

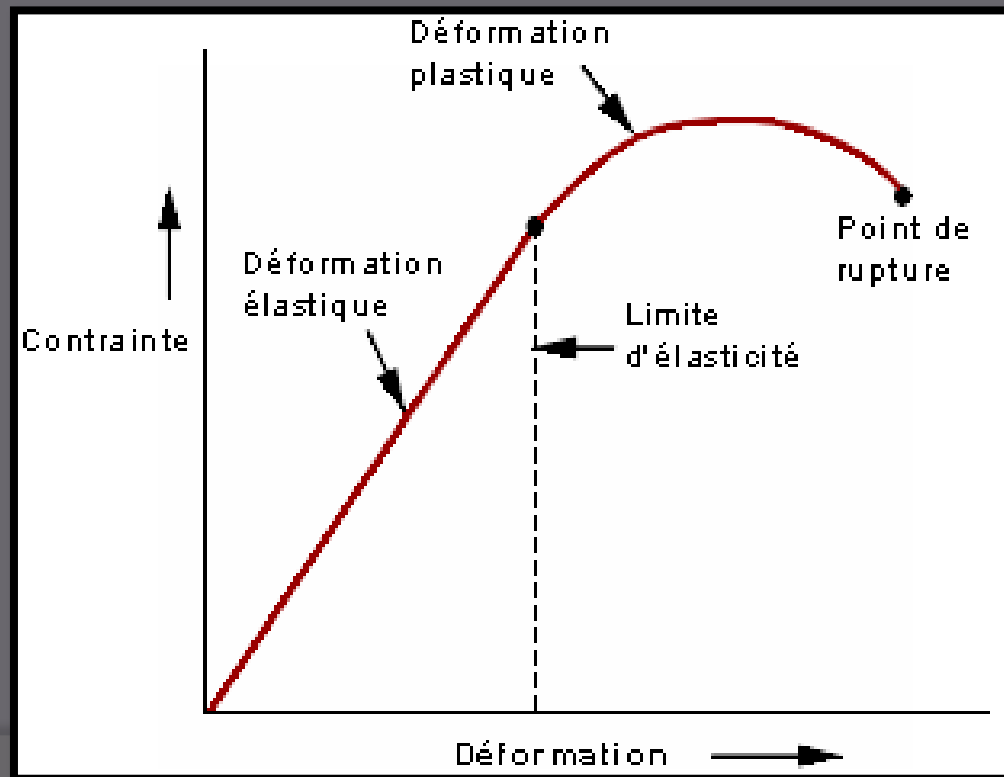
TECTONIQUE ET TYPES DE DÉFORMATIONS DES ROCHES

Ivan BOUR

Laboratoire Biogéosciences
Université de Bourgogne

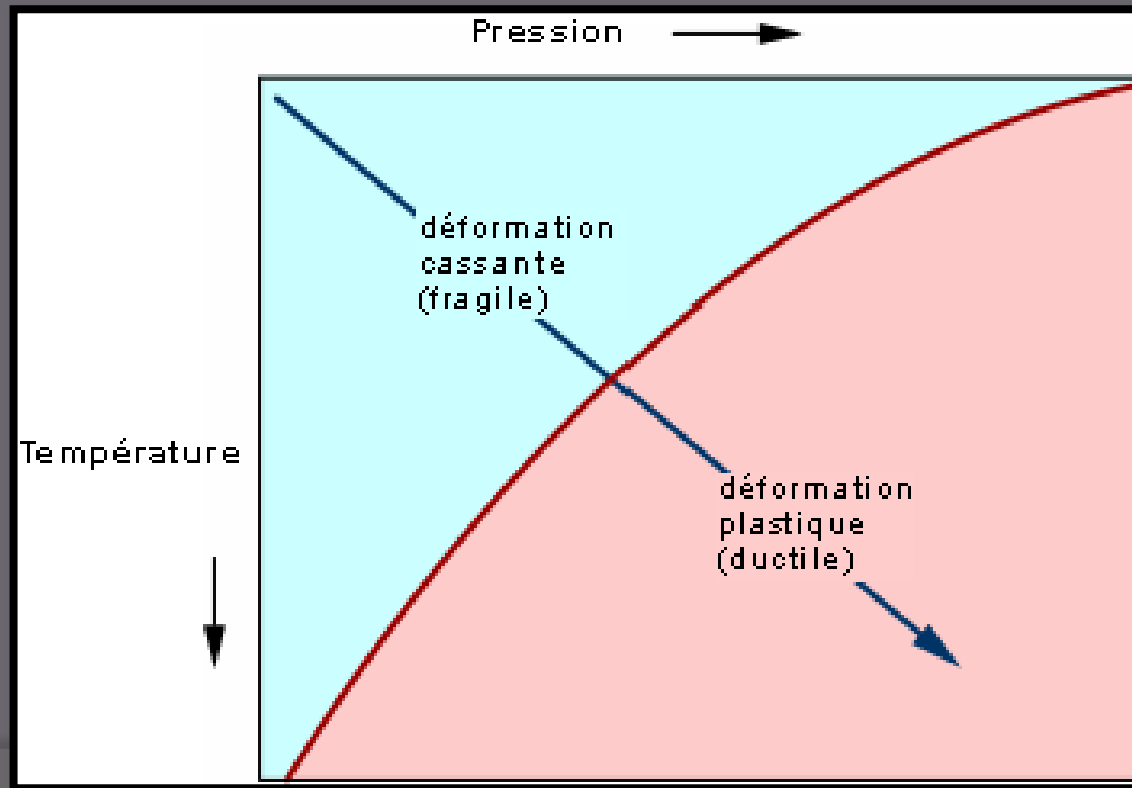
I- Notion de contraintes et de déformation

- La **contrainte** est une force appliquée à une certaine unité de volume.
- Les solides possèdent une force pour résister à la contrainte.
- Lorsque la contrainte dépasse la **résistance** du matériau, l'objet est **déformé** et il s'ensuit un changement dans la forme et/ou le volume.
- Il existe des cas où la déformation n'est cependant pas perceptible (tremblement de terre).



Les paramètres de déformations

- **Température** et **pression** augmentent avec la profondeur dans la croûte terrestre (surface = cassante, en profondeur = plastique)
- Le **temps** : si temps court= casse; si temps long= plastique (notion de fluage).
- La **composition de la roche**. R. cassantes de nature (calcaires, les grès, les granites), d'autres plutôt plastiques (r. argileuses).



Notion de compétence

- Une roche compétente est relativement peu déformable (failles ou flexion)
- Une roche incompétente est facilement déformable et subit une modification intime: anisotropie d'origine tectonique (foliation, schistosité).

+

compétence

-



Roches plutoniques, métamorphiques, détritiques, carbonates, marnes, salines

La déformation d'une roche varie avec le niveau structural

Notion de niveau structural

Niveau structural supérieur
(fracturation)

----- 0m

Niveau structural moyen
(flexion)

front supérieur
de schistosité

Niveau structural inférieur
(aplatissement)

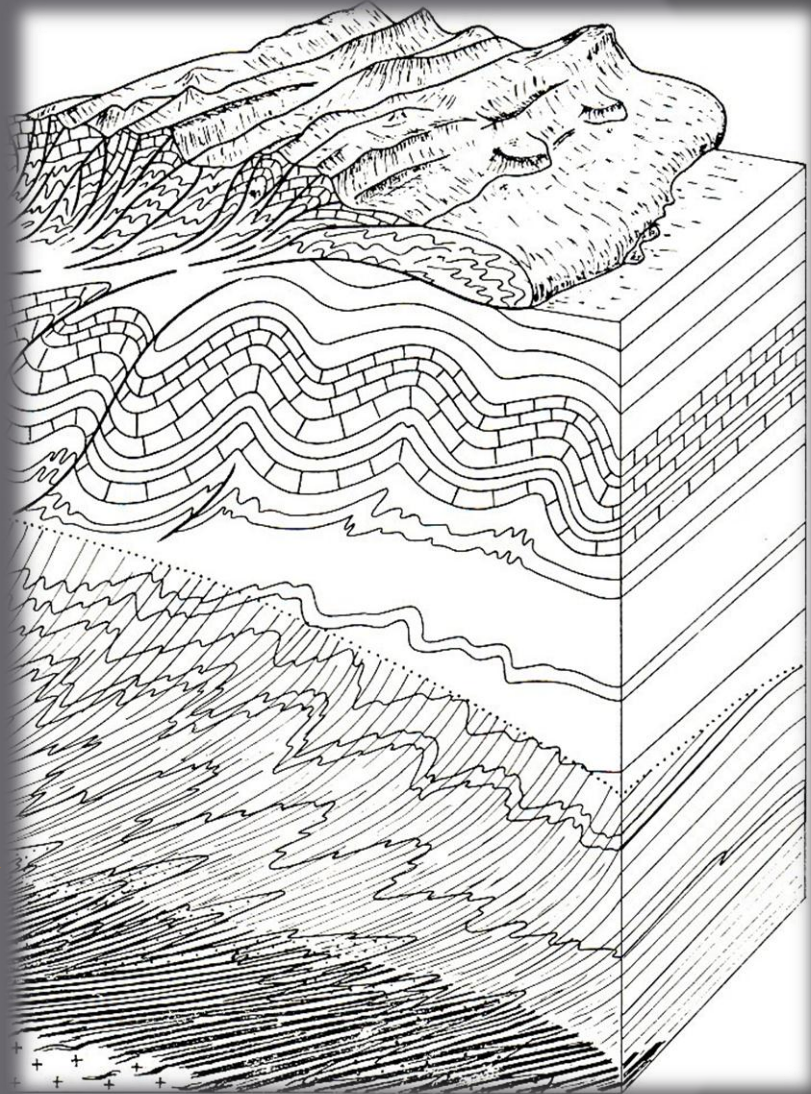
limite supérieure
de foliation

début de la fusion

(granite d'anatexie)

