

Tectonique



Shop

- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier

Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi

- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

REVISION

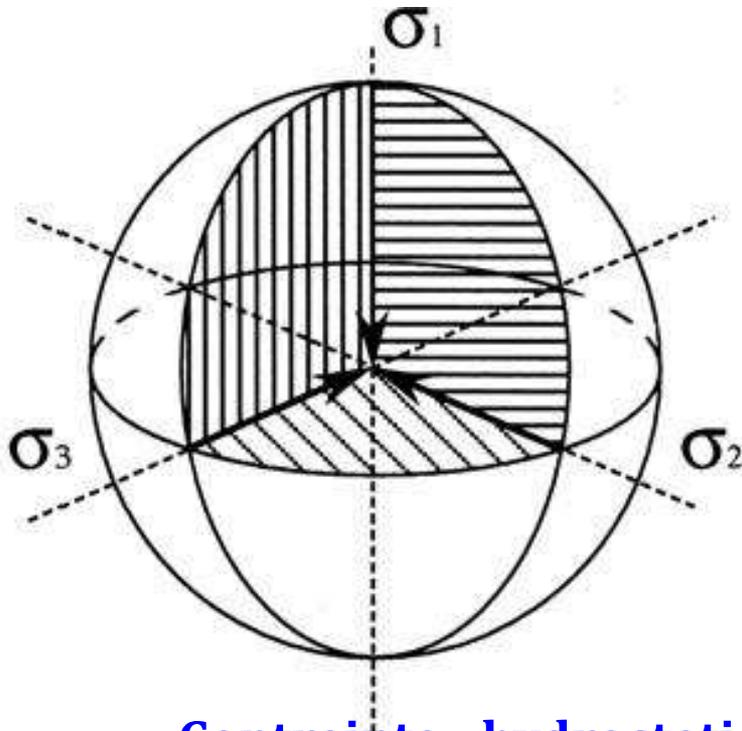
**NOTION DE MECANIQUE DES
ROCHES (RHEOLOGIE)**

La pression lithostatique, pression hydrostatique et contrainte déviatorique

- La pression lithostatique fait appel à un caractère d'isotropie équivalent à celui de la pression hydrostatique dans la croûte terrestre or les roches jusqu'à une certaine profondeur sont des solides.
- En réalité c'est à la profondeur à laquelle les roches deviennent moins visqueuses, fluides, que cette expression correspond réellement à une pression lithostatique c'est-à-dire isotrope qui devient égale à une certaine profondeur à la pression hydrostatique.

Notion de contrainte :

- **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**.



$$F = \rho g h$$

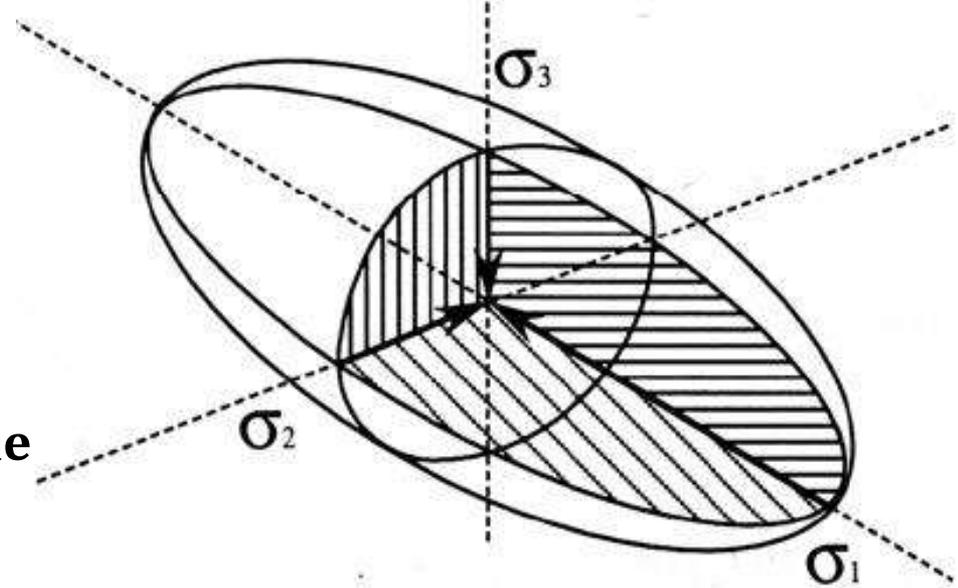
(ρ : densité moyenne des roches; g : accélération de pesanteur)

- La contrainte est **isotrope**.
- Le champ de contrainte est assimilable à **une sphère**.
- Il n'y a pas de déformations (**$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$**), **contrainte uniaxiale**.

**Contrainte - hydrostatique
- lithostatique**

Ellipsoïde des contraintes ≠ Ellipsoïde des déformations

Contrainte = Contrainte lithostatique
+ Contrainte déviatorique



Contrainte lithostatique + Contrainte tectonique

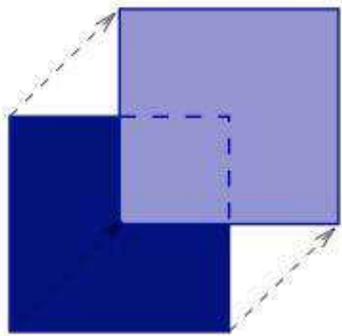
- Un champ de contrainte **anisotrope**.
- Le champ de contrainte est représenté par **un ellipsoïde** (ellipsoïde de contrainte).
- Les roches vont se déformer. **$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$** (**contrainte triaxiale**).
- Les axes d'ellipsoïde des contraintes sont perpendiculaires (**Fig.**) :
 - σ_1 , **la contrainte maximale**;
 - σ_3 , **la contrainte minimale**;
 - σ_2 , **la contrainte intermédiaire**.

Notion de déformation :

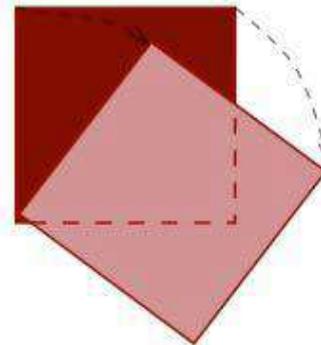
En réponse aux **contraintes**, les roches vont **se déformer**. La déformation comprend:

- des déplacements : **rotations** et **translations**.
- des **changements de formes**

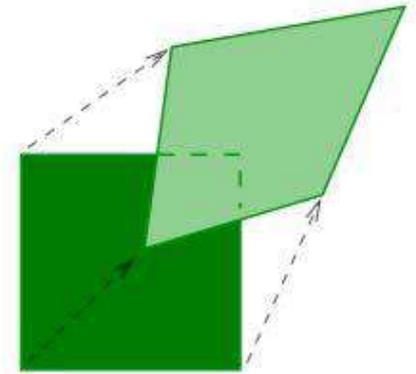
La déformation peut être **discontinue** ou **continue** (cassante ou **ductile**), **homogène** ou **hétérogène**.



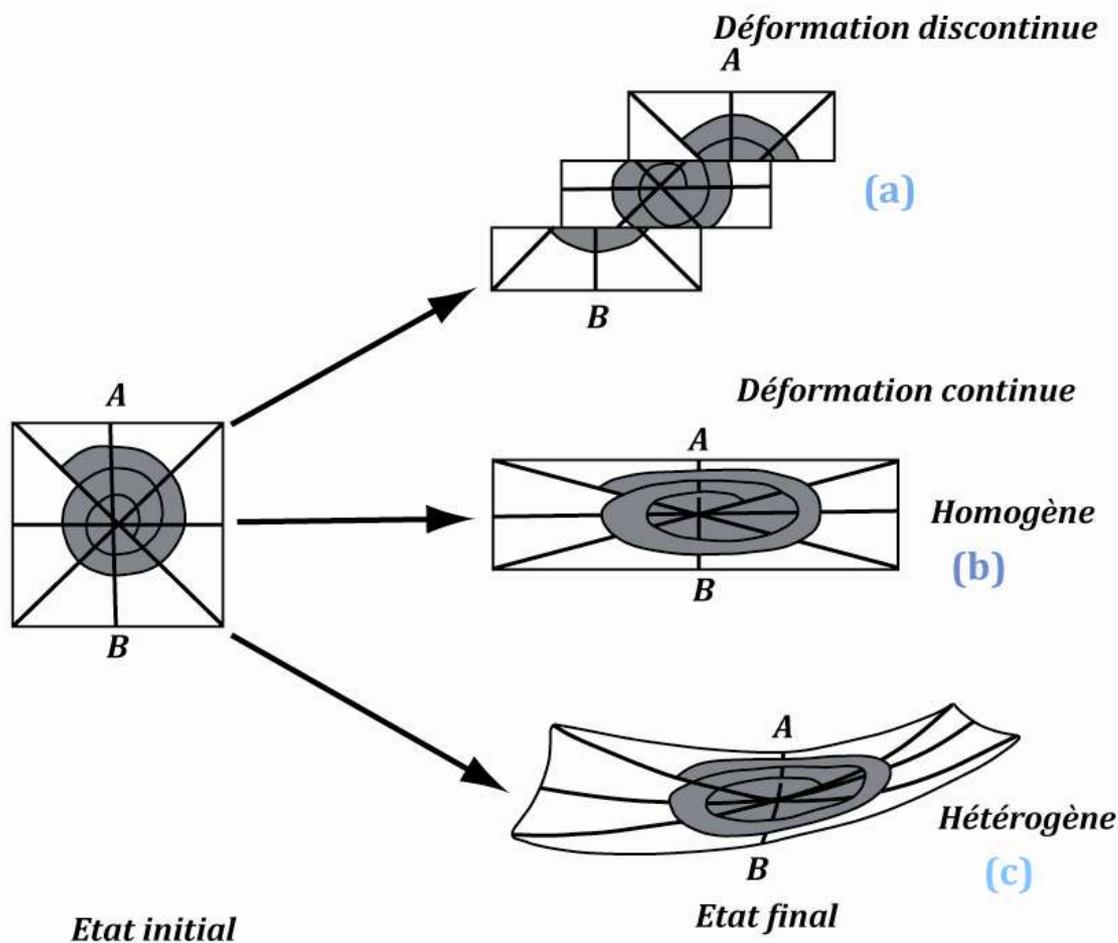
Translation



Rotation



Déformation

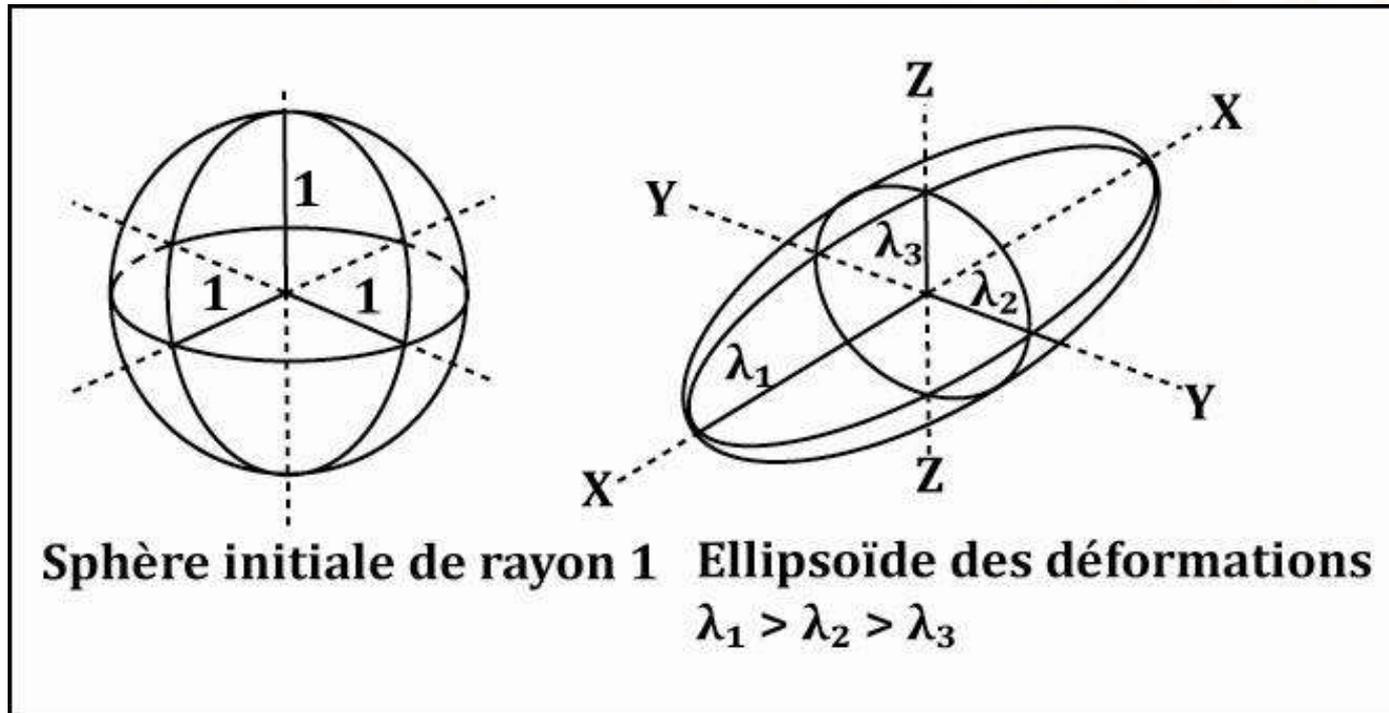


Une déformation peut s'exprimer par une ou des discontinuités, ce sont **des failles** ou **des fractures** on dit que **la déformation est discontinue**, cela indique un **comportement mécanique cassant** ou **fragile** de la roche.

La déformation peut être **souple** comme dans le cas **des plis** par exemples, on dit alors qu'elle est **continue**, cela indique un **comportement mécanique ductile**.

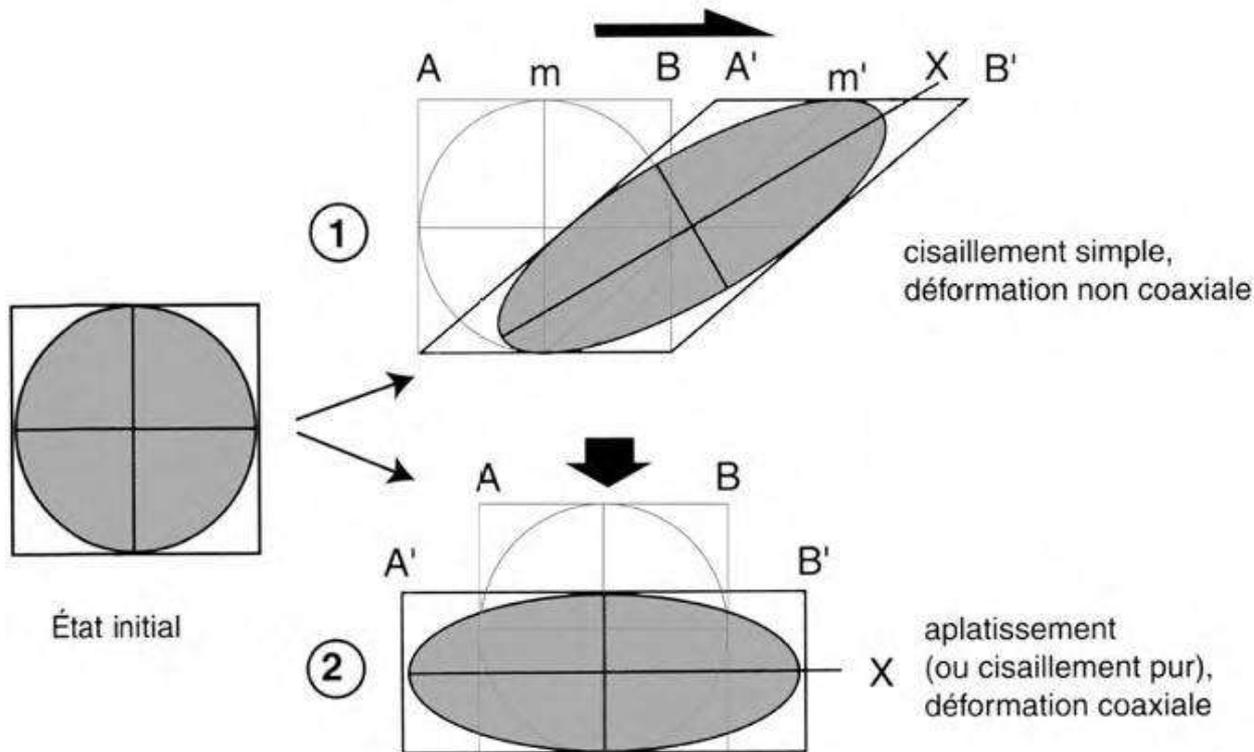
L'ellipsoïde des déformations

(x,y,z) caractérisent le champ de **déformation**. C'est une **observation** de l'objet.



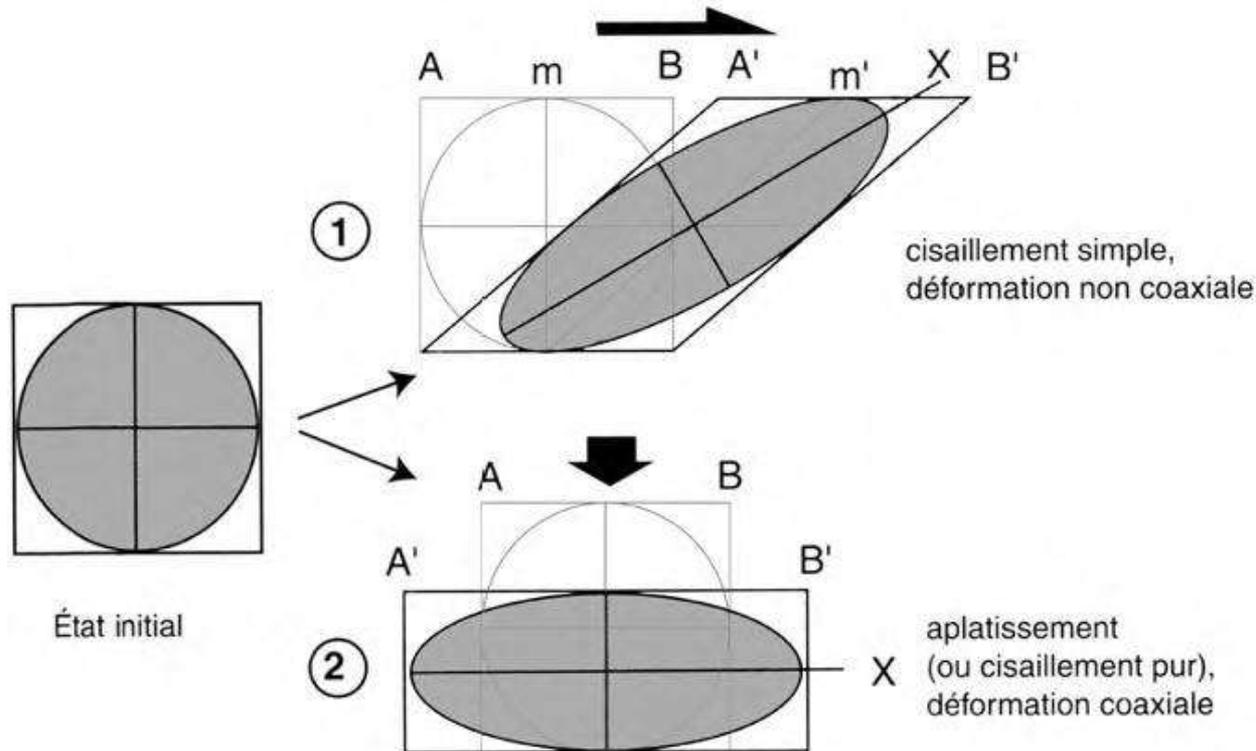
La déformation d'une sphère donne un ellipsoïde dont les 3 axes principaux peuvent être identifiés comme suit : **OX : élongation maximale** ; **OZ : raccourcissement maximal** et **OY : raccourcissement intermédiaire.**

Aplatissement pur \neq Cisaillement simple



Dans l'aplatissement pur les axes X et Z gardent toujours **la même orientation**, l'objet est « écrasé ». Les axes X et Z sont parallèles à la direction de contrainte principale ($\sigma_1 // Z$ et $\sigma_3 // X$) on dit que la déformation est coaxiale.

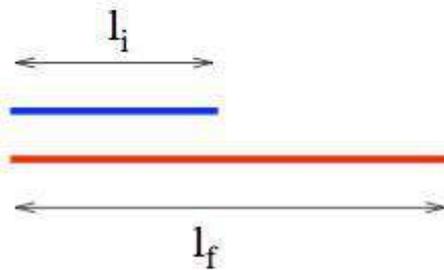
Aplatissement pur \neq Cisaillement simple



Dans le cisaillement simple les axes X et Z **changent de direction** pendant la déformation, ils ne restent pas parallèles aux contraintes principales, l'objet est « cisaillé ». On dit que **la déformation est non coaxiale**.

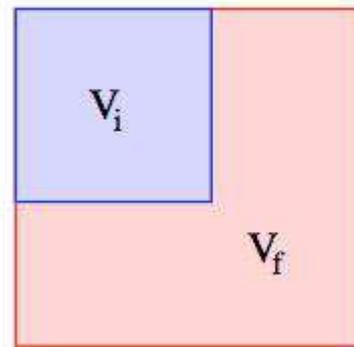
Quantification de la déformation: variation en terme de **distance**, **volume**, **angle** par rapport à un état initial.

Grandeur sans dimension.



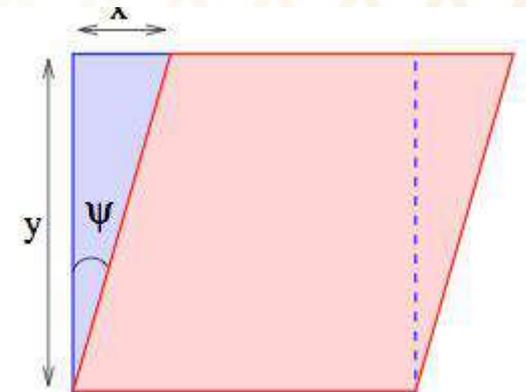
Déformation linéique

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l_f - l_i}{l_i}$$



Déformation volumique

$$\Delta = \frac{\Delta V}{V} = \frac{V_f - V_i}{V_i}$$



Déformation angulaire

$$\gamma = \tan \psi = \frac{x}{y}$$

Classification des ellipsoïdes de déformation

La détermination de l'ellipsoïde (**mesure et orientation**) est un des objectifs de l'analyse structurale. Il faut disposer **d'objets déformés** dont on connaît la forme initiale: galets, fossiles, grains détritiques, etc...

En 3 dimensions, l'ellipsoïde de déformation est défini par ses 3 axes, $X \geq Y \geq Z$. Selon la taille relative des 3 axes, on peut distinguer deux cas extrêmes (**Fig. a et b**) :

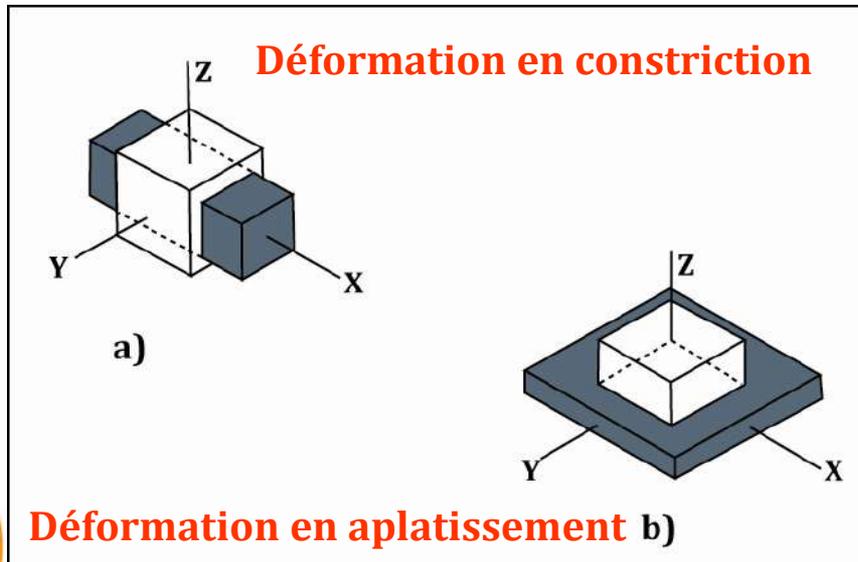
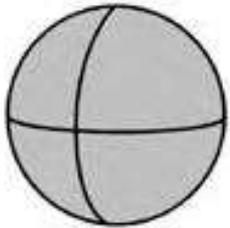


Fig. : (a) Déformation en constriction; et (b) en aplatissement; d'un objet initialement cubique.

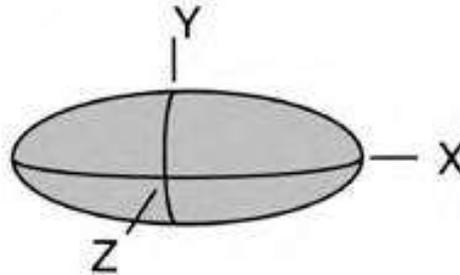
- $X > Y = Z$. L'ellipsoïde prend la forme d'un **cigare**. Cette situation correspond à un **étirement selon X (constriction)**.
- $X = Y > Z$. L'ellipsoïde a la forme d'une **crêpe**. C'est un **écrasement selon Z (aplatissement)**.

Classification des ellipsoïdes de déformation

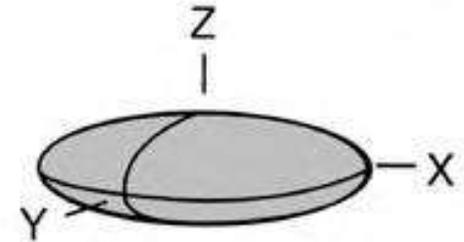
X : axe d'allongement maximum
Y : axe intermédiaire
Z : axe de raccourcissement maximum



état initial



cas 1 :
Z proche de Y



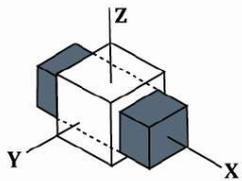
cas 2 :
X proche de Y



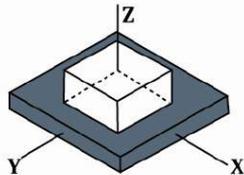
CONSTRICTION



APPLATISSEMENT



a)



b)

Relation contrainte – déformation

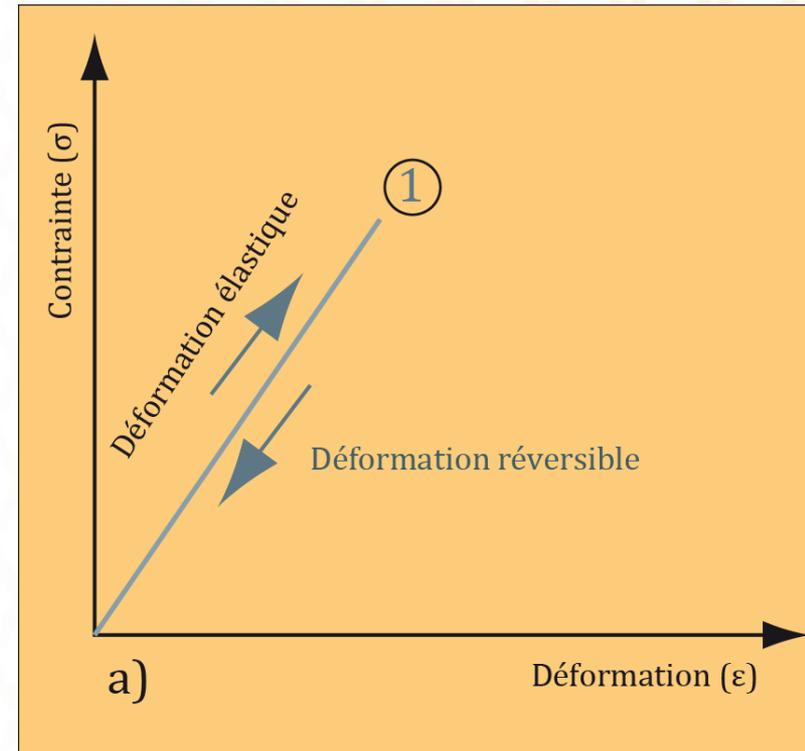
Le comportement des roches est essentiellement étudié grâce à **la mécanique des roches**, c'est à dire à partir des résultats de **la tectonique expérimentale**.

Types de comportements des roches:

- **Elastique;**
- **Plastique;**
- **Cassant.**

Relation contrainte – déformation

Déformation élastique

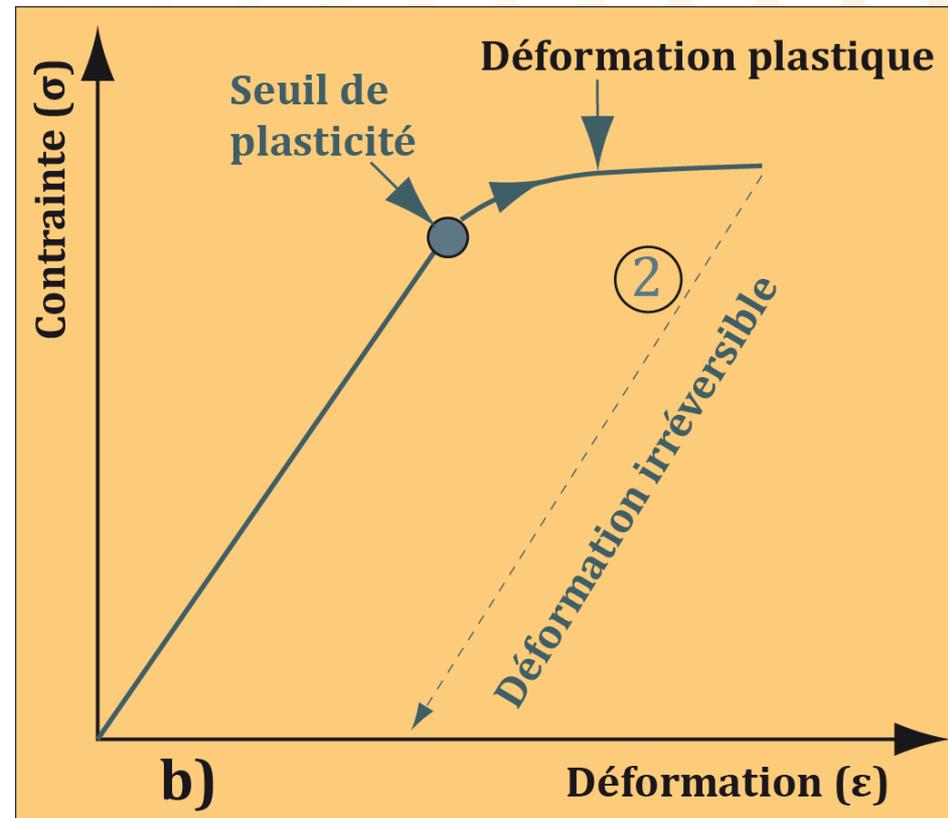


Comportement élastique : déformation immédiate (pas de seuil), réversible de la roche

- Relation linéaire (**proportionnelle**) entre σ et ϵ .
- Matériaux élastiques accumulent une déformation qu'ils restituent quand la contrainte est relâchée.

Relation contrainte – déformation

Déformation plastique

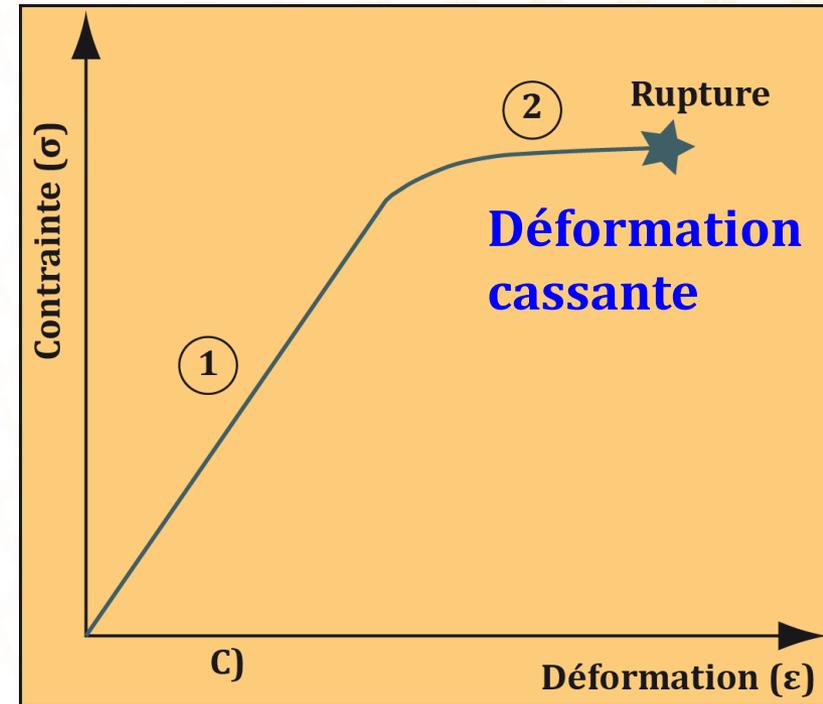


Comportement plastique : déformation **non réversible** de la roche

- Pas de relation linéaire entre σ et ϵ .
- Matériaux plastique ne restituent pas la déformation après relaxation des contraintes.

Relation contrainte – déformation

Déformation cassante



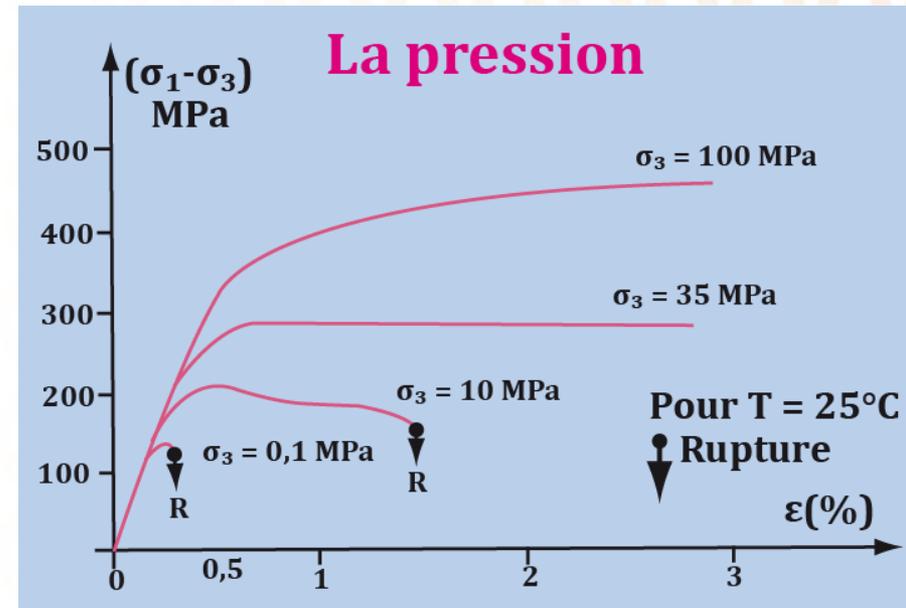
Roche cassante : se déforme de manière élastique voir même un peu plastiquement avant la rupture.

