

COURS DE TECTONIQUE: MODULE: G-244

CHAPITRE: III

TECTONIQUE CASSANTE (DEFORMATION DISCONTINUE)

Introduction

Qu'est-ce que la déformation cassante?

La **déformation cassante** est une déformation qui se manifeste essentiellement par **des ruptures**, dans un milieu rocheux soumis à **des contraintes** en **extension** ou en **compression**, **avec** ou **sans mouvement**. La déformation rigide se traduit par **des failles** ou simplement par **des fissures** et **des fractures** sans rejet.

Echelle d'observation:

Cette déformation affecte surtout **la partie supérieure de l'écorce terrestre** sur une épaisseur allant de **5km** ou plus. Les structures qui caractérisent la tectonique cassante se produisent depuis **le millimètre** au **décimètre** (**microstructures**), jusqu'à **kilomètre** (**mégastructures**), elle se présente sous de différentes géométries et formes.

Les différentes structures cassantes

Elles regroupent toutes les fractures de taille quelconques **avec** ou **sans rejet**.

Les diaclases

- Des cassures **sans rejet**.
- Il n'y a **ni déplacement** (rejet), **ni remplissage**.
- Souvent, les diaclases se présentent **perpendiculairement aux joints de stratification** d'un ensemble sédimentaire.
- Une diaclase peut apparaître à la suite de **pressions lithostatiques** ou de **contraintes** auxquelles la roche est soumise, mais généralement il faut une contrainte tectonique pour quelle se forme.

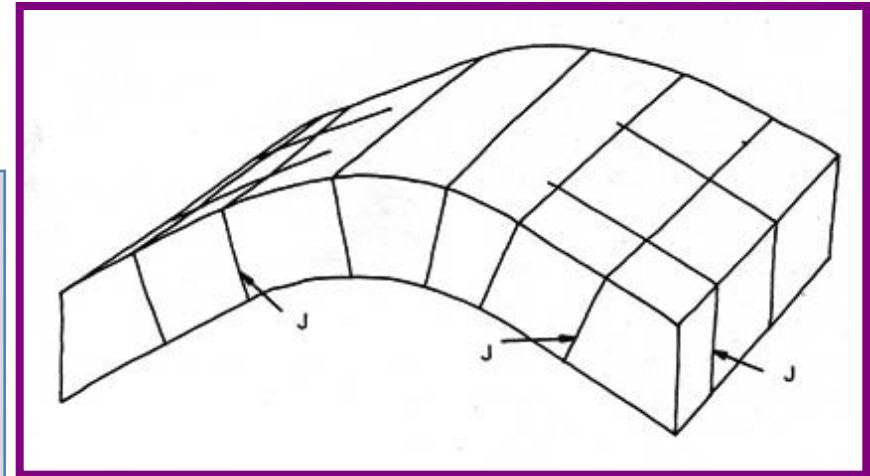


Fig. : Plis dans une strate montrant des diaclases (j).

Les diaclases sont généralement réparties en **plusieurs familles** (groupe de diaclases de même orientation). Un cas courant est celui **des roches sédimentaires** disposées en bancs parallèles, qui possèdent **deux familles de diaclases perpendiculaires l'une à l'autre** et **perpendiculaires à la surface des couches**.

Les différentes structures cassantes

Elles regroupent toutes les fractures de taille quelconques **avec** ou **sans rejet**.

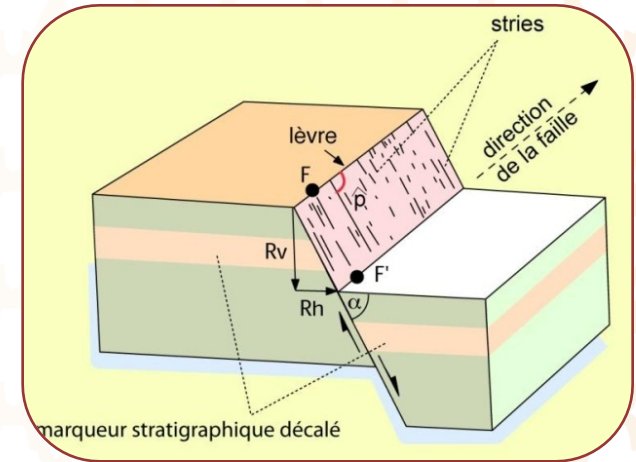
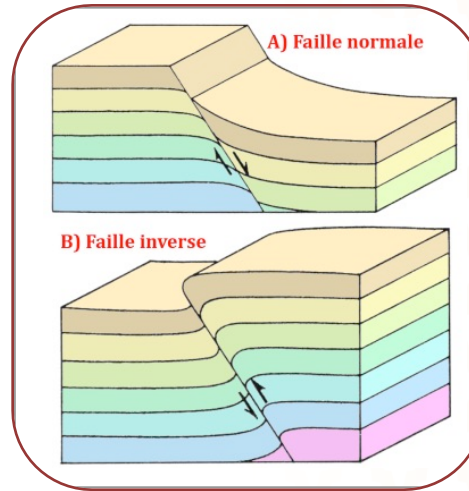
Les failles

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**. Ce déplacement et la déformation cisailante sont dus aux forces exercées par les **contraintes tectoniques**, qui résultent de la **tectonique des plaques** ou à **la force gravitaire** (**instabilité gravitaire**). 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**.

Les différentes structures cassantes

Les failles

Éléments d'une faille



Compartiments : Blocs rocheux séparés par une faille, l'un est « **soulevé** », l'autre « **affaissé** ».

Lèbres : Surfaces de contact engendrées par la cassure sur chacun des blocs séparés.

Rejet de faille : Ampleur du déplacement relatif d'un compartiment par rapport à l'autre le long du plan de faille.

Regard : Côté vers lequel plonge la lèvre du compartiment soulevé.

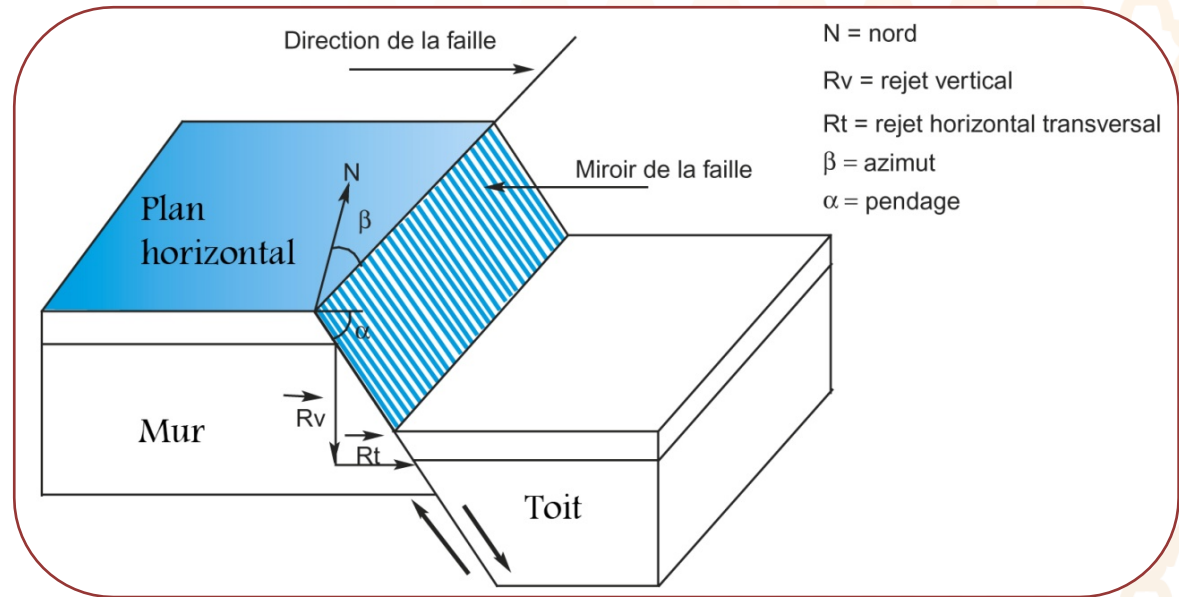
Plan de faille : Surface de glissement, verticale ou oblique, d'un compartiment par rapport à l'autre.

Miroir de faille : Section du plan de faille ayant subi par frottement un polissage mécanique ou affecté de stries, de rayures, de cannelures orientées dans le sens du déplacement. Morphologiquement, il s'agit de la partie visible en surface du plan de faille.

Crochon de faille : Courbure brusque des couches au contact d'une faille, la torsion de ces couches s'effectuant en sens inverse du déplacement des deux compartiments.

Les failles

Géométrie des failles



Déplacement relatif des deux compartiments le long **d'un plan de faille** qualifié également de **miroir de faille**.

En mesurant **l'azimut** (angle, noté β , de sa direction avec le nord),

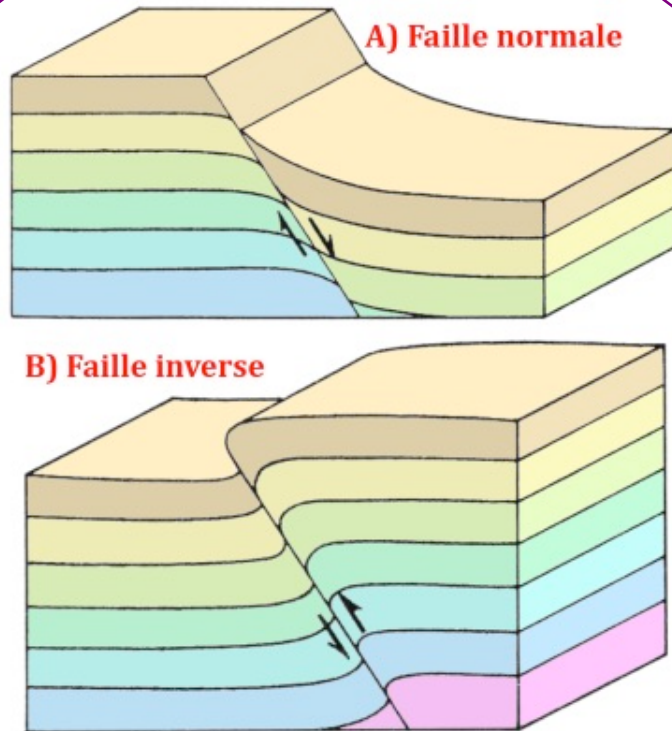
Le pendage du miroir de faille (angle, noté α , du plan de faille avec l'horizontale) et son **rejet** qui mesure le mouvement relatif. Celui-ci est décomposable en deux composantes :

- **Le rejet vertical**;
- **Le rejet horizontal transversal** qui mesure l'écartement ou le rapprochement des compartiments dû au glissement sur le plan de faille.

Les failles

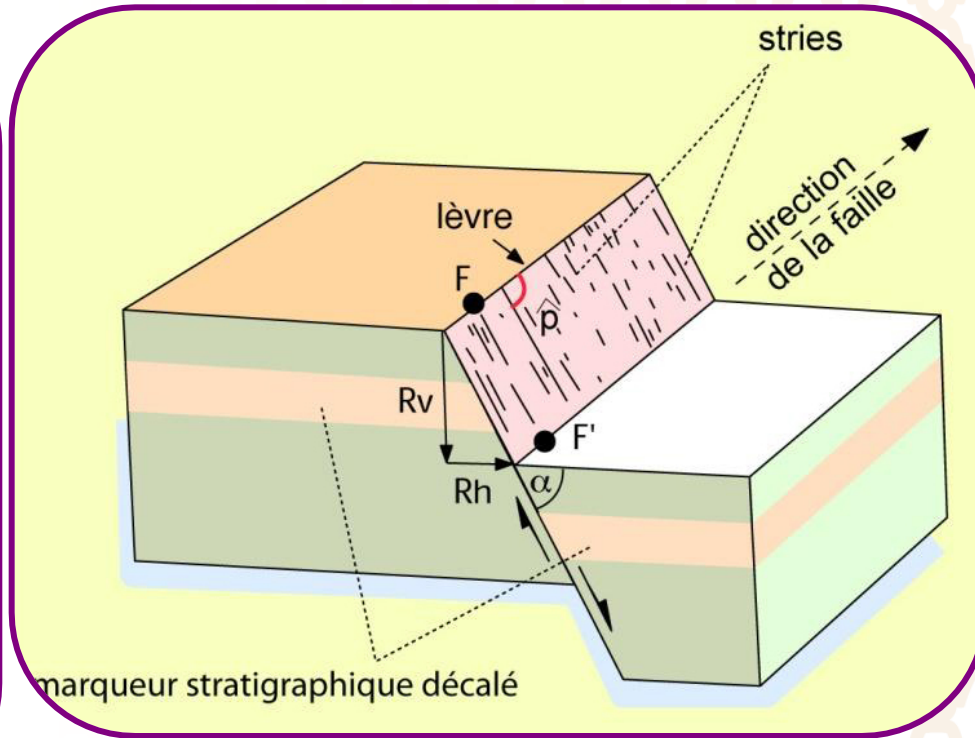
Indicateurs du déplacement relatif de 2 compartiments

