

CHAPITRE 3-LA DÉFORMATION TECTONIQUE

Les structures tectoniques sont très nombreuses et très variées, on peut classer les objets tectoniques en deux grandes catégories qui correspondent à deux réponses différentes des terrains aux contraintes qui s'appliquent sur eux. Les déformations cassantes et les déformations souples. L'étude des structures tectoniques nécessite la description de leur nature (plis, failles, Pli-faille, chevauchement ...); leur géométrie (éventuellement leur dimension), leur chronologie (datation relative); la cinématique (quels mouvements ont créé ces structures ?, leur évolution dans le temps (en tenant compte de la schistosité, et la fracturation synsédimentaire) ?; le mécanisme de déformation (quelles forces sont responsables de ces mouvements?, Comment les roches se déforment-elles ?. Ces notions seront traitées ci-après.

3.1. La déformation continue dite souple: les plis

Si les terrains réagissent aux effets tectoniques, la déformation se traduit par des ondulations ou des plis dont la fréquence et l'amplitude sont fonction de l'intensité des contraintes, de la nature des couches concernées et de la profondeur.

3.1.1. Les structures monoclinales

On appelle **structures monoclinales**, les formations géologiques dont les couches sont parallèles et régulièrement inclinées dans le même sens, avec un pendage modéré (moyen à faible) sur de vastes étendues et qui non affectées par des plis (Fig. 25).

Les formations de la couverture mésozoïques des Hauts sont un exemple remarquable.

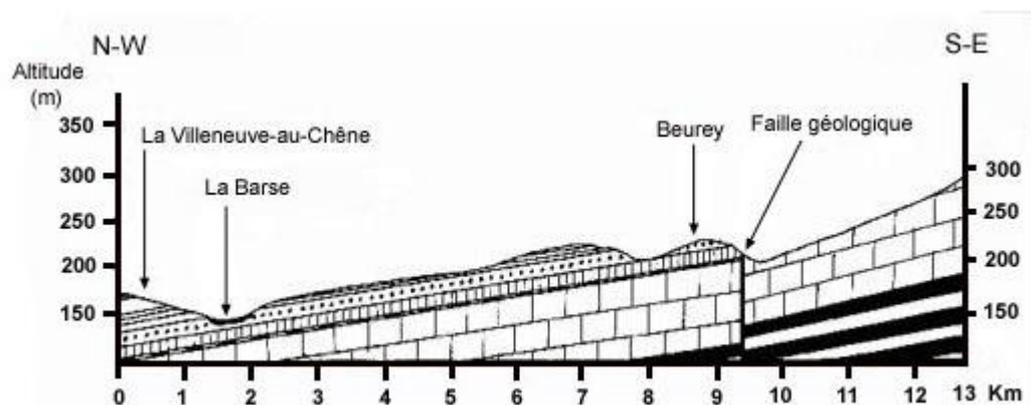


Figure 25. Structure monoclinale (Publié par Robertsix, 2012, in <https://robertsix.wordpress.com/2012/08/01/geologie-structurale-3/>)

Pour des terrains ayant un pendage faible à nulle, les formations géologiques ont une structure tabulaire, horizontale ou subhorizontale, c'est le cas de la Meseta oranaise (Fig. 26).

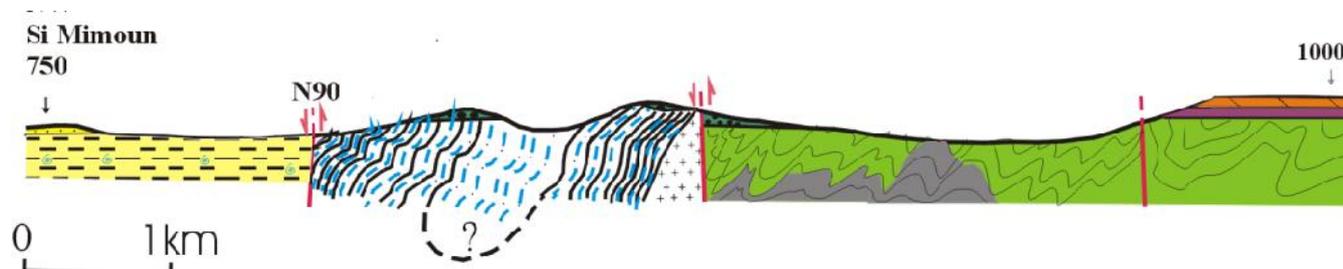


Figure 26. Relation entre le socle paléozoïque plissée et la couverture secondaire tabulaire, les formations du Dévonien forment un anticlinorium déversé (Bougara, 2012)

Légende

JS2F. Oxfordien supérieur-Kimmeridgien inférieur: "Grès de Sidi Amar"

JS1S. Callovo-Oxfordien inférieur: "Argiles de Saïda"

Jmi A. Aaleno-Bajocien: "Calcaire d'Ain Balloul"

JiS. Toarcien: "Marnes de Safch"

Ji2b. Sinemurien à Carixien: "Dolomie de Bou-loval"

T. Trias: Complexe volcano-sédimentaire, roches vertes

γ. Stéphanien: Granitoïdes post hercyniens

H. Viseen supérieur: Conglomérats et schistes à polypiers et brachiopodes

D. Dévonien: "Faciès flysch"

S. Silurien: Schistes gris ampélique, phanites à graptolites et brachiopodes.

O. Ordovicien: Schistes gris sombres, schistes satinés, schistes verdâtres à passées gréseuses et grès associés à des quartzites.

La forme élémentaire du relief monoclinale s'organise comme suit :

Il s'agit d'un relief dissymétrique en saillie constitué (Fig. 27) :

- d'un côté, par un **front de cuesta** (Fig. 28) ;
- de l'autre côté, par un plateau dont la pente douce a la même orientation que le pendage des couches : le **revers de la cuesta**.

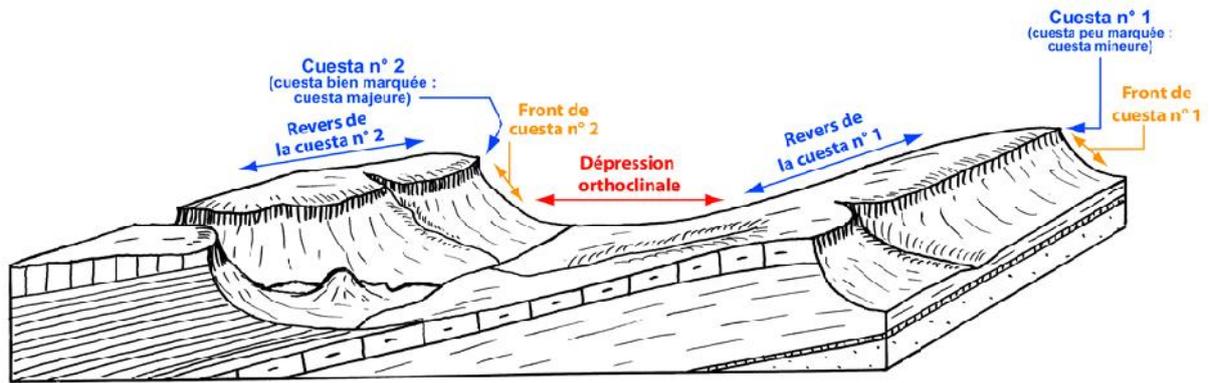


Figure 27. Organisation du relief associé à la structure monoclinale: relief de cuestas, *in* Traité de Morphologie (1955)...



Figure 28 . Le relief tabulaire, on remarque un substratum plissé dévonien surmonté en discordance angulaire par une couverture sédimentaire tabulaire (60 mètres de puissance), débutant par un complexe volcano-sédimentaire suivi par une dalle carbonatée liasique (Bougara, 2012)

3.1.2. Les plis

3.1.2.1. Éléments d'un pli

L'unité élémentaire de la déformation souple est le pli, on distingue:

3.1.2.1.1. La nature ou la forme d'un pli

Les divers éléments se combinent en une très grande diversité de structures.

Schématiquement, on reconnaît les principales formes suivantes (Fig. 29):

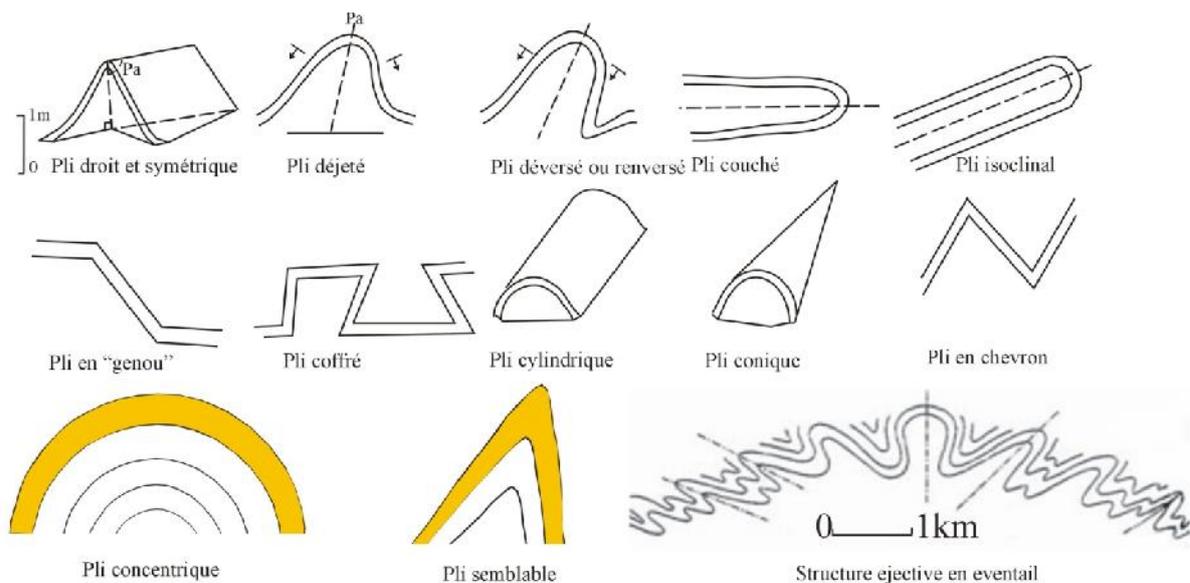


Figure 29. La forme de plis. (Pa : Plan axial). Noter que si la structure en genou a une échelle kilométrique, elle est dite « flexure », elle est formée de deux charnières, l'une anticlinale et l'autre synclinale réunissant deux zones tabulaires (Extrait du Dictionnaire de Géologie de A. Foucault, modifié).