- **Déformation permanente** de la roche.
- Toute l'énergie est utilisée pour déformer le matériau.
- Les matériaux **se cassent**.
- Déformation **discontinue, froide et rapide**.

Paramètres qui contrôlent la déformation

Variation de la Pression confinante :

- **Fracturation retardée** par augmentation de la pression de confinement.
- Si la pression de confinement atteint de valeurs élevées supérieure à **30 MP**, la **rupture n'existe plus**.



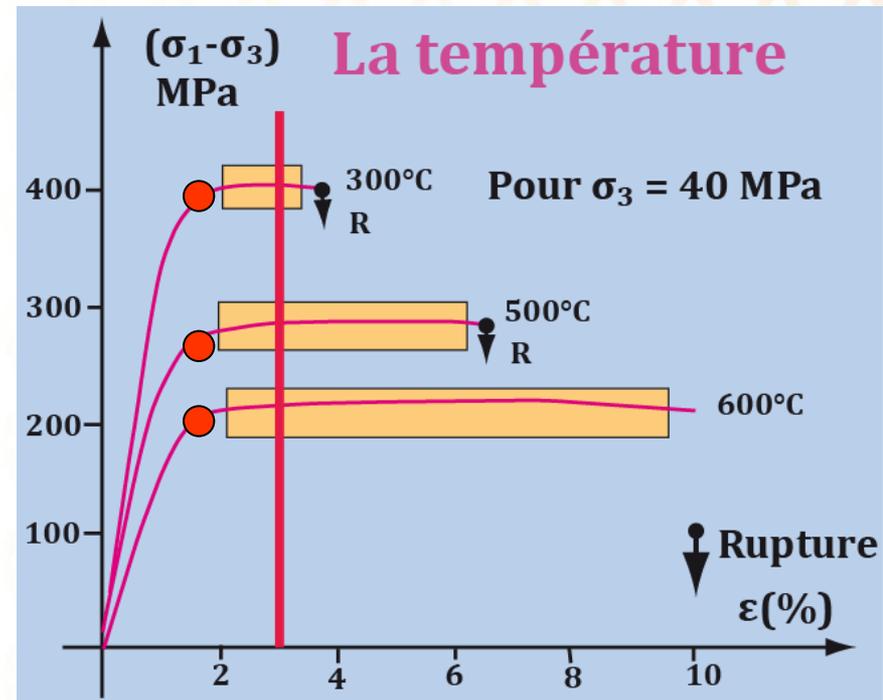
- Pour des **P** confinante faibles le **comportement est cassant**, pour des **P** croissantes les roche ont un **comportement plutôt plastique**; la déformation est ductile.

Paramètres qui contrôlent la déformation

Variation de la température confinante :

- Si la température augmente, le seuil de fluage plastique diminue.
- Amollissement de la roche et déformation avant rupture.

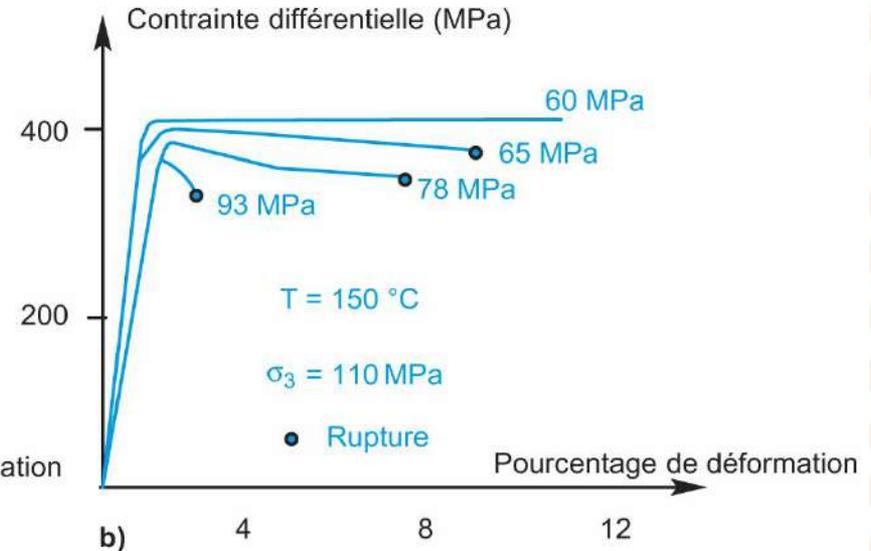
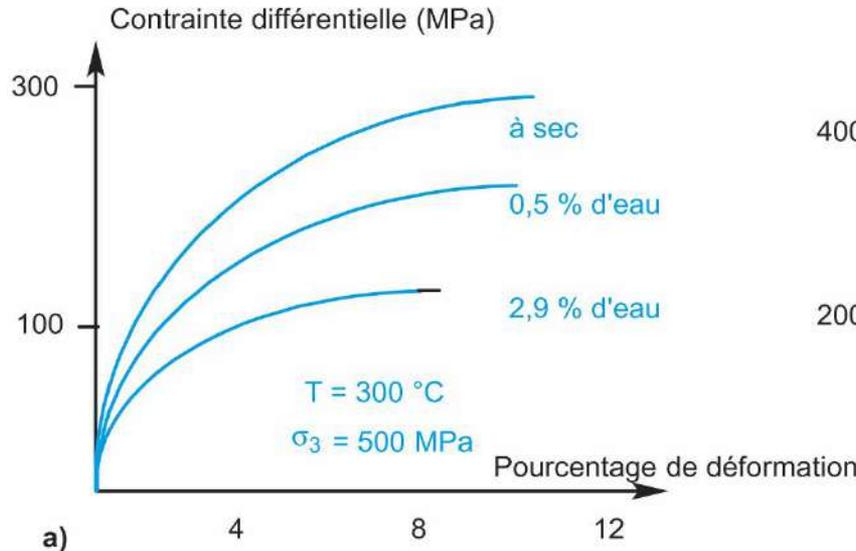
La pression hydrostatique retarde la rupture → effets conjugués de la pression et de la température étend le domaine ductile de la roche.



Pour des T faibles les roches ont un comportement cassant, pour des T croissantes la déformation sont plus faciles, plus ductiles; les roches ont un comportement plastique.

Paramètres qui contrôlent la déformation

Présence de fluides :



- À **température** et **pression de confinement élevées** (a), la teneur en fluide rend la roche plus **ductile**.
- À **température** et **pression de confinement basses** (b), l'augmentation de la **pression d'eau** favorise la **rupture**.
- Ainsi l'effet des fluides est différent selon **la profondeur** : la pression de fluide favorise **la fracturation** à **faible profondeur** alors qu'à **plus grande profondeur**, la présence de fluides favorise un comportement **ductile**.

Paramètres qui contrôlent la déformation

Influence de la lithologie :

Pour des **P** et des **T** données, le comportement des roches varie en fonction de leur **lithologie**: c'est la notion de **compétence d'une roche**, c'est à dire son aptitude à résister à la déformation, on distingue pour des conditions de P et de T relativement faibles :

◆ **Des roches compétentes** : elles se déforment difficilement en donnant plutôt des structures cassantes ce sont : **Granite, Grés, Calcaire...**

◆ **Des roches incompetentes** : elles se déforment facilement, et en général d'une façon ductile : **Argiles, Marnes, Pélites,...**

REVISION

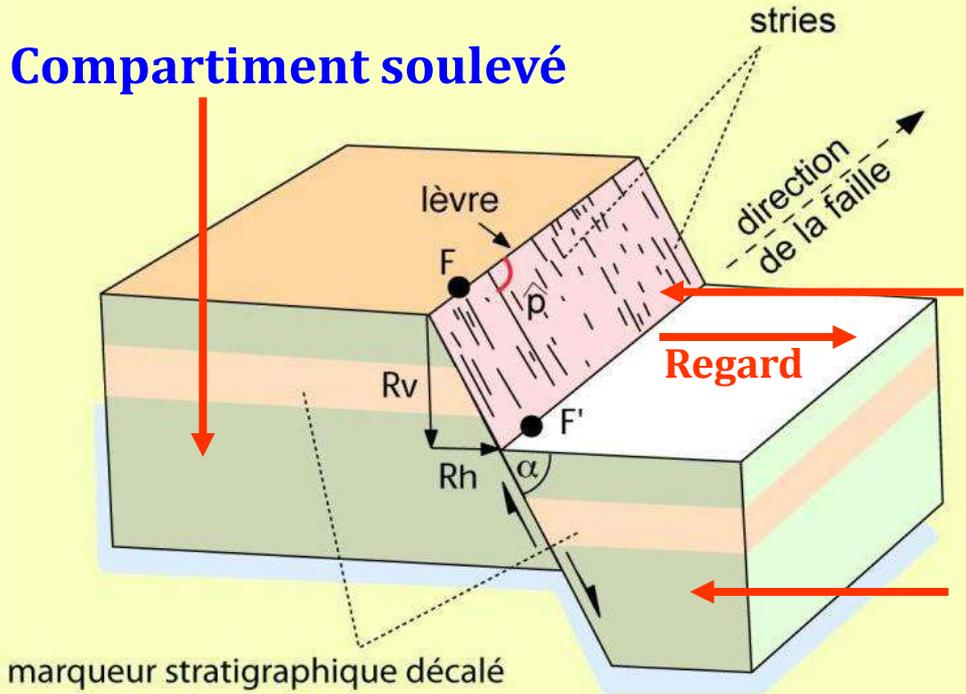
**TECTONIQUE CASSANTE
(DEFORMATION DISCONTINUE)**

Une faille est une surface de **cassure**, le plus souvent **plane**, parfois **courbe**, qui sépare un ensemble de roches en **deux masses rocheuses distinctes**, qui ont subi **un déplacement** de part et d'autre de la **surface de faille**.

La surface de faille est donc une **surface de friction**, très souvent **striée** ou **cannelée**, parfois aussi **polie**, **brillante** : c'est pourquoi une surface de faille est communément appelée **miroir de faille**.

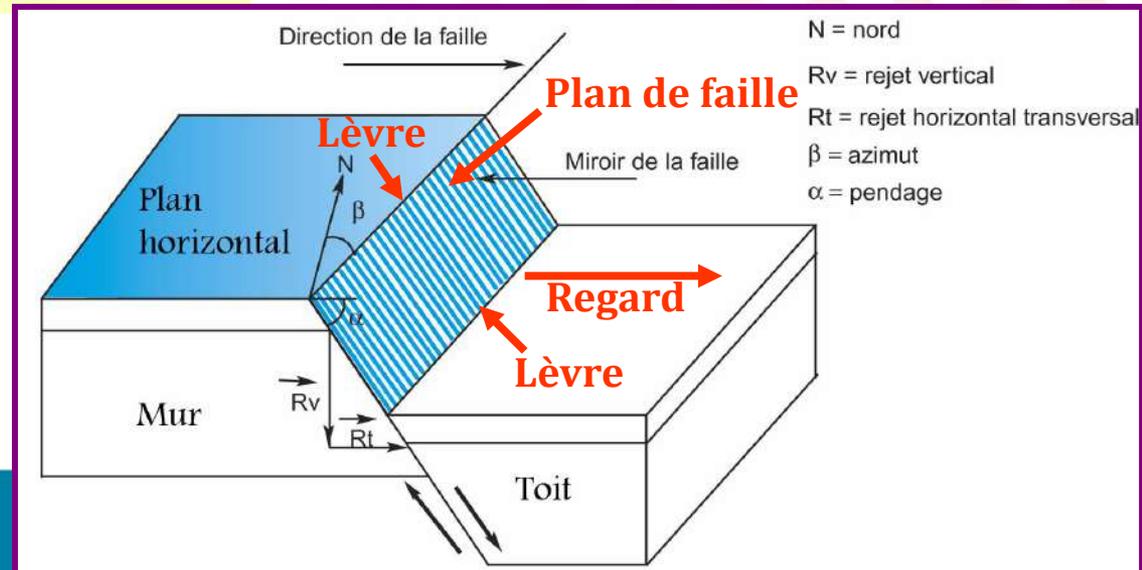
Éléments et géométrie des failles :

Compartiment soulevé



Plan de faille

Compartiment affaissé



Classification des failles

1. Selon leur pendage : *verticale ou oblique*

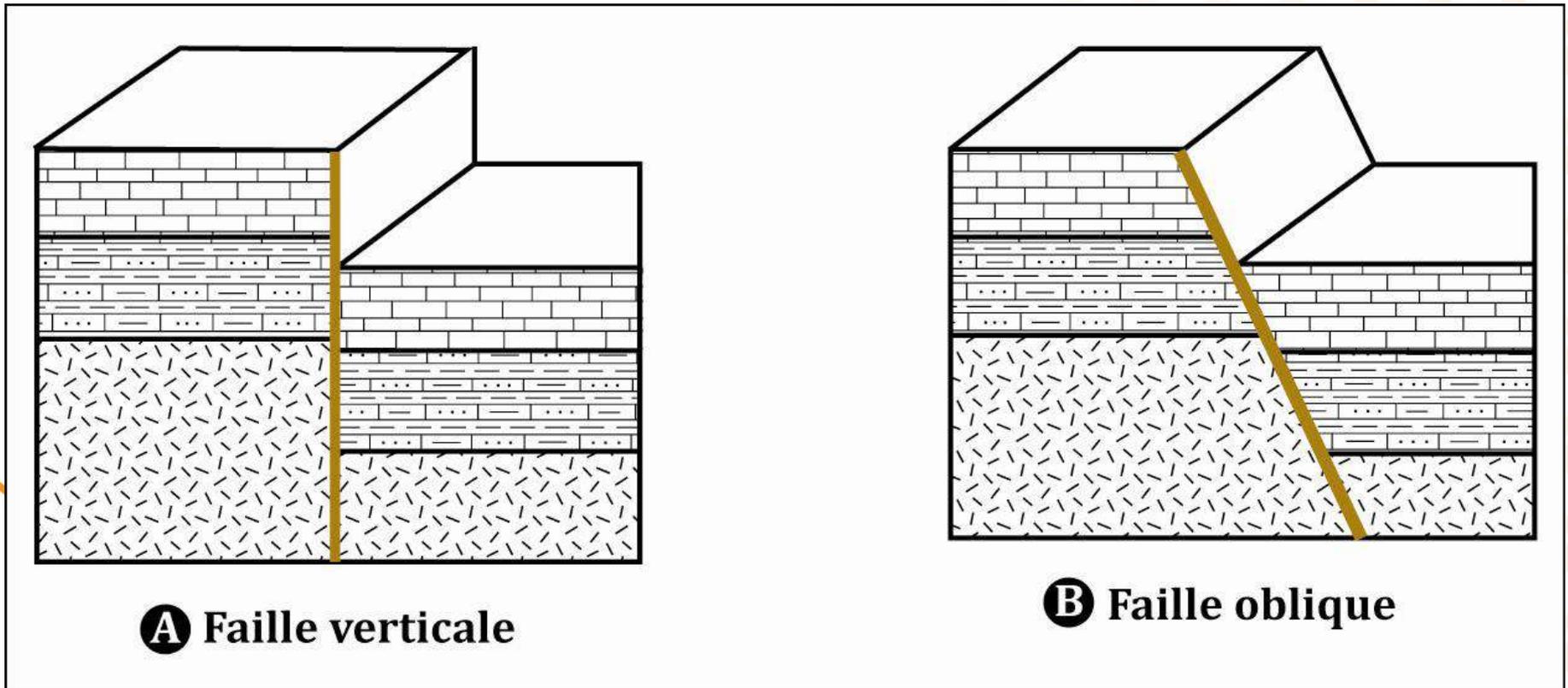
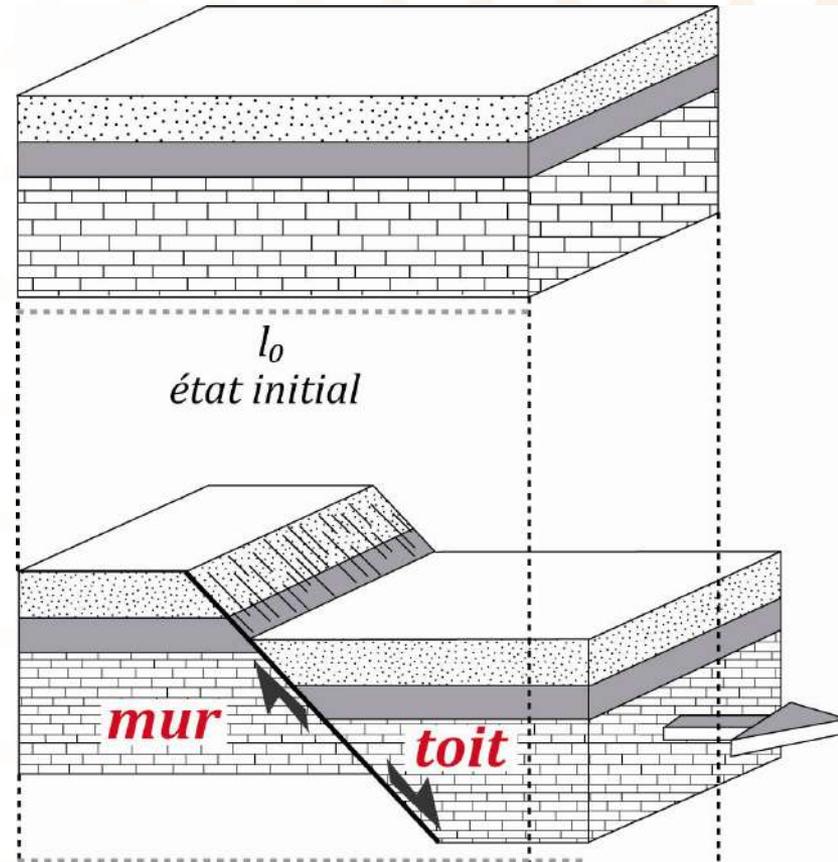
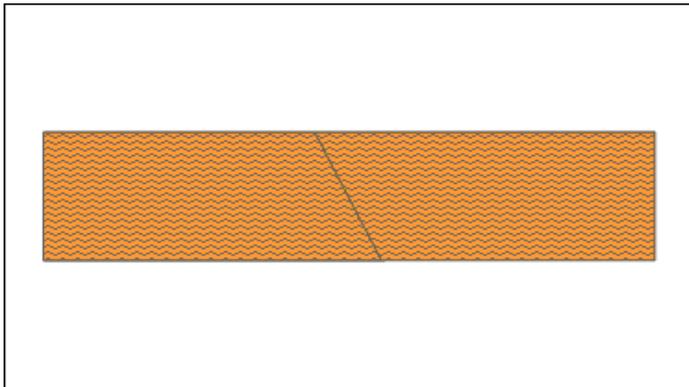
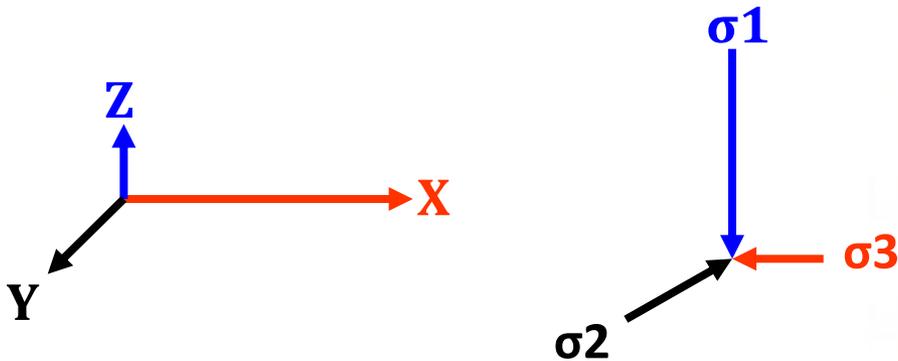


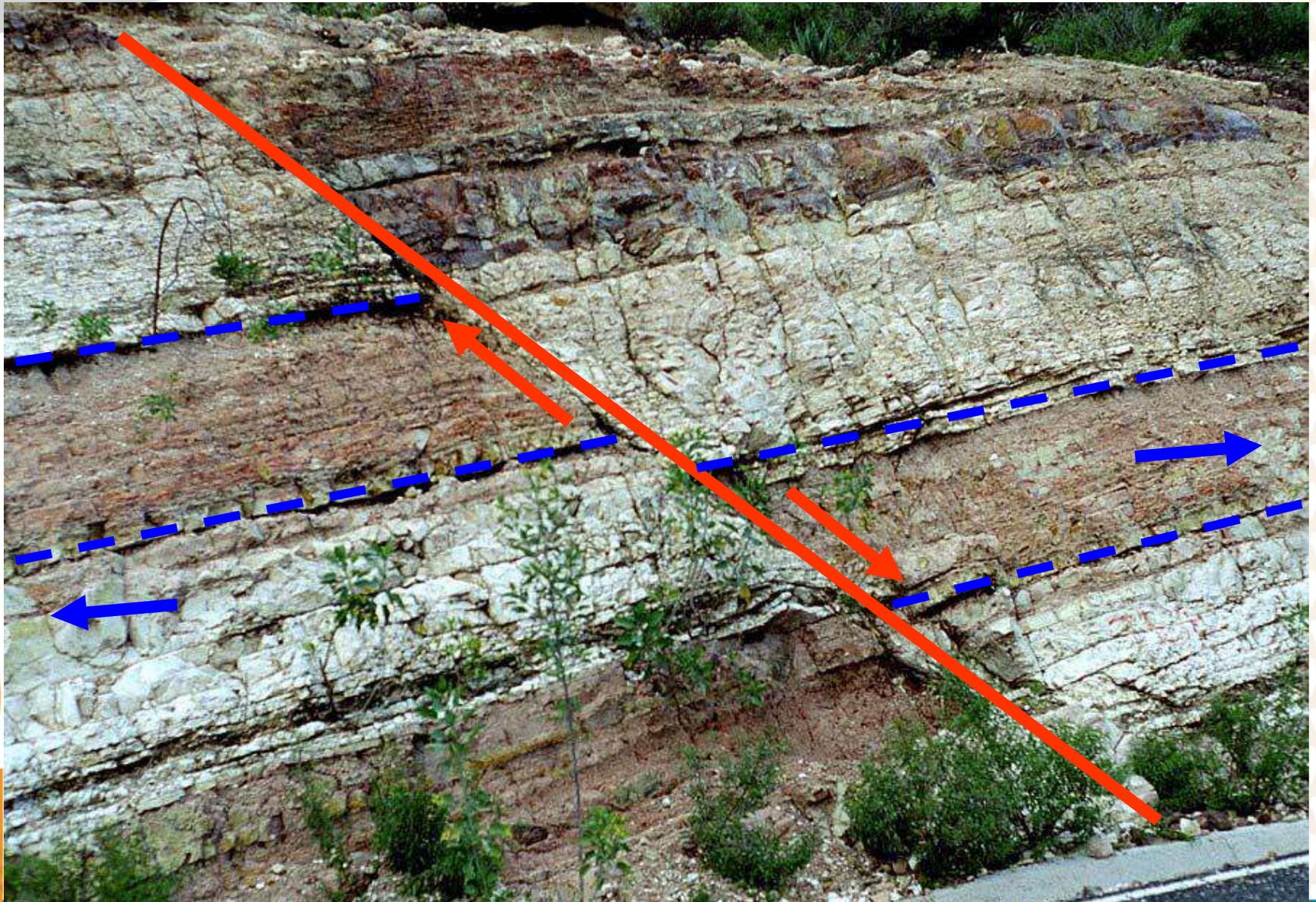
Fig. : Faille verticale (A) et faille oblique (B).

2. Selon leur rejet : Faille normale

Une faille normale accompagne une extension, elle correspond à un allongement horizontal, (σ_3 horizontal, perpendiculaire à la faille, σ_1 vertical), leur pendage typique est de 60°. Le compartiment au-dessus de la faille ("**toit**") **descend** par rapport au compartiment situé en dessous de la faille ("**mur**").



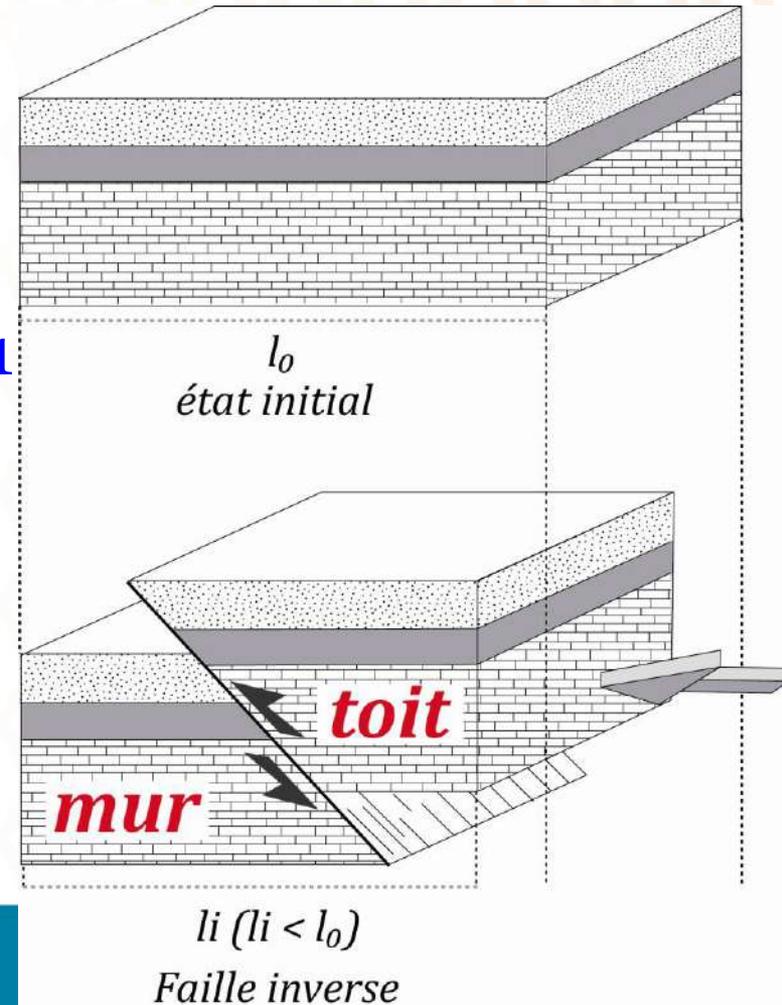
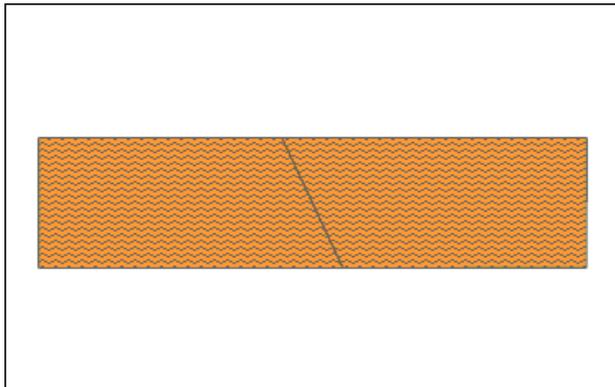
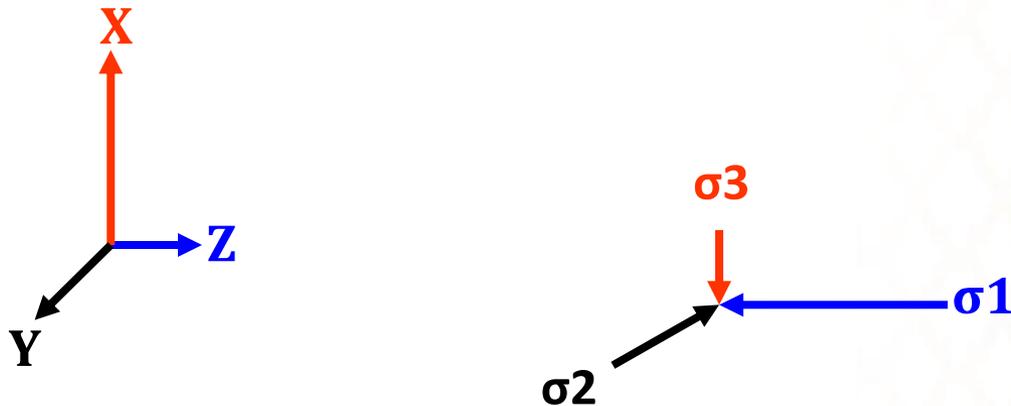
2. Selon leur rejet : *Faille normale*



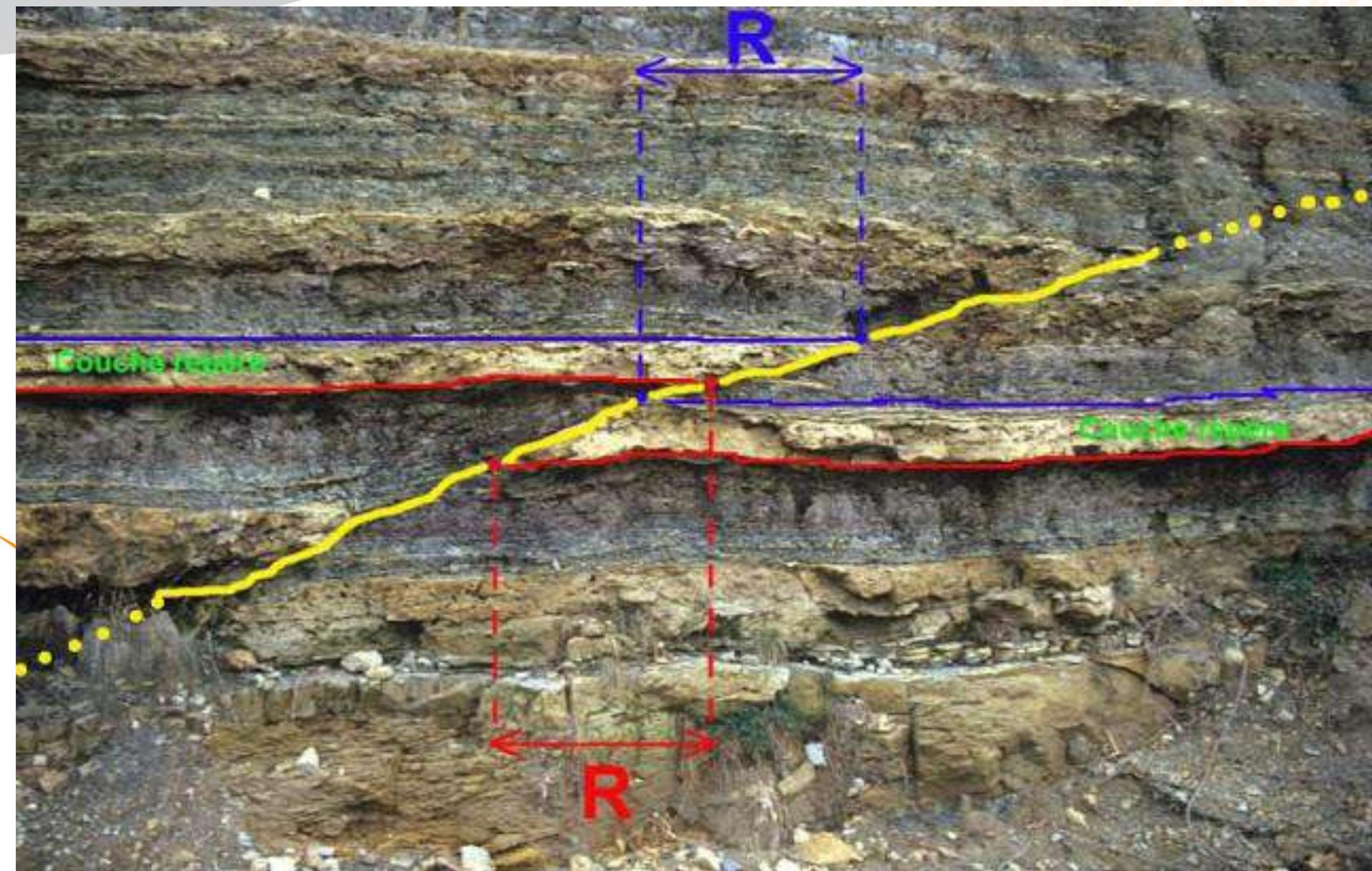
31/12/2014

2. Selon leur rejet : *Faïlle inverse*

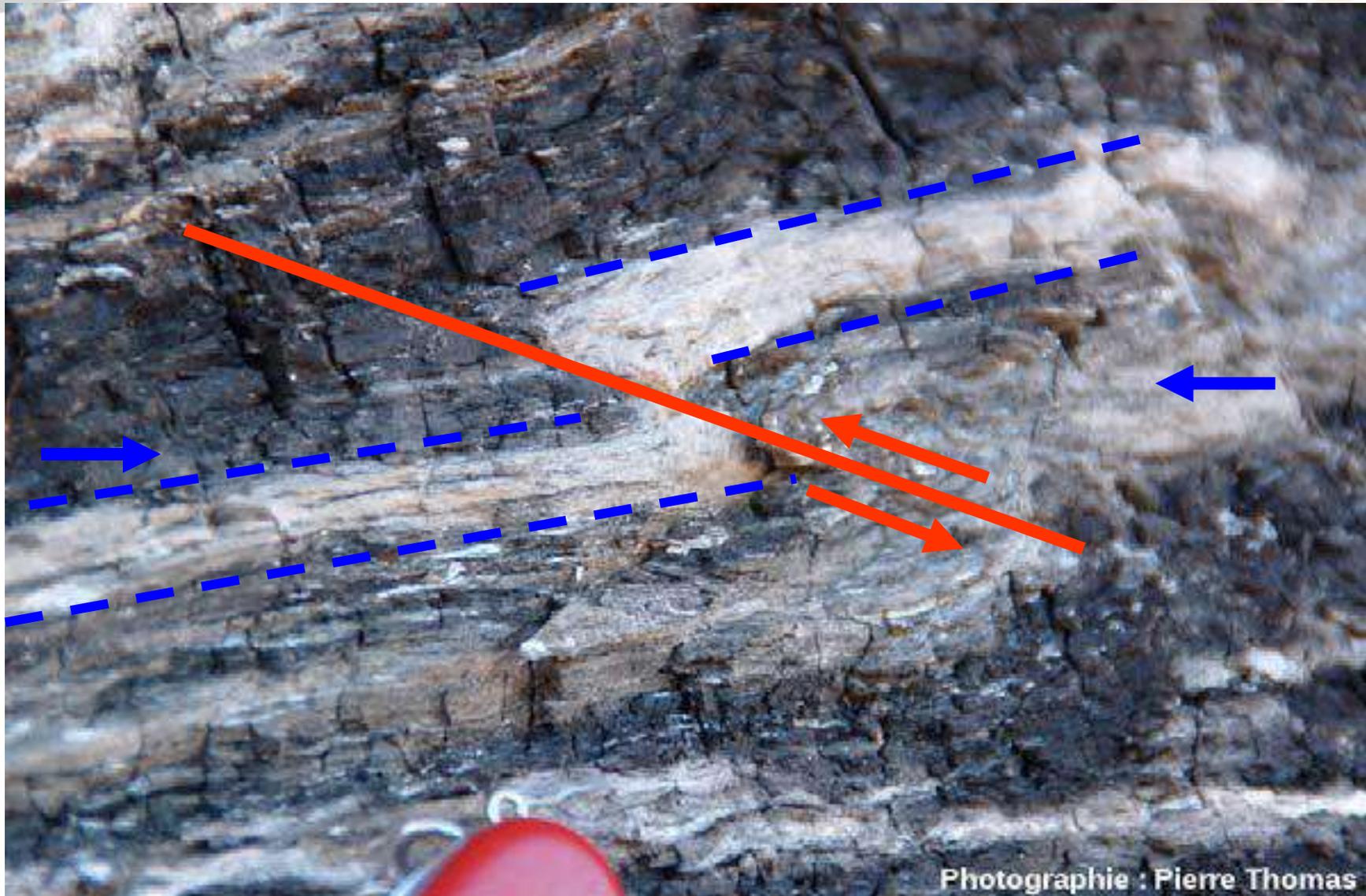
Une faïlle inverse ou chevauchement, due à un raccourcissement dans un plan horizontal, accompagne une compression, (σ_1 est horizontale et σ_3 est verticale); le compartiment au-dessus de la faïlle ("toit") monte par rapport au compartiment situé en dessous de la faïlle ("mur").



