

GEOLOGIE STRUCTURALE (3)

Robert Six

I. DISLOCATIONS TECTONIQUES

A. Types de dislocations tectoniques

Les **dislocations** ou **accidents tectoniques** se divisent en deux grands groupes :

- les **dislocations continues** ou par **plissement**. Dans ce cas, la déformation se fait sans heurts. Elle se traduit par la formation de flexure, de plis de diverses sortes et même de retournement des couches anciennement horizontales ;
- les **dislocations discontinues** ou **de rupture** dont nous parlerons dans un prochain cours

B. Modes de déformations

Ces deux types de **dislocations** résultent de la **déformation de la roche** soumise à des **contraintes externes**. De nombreux facteurs interviennent, et la relation entre l'état de contrainte et la déformation est complexe. A la suite d'expériences en laboratoire, un corps homogène et isotrope soumis à une pression anisotrope, ou orientée, dans des conditions physico-chimiques déterminées peut présenter trois modes de déformations :

- déformation élastique** réversible qui disparaît lorsque la contrainte s'arrête ;
- déformation plastique** qui apparaît à partir d'un certain seuil de plasticité ou limite d'élasticité. La déformation devient permanente et proportionnelle à la pression ;
- déformation cassante** lorsque le seuil de rupture est atteint. On passe à la dislocation discontinue.

C. Contrainte ou stress

Si l'on suppose un **corps solide** auquel on applique des **forces**, la **contrainte** ou le **stress** en un point quelconque de ce corps sera déterminé par le **rapport différentiel entre la force appliquée et la surface sur laquelle la force est appliquée**. On peut définir l'état de contrainte en un point si l'on connaît les trois pressions principales maximale, moyenne et minimale s'exerçant dans trois directions perpendiculaires de l'espace (la pression ne s'exerçant généralement pas perpendiculairement à la surface des roches, elle se décompose en trois vecteurs ; n'allons pas plus loin car cela nous entraînerait dans des considérations mathématiques complexes).

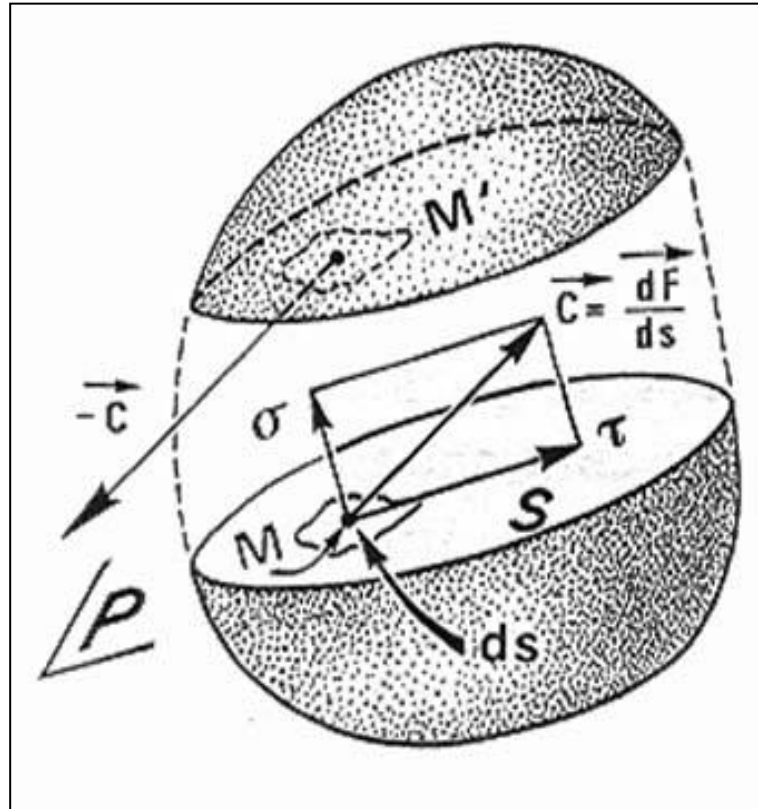


Fig. 1 – Contrainte.

Si on coupe un corps par un plan P qui y détermine une surface S, on met en évidence en tout point M une contrainte C à laquelle par réaction s'oppose une contrainte $-C$ (d'après A. FOUCAULT & J.-F. RAOULT)

D. Mécanismes de déformation (fig. 2)

Sur la base des données expérimentales des différents modes de déformation, on peut définir trois mécanismes élémentaires principaux de déformation des roches :

- **l'aplatissement** : dans ce cas, la **pression principale maximale** est la plus forte. Si l'on considère un cube, celui-ci sera transformé en parallélépipède rectangle, c'est-à-dire aplatissement grâce à la pression principale maximale et étirement parallèlement à la pression principale faible. Exemples : fossiles ou galets aplatis.
- **la flexion** : **déformation continue** des roches au cours de laquelle une strate est plissée de telle manière que son épaisseur mesurée perpendiculairement aux points de stratification reste constante. Cas des plis isopaques (parallèles ou concentriques).
- **le cisaillement** : **déformation par aplatissement et rotation**. Ainsi, un cube deviendra un parallélépipède dont les surfaces ne sont plus parallèles à celles du cube initial.