Crochons de faille



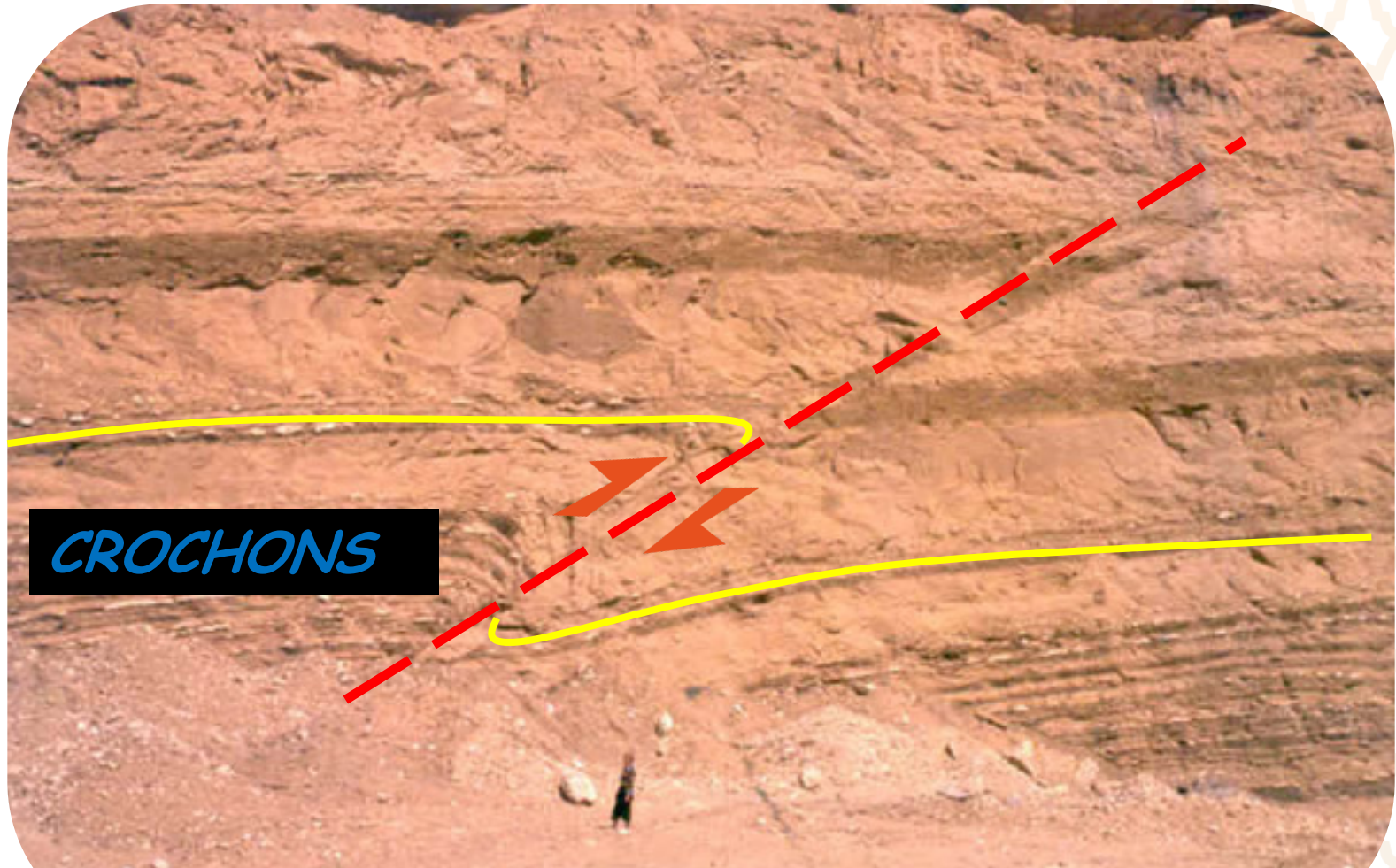
La torsion des couches s'effectue en sens inverse du déplacement.

Niveaux repères



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

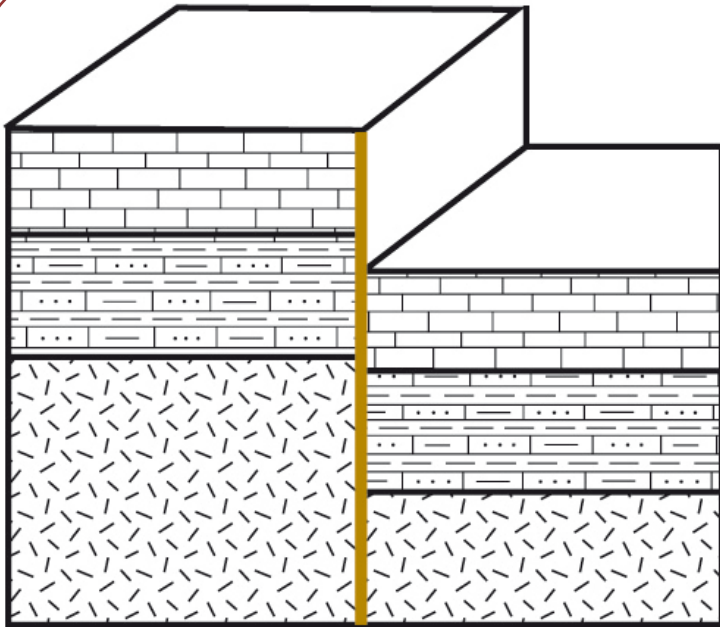
CROCONS DE FAILLE



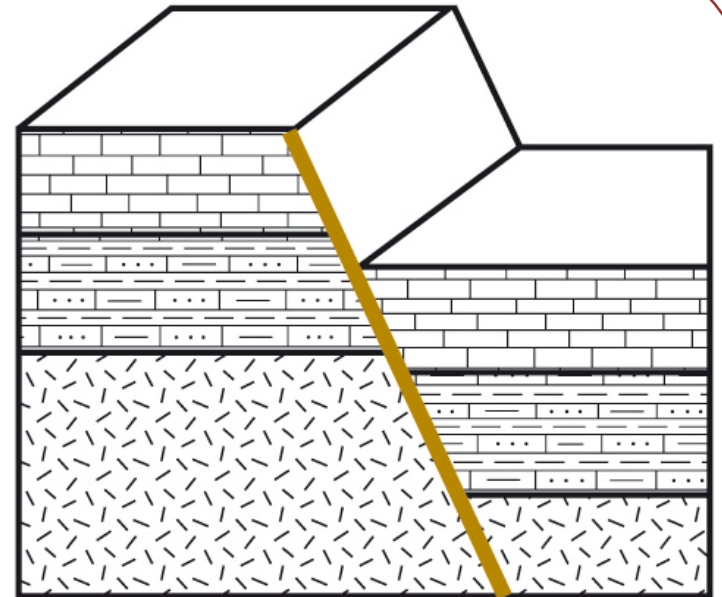
Déformations locales d'une couche repère au contact de la faille, ils marquent le sens du mouvement, ici d'une faille inverse...

Classification des failles

1. Selon leur pendage : verticale ou oblique



A Faille verticale



B Faille oblique

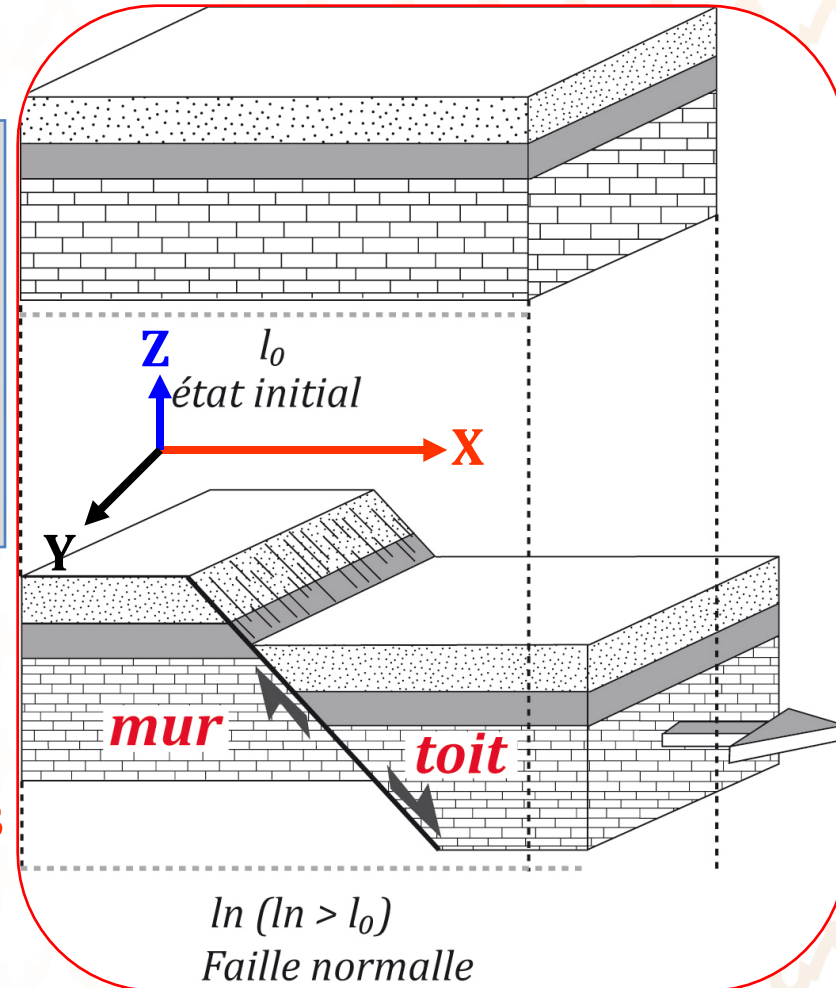
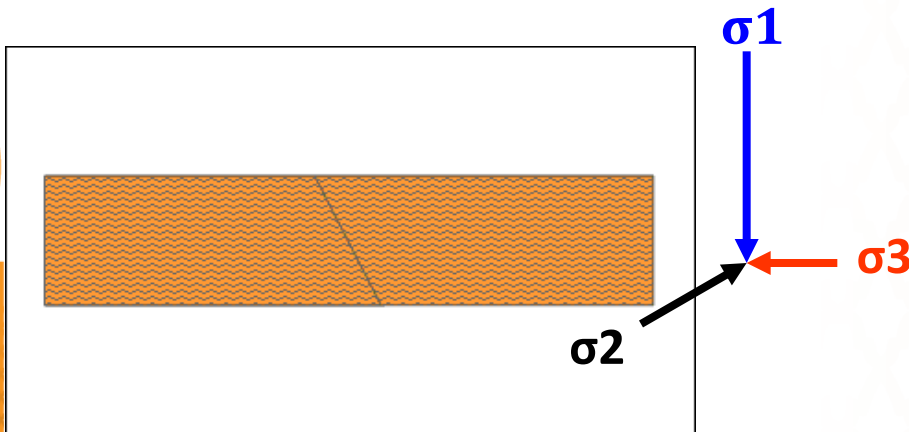
Fig. : Faille verticale (A) et faille oblique (B).

Classification des failles

2. Selon leur rejet : Faille normale, inverse et décrochement

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**").

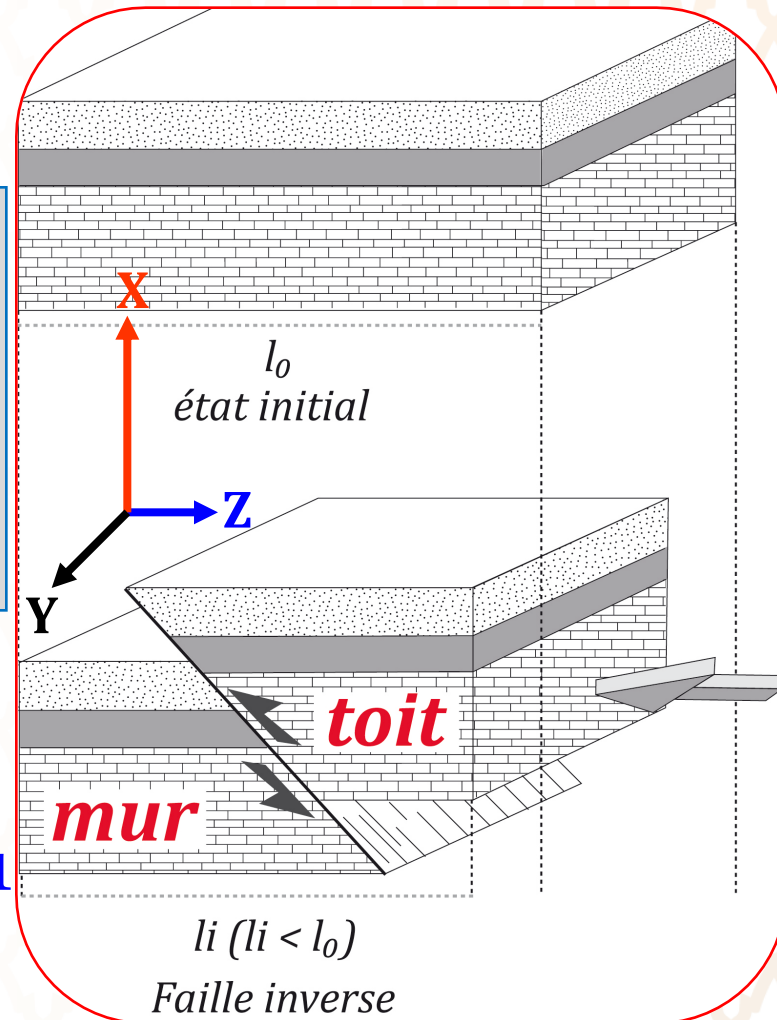
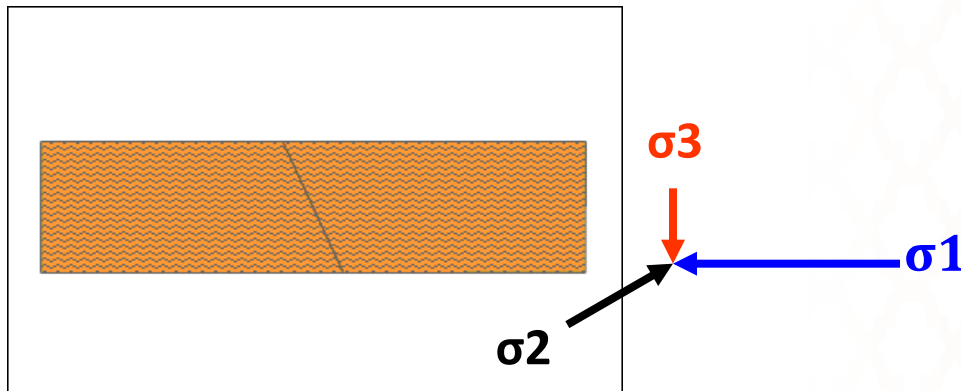