2. Selon leur rejet : *Faïlle inverse*

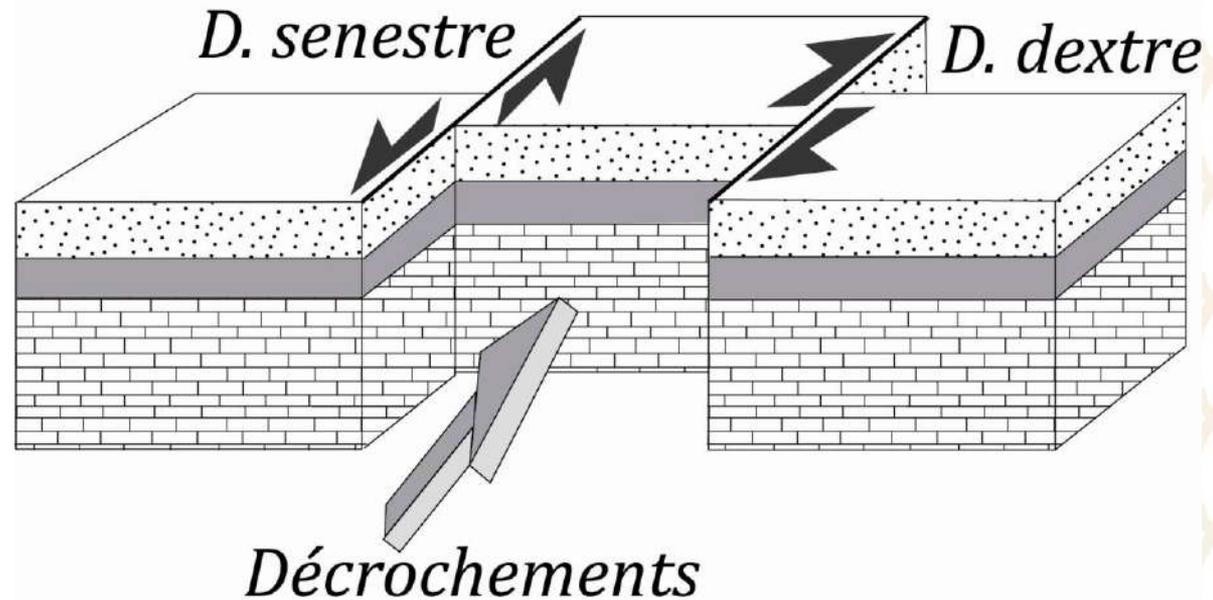
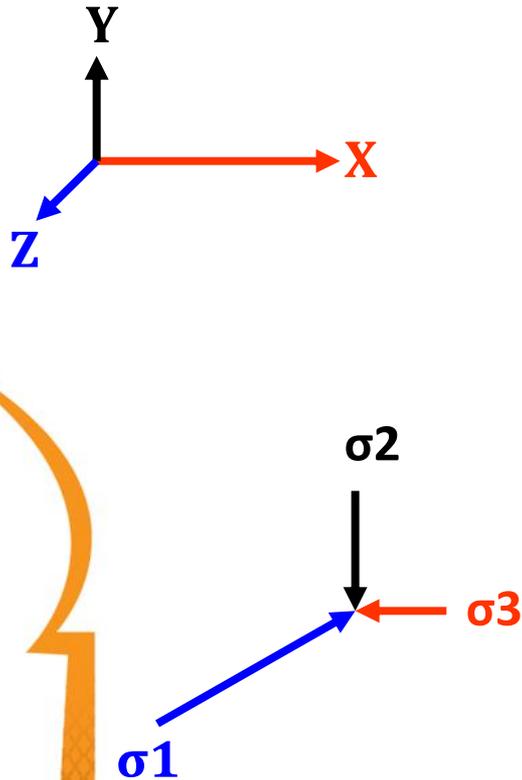


2. Selon leur rejet : *Faïlle inverse*



2. Selon leur rejet : Décrochement

Les mouvements s'effectuent dans un plan horizontal **les contraintes σ_1 et σ_3 sont horizontales** alors que **σ_2 est verticale**. Les décrochements peuvent être **dextre** ou **sénestre**, suivant que le compartiment opposé à l'observateur se déplace vers la droite ou la gauche (respectivement).

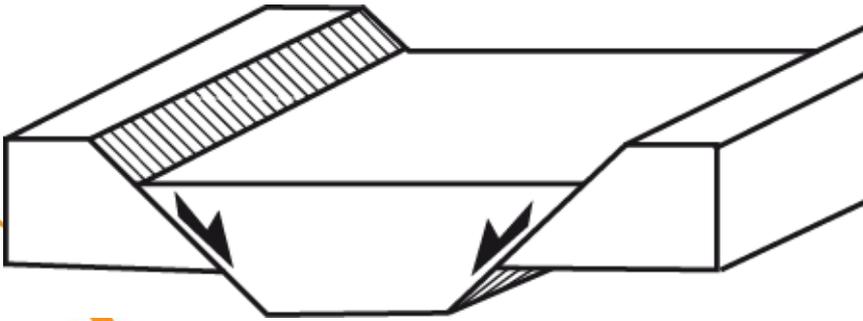


Failles conjuguées

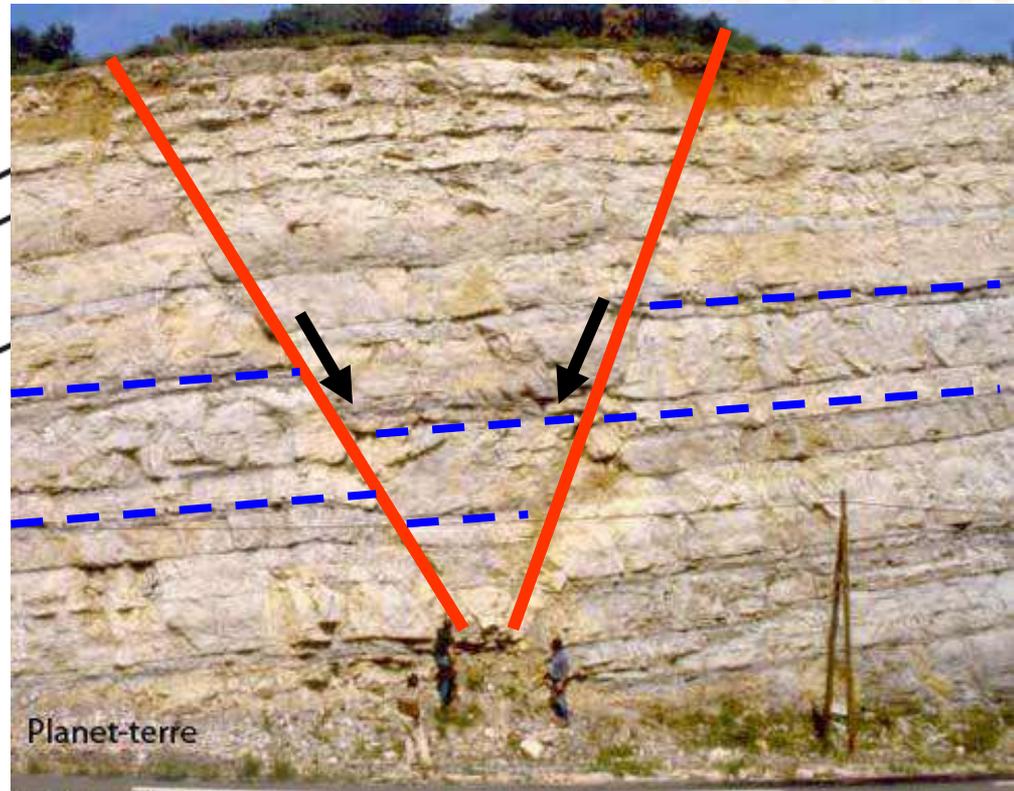
est un groupement d'au moins 2 failles à sens de pendage opposés.

Graben (=failles normales conjuguées)

Horst (=failles normales conjuguées)



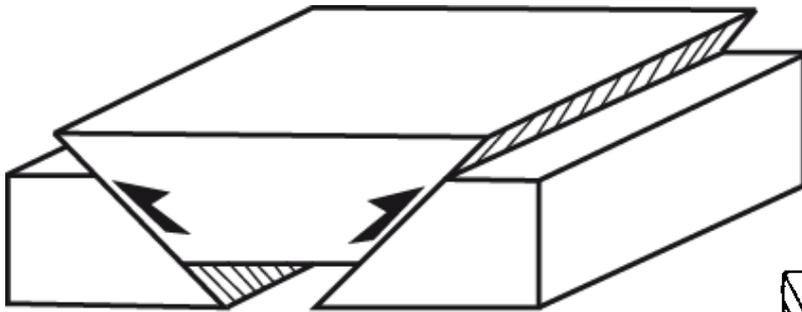
Graben



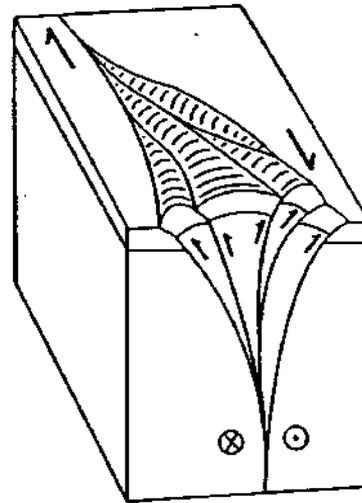
Failles conjuguées

est un groupement d'au moins 2 failles à sens de pendage opposés.

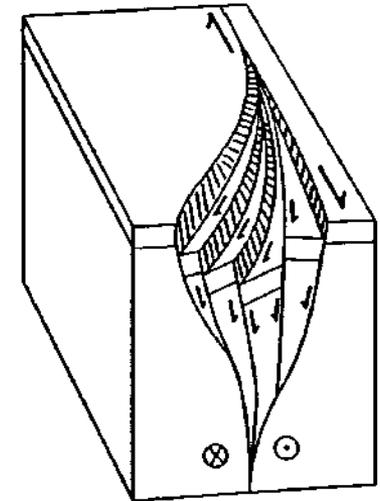
Structure en fleur (=failles inverses conjuguées)



Structure en fleur



(a)



(b)

Critères de reconnaissances des failles sur le terrain

Observation du miroir de faille

Sur le terrain on détermine la nature de ces accidents tectoniques par les stries observées sur le miroir de faille et l'analyse que font ces stries avec l'horizontal et avec le plan de faille.

Cette angle est appelé le Pitch, il varie de 0° à 90° ;

- Lorsqu'il est compris entre 45° et 90° il s'agit d'une faille normale ou inverse,
- Si le Pitch est inférieur à 45° on est en présence d'un décrochement dextre ou senestre,
- Pour des valeurs comprises entre 45° et 55° , on est en présence de combinaisons de différents types d'accidents (faille inverse senestre, faille normale dextre,...).

Critères de reconnaissances des failles sur le terrain

Observation du miroir de faille

Sur le terrain on détermine la nature de ces accidents tectoniques par les stries observées sur le miroir de faille et l'analyse que font ces stries avec l'horizontal et avec le plan de faille.

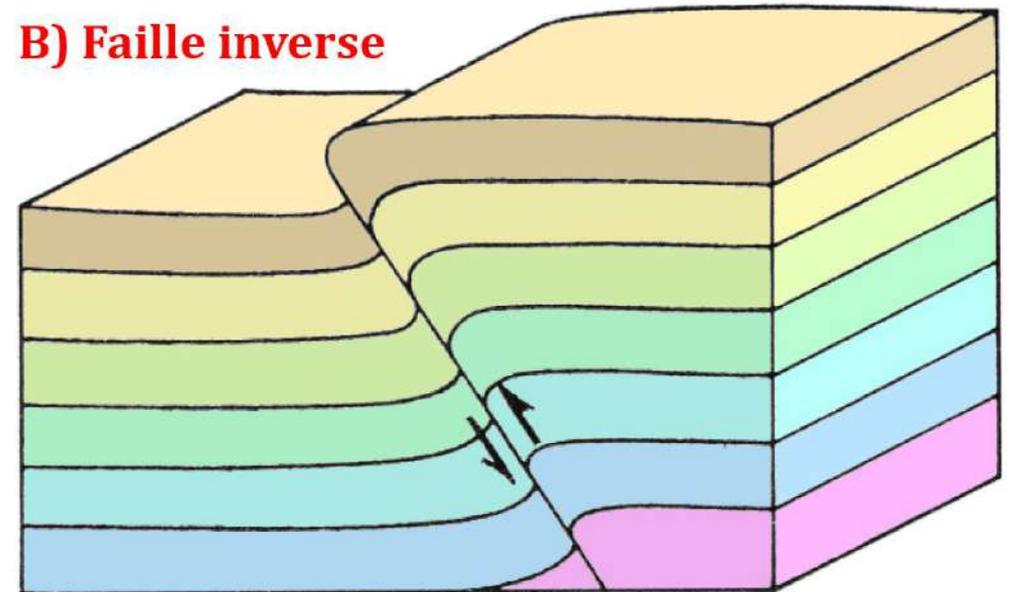
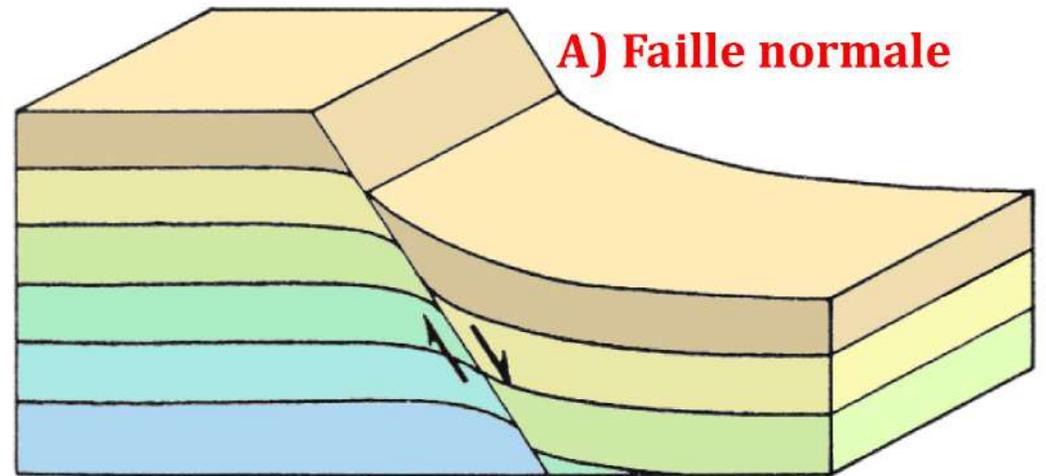
Cette angle est appelé le Pitch, il varie de 0° à 90° ;

- Lorsqu'il est compris entre 45° et 90° il s'agit d'une faille normale ou inverse,
- Si le Pitch est inférieur à 45° on est en présence d'un décrochement dextre ou senestre,
- Pour des valeurs comprises entre 45° et 55° , on est en présence de combinaisons de différents types d'accidents (faille inverse senestre, faille normale dextre,...).

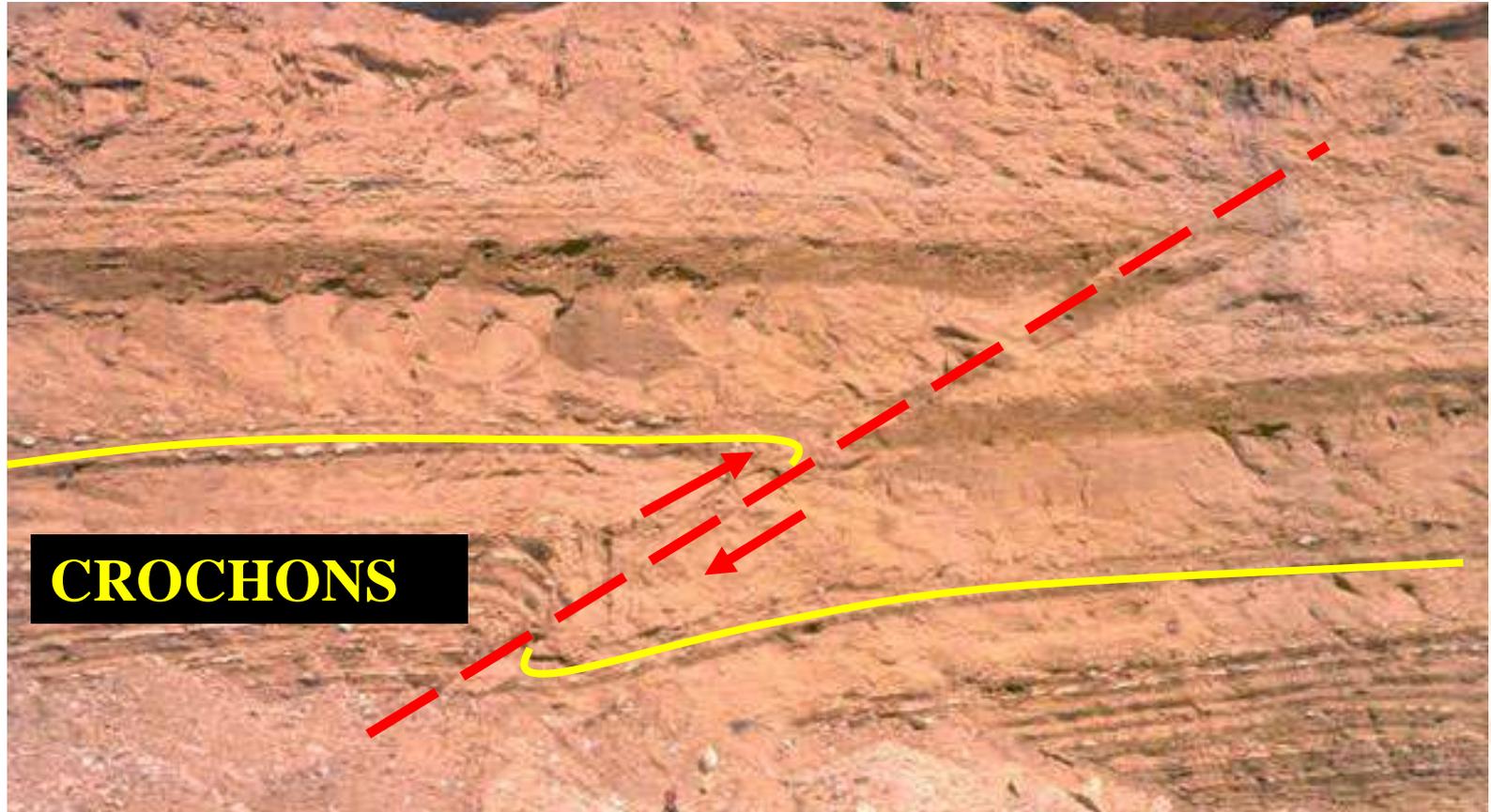
Indicateurs du déplacement relatif de 2 compartiments :

Crochons de faille

La torsion des couches s'effectue en sens inverse du déplacement.



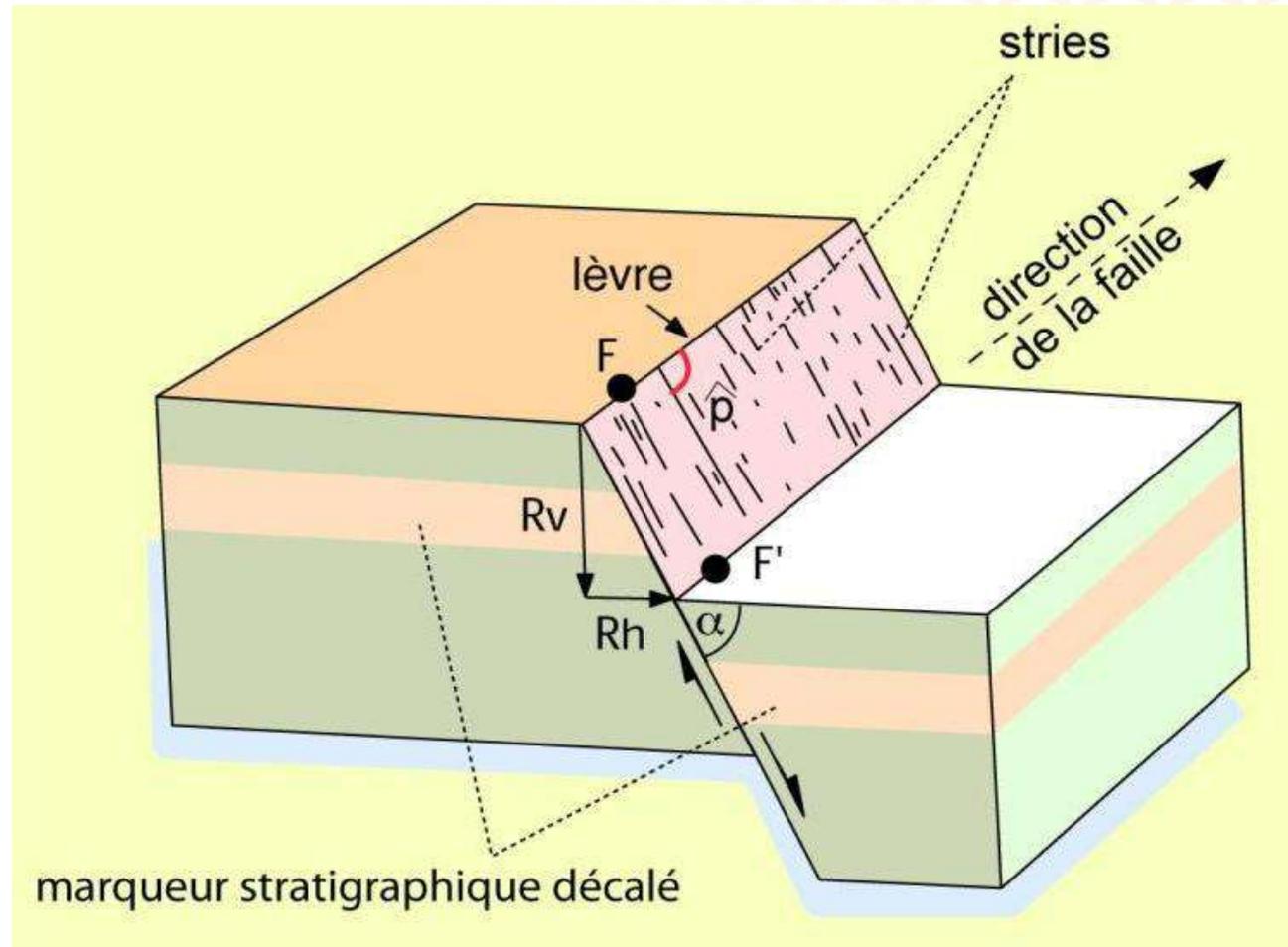
CROCONS DE FAILLE



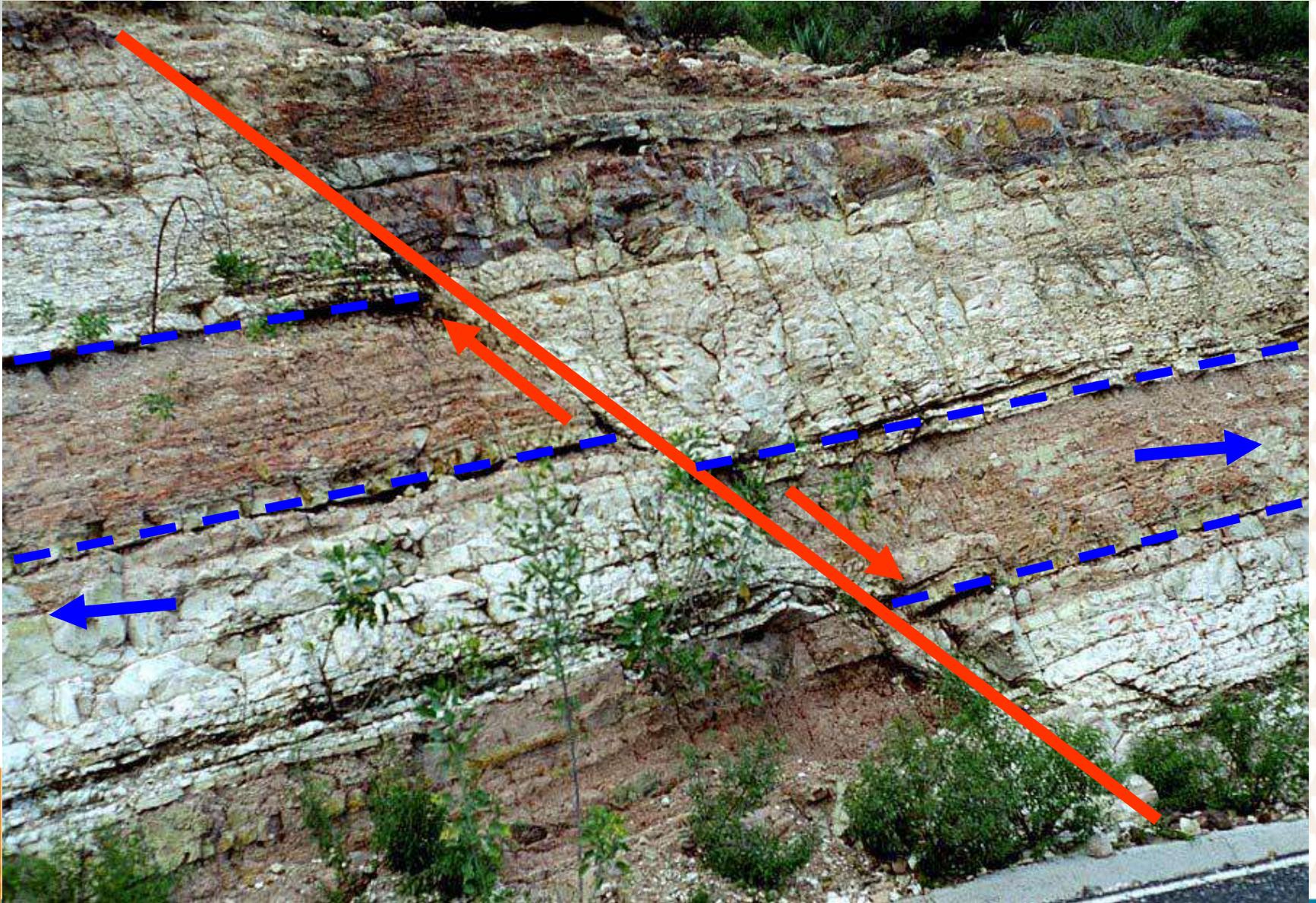
Déformations locales d'une couche repère au contact de la faille, ils marquent le sens du mouvement, ici d'une faille inverse...

Indicateurs du déplacement relatif de 2 compartiments :

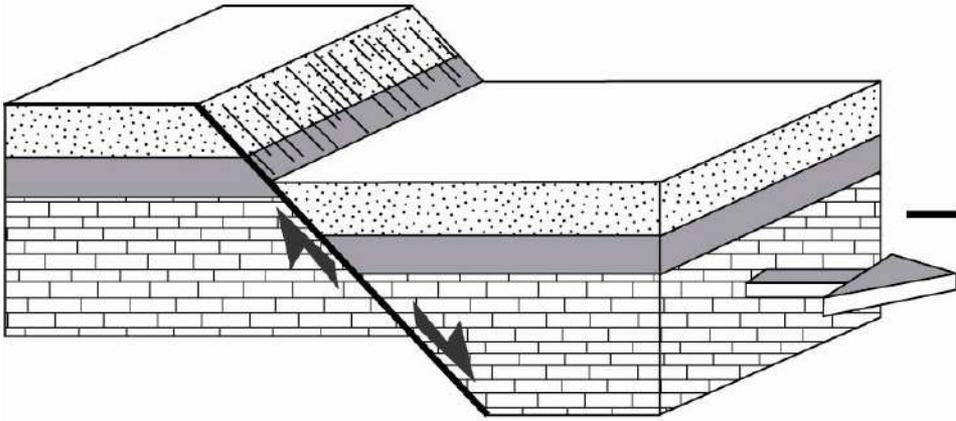
Niveaux repères



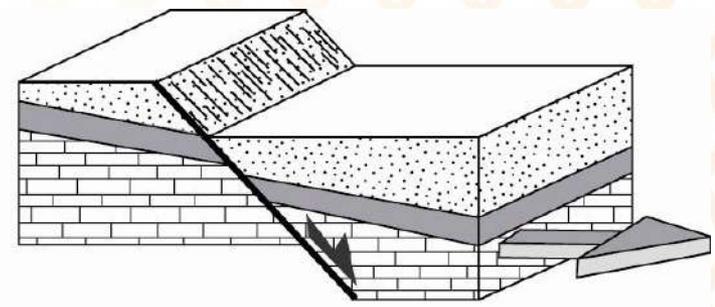
Le décalage de part et d'autre de la surface faillée permet de déterminer le sens du mouvement de la faille.



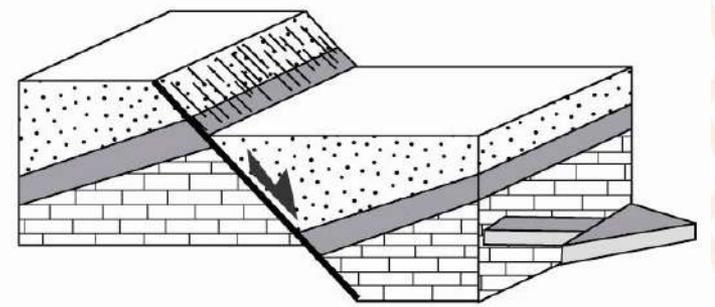
3. Selon leurs rapports avec les couches :



Faille normale



Faille normale conforme



Faille normale contraire

Faille conforme

En milieu stratifié, lorsque le pendage du plan de faille est dans le même sens que le pendage des couches (Fig.).

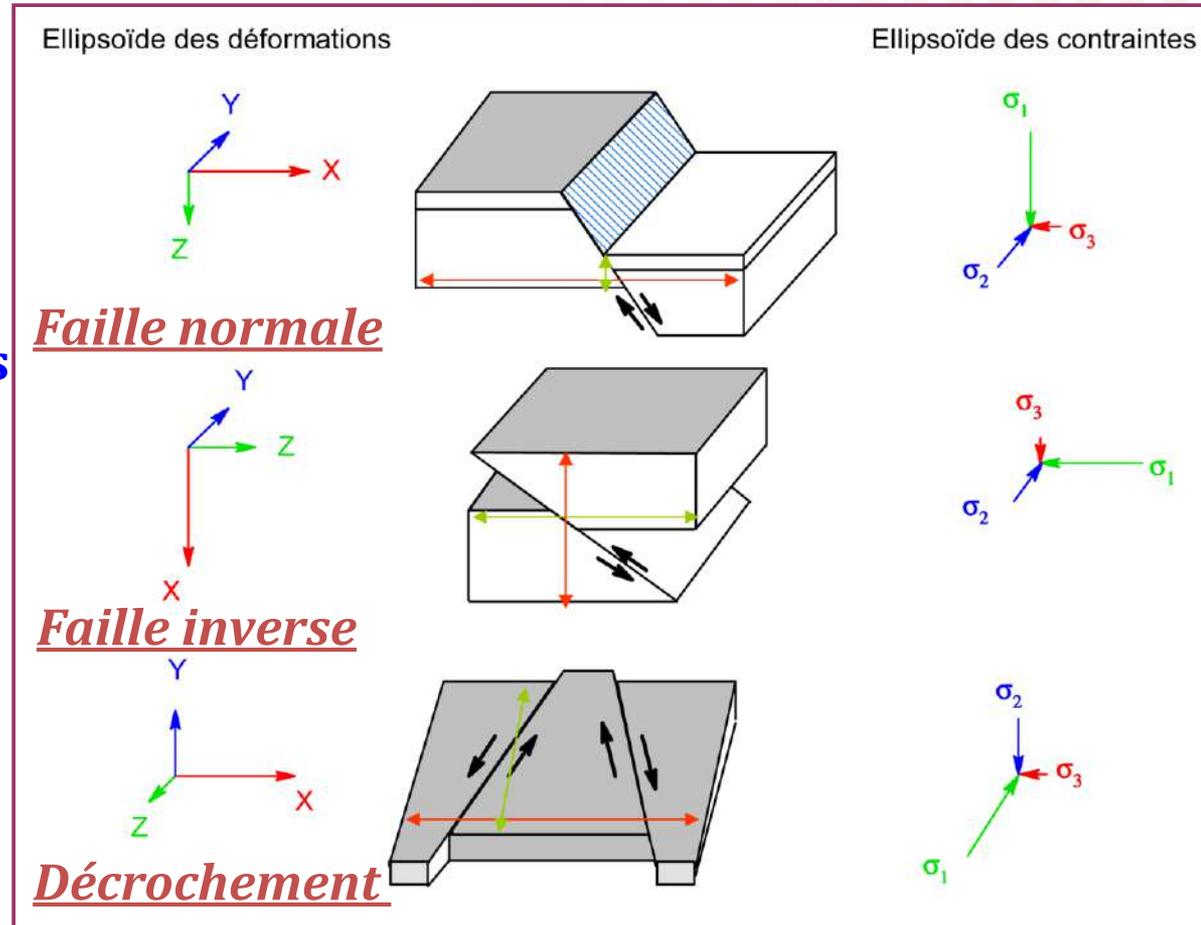
Faille contraire

En milieu stratifié, lorsque le pendage du plan de faille est dans le sens inverse du pendage des couches (Fig.)