3.1.2.1.2. Les caractéristiques d'un pli

Les différents éléments caractérisant un pli sont représentés sur la figure ci-dessous. Un pli comporte un pli droit ou gauche, un plan axial, un angle d'ouverture (Fig. 30), une charnière et un axe de pli ayant un certain plongement. La charnière est la zone où la courbure est maximale; l'axe est la ligne passant par le milieu de la charnière. Le plan reliant ces axes est appelé un plan axial du pli. Dans un pli, un flanc peuvent être normal ou inverse selon sa position stratigraphique. L'angle d'ouverture, angle dièdre que l'on peut mesurer à l'aide d'un rapporteur. Le pli est ouvert si l'angle est très important, serré si l'angle est faible et isoclinal si ses flancs sont parallèles

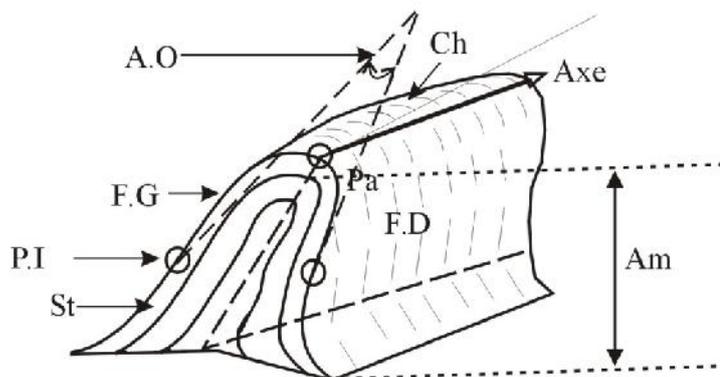


Figure 30. Les principales mesures d'un pli. .P.I. : Point d'in flexion, St : Strate, F.G. Flanc gauche, F.D : Flanc droit, A.O. : Angle d'ouverture, Ch : Charnière, Am : Amplitude du pli.

3.1.2.2. Classification des plis

Les géologues ont classé les plis selon différents critères, géométrique, génétique ou en fonction de leurs dimensions, ainsi que d'un point de vue cinématique. (http://encyclopedie_universelle.fracademic.com/16510/PLIS_%28g%C3%A9ologie%29).

a. Selon leur géométrie

Il s'agit d'une classification descriptive basée sur la disposition du plan axial ou de l'allongement des strates plissées.

On définit **le pli droit** appelé encore le **pli symétrique** avec un plan axial vertical. Lorsque la charnière forme une voûte plane avec des flancs verticaux, on parlera de **pli coffré**. Dans le cas de **pli dissymétrique**, les pendages des flancs peuvent être de sens opposés auquel cas serait un **pli déjeté** ou de pendage ayant un même sens, le pli sera dénommé **pli déversé** dit aussi **oblique** car le plan axial est **oblique, renversé (retourné)** ou **couché** si le plan axial est horizontal. Dans le pli en **genou**, l'un des flancs est horizontal, l'autre est vertical ou subvertical. **Un pli cylindrique** est un pli dont le pendage des surfaces de stratification des flancs forme un cylindre. Un **pli conique** est un pli dont le pendage des surfaces de stratification des flancs forme un cône.

b. Selon leur dimension

Les structures tectoniques (plis et failles) ont des dimensions variables allant de l'échelle microscopique ou de l'affleurement à l'échelle du paysage. A petite échelle, on parlera de microplis (du millimètre au mètre). A grande échelle, on parlera d'**anticlinal** ou de **synclinal** si l'échelle est de l'ordre du kilomètre (Fig. 31). Les anticlinaux ont une structure concave vers le haut et dont le cœur est occupé par les

couches les plus anciennes. Les synclinaux ont une structure concave vers le bas et dont le cœur est occupé par les couches les plus récentes. A plus grande échelle, c'est-à-dire de l'ordre de plusieurs dizaines de kilomètres (décakilométrique), on parlera de **mégaplis** appelés couramment des **plis de fond** dont le pendage des flancs est imperceptible in situ, dénommés aussi plis de grand rayon de courbure. Ces plis de fond déforment le plus souvent le socle et la couverture. Les **synéclises** et les **antéclises** rentrent dans la catégorie de ces plis de fond. Une synéclise est un vaste synclinal dont la largeur est de l'ordre d'une centaine de kilomètres, le fond est souvent plat avec des flancs se relevant progressivement, la cuvette où la synéclise de Tindouf est un parfait exemple. Une antéclise appelé aussi un dôme est le contraire du terme synéclise, est un vaste Massif synforme à l'exemple du Massif d'Alger, d'âge Précambrien à Paléozoïque. **Anticlinorium** ou **synclinorium** est un vaste pli anticlinal ou synclinal composé de plis parallèles. On utilise ces termes pour des échelles de plusieurs dizaines à quelques centaines de kilomètres. Le terme **brachyantoclinal** ou **brachysynclinal** si la longueur et la largeur de la structure sont à peu près les mêmes.

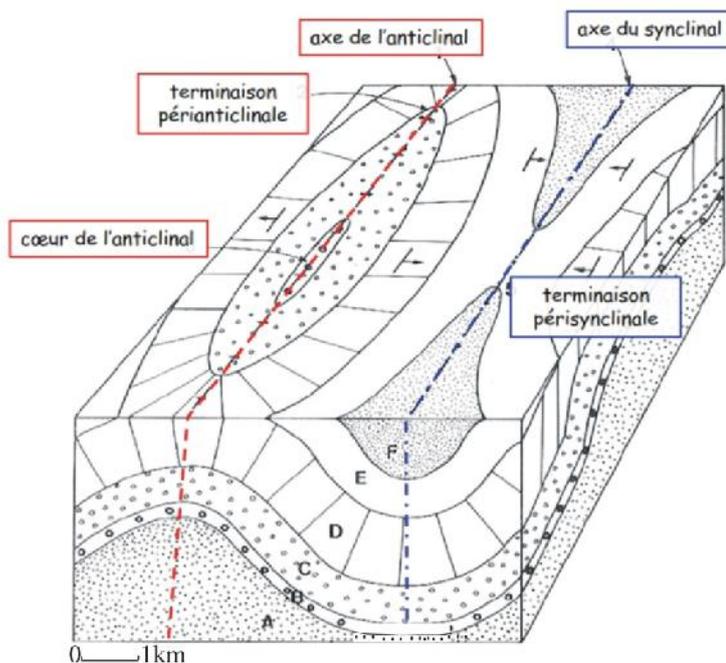


Figure 31. Les structures anticlinal et synclinal (Dumas, 2015 in *moodle-ensat.inp-toulouse.fr/mod/resource/view.php?id=5099*.)

c. Selon la cinématique

Si on analyse un pli, on se rend compte que la déformation est différente d'un point à un autre. Dans le cas d'un **pli isopaque** dit **parallèle**, l'épaisseur des couches mesurée perpendiculairement à la surface de stratification, reste constante dans tout le pli dont la forme varie du cœur à l'enveloppe. Un ensemble de courbures ou d'arcs de cercle sont dits **concentriques** s'ils se ramènent tous au même centre. Dans un **pli concentrique**, les épaisseurs des couches mesurées perpendiculairement à leur surface de stratification restent constantes. Par contre, la forme des courbures varie d'une couche à l'autre. Du cœur du pli vers l'extérieur, les couches externes (à l'extrados) sont en tension et se fracturent en diaclases ou en failles normales; celles à l'intrados sont en compression, elles ont parfois fortement plissées ou sont affectées de failles inverses. Un **pli anisopaque** dit **semblable** est une structure dont l'épaisseur au sein d'une même couche varie latéralement, c'est-à-dire si la courbure ou la forme des plis des couches reste identique le long du pli mais il y a étirement sur les flancs. Les **plis concentriques** dits **plis isopaques** sont des structures dont les épaisseurs des couches mesurées perpendiculairement à leur surface de séparation restent constantes, les courbures des couches varient d'une couche à l'autre (Fig. 32).