Classification des failles

2. Selon leur rejet : Faille normale, inverse et décrochement

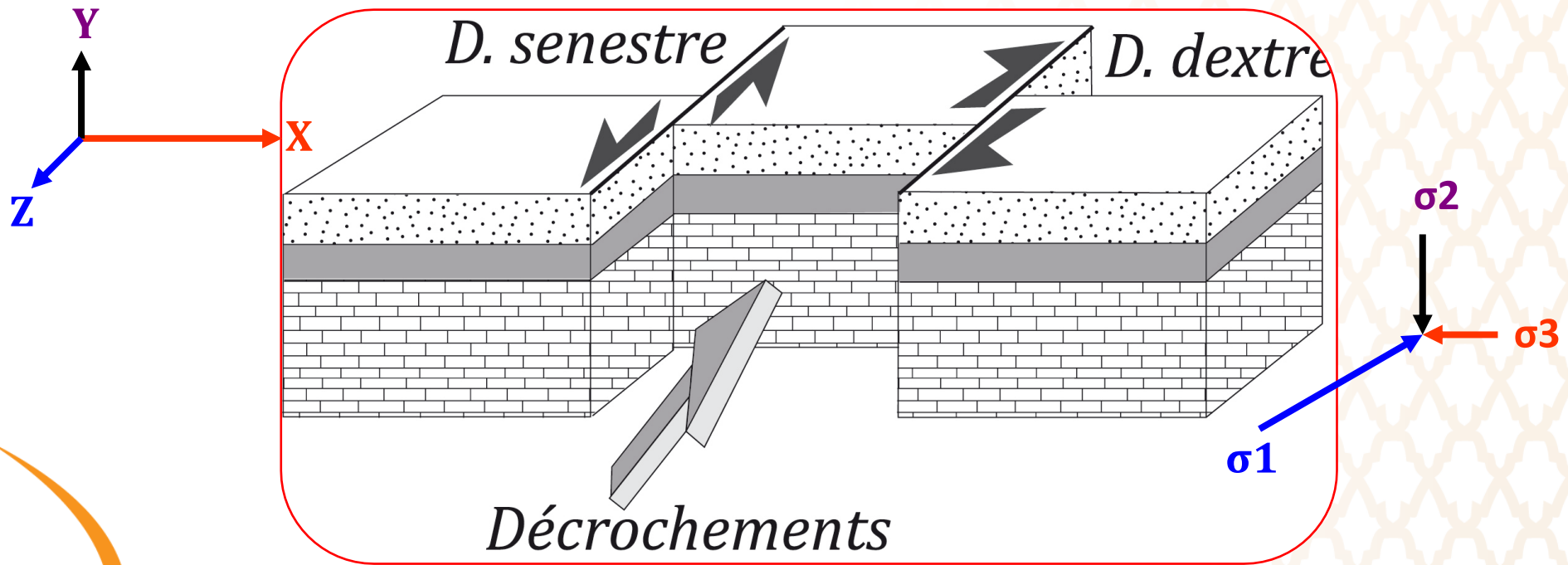
Faille inverse

Une faille 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 faille ("toit") monte par rapport au compartiment situé en dessous de la faille ("mur").



Classification des failles

2. Selon leur rejet : Faille normale, inverse et 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).

Classification des failles

Nature des failles

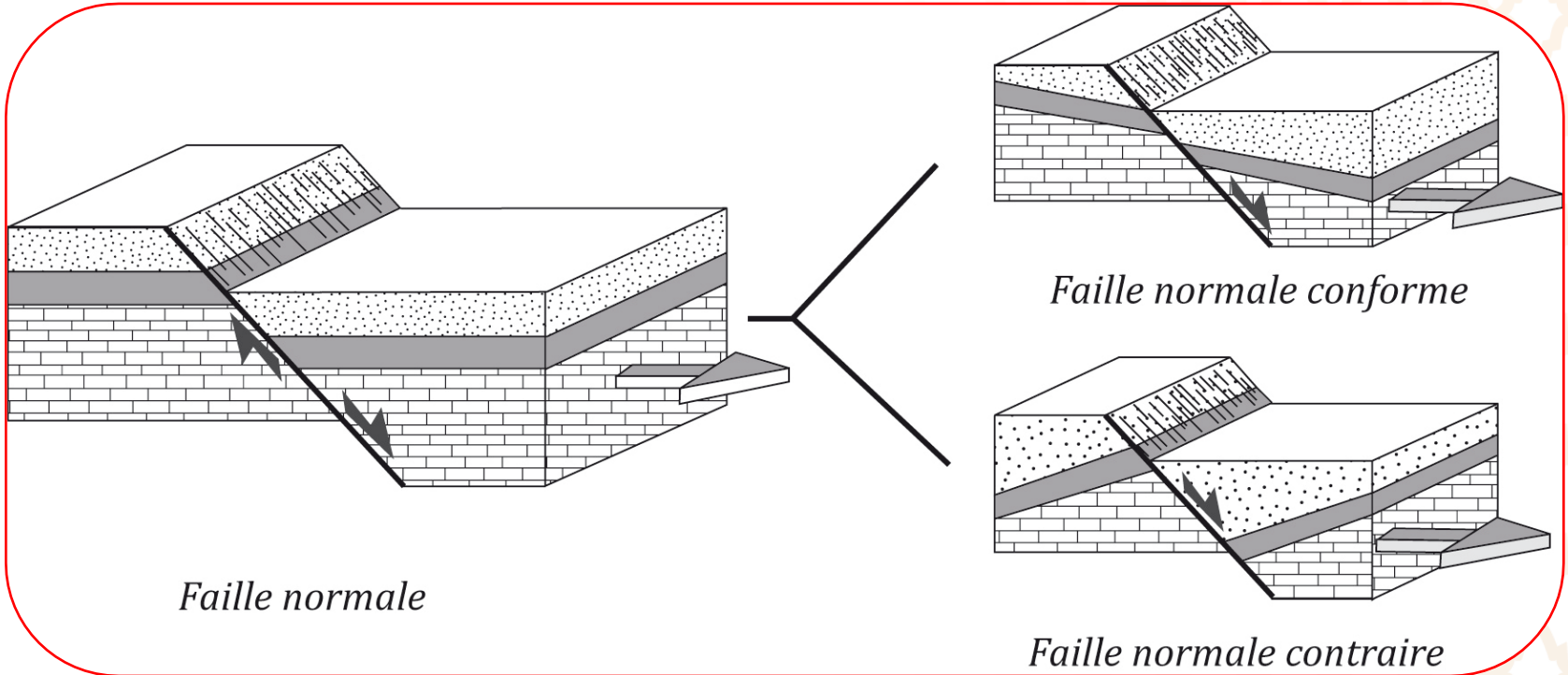
Sur **le terrain** on détermine la nature de ces accidents tectoniques par **les stries** observées sur le **miroir de faille** et l'analyse que font ces stries avec l'horizontal et avec le **plan de faille**.

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 **inferieur à 45°** on est en présence **d'un décrochement dextre** ou **senestre**,
- Pour des valeurs comprissent entre **60°** et **80°**, on est en présence de **combinaison de différents types d'accidents** (**faille inverse senestre, faille normale dextre,...**).

Classification des failles

3. Selon leurs rapports avec les couches



Faille conforme

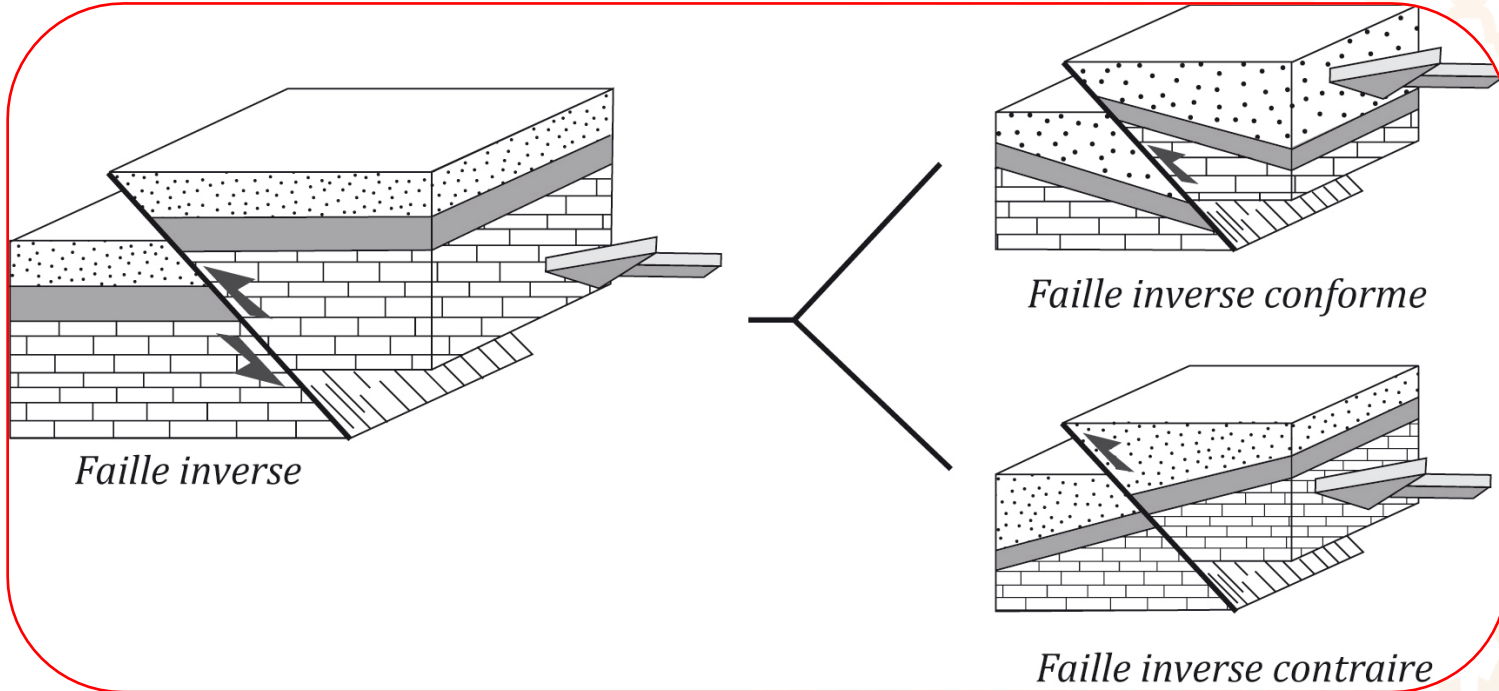
En milieu stratifié, lorsque le pendage du plan de faille est dans le même sens que le pendage des couches (Fig.).

Faille contraire

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

Classification des failles

3. Selon leurs rapports avec les couches



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.)

Classification des failles

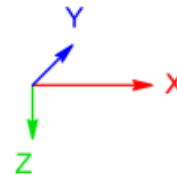
4. Classification génétique

σ_1 vertical : failles normales ou faille d'extension.

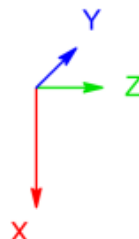
σ_3 vertical : failles inverses (faille de compression).