4. Classification génétique :

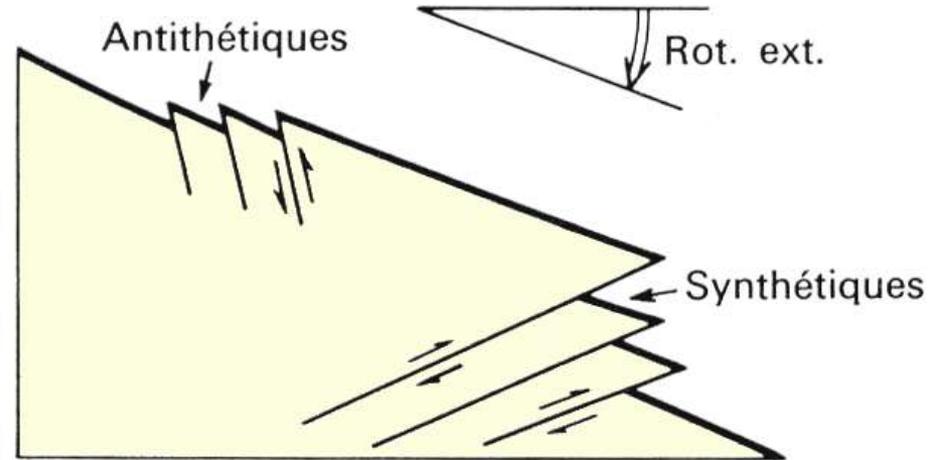
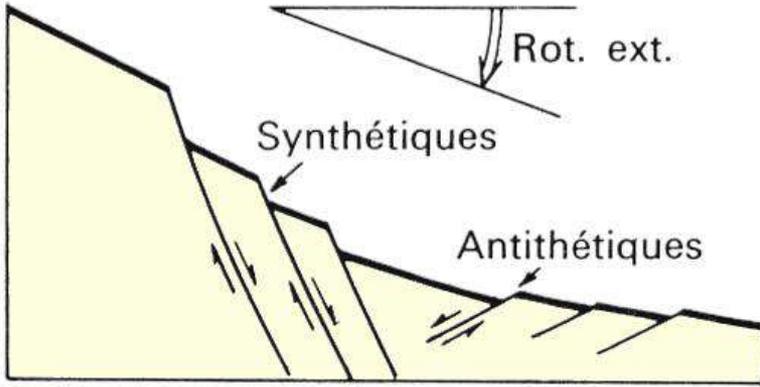
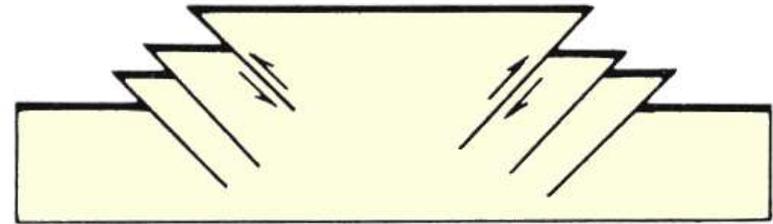
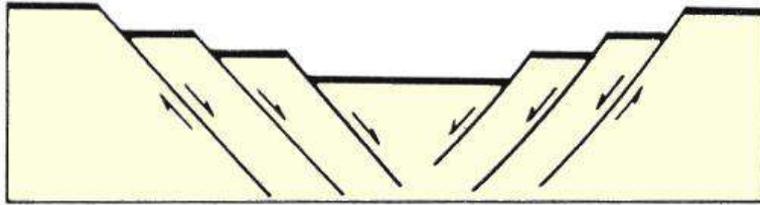
σ_1 vertical : failles normales ou faille d'extension.

σ_3 vertical : failles inverses
(faille de compression).



σ_2 vertical : failles de décrochement (cisaillement qui correspond souvent à une compression).

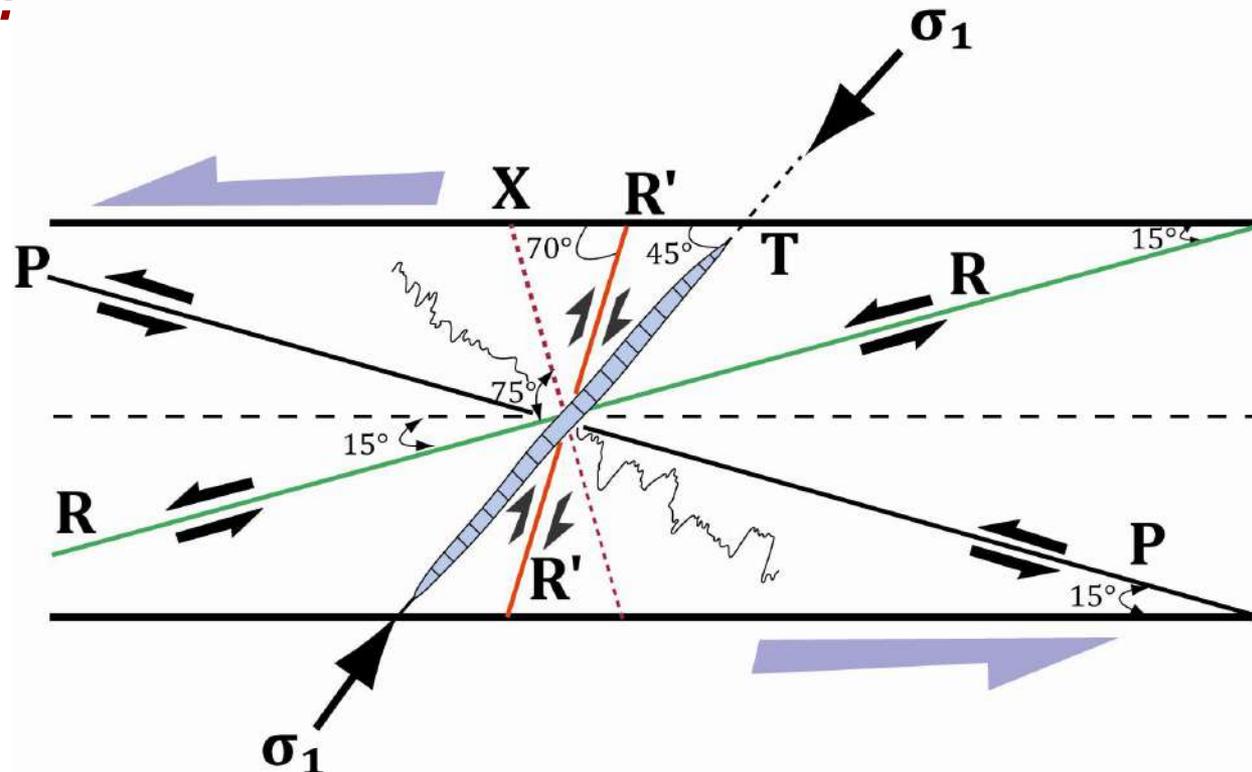
5. Selon les rapports de leurs rejets, avec d'autres déplacements :



Faille synthétique, dont le jeu s'ajoute au mouvement général.

Faille antithétique, dont le jeu est inverse au mouvement général.

6. Système de Riedel :



R et R' : Fractures conjuguées de 2^{ème} ordre de **Riedel**. R est **synthétique** (5° à 25°) et R' est **antithétique** (65° à 95°) par rapport à la faille principale.

P et X : Fractures de **Tchalenko-Skempton (1966)** sont à peu près symétriques des R et R'.

T : Fente de tension.

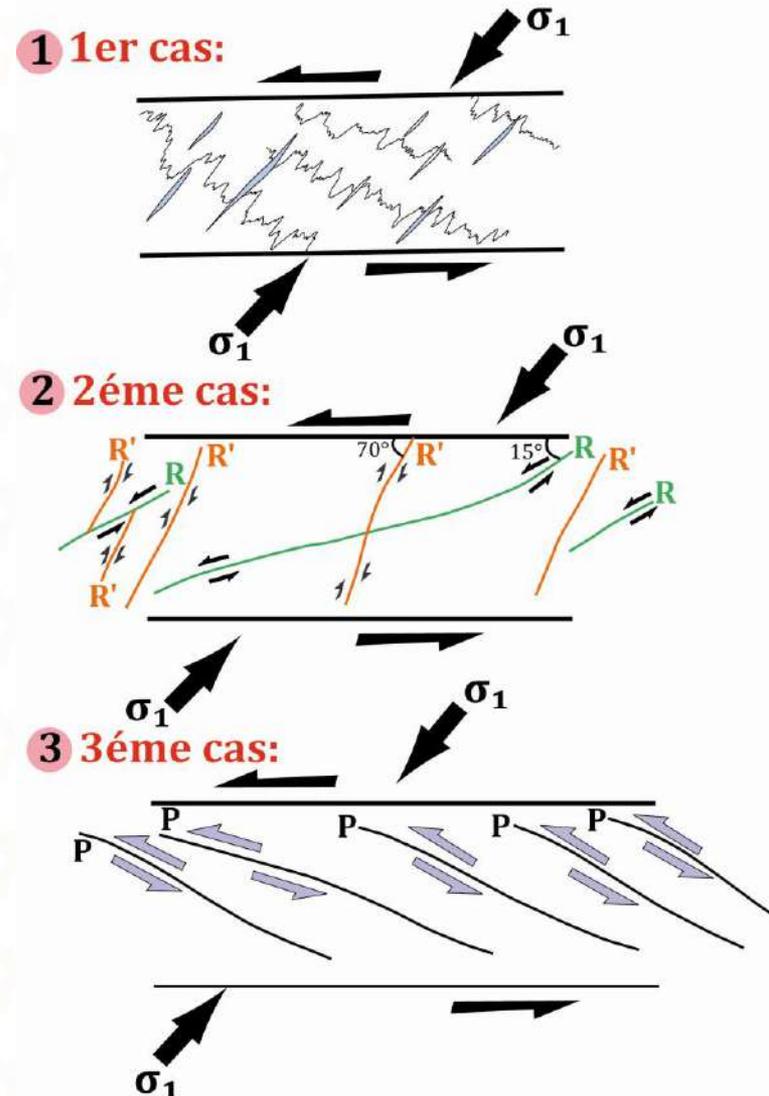
6. Système de Riedel :

1er cas : On ne peut observer que des **joints stylolitiques** et **fentes de tension** en échelon dans un couloir de cisaillement.

2ème cas : On ne peut observer que des fractures de Riedel R et R', R a un **angle faible** et R' a un **angle fort**.

3ème cas : On ne peut observer que des fractures P (de **Skempton**) qui sont symétriques par rapport à R et R'.

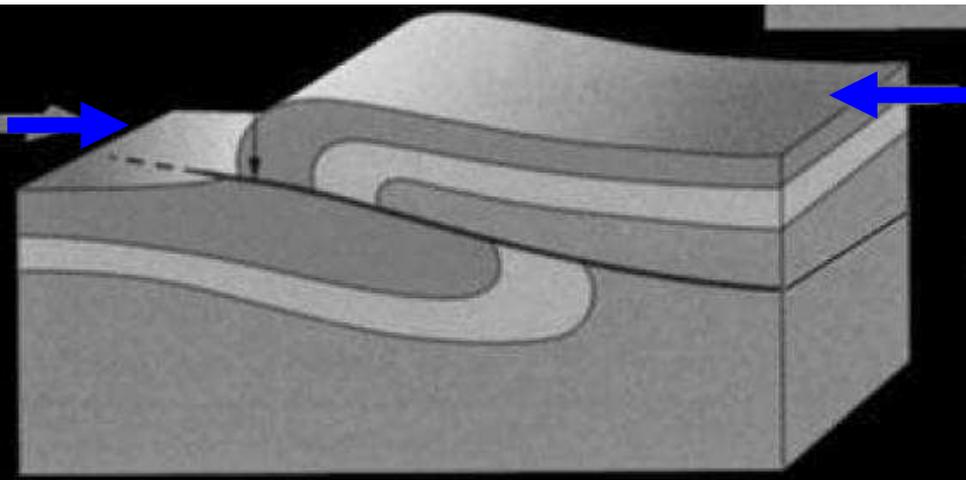
Lorsqu'on parle de système de **Riedel**, on a un système de fractures qui se trouve réalisé dans **les bandes de cisaillement** c-à-d : il s'agit **des fractures secondaires en échelon** à l'intérieur d'une bande de cisaillement dont la disposition et les mouvements sont très significatifs.



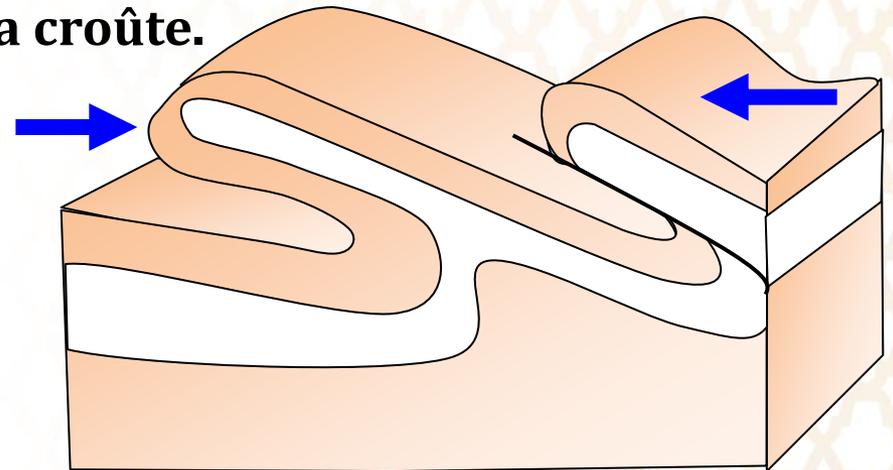
CHEVAUCHEMENT ET NAPPE DE CHARRIAGE

Chevauchement

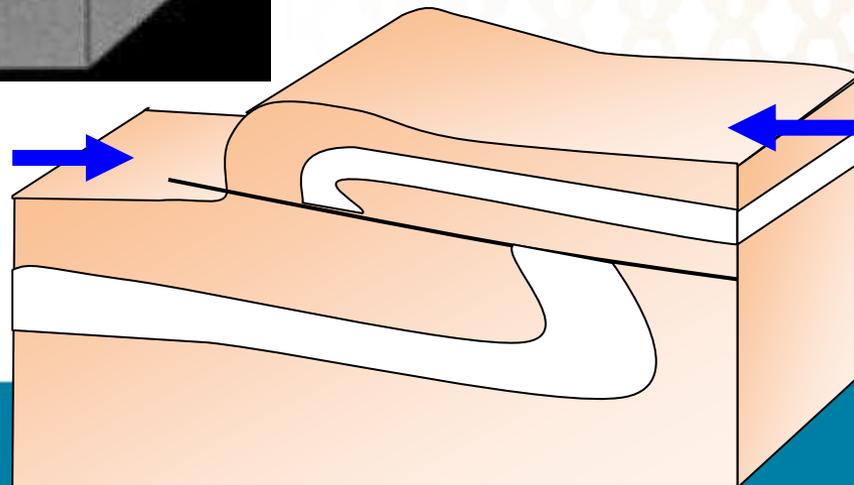
• Chevauchement : **Superposition verticale** de deux ensembles de terrains dont **la succession n'est pas normale**. La superposition de ces écailles entraîne l'épaississement de la croûte.



Faulle inverse



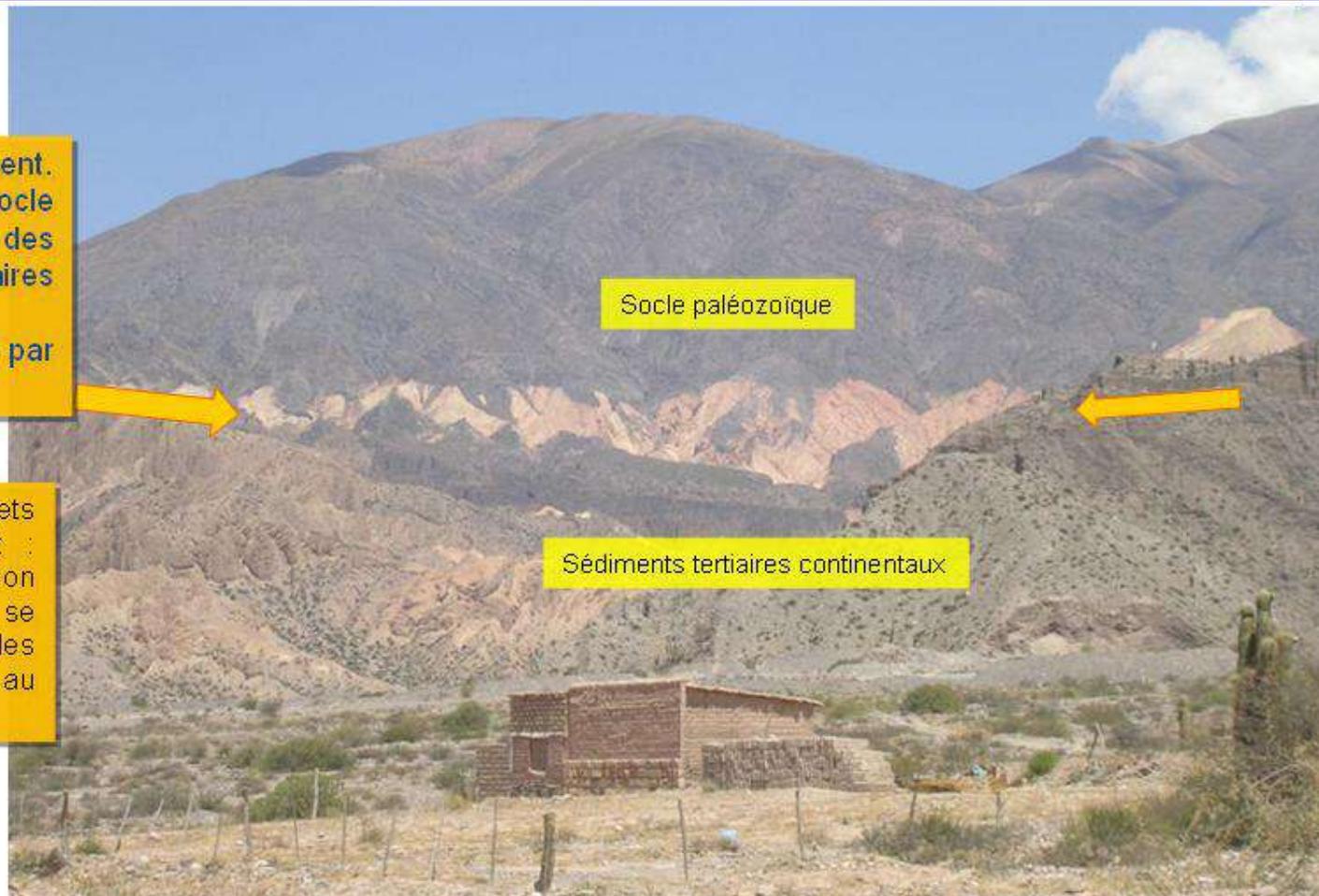
Pli et pli faille



Chevauchement

Un exemple de chevauchement.
Le contact anormal du socle paléozoïque de la Cordillère des Andes sur les sédiments tertiaires continentaux.
Le chevauchement est indiqué par les flèches.

Cette photographie illustre les effets classiques d'un chevauchement : une inversion dans la superposition initiale des terrains. Ici, le socle se retrouve sur sa couverture et les terrains les plus anciens figurent au dessus des plus récents.



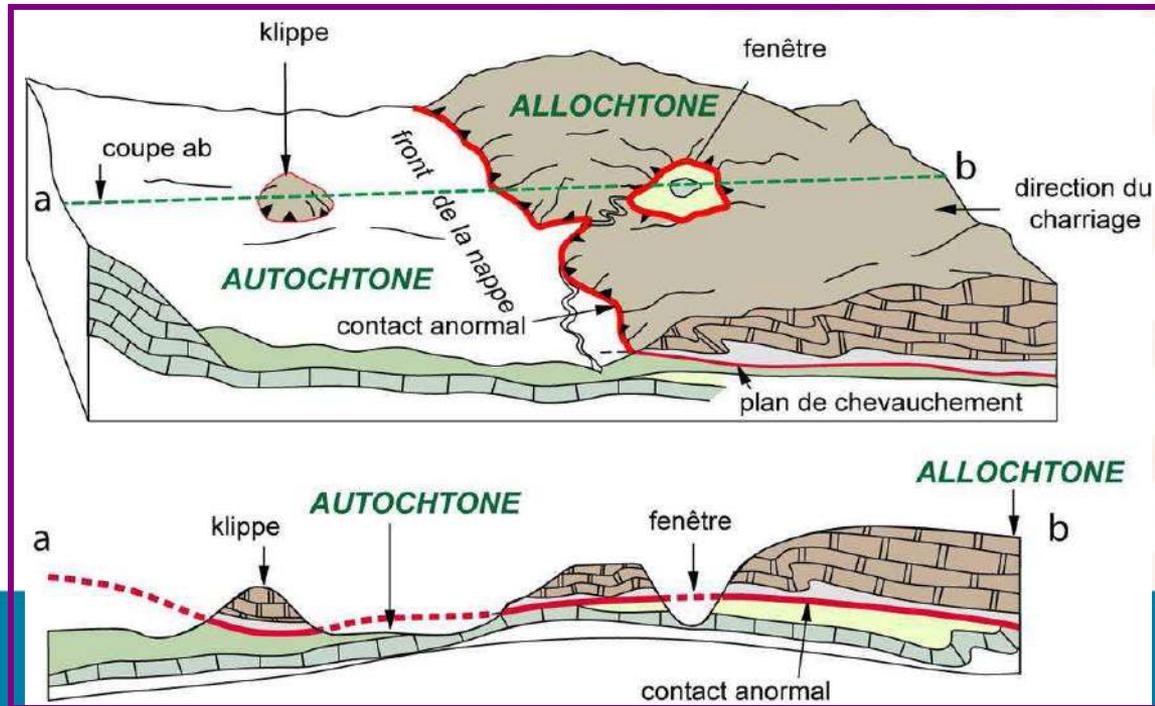
Nappes de charriage

Une **nappe** est un ensemble de **terrains allochtones**, déracinés, qui repose selon un **contact anormal** sur un **substratum autochtone**.

L'érosion a souvent disséqué l'ensemble en place et l'allochtone pour donner une série de formes morphologiques caractéristiques des pays de nappes :

Les **klippes**, ou portions de la nappe de recouvrement isolées par l'érosion (**Fig.**) ;

Les **fenêtres**, qui sont des zones où le substratum de la nappe affleure et qui sont entourées par l'allochtone de la nappe (**Fig.**). Si le substratum n'est qu'en partie entouré par l'allochtone, on parle de demi-fenêtre ou de golfe tectonique.

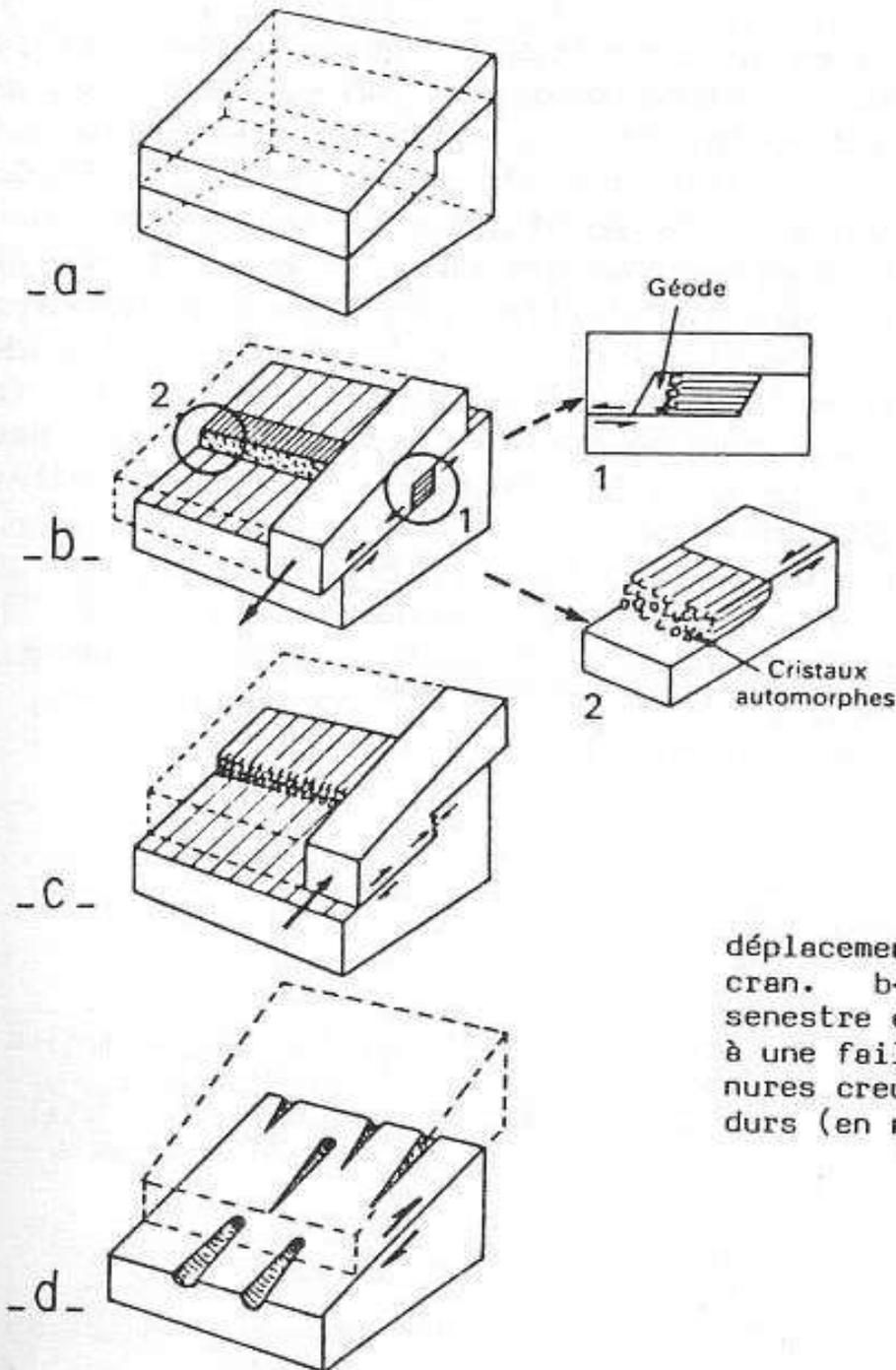


Les différentes microstructures cassantes

1. Tectoglyphes :

Les miroirs de faille sont souvent porteurs **d'inscriptions** : les tectoglyphes sont **les empreintes de friction** laissées par **le déplacement des compartiments** l'un par rapport à l'autre (**mouvement de la faille**). Ils permettent souvent de déterminer la **direction** et/ou le **sens du déplacement**.

Miroir de faille



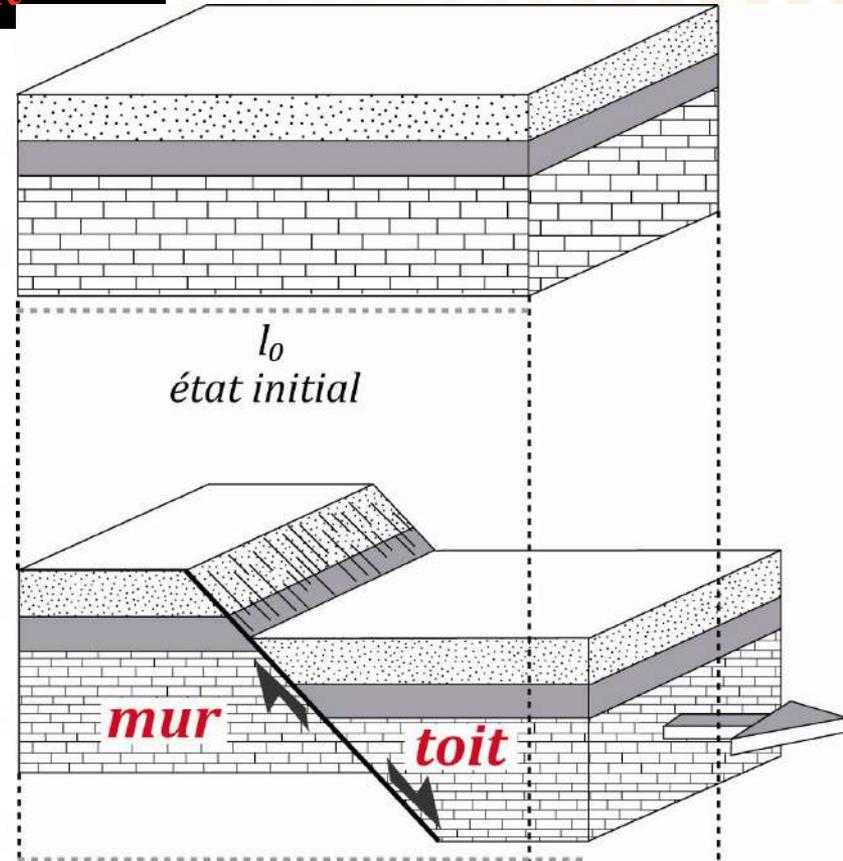
Stries => Direction du mouvement

Écaille de cristallisation => sens du mouvement

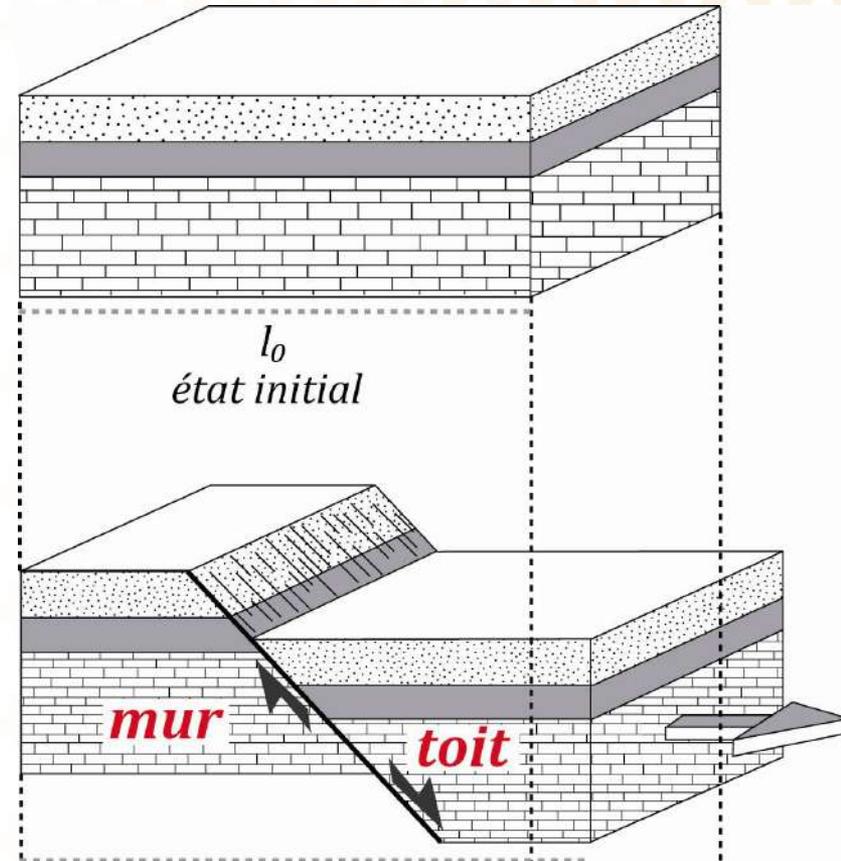
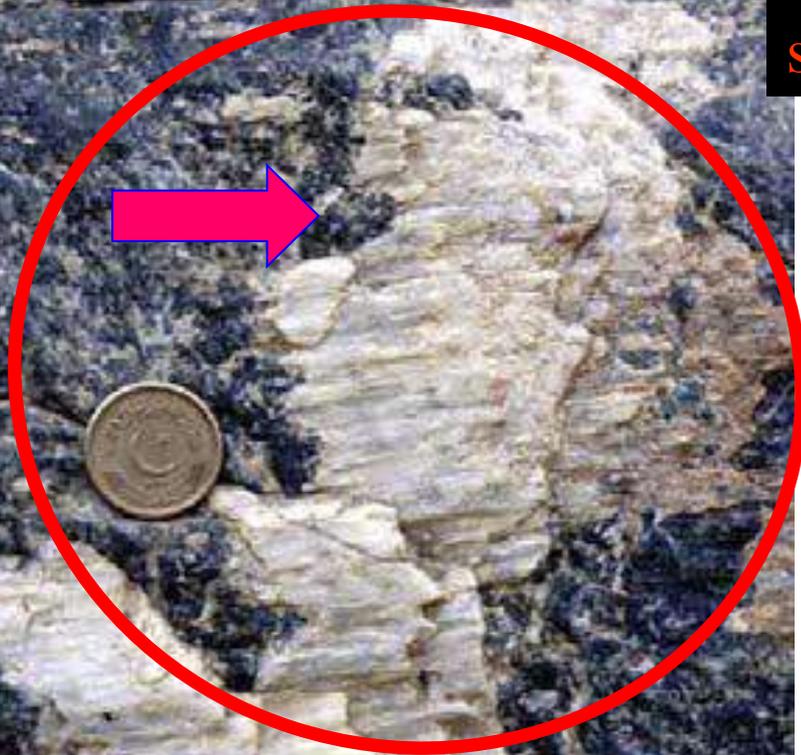


Stries indiquant le sens de déplacement d'une faille. a- Faille avec cran. b- Fibres liées à une faille senestre et normale. c- Stylolites liés à une faille dextre et inverse. d- Rainures creusées par l'empreinte d'objets durs (en noir), faille dextre

Écaille de
cristallisation
=> sens du
mouvement

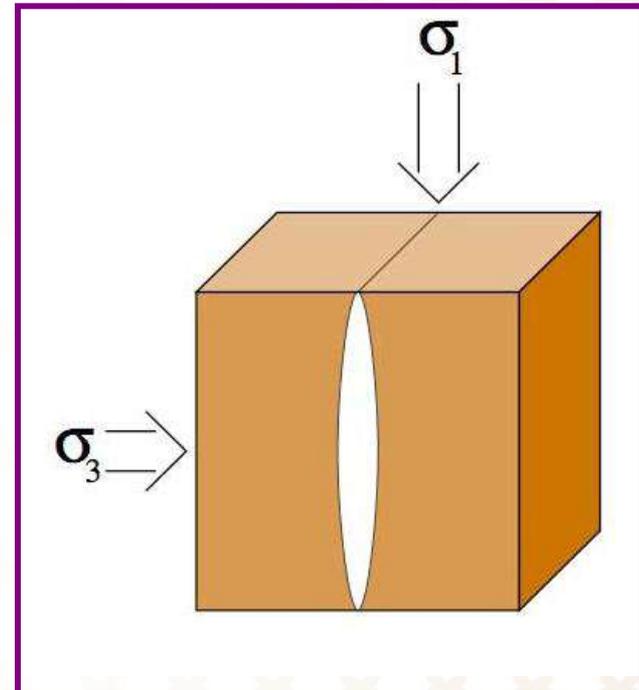
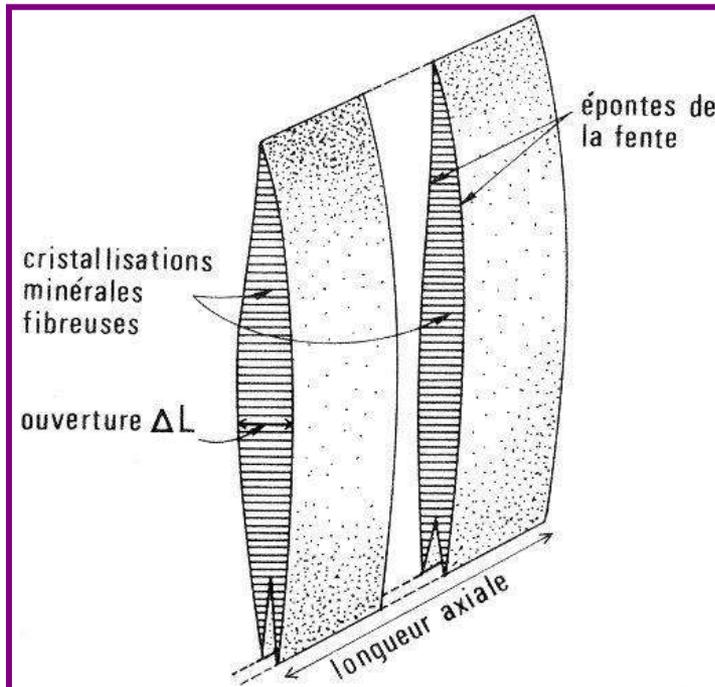


