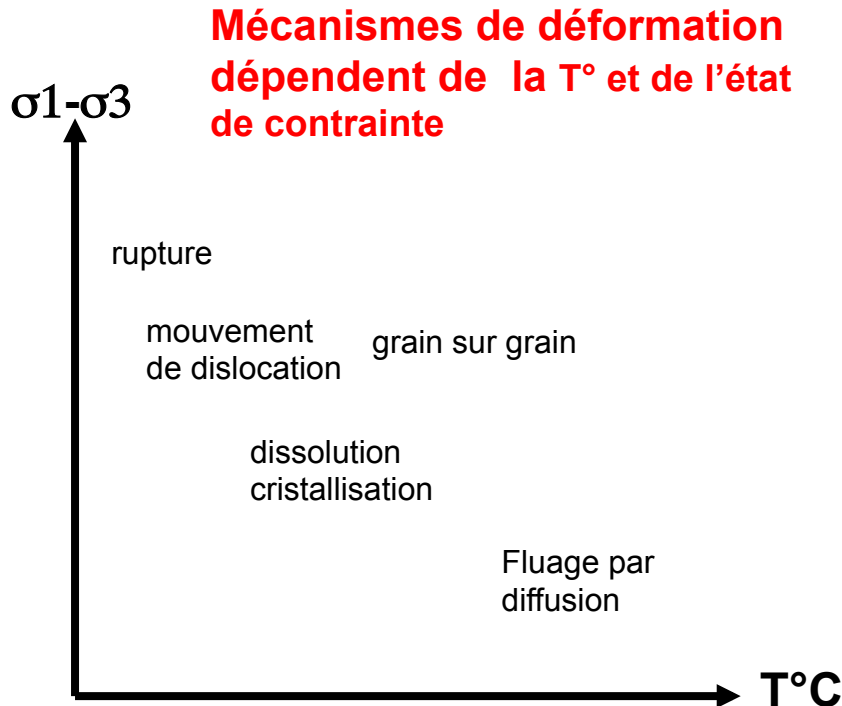
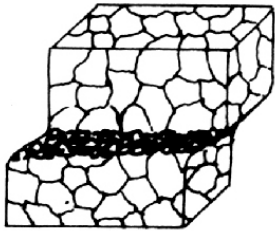
→ **Fluage par glissement grain sur grain (4)**

glissements générés aux limites des grains. Mécanisme qui nécessite pour être efficace des grains de petite dimension...



→ **fluage par dissolution - cristallisation (5)**

Migration d'atomes dans une phase fluide sous l'action d'un gradient de pression



IV. La déformation des roches

➔ **1. Aspects théoriques**

➔ **2. Mécanismes de déformation**

➔ **3. Régimes tectoniques et comportement des roches**

➔ **4. Éléments d'analyse tectonique**

➔ **5. Relation avec la tectonique des plaques**

Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→ 3-1. Notion de rhéologie

→ 3-2. Le comportement des roches

→ 3-3. Régimes tectoniques à l'échelle crustale

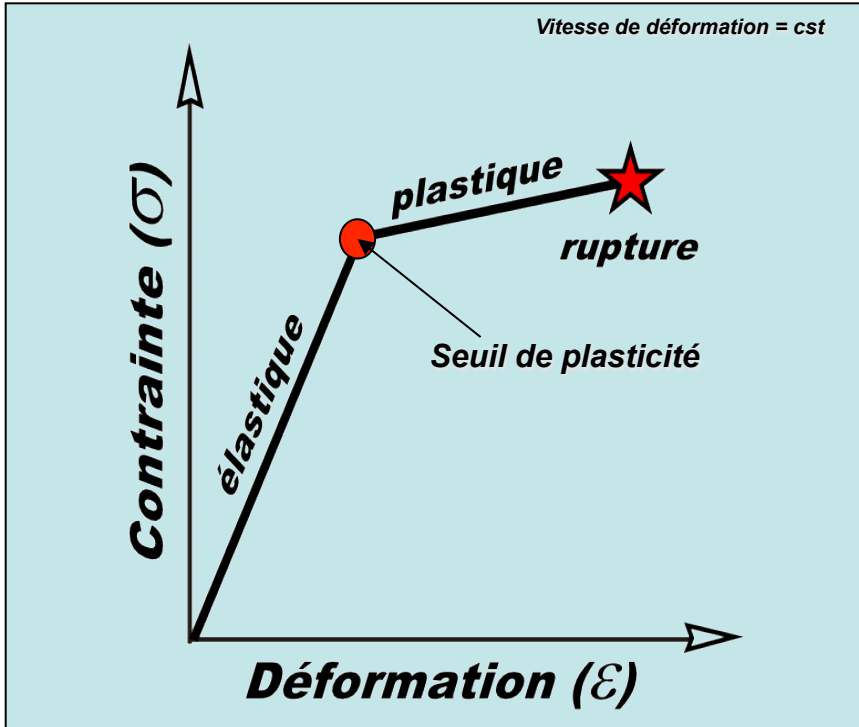
→ 3-4. L'étagement des structures à l'échelle crustale

→ 3-5. Enveloppes rhéologiques

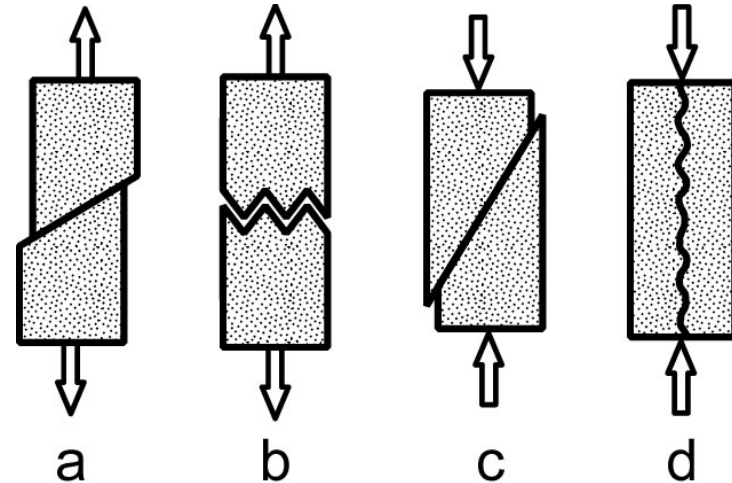
→ 3-6. Principales interfaces rhéologiques de la lithosphère continentale

➔ **Notion de rhéologie**

« La rhéologie traite du comportement des matériaux au cours de la déformation. »



En laboratoire on peut étudier le comportement cassant des roches. Existe différents modes de ruptures :



Mode I → fracture perpendiculaire à σ_3

Mode II → fracture (cisaillement) angle $< 45^\circ$ σ_1

➔ Le comportement mécanique des roches est dépendant de la pression (de confinement) et de la température, il peut être étudié expérimentalement via des essais triaxiaux :

➔ *Dispositif expérimental*

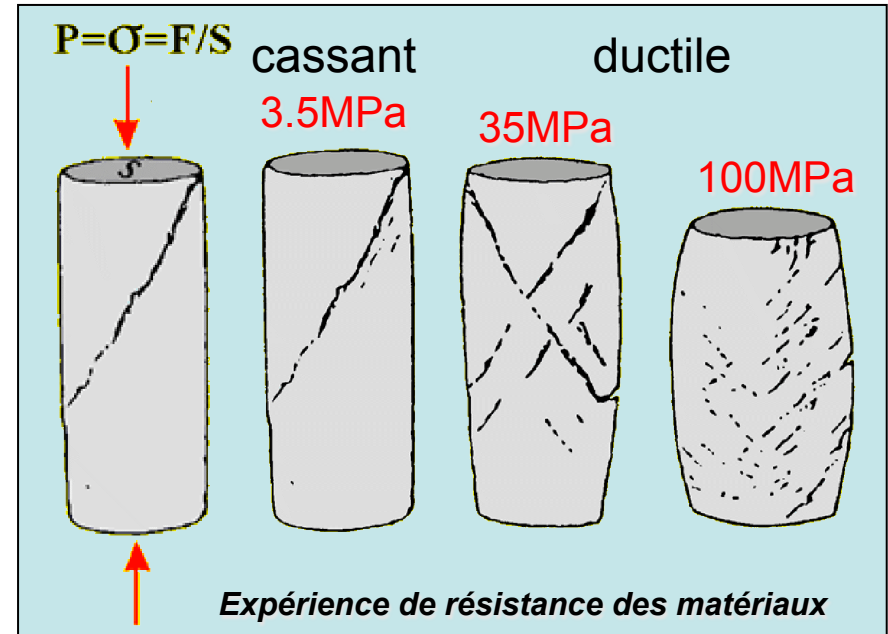
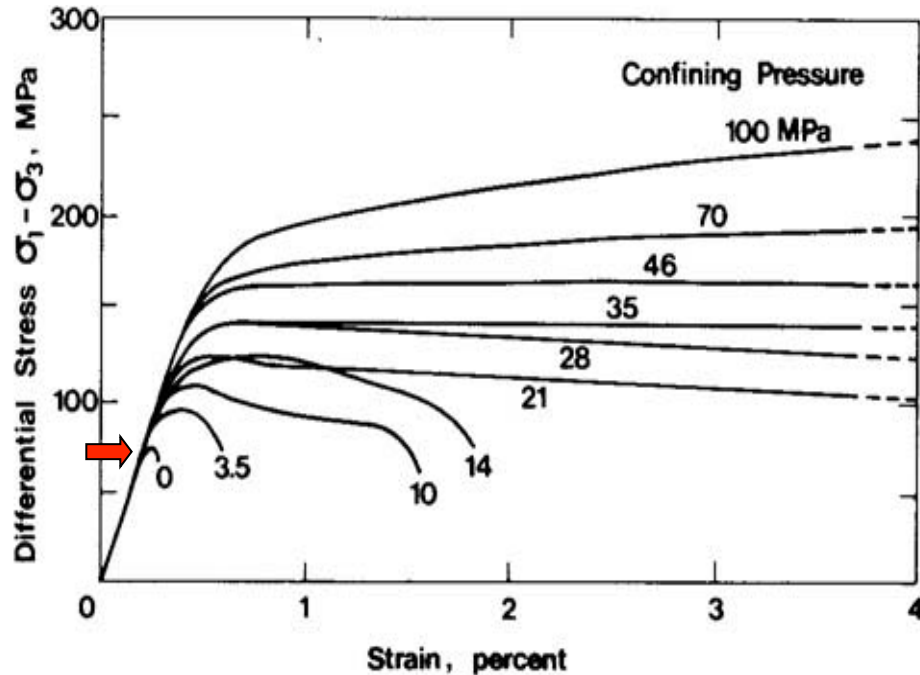


Cellule



Presse

Courbe contraintes-déformation en fonction de la pression de confinement (marbre)



→ Comportement dépendant de la pression de confinement (et de la température).

→ Transition ductile fragile pour pression de confinement nulle vers 70MPa (sur une gamme de pression faible = instantanée).

→ La montée en pression et température s'accompagne également d'un changement du style de déformation: on passe d'une déformation accommodée par une fracture à une déformation distribuée sur des plans de fracturation conjugués dont la densité augmente (ductile).

➔ **Loi de Byerlee (loi de friction)**

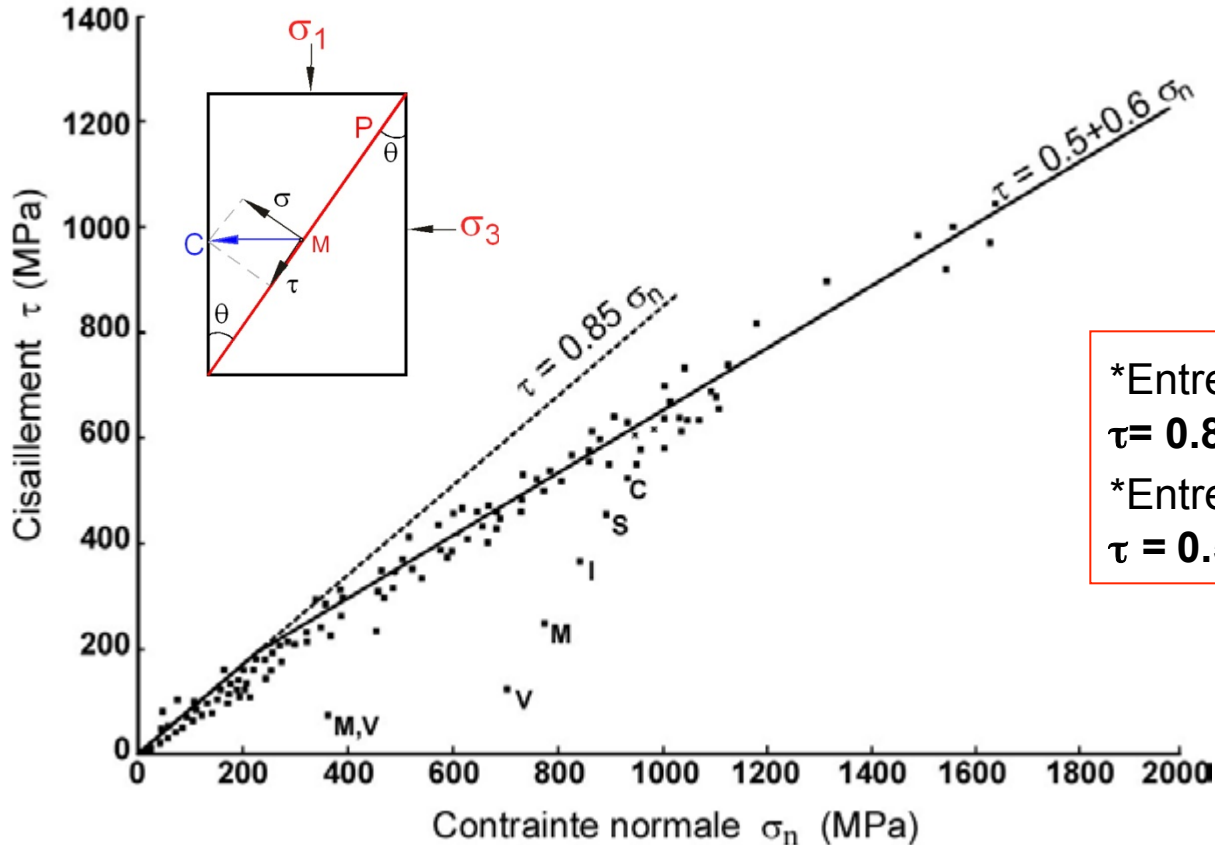
Décrit le comportement fragile d'une roche **contenant des plans de faiblesses**

Comportement mécanique suit une loi de friction (loi de Byerlee, 1978)

→ Relation linéaire entre contrainte normale σ_n et contrainte cisillante τ sur des plans de failles préexistants

→ Valable pour tous les matériaux (sauf argiles)

→ La contrainte nécessaire pour créer un glissement augmente avec la pression de confinement ➔ **enveloppe de Mohr**



*Entre 3 MPa < σ_n < 200 MPa

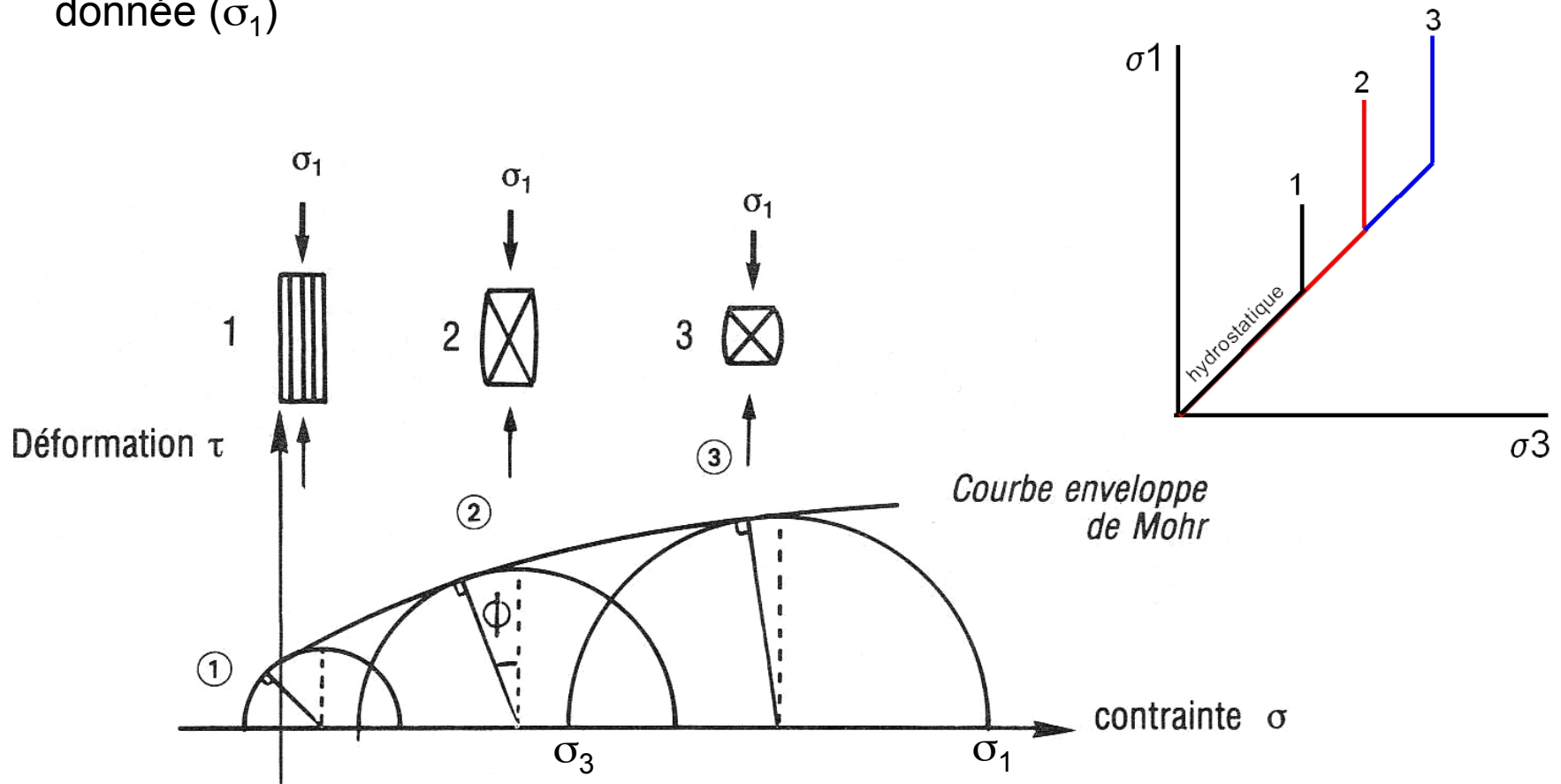
$\tau = 0.85\sigma$

*Entre 200 MPa < σ_n < 1700 MPa

$\tau = 0.5 + 0.6\sigma$

➔ **Courbe intrinsèque de rupture ou enveloppe de Mohr**

Principe : construction point par point d'une courbe expérimentale de rupture pour différentes pression de confinement (σ_3) pour une contrainte donnée (σ_1)



→ **Courbe intrinsèque de rupture ou enveloppe de Mohr**

courbe séparant un domaine stable d'un domaine instable, est assimilée à une droite avec :

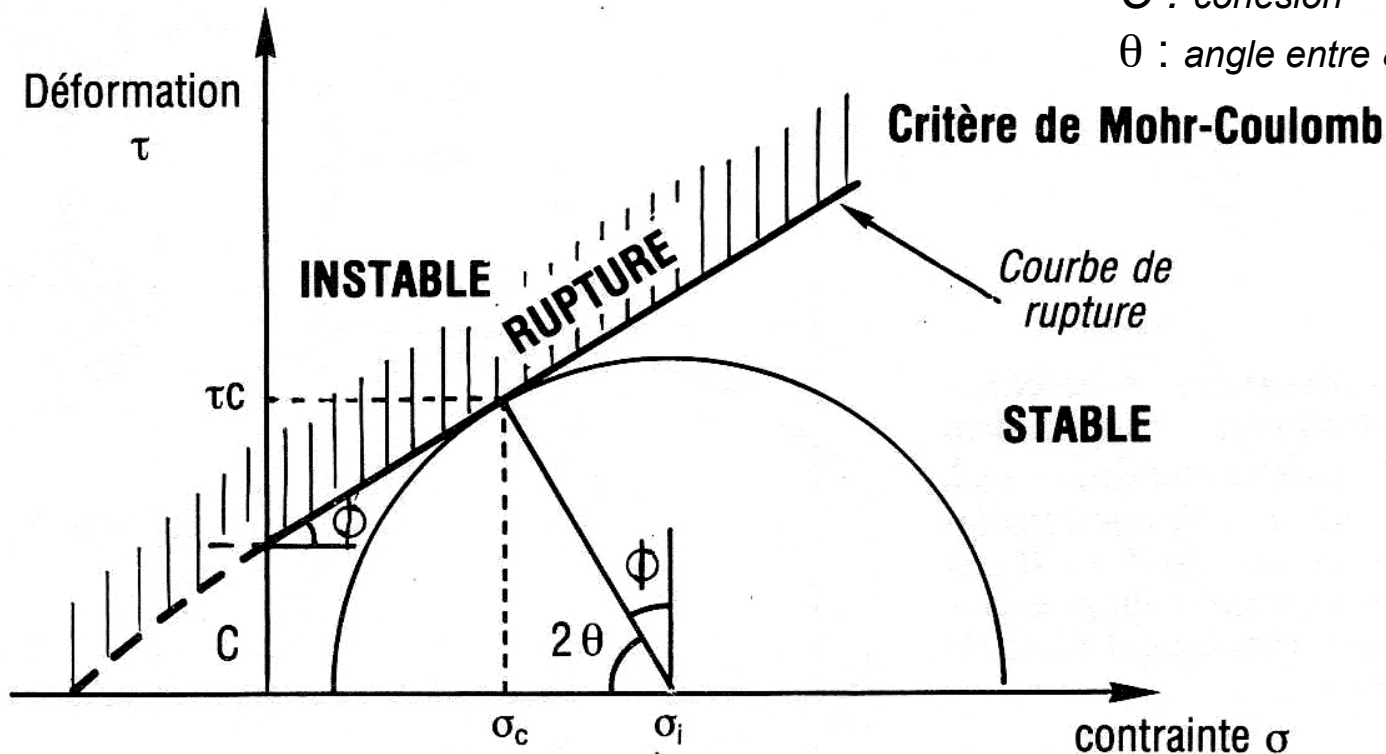
$$\tau = \text{tg}\phi \cdot \sigma + C$$

τ : déformation tangentielle;

$\text{tg}\phi$: angle de frottement;

C : cohésion

θ : angle entre σ_1 et plan de rupture



Une roche se caractérise par sa courbe intrinsèque et ses valeurs de ϕ et C .

➔ *Valeur de résistance à la compression (pression de confinement = pression atmosphérique)*

Roches	Résistance	
	Valeur minimale (en MPa)	Valeur maximale (en MPa)
Granite	60	180
Quartzite	65	230
Marbre	12	130
Grès	20	75
Schiste argileux	18	26
Sel gemme	9	—

Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→ 3-1. Notion de rhéologie

→ 3-2. Le comportement des roches

→ 3-3. Régimes tectoniques à l' échelle crustale

→ 3-4. L' étage des structures à l' échelle crustale

→ 3-5. Enveloppes rhéologiques

→ 3-6. Principales interfaces rhéologiques de la lithosphère continentale

➔ *Le comportement cassant et le comportement ductile*



➔ Dans le domaine cassant les roches subissent peu ou pas de déformation plastique avant la rupture.