5000m

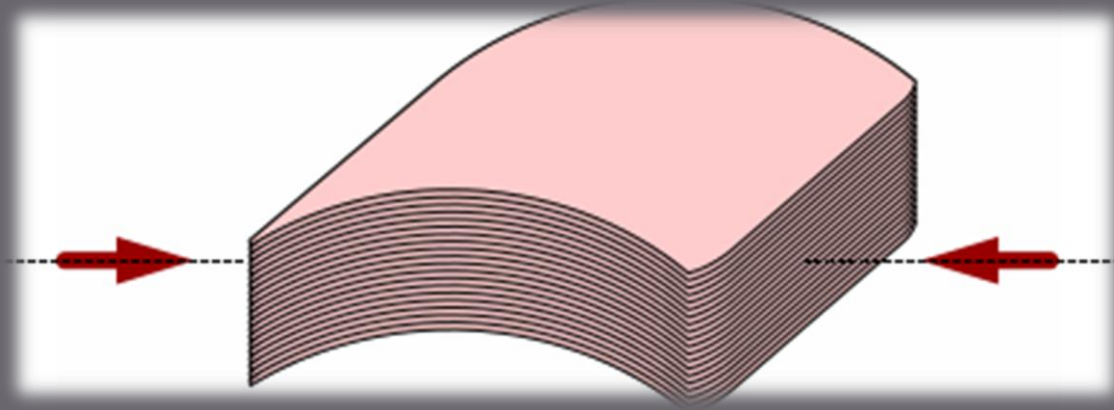
10 000m



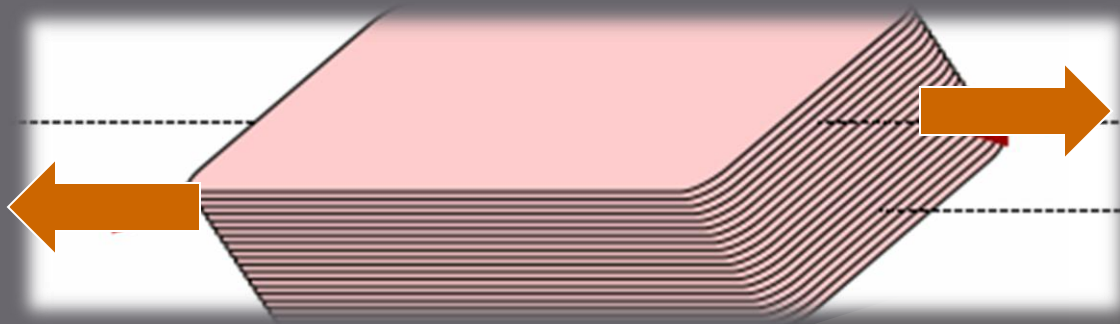
D'après Mattauer, 1998

Les contraintes

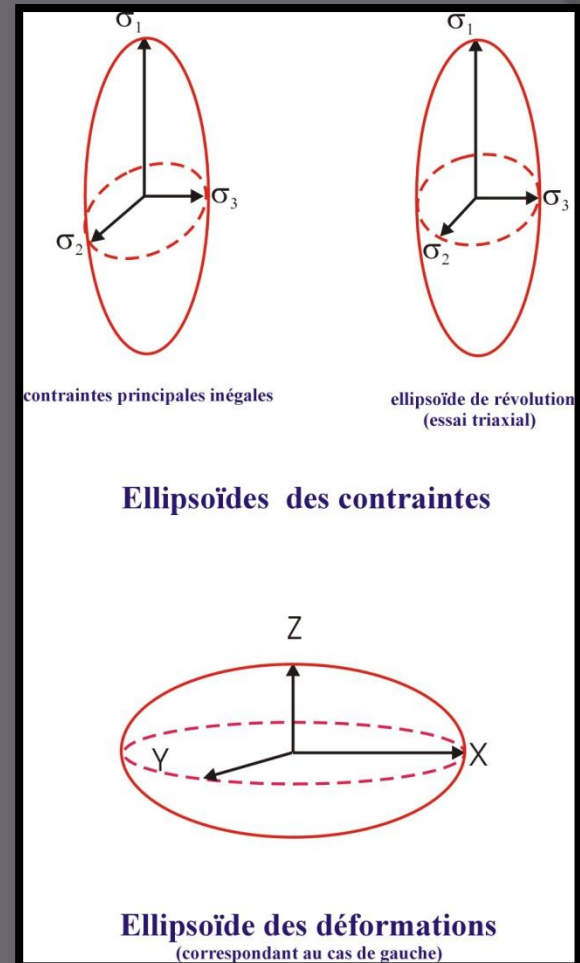
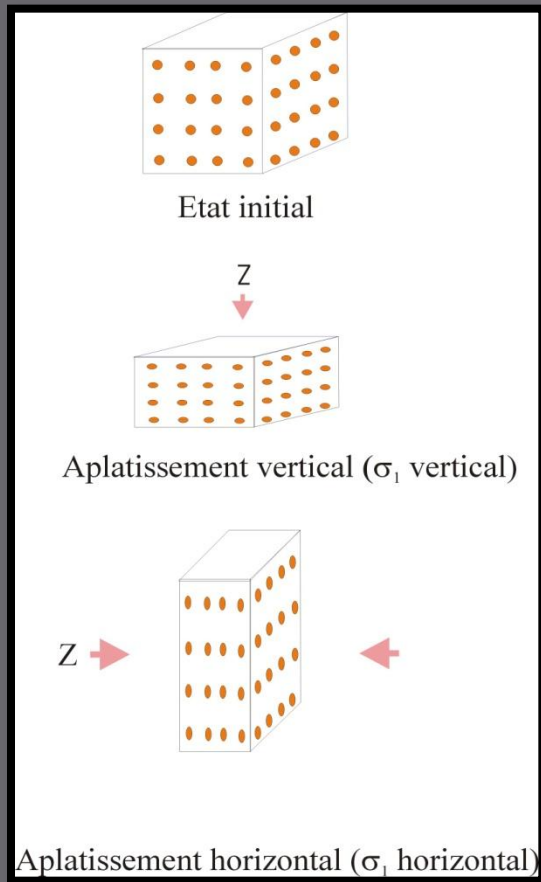
- La **compression**, les forces convergent; elles peuvent être coaxiales ou non. les cartes vont s'arquer



- La **tension**, les contraintes divergent et ont pour effet d'étirer le matériau.

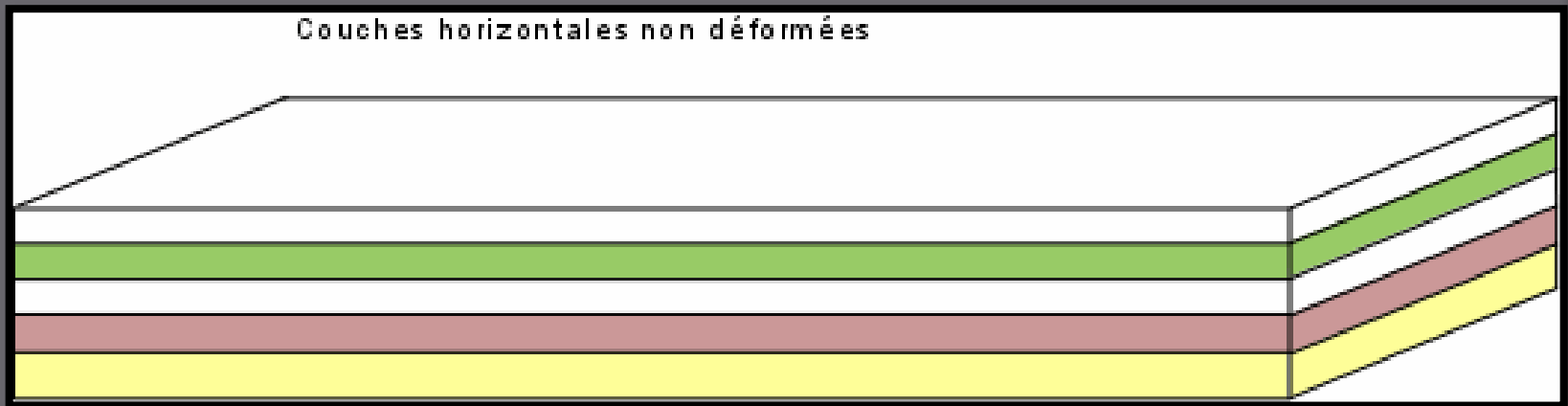


Contraintes et déformation



La déformation des couches de roches sous des régimes de contraintes en compression et en tension.

- Volume de départ: cas d'un empilement de couches de roches non déformées à l'horizontal



II- Les discontinuités

- On appellera discontinuité toute interruption de continuité apparaissant au sein d'un massif rocheux quelle que soit son importance et son origine.
- Les discontinuités peuvent s'accompagner ou non d'un déplacement des blocs rocheux qu'elles délimitent.
- Le terme de discontinuité est très général (il est souvent employé en mécanique des roches et en Géologie appliquée au Génie Civil).
- Dans l'esprit des mécaniciens il englobe également les discontinuités d'origine stratigraphique, c'est-à-dire les plans de contact entre couches sédimentaires distinctes.
- D'un point de vue purement mécanique, de tels contacts ont bien souvent un comportement similaire à celui des discontinuités d'origine tectonique, ce qui justifie la généralisation.

Les structures tectoniques

- Les microstructures

- Les joints, les diaclases, les stylolithes
- Les fentes,
- La schistosité

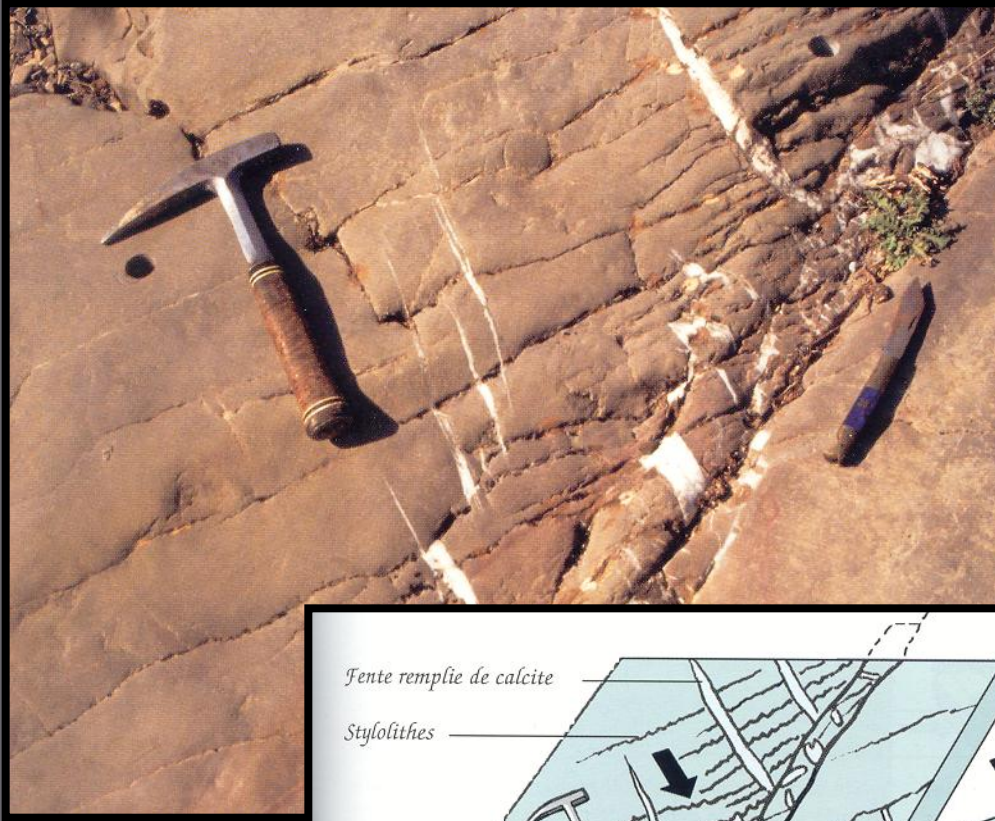
- Les failles

- Les plis

Les joints

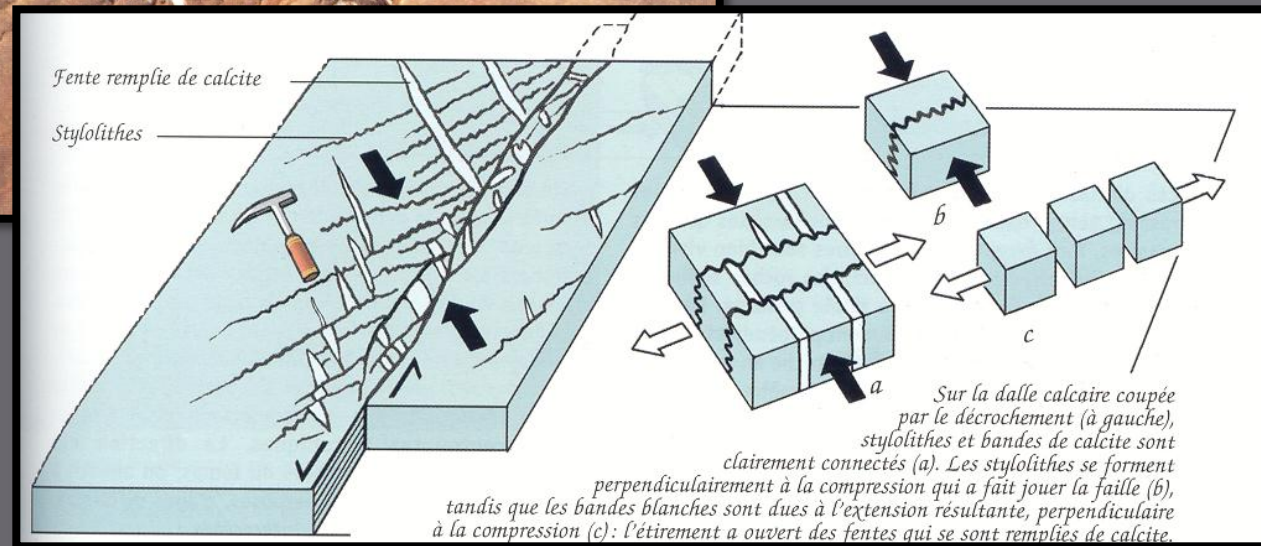
- Les joints désignent de façon générale toutes les discontinuités affectant un massif rocheux le long desquelles ne s'est opéré aucun mouvement.
- Les joints peuvent être fermés, ouverts (fissures), remplis de minéralisations diverses (quartz, calcite) ou d'intrusions volcaniques (dykes).
- L'étude détaillée et statistique des joints est d'un grand intérêt pour la compréhension du mécanisme de déformation des roches.
- Un réseau dense de joints doit également préoccuper l'ingénieur car les qualités mécaniques intrinsèques de la roche s'en trouveront considérablement affaiblies,