Fibres de calcite =>
sens du mouvement



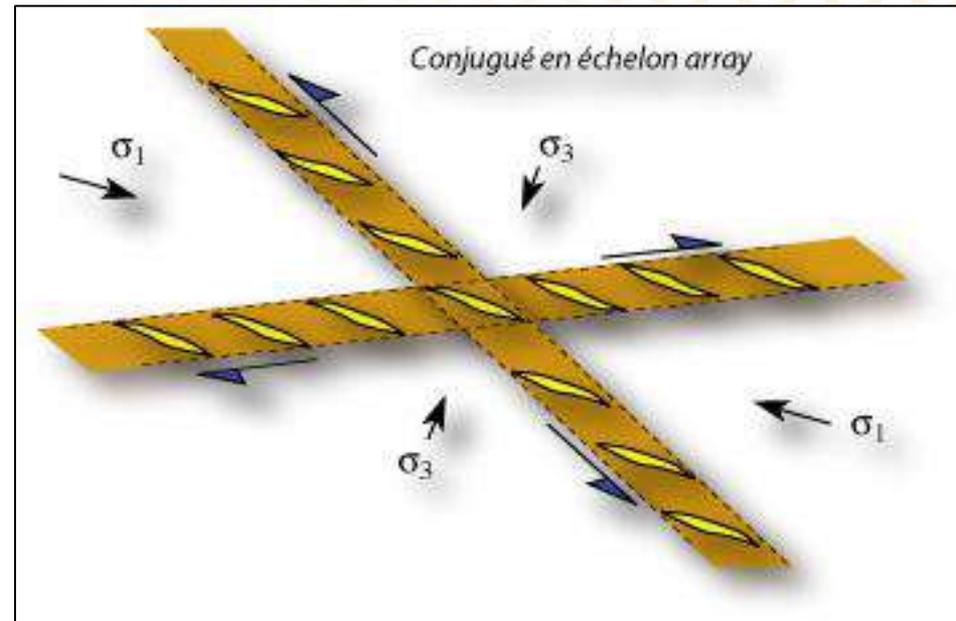
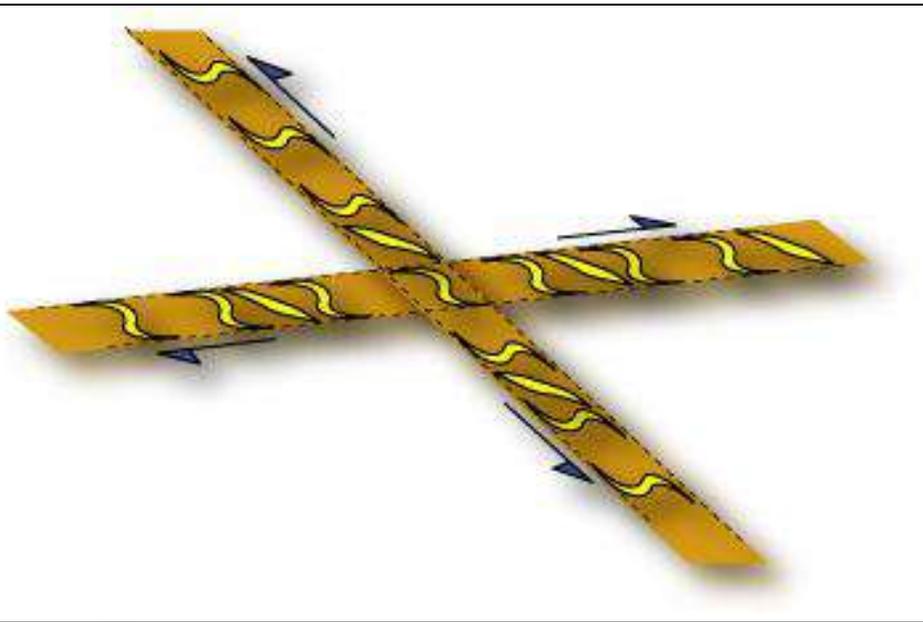
2. fentes de tension :

Les fentes de tension sont en général de petites veines (quelques dizaines de centimètres et peut atteindre quelques décimètres), ce sont des fractures plus ou moins ouvertes remplis de minéraux (calcite ou quartz) montrant parfois une structure en fibres perpendiculaires ou légèrement obliques aux épointes, elles sont généralement orientées perpendiculairement à la contrainte σ_3 et parallèle à σ_1 .



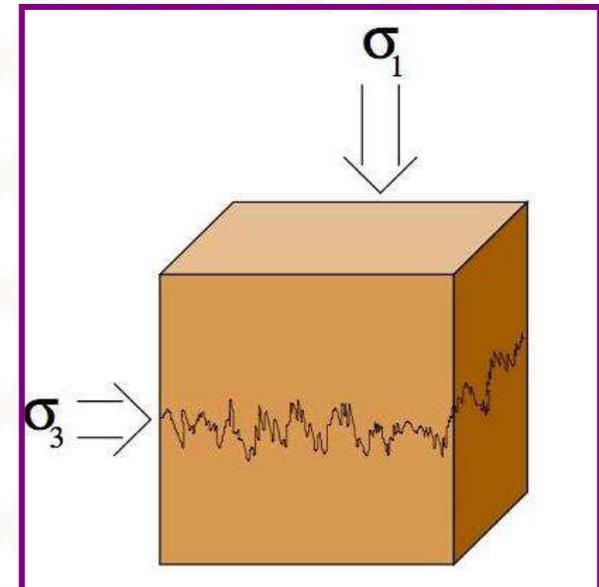
2. fentes de tension :

Il n'est pas rare que des fentes de tension soient à leur tour **déformées** par **le mouvement** relatif des lèvres de la faille; on peut même parfois voir une nouvelle génération de fentes les recoupant.

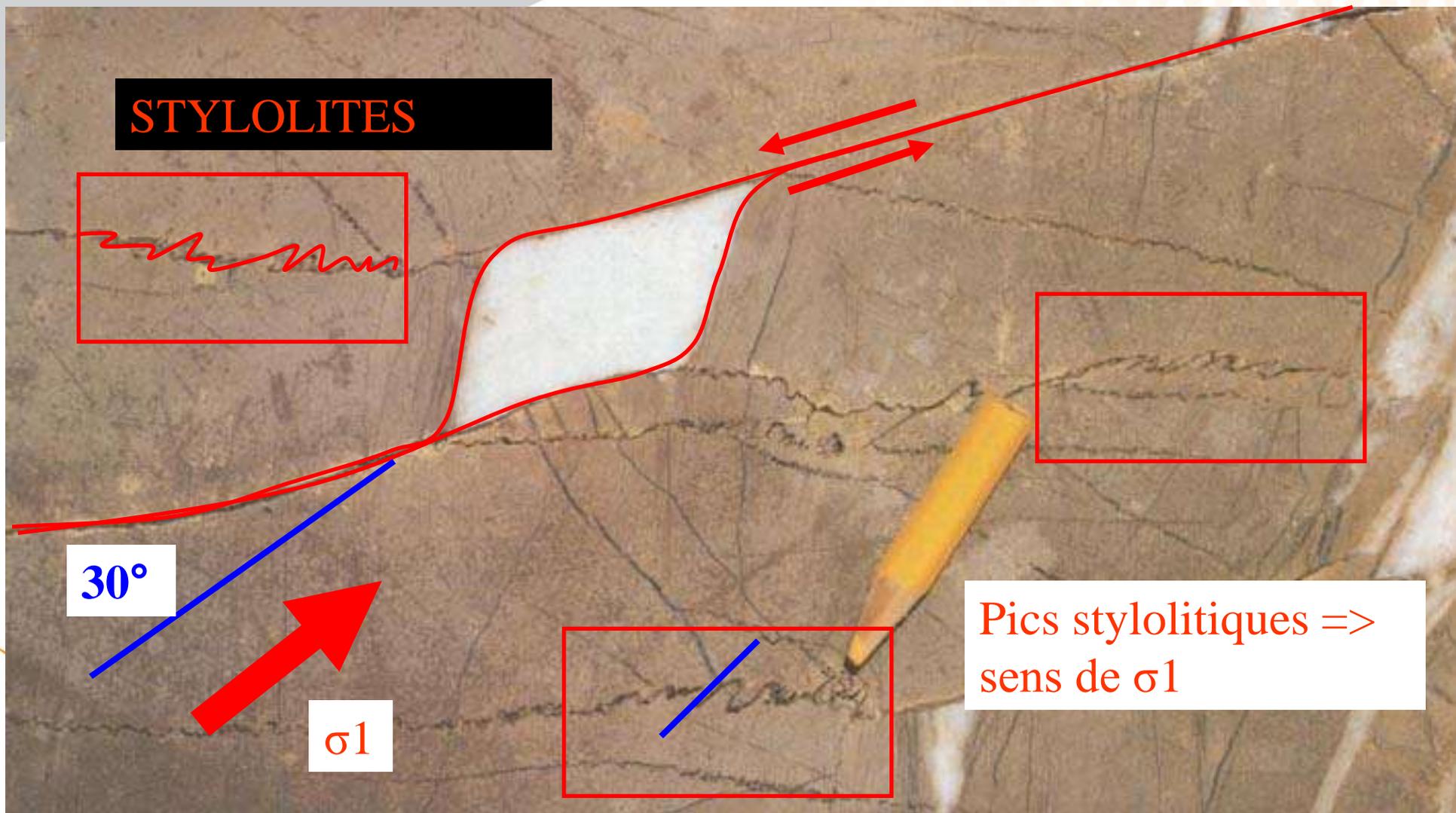


3. les stylolites :

Les stylolites *ne sont pas des fractures*. Ce sont **des surfaces de dissolution** très irrégulières portant **des pics et des creux**. Ces surfaces irrégulières sont le résultat de **la dissolution** sous pression de la roche. Ils sont **perpendiculaires à σ_1** . Les pics stylolithiques sont parallèles à la contrainte σ_1 .



STYLOLITES



30°

σ_1

Pics stylolitiques =>
sens de σ_1

CONTRAINTE => SURPRESSION => DISSOLUTION
CARBONATES => ACCUMULATION DES PARTICULES
INSOLUBLES ARGILES => STYLOLIT(H)ES

REVISION

**TECTONIQUE DUCTILE
(DEFORMATION CONTINUE)**

Pli

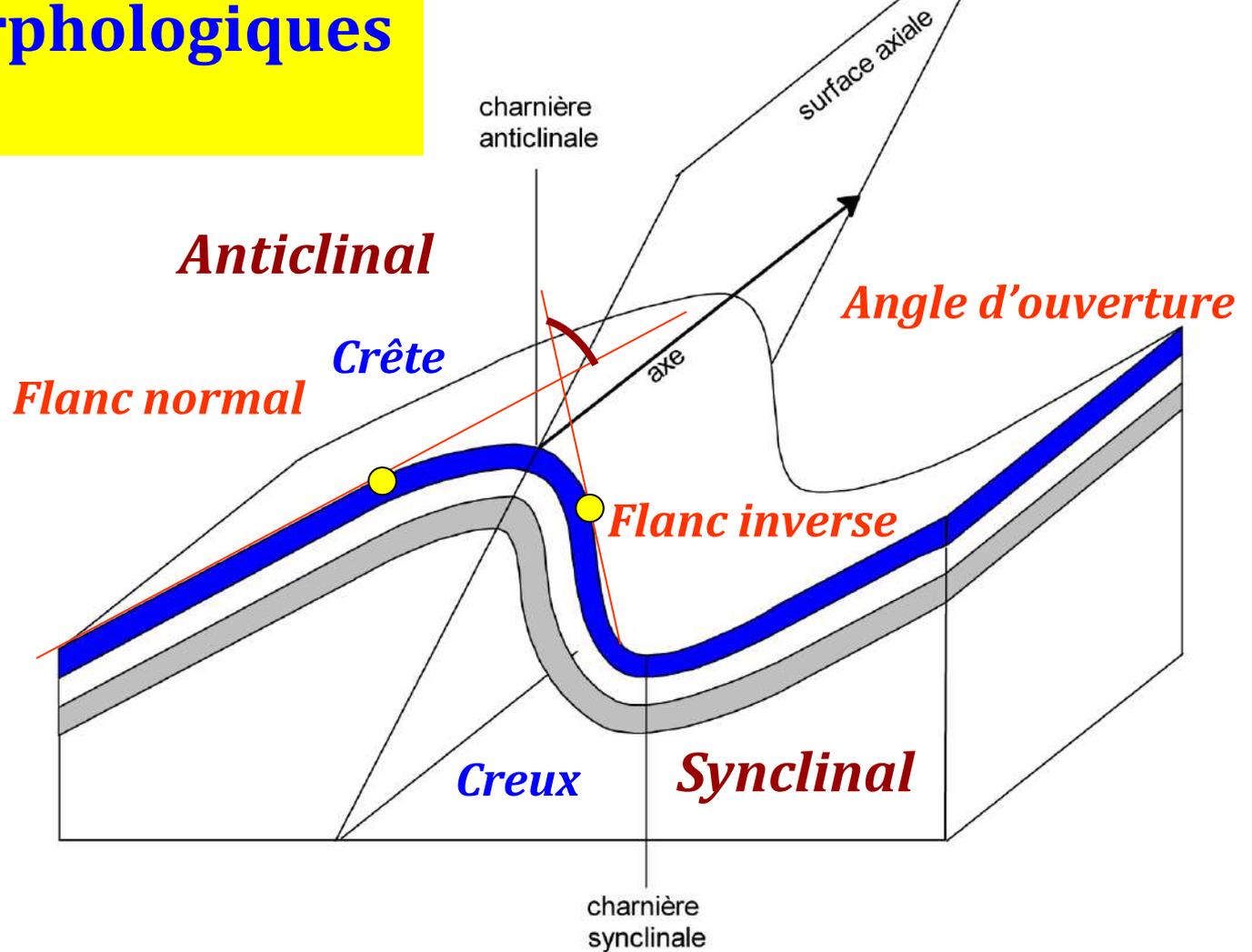
Un **pli** est une structure **courbe (plissée)** issue d'une **déformation ductile** des roches, sous l'effet d'une **contrainte compressive (raccourcissement)**, par **flexion** ou **torsion**.

Les **régions plissées** sont témoins de **compression latérale**.

La **genèse** des **plis** ainsi formés se déroule en **profondeur** de l'écorce terrestre.

La couche bleue est supposée la plus récente

Éléments morphologiques d'un pli



Pli Anticlinal, pli synclinal, Antiforme et Synforme

Anticlinal : On appelle anticlinal : un pli dans lequel **les plongements** des couches **divergent à partir de la charnière**. Le centre de courbure se trouve dans **les couches les plus anciennes**. C'est une structure **convexe vers le haut**.

Synclinal : On appelle synclinal : un pli dans lequel **les plongements** des couches **convergent vers la charnière**. Le centre de courbure se trouve dans **les couches les plus récentes**. C'est une structure **concave vers le haut**.

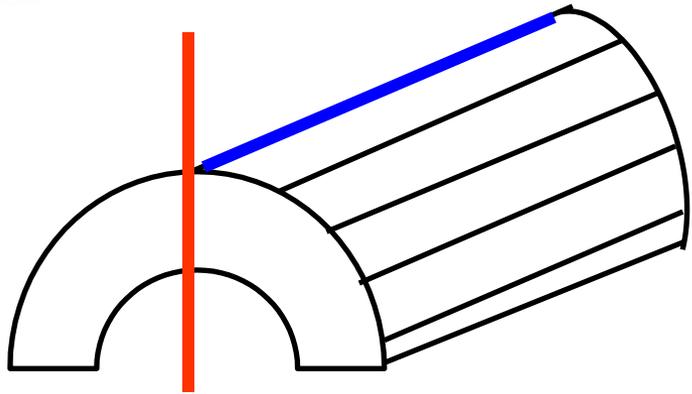
Lorsqu'on ne sait pas **la polarité** (ou **l'âge relatif**) des couches

Antiforme dans le cas d'un pli **convexe vers le ciel**

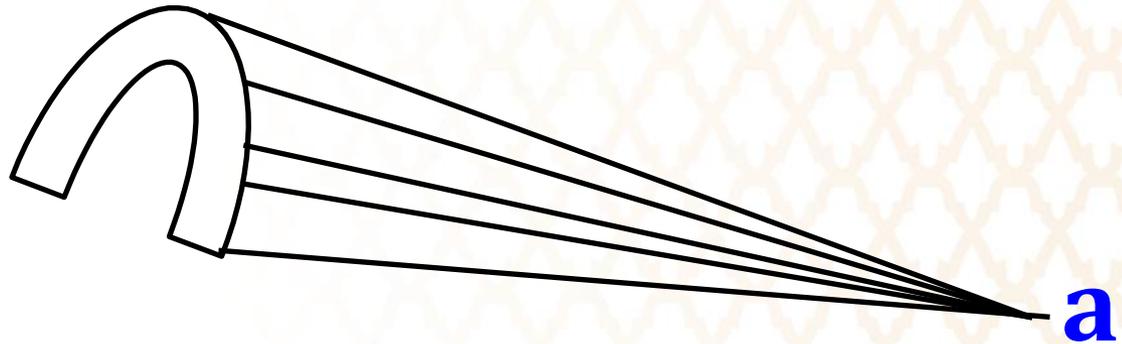
Synforme dans le cas d'un **pli concave vers le haut**

CLASSIFICATION DES PLIS

a - les différents types de plis définis par leur géométrie



Pli cylindrique

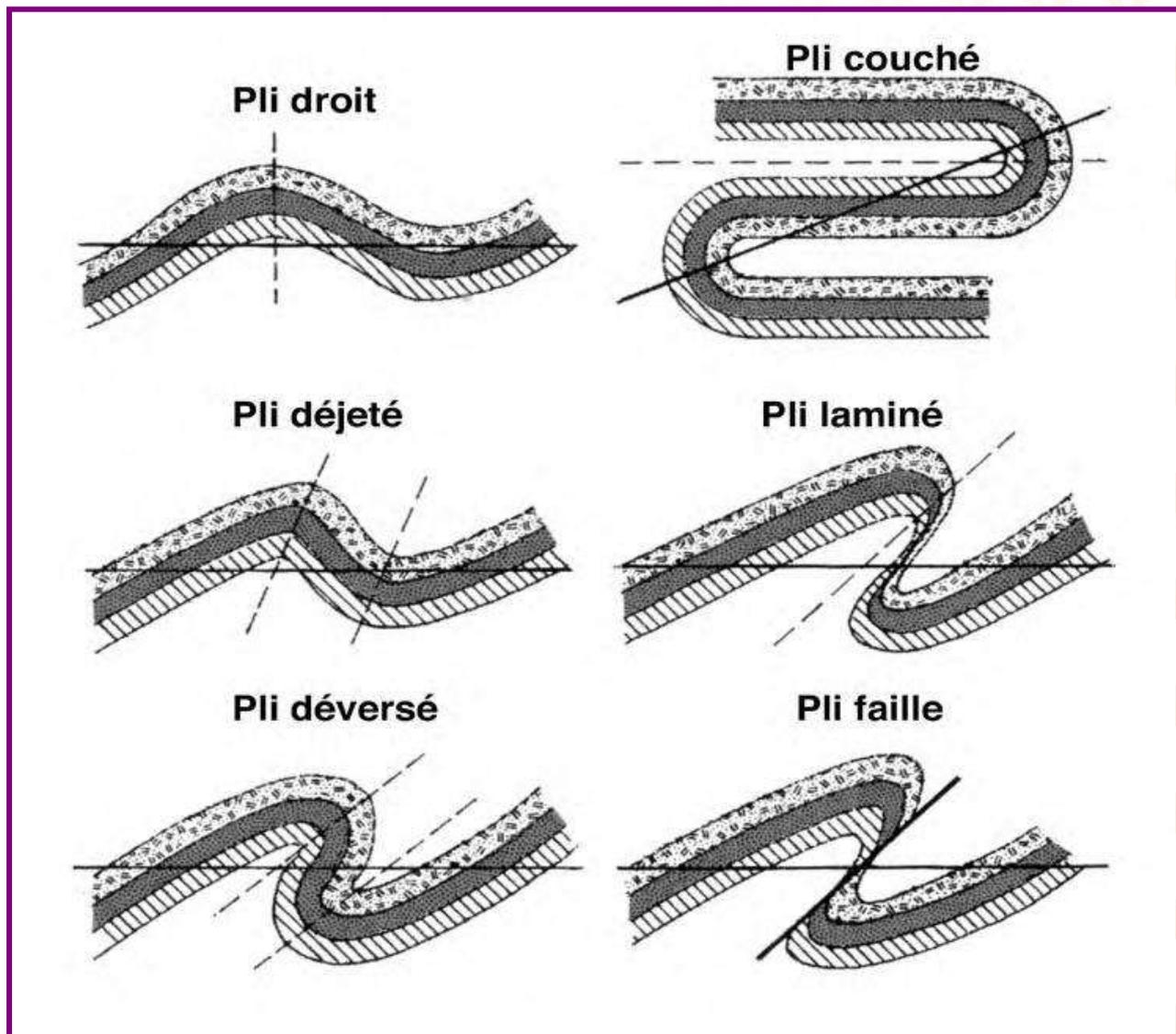


Pli conique

Pli cylindrique : dont la surface plissée est engendrée par la **translation** de lignes génératrices (**Lg**) parallèlement à elles-mêmes et à l'axe du pli.

Pli conique : dont la surface plissée est engendrée par des **Lg** qui convergent en un point 'a'.

a - les différents types de plis définis par leur géométrie

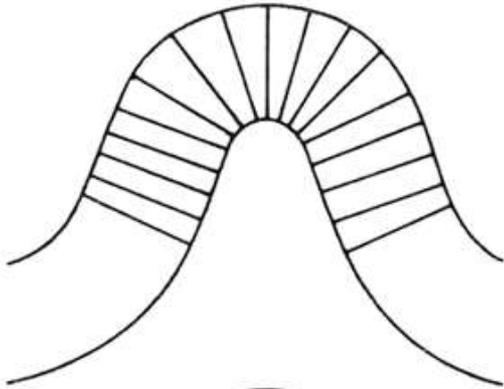


b-classification géométrique des plis par isogones de pendage *(d'après Ramsay):*

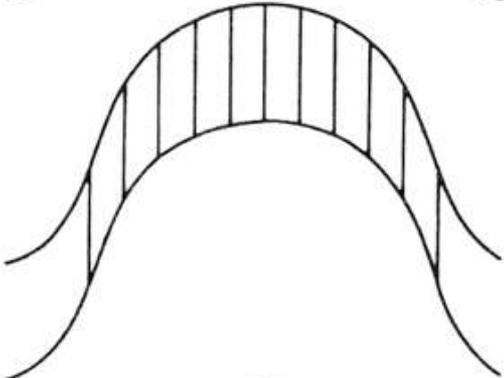
Les isogones sont les lieux à valeur de pendage identique (isopendage) sur les différents couches plissées.

De façon plus générale, on peut tracer les isogones d'un pli en reliant **les points** qui ont **le même pendage** sur les surfaces supérieures et inférieures d'une couche.

Selon les plis, les isogones sont **parallèles**, **convergentes** ou **divergentes**. En se basant sur ce critère on a :



des isogones **divergentes** vers le haut dans les anticlinaux (**plis isopaques**).



des isogones **parallèles** (**plis semblables**)



des isogones **convergentes** vers le haut dans les anticlinaux (**plis anisopaques**).

c- les différents types de plis définis par leur déformation:

Pli isopaque (pli concentrique) :

- Pli où chaque couche garde **son épaisseur** dans les zones **de flanc** et **de charnière**.
- Un pli est **concentrique**, dans une roche sédimentaire, si **les couches sont toutes plissées** autour du **même centre**.
- Dans un **pli concentrique** les **épaisseurs** des couches mesurées perpendiculairement à leur surface de séparation restent **constantes**.
- Les **rayons de courbure** varient d'une couche à l'autre.

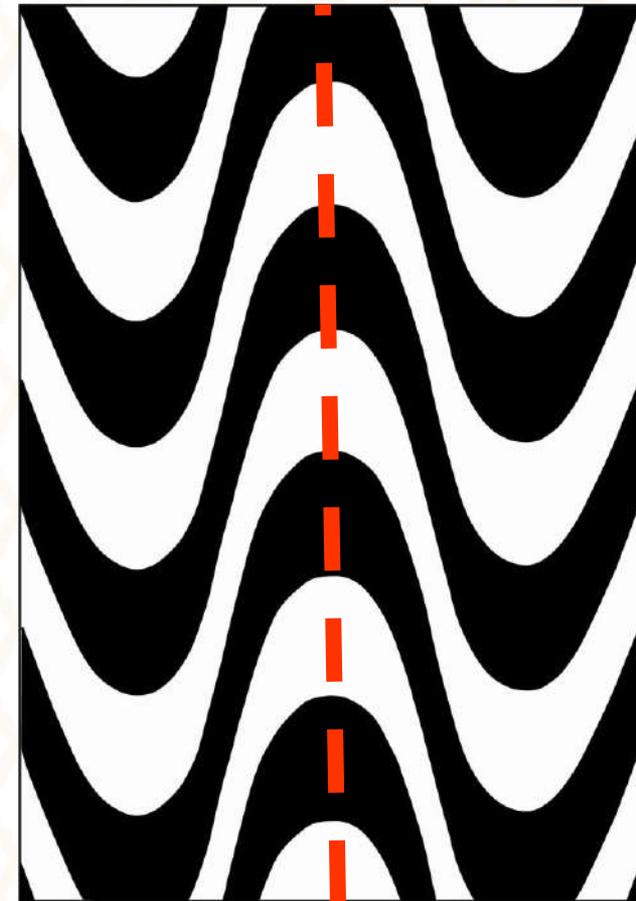


Plis isopaques

c- les différents types de plis définis par leur déformation:

Pli anisopaque :

- Pli où les couches ont subi des modifications d'épaisseur, soit dans un des flancs, soit dans les deux flancs, soit dans les deux flancs et à la charnière.
- Un pli anisopaque est dit semblable si les épaisseurs des couches sédimentaires définies par le plan axial sont constantes pour chaque couche, c'est-à-dire si la courbure des strates reste identique le long de la médiane du pli. Une simple translation permettrait de faire coïncider les différentes courbes.
- L'épaisseur au sens stratigraphique varie donc d'un point à un autre du pli, il y a étirement sur les flancs « flancs étirés » et des « charnières gonflées ».



Plis semblables

Microstructures associées au plissement

Schistosité,

Foliation,

Linéation.

Schistosité, foliation et linéation :

Schistosité :

La schistosité est une structure planaire d'origine tectonique (raccourcissement). Elle exprime l'aplatissement de la roche qui se débite en feuillets parallèles dont l'orientation est généralement différente du litage initial comme la stratification (S_0).

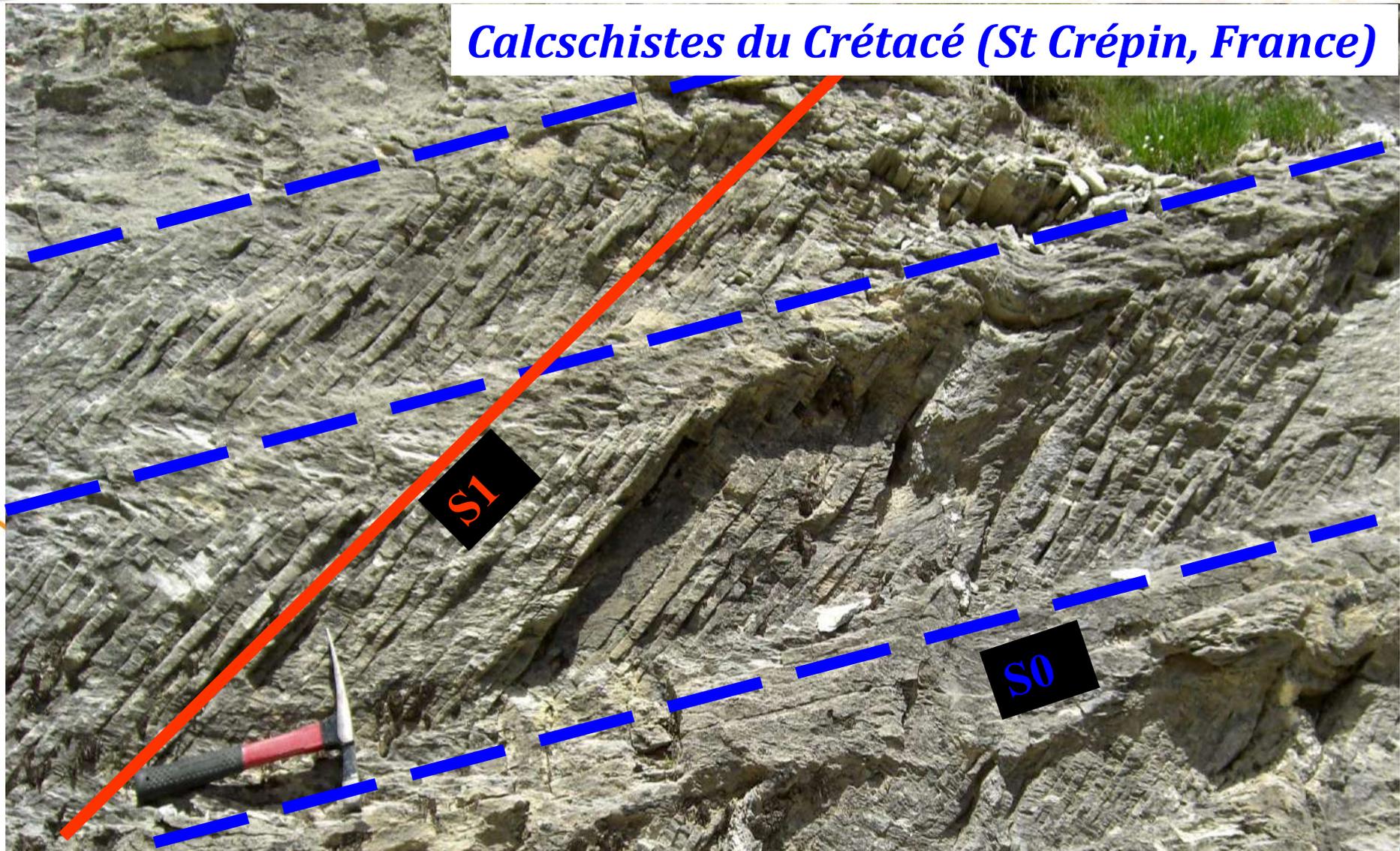
Foliation :

La foliation exprime un débit de la roche en feuillets de nature minéralogique différente, due aux recristallisations métamorphiques (= métamorphisme) qui accompagnent la tectonique en profondeur.

Linéation :

Les linéations sont des microstructures linéaires parallèles entre elles, pénétratives à l'échelle de l'échantillon, apparues sous la contrainte.