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

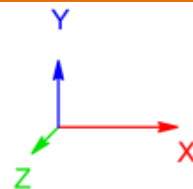
Ellipsoïde des déformations



Faille normale

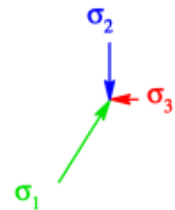
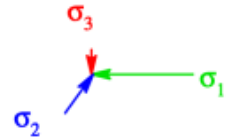
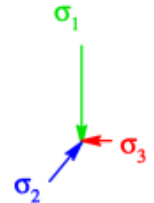


Faille inverse



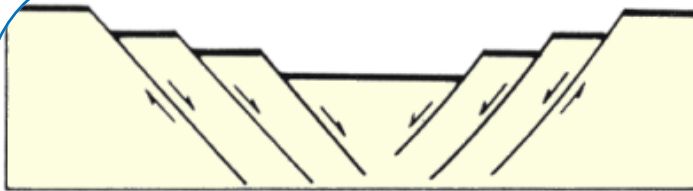
Décrochement

Ellipsoïde des contraintes

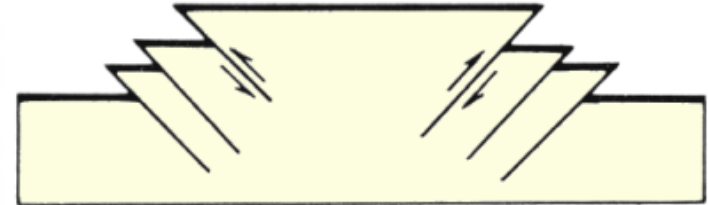
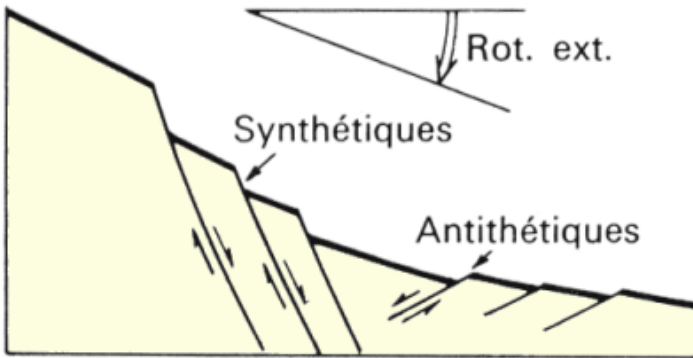


Classification des failles

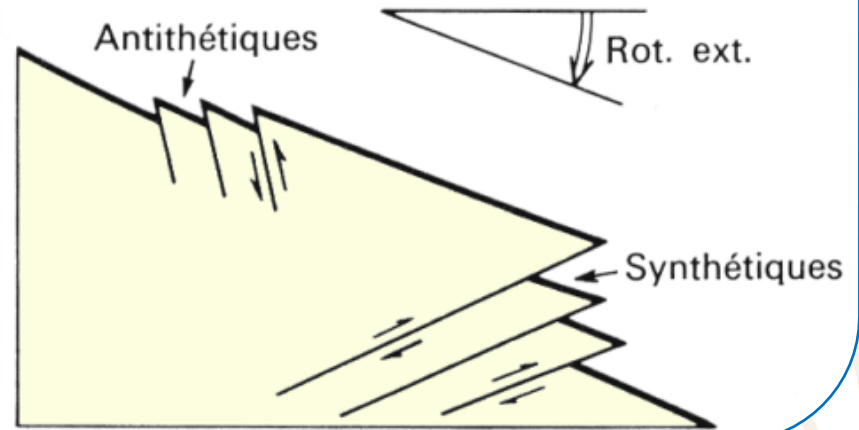
5. Selon les rapports de leurs jeu, avec d'autres déplacements



Graben



Structure en fleur positive

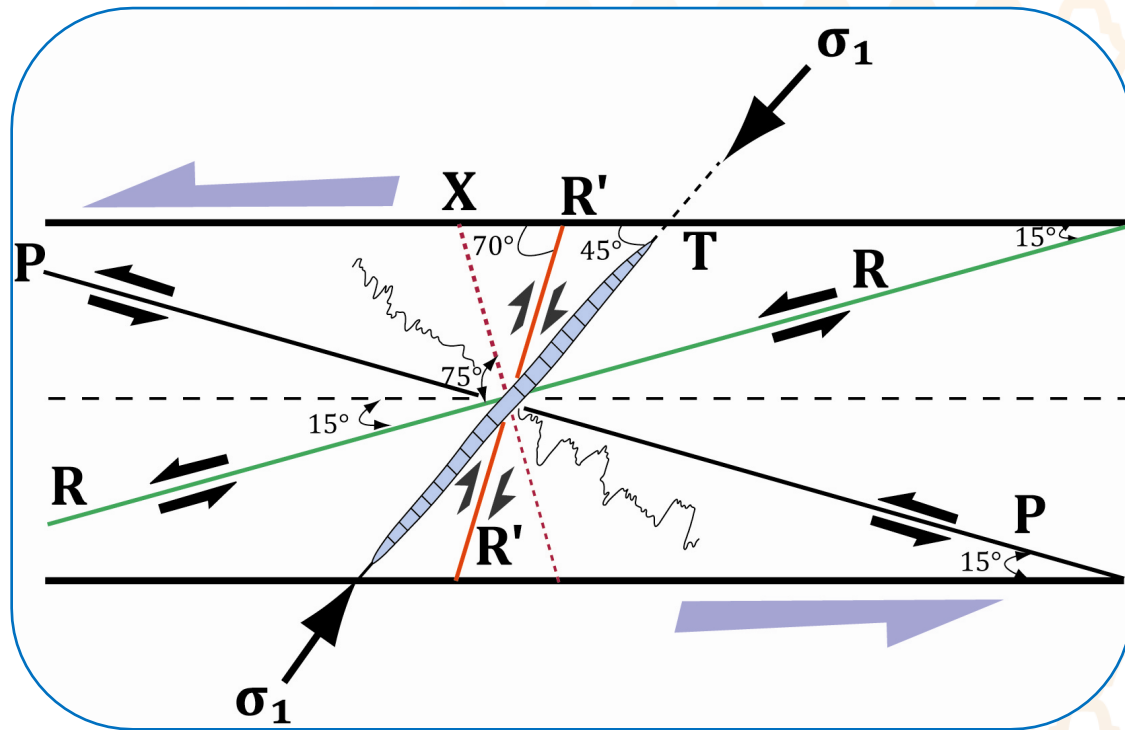


Faille synthétique, dont le jeu s'ajoute au mouvement général.

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

Classification des failles

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 (décrochement).

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

T : Fente de tension.

Classification des failles

6. Système de Riedel

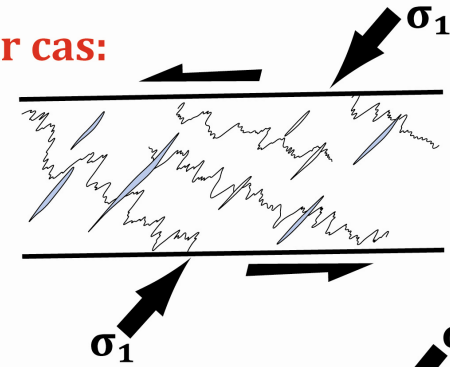
1er cas : On ne peut observer que des **joints stylolitiques** et **fentes de tension** en échelon dans un couloir de cisaillement.

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**.

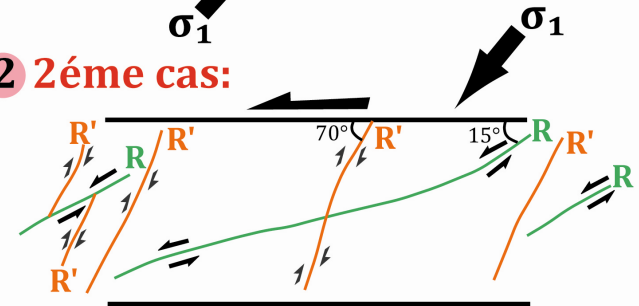
3ème cas : On ne peut observer que des fractures P (de **Skempton**) qui sont symétriques par rapport à R et R'.

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.

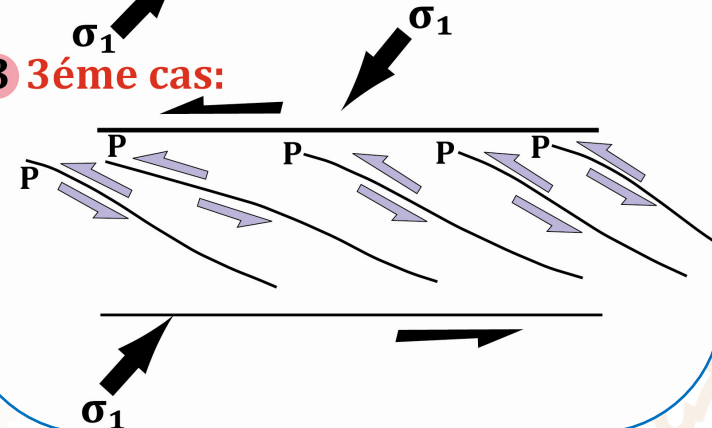
1 1er cas:



2 2ème cas:



3 3ème cas:



Chevauchement et charriage

Définitions

On dit qu'il y a **chevauchement** (ou **recouvrement**) lorsque deux **ensembles géologiques d'âge très différents** sont **anormalement mis en contact** par une **faille à faible pendage**.

En fonction de la **quantité du déplacement** le long de ces failles (**rejet**), on peut distinguer :

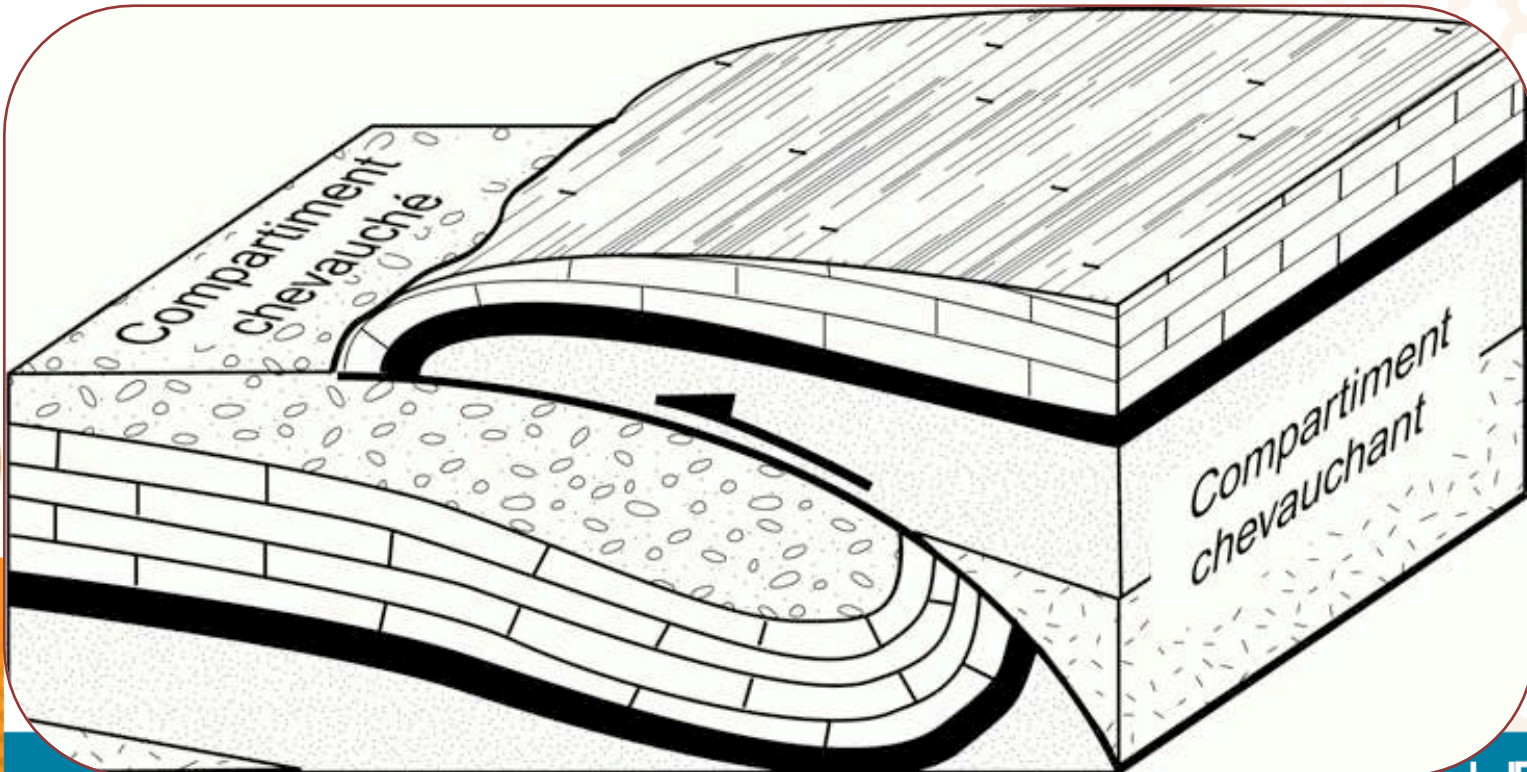
- Un **chevauchement** de **faible amplitude** : cas des **failles inverses** et des **plis-failles**.
- Un **chevauchement** de **grande amplitude** : **charriage**.

Dans les deux cas, on distingue **un autochtone**, ou **terrain en place**, qui supporte **l'allochtone**, ou **terrain charrié**; ils sont séparés par une surface de contact ou **un plan anormal**.

Chevauchement et charriage

Définitions

Dans un chevauchement *l'ensemble chevauchant* est situé *au-dessus* du **contact** alors que *l'ensemble chevauché* est situé *au-dessous* du **contact**.