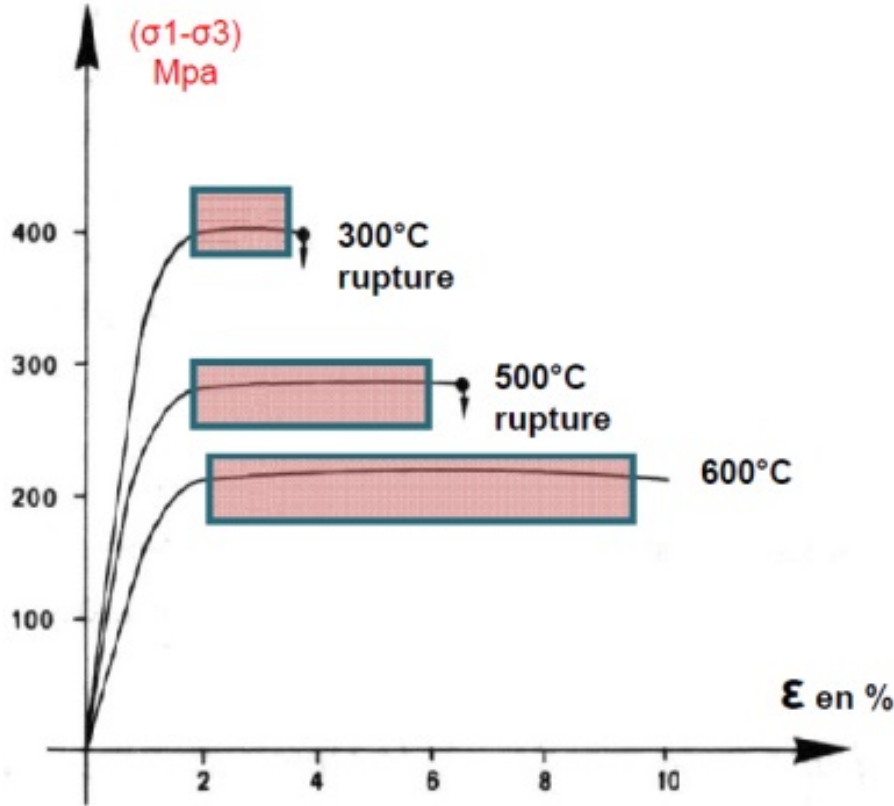


➔ Dans le domaine ductile les roches subissent d'importantes déformations plastiques. La transition entre rupture et plasticité dépend :

- de la **nature des matériaux**
- de la **PRESSION**
- de la **TEMPERATURE**
- de la **VITESSE de déformation**

➔ *Le comportement cassant et le comportement ductile (plastique)*

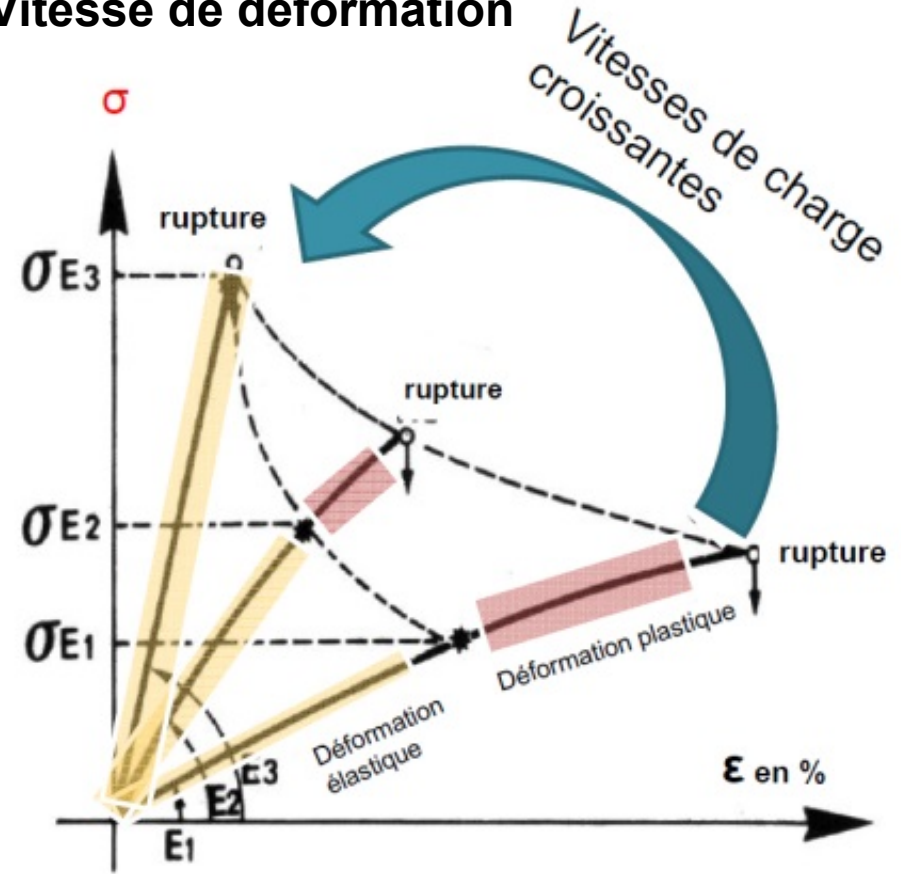
Température



Augmentation de T° permet :

- augmenter le domaine de plasticité
- diminuer le seuil de plasticité (apparaît pour contrainte plus faible)

Vitesse de déformation



Augmentation de vitesse de déformation :

- déformation plastique diminue
- déformation élastique augmente
- seuil de rupture est atteint pour un taux de déformation faible

Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→ 3-1. Notion de rhéologie

→ 3-2. Le comportement des roches

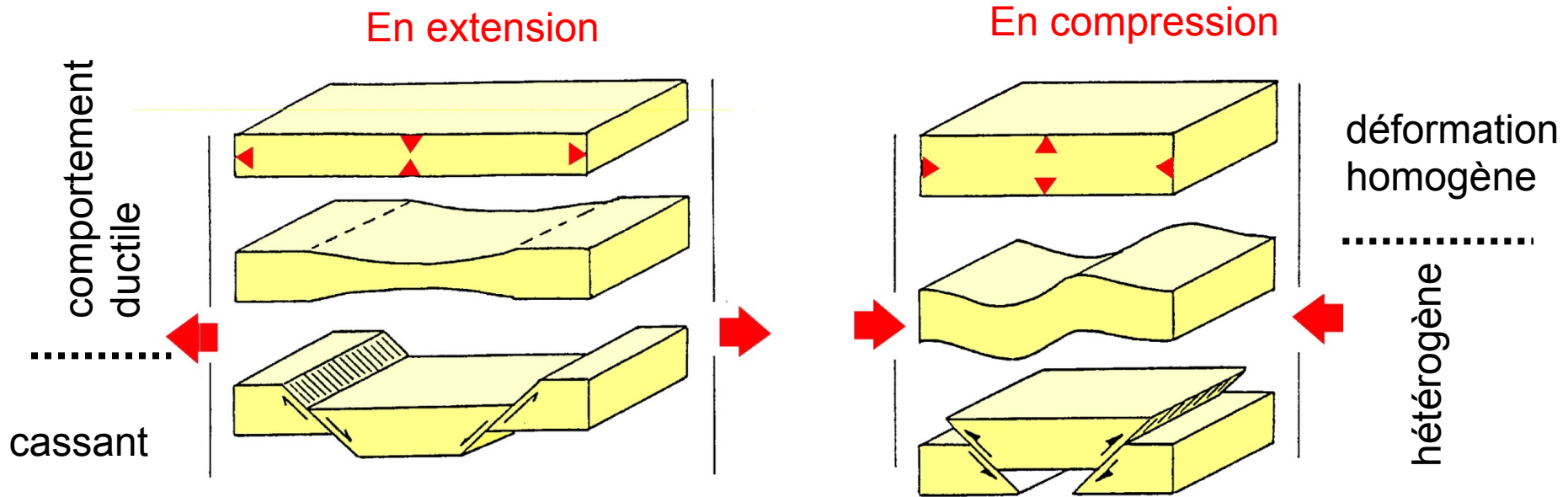
→ 3-3. Régimes tectoniques à l' échelle crustale

→ 3-4. L' étage des structures à l' échelle crustale

→ 3-5. Enveloppes rhéologiques

→ 3-6. Principales interfaces rhéologiques de la lithosphère continentale

➔ Régimes tectoniques à l'échelle crustale



Sur Terre existe un gradient thermique, donc le style de déformation dépendant de la profondeur...

comportement cassant

Froid, rapide, niveaux superficiels → séismes

comportement ductile

Chaud, lent, racines de chaîne → métamorphisme et magmatisme

Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→ 3-1. Notion de rhéologie

→ 3-2. Le comportement des roches

→ 3-3. Régimes tectoniques à l' échelle crustale

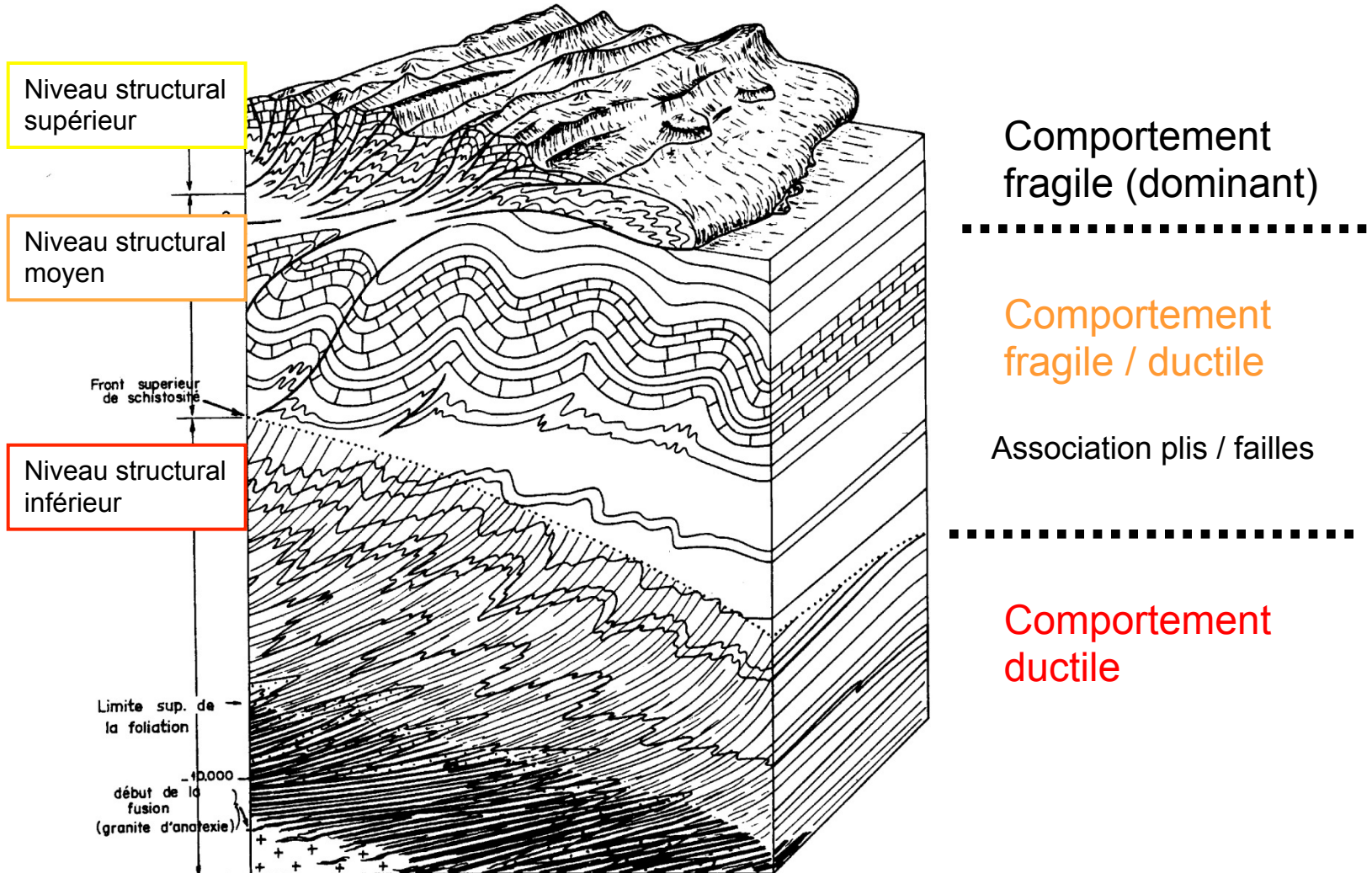
→ 3-4. L' étage des structures à l' échelle crustale

→ 3-5. Enveloppes rhéologiques

→ 3-6. Principales interfaces rhéologiques de la lithosphère continentale

➔ **Étagement des structures à l'échelle crustale (15km)**

Exemple d'une chaîne de collision



➔ **Étage**ment des structures à l'échelle crustale (15km)

Exemple d'une chaîne de collision



➔ **Étagelement des structures à l'échelle crustale (15km)**

Exemple d'une chaîne de collision



➔ **Étagelement des structures à l'échelle crustale (15km)**

Exemple d'une chaîne de collision



➔ **Étagement des structures à l'échelle crustale (15km)**

Exemple d'une chaîne de collision



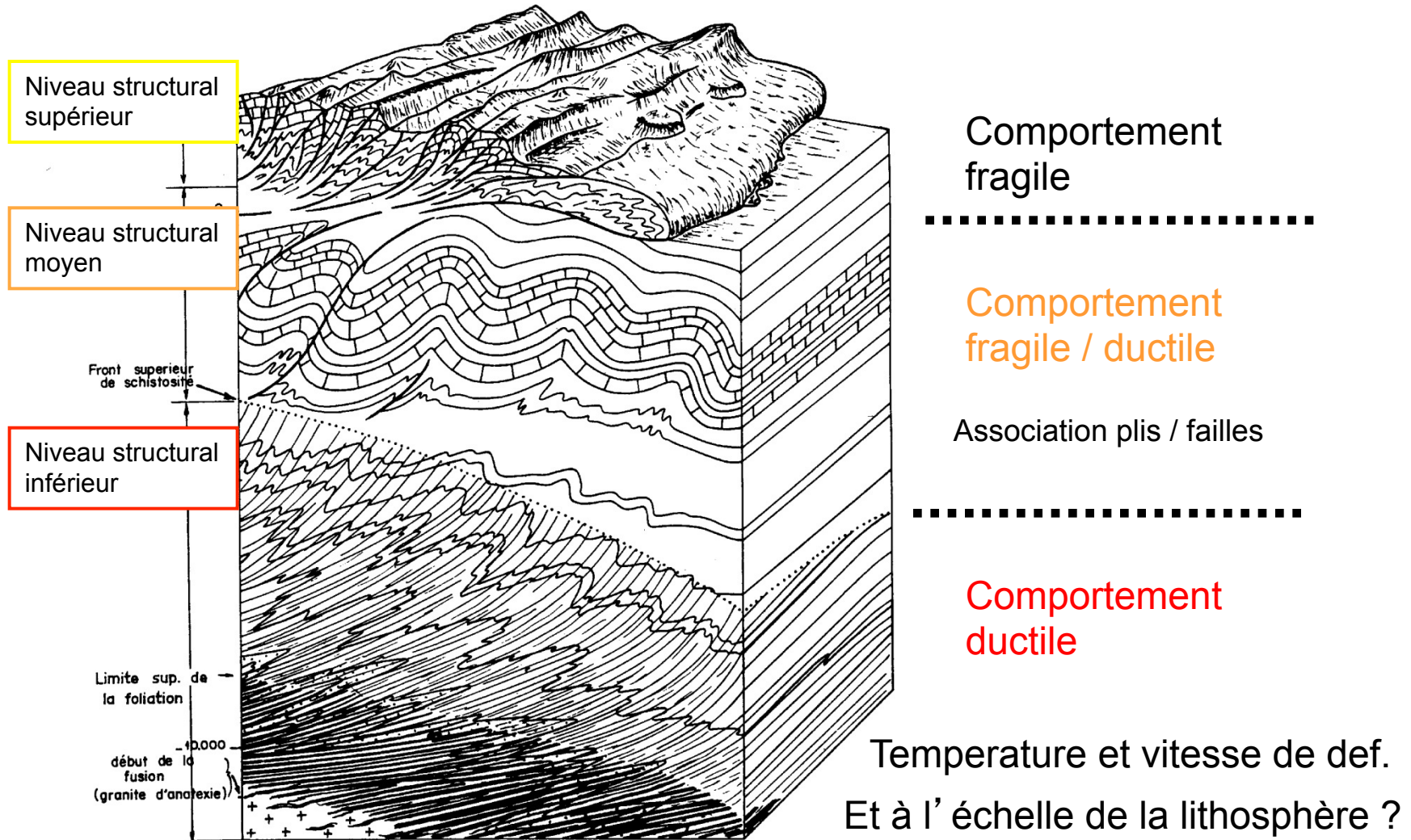
➔ **Étagelement des structures à l'échelle crustale (15km)**

Exemple d'une chaîne de collision



➔ **Étagement des structures à l'échelle crustale (15km)**

Exemple d'une chaîne de collision



Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→ 3-1. Notion de rhéologie

→ 3-2. Le comportement des roches

→ 3-3. Régimes tectoniques à l' échelle crustale

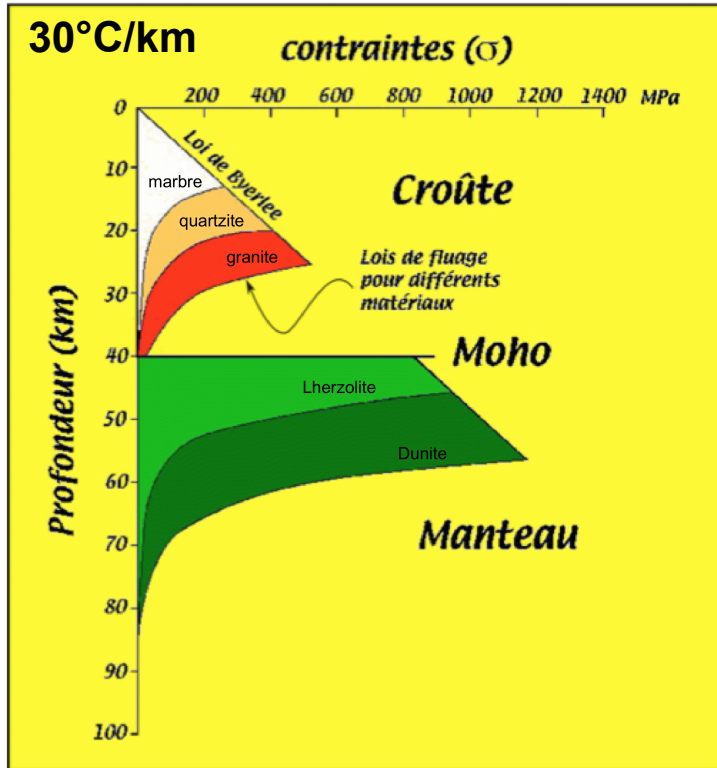
→ 3-4. L' étage des structures à l' échelle crustale

→ 3-5. Enveloppes rhéologiques

→ 3-6. Principales interfaces rhéologiques de la lithosphère continentale

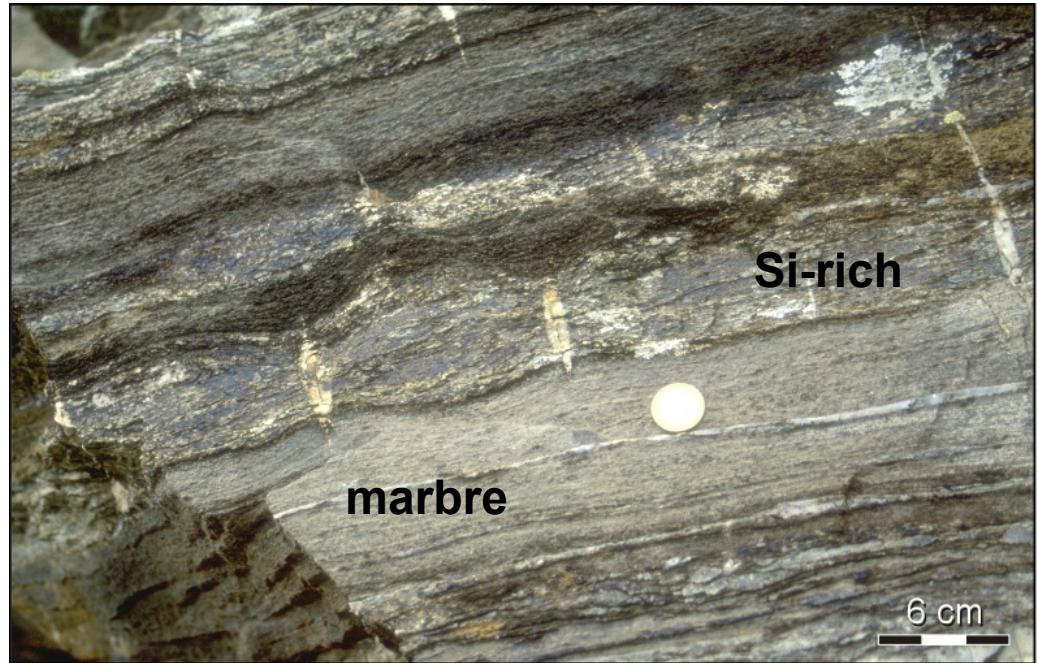
→ **Enveloppes rhéologiques (modélisation analogique)**

Principe : Chaque lithosphère est constituée d'enveloppes caractérisées par l'abondance d'un minéral. On suppose que les propriétés mécaniques de chacune des enveloppes sont celles du ou des minéraux constitutifs des roches les plus abondantes.



- Les lois de fluage dépendantes de la température donc du gradient géothermique utilisé.

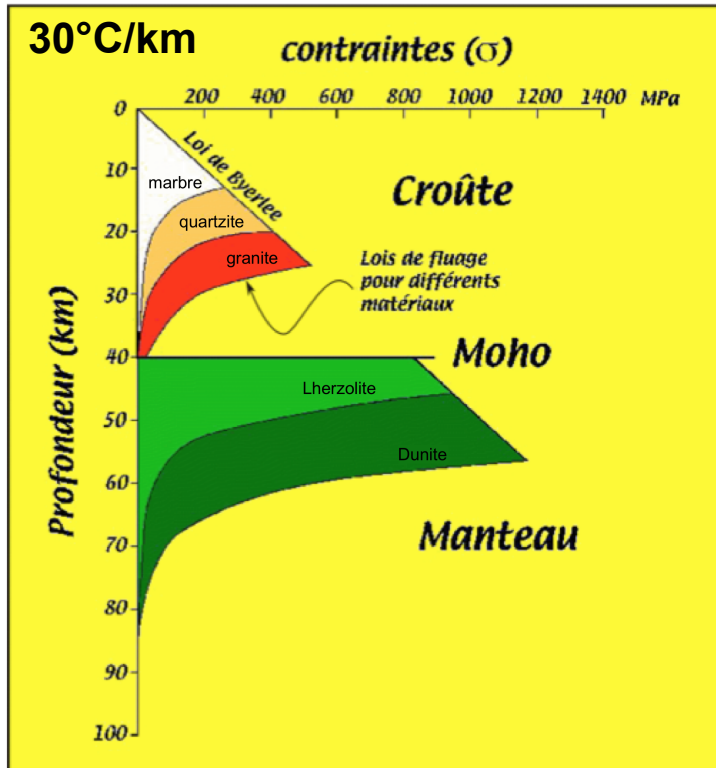
Transition ductile/fragile 380°C



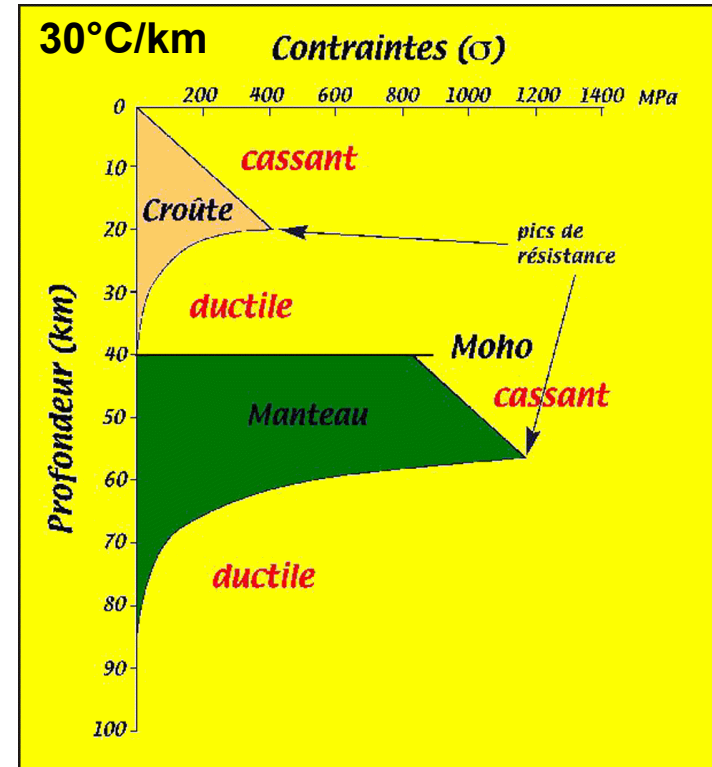
→ Pour un même état de contrainte le style de déformation est différent entre le marbre et les arkoses (Si-rich)

→ Enveloppes rhéologiques (modélisation analogique)

Principe : Chaque lithosphère est constituée d'enveloppes caractérisées par l'abondance d'un minéral. On suppose que les propriétés mécaniques de chacune des enveloppes sont celles du ou des minéraux constitutifs des roches les plus abondantes.