Décrochement avec fentes et stylolites

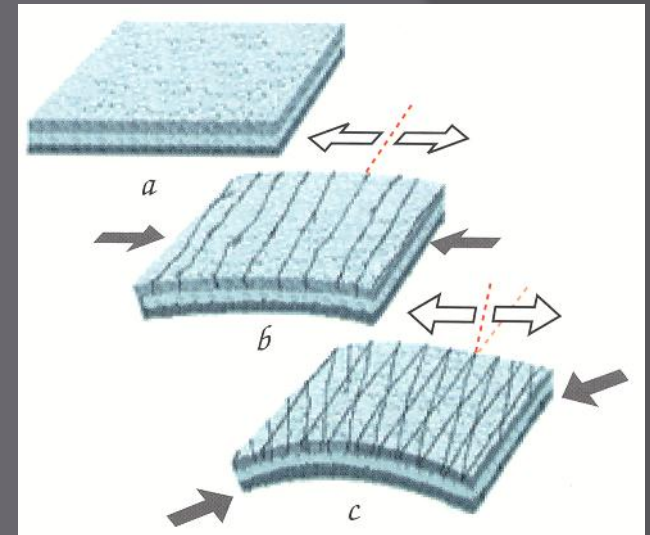


Stylolites : structures interpénétrantes au sein des R. calcaires, joints irréguliers

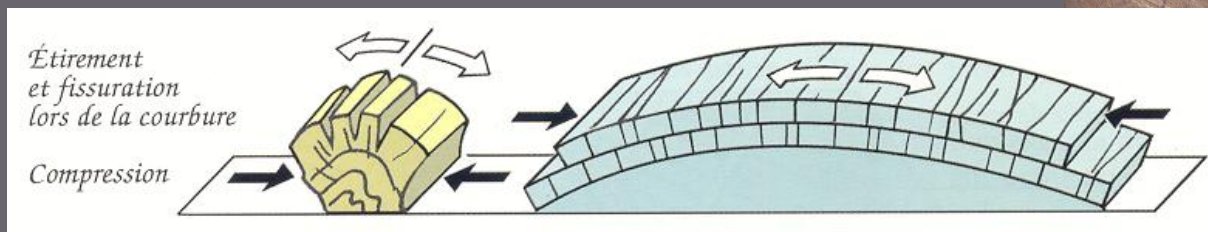
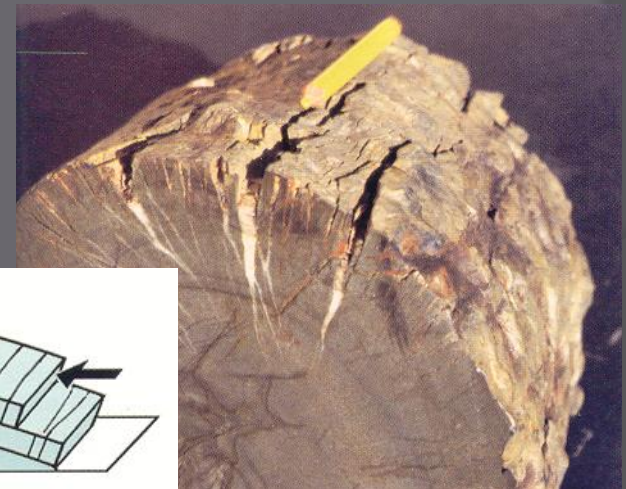
Fentes: ouvertures remplies de silice ou calcite, disposées en échelon, parallèles à la contrainte principale et matérialisant un décrochement



Réseau de diaclase



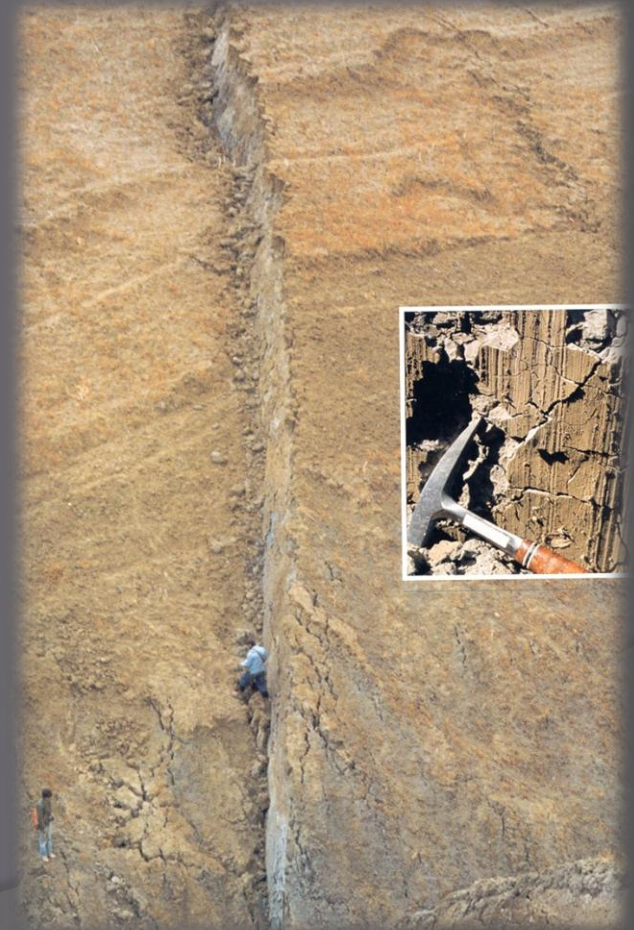
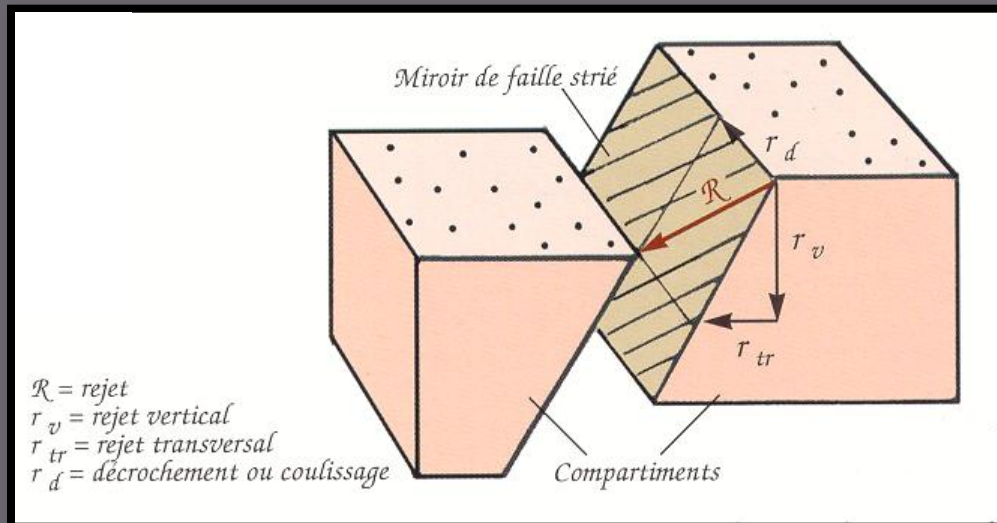
Diaclase : cassures sans déplacement, cassures perpendiculaires aux couches sédimentaires



Les failles

Il y a déplacement relatif entre compartiments

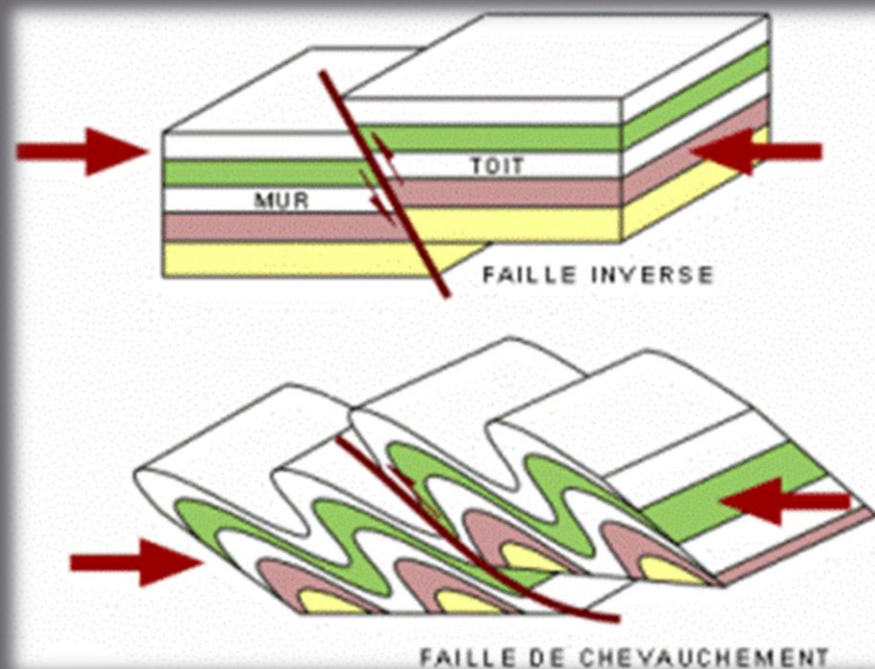
- La déformation **cassante** se traduit par des plans de cassures avec déplacement relatif d'un compartiment par rapport à l'autre: **les failles**.
- ZB : El Asnam (1980), rejet de 2m
- Stries nées du frottement entre les deux compartiments

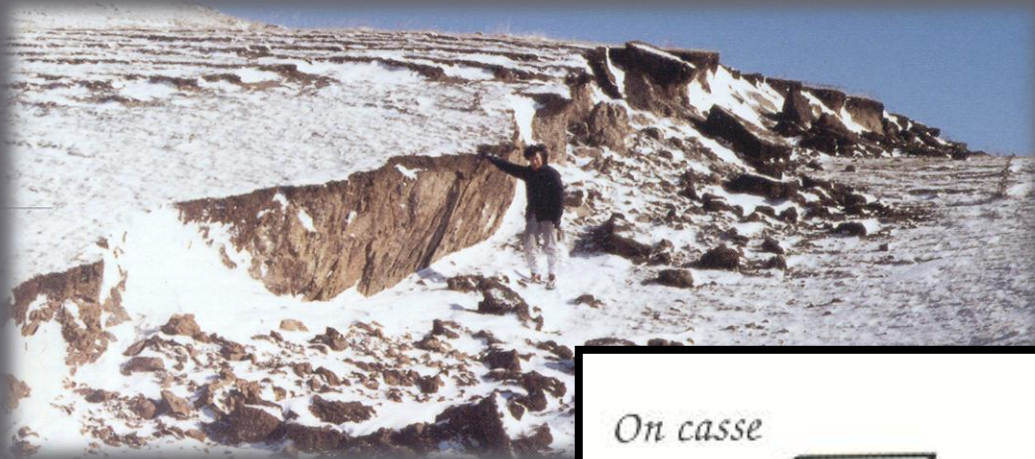


Les failles inverses nées par compression horizontale

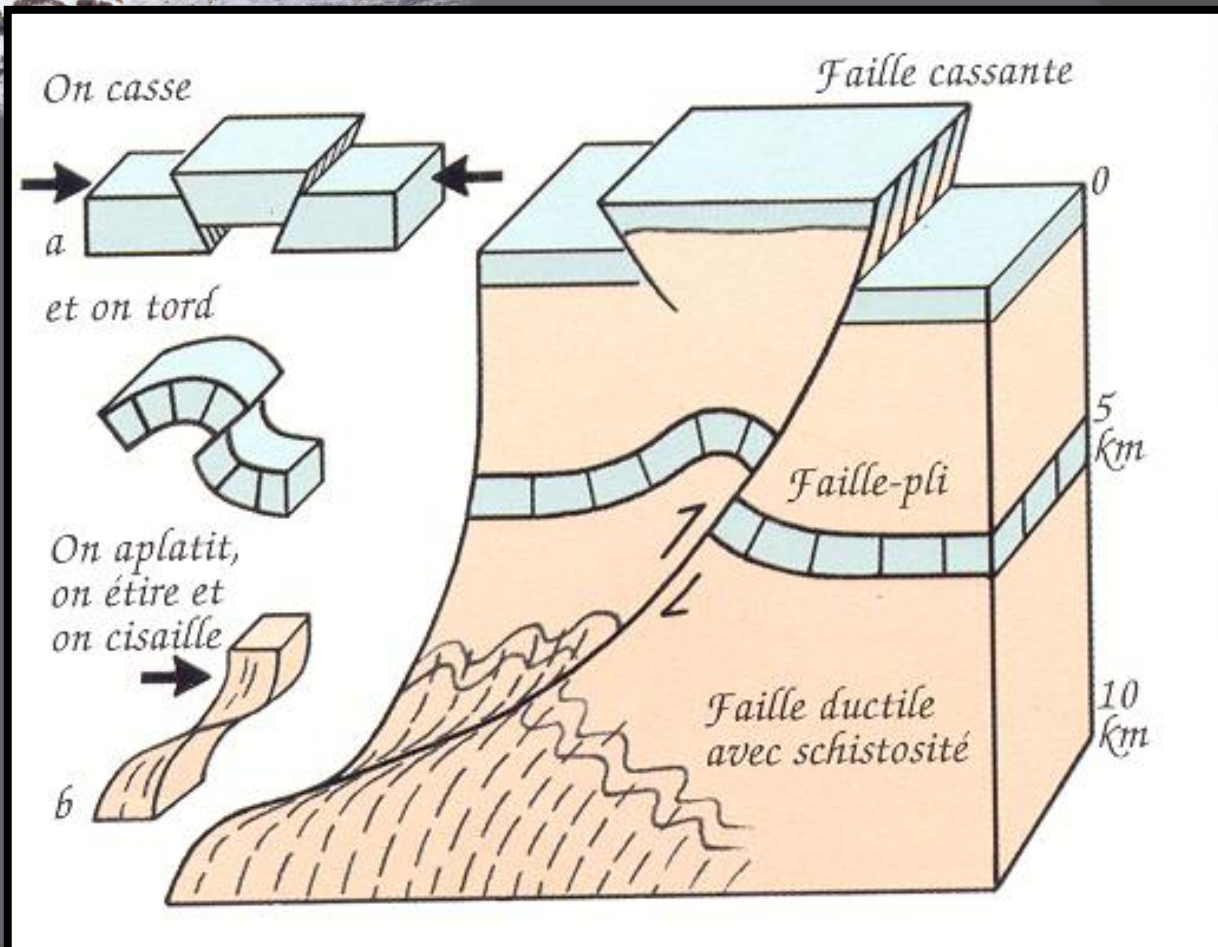
- Le toit est le compartiment qui se situe au-dessus du plan de faille
- Le mur est celui qui est au-dessous.
- Le rejet est le déplacement net des deux compartiments.
- Les contraintes produisent des failles inverses ou des chevauchements (plan de faille près de l'horizontale). Dans ces deux cas, le toit monte par rapport au mur.