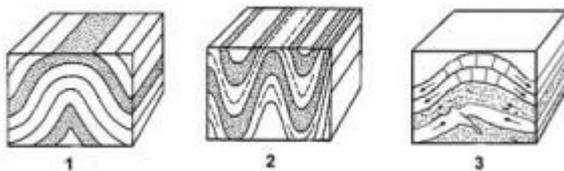


Fig. 32. Plis selon le type de déformation. – 1 : plis isopaques – 2 : plis semblables – 3 : plis concentriques (extrait du Dictionnaire de Géologie)

d. Selon la genèse

Il s'agit de plis qui s'expliquent par le type de terrain (marneux, gypseux, calcaire, ...etc), c'est-à-dire en terme de **compétence** ou d'**incompétence** des roches et affectés de contraintes particulières. Le **Pli d'entraînement** est un pli déversé ou couché s'expliquant par le mouvement différentiel des terrains sous et sus jacentes poussé par un cisaillement simple. Le **Pli de fond** est un pli à grand rayon de courbure affectant aussi bien le socle que sa couverture. Le **Pli de couverture** ou tectonique de couverture est l'ensemble des déformations subies par une couverture

sédimentaire qui s'est dissociée de son socle à la faveur d'une couche-savon gypseuse ou marneuse, le plus souvent d'âge triasique. **Le Pli de revêtement** ou tectonique de revêtement est l'ensemble des structures tectoniques liées à la couverture sédimentaire et qui s'accommodent souplement aux déformations du socle sous-jacent, plissé et fracturé où il n'y'a pas de décollement. **Le Pli synsédimentaire** est un pli qui se forme en même temps que la sédimentation, le long d'une pente sédimentaire et qui peut être provoqué par une instabilité gravitaire (surcharge du sédiment) ou par un choc tectonique lors d'un séisme. **La disharmonie de plissement** est due lorsqu'une couche incompétente (**ductile**) à l'image d'argiles ou de marnes se trouve intratifiées « pris en sandwich » entre deux couches compétentes (calcaires, grès, etc..), qui se déforme en donnant **un bourrage de charnière**, donc l'épaisseur de la couche sera importante à la charnière et mince aux flancs.

3.1.3. Le pendage

Le pendage d'un plan (faille, stratification, diaclase, joint, schistosité ..etc) est défini par la mesure de l'orientation d'une horizontale du plan (angle variant de 0° à 180°), par le pendage ou l'inclinaison de la ligne de plus grande pente (angle variant de 0° à 90°) et par le sens du pendage.

Si l'élément à mesurer est linéaire (linéation, axe de pli, strie,..etc), on doit mesurer son azimut, c'est-à-dire l'orientation du plan vertical qui contient cette droite. Il est caractérisé dans un plan horizontal par l'angle compris entre 0 et 360° que forme ce plan vertical avec le plan vertical qui contient la direction du Nord Géographique (Fig. 33 & 34).

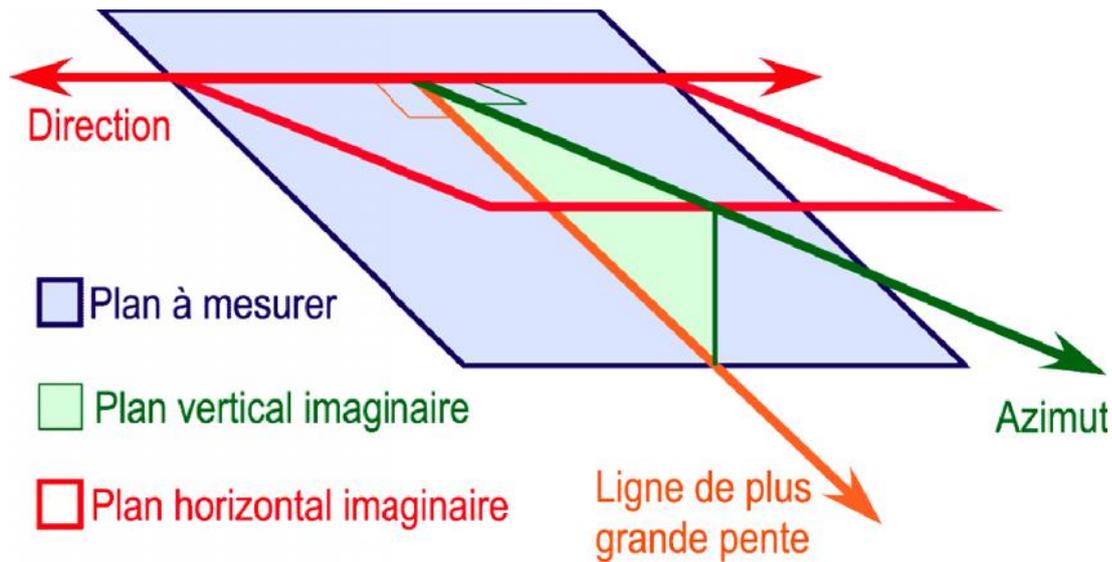


Figure 33. Relations entre ligne de plus grande pente, direction et azimut d'un plan à mesurer (<http://cours-geosciences.univ-lille1.fr/cours/boussole/Mesures%20Boussoles%20WEB.htm>)

+	↘	↙	↘	⊥
Plan horizontal	Plan faiblement penté vers le NW (<30°). Direction N30. Azimut N300	Plan moyennement penté vers le SE (30-60°). Direction N30. Azimut N120	Plan fortement penté vers le NW (>60°). Direction N30. Azimut N300	Plan vertical. Direction NS. Azimut non défini
				

Figure 34. Exemple de pendage sur une carte géologique, expliquant les deux méthodes de mesures (<http://cours-geosciences.univ-lille1.fr/cours/boussole/Mesures%20Boussoles%20WEB.htm>)

3.1.4. Microstructures ductiles

Deux principales structures peuvent être distingués :

- **Le boudinage** est une alternance de couches tendre et compétente. Lors de la compression, les couches tendres s'aplatissent et s'étirent alors que les roche durs se cassent pour compenser l'étirement (Fig. 35).

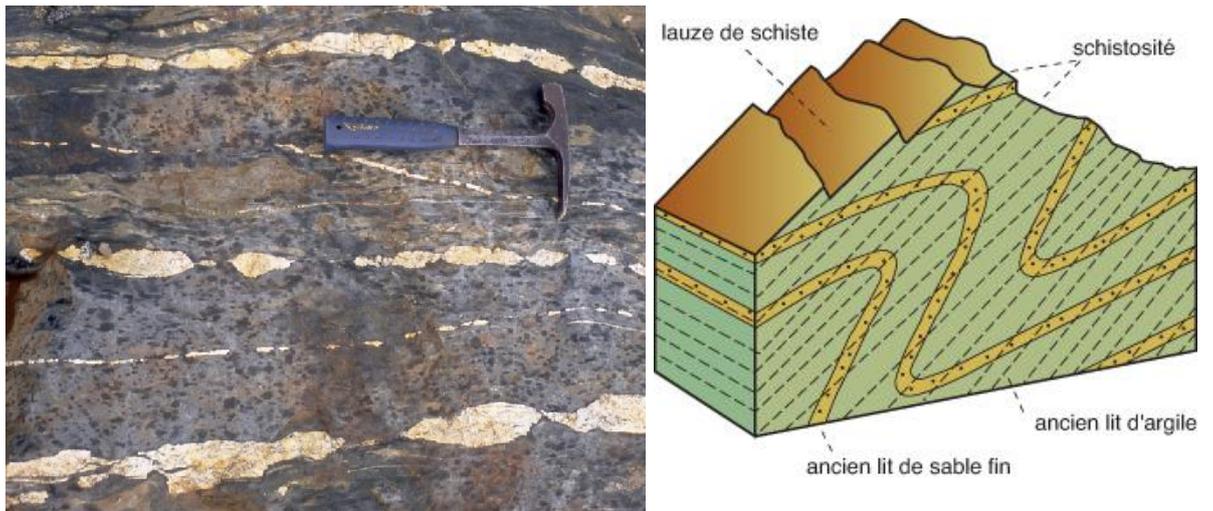


Figure 35. Le boudinage (Extrait du dictionnaire de Géologie)

- **La schistosité** correspond à un feuilletage correspondant à des plans d’aplatissement millimétriques, formés par des minéraux néoformés lors de la déformation. La foliation est un autre type de schistosité et qui correspond à une différenciation minéralogique nette, aboutissant à l’alternance de feuillets de composition minéralogique différente (feuillets clairs et foncés) dans les roches métamorphiques de haut grade, par exemple les [migmatites](#), les [micaschistes](#) et, typiquement, les [gneiss](#) (Figs. 36, 37, 39).

Figure 36 . La schistosité (extrait du dictionnaire de géologie) :

Figure 37. Plis synschisteux (dictionnaire de géologie)
 : Schistosité – S1 : plan de schistosité ; S0 : plan de stratification.