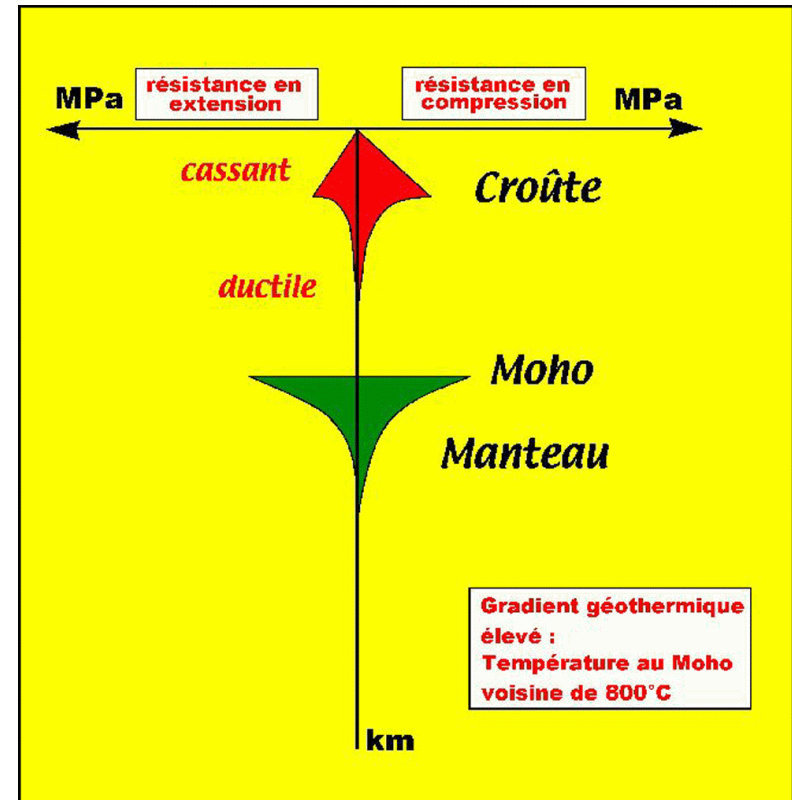
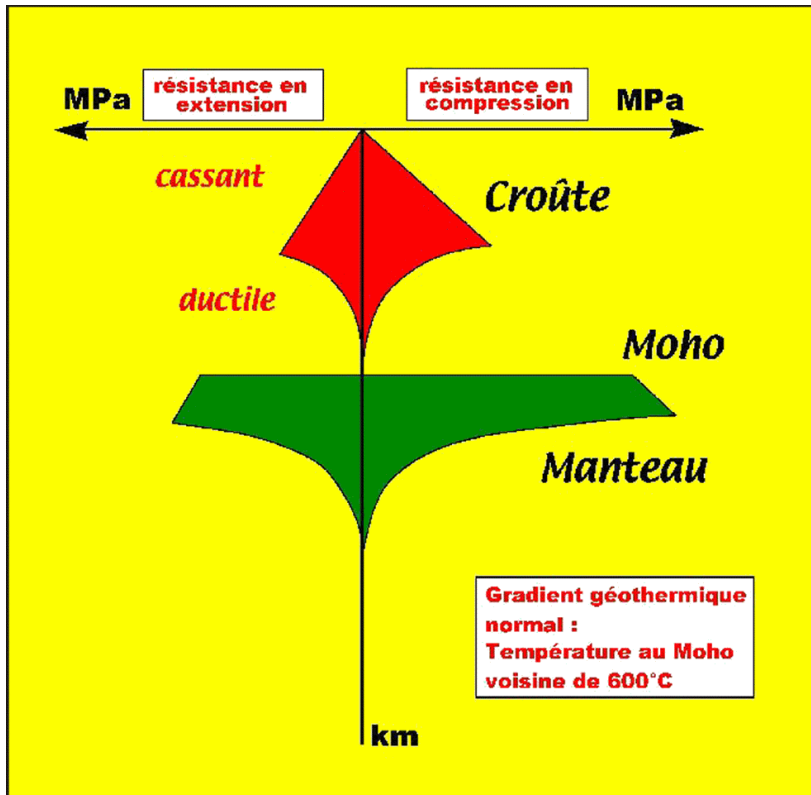


- Les lois de fluage dépendantes de la température donc du gradient géothermique utilisé.



→ Enveloppes rhéologiques de la lithosphère continentale.

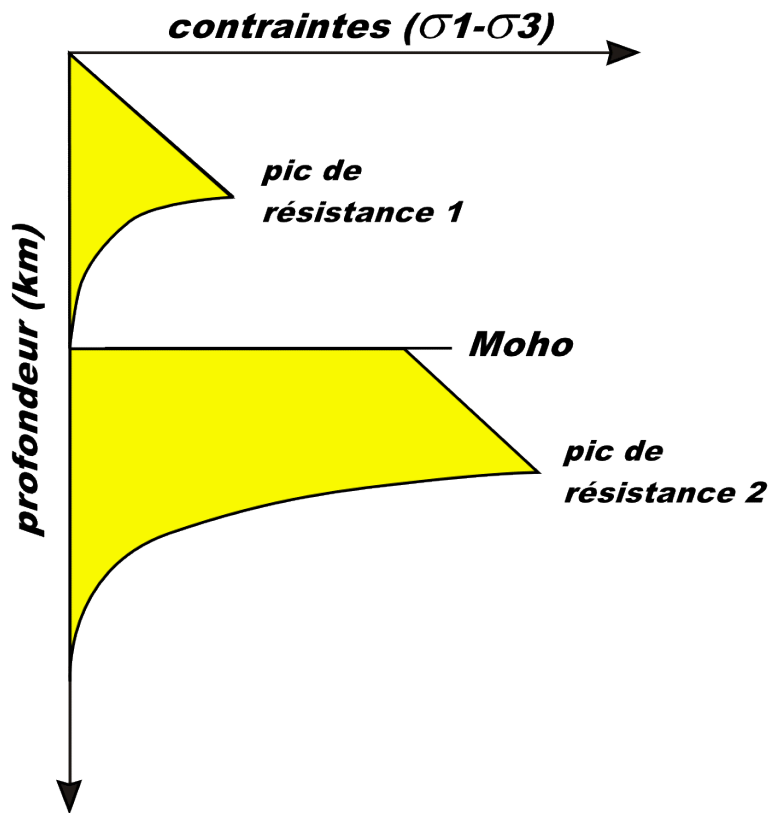
→ enveloppes rhéologiques de la lithosphère continentale en fonction du gradient géothermique.



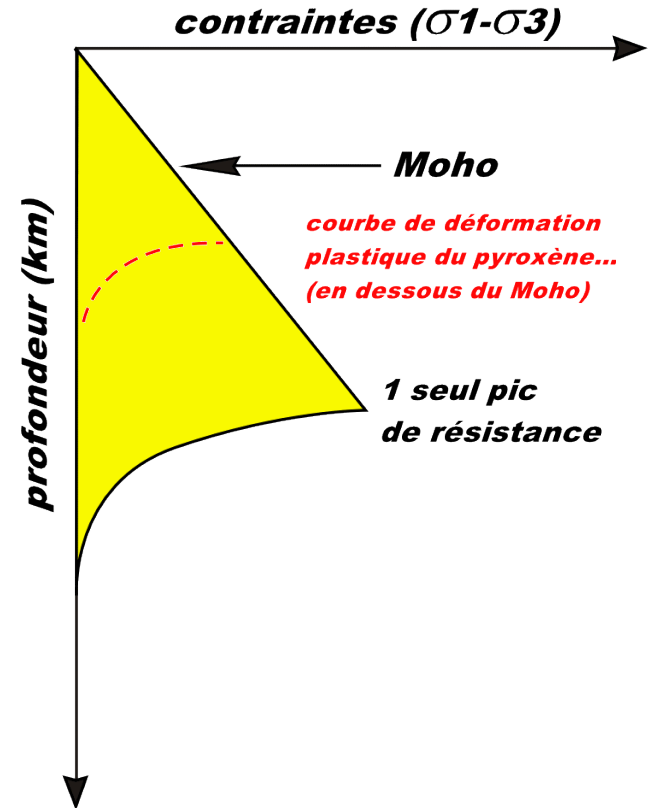
→ Pour une contrainte similaire, la lithosphère est plus résistante à la compression qu'à l'extension.

➔ Comparaison des profils de résistance d'une lithosphère continentale et océanique.

Lithosphère continentale



Lithosphère océanique



- ➔ - Lithosphère continentale plus déformable que la lithosphère océanique.
- Ce litage rhéologique permet de générer des interfaces mécaniques importantes.

Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→ 3-1. Notion de rhéologie

→ 3-2. Le comportement des roches

→ 3-3. Régimes tectoniques à l' échelle crustale

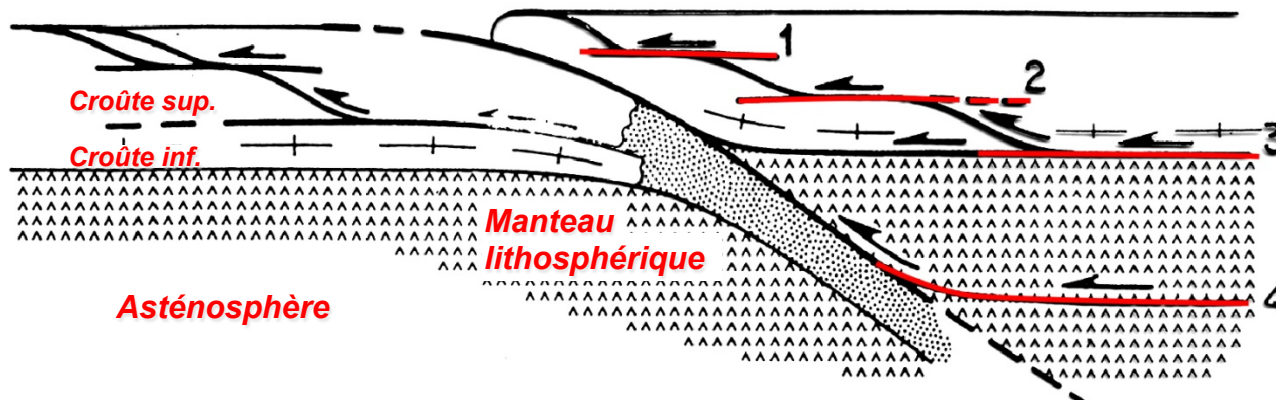
→ 3-4. L' étage des structures à l' échelle crustale

→ 3-5. Enveloppes rhéologiques

→ 3-6. Principales interfaces rhéologiques de la lithosphère continentale

➔ *Les principales interfaces rhéologiques de la lithosphère continentale.*

➔ **Interfaces mécaniques permettant le décollement et le déplacement potentiel d'unités structurales lors du raccourcissement (collision).**

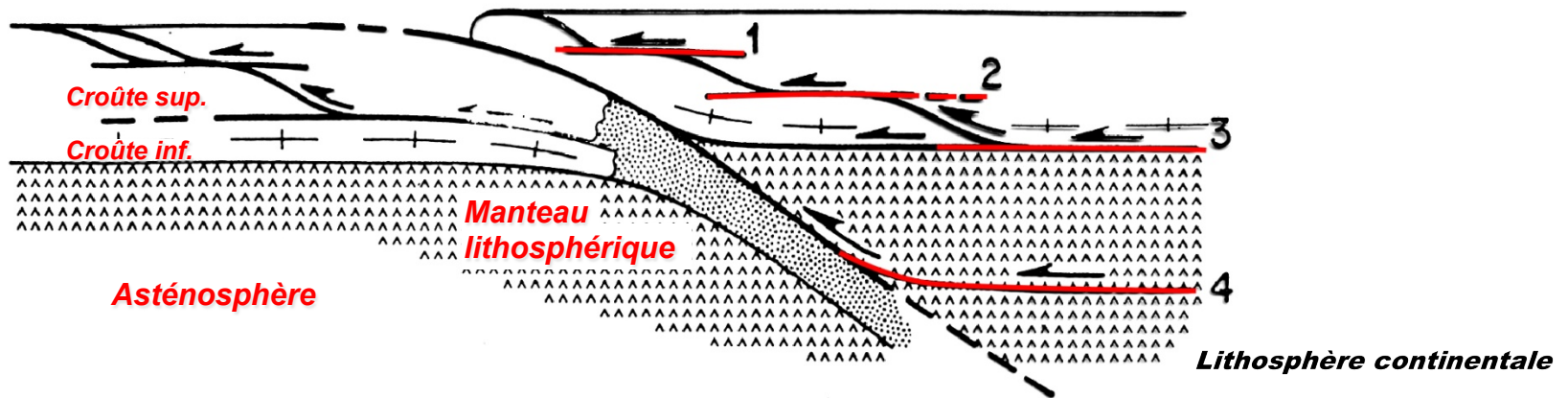


**1- interface socle / couverture
(existe niveau de décollement dans la couverture)**



➔ *Les principales interfaces rhéologiques de la lithosphère continentale.*

➔ *Interfaces mécaniques permettant le décollement et le déplacement potentiel d'unités structurales lors du raccourcissement (collision).*

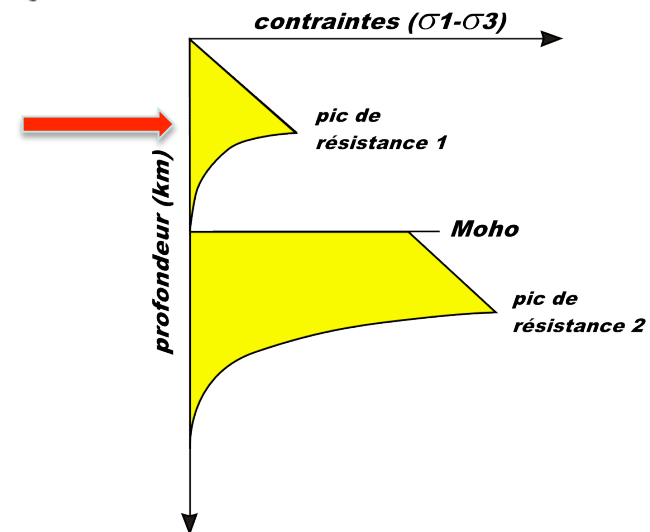


1- interface socle / couverture
(existe niveau de décollement dans la couverture)

2- interface croûte sup. / croûte inf.

3- base de la croûte (Moho)

4- interface lithosphère / asthénosphère



IV. La déformation des roches

➔ **1. Aspects théoriques**

➔ **2. Mécanismes de déformation**

➔ **3. Régimes tectoniques et comportement des roches**

➔ **4. Éléments d'analyse tectonique**

➔ **5. Relation avec la tectonique des plaques**

Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→4. Eléments d'analyse tectonique

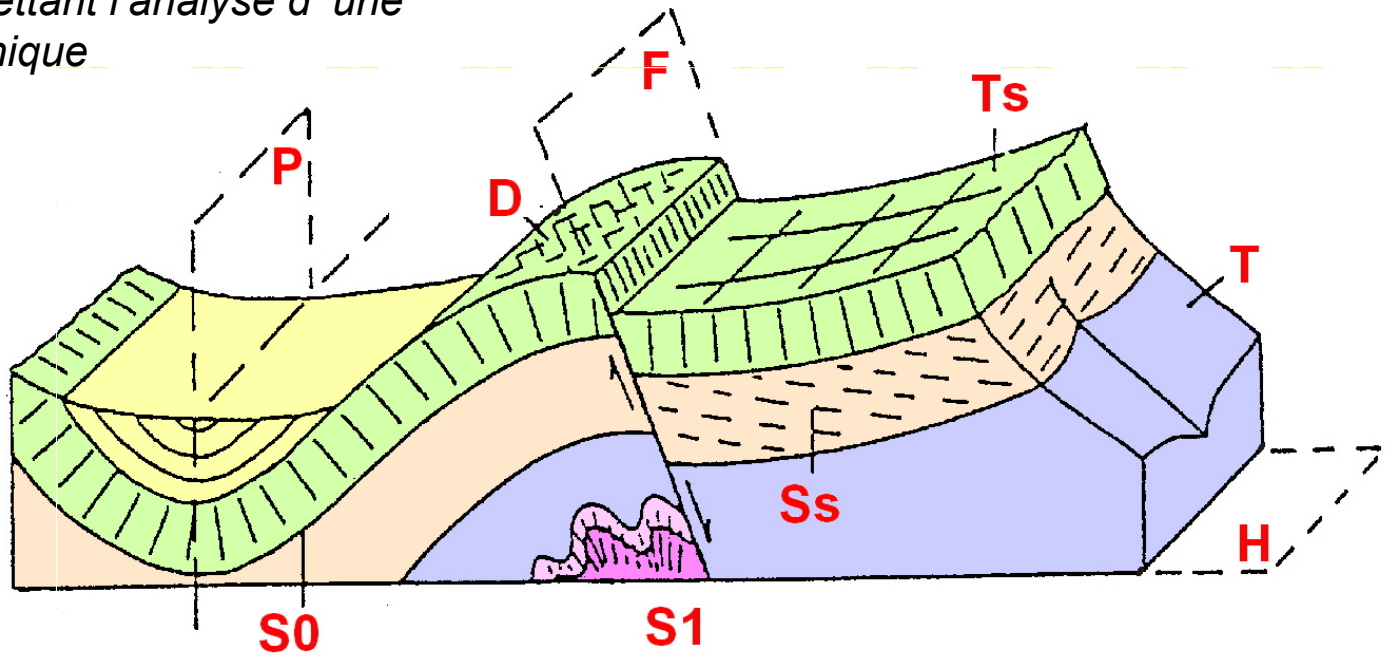
→ 4-1. Description et représentation des structures tectoniques

→ 4-2. La déformation cassante

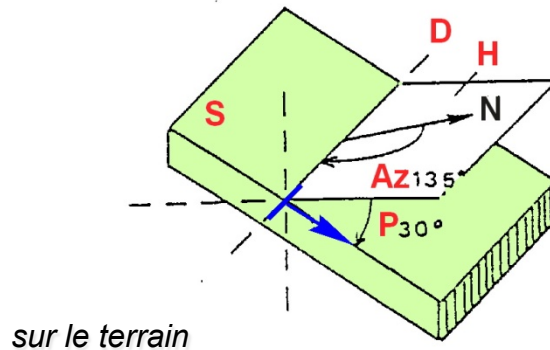
→ 4-3. La déformation ductile

Description et représentation des structures tectoniques

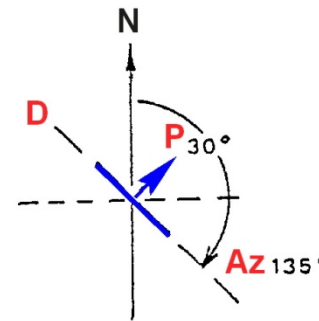
Surfaces permettant l'analyse d'une structure tectonique



Caractérisation d'une surface géologique



sur le terrain



Représentation en carte d'un plan N 135 NE30 (direction et pendage)

Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→4. Eléments d'analyse tectonique

→ 4-1. Description et représentation des structures tectoniques

→ 4-2. La déformation cassante

→ 4-3. La déformation ductile

La déformation cassante

- ➔ **La déformation cassante génère des discontinuités correspondant à des surfaces de fracture.**
- ➔ **Structures cassantes classées en deux types :**
 - 1- fractures à déplacement nul ou très faible (diaclasses, joints stylolitiques, fentes de tension...)**



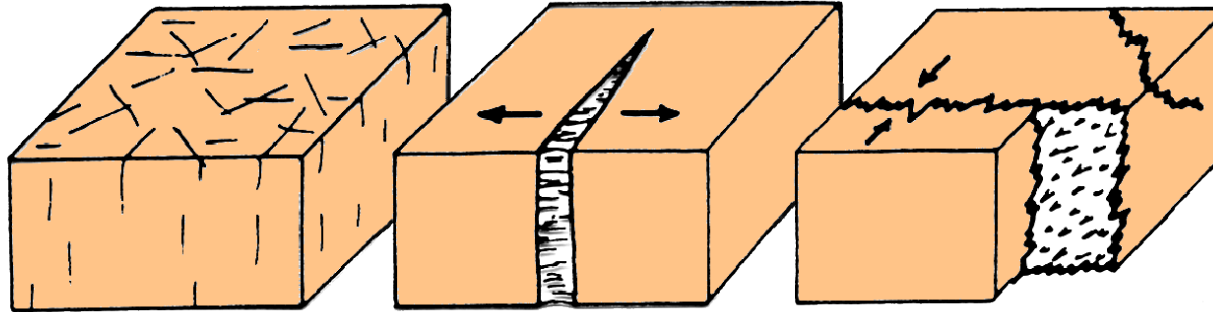
- 2- ruptures à déplacement important (failles, brèches, cataclasites...)**



→ **Fractures**

Définition :

Une fracture est une surface de discontinuité qui résulte de la rupture d'une roche ou d'un massif.