σ_1 horizontale



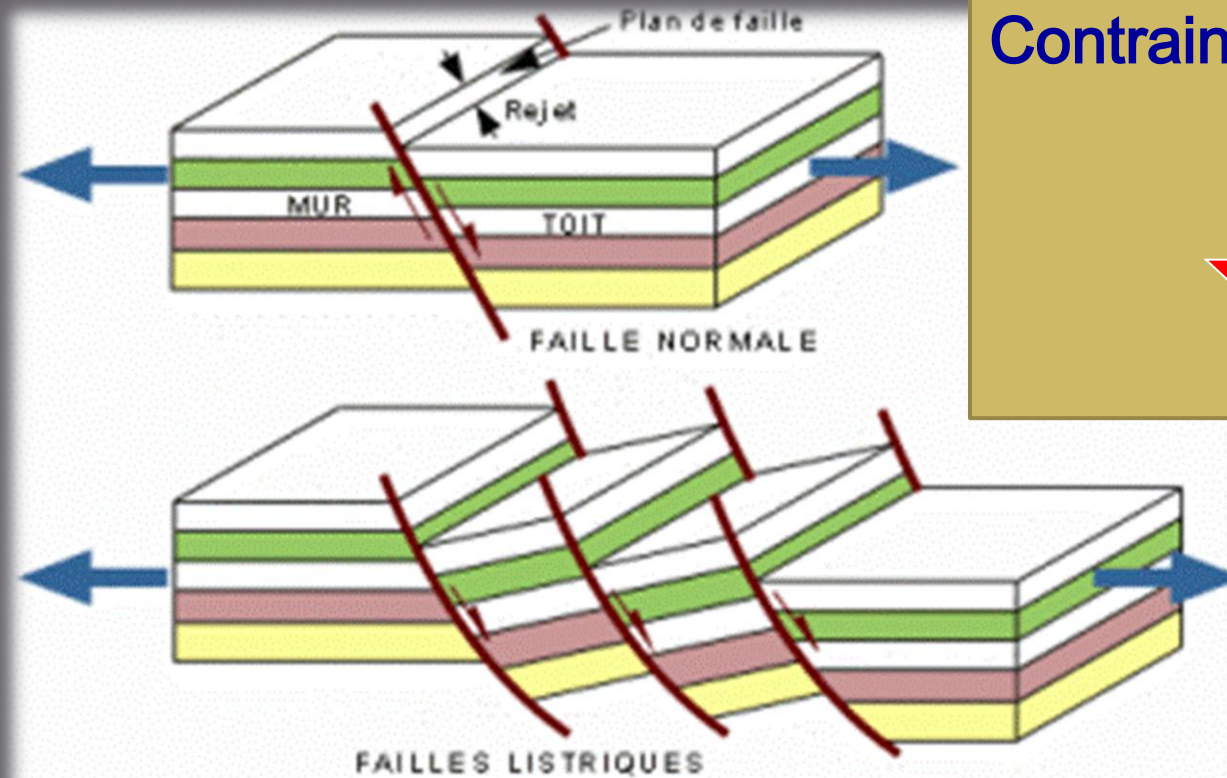


Déformation en fonction du niveau structural



Les failles normales

- Les contraintes de tension, verticales, produisent des **failles normales** (et listriques)
- Le toit descend par rapport au mur



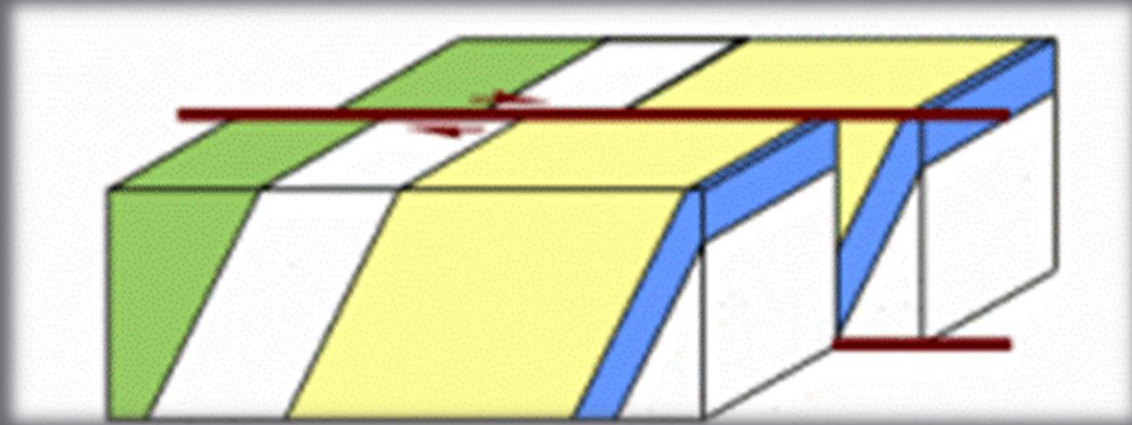
Contrainte verticale



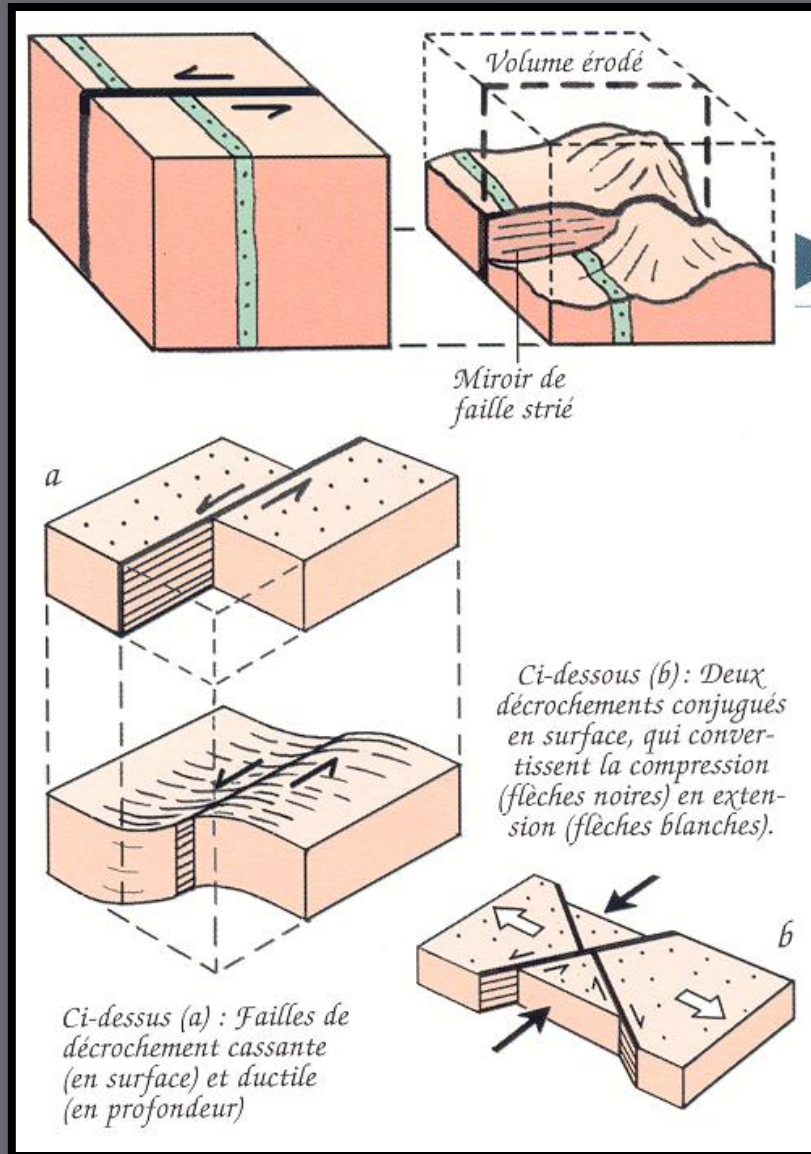
σ_1

Les décrochements

- Les failles **décrochantes (ou de coulissage)** constituent un cas particulier; elles se produisent par le déplacement latéral de deux compartiments l'un par rapport à l'autre dans un plan horizontal.
- On les retrouve en régimes compressifs



Les décrochements



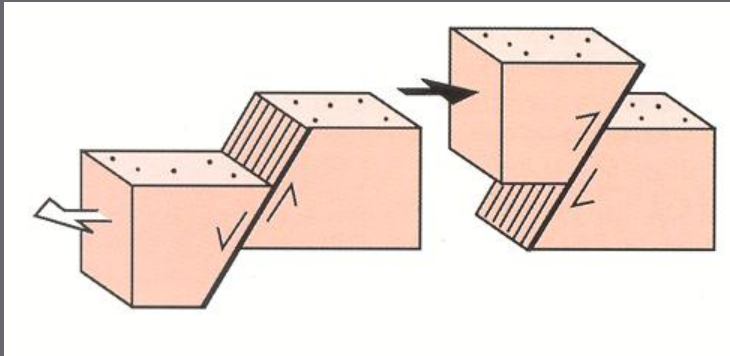
D'après Mattauer, 1998



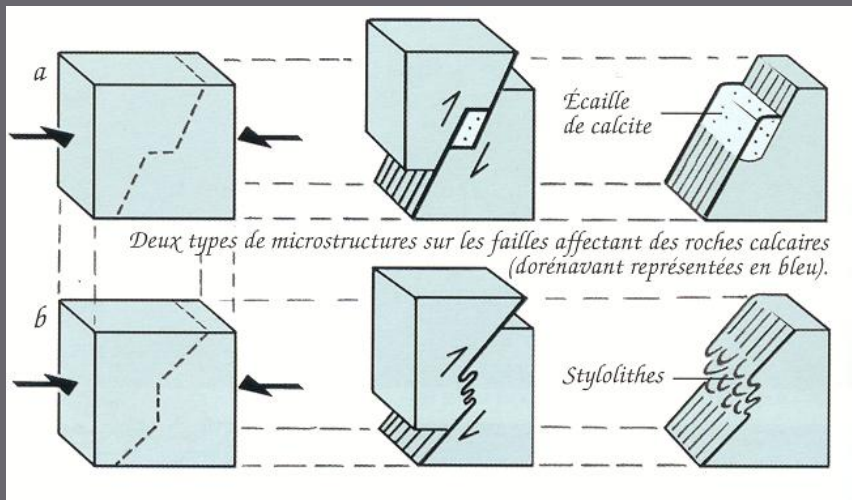
- Rejet horizontal ou faille de coulissage senestre
- La route est décalée dextre de 4,5 m (Christchurch, Nouvelle Zélande, 4/09/2010)



Dans quel sens à joué la faille ?