L'intersection de deux plans est une ligne qui appartient aux deux plans
Objet : linéation d'intersection

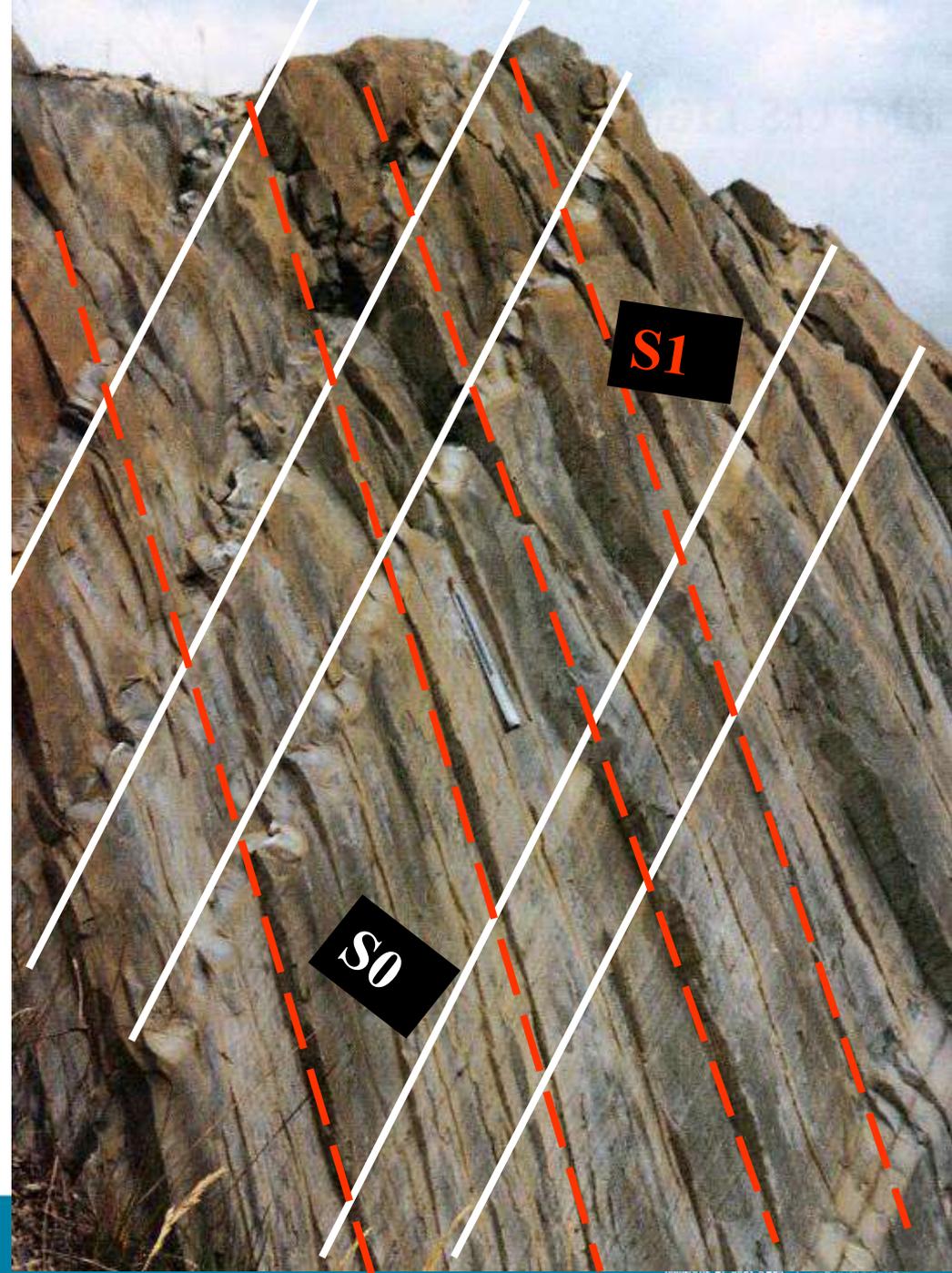


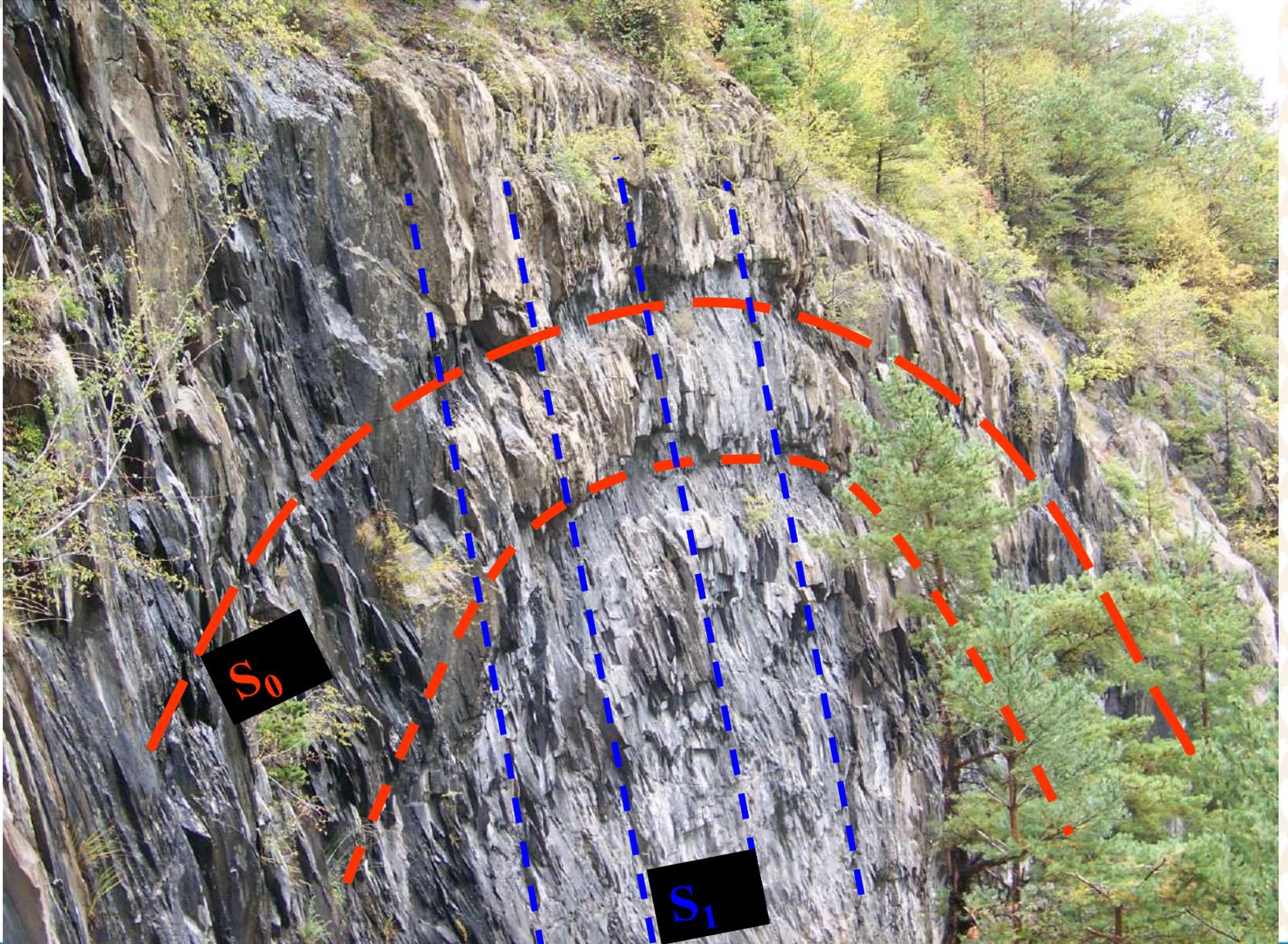
MICROSTRUCTURES ASSOCIEES AUX PLIS

PLANS DE :

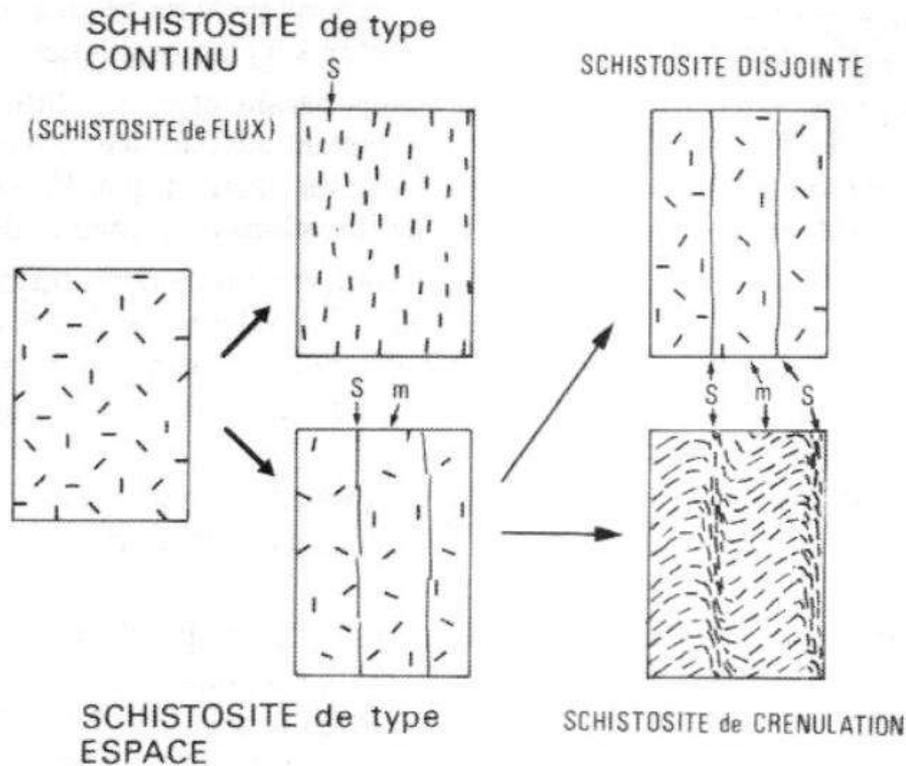
S_0 = STRATIFICATION

S_1 = SCHISTOSITE





Différents types de schistosités :



- Lorsqu'**aucun plan de fissilité** n'est observable au microscope, la schistosité est de **type continu** = c'est la **schistosité de flux**. Ex: la **schistosité ardoisière**.

- Lorsque la roche **montre des zones de schistosité** qui sont **des plans de fissilité**, séparant des zones appelées **microlithons** = la schistosité est de **type espacé**.

Selon l'intensité de la déformation des microlithons et la morphologie des surfaces qui les séparent, on distingue:

- La **schistosité disjuncte** (**schistosité de fracture**) et la **schistosité de crénulation** (**schistosité par microplis**).

La distinction des principaux **types de schistosité** est établie sur **le caractère continu/discontinu** que présente, à l'échelle de l'observation microscopique optique, le **plan de fissilité** de la roche (c-à-d **débit de la roche en feuillets minces**).

Stratification S_0 et Schistosité S_1 à l'échelle macroscopique



PLANS DE :

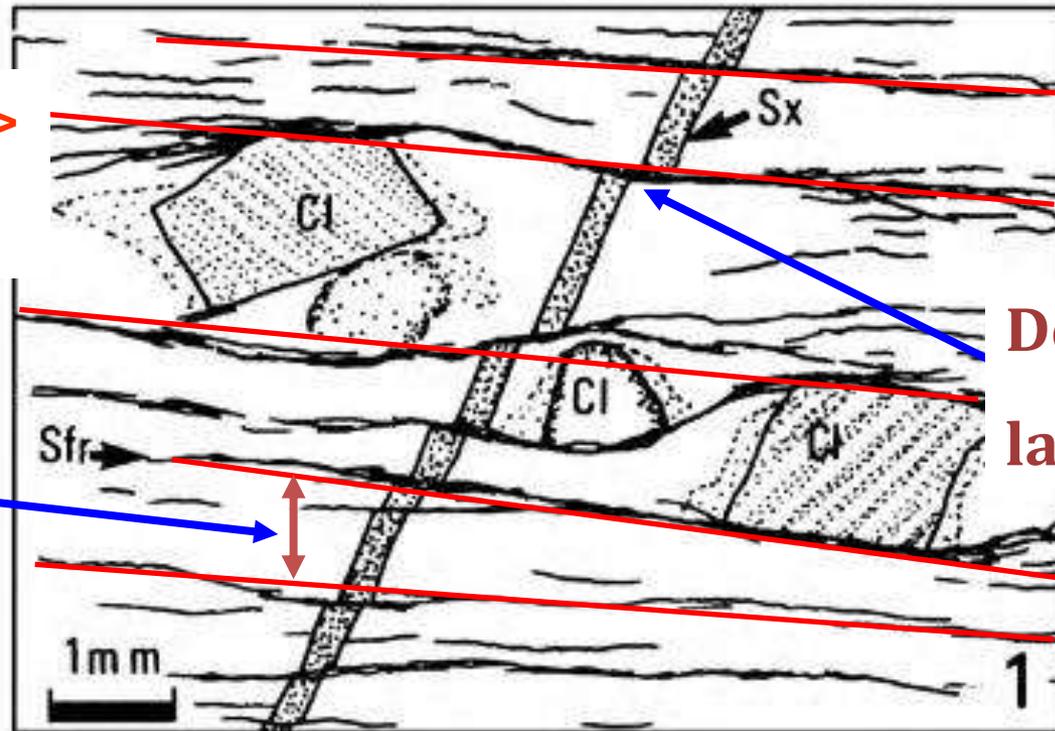
S_0 = STRATIFICATION

S_1 = SCHISTOSITE

microlithon

Schistosité de fracture:

Schistosité =>



Décalage du à la dissolution

Microlithon (sans clivage)

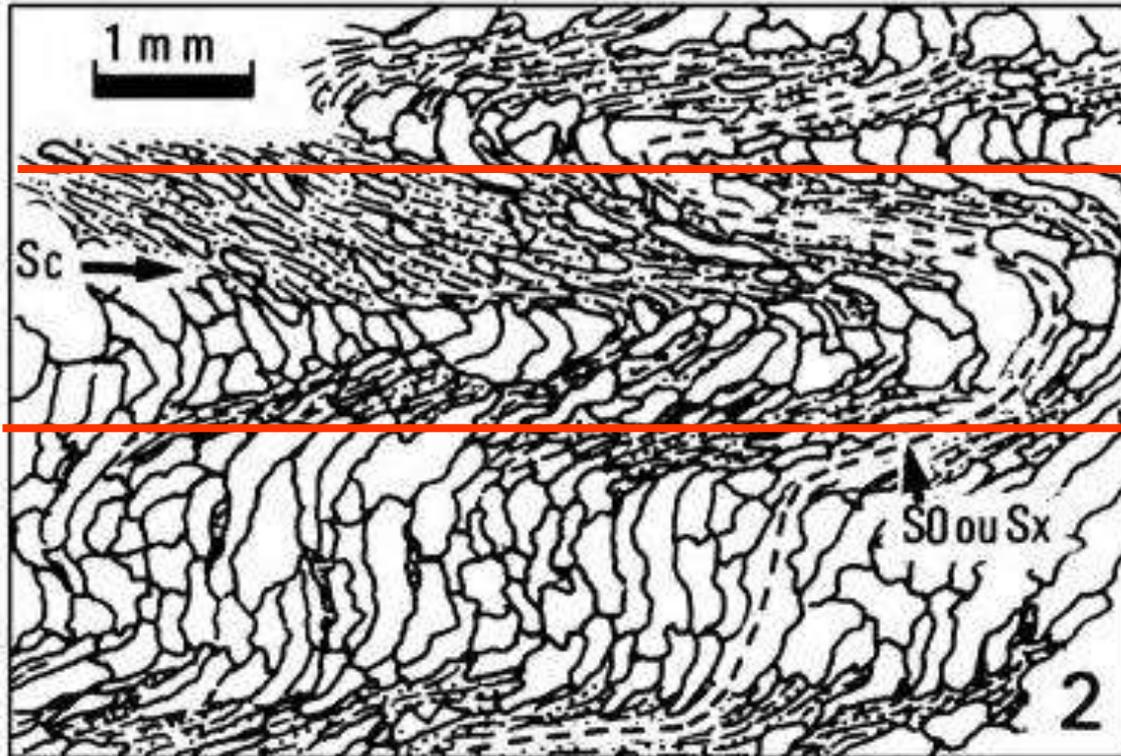
La schistosité espacée ou *schistosité de fracture*. Elle apparaît dans la **roche compétente**. Le matériau se déforme de façon **cassante**, les plans de fractures sont tous orientés parallèlement. Il en résulte un débit de la roche qui définit ainsi une schistosité. Les surfaces de schistosité sont irrégulières, espacées de quelques **mm** voire quelques **cm**.

Schistosité de fracture:



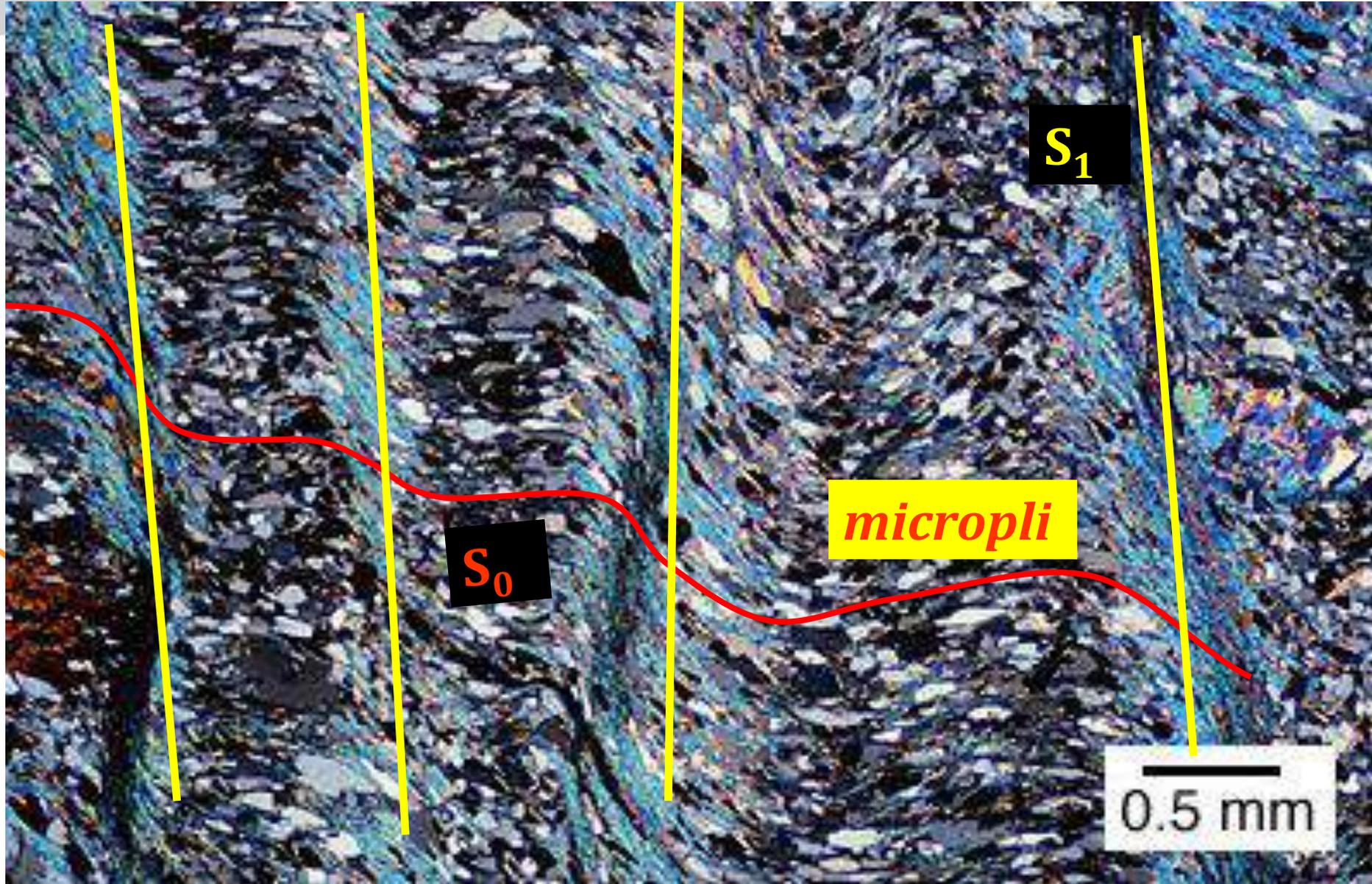
31/12/2014

La schistosité de crénulation

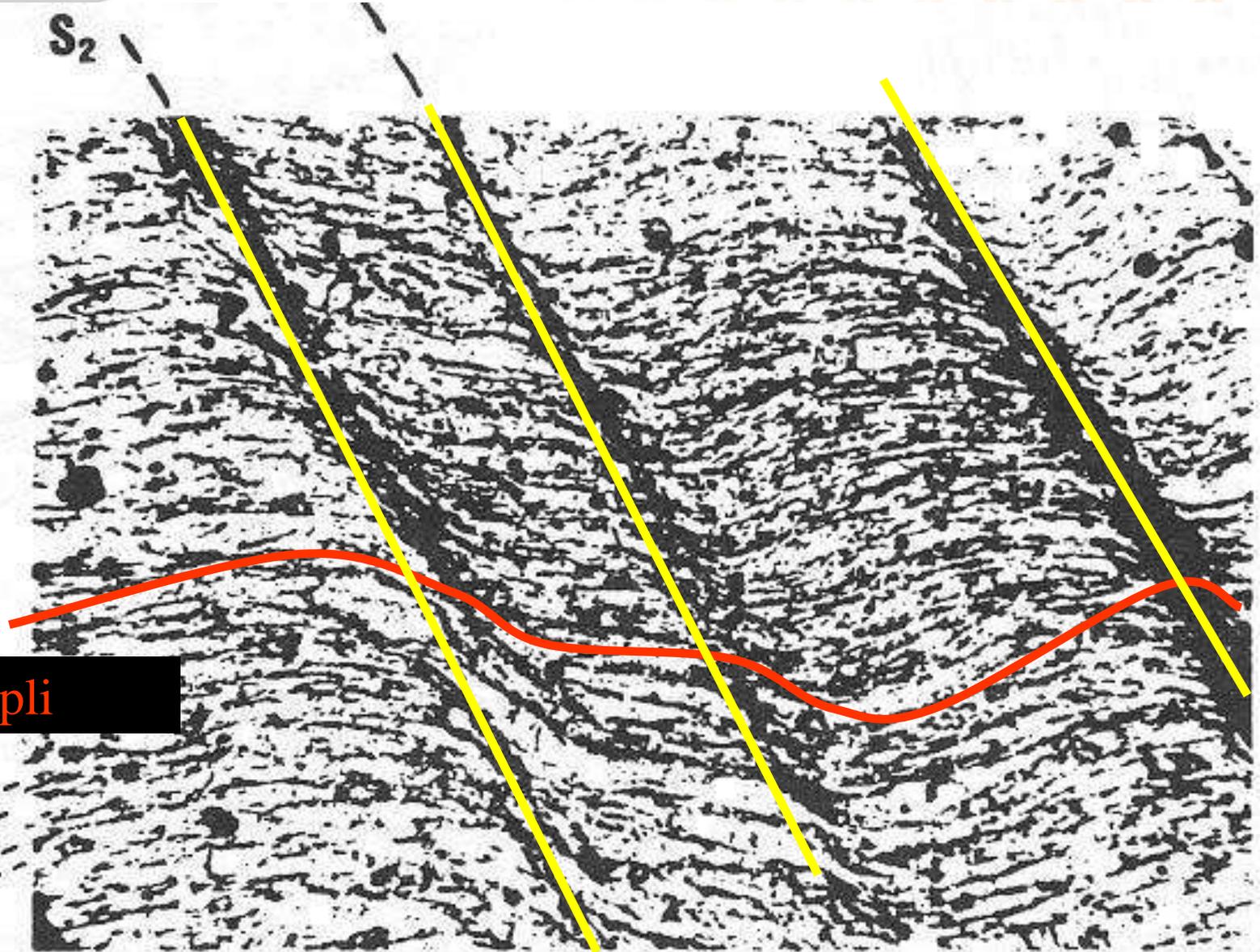


La **schistosité de crénulation** un plissement semblable intense (**millimétrique** ou **centimétrique**) définit une schistosité de crénulation selon **les flancs des plis**, domaine ou toutes **les structures sont parallèles**.

La schistosité de crénulation

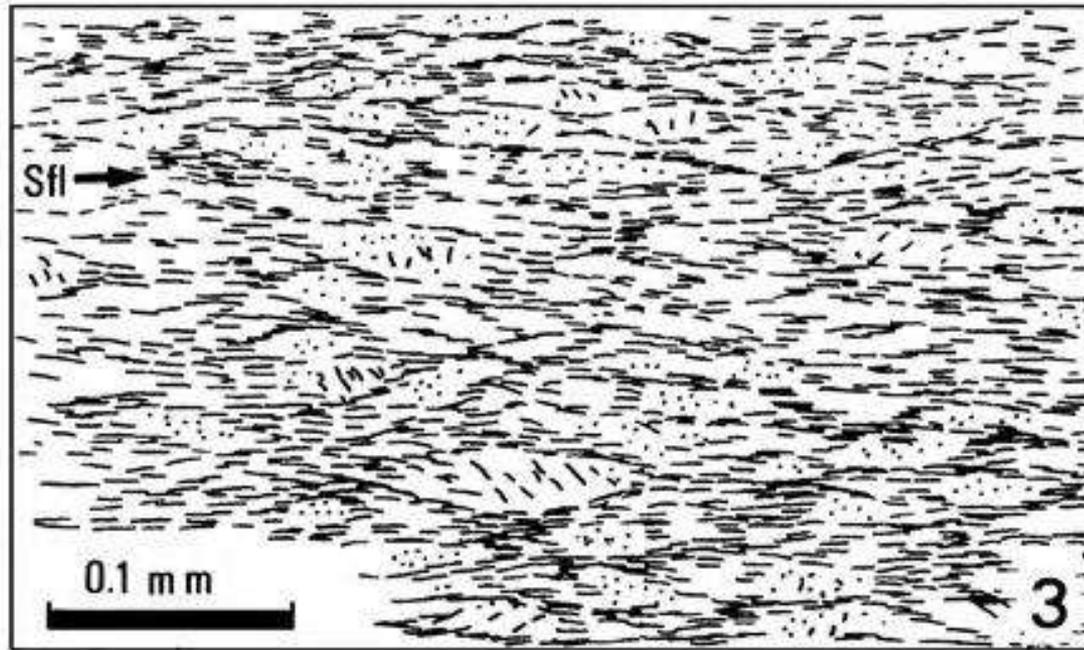


La schistosité de crénulation



micropli

La schistosité continue ou schistosité de flux



La schistosité continue ou **schistosité de flux**: Apparaît dans les milieux **incompétents**. Dans une roche déformée, les **minéraux en feuillets** ou en **aiguilles** ont naturellement tendance à **se re-orienter**. Le plan des minéraux en feuillets se placera plus facilement selon **le plan XY**. Tous ces mouvements de minéraux définissent **un flux** à l'origine d'une schistosité.

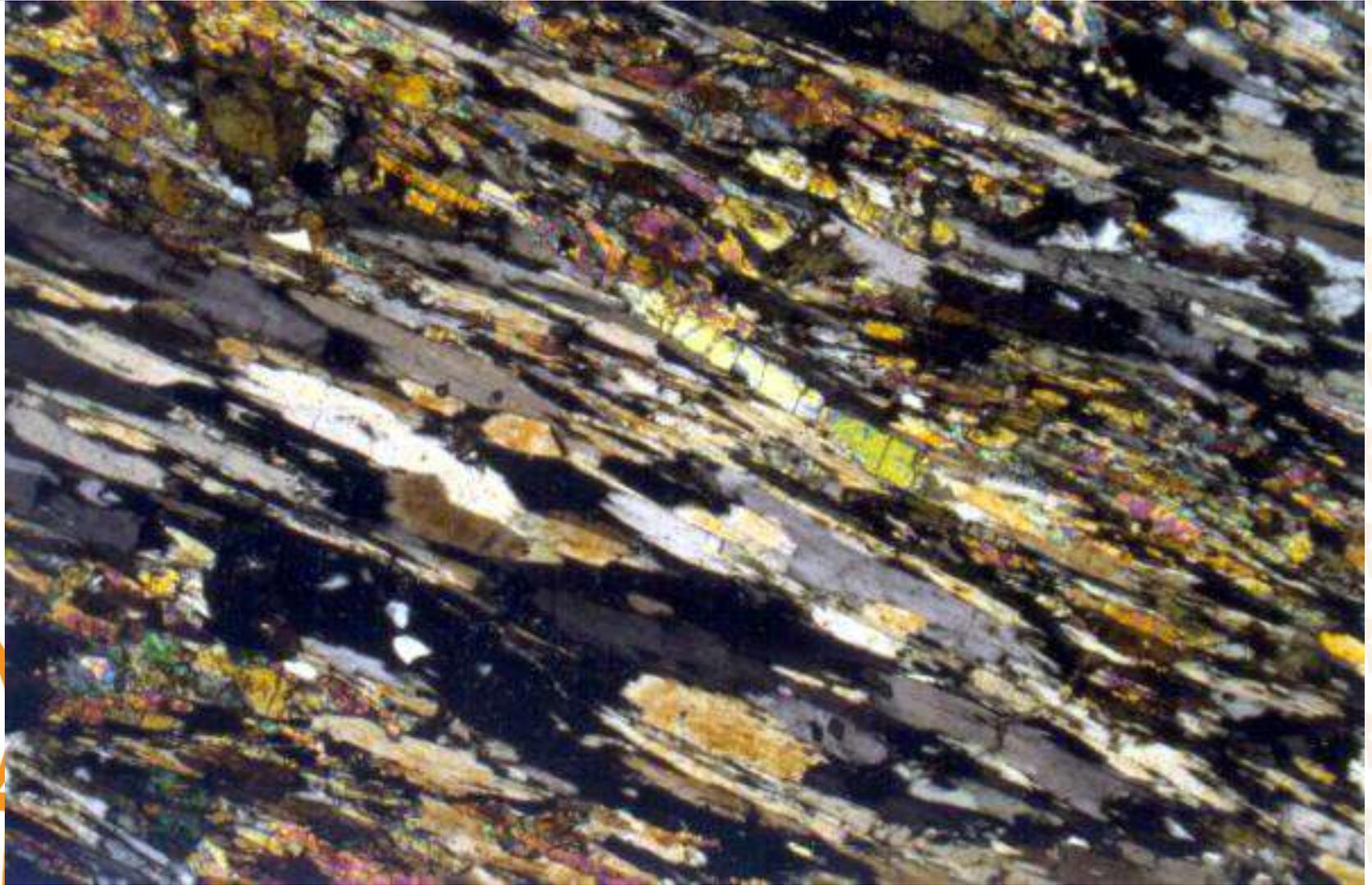
Les surfaces de schistosité sont régulières, l'espace entre deux plans est inférieur au **mm**. **La stratification** d'origine est en général **effacée** presque **totalemment**. Un exemple classique est **la schistosité ardoisière**.

Schistosité de flux



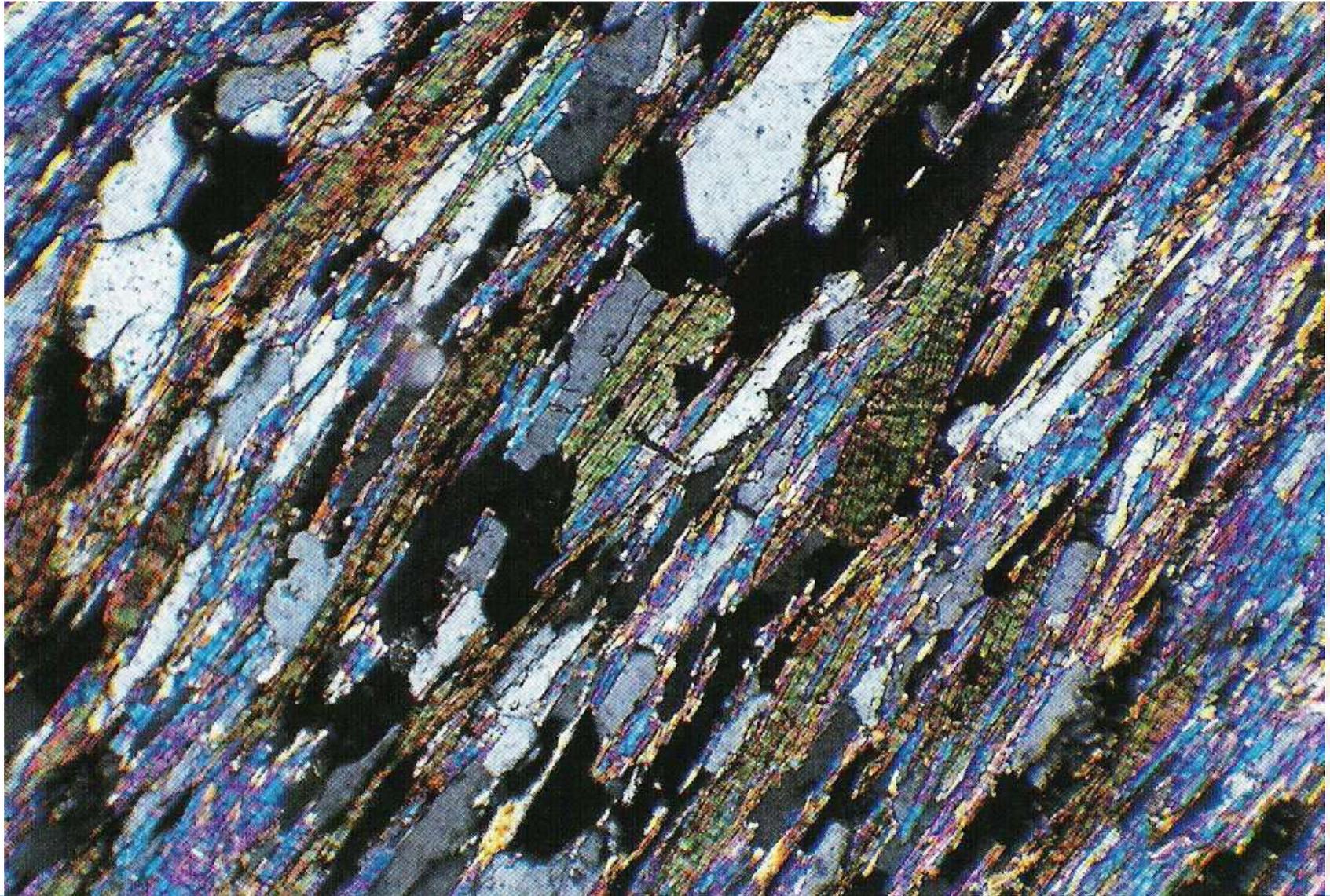
**PLAN DE SCHISTOSITE PARALLELE, NON TOUS
VISIBLES A L 'OEIL NU... SCHISTOSITE DE FLUX**