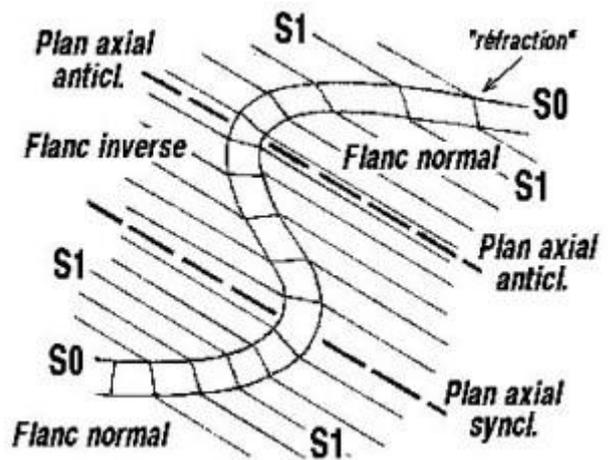
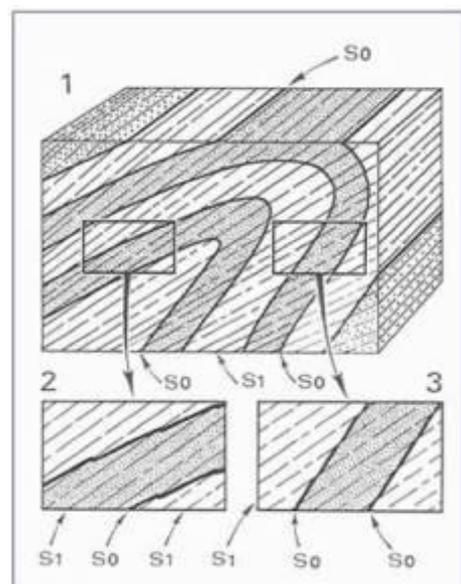


Figure 38. Flanc normal et flanc inverse (dictionnaire de géologie)

3.2. La déformation discontinue dite cassante: les failles

Elle se manifeste par des surfaces de discontinuités perpendiculaires ou obliques aux surfaces de stratifications, elle regroupe deux grandes catégories: les diaclases et les failles.

3.2.1. Éléments d'une faille



Une faille est une fracture accompagnée de déplacement relatif de deux compartiments qu'elle sépare parallèlement à son plan: La longueur de la faille peut varier de quelques mètres à plusieurs dizaines de ou centaines de kilomètres. La valeur du déplacement appelé **rejet** est variable et peut se situer entre le décimètre et plusieurs kilomètres. (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Faille>).

Une faille est caractérisée par :

- Son orientation : la direction et son pendage ;
- Sa dimension : la plus grande longueur observable ;
- La densité de la fracturation : c'est la longueur cumulée de fissures/la surface de l'affleurement analysée ;
- L'ouverture : ouverte ou fermée
- Etat de surface : lisse, rugueux ; plan ;
- Le remplissage : nature, épaisseur, caractéristiques des produits de remplissage.

Il existe toute une terminologie de la faille: les deux parties séparées par la faille sont appelées **compartiments**. Les surfaces engendrées par la cassure sont appelées les **lèvres**. Ces dernières sont parfois polies par le frottement et donnent un **miroir de faille** sur lequel on voit **des stries** qui matérialisent la direction du mouvement. Le **pitch** est l'angle compris entre 0 à 90° entre la strie et une horizontale contenue dans le plan de la faille. **Le crochon de faille** est une courbure brusque des couches au contact d'une faille, la torsion de ces couches s'effectuant en sens inverse du déplacement des deux compartiments. Le **regard de la faille** est le côté vers lequel plonge la lèvre du compartiment soulevé Une **Brèche de faille** correspond aux débris de roches arrachés et coincés le long du plan de faille lors du déplacement du compartiment (Fig. 39).

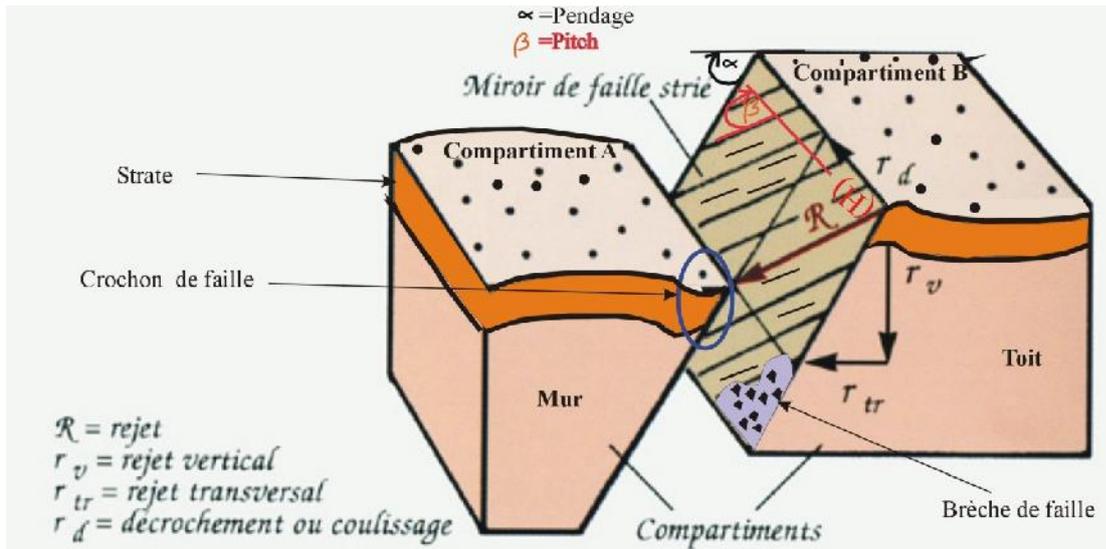


Figure 39. Nomenclature d'une faille (Mattauer, 1980), modifiée. (H: est une horizontale du plan strié ou encore la direction de la faille).

3.2.2. Nomenclature d'une faille

La nature des différents types de failles se résumant comme suit –Fig. 40) :

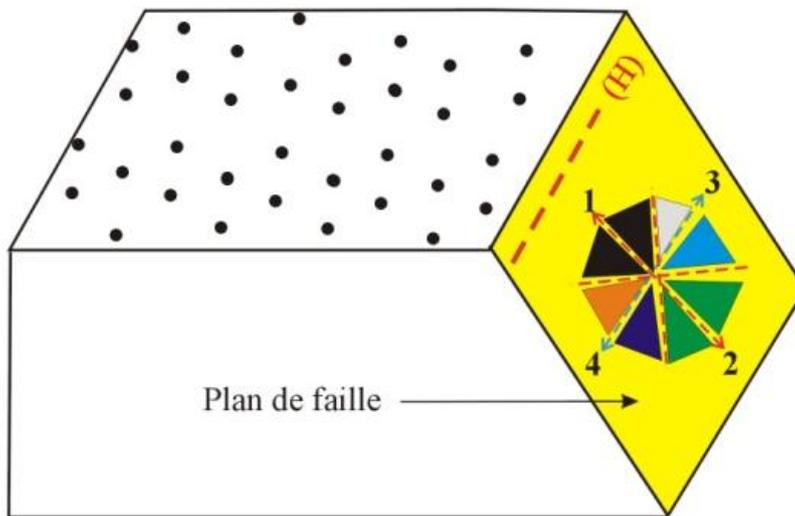


Figure 40. Nature des différents types de failles du compartiment manquant, d'après Bles & Feuga (1981). (H: étant l'horizontale du plan de faille).

Légende

Si le compartiment manquant se déplace selon le sens :

(1): la faille est dite inverse (pitch $\gg 45^\circ$)

(2): la faille est dite normale (pitch $\gg 45^\circ$)

(3): la faille est dite décrochement senestre normale (pitch = 0 à 10°)

(4): la faille est dite décrochement dextre normale (pitch = 0 à 10°)

 La faille est dite faille inverse décrochante senestre (pitch $\ll 45^\circ$)

 La faille est dite inverse (pitch $\gg 45^\circ$)

 La faille est dite faille inverse décrochante dextre (pitch $\ll 45^\circ$)

 La faille est dite faille normale décrochante senestre (pitch $\ll 45^\circ$)

 La faille est dite normale (pitch $\gg 45^\circ$)

 La faille est dite faille normale décrochante senestre (pitch $\ll 45^\circ$)

 La faille est dite faille normale décrochante dextre (pitch $\ll 45^\circ$)

En absence des deux compartiments et pour déterminer le sens du mouvement, on utilise des marqueurs du mouvement sur de petits affleurements de microfailles appelés **tectoglyphes** (surfaces calcitisées, microfailles, surfaces d'arrachement, etc..) et souvent présents sur le miroir de faille, des stries marquent souvent cette surface, elles indiquent la direction du mouvement. Mais une faille a pu jouer plusieurs fois et dans des contextes différents, on peut donc observer parfois deux directions, voire plus, indiquées par les stries. La cristallisation de minéraux fibreux indique par leur sens de croissance, le sens du déplacement des compartiments. Les **pics stylolitiques** sont perpendiculaires au mouvement et indiquent la compression alors que les fentes de tension, aussi perpendiculaires au mouvement, indiquent l'extension.

Le domaine de la **tectonique cassante** se rapporte uniquement au **niveau structural supérieur** de la chaîne de montagne, régi par de faible température et pression. Le régime tectonique régional, en compression, en distension ou en coulissage, sera responsable de la géométrie et de la cinématique des failles. Les failles se divisent en trois types en fonction du glissement réel des blocs situés de

part et d'autre de la faille. En régime extensive, une **faille normale** présente un abaissement du toit vers le bas par rapport au mur et suivant la ligne de plus grande pente de la faille. Une faille normale résulte d'une contrainte de distension σ_3 horizontale avec une contrainte majeure verticale σ_1 . En régime compressive, une faille inverse présente un déplacement vers le haut du mur vers le toit suivant la ligne de plus forte pente de la faille. Une **faille inverse** résulte d'une compression avec une contrainte majeure, horizontale σ_1 , la contrainte de distension σ_3 , est verticale. Rappelons que dans ces deux derniers cas, σ_2 , la contrainte intermédiaire est horizontale. Une **faille de décrochement** présente un déplacement horizontal du mur par rapport au toit suivant une direction parallèle à la faille. Dans ce dernier cas, σ_1 et σ_3 sont horizontale, σ_2 est verticale. On dira que la faille de décrochement est dextre si le bloc opposé à l'observateur regardant le plan de faille a glissé vers la droite et senestre si le bloc glisse vers la gauche (Fig. 41)..