- Il faut déterminer le sens de déplacement car il existe des stries de même géométrie avec des déplacements de sens opposés



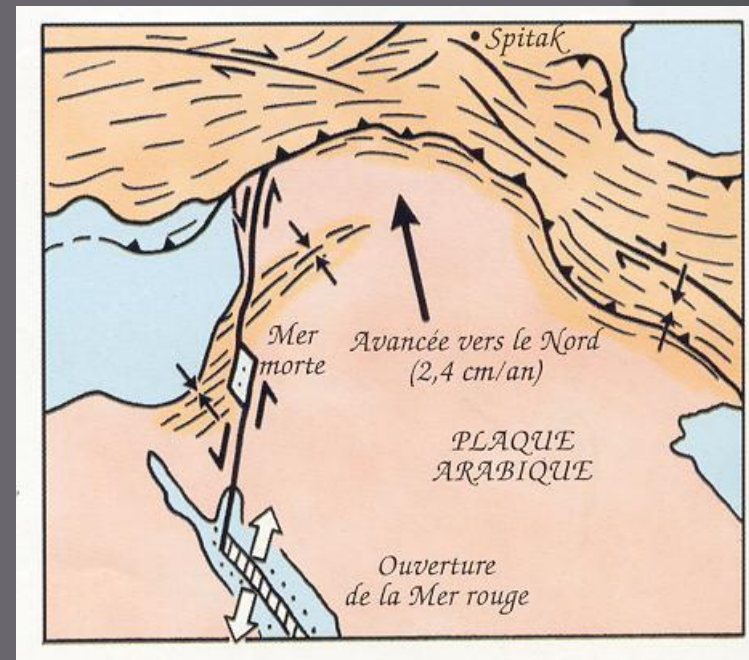
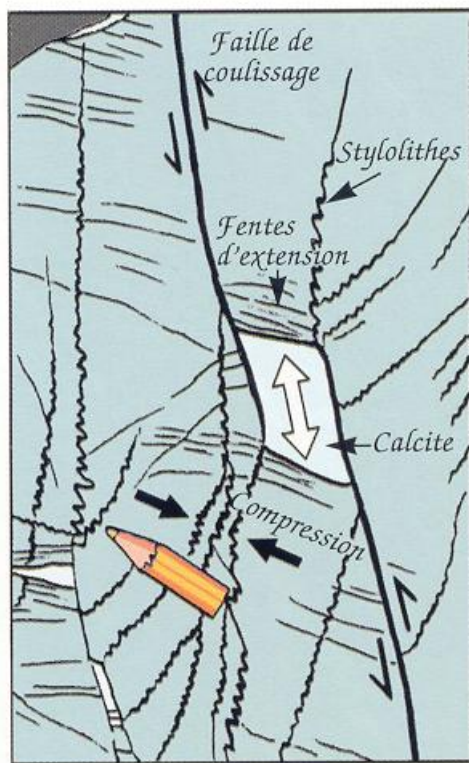
D'après Mattauer, 1998



Tectoglyphes : marques visibles sur un plan de glissement

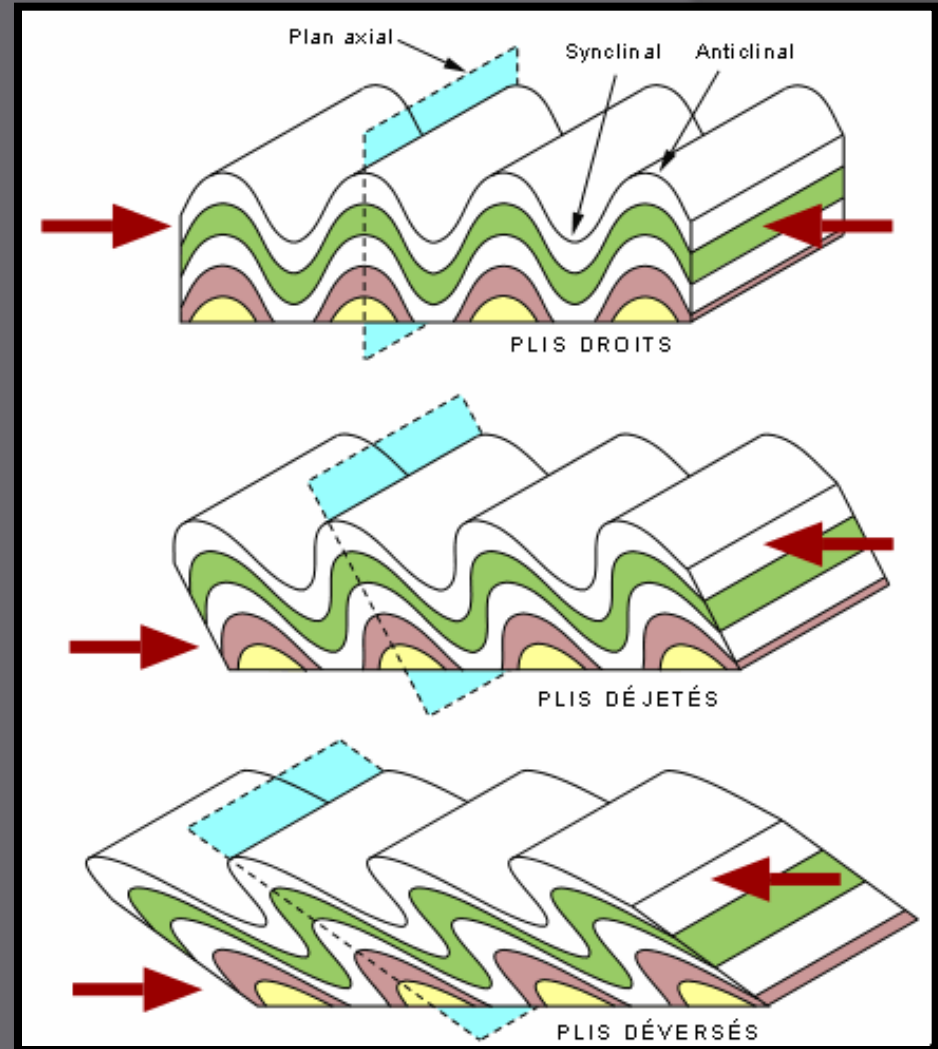
D'un losange de calcite à la mer morte: le pull apart

- Même mécanisme quelle que soit l'échelle (voire les fentes)
- Microfaille jouant en décrochement
- Stylolites



III- Les plis

- Les plis constituent la manifestation d'un comportement **plastique** (ductile) des roches sous l'effet de contraintes de compression
- **Anticlinal** quand le pli se ferme vers le haut
- **Synclinal** lorsqu'il se ferme vers le bas.
- Les plis sont dits **droits** lorsque le plan axial est vertical.
- A l'autre extrême, il y a les plis **couchés**, lorsque le plan axial est horizontal.
- Entre les deux, il y a les plis **déjetés** et les plis **déversés**.



La couverture sédimentaire des ceinture de chevauchement-plissement est affectée par des **déformations continues** (plis) et **discontinues** (failles , chevauchements)

La géométrie des structures est intimement conditionnée par la **géométrie des plans de décollement**.

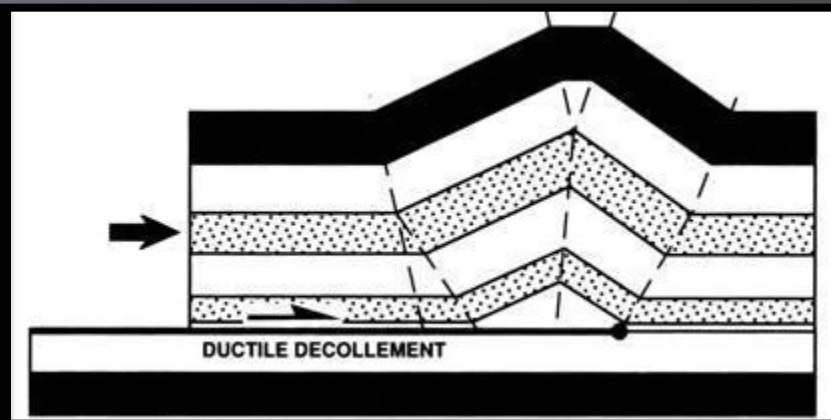
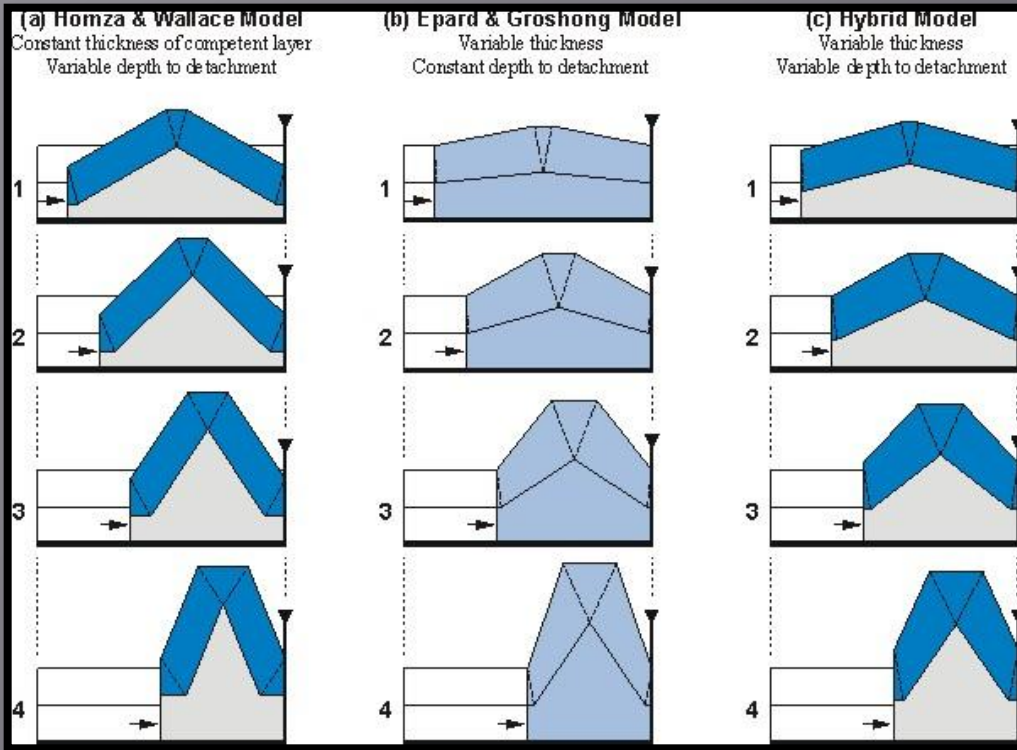
Dans la nature on observe 2 types de plissement. On peut les définir par la présence ou non de rampe tectonique.

- Les plis de décollement
- Les plis de rampe

Structures de chevauchement-plissement

Les règles de Dahlstrom et la géométrie en palier et rampe

- Les chevauchements ont tendance à recouper les strates dans la direction du transport,
- Les chevauchements suivent les niveaux (horizontaux) incompetents et recoupent (obliquement) les niveaux compétents,
- Les chevauchement se propagent dans la direction du transport (tectonique)