Schistosité de flux dans une micaschiste



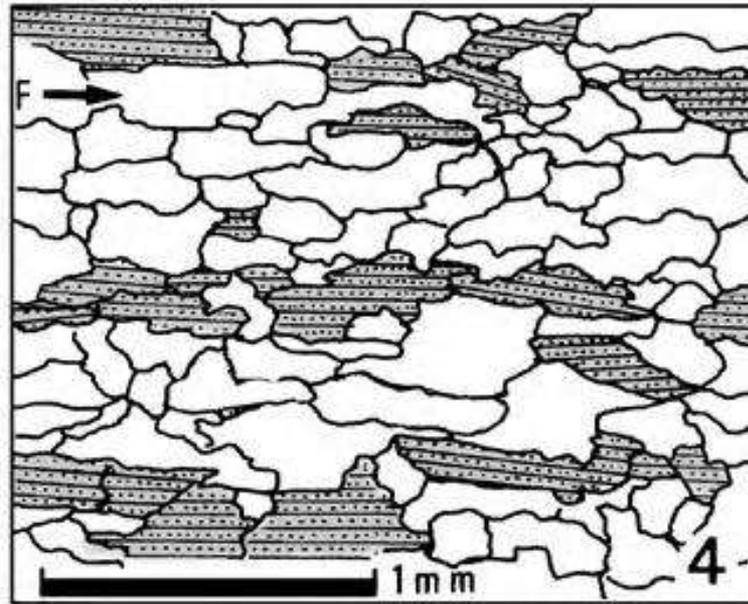
31/12/2014

Schistosité de flux dans une micaschiste



31/12/2014

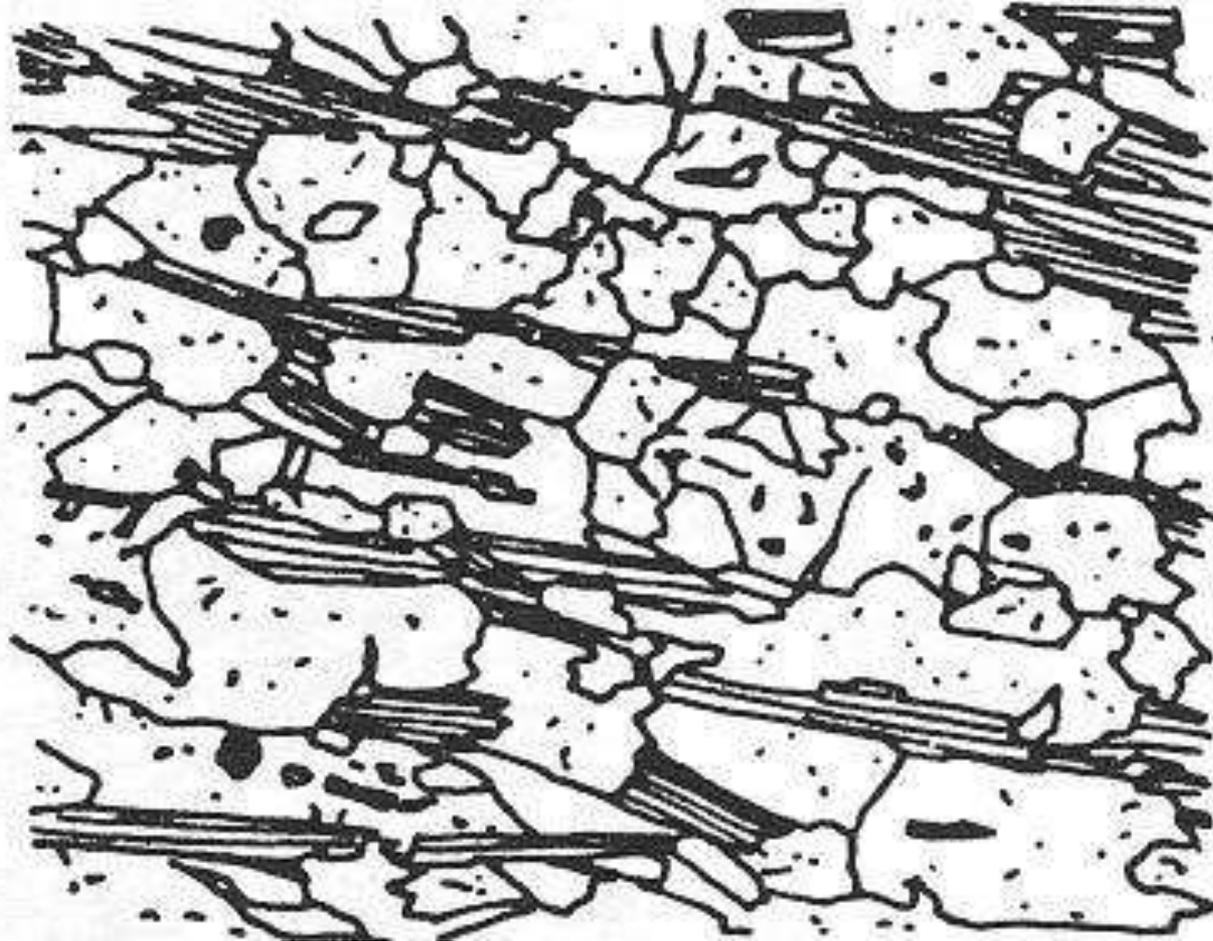
La foliation



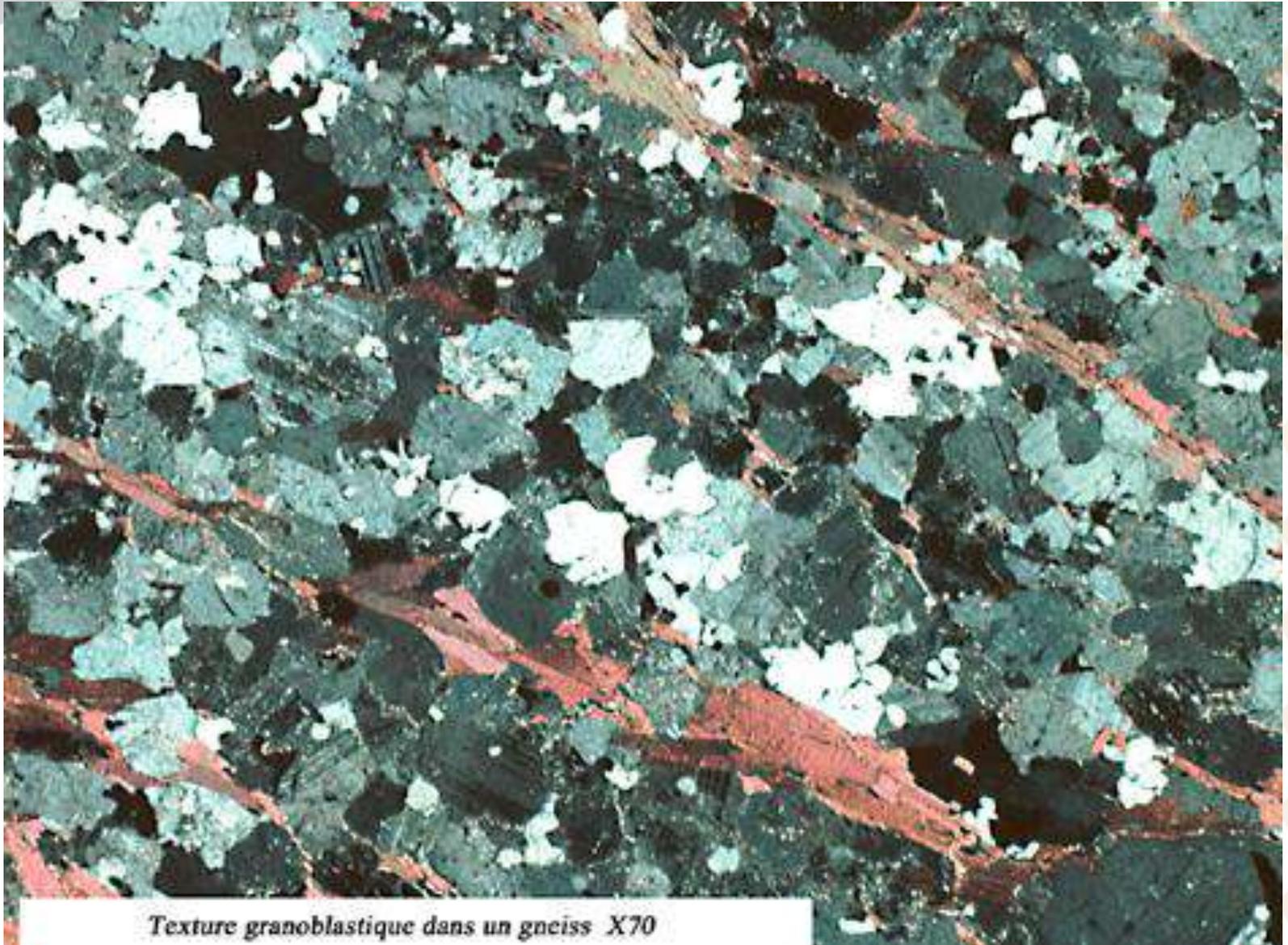
La foliation est une **schistosité continue**, les feuillets ont une **composition minéralogique différente**, les minéraux métamorphiques sont visibles à l'œil nu, la roche est rubanée. Généralement, il y a **alternance** de bancs (millimétriques ou centimétriques) de minéralogie différente (alternance minéraux clairs, minéraux sombres, par exemple).

La schistosité permet de connaître la position du **plan d'aplatissement** : défini par **les axes X et Y de l'ellipsoïde**. C'est donc un marqueur important dans l'analyse de la déformation ductile.

La foliation



Foliation dans un gneiss



Texture granoblastique dans un gneiss X70

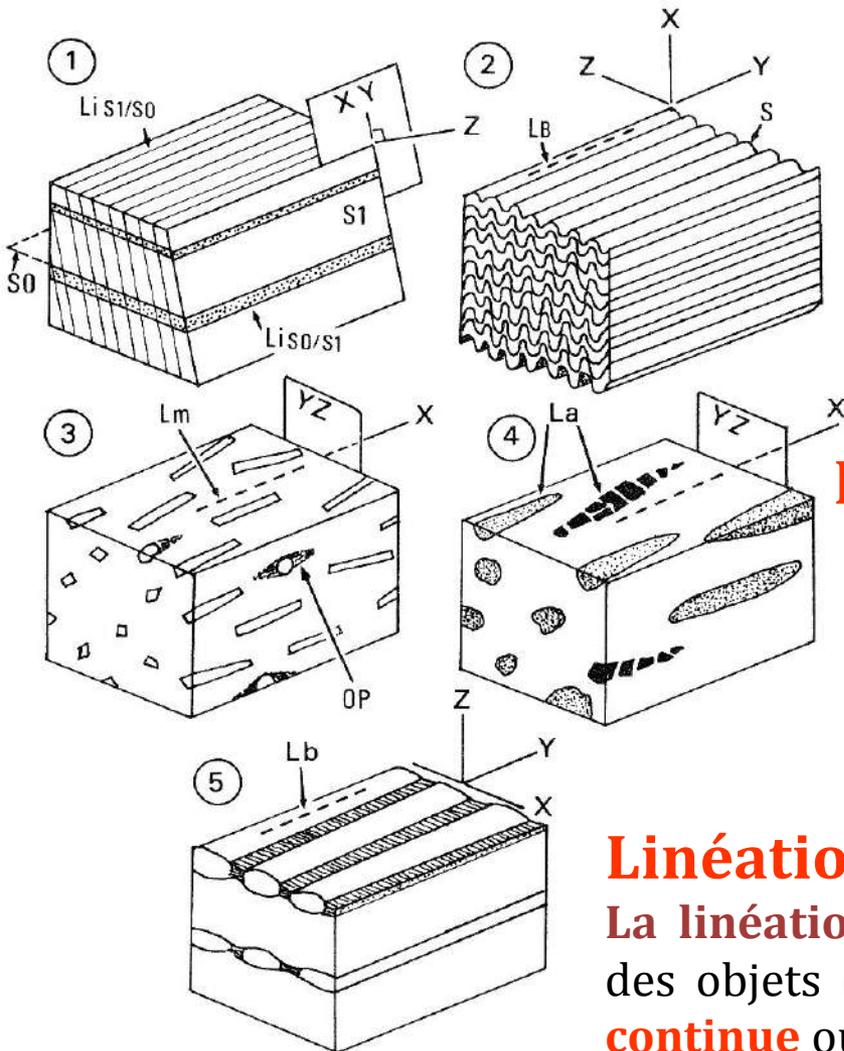
Les Linéations :

Les **linéations** sont des **structures linéaires** imprimées dans la roche, surtout visibles à **l'échelle de l'affleurement** et de **l'échantillon**.

- *linéation d'intersection,*
- *linéation de crénulation,*
- *linéation minérale,*
- **Linéation d'étirement,**
- **Linéation de boudinage**

Linéation d'intersection

La linéation d'intersection résulte de l'intersection de **deux surfaces**, en général la stratification S_0 et la schistosité S_1 .



Linéation de crénulation

La linéation de microplissement (crénulation) correspond aux **axes de microplis** déformant une surface de stratification ou le plus souvent une **schistosité antérieure** au microplissement. Elle est souvent **associée à la schistosité de crénulation**.

Linéation minérale

La linéation minérale correspond à des **minéraux alignés** suivant une direction préférentielle, soit des **minéraux métamorphiques néoformés**, soit des **minéraux anciens réorientés**.

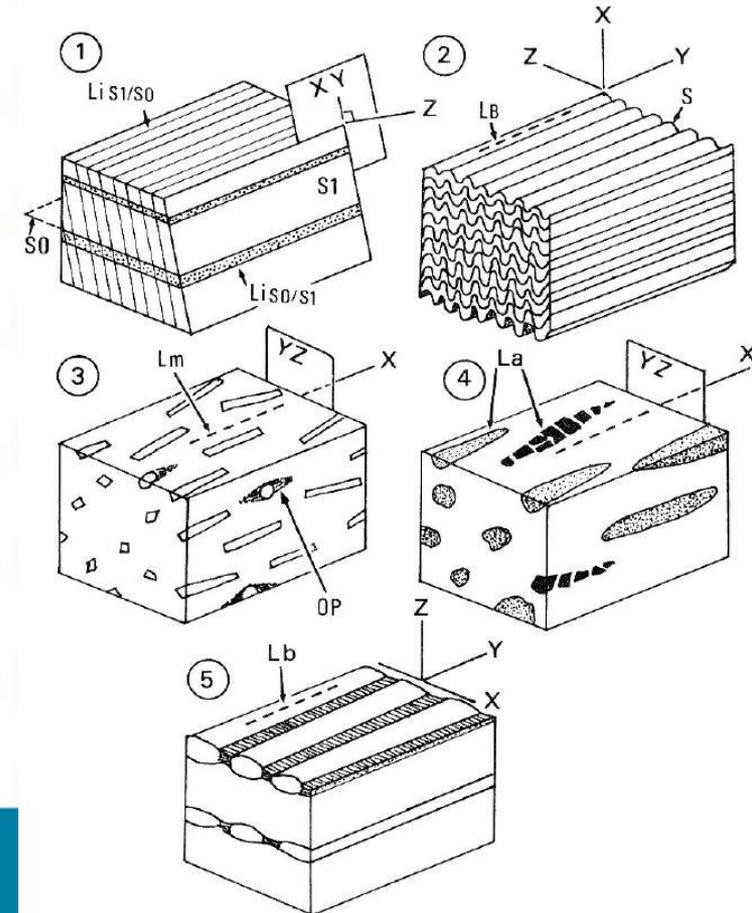
Linéation d'étirement

La linéation d'allongement ou d'étirement correspond à des objets (galets, fossiles, minéraux, etc...) **étirés** de façon **continue** ou **discontinue** (fragments alignés).

Linéation de boudinage

Le boudinage correspond au découpage régulier de **bancs résistants** entourés d'une **matrice plus ductile**. Les baguettes parallèles définissent la linéation de boudinage, l'**étirement ductile** puis la **rupture des baguettes** définit **la direction d'allongement**.

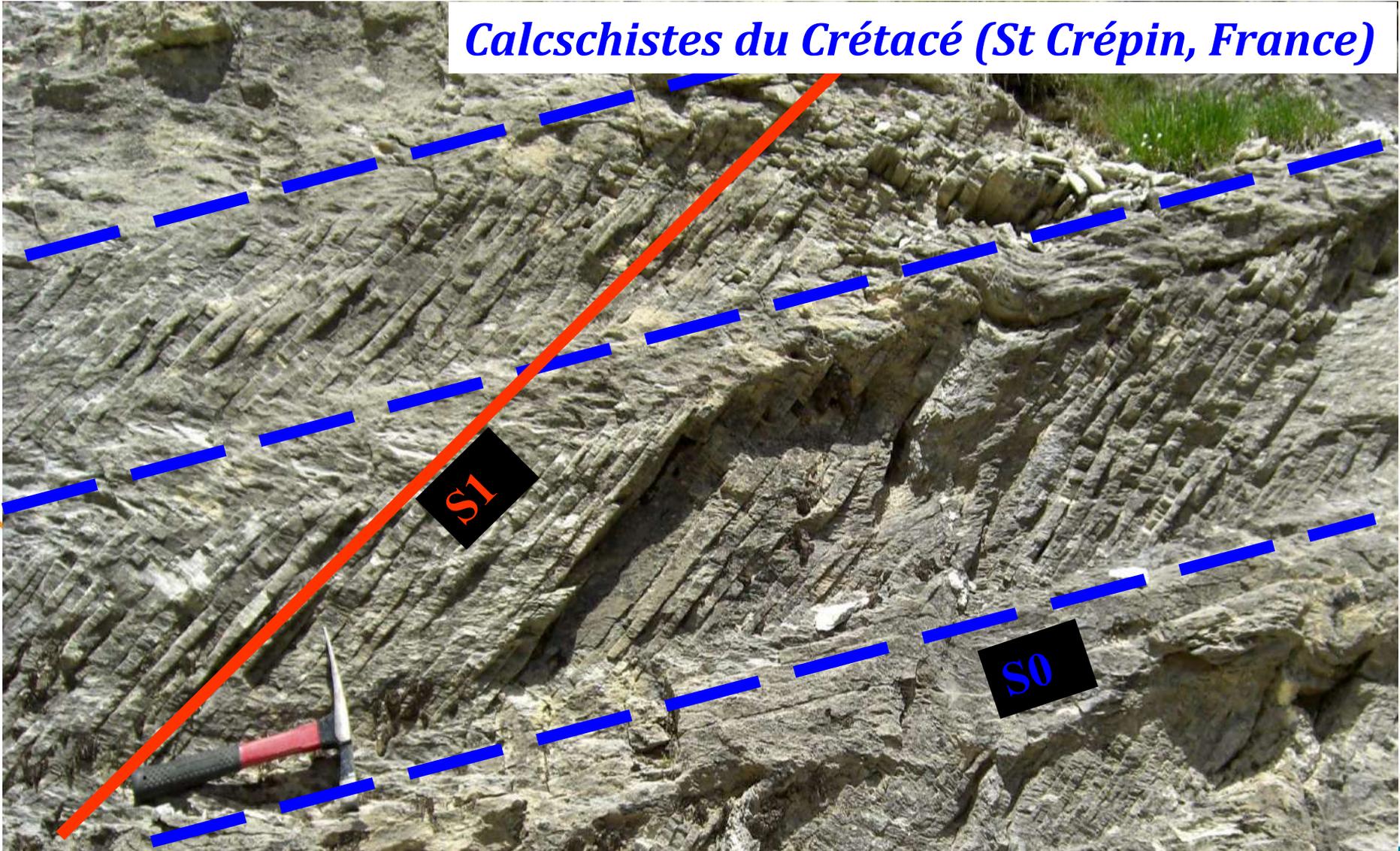
Les **linéations minérales, d'allongement** et le **boudinage** donnent avec précision la direction de **l'axe X de l'ellipsoïde**.



L'intersection de deux plans est une ligne qui appartient aux deux plans

Objet : **linéation d'intersection**

Calcschistes du Crétacé (St Crépin, France)



Linéations créées par un microplissement de type crénulation



Linéation d'étirement



Rostre de Bélemnite étiré dans le Lias (St Jean de Maurienne, France)

Une linéation d'étirement est marquée par l'allongement d'un objet géologique. Celui-ci s'est mis en place, avec sa forme initiale, avant la phase de déformation.

Tourmalines étirées (Montagne Noire, France)

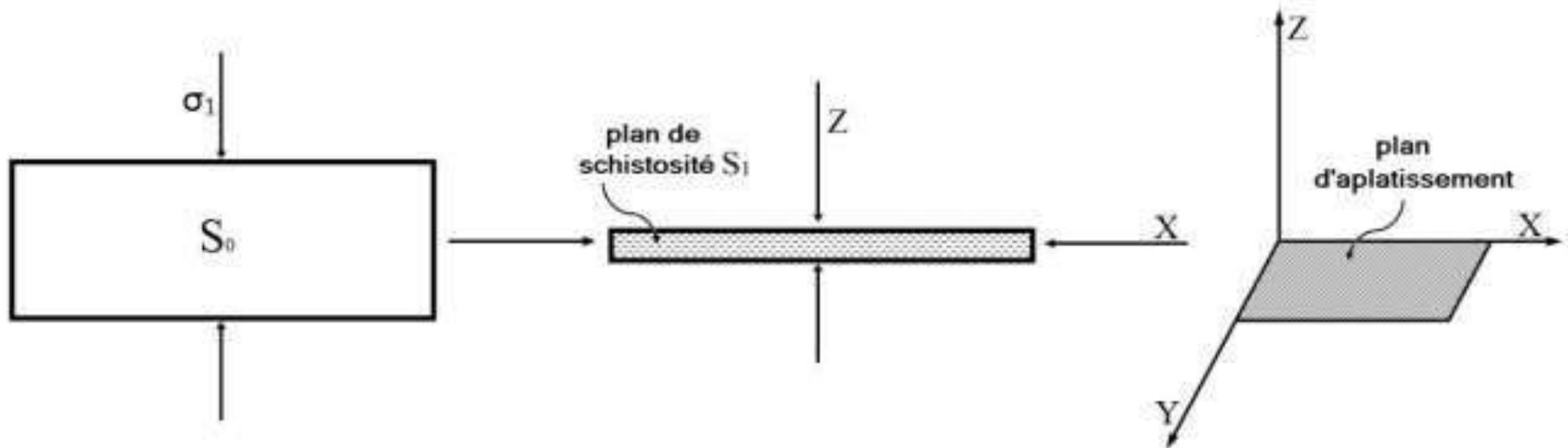
Linéation de boudinage



31/12/2014

Fabrication et orientation de l'ellipsoïde de déformation

De façon générale, tous les types d'éléments planaires (schistosité) sont dans le plan XY de l'ellipsoïde de déformation; Z (raccourcissement principal) est perpendiculaire à la schistosité. La schistosité renseigne aussi sur les conditions de P et de T de la déformation.



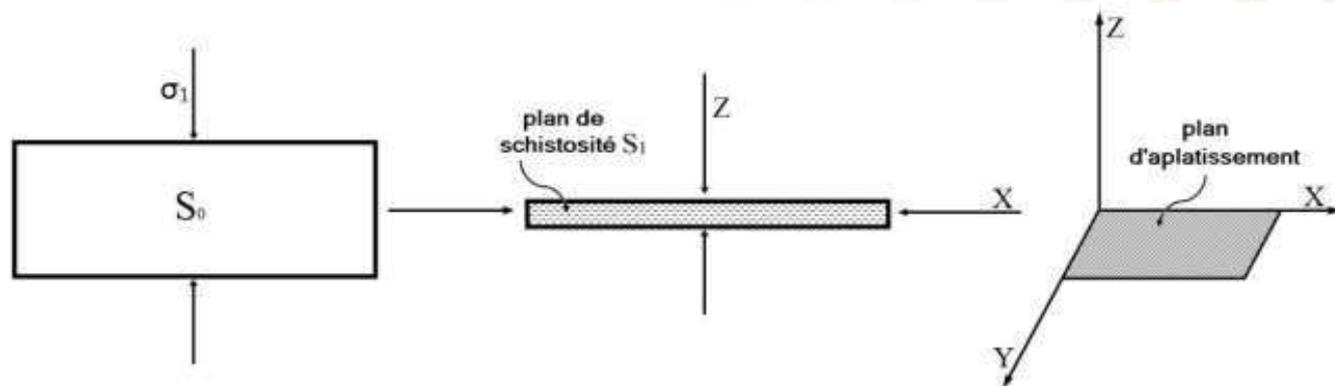
La relation est moins nette pour les linéations. Des linéations d'étirement, ou des linéations minérales, sont dans l'axe X (étirement). Mais pour tout autre type de linéation, la relation n'est pas claire !

Fabrication et orientation de l'ellipsoïde de déformation

De façon générale, tous les types d'éléments planaires (schistosité) sont dans le plan XY de l'ellipsoïde de déformation; Z (raccourcissement principal) est perpendiculaire à la foliation. La schistosité renseigne aussi sur les conditions de P et de T de la déformation.

La reconnaissance des différents types de fractures, flux, foliation, permet de se situer approximativement dans le niveau structural inférieur. La schistosité permet de mettre en évidence les phénomènes de tectonique superposées qui sont très fréquents dans le niveau structural inférieur, une schistosité plissée indique indirectement l'existence de deux épisodes de déformation.

La relation est moins nette pour les linéations. Des linéations d'étirement, ou des linéations minérales, sont dans l'axe X (étirement). Mais pour tout autre type de linéation, la relation n'est pas claire et il faut réfléchir à son origine pour replacer l'ellipsoïde de déformation !



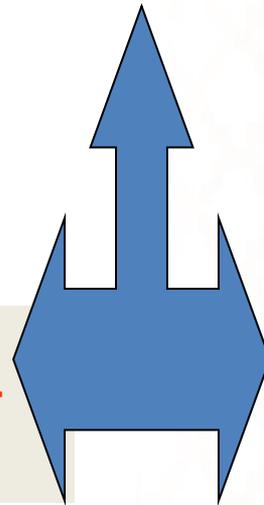
LA FORMATION DES PLIS



Les mécanismes du plissement

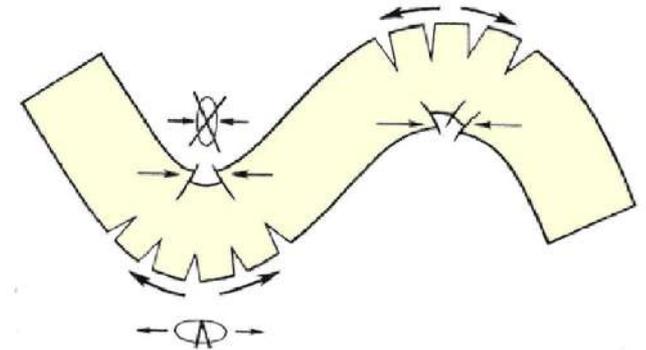
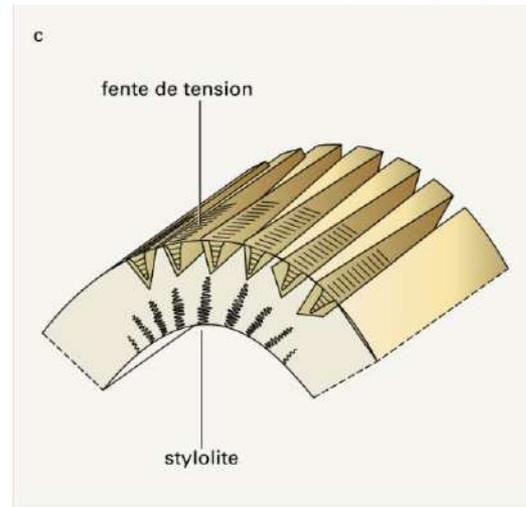
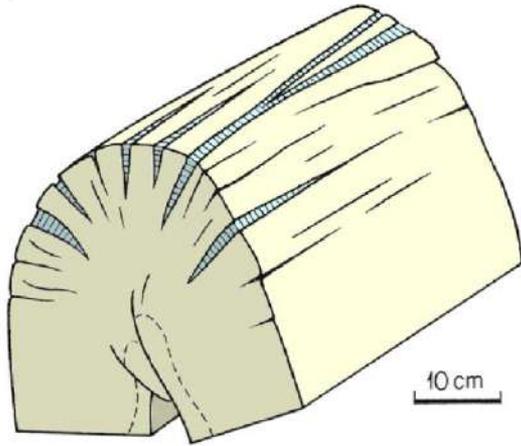
Les plis isopaques et le plissement par flexion et glissement:

Les plis à déformation de charnière



Les plis à déformation de flanc

Les plis à déformation de charnière



La déformation est localisée dans **la charnière**, elle est **hétérogène** avec **une extension** dans **l'extrados** et une **compression** dans **l'intrados**.

Les microstructures associées peuvent être:

- **L'extrados** des **fentes de tension** ou des **microfailles normales**,
- **L'intrados** des **joints stylolithiques**, des **microplis** ou des **microfailles inverses**.

PLI ISOPAQUE

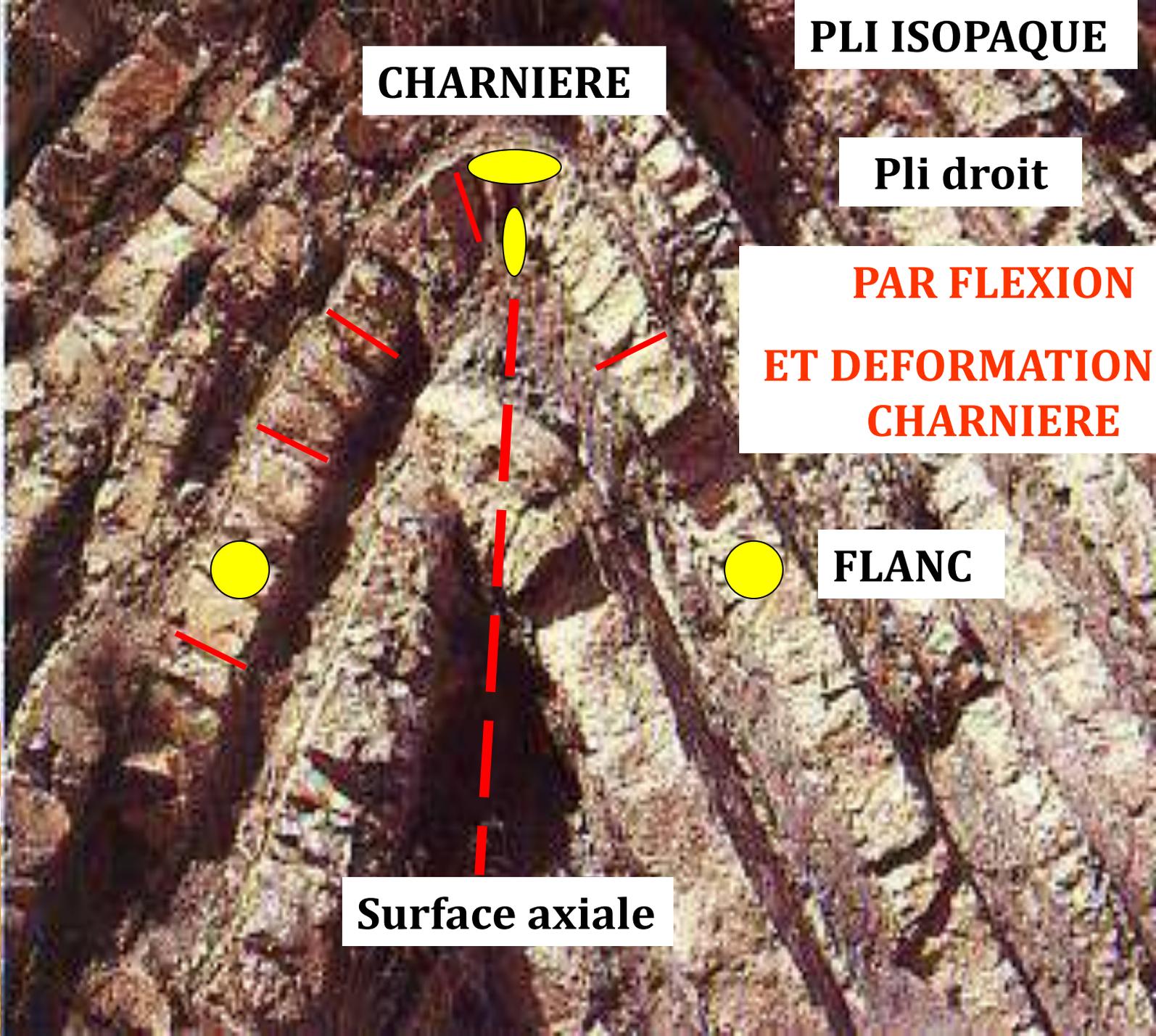
CHARNIERE

Pli droit

**PAR FLEXION
ET DEFORMATION DE
CHARNIERE**

FLANC

Surface axiale



EXTRADOS

**Fente de traction
+ cristallisation**

Allongement



stylolithes

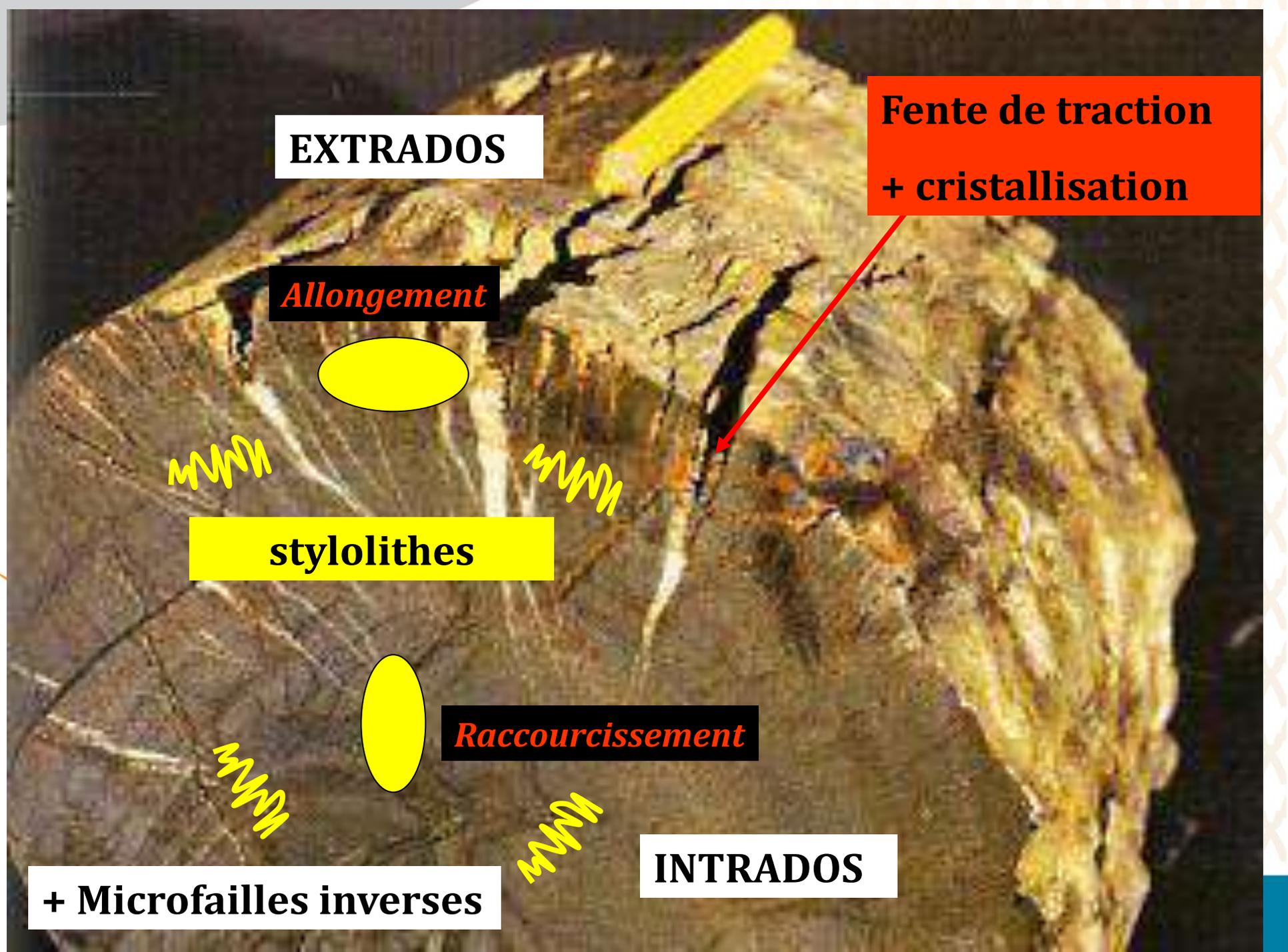


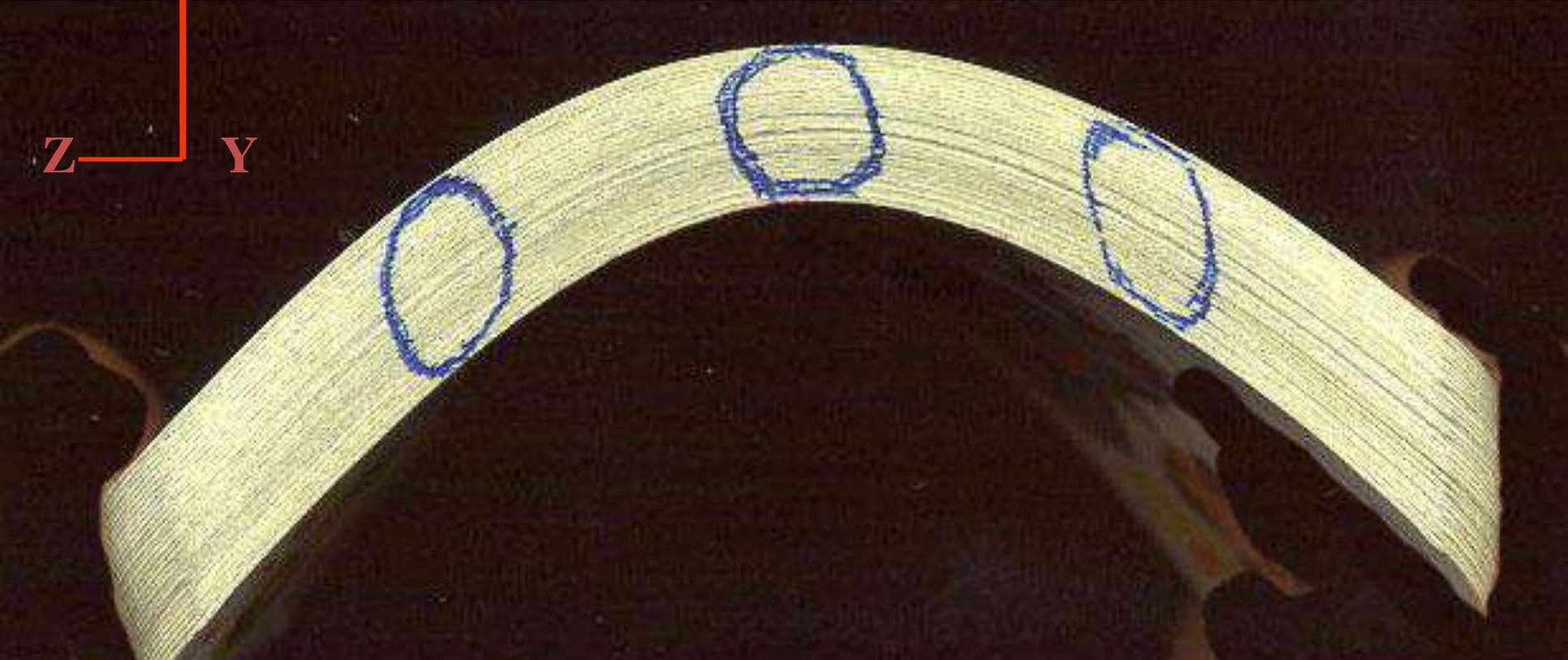
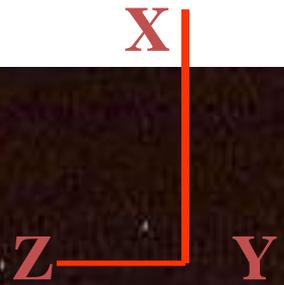
Raccourcissement



+ Microfailles inverses

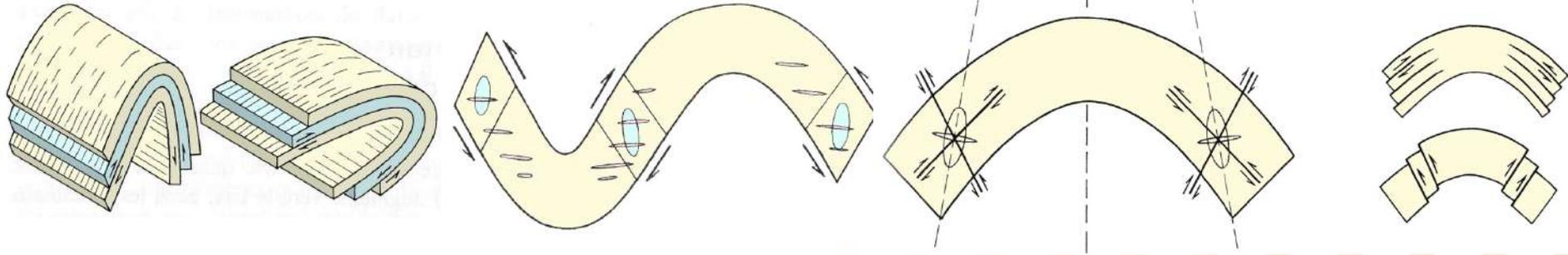
INTRADOS





PLI ISOPAQUE PAR FLEXION ET DEFORMATION DE FLANCS

Les plis à déformation de flanc



La déformation est localisée dans **les flancs**. C'est **un cisaillement simple** qui se fait parallèlement aux flancs du pli.