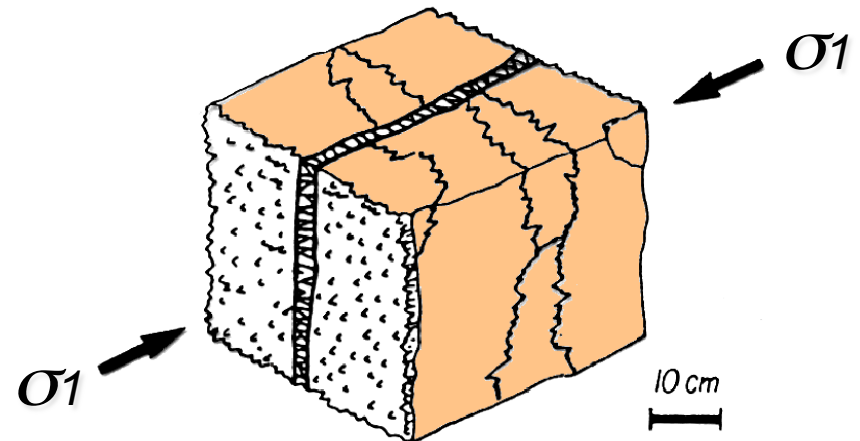
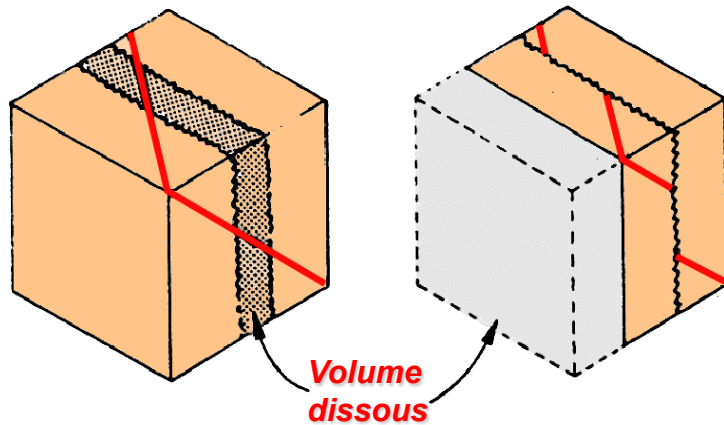


Nomenclature :

Diaclase = fracture sans déplacement des épontes

Fente de tension = fracture avec écartement des épontes

Joint stylolitique = fracture avec resserrement des épontes

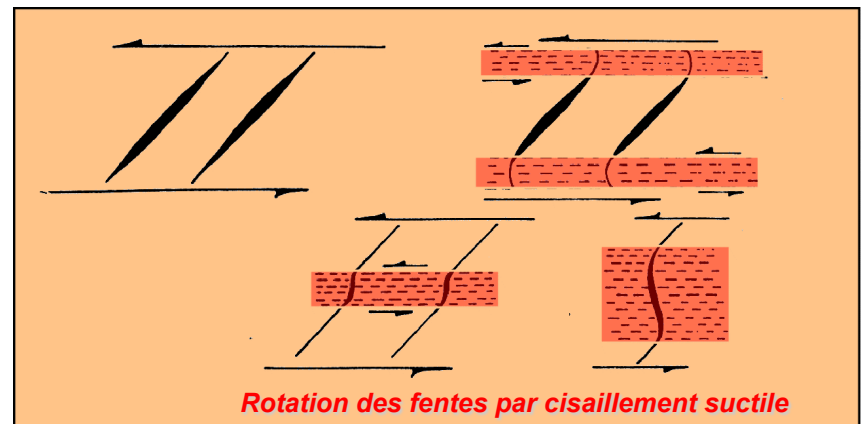
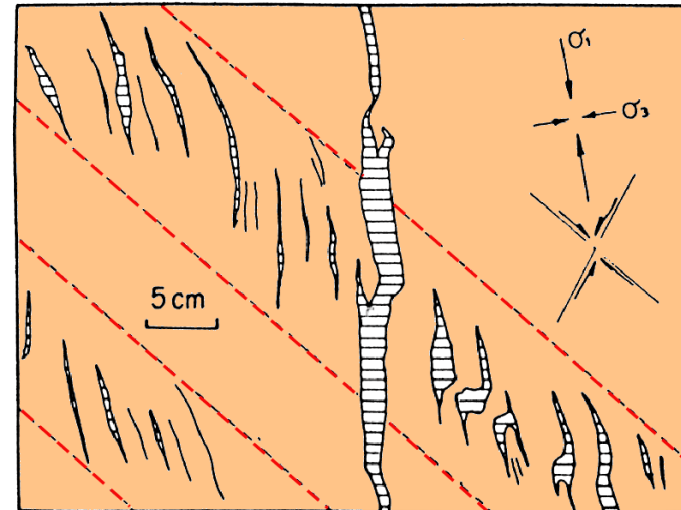
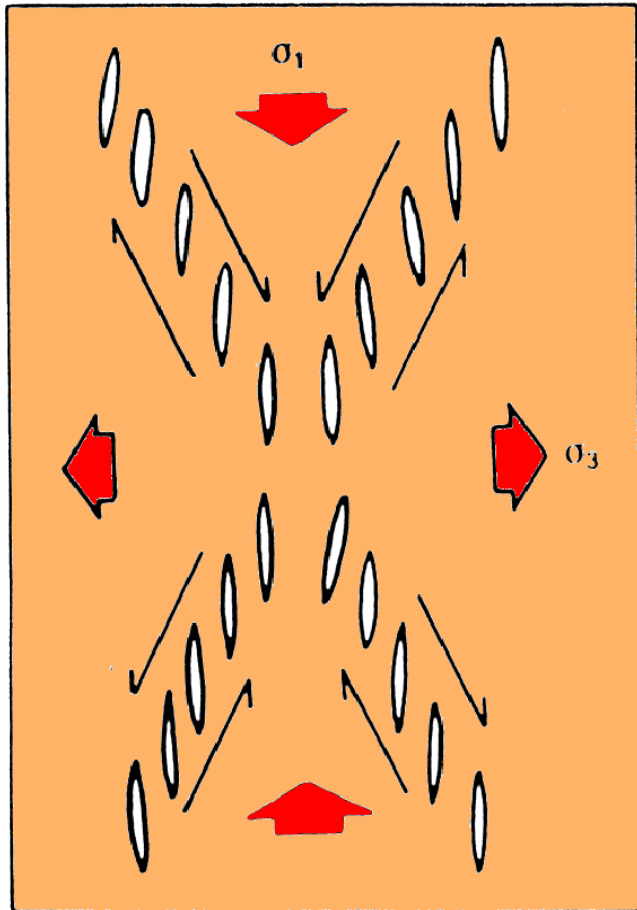


➔ **Fentes en échelon**

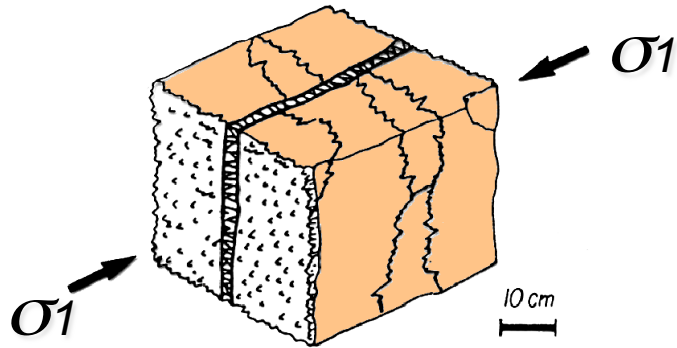
Définition :

Fractures disposées en échelon liées à une composante cisailante.

Marqueurs cinématiques importants.



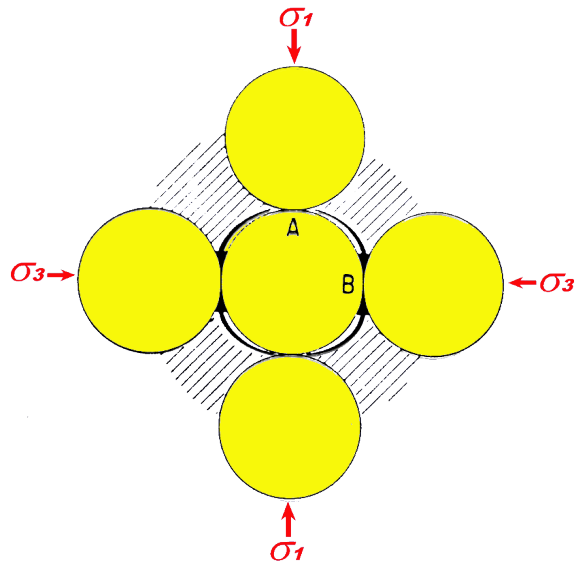
➔ **Dissolution-cristallisation**



Mécanisme dominant permettant de créer ces structures
- dissolution le long des joints stylolitiques
- cristallisation dans les fentes de tension.



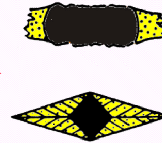
Se fait suivant 3 étapes :



DISSOLUTION

**TRANSPORT
FLUIDE**

CRISTALLISATION

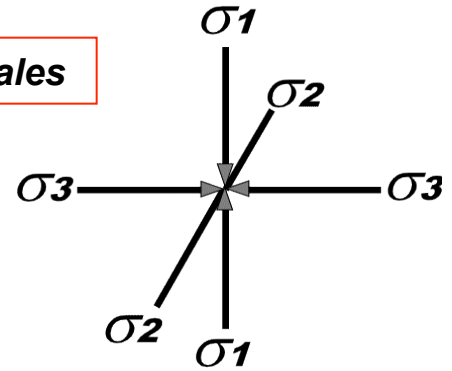


Mécanisme le plus lent
qui contrôle la cinétique

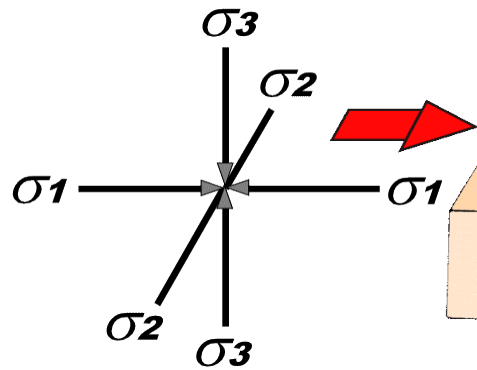
hors système

→ **Failles**

Failles normales



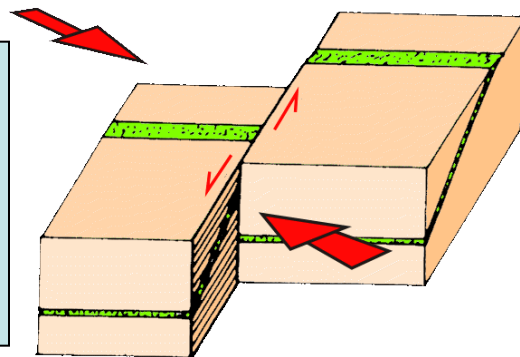
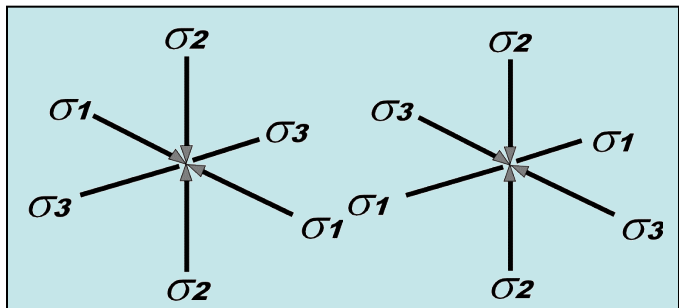
Failles inverses



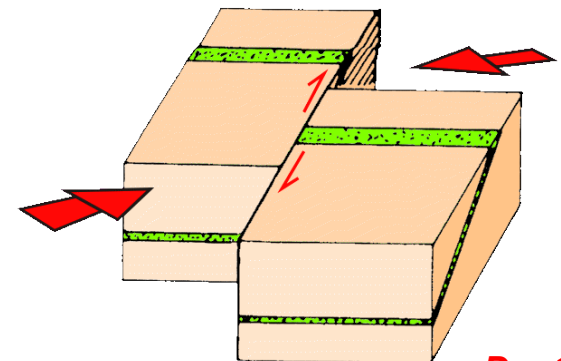
Position des axes de contrainte ?



Décrochements

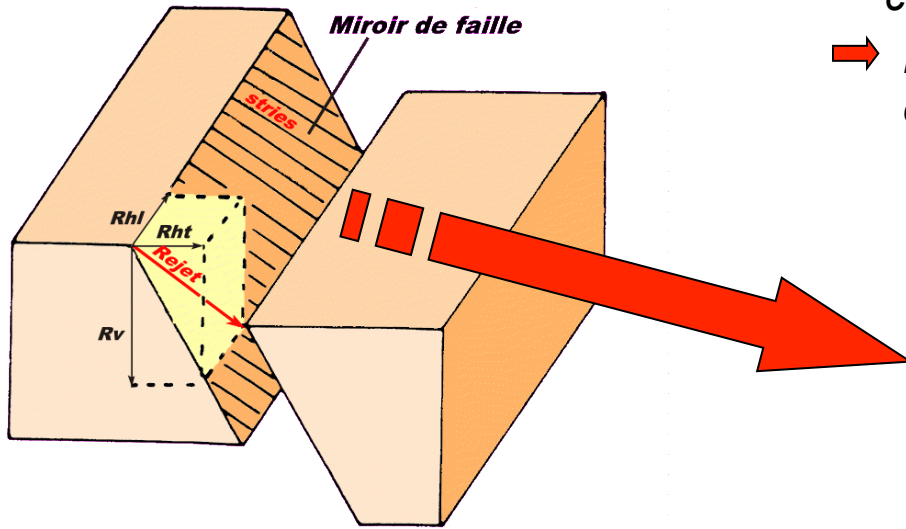


Senestre



Dextre

→ **Failles (suite...)**



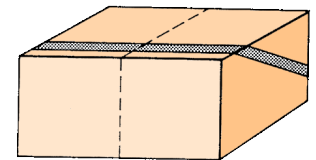
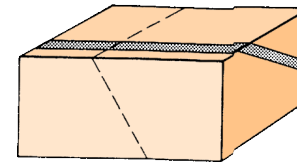
Généralement déplacement plus complexe combinant une composante décrochante.

→ Mouvement décrocho-extensif, rejet de la faille oblique sur le miroir.

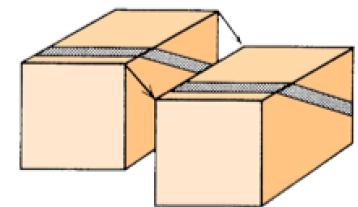
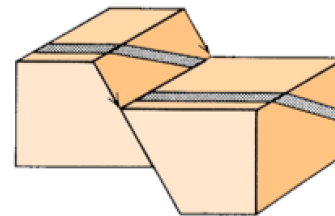


→ Attention aux mouvements apparents artefacts liés à l'érosion

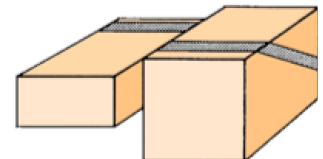
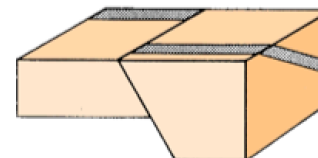
1- avant FAULTING



2- après FAULTING

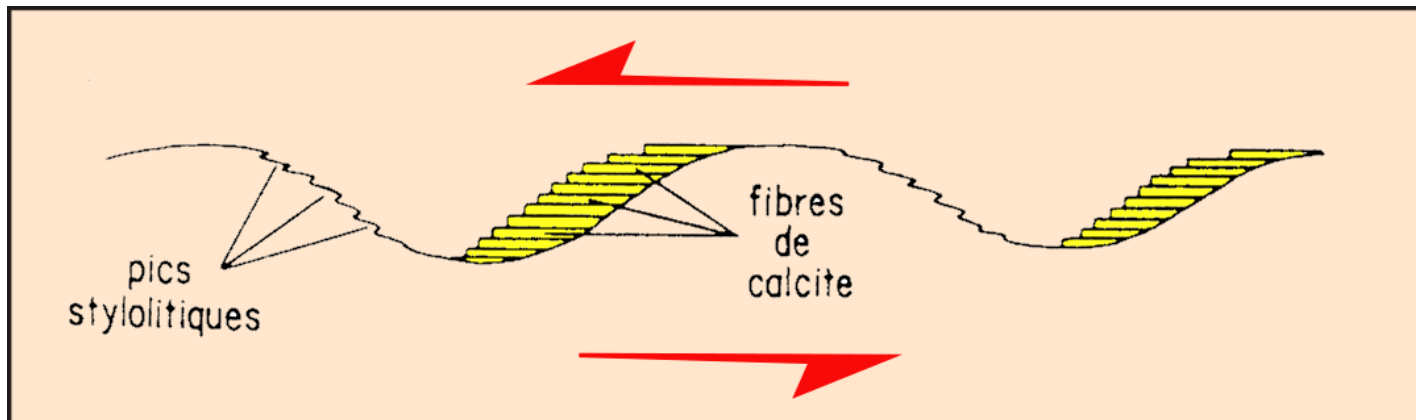
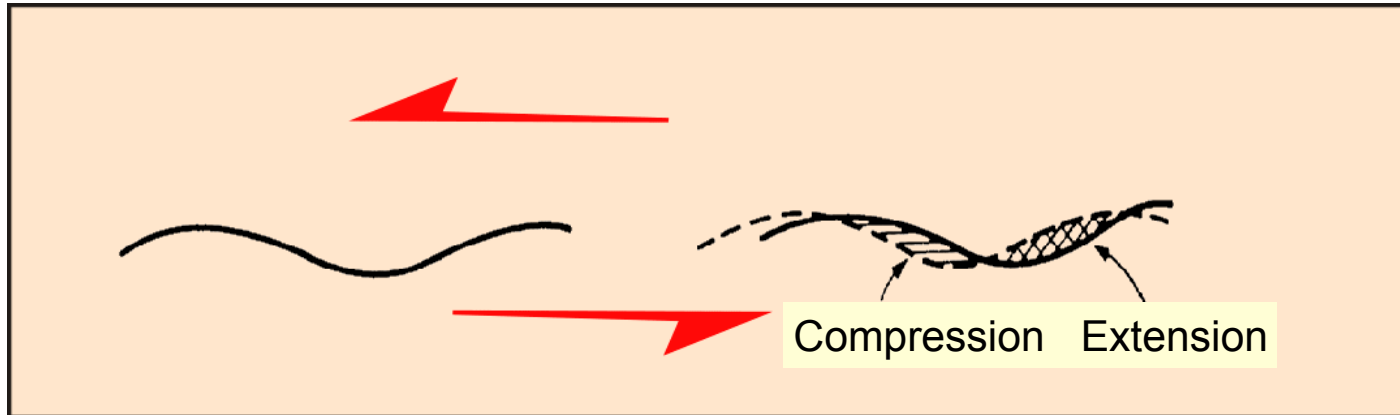


3- après EROSION



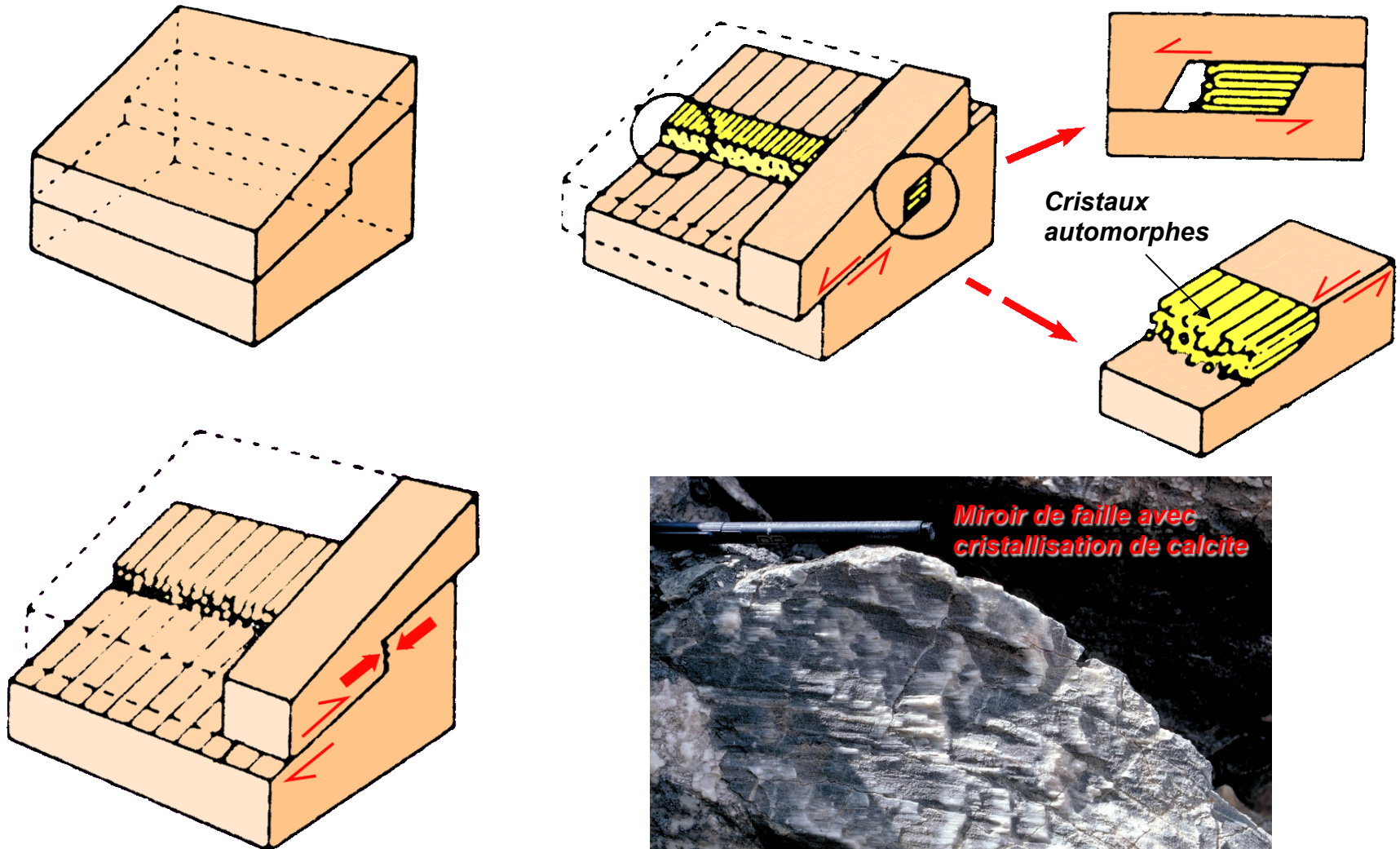
→ *Structures internes des failles*

→ *Surface de faille généralement non plane*



→ *Microstructures indicatrices du mouvement*

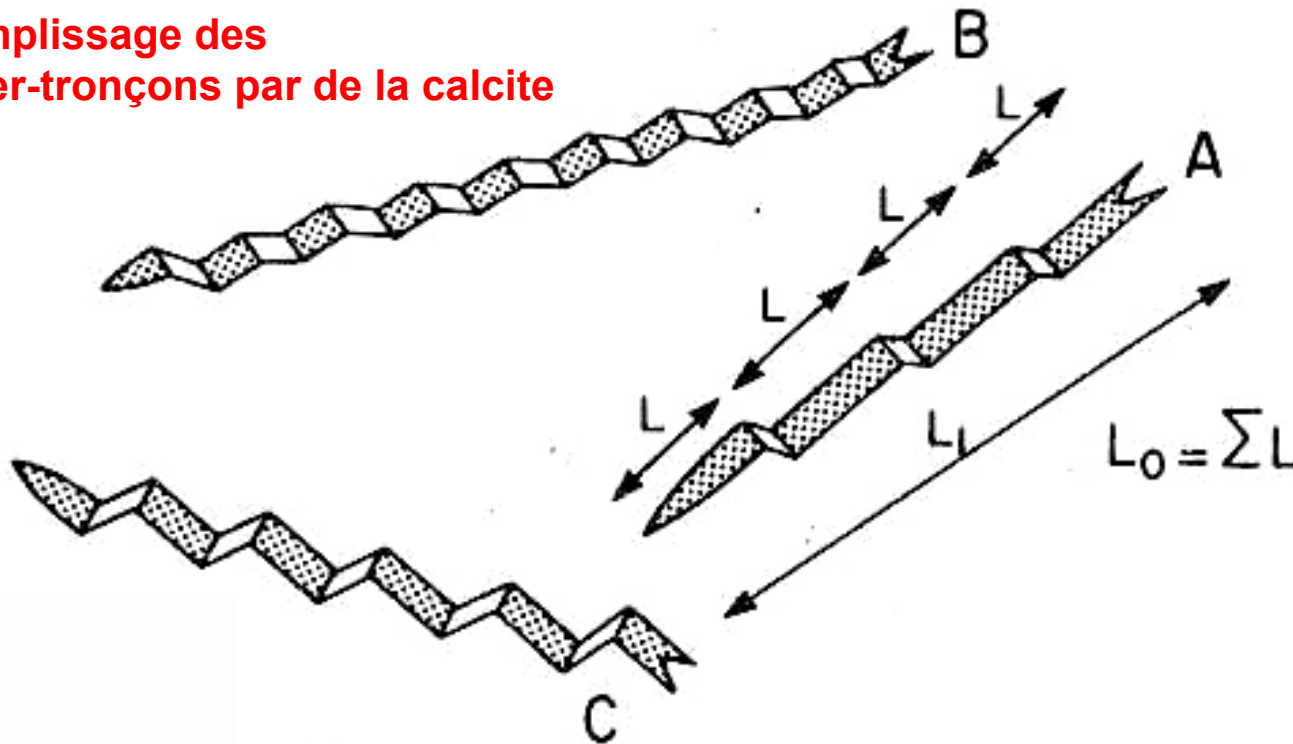
→ Analyse microstructurale du déplacement