Chevauchement et charriage

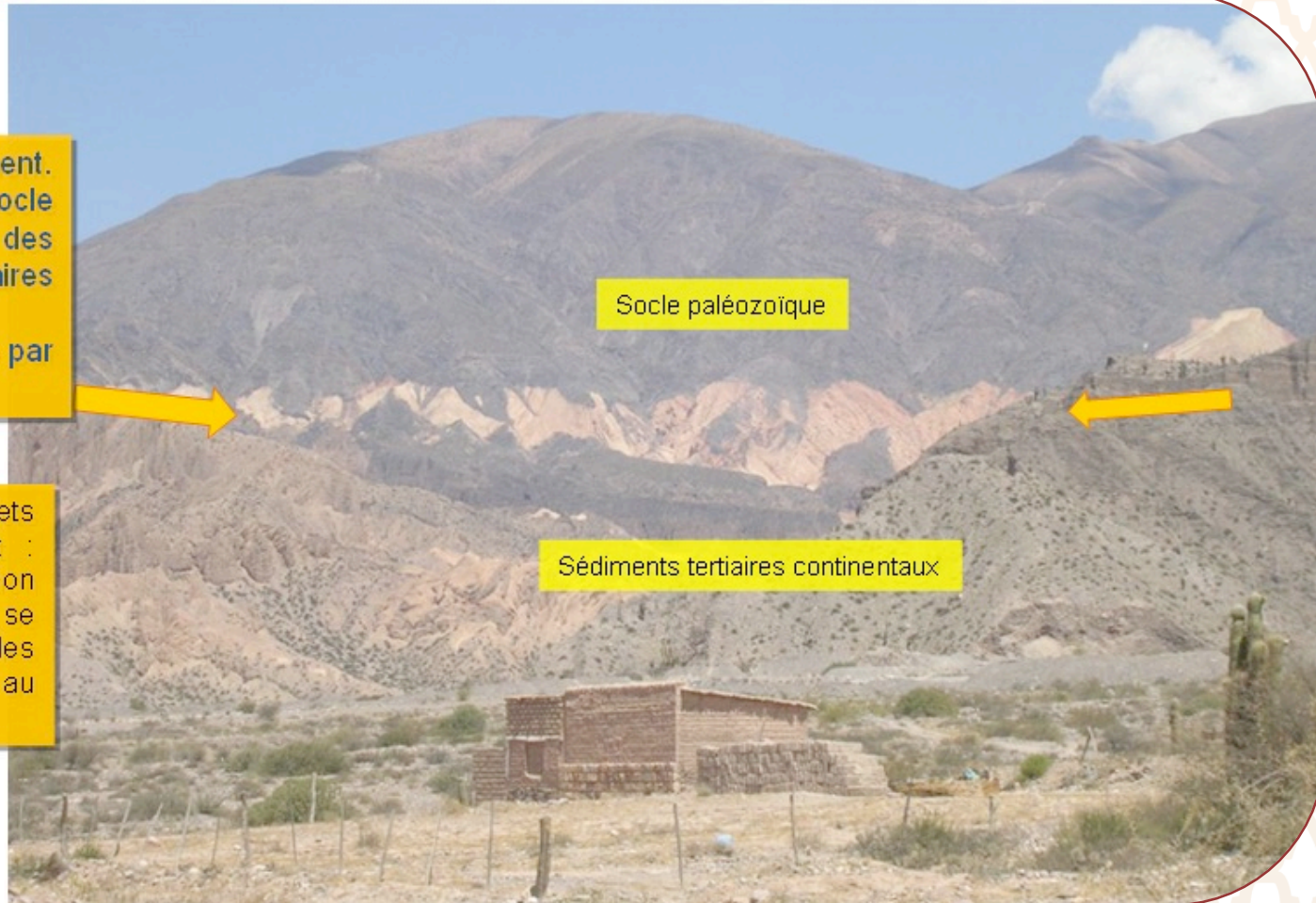
Les chevauchements sont des **accidents tectoniques** à la faveur desquels se réalise la **superposition anormale d'unités géologiques**. Le pendage de ces accidents est en général moyen (45°) à faible. La continuité de *l'unité supérieure*, dite *chevauchante* est préservée; la zone d'enracinement est toujours visible, le recouvrement ne dépassant pas **quelques kilomètres**.

Lorsque **le contact anormal** qui sépare les deux unités est **subhorizontal** et que le recouvrement atteint des valeurs **décakilométriques**, on utilise le terme de charriage. L'unité supérieure chevauchante est alors dénommée nappe de charriage.

Chevauchement et charriage

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.

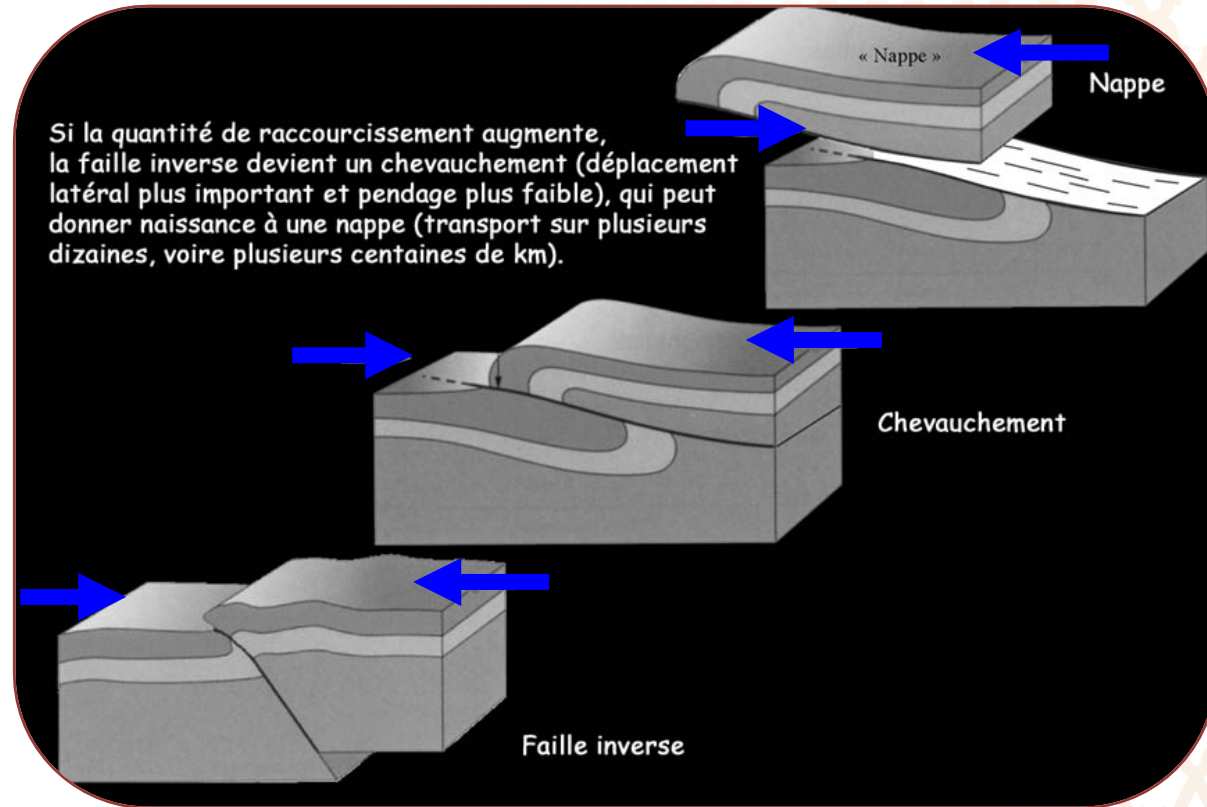
Cette photographie illustre les effets
classiques d'un chevauchement :
une inversion dans la superposition
initiale des terrains. Ici, le socle se
retrouve sur sa couverture et les
terrains les plus anciens figurent au
dessus des plus récents.



Chevauchement et charriage

Mécanismes de formation

Les déformations de type **faille** et **plis** peuvent s'associer dans les chaînes de montagne: des roches précédemment plissées en profondeur sont remontées par des phénomènes tectoniques complexes (rééquilibrages isostasiques liés à l'érosion). Ces roches plissées peuvent alors être faillées : on parle de **pli-faille** (Fig.).



L'étape suivante est la création d'un **chevauchement** (Fig.): la compression continuant, le déplacement d'un bloc sur l'autre se fait plus important. La partie inférieure déforme la partie supérieure dans son mouvement (nouveau plissement), la partie supérieure recouvre des terrains plus jeunes.

Chevauchement et charriage

Mécanismes de formation

La mise en place **des nappes de charriages** est généralement liée à un phénomène **gravitaire**. Au moment de leur formation, les chaînes sont des zones de **reliefs importants et des glissements par gravité** peuvent s'y produire. Il suffit pour cela qu'on ait à la fois une **pente assez forte** et un matériel assez **plastique**. Ces conditions sont souvent réalisées et les nappes vont se déplacer vers la périphérie de la chaîne.

Chevauchement et charriage

Les 3 familles de nappes

On distingue **trois grands types de nappes** dans les chaînes de montagne.

- 1. Les nappes de couverture.** Elles sont formées uniquement de **matériel sédimentaire** désolidarisé de son substratum originel. Les roches peuvent avoir subi **un métamorphisme** plus ou moins important et peuvent présenter **une schistosité**.
- 2. Les nappes de socle.** Elles sont formées de matériel **continental métamorphique** et **igné** (**micaschistes**, **gneiss**, **granites**,...) et peuvent recouvrir d'autres unités de socle ou bien des unités sédimentaires.
- 3. Les nappes ophiolitiques.** Elles sont formées de **lithosphère océanique** (croûte et manteau) et de **sédiments océaniques** associés. Leur présence dans les chaînes matérialise **la suture d'un ancien domaine océanique**.

Chevauchement et charriage

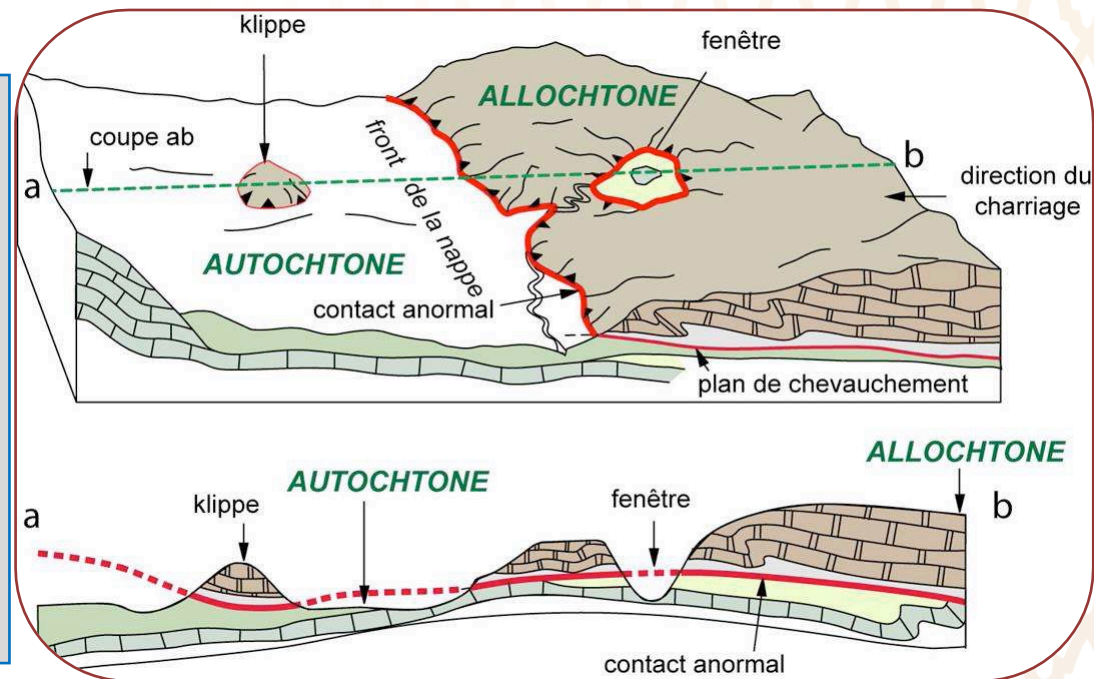
Les éléments caractéristiques des nappes

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**.

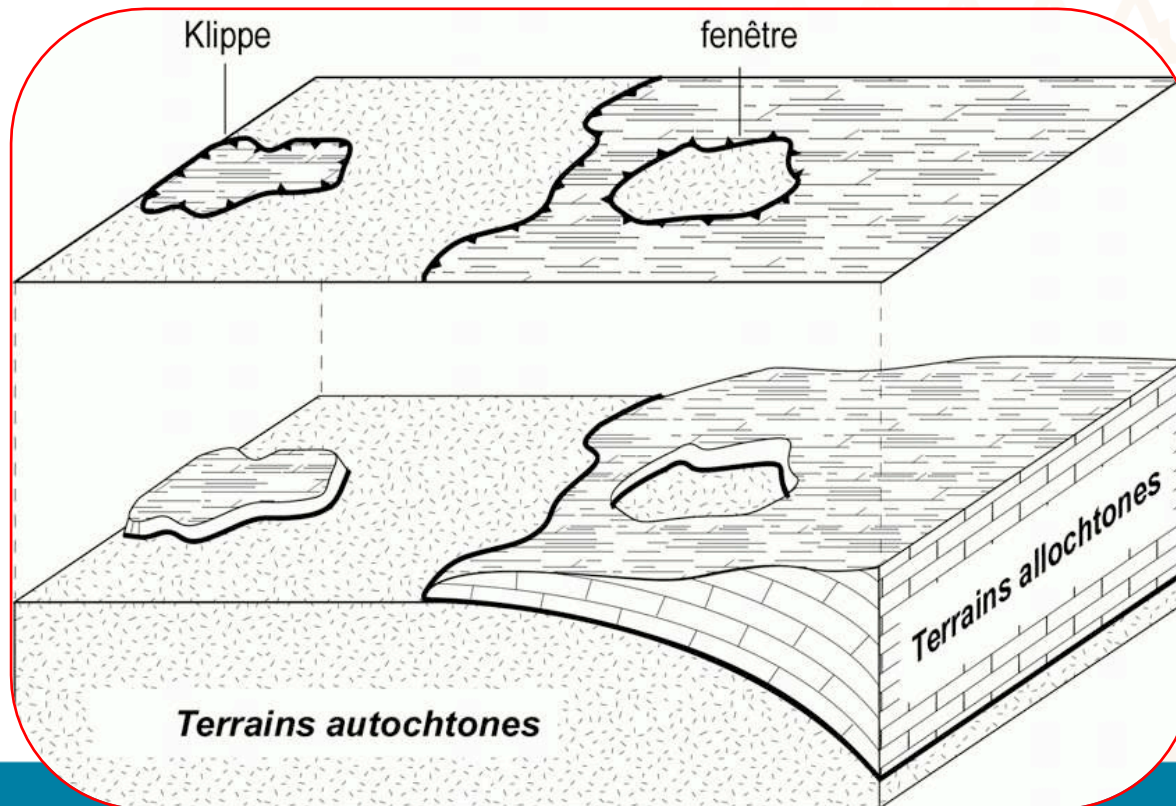


Chevauchement et charriage

Les éléments caractéristiques des nappes

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 différentes microstructures cassantes