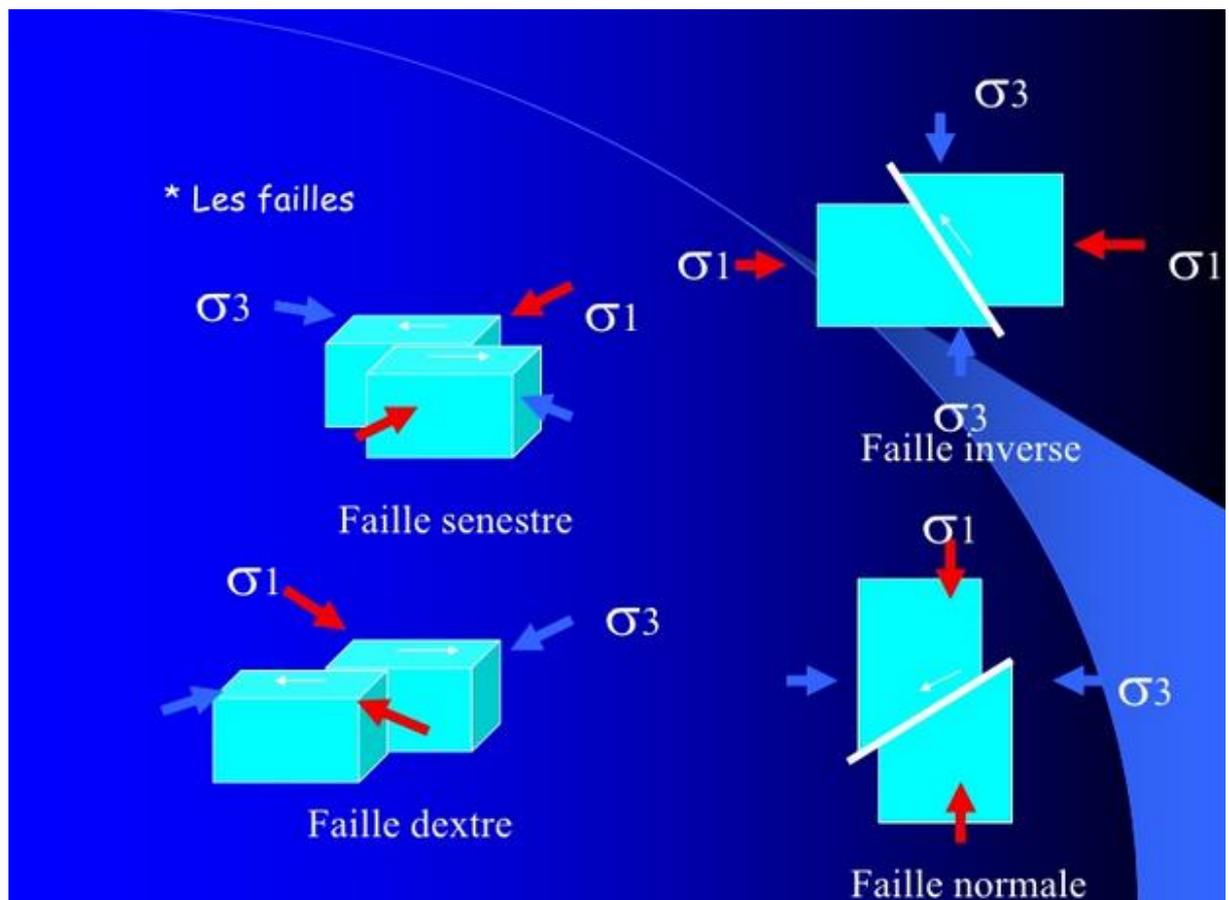


Figure 41. Les principales failles avec l'orientation des états de contraintes.

Le plus souvent, les failles se regroupent en un réseau de cassures conjuguées :

Le **horst** est un compartiment relevé entre deux systèmes de failles, un **graben** représente le cas inverse. Le plus souvent, ces structures sont causées par de la distension, ainsi les zones hautes quelquefois appelées **les môles** ou encore des dépressions ou les bassins alluviaux dans le cas de zones basses sont délimitées par des failles normales (Fig. 42)..

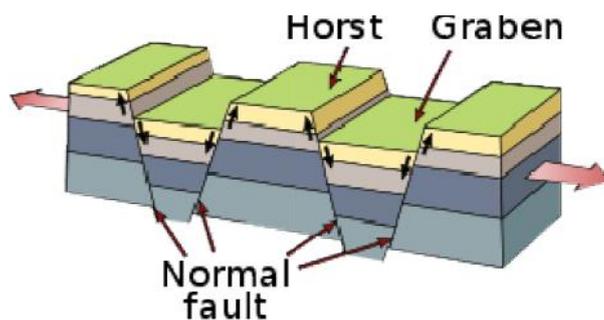


Figure 42 . Les horsts et les grabens (tiré de : https://en.wikipedia.org/wiki/Horst_and_graben)

Lorsqu'une faille est aplatie et proche de l'horizontale, on parlera de **chevauchement**. Il s'agit alors d'un mouvement tectonique conduisant un ensemble de terrain à recouvrir un autre par l'intermédiaire d'un **contact anormal** (Fig. 43).

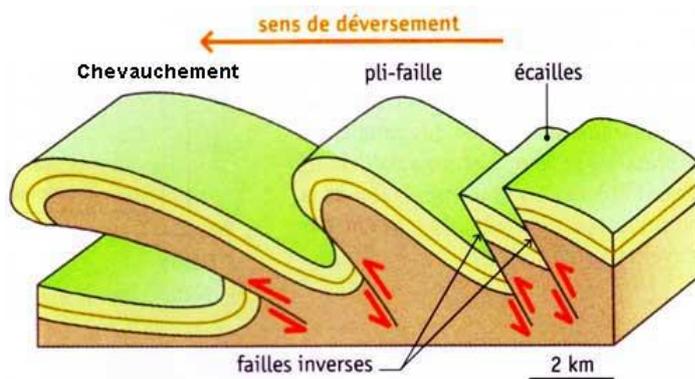
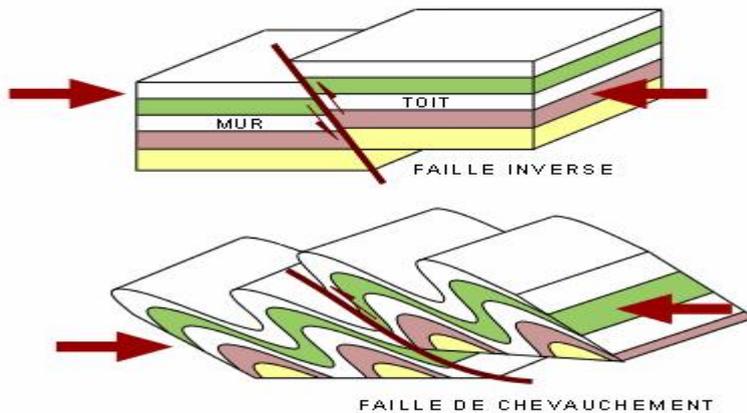
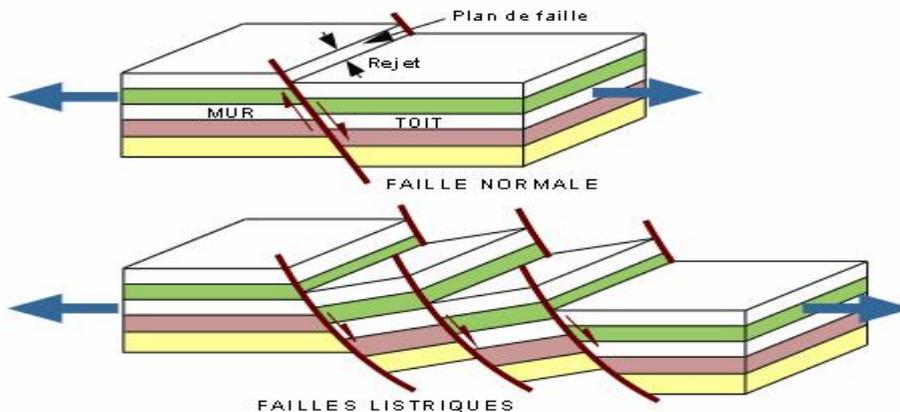


Figure 43. Différence entre faille inverse et chevauchement. Noter la vergence des plis vers la droite du schéma (extrait du Dictionnaire de Géologie).