→ Structures liées à de l'étirement

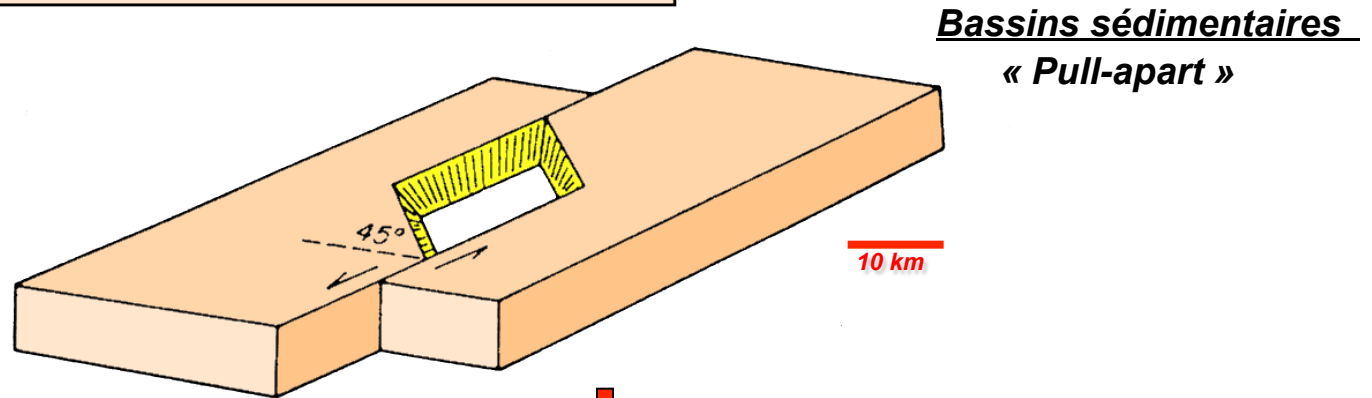
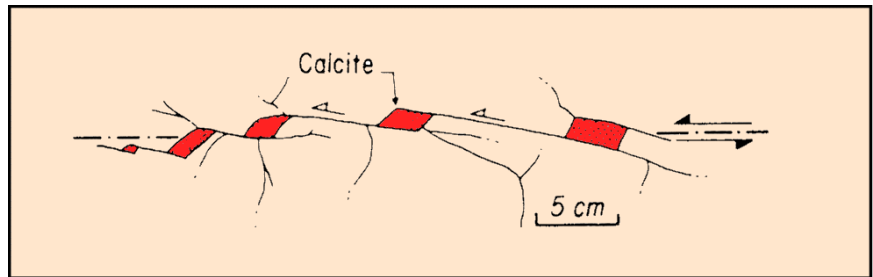
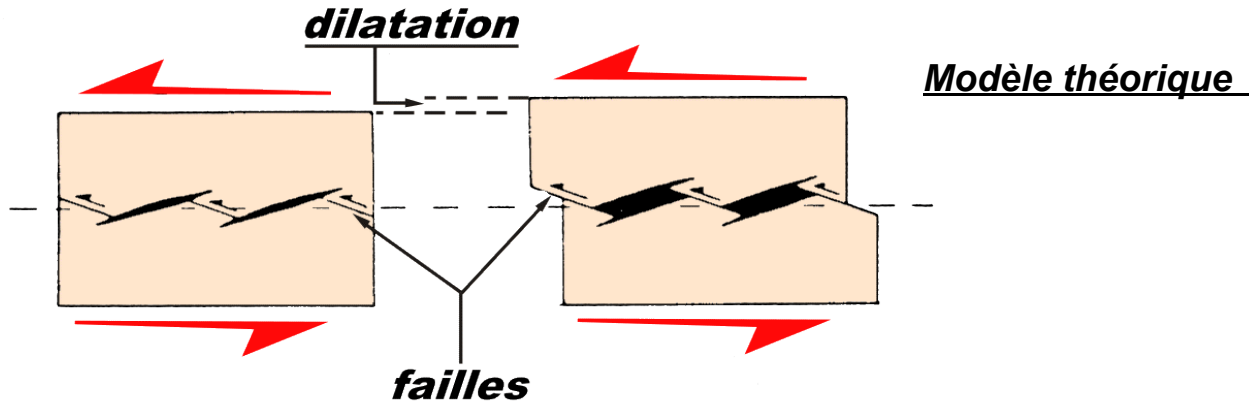
Exemple de Belemnites étirées

remplissage des
inter-tronçons par de la calcite



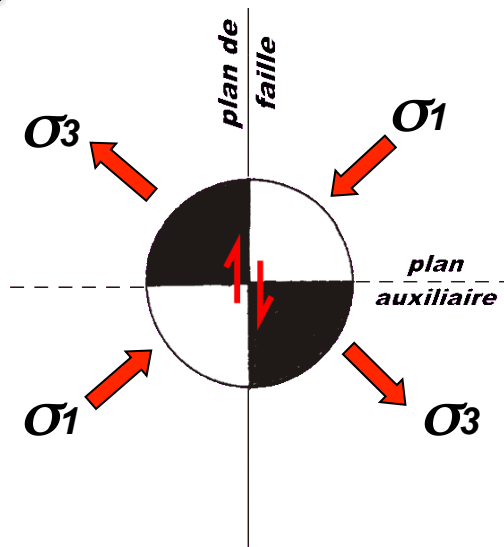
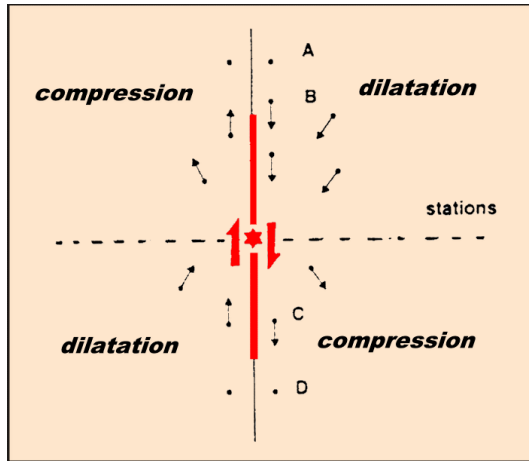
Estimation d'une quantité d'étirement $Dl/l = (L1-L0)/L0$

→ Structures d'extension liées à des failles non planes

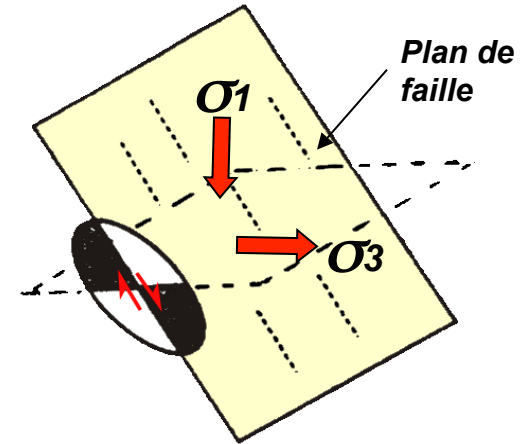


↳ **Principe d'homothétie des structures en géologie**

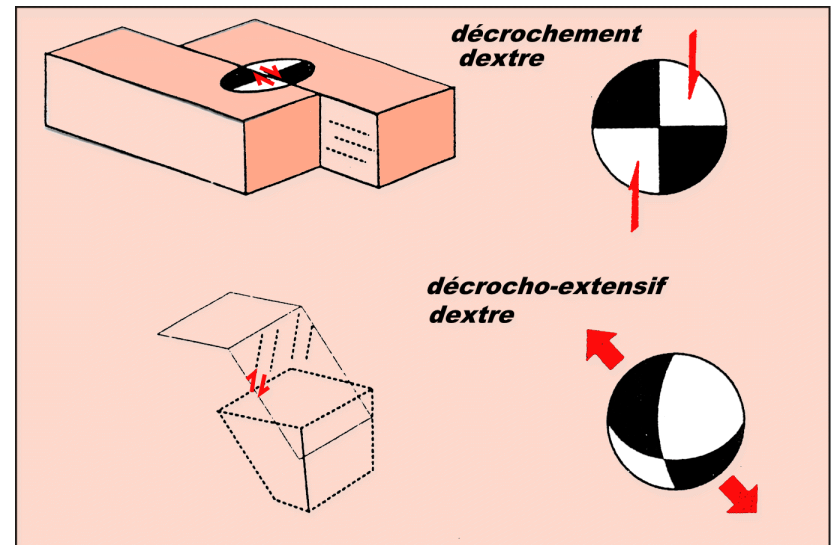
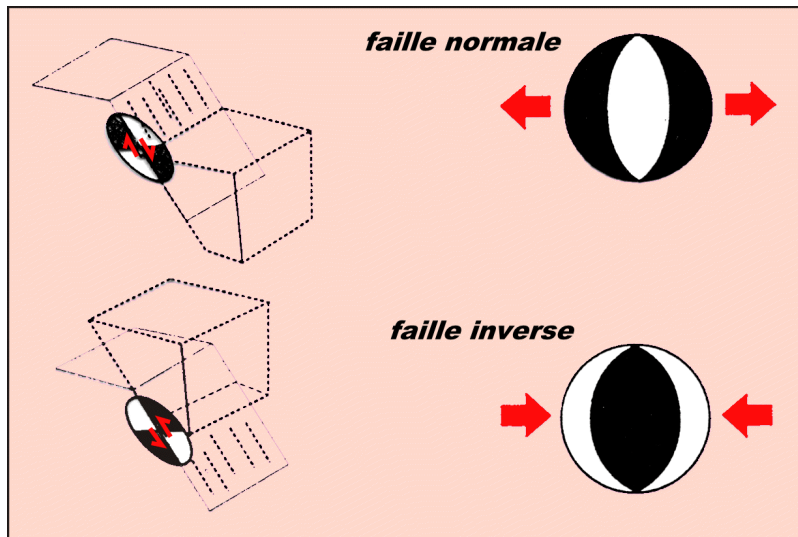
➔ Mécanismes au foyer



Pour une faille normale :

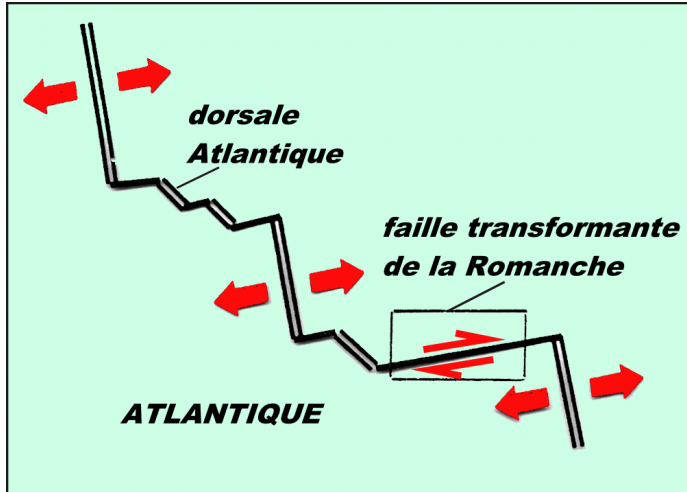


Représentation stéréographique :

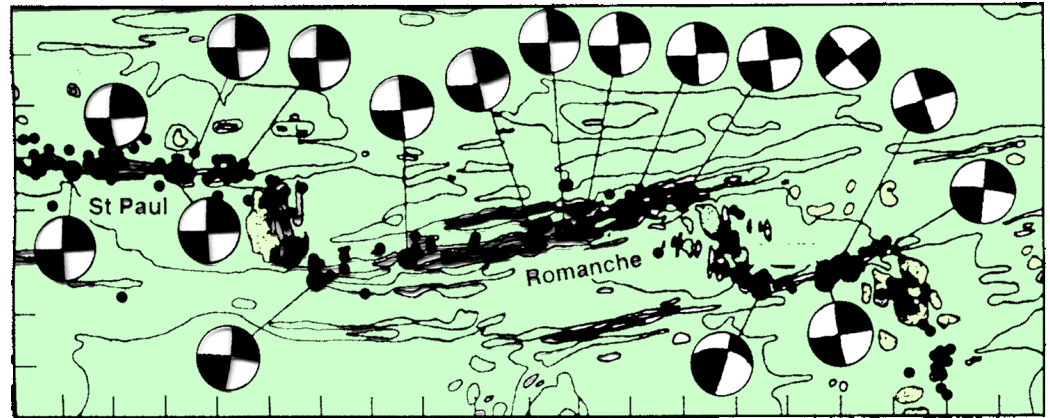


➔ *Exemple faille transformante de la Romanche*

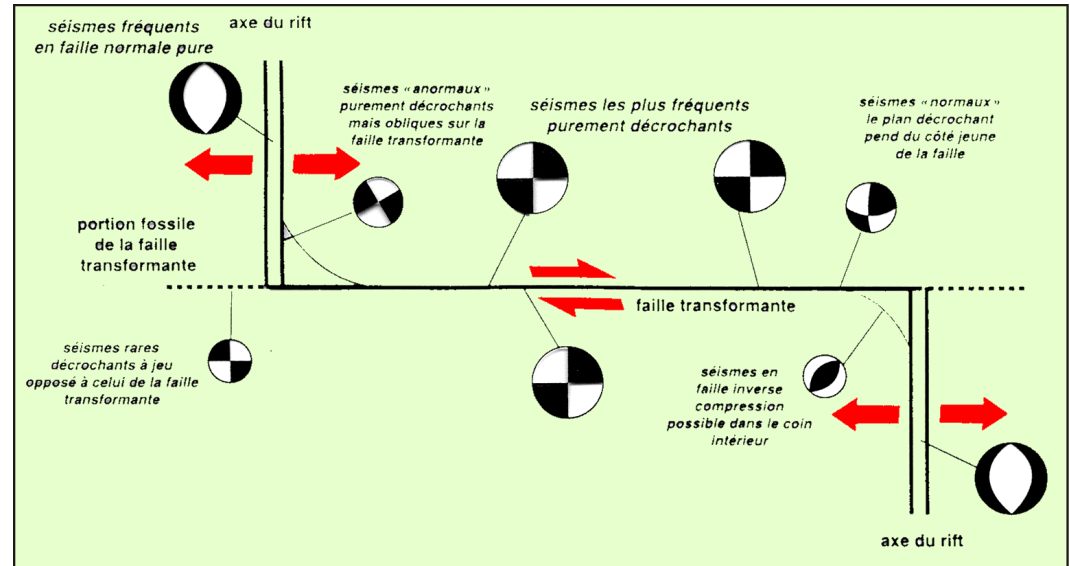
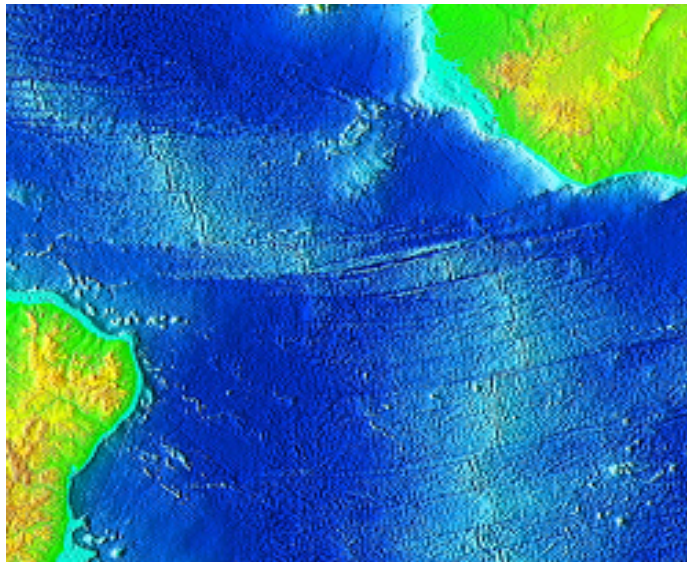
Localisation



Séismes enregistrés et mécanismes calculés



Modèle théorique du fonctionnement de la Romanche



Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→4. Eléments d'analyse tectonique

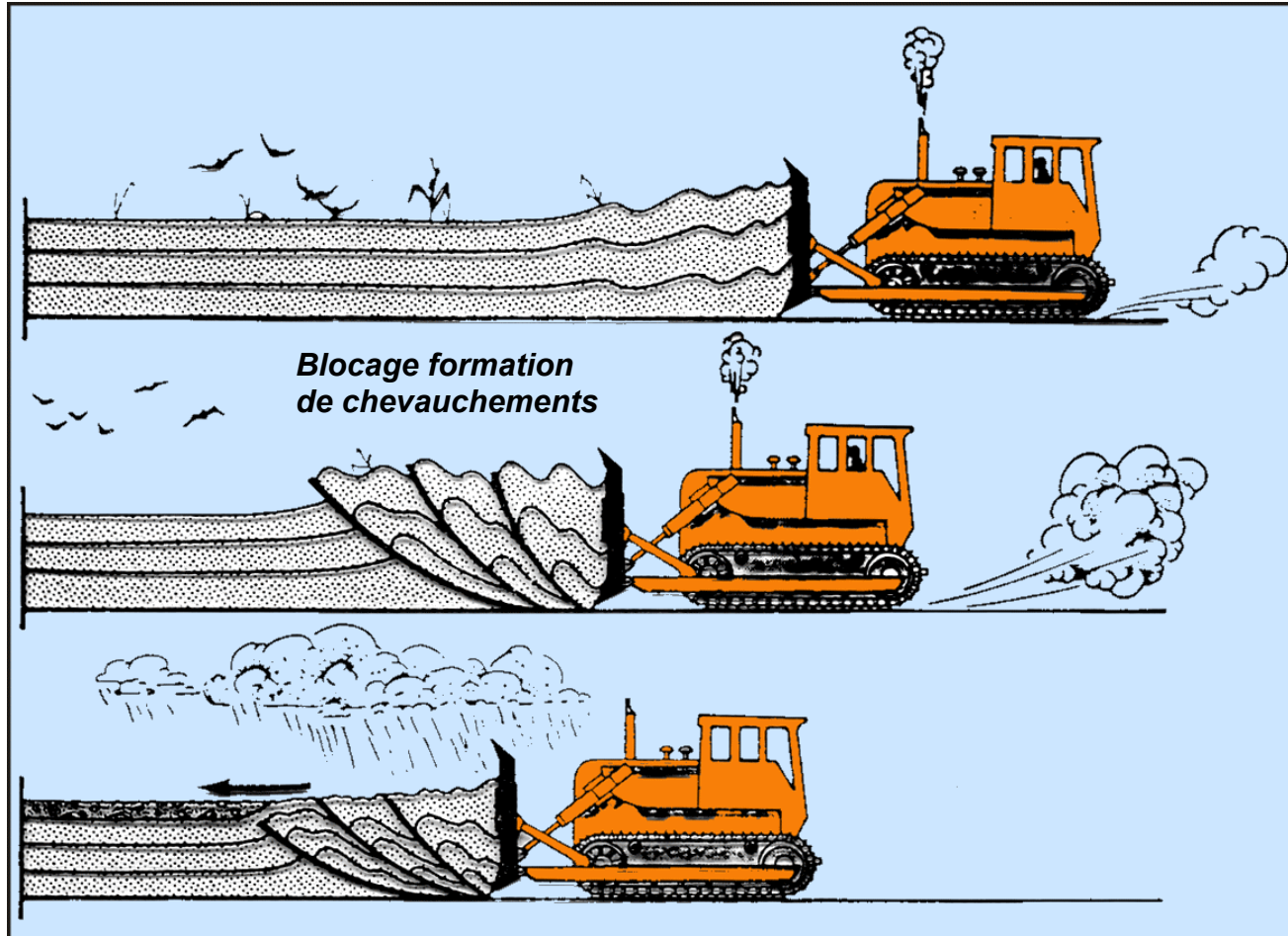
→ 4-1. Description et représentation des structures tectoniques

→ 4-2. La déformation cassante

→ 4-3. La déformation ductile

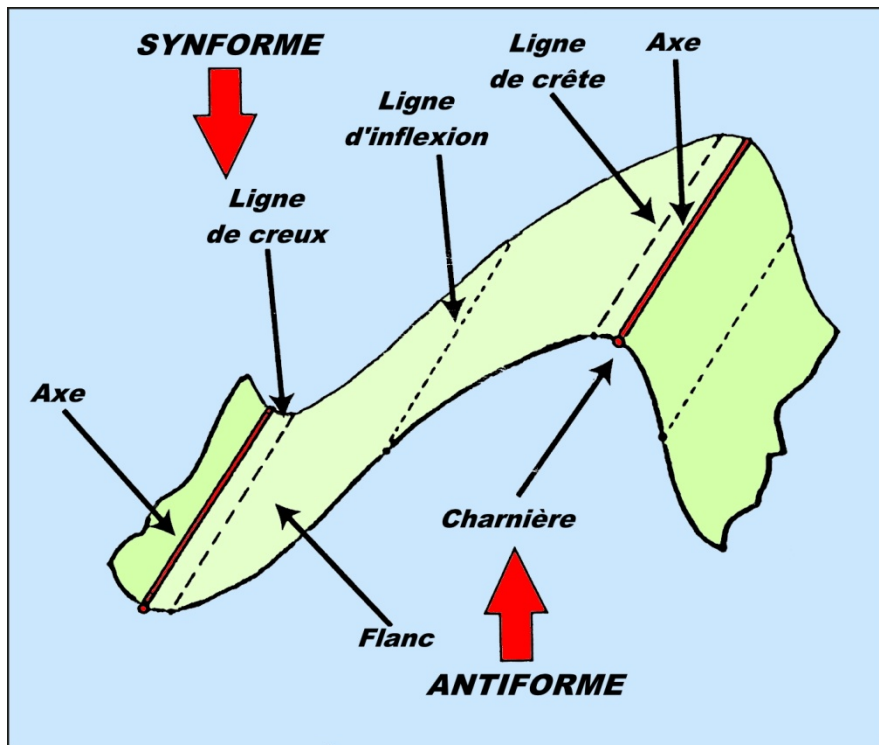
→ *La déformation ductile*

Les principales structures ductiles sont des plis qui accommodent le raccourcissement lié à du déplacement.

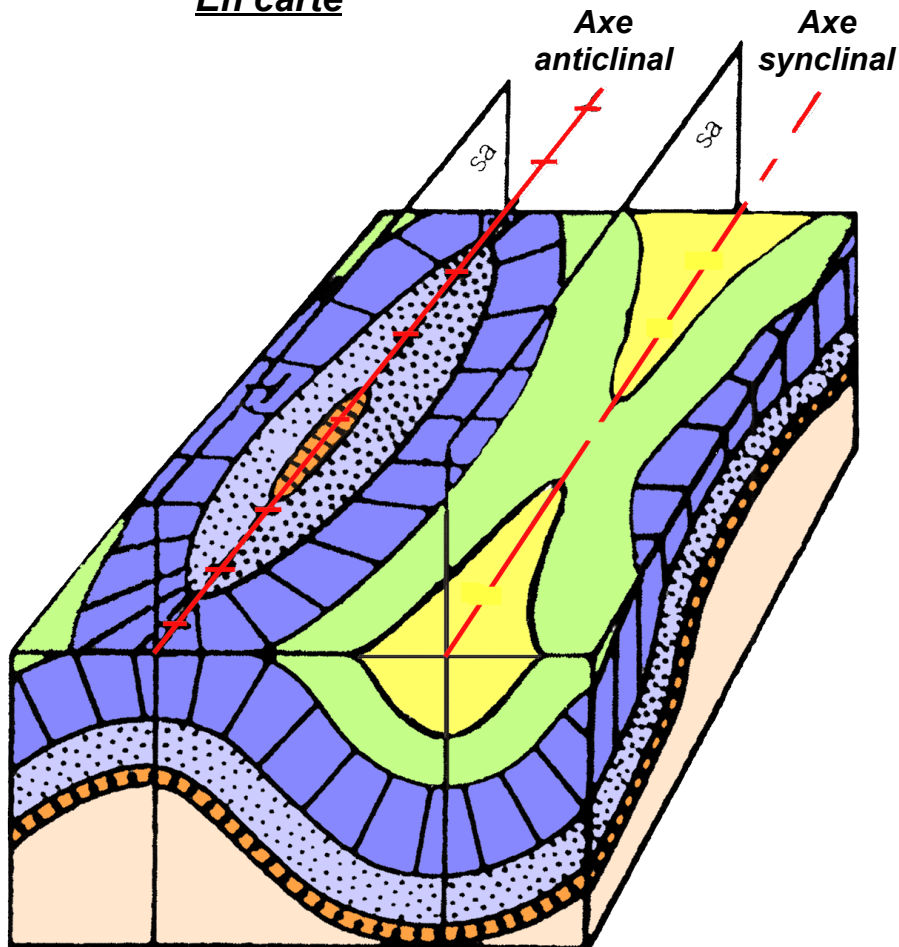


➔ Les plis

Nomenclature

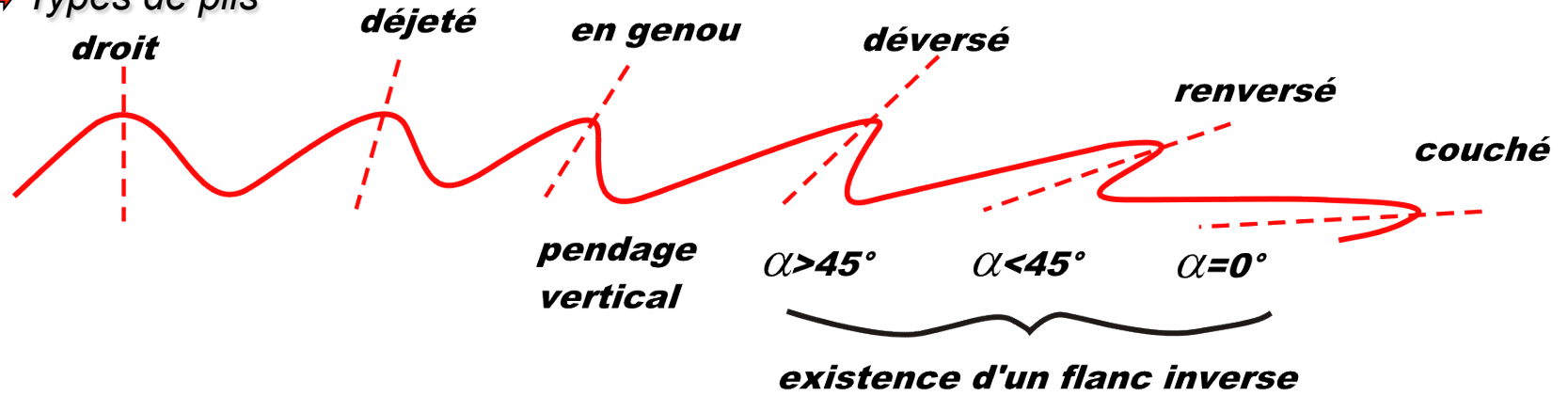


En carte



➔ Attention aux relations topographie axes de plis...(combe, synclinal perché)