1. Tectoglyphes

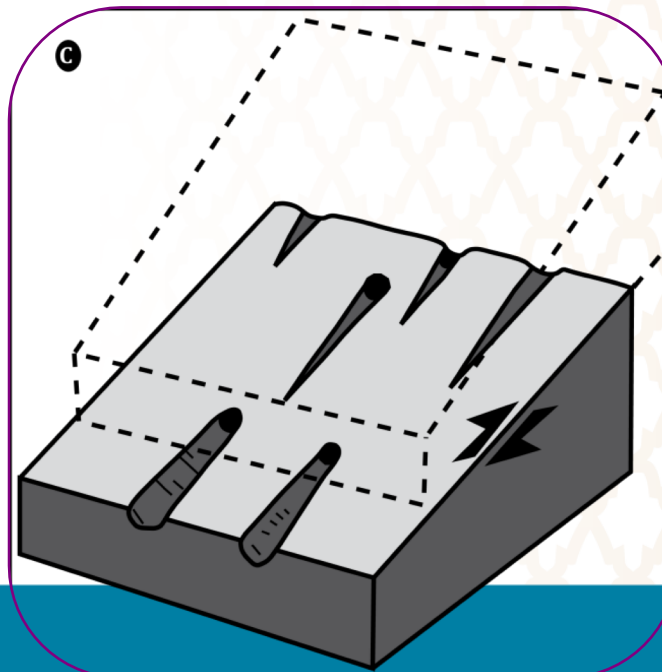
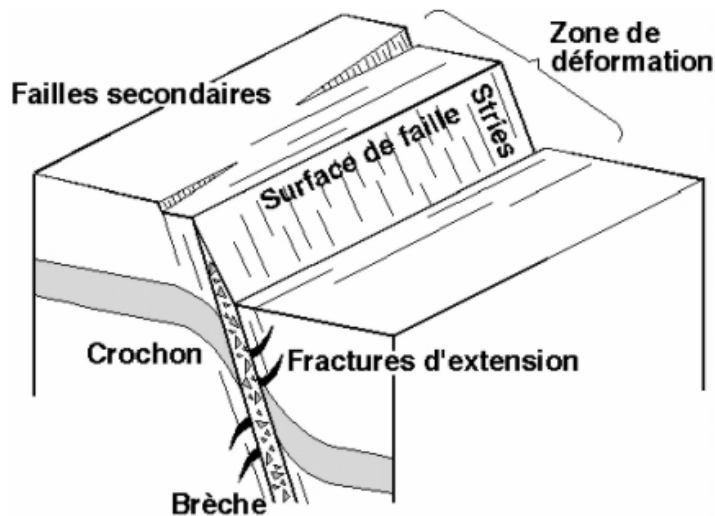
Les miroirs de faille sont souvent porteurs **d'inscriptions** : les tectoglyphes sont **les empreintes de friction** laissées par **le déplacement des compartiments** l'un par rapport à l'autre (**mouvement de la faille**). Ils permettent souvent de déterminer la **direction** et/ou le **sens du déplacement**.

On distingue plusieurs types de tectoglyphes :

Les différentes microstructures cassantes

1. Tectoglyphes

Des stries de friction : gravées dans la roche même ou dessinées par l'enduit de cristallisation (calcite ou quartz) développés, à l'abri, dans les vides créés par le jeu de la faille). La présence des stries est formée par le déplacement d'un objet dur (élément striateur) creusant des rayures (= traces d'empreintes) dans la roche. **Leur direction indique celle du mouvement**. On peut parfois les utiliser pour **déterminer le sens du déplacement**.

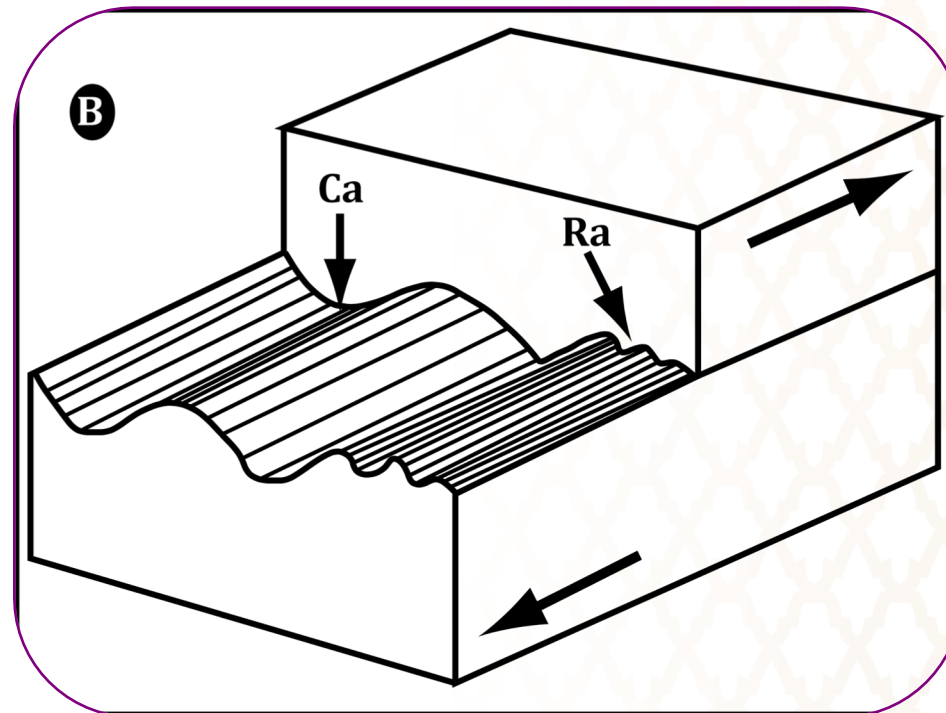


Strie en creux

Les différentes microstructures cassantes

1. Tectoglyphes

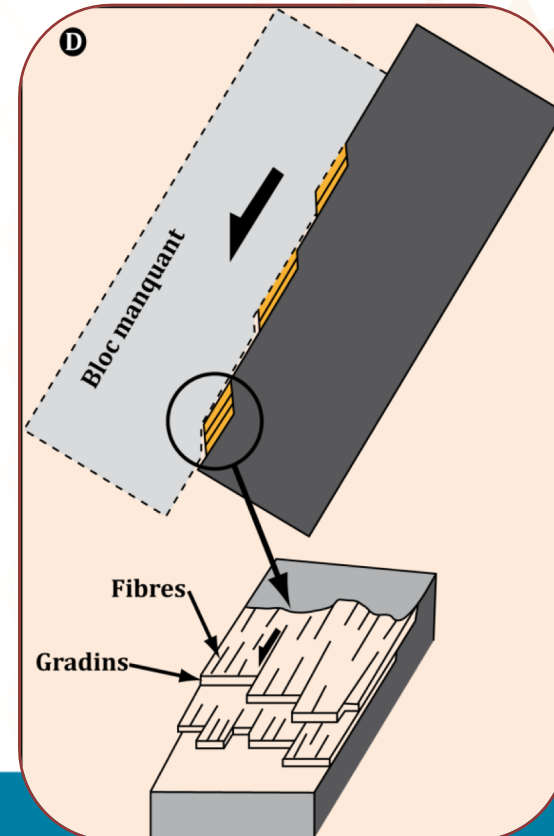
Les cannelures : Ce sont des traces de trainage d'objets qui ont une forme de rides symétriques. Leur taille est variable (à différentes échelles: centimétriques ou à plus grande longueur d'onde). Elles indiquent **la direction du mouvement**.



Les différentes microstructures cassantes

1. Tectoglyphes

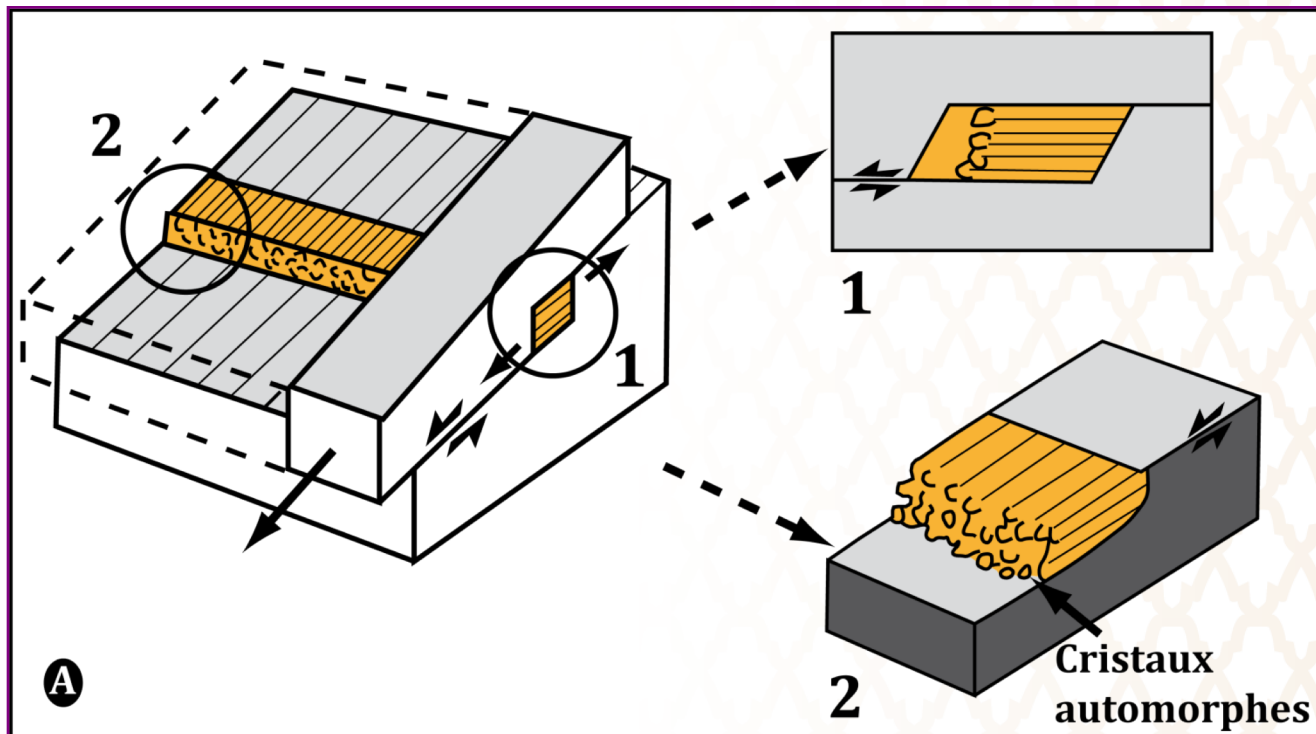
Les gradins d'arrachement: Les gradins d'arrachement se disposent plus ou moins imbriqués (**forme d'escalier**) avec un **rebord abrupt du côté aval**. Ces gradins sont souvent constitués de calcite cristallisée et striée.



Les différentes microstructures cassantes

1. Tectoglyphes

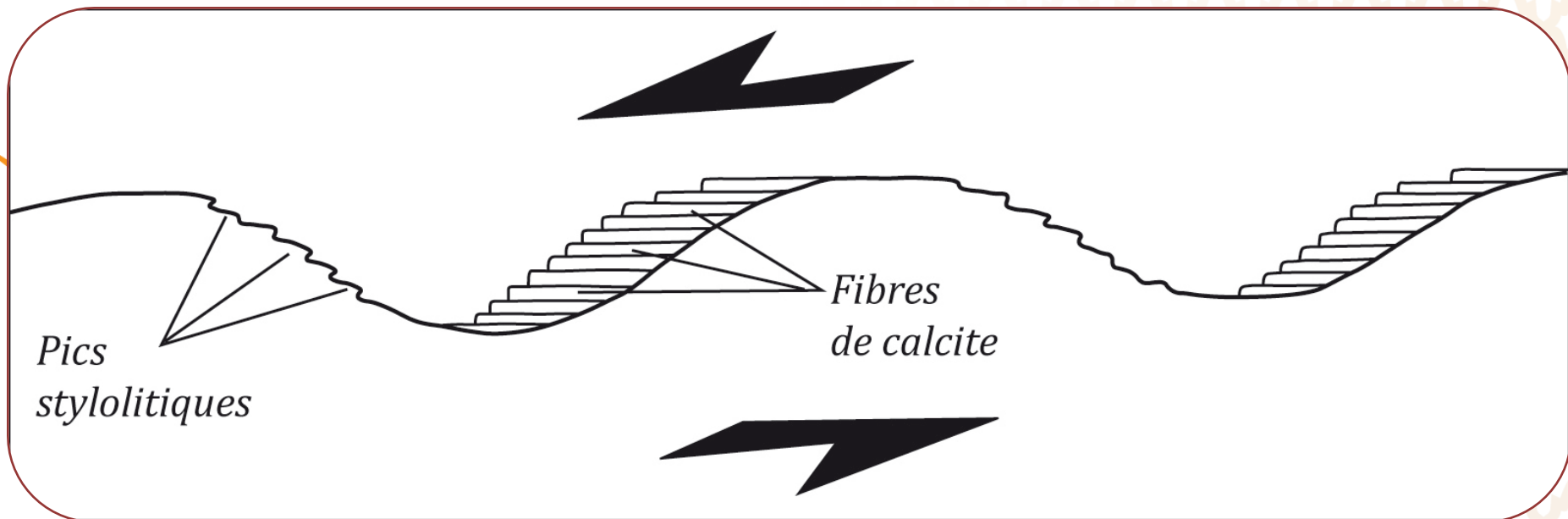
Fibres de calcite : Toujours au niveau du plan de faille, la présence des fibres de calcite terminées par des cristaux automorphes permet d'indiquer le sens du mouvement relatif des deux compartiments.