Déformation cassante - Régime compressif



Déformation cassante - Régime extensif



Déformation cassante - Régime coulissant

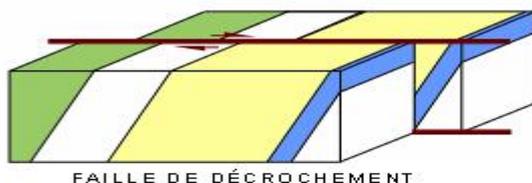


Figure 44. Les grands types de failles (Extrait de Planète Terre)

Une **faille normale listrique** est une faille de grande extension spatiale (plusieurs kilomètres) qui est concave en profondeur. Cela implique un niveau de cisaillement en profondeur (souvent à l'interface rhéologique entre la croûte supérieure et la croûte inférieure). La forme de ces failles est à relier au concept de bloc basculé (Fig. 44).

3.2.3. Diaclases, fissures, fentes de tension, stylolites et joint de cisaillement

Les **diaclases** sont des discontinuités, pouvant être perpendiculaires, obliques à la stratification ou perpendiculaires entre eux, généralement sans rejet appréciables. On parlera de **fissures** ou **fentes** lorsque les discontinuités sont ouvertes et si celles –ci sont remplies de minéraux néoformés, on obtiendrait un **filon** si la taille est métrique, un **filonnet** si la taille est centimétrique et une **veine** si la taille est millimétrique. Les joints de **stylolites** sont de petites structures en « zig zag » issues en domaine carbonaté lors d'une pression-dissolution (Fig. 45). Les joints se disposent par rapport au régime des contraintes suivant le schéma ci-après.

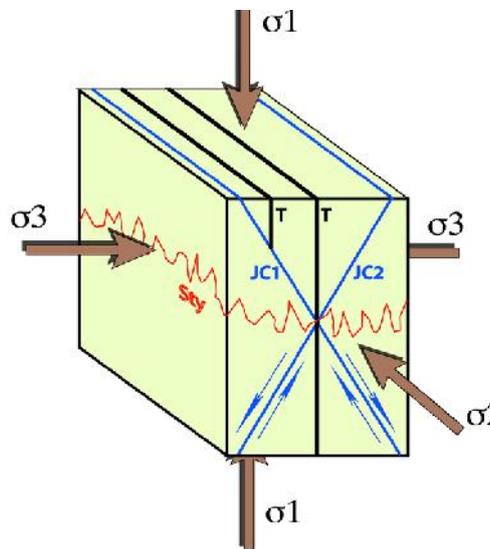


Figure 45. Les joints différents types de joints (extrait du pôle de l'Université de Lorraine) avec :

- 1, 2 et 3: contraintes principales majeure, moyenne et mineure ;
- JC1 et JC2 : **joints de cisaillement** conjugués ;
- T : joints de tension où de rupture fragile ;
- Sty : joints stylolitiques.

(<http://rpn.univ-lorraine.fr/UL/analyse-structurale-tectonique/co/jointscis.html>)

3.3. Les nappes de charriage

3.3.1. Le charriage

Il s'agit d'accidents tectoniques plats engendrant des glissements de terrains sur des dizaines à la centaine de kilomètres sur un **matériel autochtone**. Le matériel ayant subi un transport est dit **allochtone**. Le paquet de couches transporté est dit **nappe de charriage**. Une nappe de charriage est donc une unité lithologique de dimension régionale, transportée sur plusieurs kilomètres, voire dépasser la centaine de kilomètres, le long d'accidents à faible pendage. Les **lambeaux de charriage** sont des copeaux du substratum autochtone entraînés par le passage de la nappe. On appelle **fenêtre**; une région formée de terrain autochtones entourés de toutes parties par des terrains allochtones. S'il y a continuité entre l'autochtone au front de la nappe et dans la fenêtre dans ce dernier cas, on dit souvent une **demi-fenêtre**. Quand au contraire, l'érosion isole un lambeau de nappes de charriage sur des terrains autochtones, on parle de **klippes** ou de **lambeaux de recouvrement**. La **flèche d'un charriage** est l'amplitude en un point donné, du déplacement d'une nappe de charriage, par rapport à son substratum, c'est-à-dire la distance entre le front de la nappe et sa racine (Fig.46).

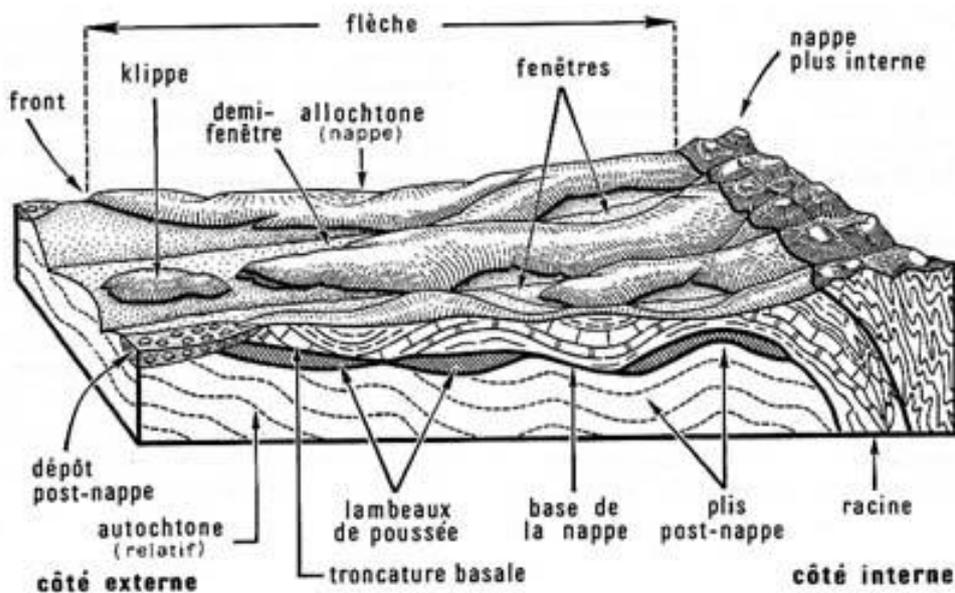


Figure 46 . Les nappes de charriage (Extrait de Géologie structurale 4, robert six).

Dans les chaînes de montagnes, trois grands types de nappes peuvent être distingués :

- **Les nappes de couverture** : elles sont formées de couches sédimentaires désolidarisées de son substratum originel, les roches peuvent présenter une schistosité.
- **Les nappes de socle** : elles sont constituées d'un matériel **continental métamorphique et magmatique (micaschiste, gneiss, granite..)** et peuvent recouvrir d'autres unités de socle ou encore des unités sédimentaires.
- **Les nappes ophiolitiques** : elles sont formées d'une unité de lithosphère **océanique** (croûte et manteau) et de sédiments océaniques associés. Leur présence dans les chaînes témoigne d'une suture d'un **ancien domaine océanique**.

3.3.2. Le moteur du déplacement des nappes

Les chevauchements et les charriages sont caractéristiques d'un régime en **compression** (raccourcissement) à l'échelle des chaînes de montagne. Cependant, les nappes de charriage de la couverture sédimentaire des **marges continentales stables** ne sont pas liées à un régime tectonique compressif. Il est admis que les nappes se déplacent sous l'effet de leur propre poids sur une marge continentale dénudée de toute contrainte compressive, les nappes sont dites **gravitaires** ou encore sous l'effet de **poussée tectonique** arrière dans le cadre de compression au sein d'une chaîne de montagne.

3.4. La microtectonique

La microtectonique étudie la déformation à l'échelle de l'affleurement ; de l'échantillon et de la lame mince, c'est-à-dire du millimètre jusqu'à un mètre environ (Mattauer, 1980).

Les objectifs de la microtectonique sont :

-Comprendre les mécanismes de la déformation, ce qui nécessite des observations fines ;

-Mieux connaître la géométrie des structures, en gros , c'est une méthode complémentaire de la géologie structurale habituelle.

4.1. Les méthodes de la microtectonique

Les observations effectuées sur le terrain sont utilisées de façon statistique, on emploie des diagrammes de tous genres, le Canevas de Wulf est un diagramme des plus utilisés (Fig. 47).

Le canevas de Wulff, ou abaque de Wulff, est utilisé en tectonique, l'étude des déformations terrestres, pour projeter des déformations sur un plan. On passe alors de 3 à 2 dimensions :

- un plan (orienté dans l'espace 3D) devient une courbe (un arc de cercle) ;
- une ligne devient un point.

Le principe de la projection stéréographique planosphérique considère que tous les éléments géométriques peuvent se projeter dans une demi-sphère moyennant leurs caractéristiques géométriques. Ces modes de représentation permettent d'analyser les rapports d'orientation des structures dans l'espace en admettant que toute direction passe par le centre de la sphère. Cette représentation est donc indépendante de la position géographique des objets.