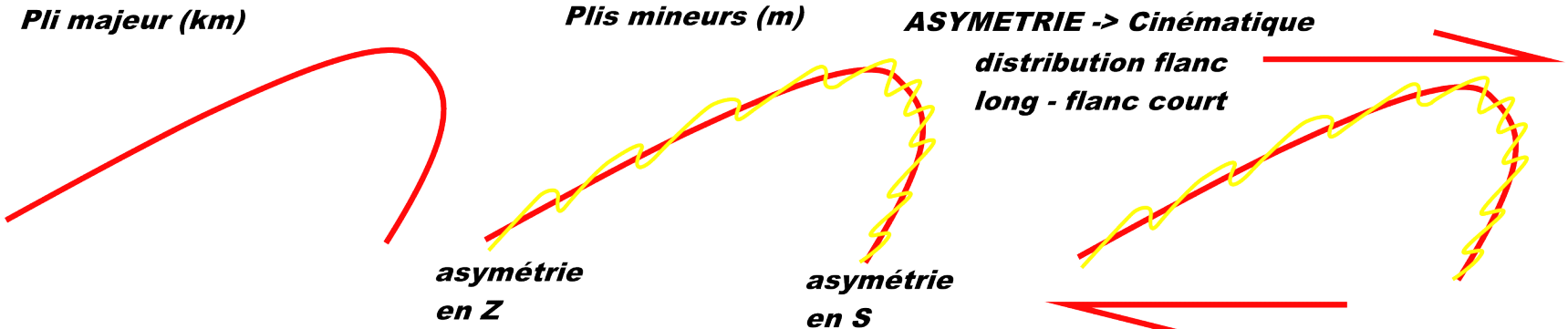
➔ Types de plis



➔ Types définis d'après la forme de la surface plissée

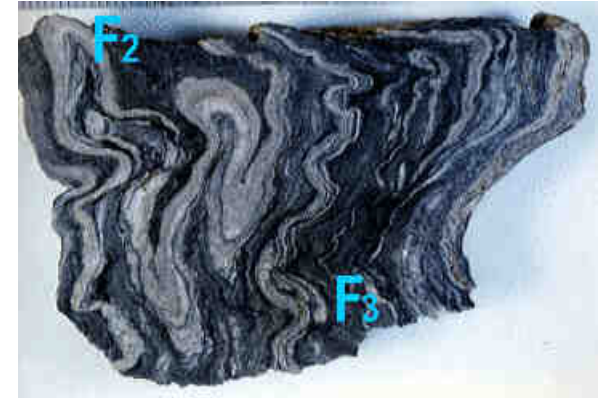


➔ Enchaînements de plis

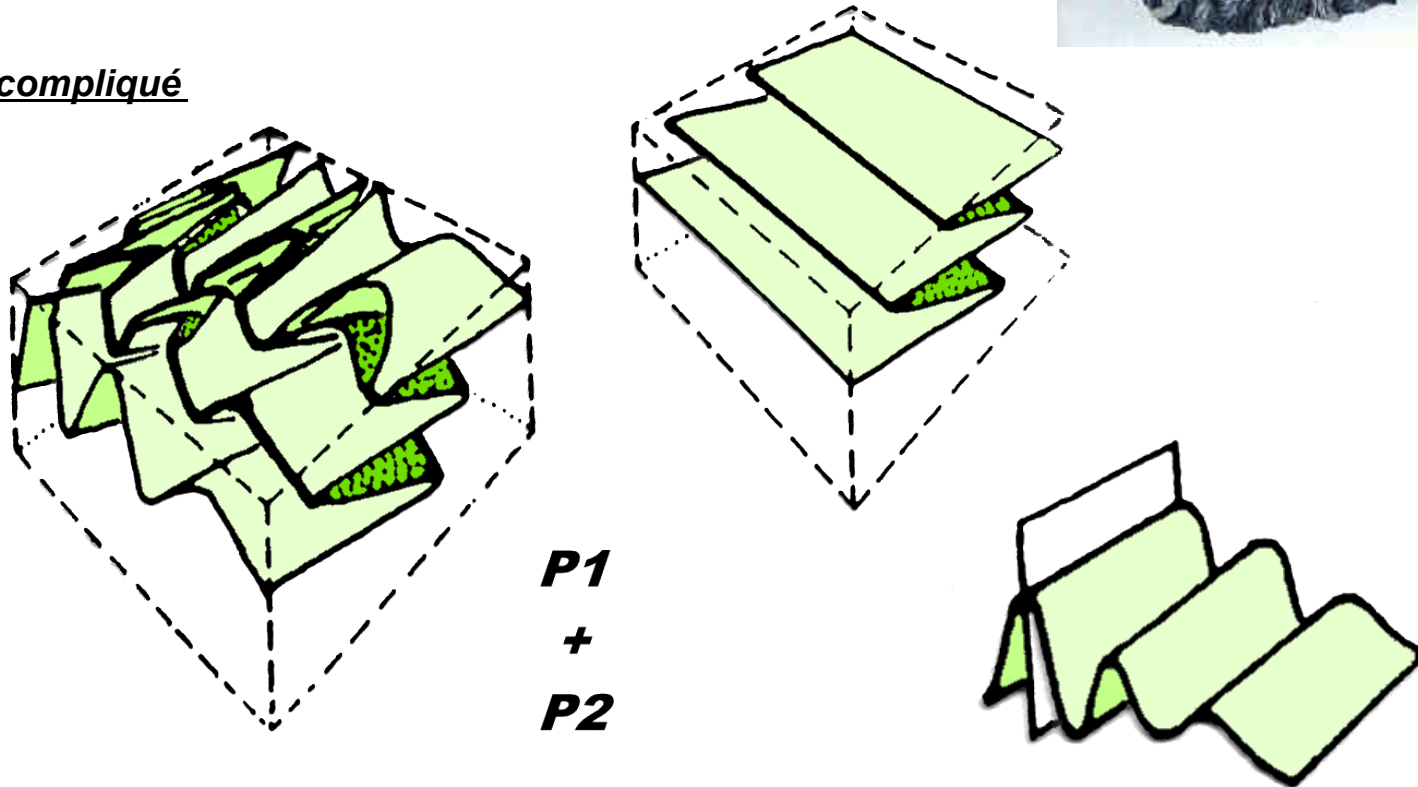


➔ *Plis superposés ou plis replissés*

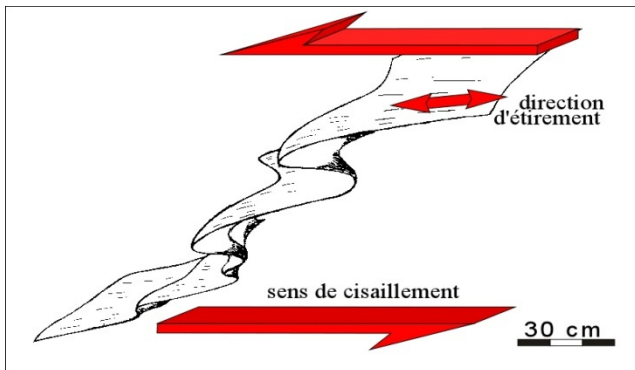
Cas simple



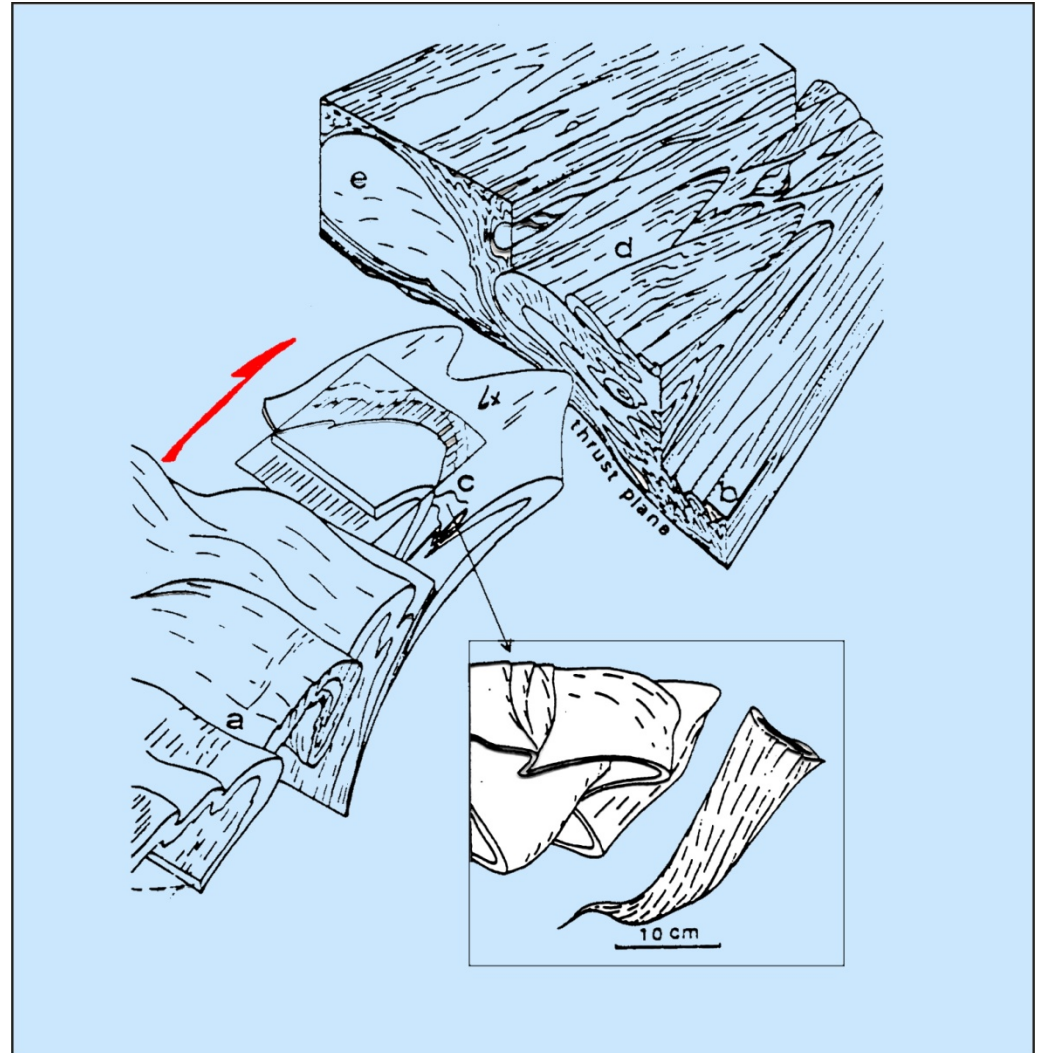
Cas plus compliqué



➔ Plis en fourreau



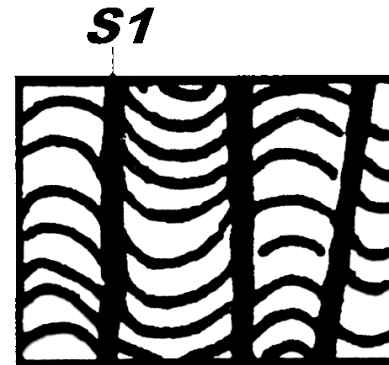
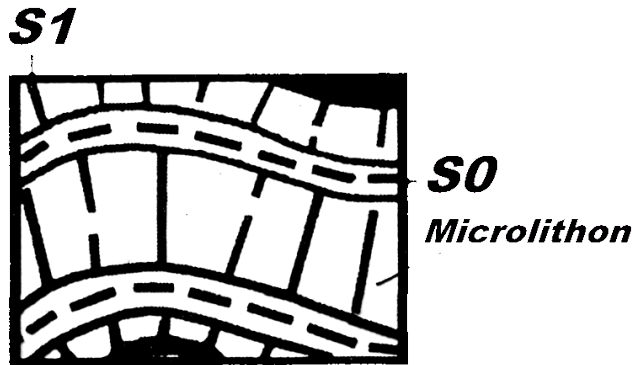
Composante cisillante forte réorientant l'axe du pli // au déplacement



➔ Schistosité et foliation

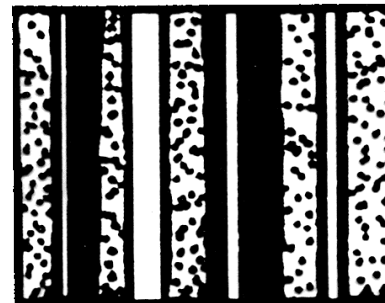
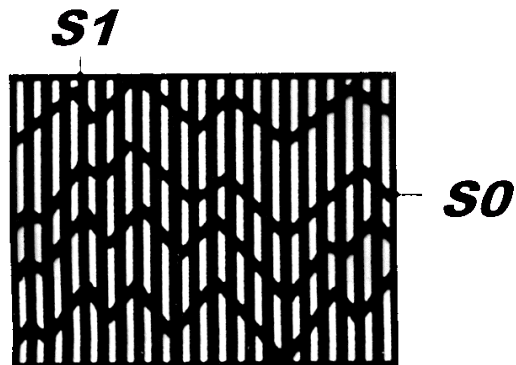
schistosité de fracture

schistosité de crénulation



Schistosité de flux

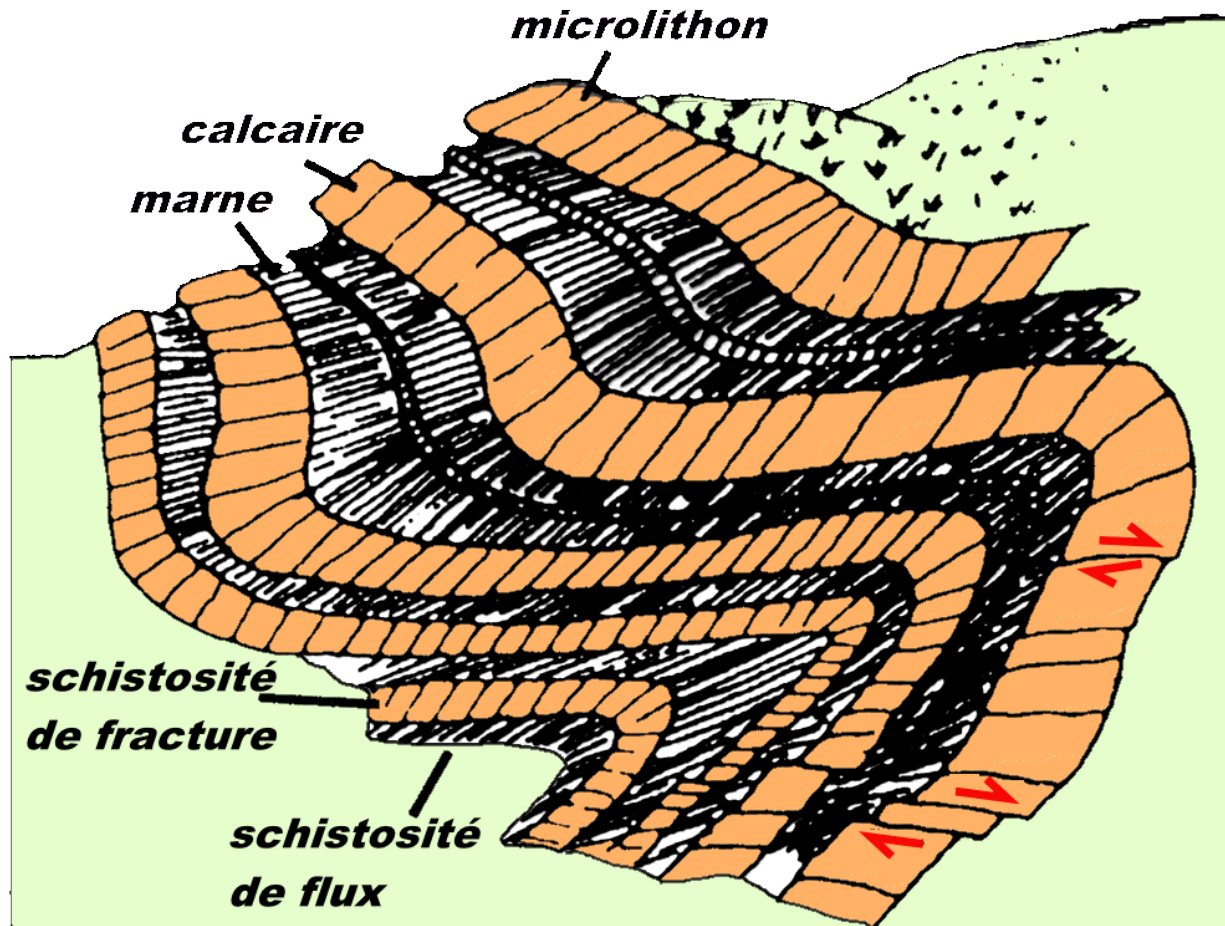
foliation



La schistosité correspond à un plan d'aplatissement (XY) matérialisé par de la **dissolution** ou par de la **crystallisation de nouveaux minéraux (matémorphiques)**.

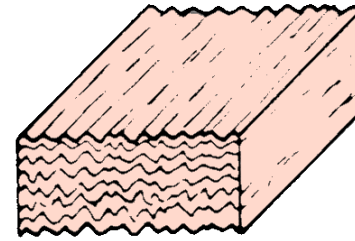
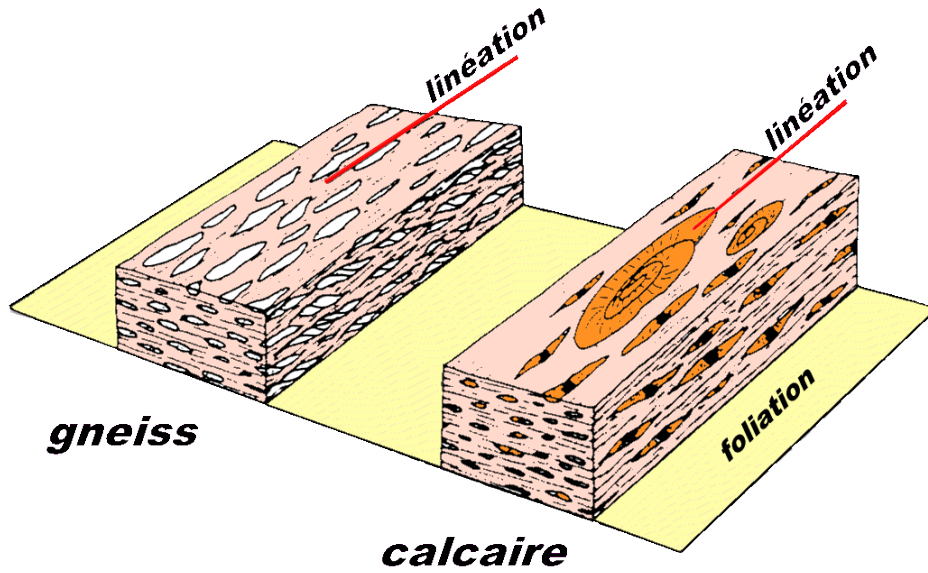
→ Relation schistosité / plis

Différents types de schistosité dans une séquence marno-calcaire plissée

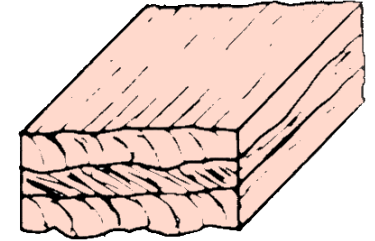


Réfraction de la schistosité dans les niveaux compétents (calcaires)