Les microstructures associées sont **des fentes en échelon** dans les flancs, souvent **sigmoïdes**, la **forme en S ou Z** donne le sens du **cisaillement interne**.

On peut aussi observer **des plans de cisaillement de Riedel** et **des stries** banc sur banc dans le cas d'un empilement de couches les unes sur les autres.

Dans tous ces types de plis il y a coexistence d'une **déformation ductile** qui donne le **pli** et de **déformations cassantes** (**microfailles**, **fentes**, etc...).

2- le plissement anisopaque par aplatissement :

Ces plis caractérisent **le niveau structural inférieur** de la chaîne de montagne.

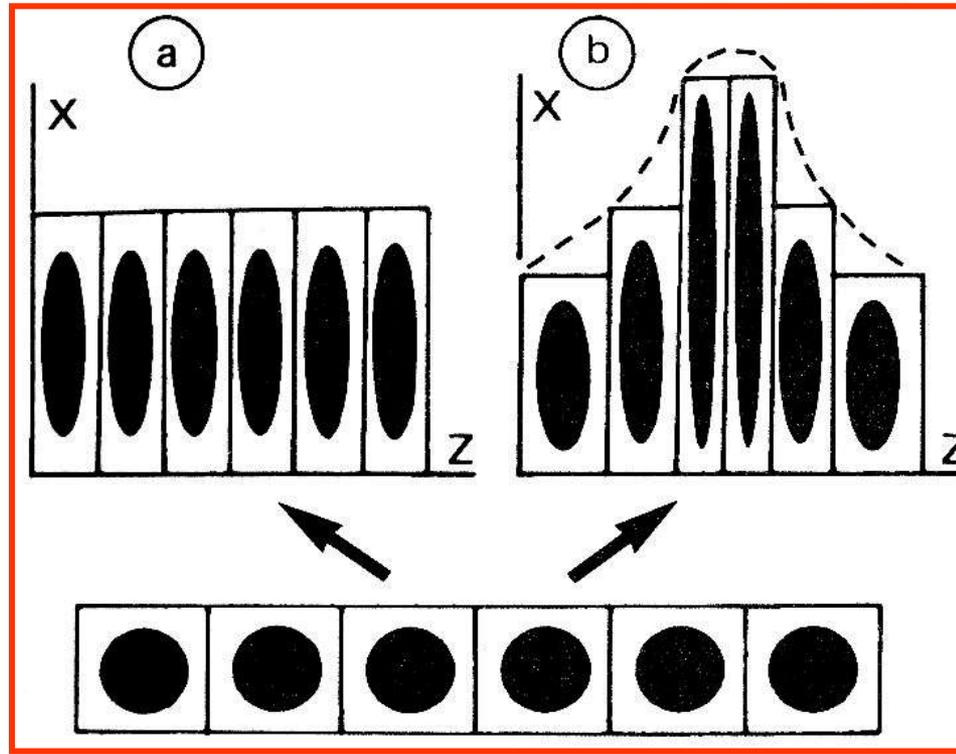
Ils apparaissent alors quelque soit la lithologie des roches déformées.

La **déformation** s'imprime dans la roche à **toutes les échelles**, on dit qu'elle est **pénétrative**.

Le marqueur caractéristique est la schistosité qui est l'expression de *l'aplatissement* des roches.

La **schistosité** est associée **aux plis**, les 2 structures apparaissent en **même temps**, on dit que les plis sont *synschisteux*.

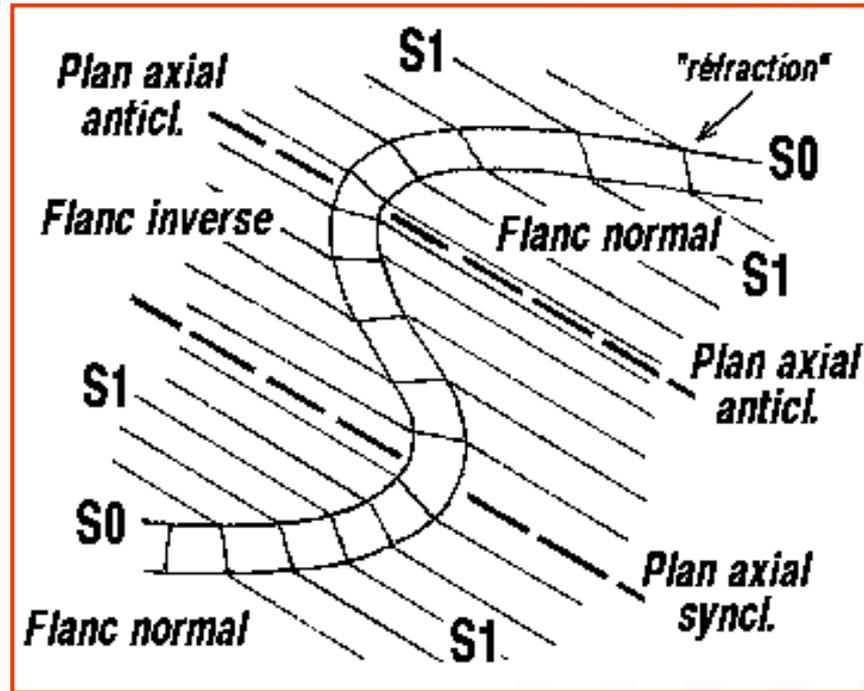
2- le plissement anisopaque par aplatissement :-



L'aplatissement homogène ne donne pas de plis. Par contre il donne des plans de schistosité, parallèles au plan d'aplatissement XY (Fig. a).

L'aplatissement hétérogène dans le plan XZ conduit à l'apparition de plis anisopaques synschisteux. Les plans de schistosité sont parallèles au plan axial du pli (Fig. b).

2- le plissement anisopaque par aplatissement :-



En général, l'**aplatissement homogène** ou **hétérogène** se produit après un **premier stade de flexion** des niveaux compétents. La **schistosité** prend des dispositions différentes: **en éventail** dans les **bancs compétents**, **parallèle au plan axial** dans les **niveaux incompétents** au début de la déformation (Fig.). Avec la généralisation de l'aplatissement, la schistosité est pratiquement **parallèle au plan axial** quelle que soit **la lithologie**.



Schistosité de plan axial dans un pli anisopaque

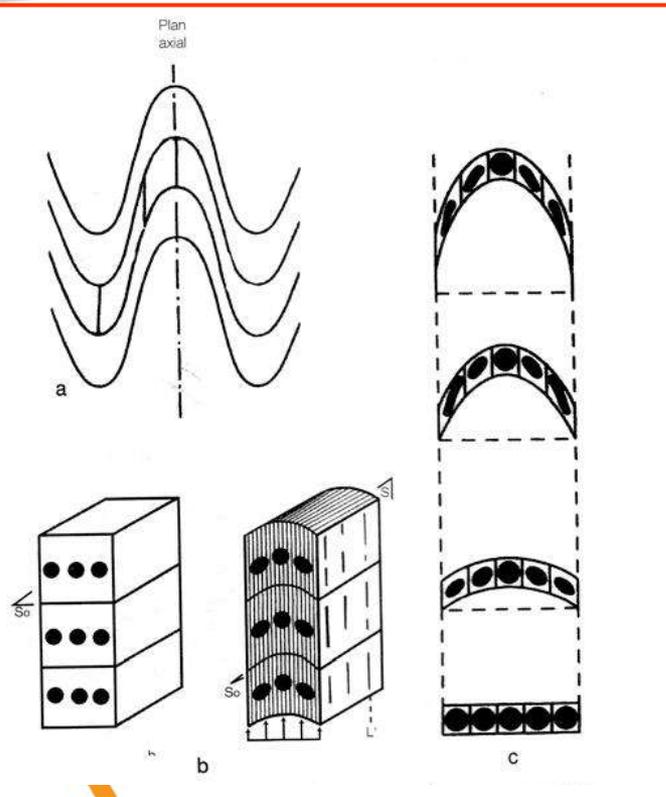
31/12/2014

3-le plissement anisopaque par cisaillement simple:

Ces plis assez particuliers apparaissent par **glissement** le long de surfaces planes qui sont des plans de transport de la matière ou **plans de cisaillement** (plans C).

Les niveaux repères se déforment par simple translation, **il n'y a pas de raccourcissement** comme dans le cas **des plis isopaques** formés par **flexion** ou des **plis** formés par **aplatissement**.

3-le plissement anisopaque par cisaillement simple :



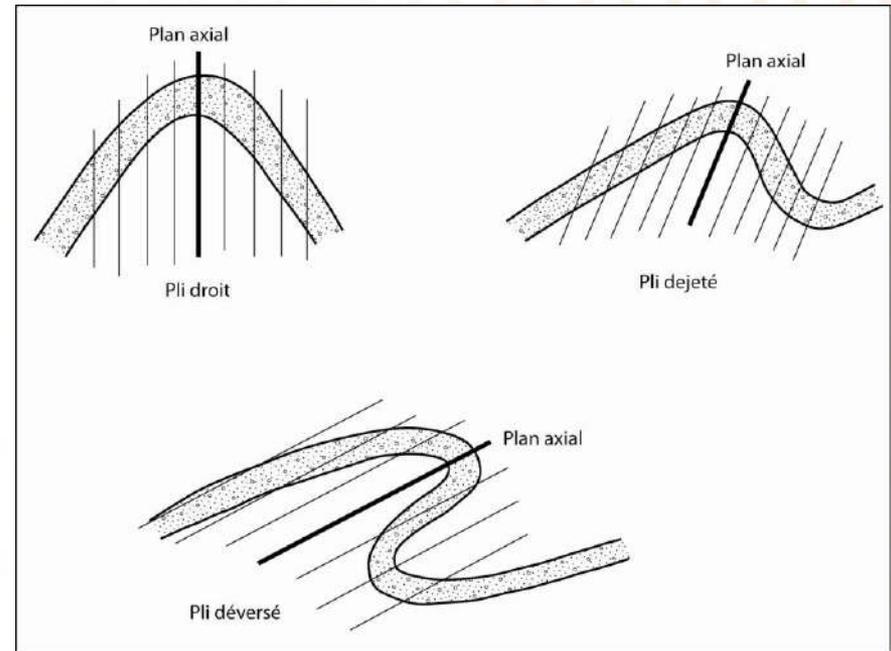
Un cisaillement homogène ne donne pas de plis. Par contre un glissement différentiel le long des plans de transport va engendrer **des plis anisopaques** dont la géométrie est un peu particulière: l'épaisseur mesurée parallèlement au plan axial est **constante**. Ce sont **les plis semblables**.

Comme les plis par **aplatissement**, ces plis sont toujours **synschisteux** (schistosité continue, de flux ou foliation). Ils présentent aussi **une linéation d'étirement** parallèle à la direction de transport ou de cisaillement, mais différente (un peu) de l'axe X d'allongement de l'ellipsoïde.

Relations géométriques plissement – microstructures

Plis et schistosité :

Fig. : Association de plis et schistosités dans le cas d'un cisaillement hétérogène.

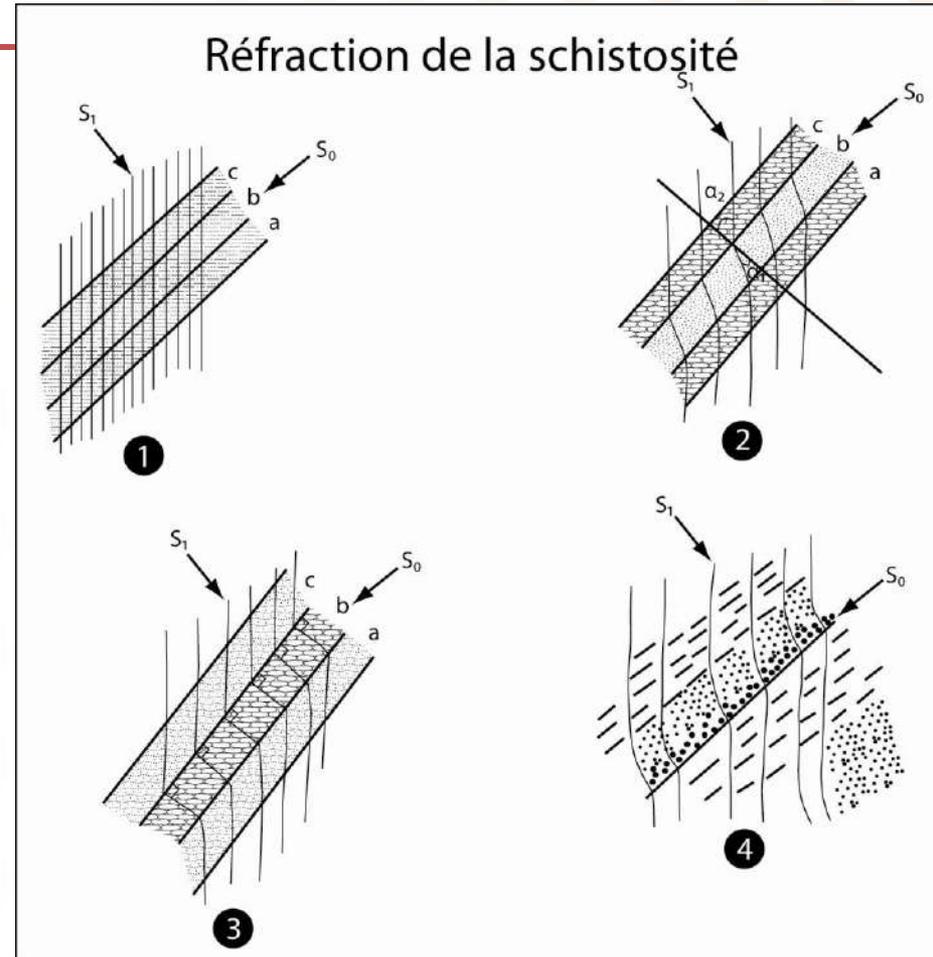


La **schistosité** et le **plissement** sont 2 types de structures liées à un **raccourcissement**. Donc la schistosité et le plissement apparaissent **en même temps**. Ce sont des structures **synchrones** : **Plis synschisteux**. La schistosité correspond donc au plan axial du pli; et tous les plans de schistosité sont parallèles au plan axial du pli. Donc dans le cas d'un pli synschisteux, la schistosité est toujours parallèle au plan axial.

Relations géométriques plissement - microstructures

Réfraction de la schistosité :

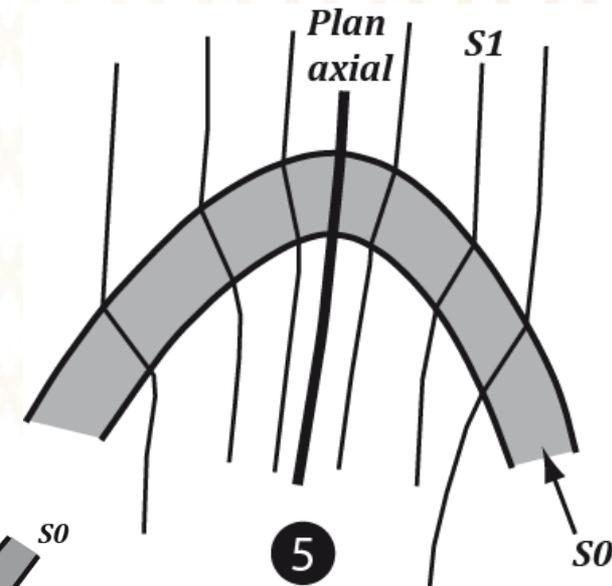
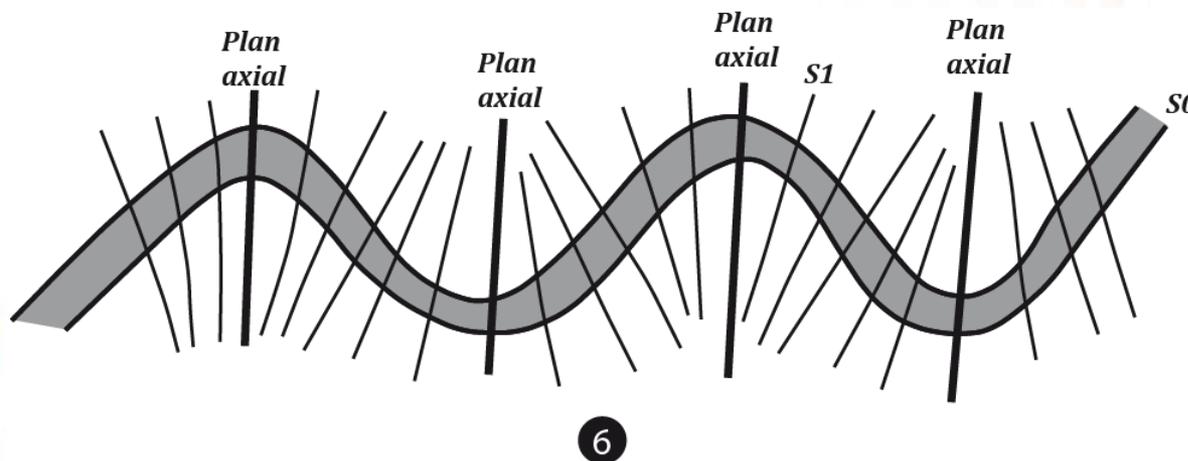
- 1- Contraste rhéologique est nul entre b et a, c. Donc, il n'y a pas de réfraction de la schistosité.
- 2- Contraste rhéologique entre b et a, c est différent de zéro ($\neq 0$). Donc, il y a réfraction de la schistosité dans les roches compétentes (b).
- 3- Contraste rhéologique est important. Donc, il y a réfraction de la schistosité S_1 (S_1 est perpendiculaire à S_0).
- 4- Si le contraste rhéologique change progressivement, la schistosité est courbe.



Relations géométriques plissement – microstructures

5- L'angle de réfraction est fonction de la position de la schistosité S_1 par rapport au plan axial du pli : indication sur la position par rapport à la charnière.

Schistosité en éventail :



La schistosité S_1 converge vers l'axe du synclinal et diverge vers l'axe de l'anticlinal.

PLI ANISOPAQUE PAR GLISSEMENT APLATISSEMENT

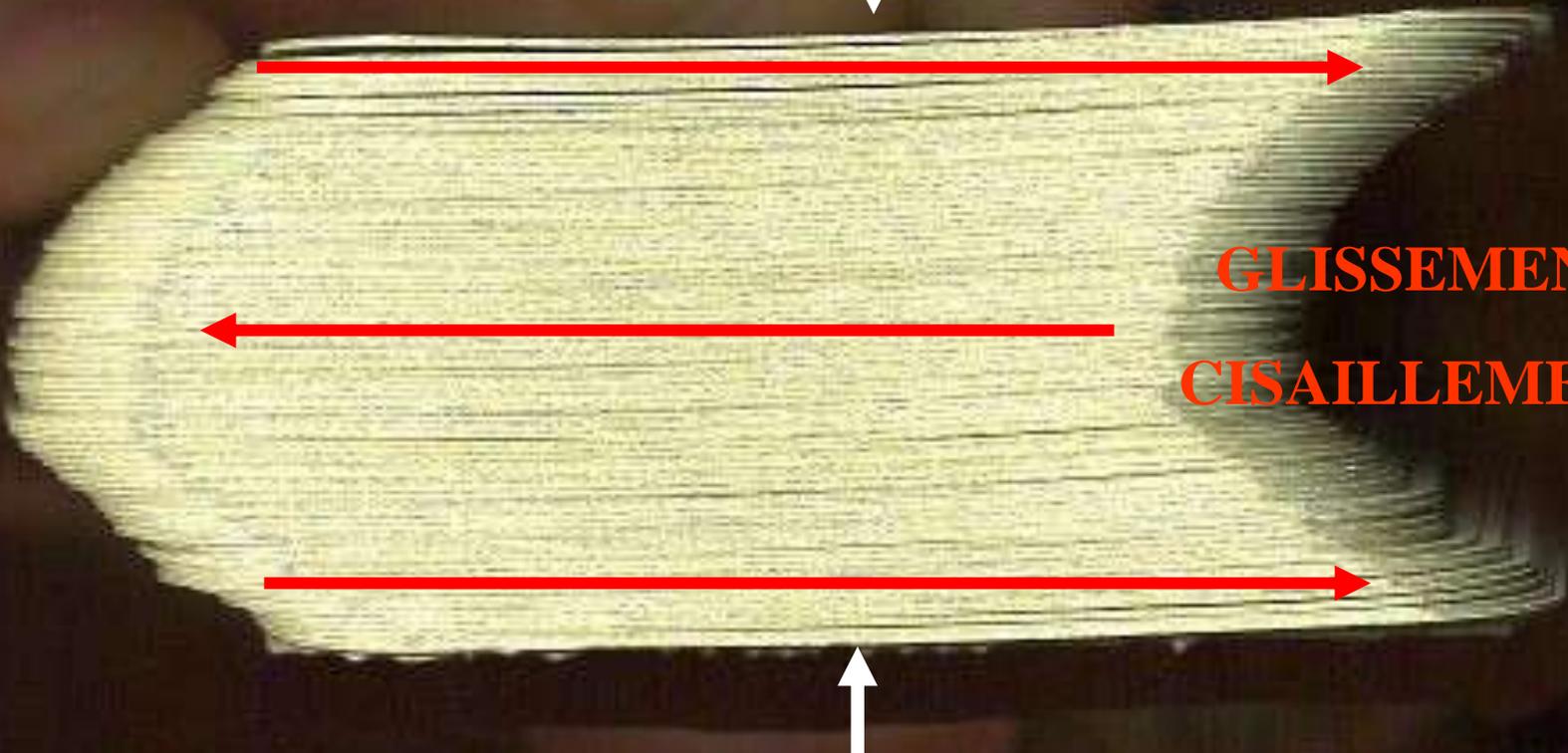
Epaisseur
(puissance) variable

Bourrage des
charnières

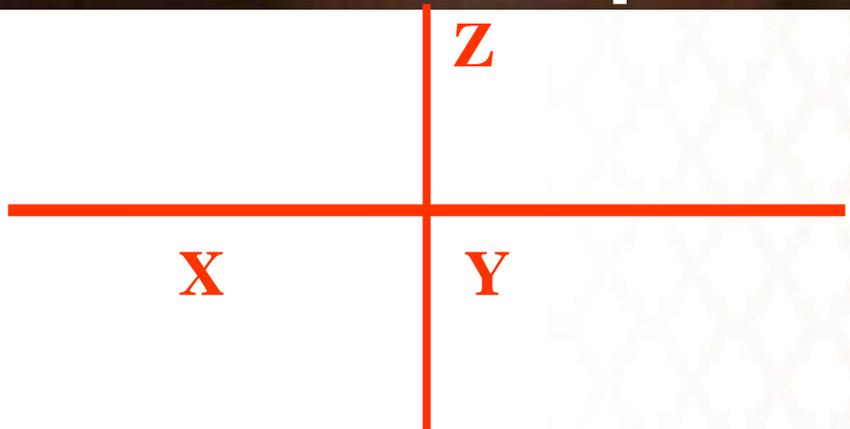
Fluage dans les
flancs

Photographie Ala

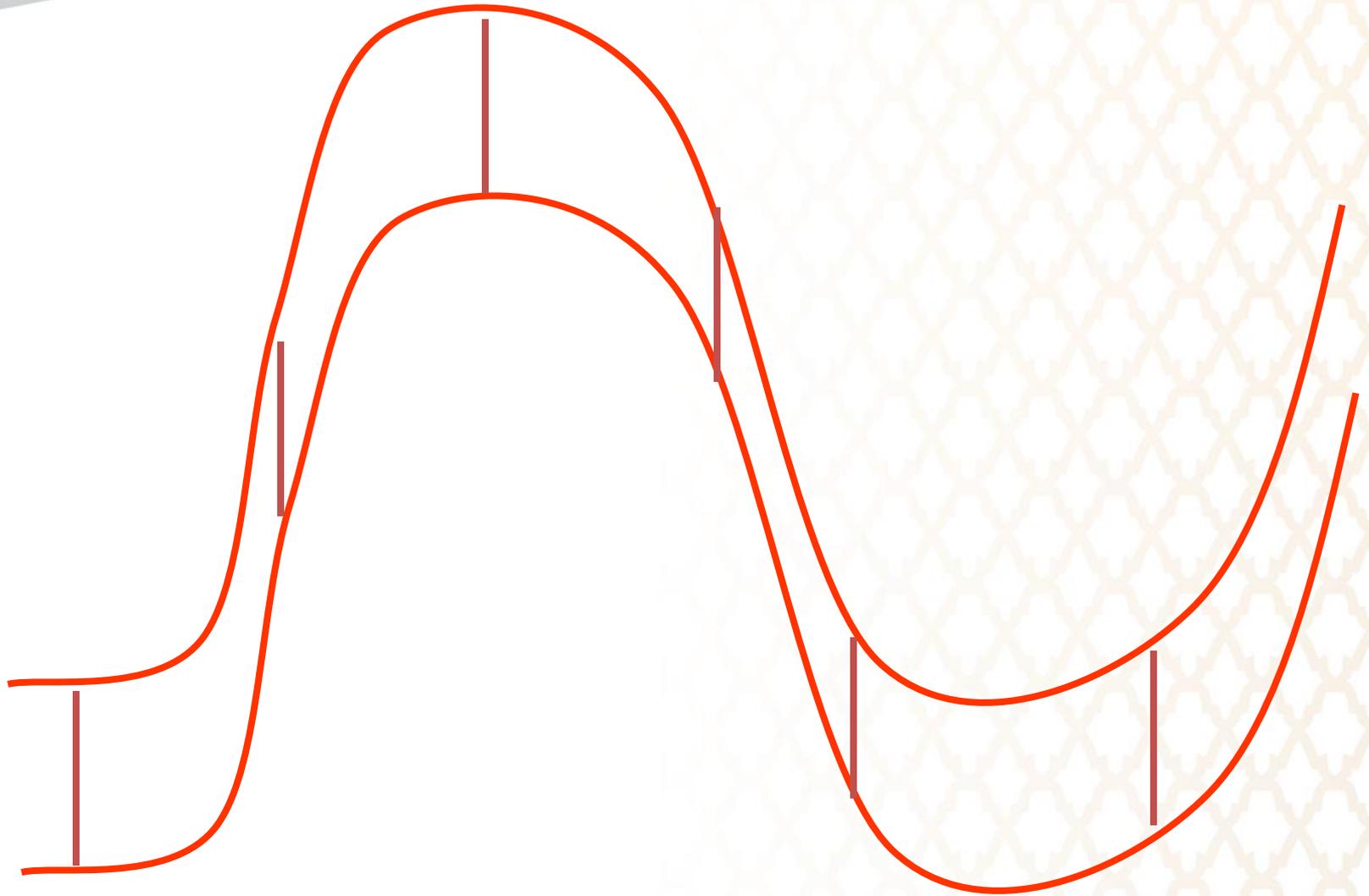
APLATISSEMENT ↓



GLISSEMENT
CISAILLEMENT



PLI ANISOPAQUE SEMBLABLE





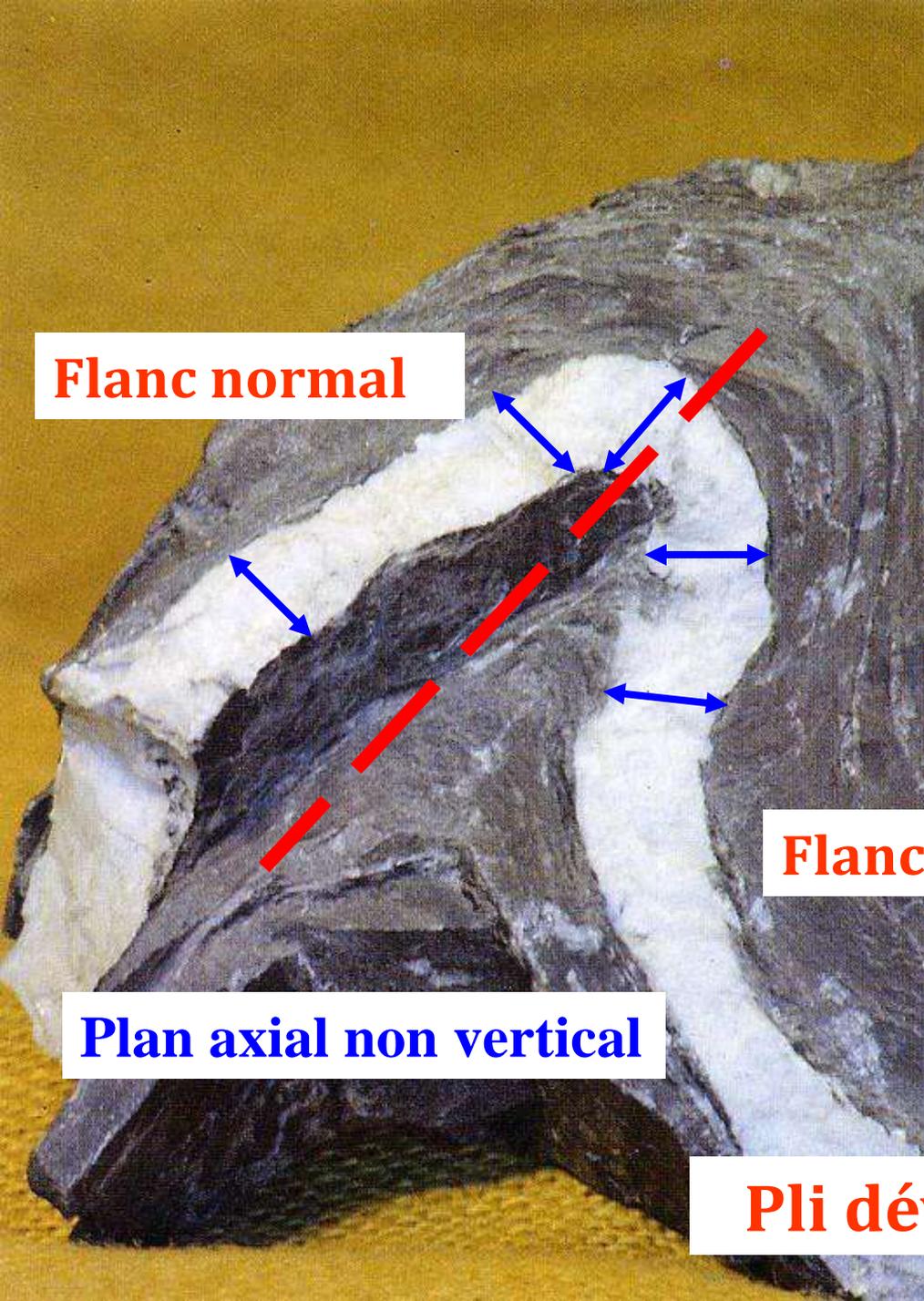
Pli isopaque dans des marnes

Flanc normal

Flanc inverse

Plan axial non vertical

Pli déversé



Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