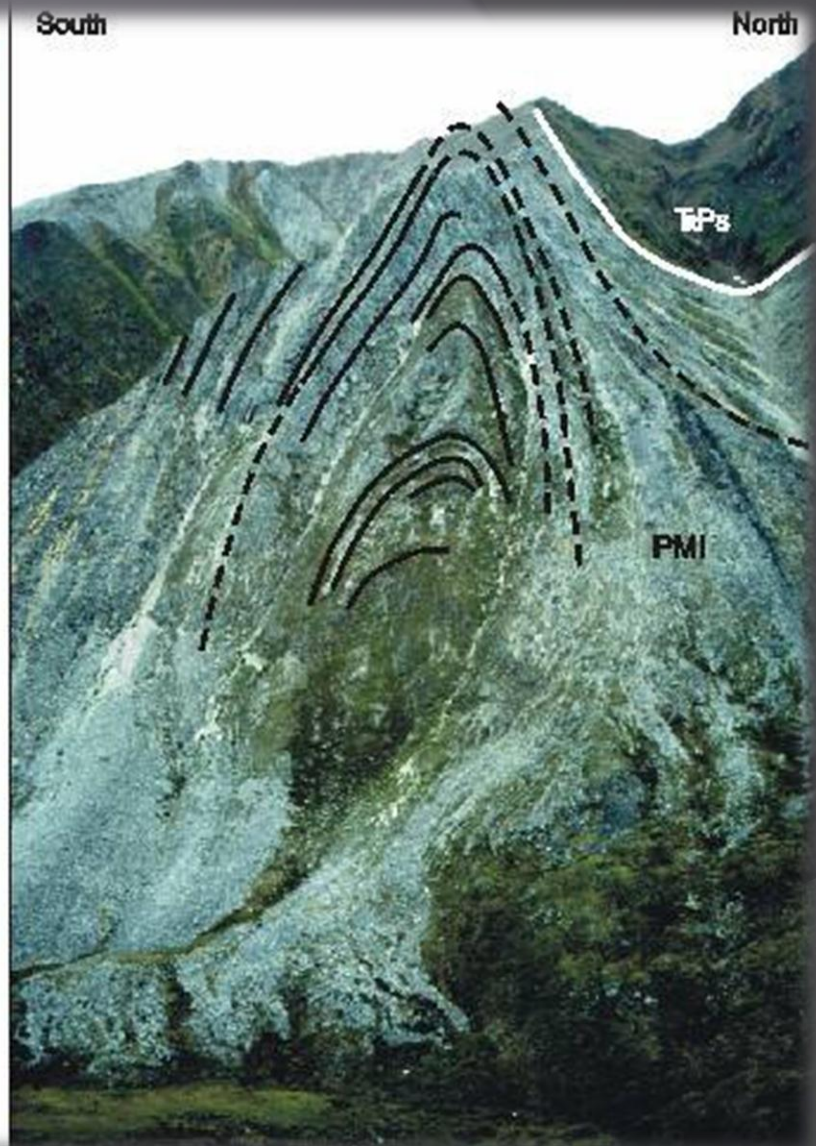


- Nécessite un niveau incompetent,
- plissement épais et ductile

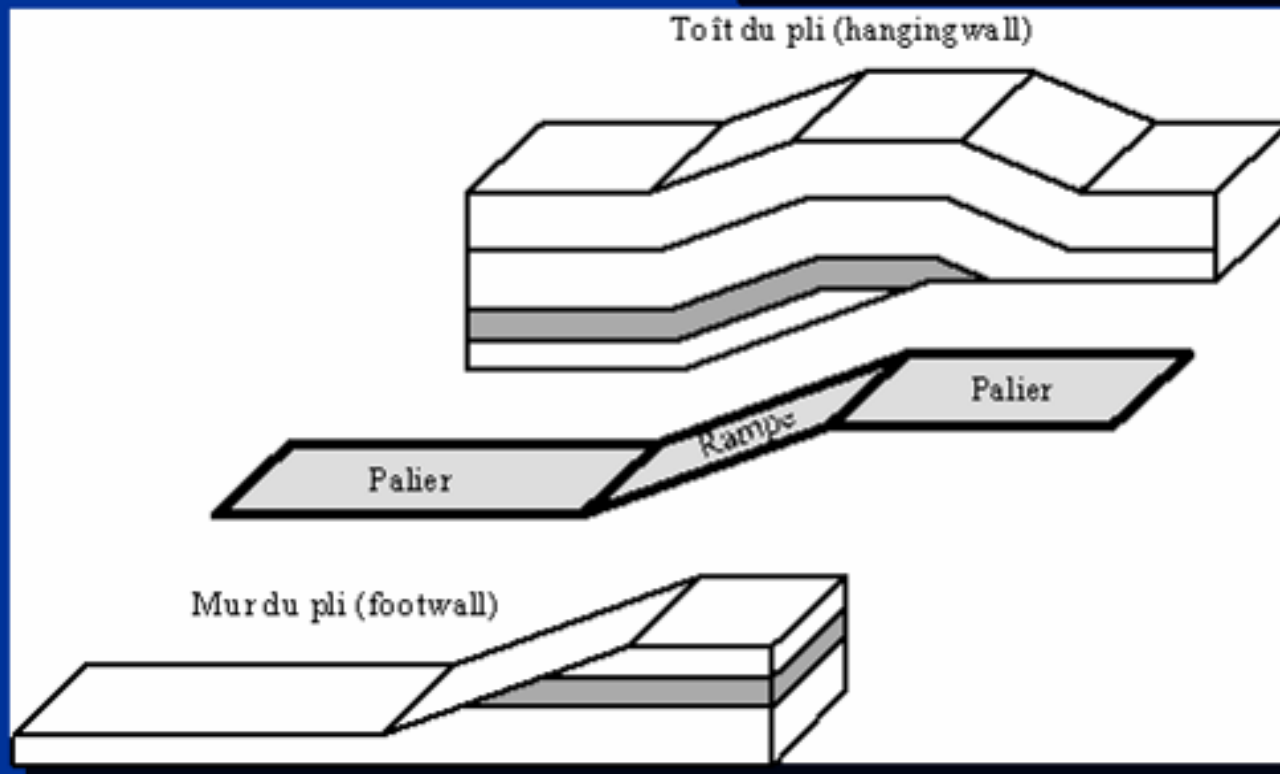
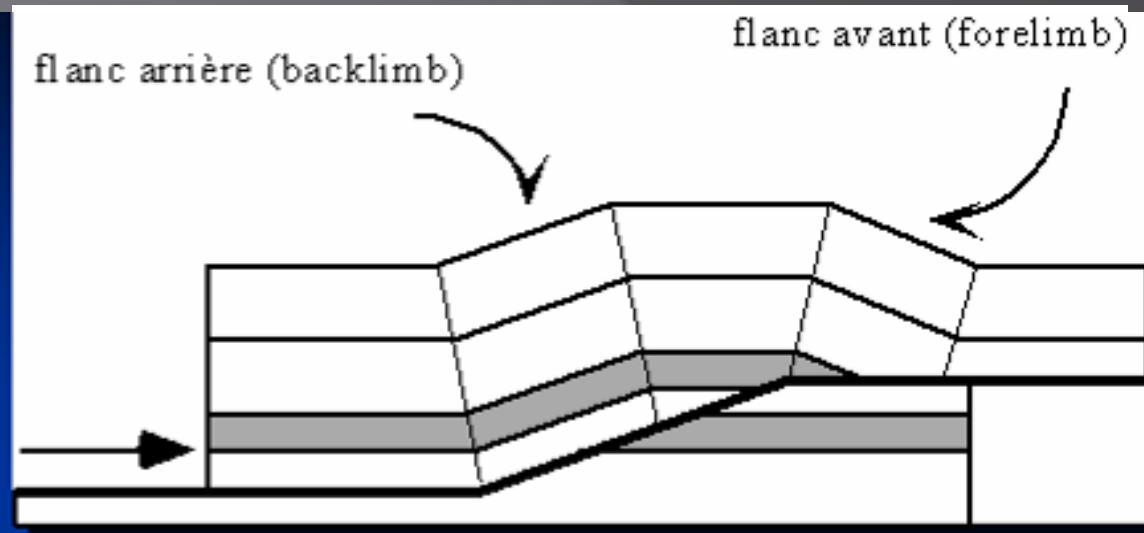








Se met en place lorsque
l'on n'a pas de niveau
incompétent
suffisamment épais,



Nomenclature des plis
en rampe et paliers

Cas d'un pli de
ceintrage sur rampe

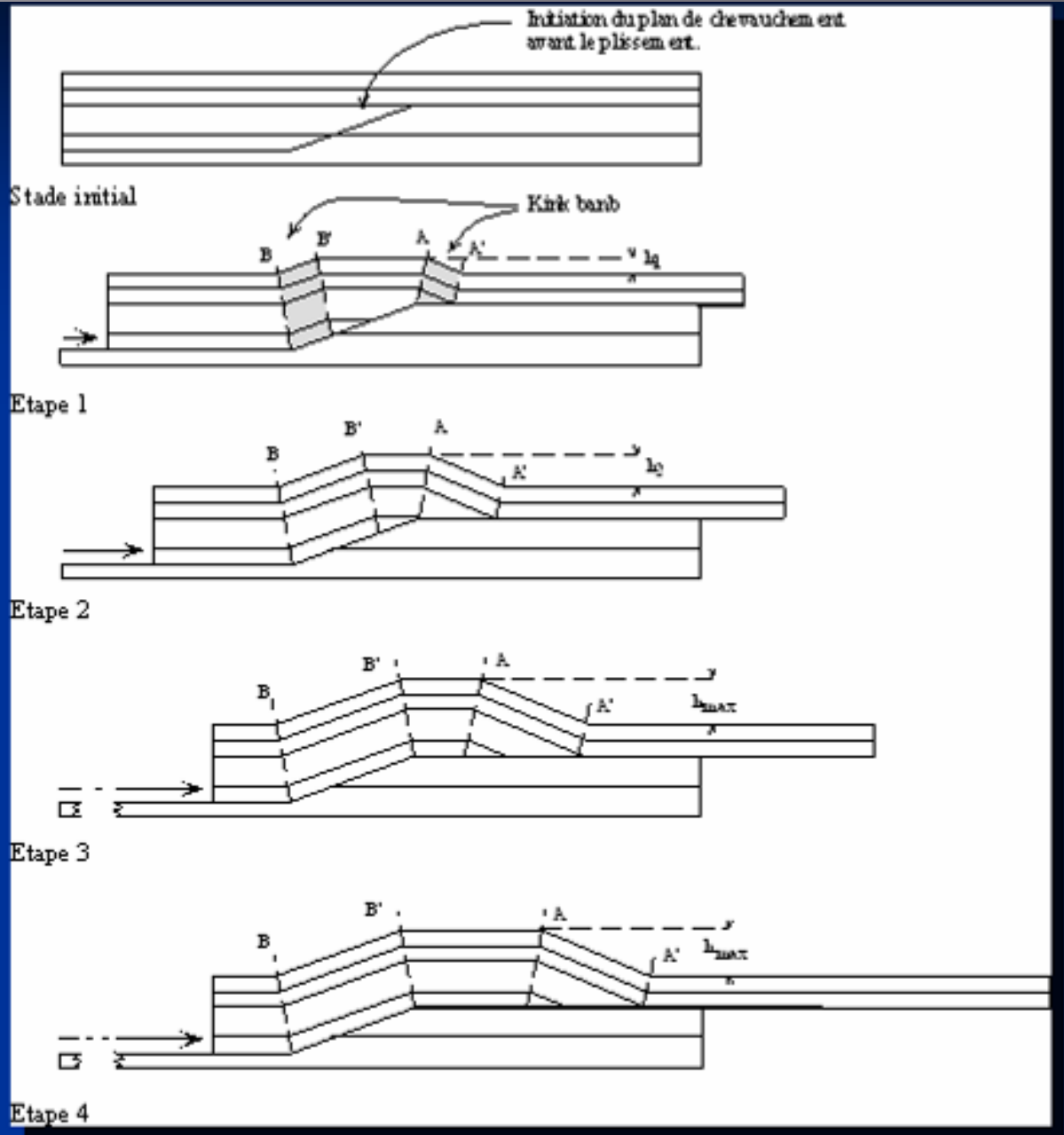
**Variation
instantanée des
pendages :**
géométrie en Kink



La géométrie simple des plis en rampe et paliers ainsi que les plis de décollement permet le développement de modélisation cinématique « directe » qui décrivent l'évolution géométrique du plissement.

Celle-ci dépend en premier lieu:

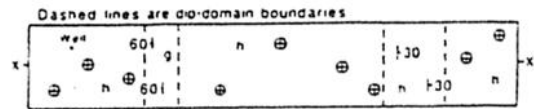
- Du pendage de la rampe,
- De la valeur du raccourcissement,
- Du rapport de vitesse de la propagation de la rampe/au glissement des séries au toit de la rampe.