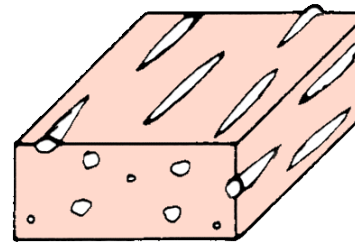
→ **Linéation**



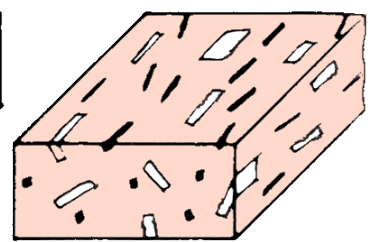
microplis



intersection

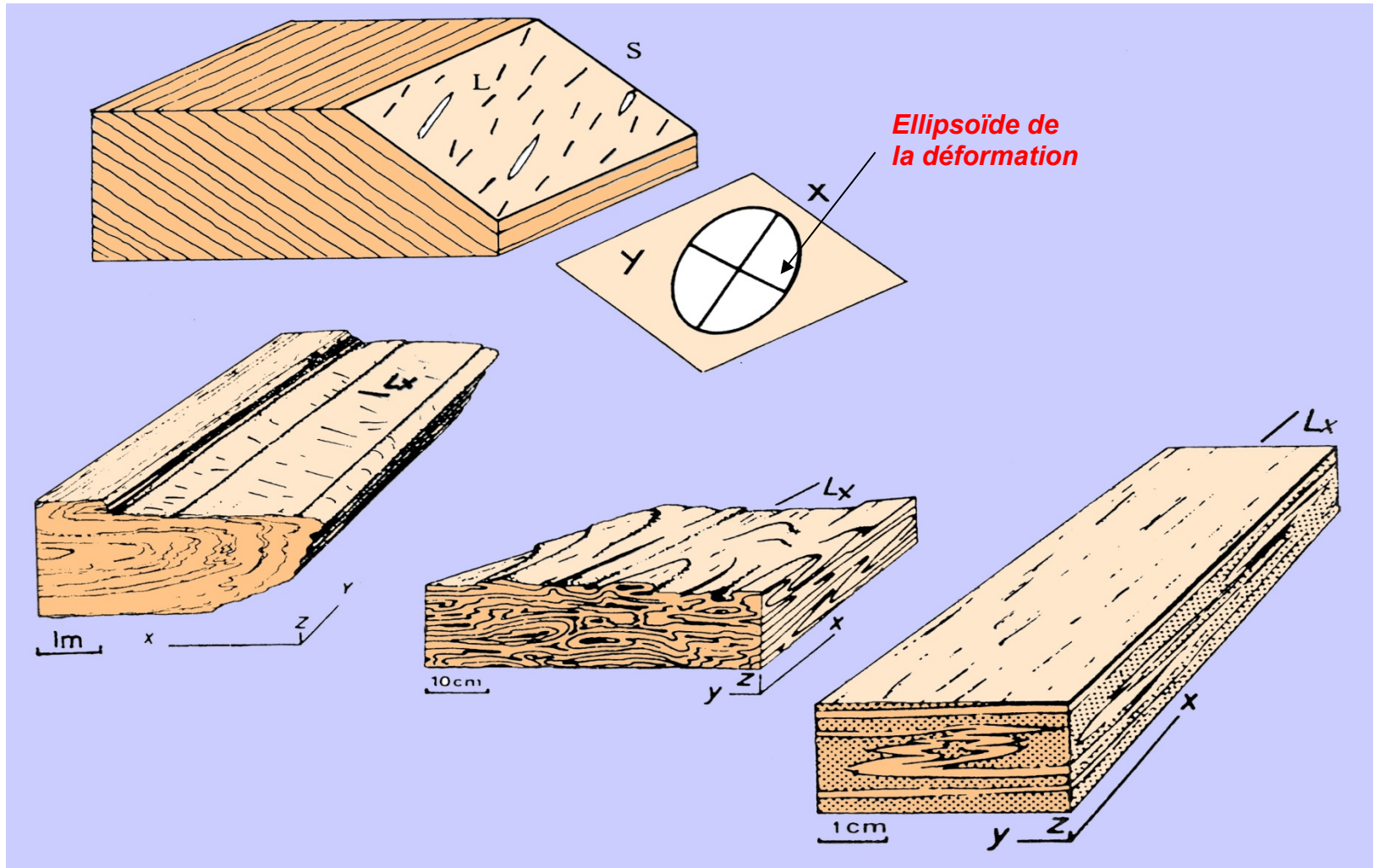


allongement

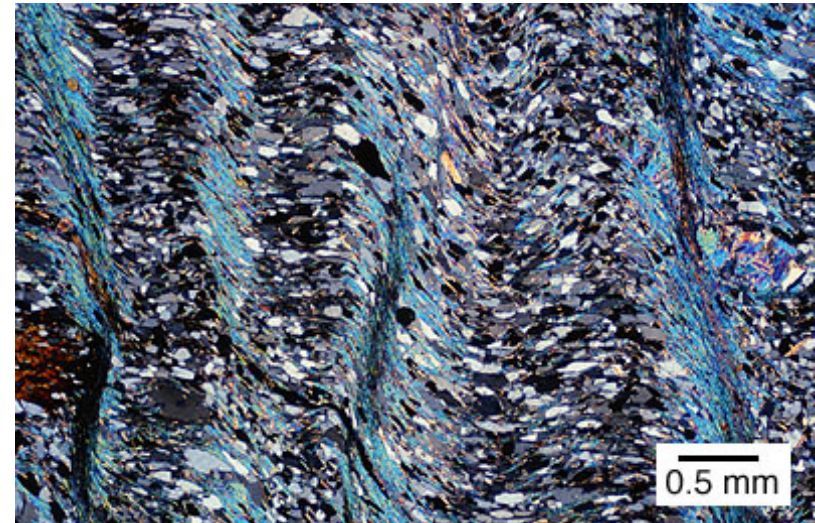
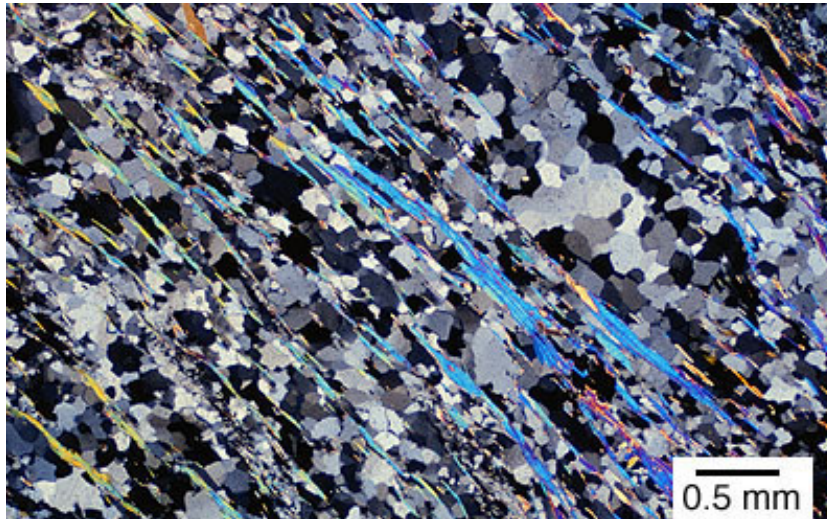
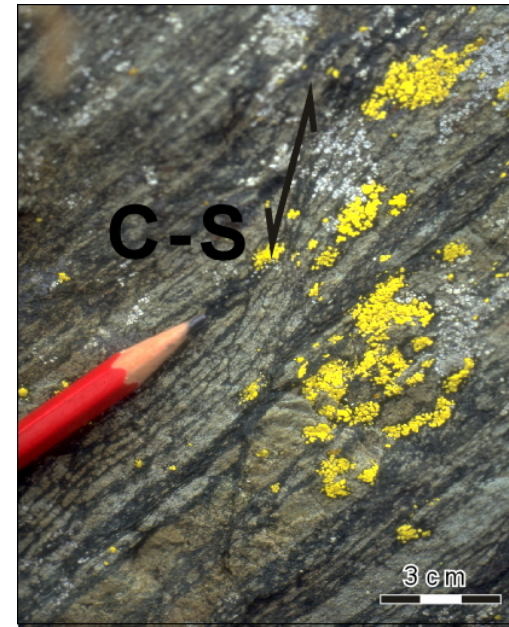
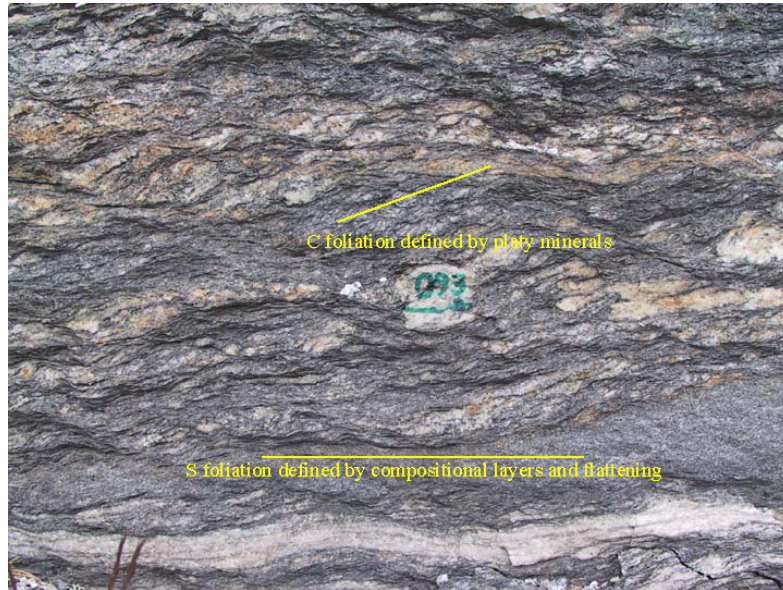


minérale

➔ Relation Linéation et déformation

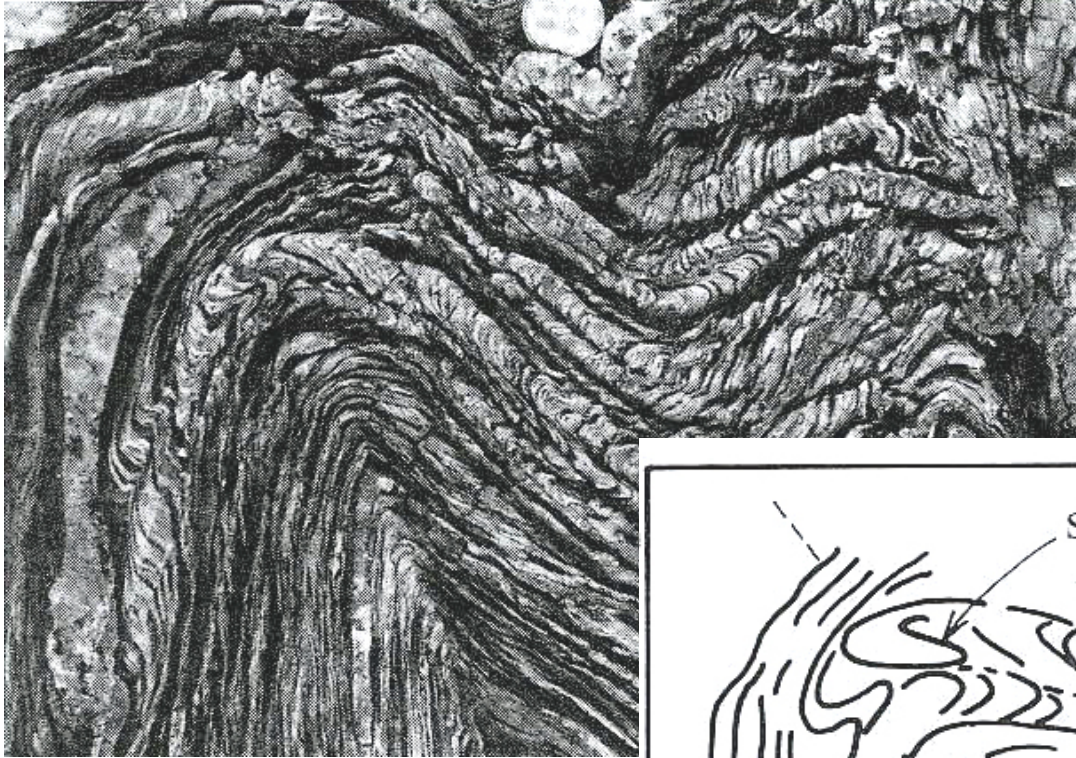


→ Structures cisailantes C_s (structures extensives)

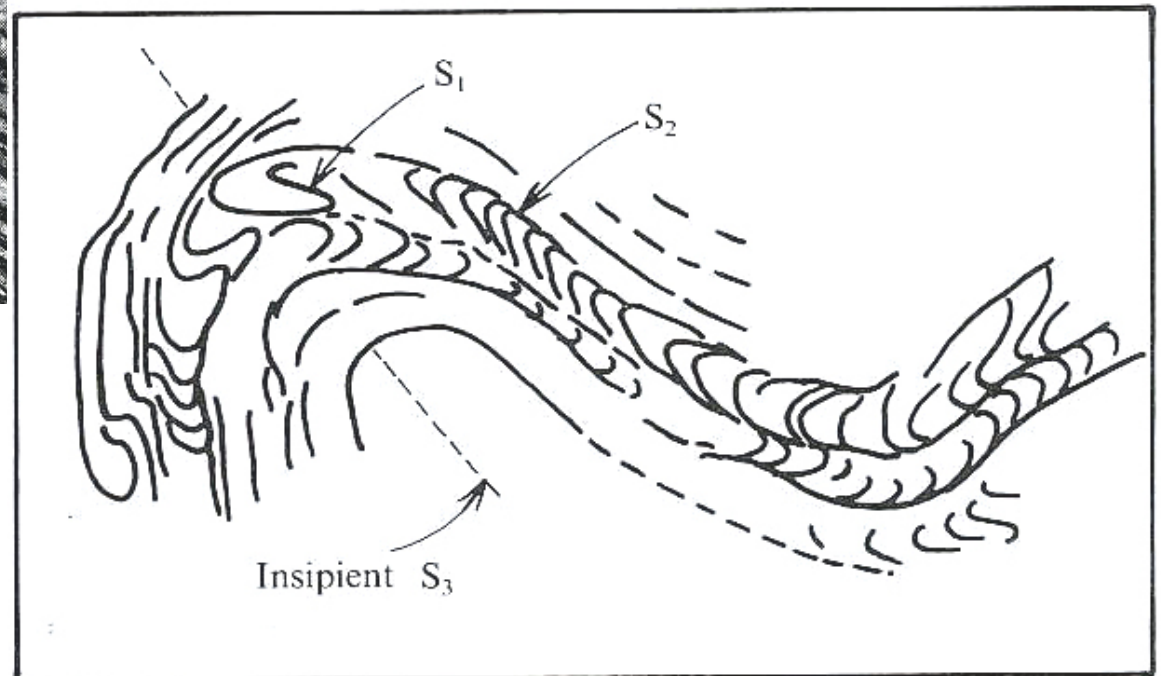


→ Déformation polyphasée

Quelle est la chronologie?



**succession de 3 étapes
de déformation**



IV. La déformation des roches

→ 1. Aspects théoriques

→ 2. Mécanismes de déformation

→ 3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→ 4. Éléments d'analyse tectonique

→ 5. Relation avec la tectonique des plaques

Géologie Générale
Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

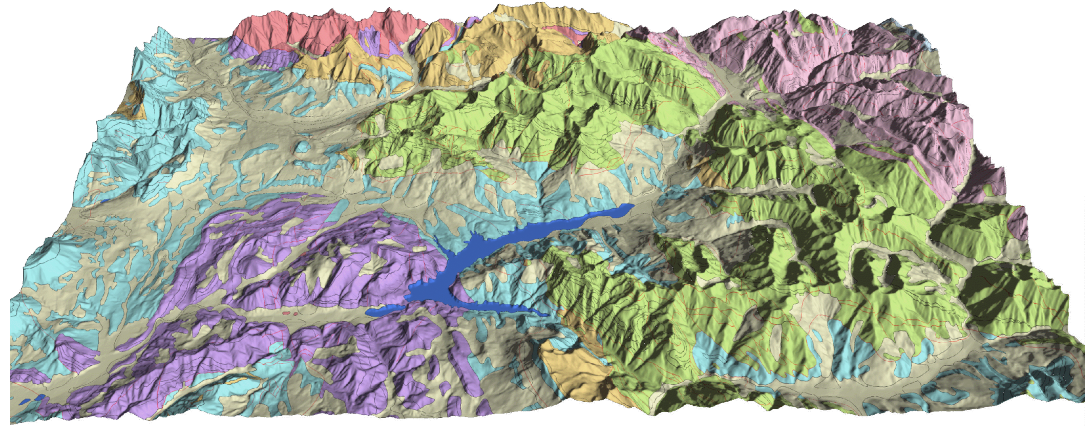
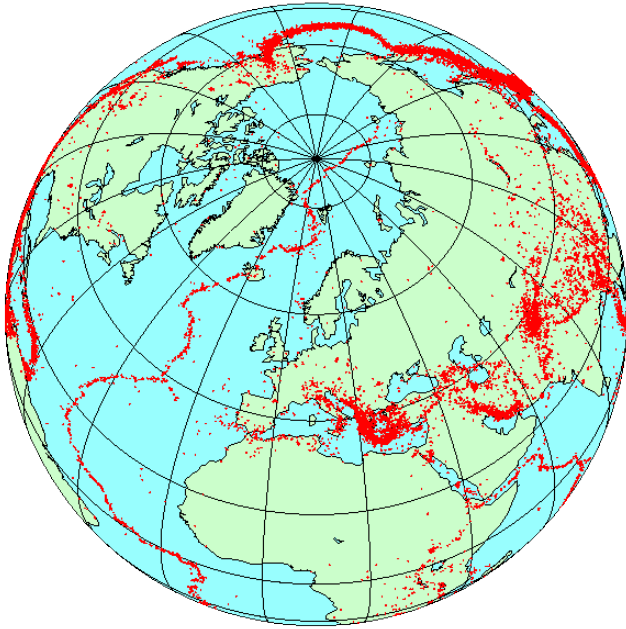
→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

→4. Eléments d'analyse tectonique

→5. Relation avec la tectonique des plaques

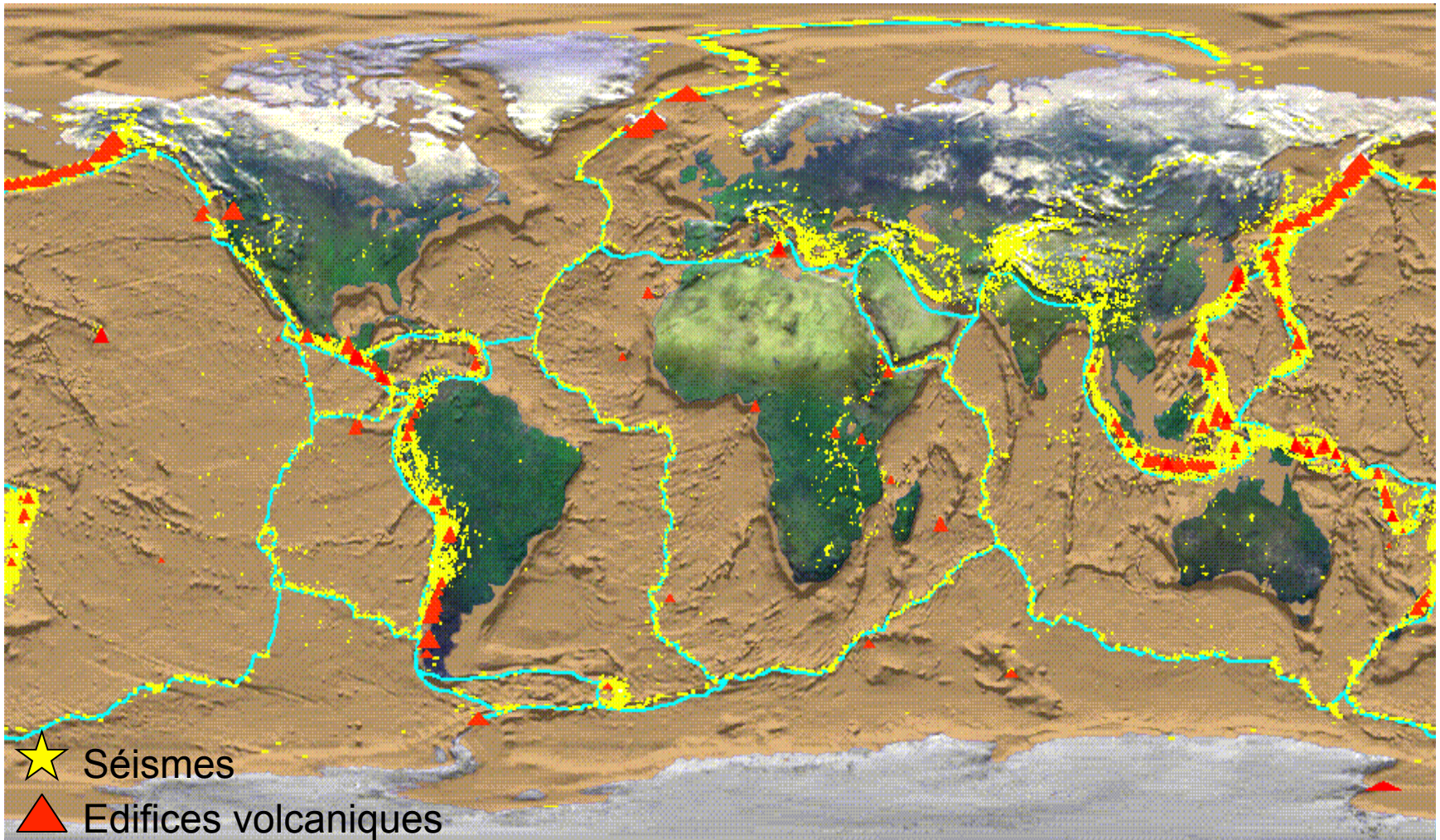
→ 5-1. Les différentes limites de plaque

→5-2. Association des principales structures et leurs relations géométriques



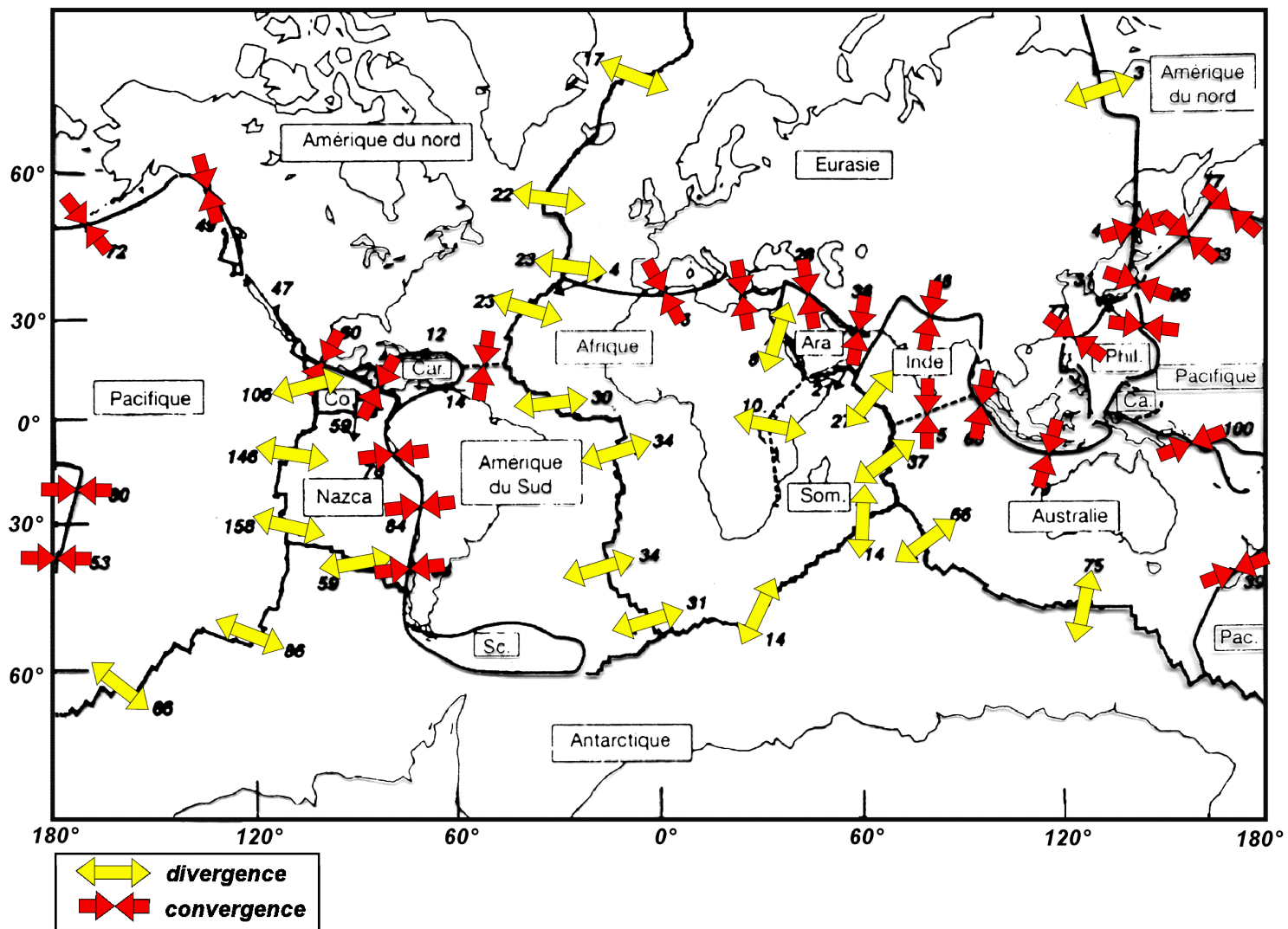
qu'est ce une zone déformée ?

- Zone où l'on observe → sismicité et magmatisme
- Zones instables concentrées en limite de plaque
- ➔ déformation liée à la tectonique des plaques

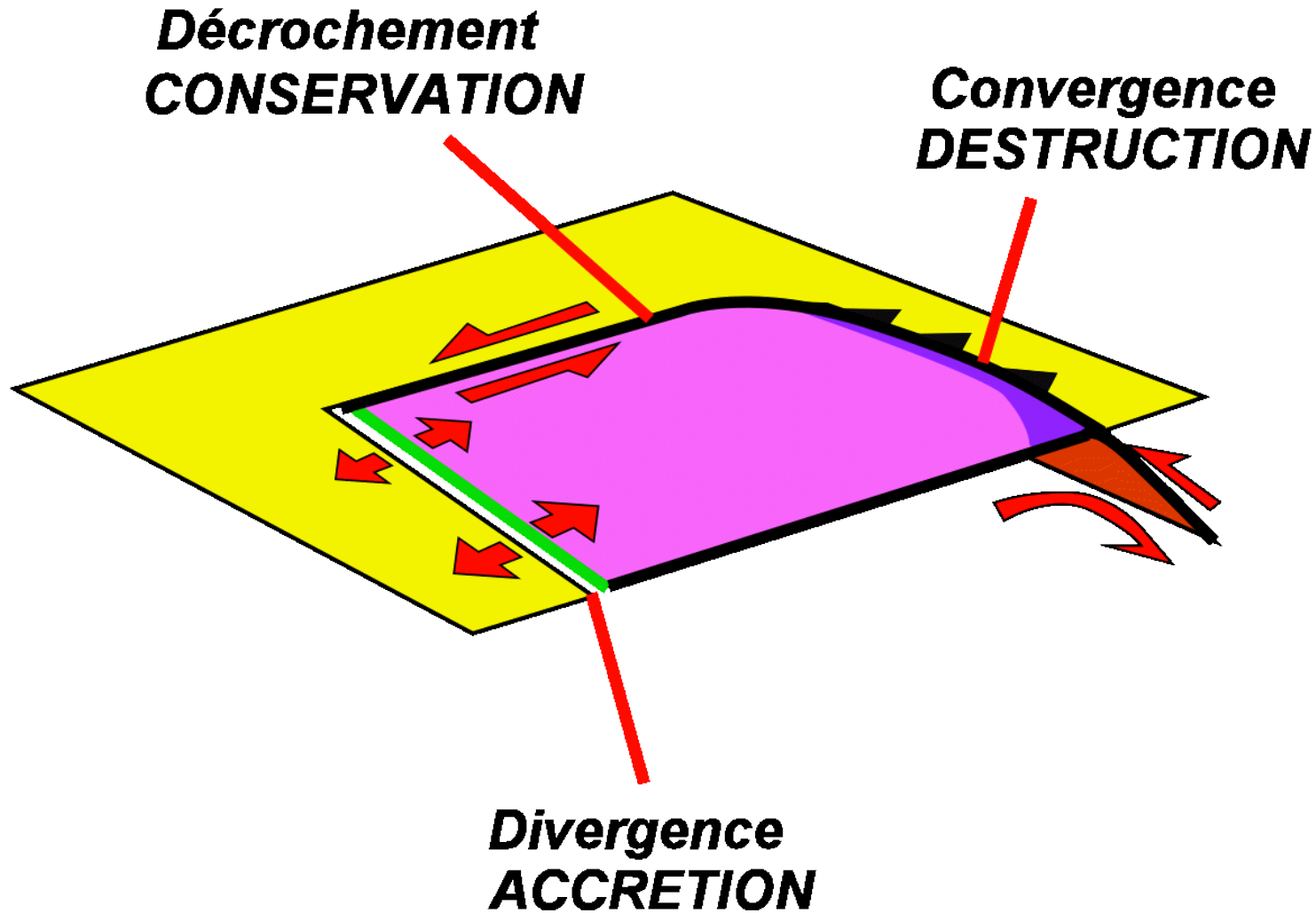


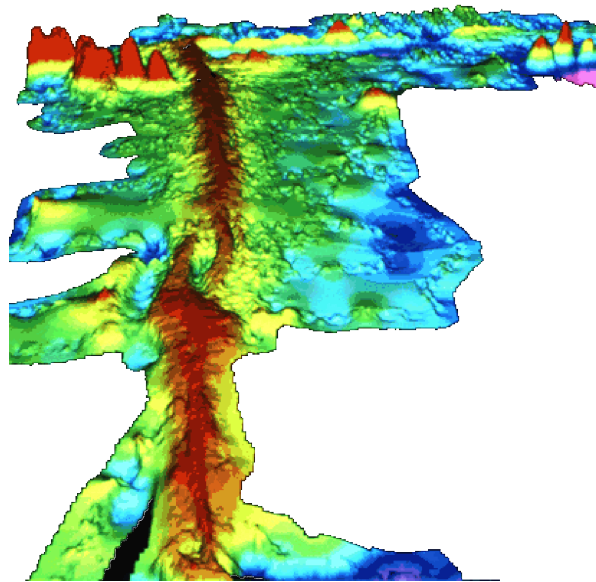
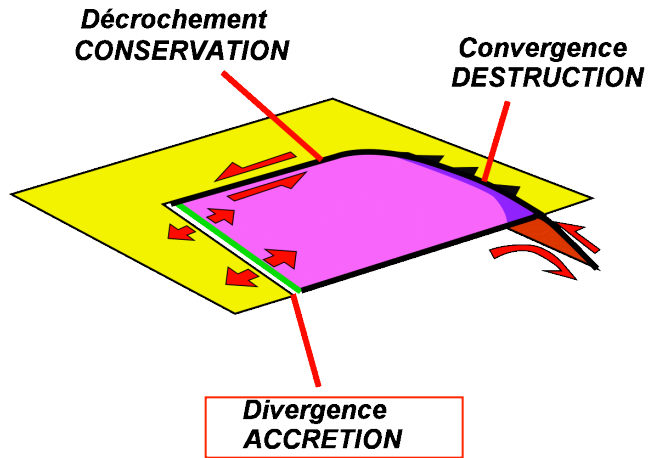
➡ Limites de plaque: instabilités thermiques et mécaniques...