Les différentes microstructures cassantes

1. Tectoglyphes

Fibres de calcite et stylolites associés : Fibres de calcite et stylolites sont associés sur une même surface de la même faille. Fibres de calcite et stylolites se faisant face sur une surface gauche d'un glissement senestre sur plan horizontal.

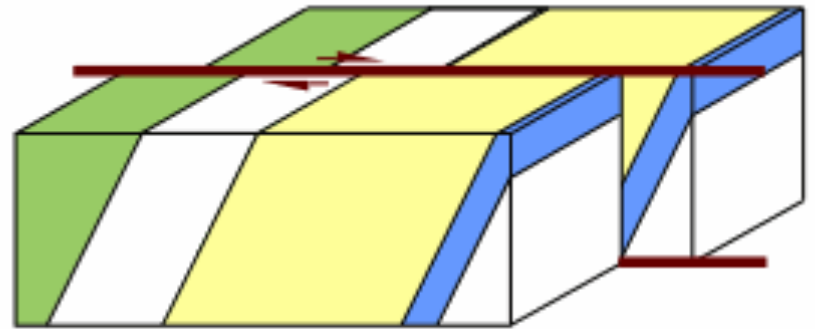


Fibres de calcite



*Fibres de calcite =>
sens du mouvement*

Déformation cassante - Régime coulissant

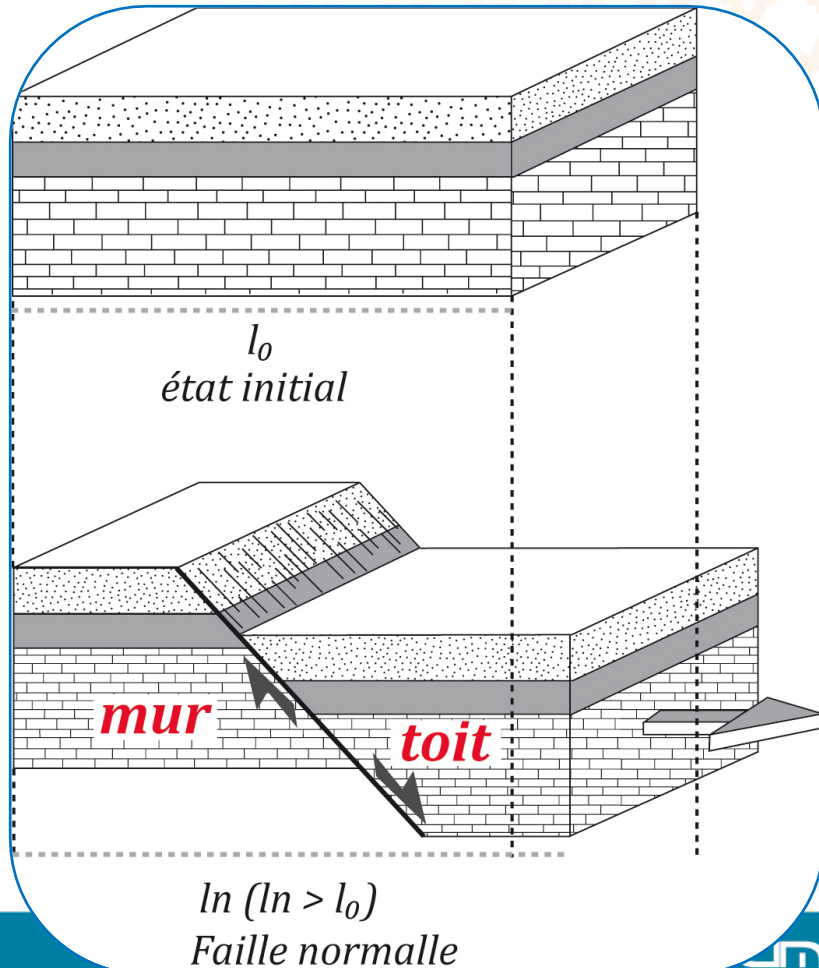


FAILLE DE DÉCROCHEMENT

Miroir de faille

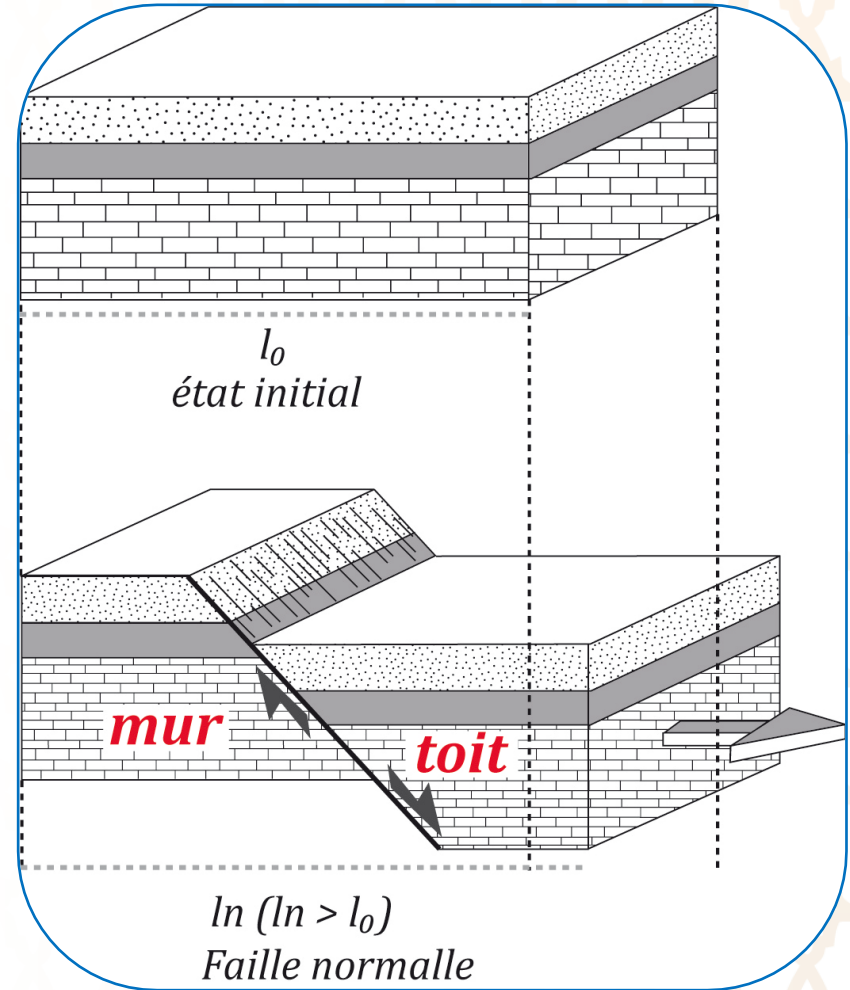
Stries => Direction du mouvement

Écaille de cristallisation => sens du mouvement



Les gradins d'arrachement

Écaille de cristallisation
=> sens du mouvement

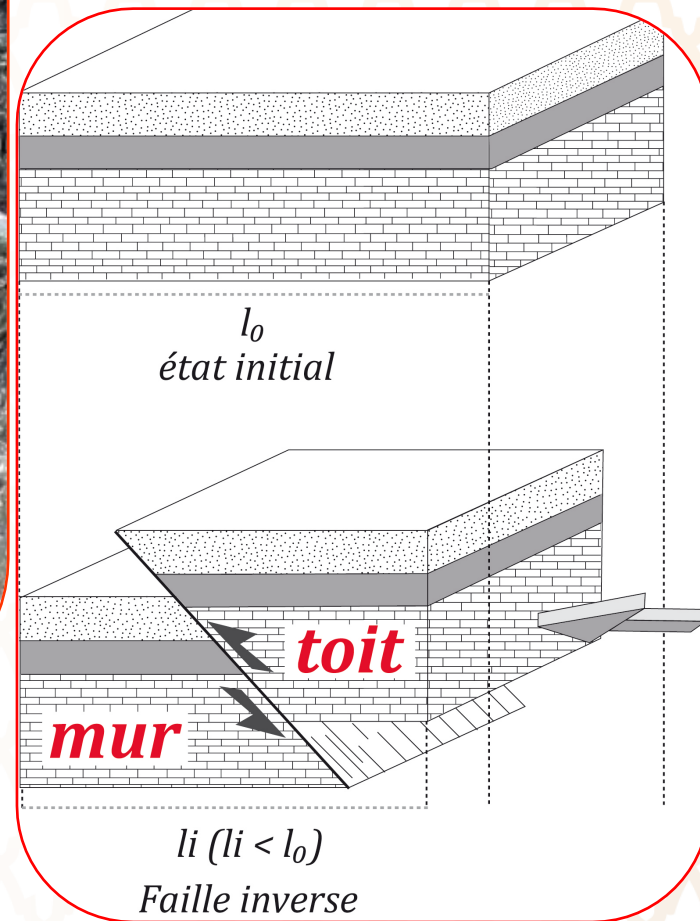


Gradins d'arrachement

Stries => Direction du mouvement



Écaille de cristallisation =>
sens du mouvement



Fibres de calcite

Gradins d'arrachement=>
sens du mouvement

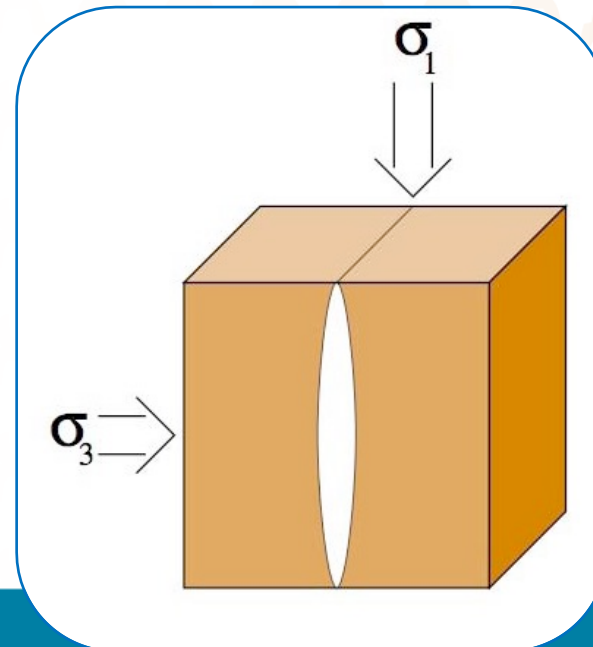
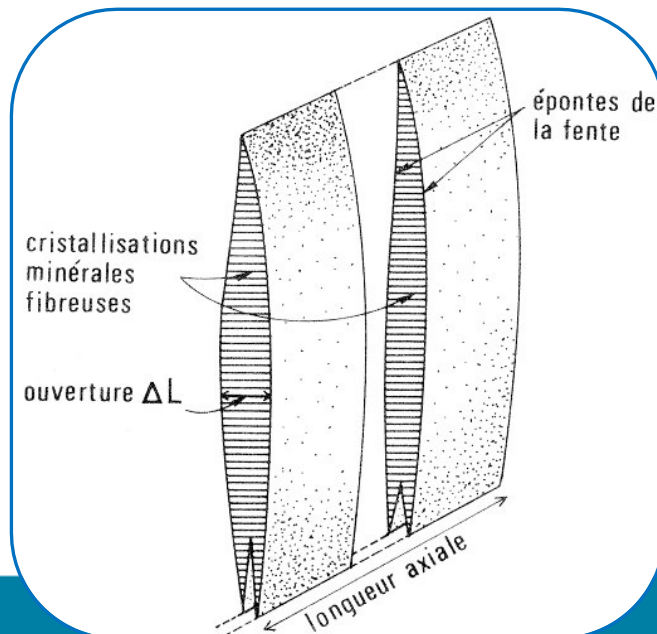
Fibres de calcite =>
sens du mouvement