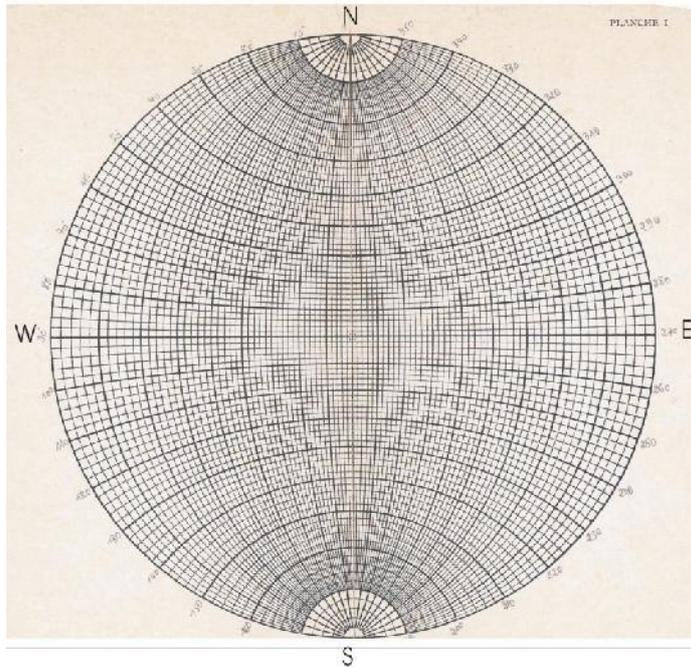


Figure 47. Le Canevas de Wulf (Enry,1975).

a- Outils de projection :

Les outils de cette projection sont les plans, les droites et un hémisphère supérieur ou inférieur. Les éléments à projeter sont définis par leurs caractéristiques géométriques propres.

b- Hémisphère de référence : Inférieur ou supérieur, l'hémisphère est doté d'un plan horizontal appelé le plan fondamental et d'une orientation donnée.

L'intersection entre le plan fondamental et la demie-sphère est un cercle également appelé le cercle fondamental. Ce cercle est toujours horizontal.

Ce cercle est orienté selon les directions cardinales : Nord, Sud, Est et Ouest.

Des diamètres N-S et E-W peuvent également y être notés.

Le dispositif de projection est ainsi prêt à accueillir les éléments à projeter.

c- Conception du Canevas de Wulf.

On choisit une demi-sphère (supérieure ou inférieure) limitée par un plan horizontal (H). Nous recoupons cette demi sphère par un plan passant par le diamètre Nord –Sud et penté par rapport au plan de référence (H) dont l'angle peut varier de 0° à 90° . L'intersection du plan (P) avec la demi-sphère détermine un arc de cercle. Pour pouvoir projeter cet arc de cercle, on doit le subdiviser en un ensemble de points, ainsi chaque point peut être projeté sur le plan de référence par le Nadir. Le Nadir est le point d'intersection entre une droite verticale menée vers le bas depuis le centre de la sphère et la demi sphère inférieure (fig.). Le résultat de la projection serait **un grand cercle** (Fig. 48)..

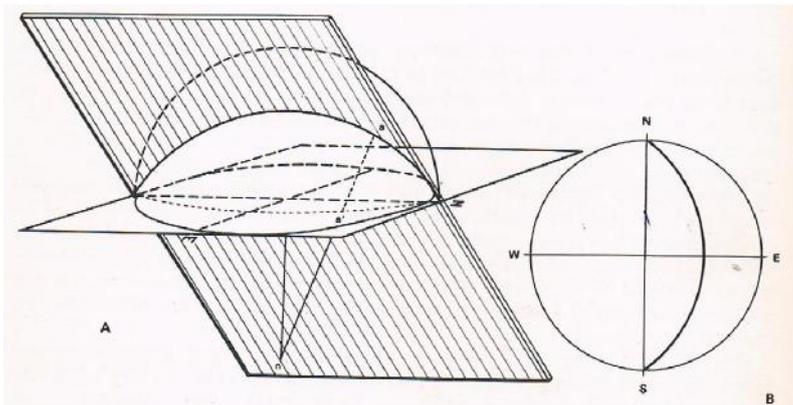


Figure 48. Construction d'un grand cercle

Si nous recoupons cette demi-sphère par un plan (P'), vertical et passant de 2° en 2° parallèlement à la droite Est Ouest, Le résultat de la projection serait **un petit cercle** (Fig. 49).

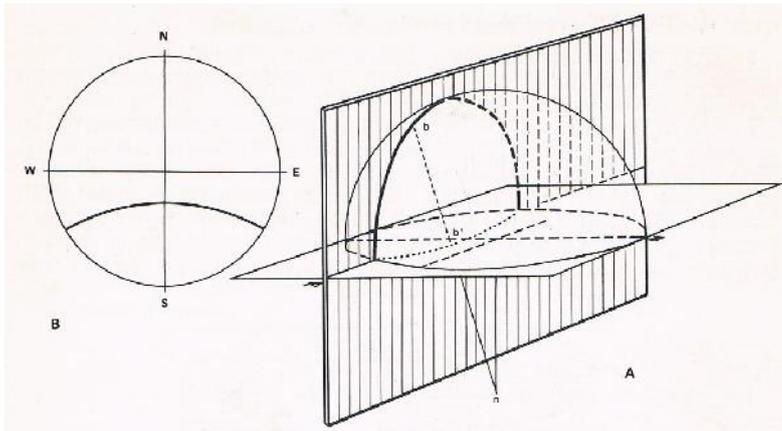


Figure 49. Construction d'un petit cercle

d-Méthode de représentation d'un plan

Le Canevas de Wulf est gradué dans le sens inverse des aiguilles d'une montre de 0° à 360° . On interpose un calque qu'on appelle le stéréogramme et on fait tourner ce stéréogramme selon la valeur de la direction de la couche mesurée. Perpendiculairement à la direction, on notera la valeur du pendage selon le diamètre Est Ouest du Canevas, en tenant compte du sens du pendage (fig. 50).

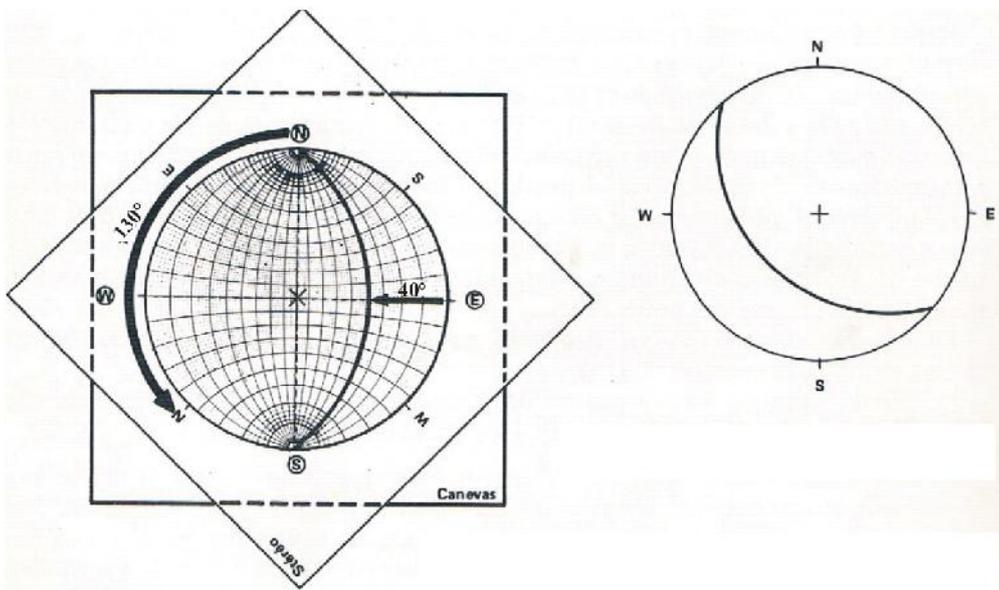


Figure 50. Construction de la trace cyclographique du plan $N130^\circ 40^\circ NE$, stéréogramme du plan (A droite de la figure)

c-Méthode de représentation d'une droite

Une droite (Axe de pli, strie, linéation, ..etc) est défini par son azimuth et son plongement (voir définitions paragraphe....). On fait tourner le stéréogramme de la valeur de l'azimuth et on mentionne sur le diamètre Nord –Sud du Canevas à partir du Nord du canevas la valeur du plongement variant de 0° à 90° (Fig. 51).

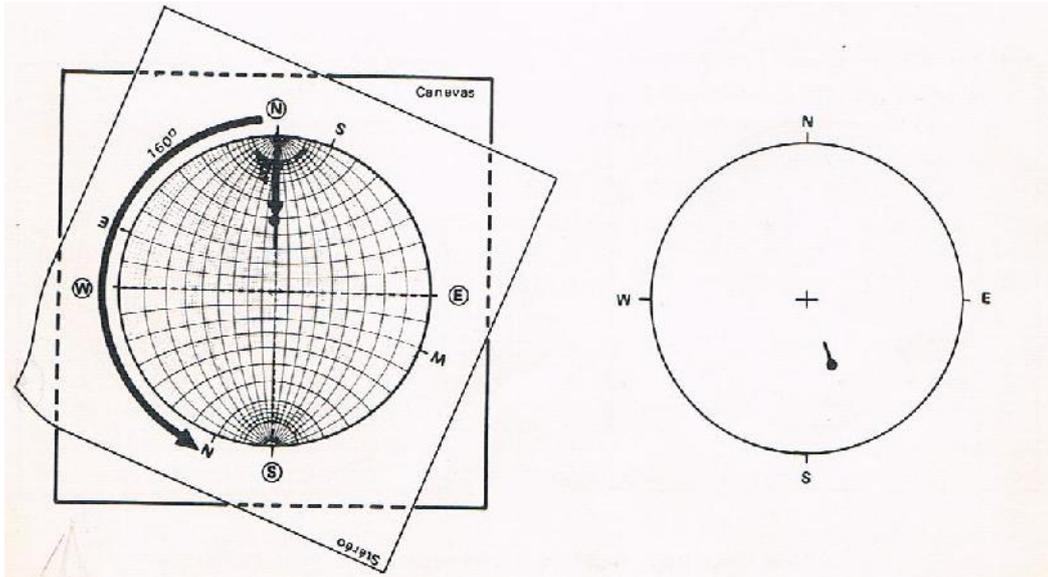


Figure 51. Construction de la trace cyclographique d'une droite, stéréogramme de la droite (A droite de la figure)

d- Représentation d'une droite portée par un plan

C'est le cas général d'un plan de faille strié, on doit alors mesurer les caractéristiques du plan de faille (direction, pendage et sens du pendage) et les caractéristiques de la strie. Cette dernière peut être défini par la valeur du pitch mesurée directement sur terrain à partir d'un rapporteur. La valeur du plongement est difficile à mesurer sur le terrain, on peut la restituer à partir de la projection stéréographique. Une fois, la trace cyclographique du plan de faille tracé, parallèle à un méridien, on compte la valeur du pitch en tenant compte du sens de plongement de la droite (figure). La valeur du plongement sera déduit par l'intersection de la droite avec le diamètre Nord-Sud du Canevas (Fig. 52).