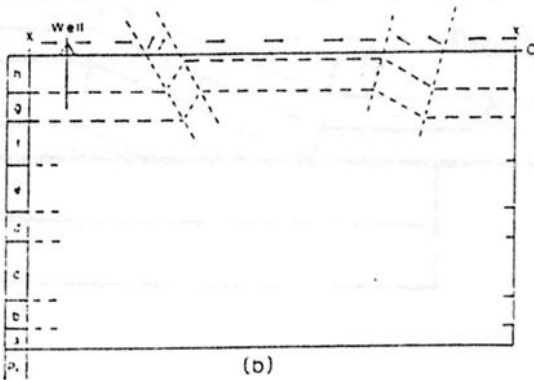
Entre les étapes 1 et 4 :
progression de la rampe
en même temps que le
raccourcissement
s'accroît

La contrainte
compressive imposé à
l'arrière est en grande
partie transmise à
l'avant. Tout le
raccourcissement n'est
pas concentré dans le pli

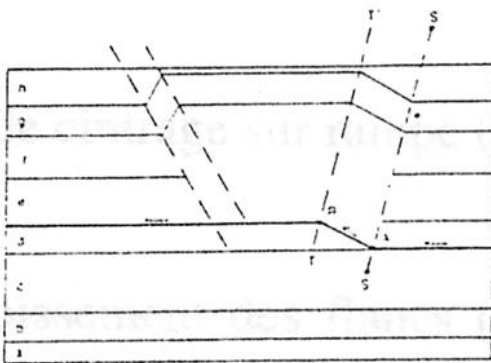




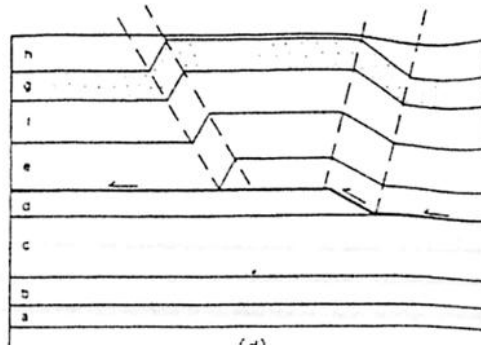
(a)



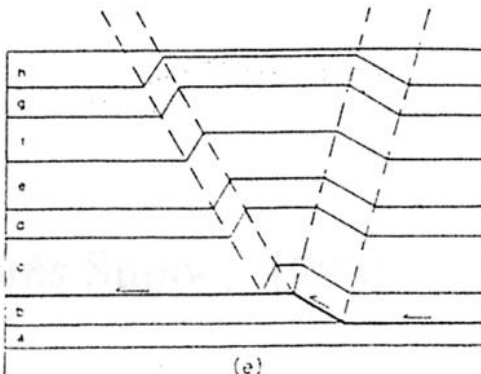
(b)



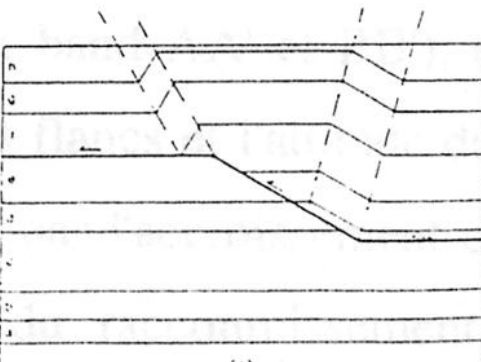
(c)



(d)



(e)



(f)

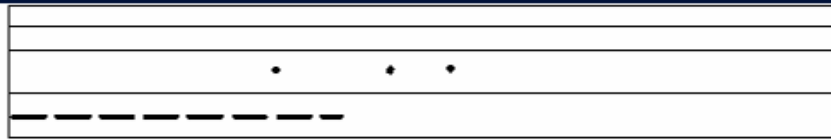
Problème d'indétermination géométrique du pli de ceintage sur rampe : 3 paramètres inconnus

- Longueur de la rampe
- Profondeurs des 2 paliers

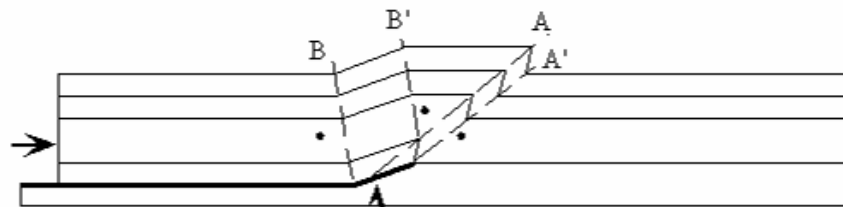
La géométrie en profondeur ne reflète pas la géométrie en surface.

=> **modèle cinématique sous-contraint**

Pas de transmission
de contrainte sur
l'avant

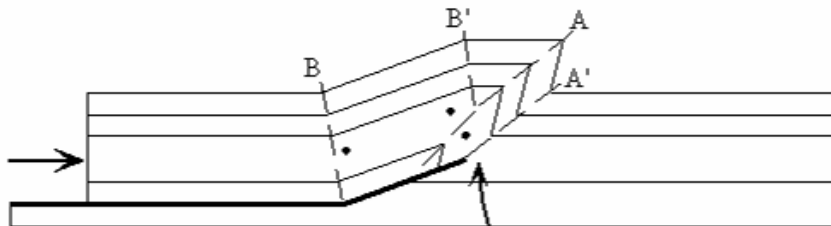


Stade initial



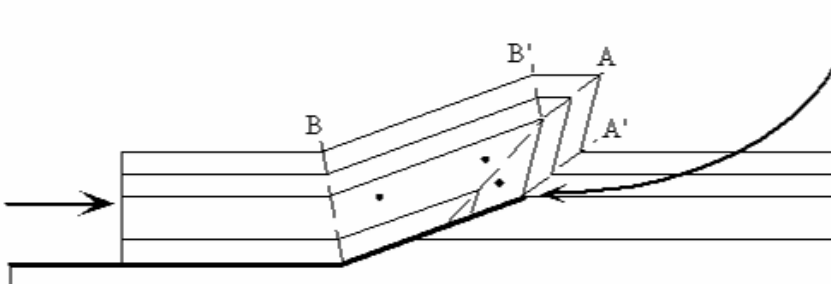
Etape1

La rampe se propage dès les premiers incréments du raccourcissement



Etape2

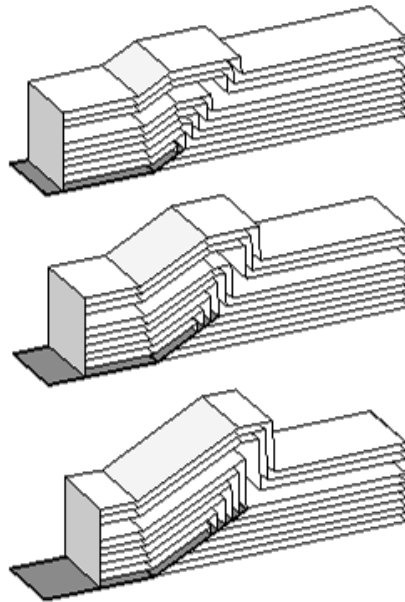
Propagation simultanée de la rampe et de la charnière synclinale frontale



Etape3



Evolution normale d'un pli de propagation de rampe.

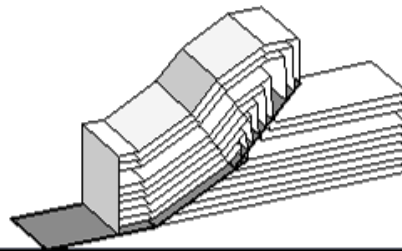
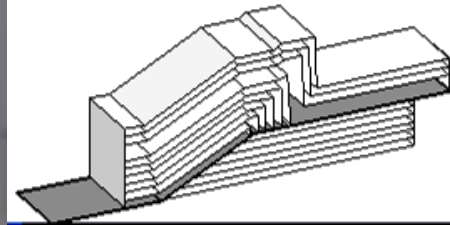


Blocage de la propagation de la rampe

Transport sur le plat

Transfert de la déformation vers un autre site.

Rupture fragile du dressant



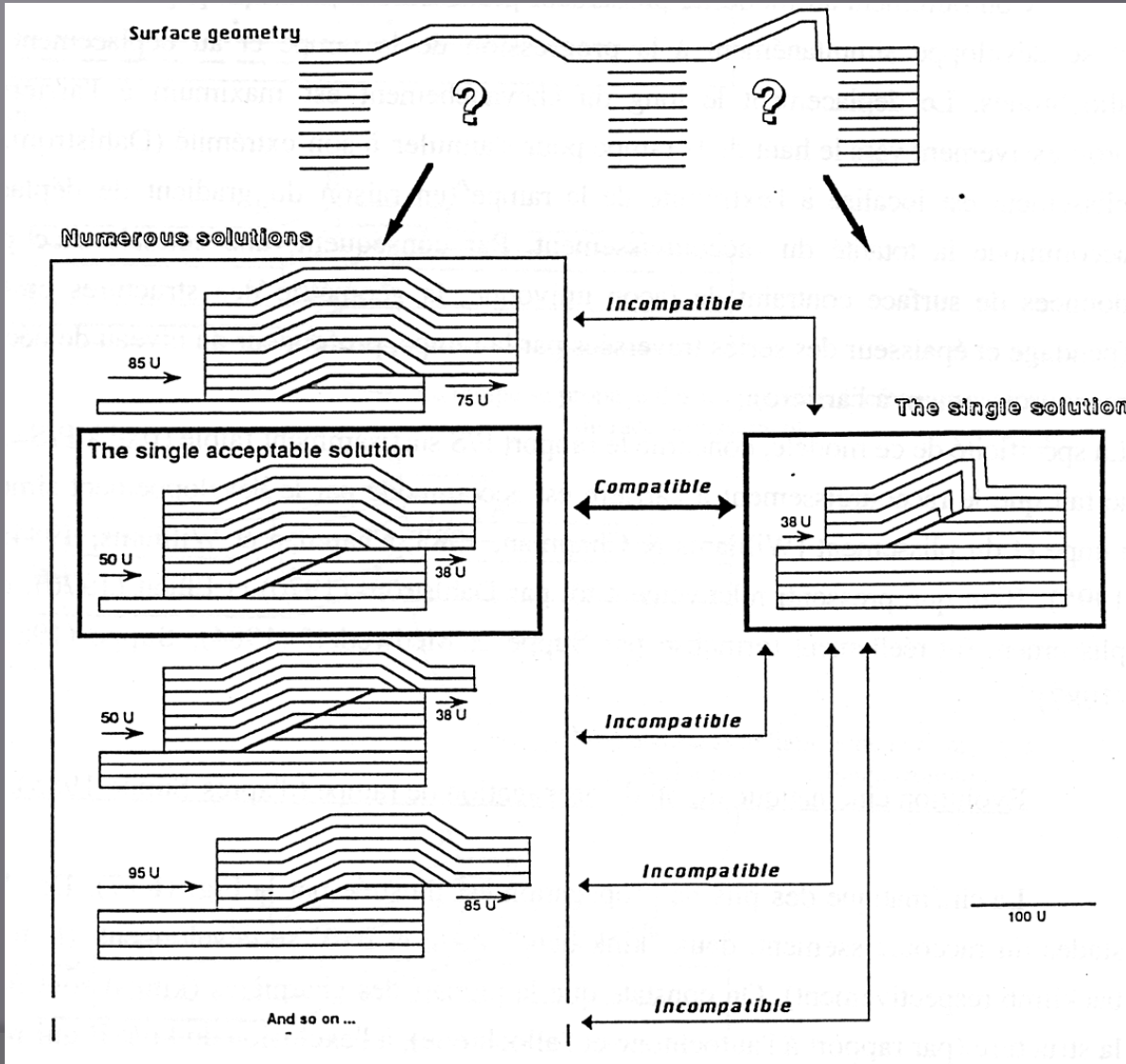
Évolutions post-blocage d'un pli de propagation de rampe



2 façons :

- La rampe se connecte sur un niveau de décollement potentiel => transport sur le plat
- Rupture du dressant, propagation d'une faille directement dans le flanc avant

1 solution au problème d'indétermination géométrique du pli de ceintrage sur rampe



Cas de 2 plis successifs

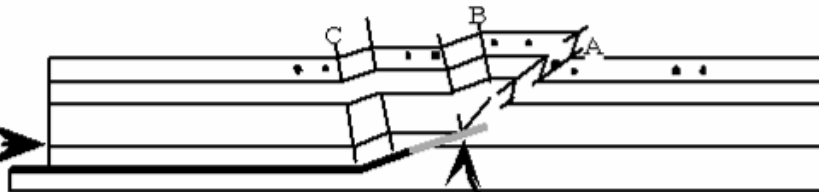
Le pli de propagation en avant est parfaitement bien défini : 1 seule solution => celle-ci va imposer une solution pour le cas du pli de ceintrage situé en arrière (on connaît la profondeur du décollement, la quantité de contrainte,...)

Modèle
intermédiaire entre
pli de ceintrage sur
rampe et pli de
propagation de
rampe.



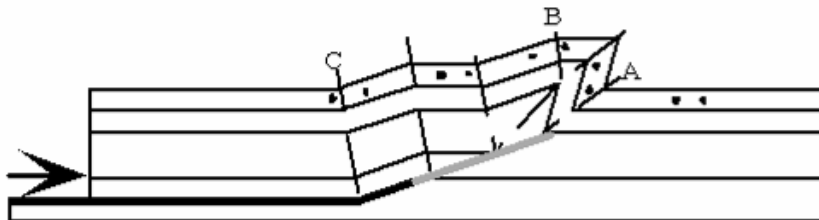
Stade initial

Section préexistante de la rampe



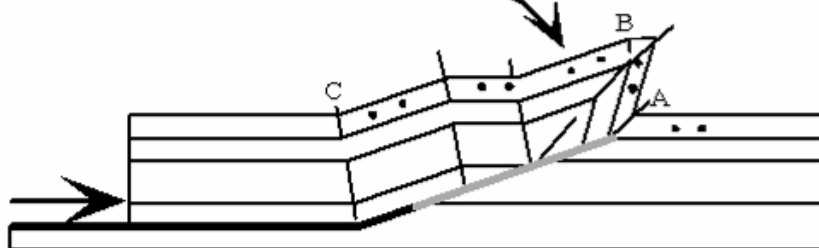
Etape 1

Segment de la rampe se propageant en même temps que le raccourcissement.