Les différentes microstructures cassantes

2. fentes de tension

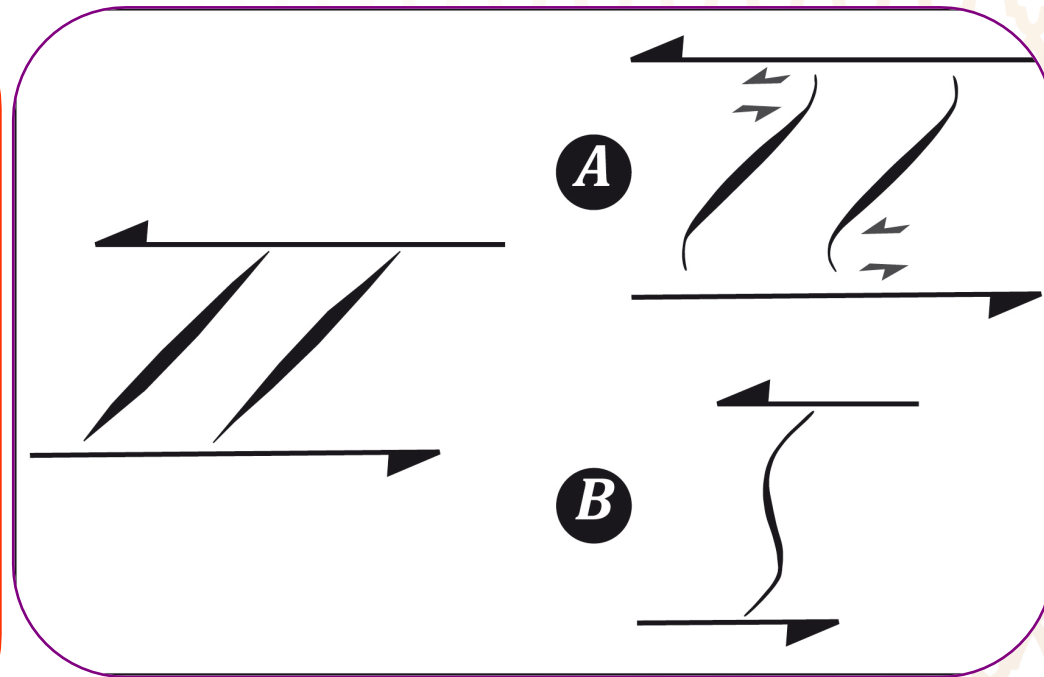
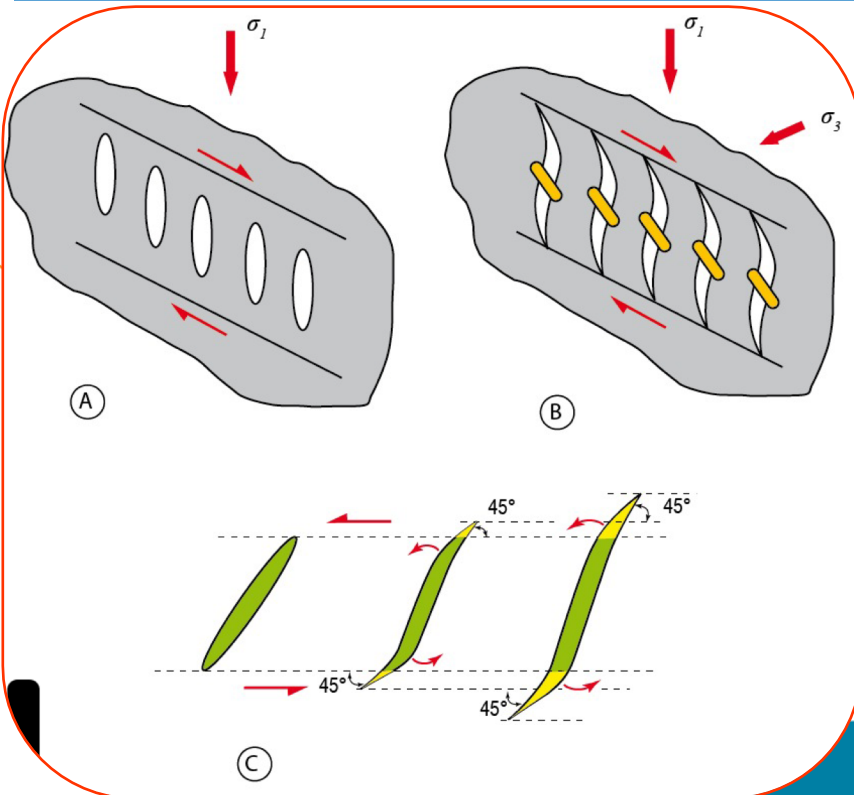
Les fentes de tension sont en général de petites veines (quelques dizaines de centimètres et peut atteindre quelques décimètres), ce sont des fractures plus ou moins ouvertes remplies de minéraux (calcite ou quartz) montrant parfois une structure en fibres perpendiculaires ou légèrement obliques aux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



Les différentes microstructures cassantes

2. fentes de tension

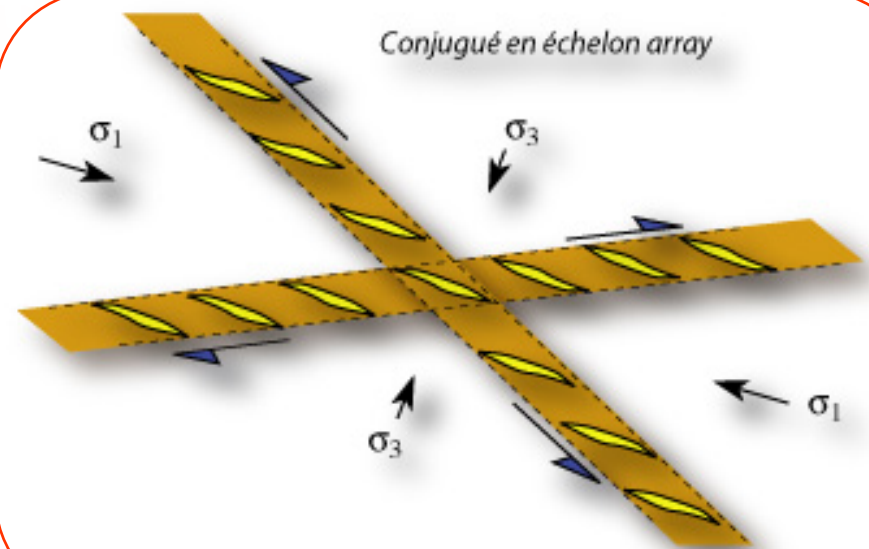
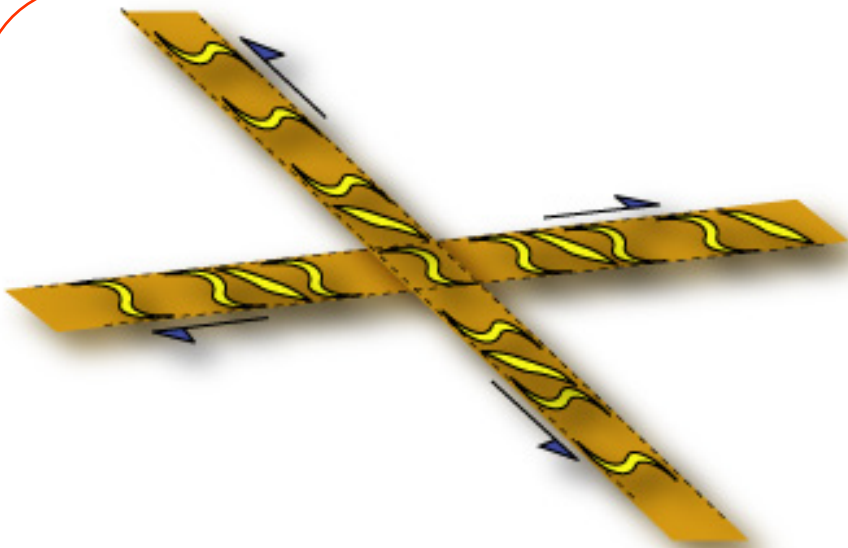
Les fentes de tension sont soit rectilignes, longues et minces, soit généralement disposées en échelon, dans ce cas les fentes sont **parallèles entre elles** et **régulièrement espacées** et **alignées dans une direction**, ce dernier système est équivalent à une faille ou décrochement potentiel. Elles ont souvent une forme sigmoïdale.



Les différentes microstructures cassantes

2. fentes de tension

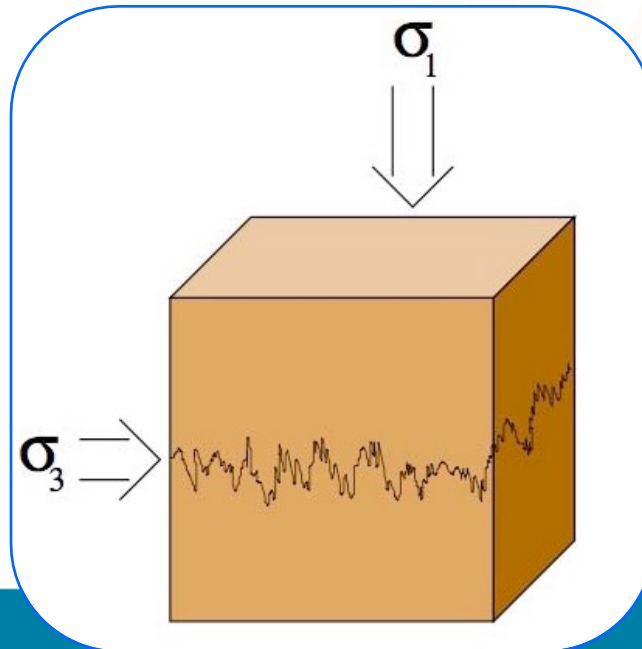
Il n'est pas rare que **des fentes de tension** soient à leur tour **déformées** par **le mouvement** relatif des lèvres de la faille; on peut même parfois voir **une nouvelle génération** de fentes les recoupant (**fentes de tension en échelon conjuguées**).



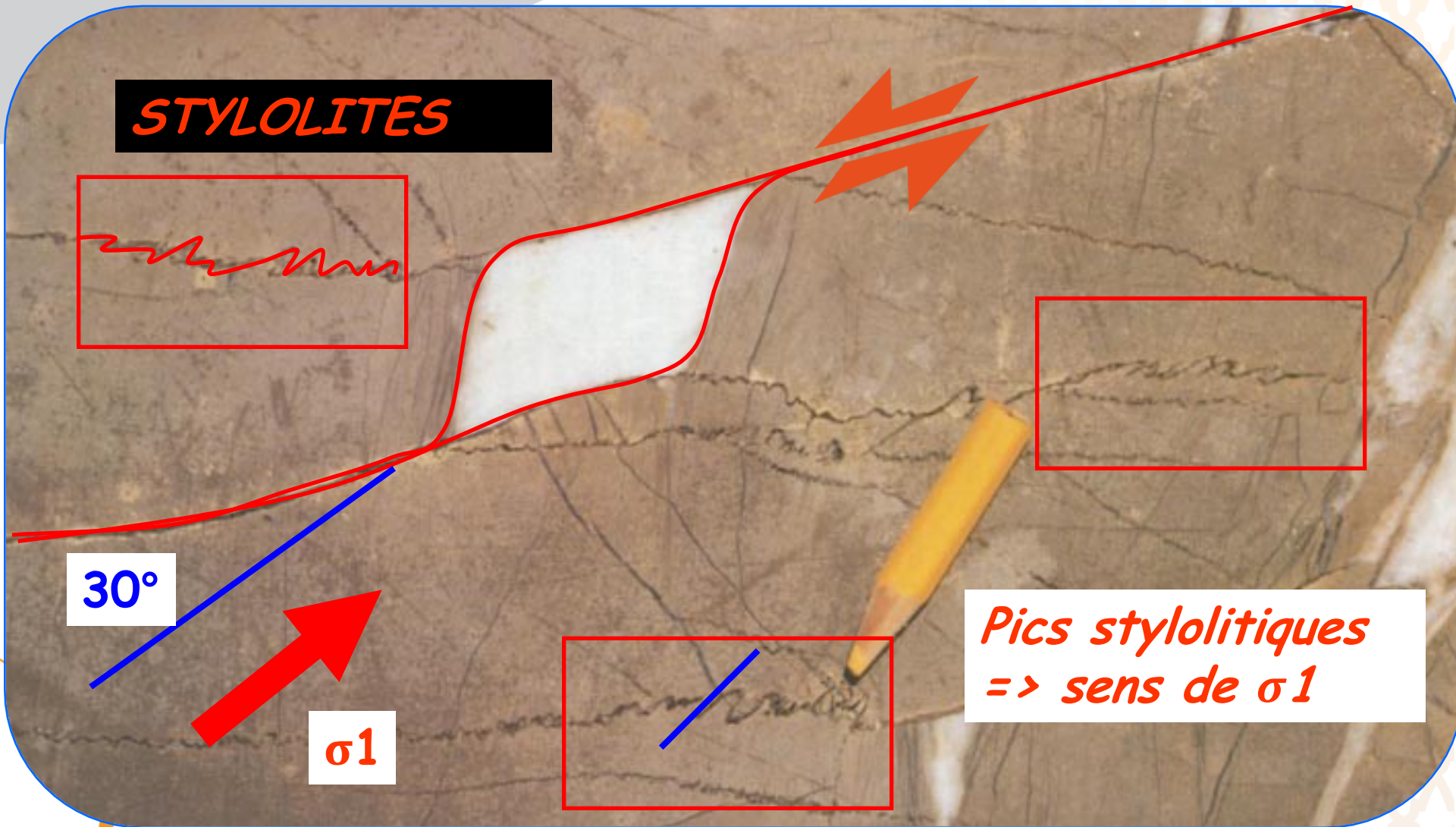
Les différentes microstructures cassantes

3. les stylolites

Les stylolites ne sont pas des fractures; ils sont traités ici en raison de leur fréquente association avec les fentes de tension. 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



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