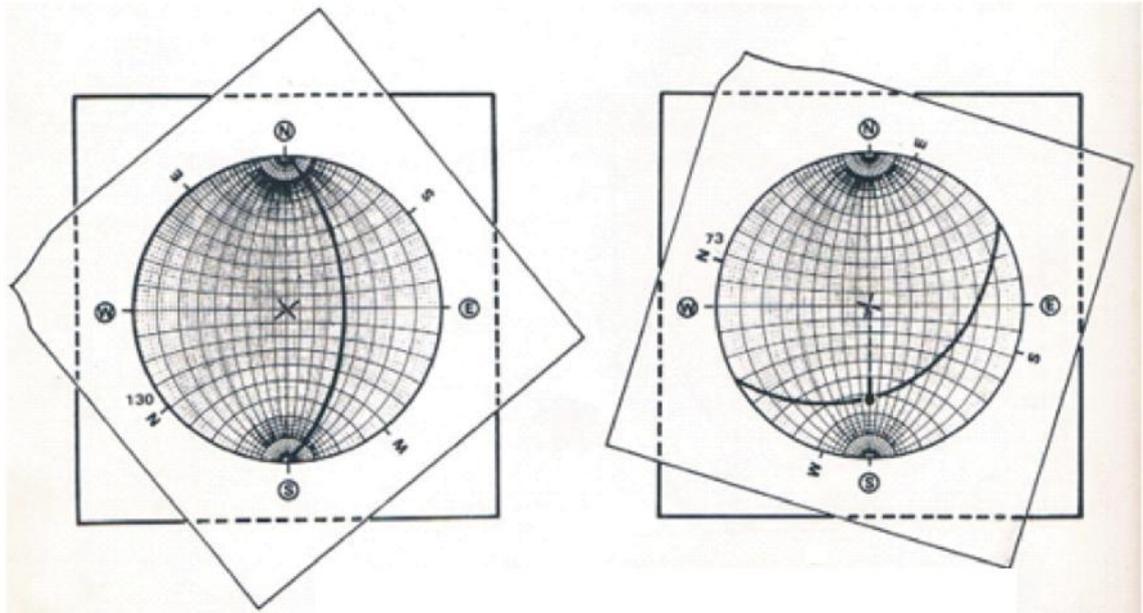


Figure 52. Construction d'une droite portée par un plan

e-Importance des mesures à partir de la projection stéréographique

On peut déduire les orientations des différentes contraintes à une époque géologique bien déterminée et restituer l'histoire du bassin sédimentaire. Les failles synsédimentaires restent la clé du décodage des mesures statistiques effectuées sur le terrain. Plus le nombre des mesures est grand (une centaine de mesures par station), plus les caractéristiques des mesures seront polarisées et plus justes, reflétant ainsi la dynamique du bassin.

4.2. Détermination du sens de déplacement d'une faille grâce aux tectoglyphes. Pour la lecture du sens de déplacement des différents tectoglyphes, voir tableau I.

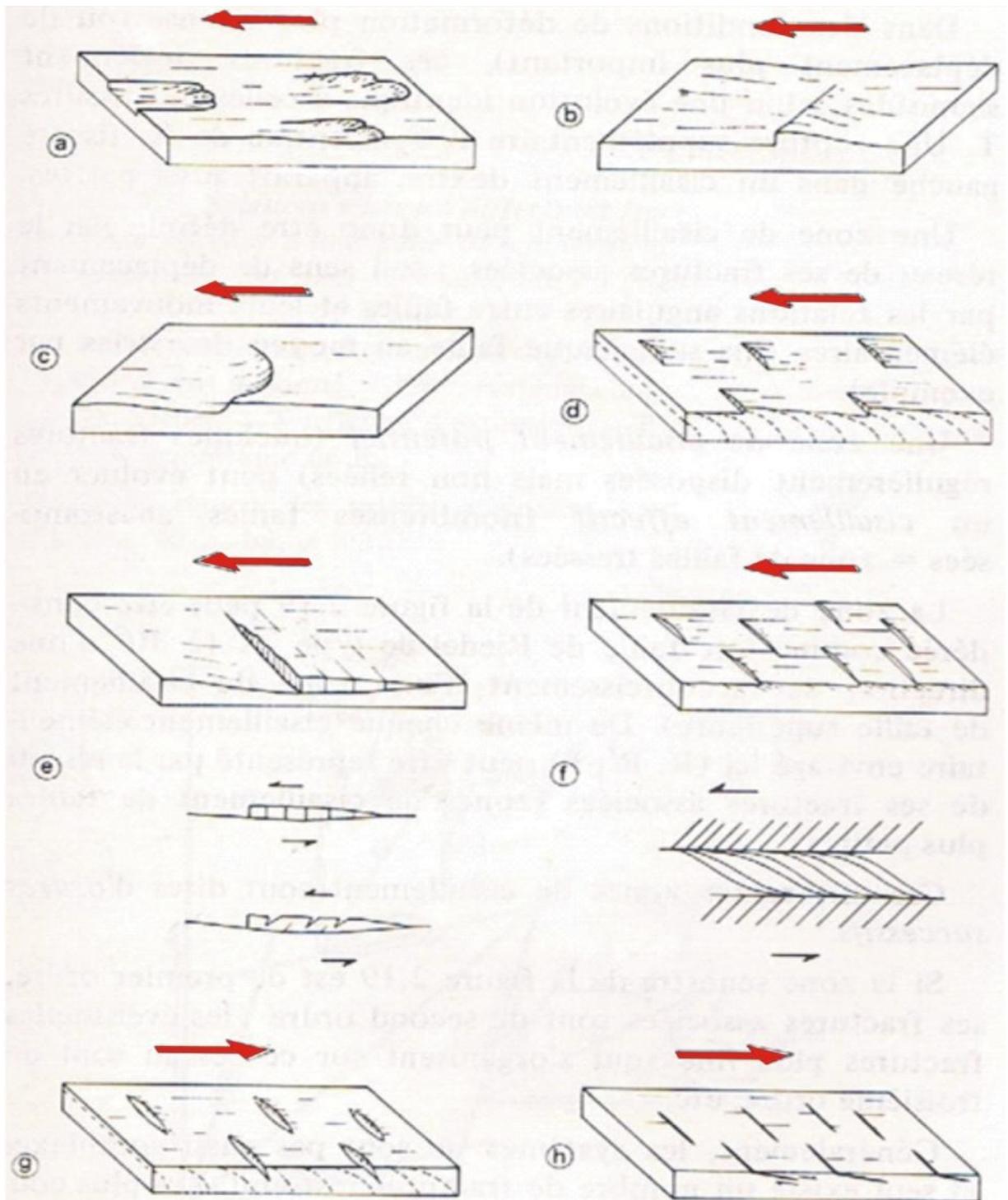


Figure 53. Les tectoglyphes. La grande flèche indique le sens de déplacement du bloc absent. Les lettres renvoient au tableau ci-dessous.

Tableau n° I. Lecture du sens de déplacement des différents tectoglyphes (Vialon, Ruhland et. Grolier (1976).

Tectoglyphes	Taille du marqueur	Aspect au toucher
1. Présence d'un élément striateur		
- L'élément provoque un arrachement	mm à cm	lisse
- L'élément s'enfonce dans la roche et reste bloqué	mm à cm	rugueux
- L'élément s'érode, perd du volume et devient plus fin	mm à cm	rugueux
2. Absence d'élément striateur individualisé		
a) Rainure. Niches d'arrachement très fines.	mm à cm	lisse
b) Gradin d'arrachement. Bouton (roches moutonnées en miniatures).	dm	lisse
c) Niche d'arrachement.	dm	lisse
d) Gradin de feuilletage. Torsion du plan de feuilletage de la roche et arrachement.	dm	lisse
e) Gradin de lentilles. Les lentilles de petits cisaillements secondaires de la roche ou de l'enduit (calcite, quartz...) du plan de friction sont coupées au cours du déplacement.	cm à dm	lisse ou rugueux
f) Ecailles. Elles se forment par laminage intense sur les lèvres de la faille, à partir de la roche ou de l'enduit du plan.	cm	lisse
g) Gradin de fente d'ouverture. Le déplacement a lieu dans un sens qui permet l'ouverture de fentes ou du plan de feuilletage de la roche.	cm	rugueux
h) Gradin de diaclases pennées. Intersection de la cassure avec des diaclases en échelon (de tension, de Riedel, etc).	cm	rugueux