Etape 2

Flanc amont



Etape 3

Les plis isopaques



- Isopaque car même épaisseur
- Anticlinal avec charnière et flancs plongent vers le bas
- *Inversement* le pli est dit synclinal

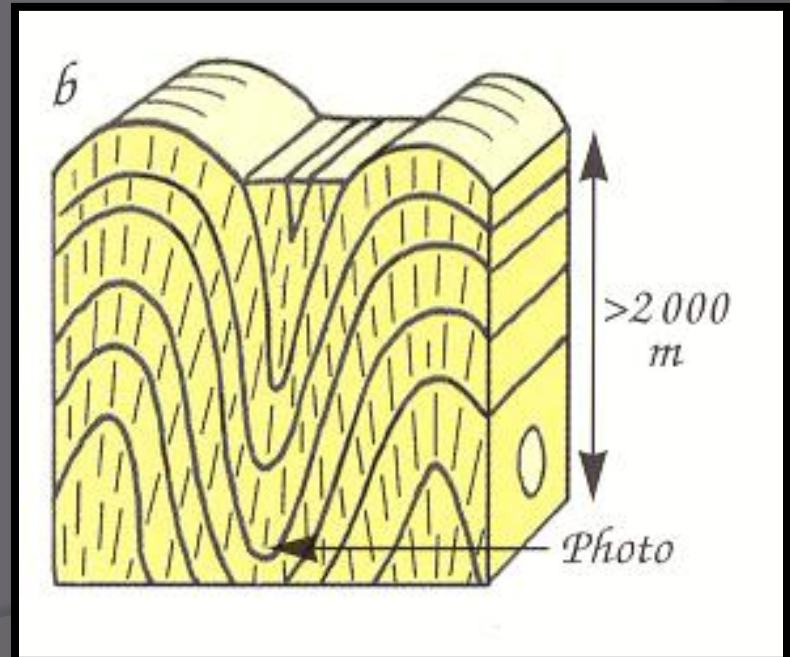
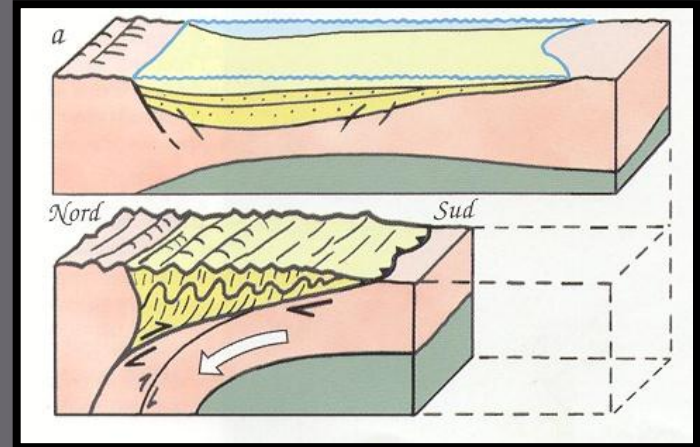
Les plis disharmoniques

- Contraste avec roches résistantes (calcaire) et roches molles (marno calcaire)
- Strates sombres +/- isopaques
- Taille des plis proportionnelle à l'épaisseur des couches
- Chaque couche s'est plissée indépendamment



Les plis semblables

- Plissement semblable car courbures des strates identiques le long de la médiane du pli
- Les courbures coïncident par translation
 - a/ raccourcissement du bassin sédimentaire
 - b/ schistosité tend vers la verticale



Les plis couchés



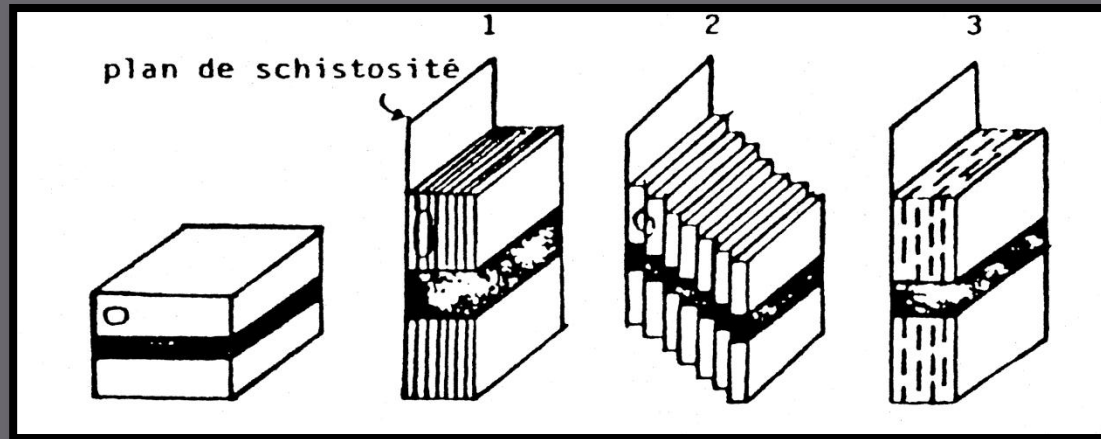
- Marnes sombres et strates siliceuses
- Plis isopaques couchés
- Calcaire transformé en marbre et schistosité disparue à $T=500^{\circ}\text{C}$
- Les strates se rapprochent de l'horizontale à l'endroit (normaux) ou à l'envers (inverse)



Bassin de Graissessac

La schistosité

- Une roche est dite **schisteuse**, ou affectée de schistosité, lorsqu'elle présente un feuilletage en minces lames parallèles. Ce feuilletage peut correspondre :
 - au plan d'aplatissement de la matière (schistosité de flux)
 - au développement d'innombrables microfailles ou microplifailles qui se superposent à une déformation continue appréciable ;
 - au développement conjoint des deux mécanismes superposés



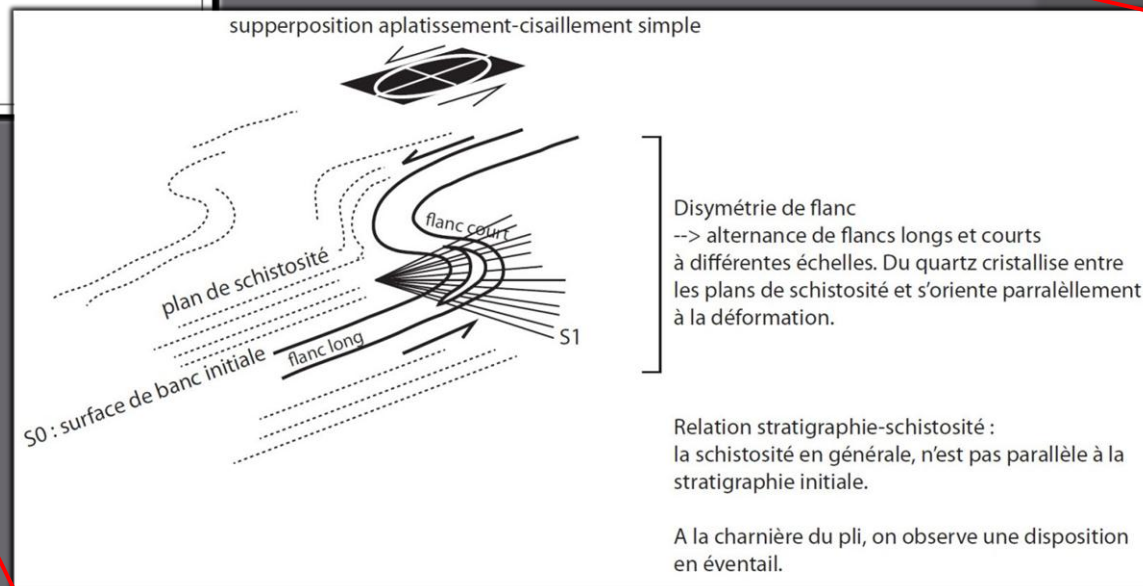
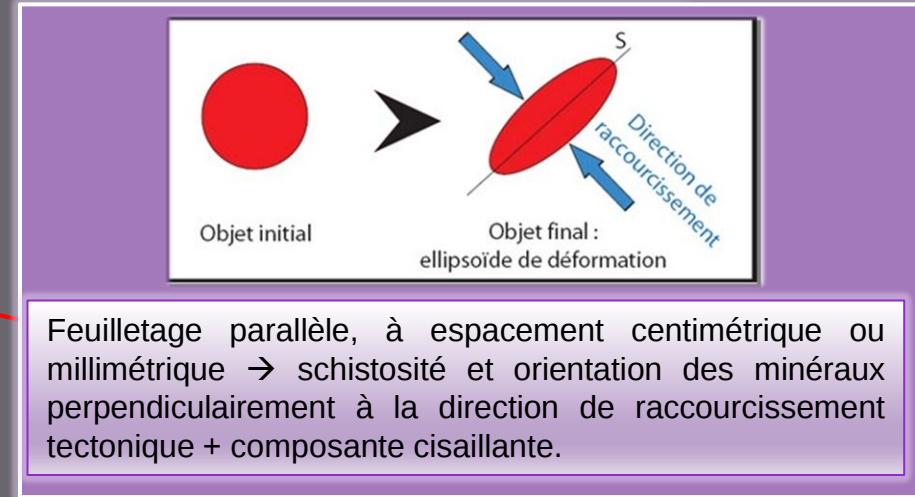
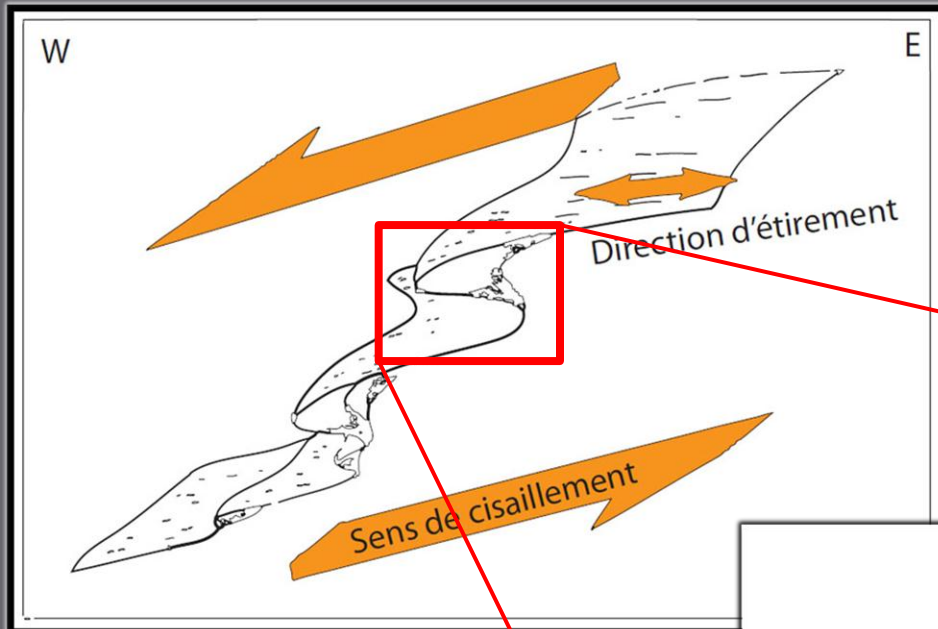
Divers types de schistosité

1 = Schistosité de flux

2 = Schistosité de fracture

3 = Foliation

La schistosité



La schistosité : importance pour l'ingénieur

- La schistosité introduit une forte anisotropie des propriétés mécaniques de la roche. Cela sera particulièrement sensible, entre autres, dans les problèmes de terrassement lorsqu'il conviendra d'utiliser des rippers, ou au laboratoire pour le choix et l'orientation des échantillons ;
- La schistosité joue un rôle déterminant dans tous les problèmes de stabilité, qu'ils soient naturels ou provoqués par l'exécution des travaux (glissements de terrain). Il ne faut absolument pas perdre de vue que la schistosité crée un véritable "prédécoupage" de la roche, et que, dans bien des cas, les plans de schistosité enduits de minéraux de néoformation sont extrêmement sensibles au glissement couche sur couche.

Relation entre plissement et schistosité