géologie générale Partie IV - 5. Relation avec la tectonique des plaques



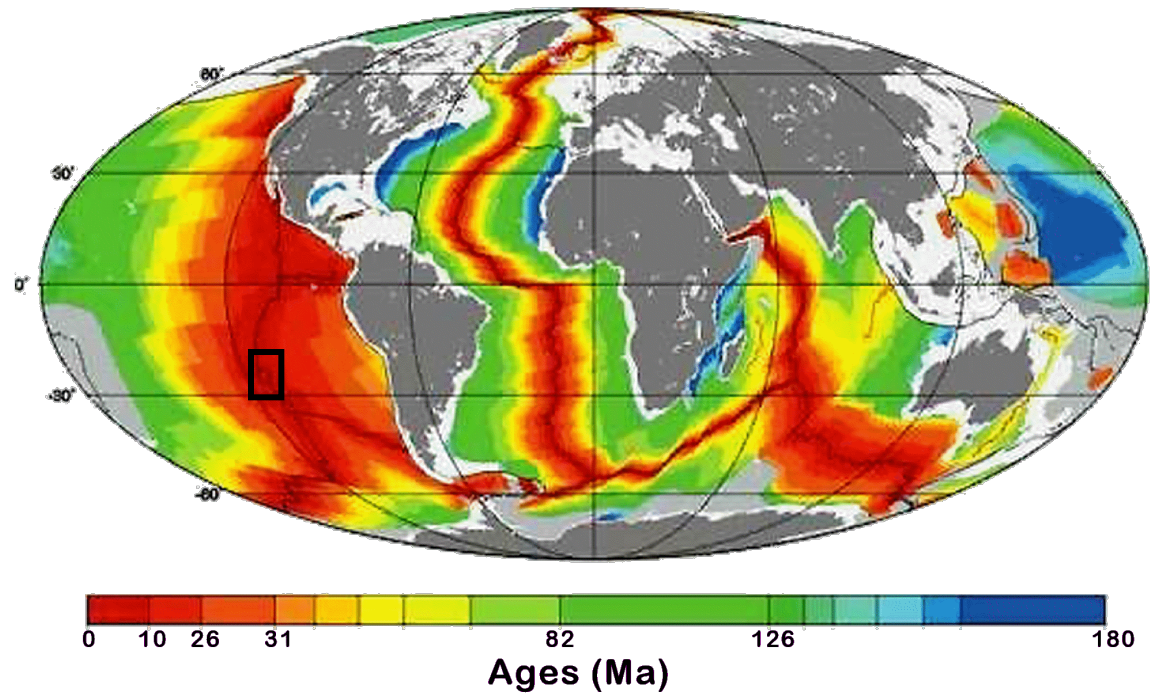
Différentes limites de plaque



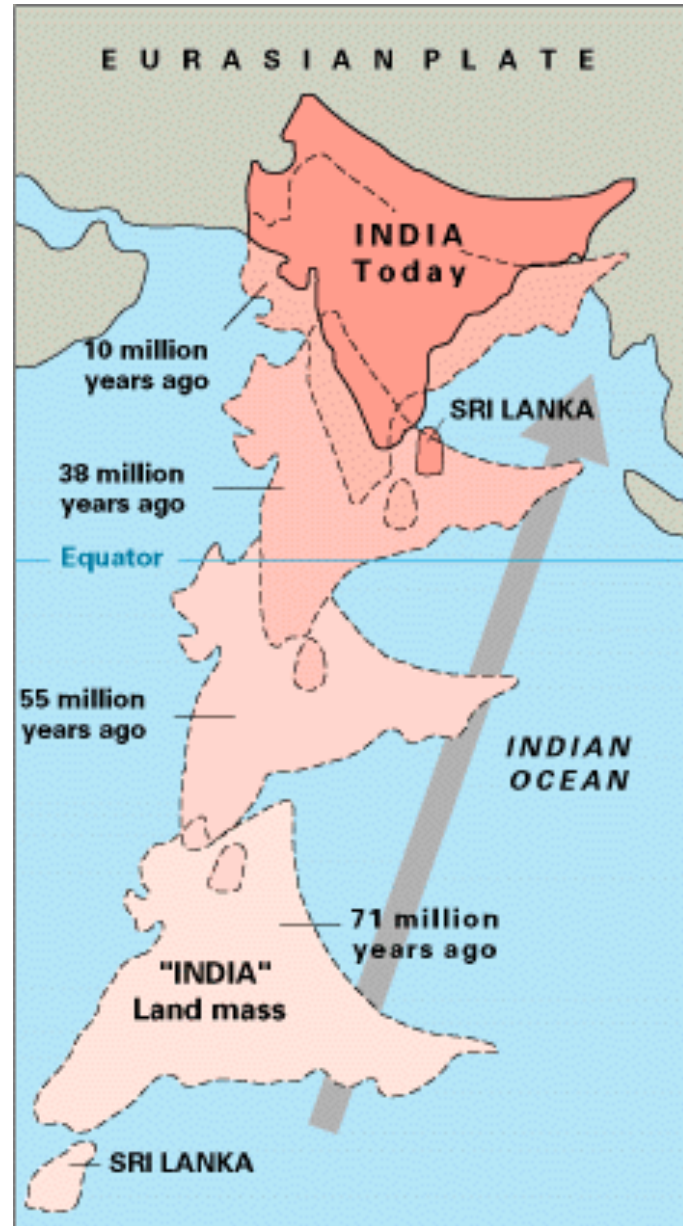
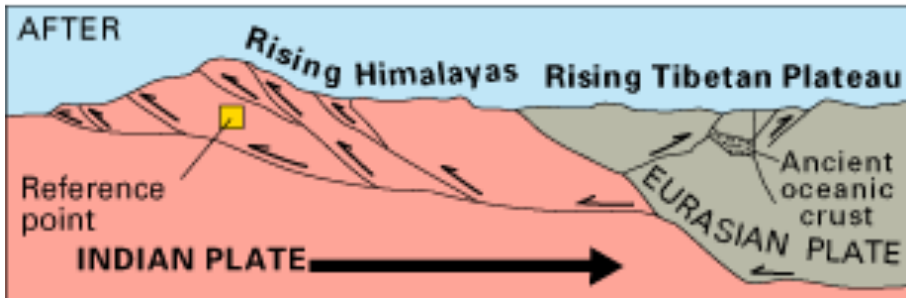
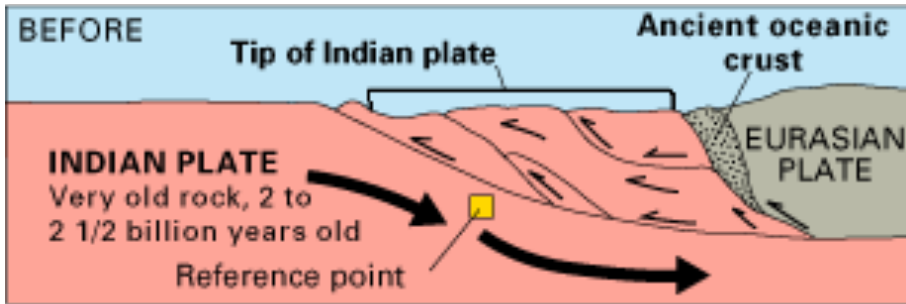
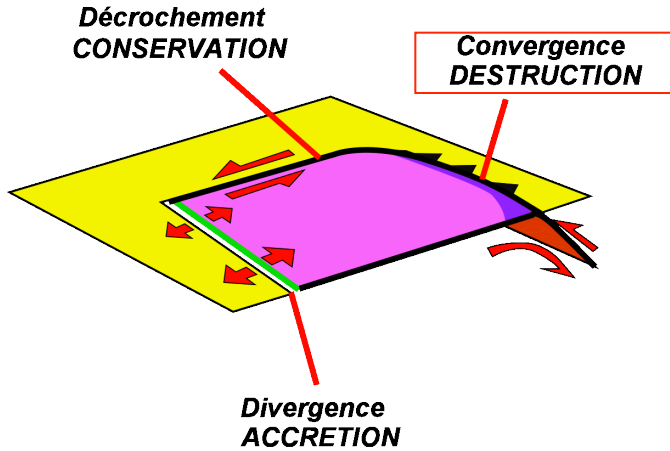


Bathymétrie ride pacifique

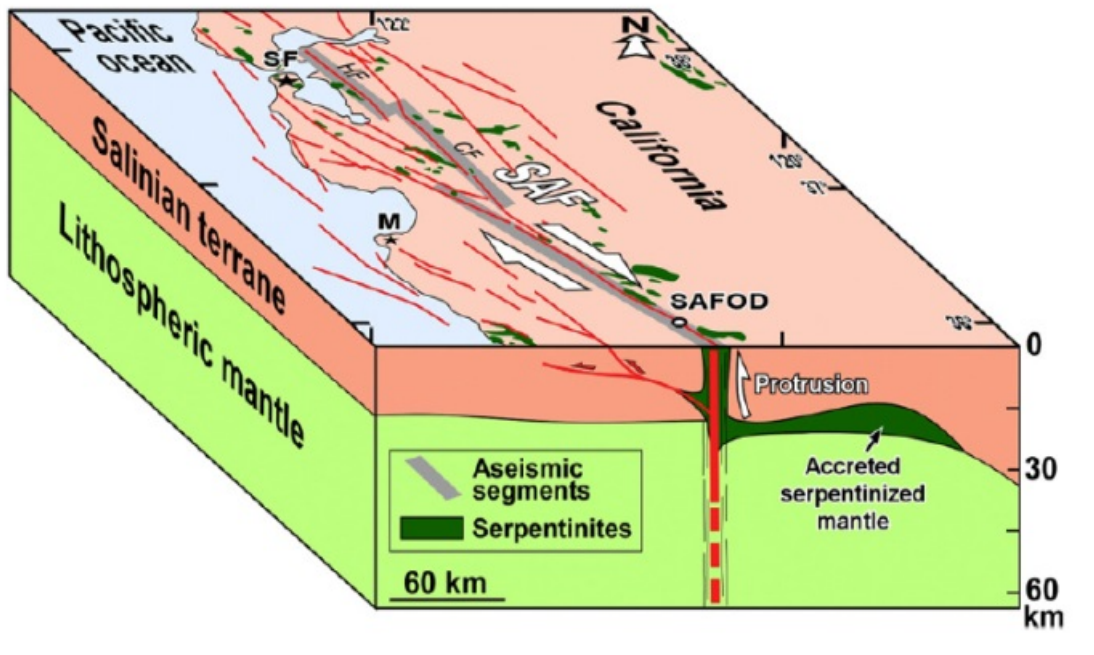
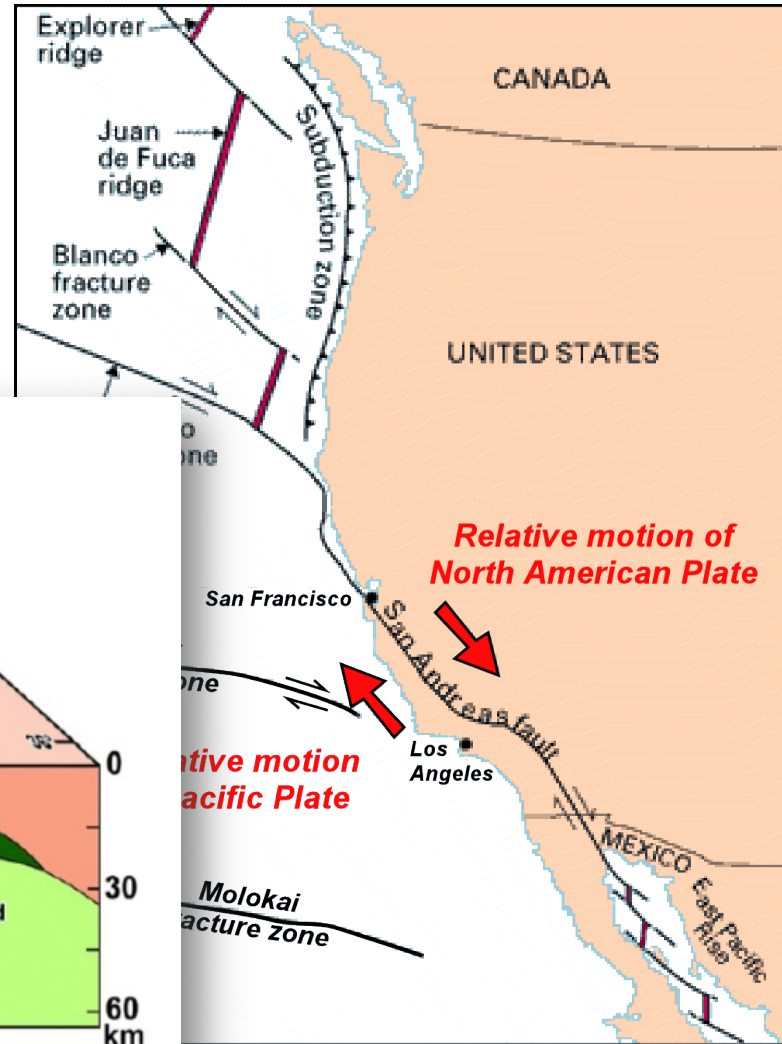
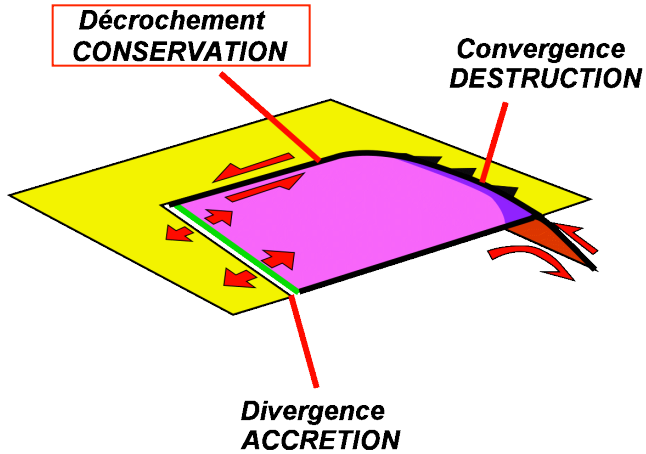
Ages des fonds océaniques



géologie générale - relation avec la tectonique des plaques



géologie générale *Partie IV - 5. Relation avec la tectonique des plaques*



Géologie Générale

Géotech 3

→ Partie IV. La déformation des roches

→1. Aspects théoriques

→2. Mécanismes de déformation

→3. Régimes tectoniques et comportement des roches

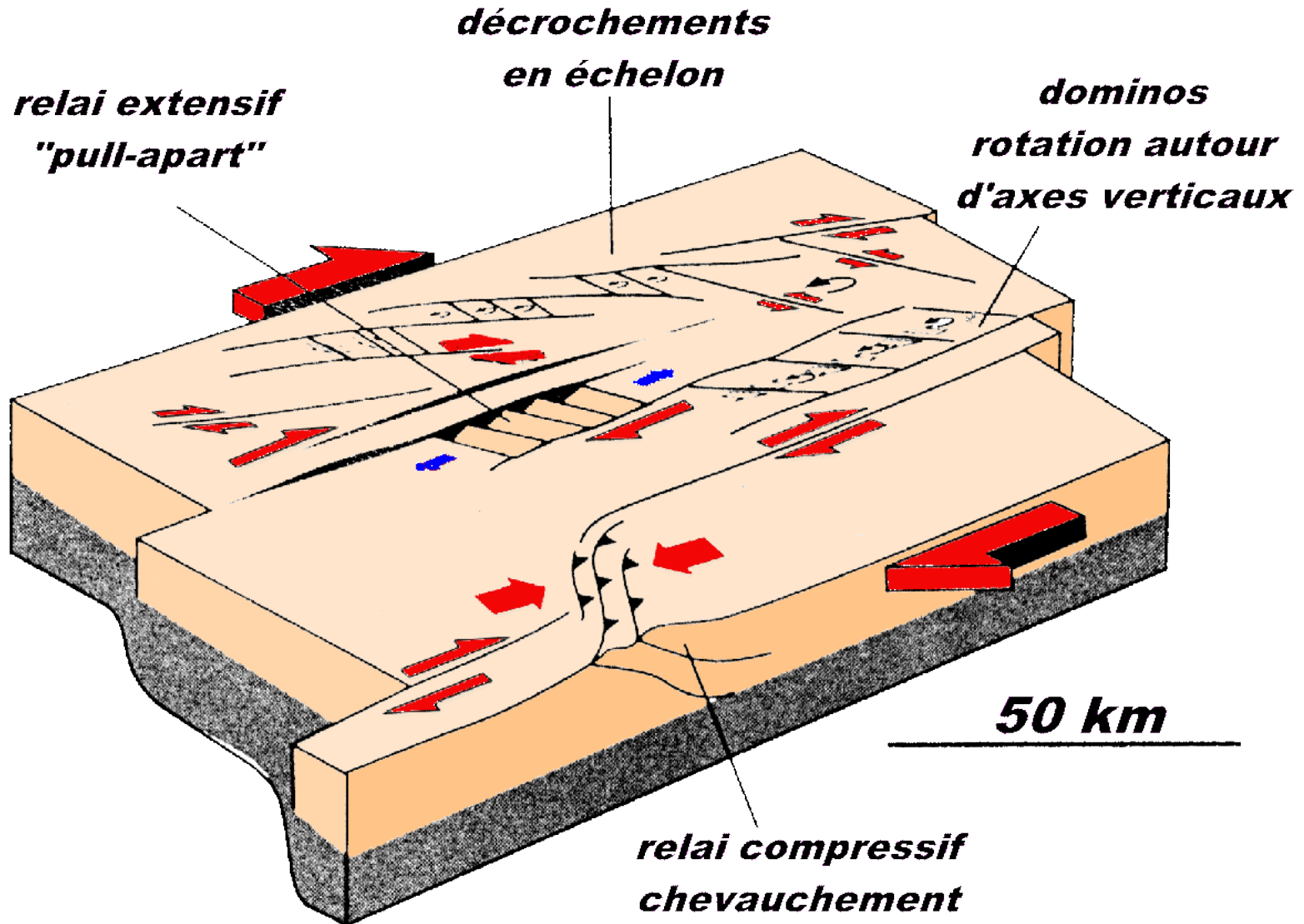
→4. Eléments d'analyse tectonique

→5. Relation avec la tectonique des plaques

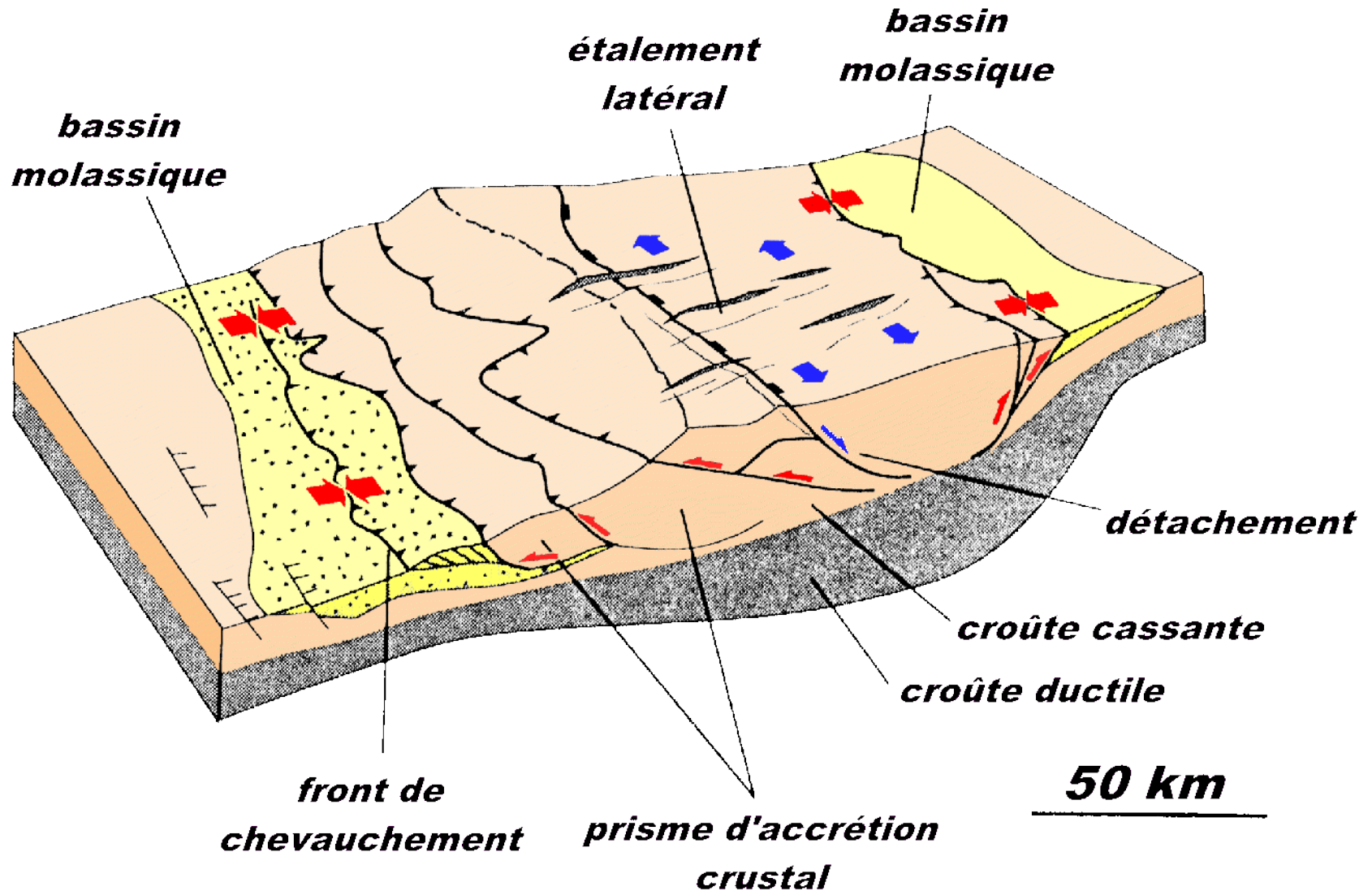
→ 5-1. Les différentes limites de plaque

→5-2. Association des principales structures et leurs relations géométriques

→ Contexte tectonique en décrochement



→ Contexte tectonique en épaississement



→ Contexte tectonique en amincissement