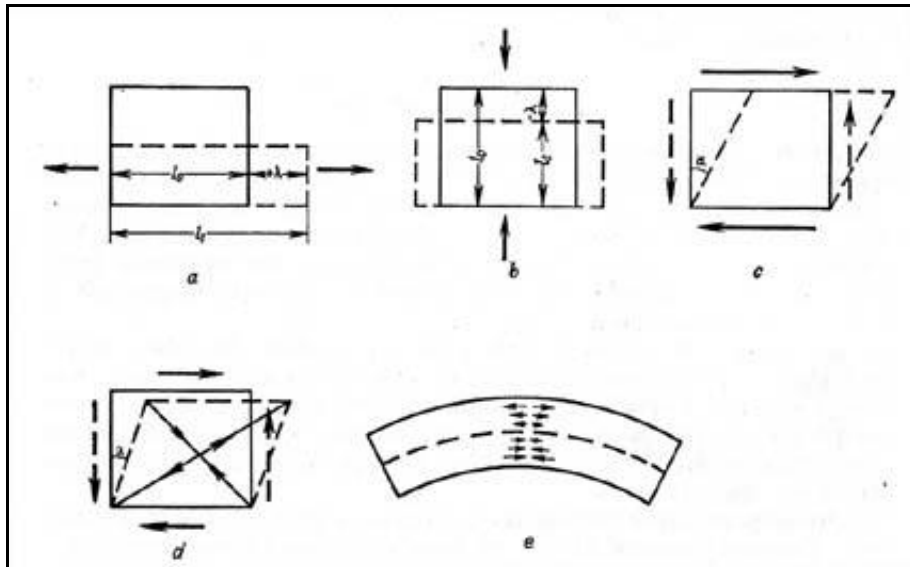


Fig. 2 – Charges et déformations élémentaires des corps solides
Déformations homogènes : a – extension ; b – compression ; c – décrochement simple ; d – décrochement pur (on a indiqué par des flèches les diagonales en extension et en compression). Déformation hétérogène : e – flexion. l_0 – longueur initiale ; l_1 – longueur finale ; $+\lambda$ et $-\lambda$ – allongement et raccourcissement absolus ; α – angle de décrochement ; les flèches en pointillé indiquent les forces qui empêchent la rotation du corps (d'après V. BELOUSSOV)

Ces trois mécanismes peuvent avoir lieu plus ou moins simultanément, donnant des **mécanismes complexes** ; **translations** (changement de position), **rotations** (changement de position), **sans déformation** (changement de forme).

II. DISLOCATIONS TECTONIQUES CONTINUES

A. Généralités

La **dimension** de ce type d'accident est **fort variable** : atteignant, pour certains bassins, **plusieurs centaines si pas milliers de kilomètres** de diamètre (Bassin parisien), ou **quelques centimètres** pour des plissements, en passant par des plis dont la largeur varie de **plusieurs kilomètres à quelques centaines de mètres**.

Ces différentes formes peuvent se superposer, traduisant des mouvements de nature différente (fig. 3).

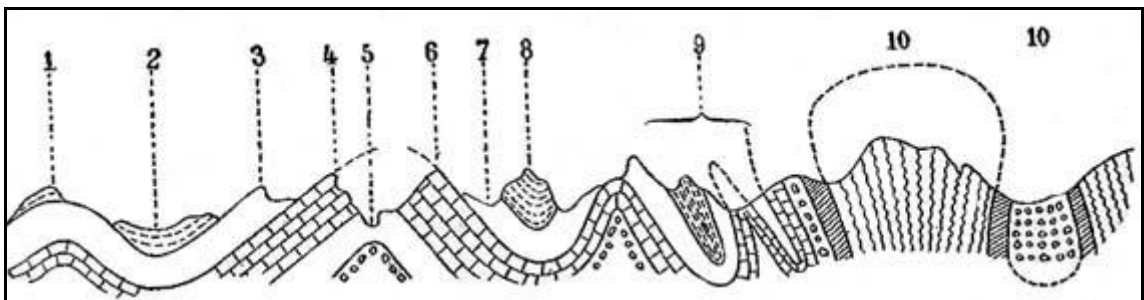


Fig. 3 – Types des structures de plissements dans le Jura et les Alpes (d'après M. HEIM)

1, crête anticlinale ; 2, vallée synclinale ; 3, crête isoclinale formant épaulement sur la voûte 4-6 ; 4-6, crêtes isoclinales opposées, formant les flanquements

d'une voûte rompue ; 5, vallée anticlinale (combe) ; 7, vallée isoclinale ; 8, crête synclinale ; 9, plis isoclinaux ; 10, plis en éventail.

Ces différents termes seront explicités dans la suite du texte.

B. Structures monoclinales

On appelle **structures monoclinales**, les formations géologiques dont les couches sont inclinées dans le même sens sur de vastes étendues et qui ne sont pas affectées par des plis couchés. C'est le cas des bordures des bassins sédimentaires.

Ainsi, à titre d'exemple, la structure circulaire du bassin parisien se termine vers l'est par une structure monoclinale inclinée E-W des Vosges jusqu'à la Champagne sèche (en passant d'W-E par la côte des Bars, la Meuse, la Moselle et la Lorraine, pour se terminer par une structure de type cuesta.

La figure suivante (fig. 4) donne une coupe N-W – S-E entre La Villeneuve-au-Chêne et Beurey en Champagne-Ardenne. On y remarque deux compartiments monoclinaux séparés par une faille géologique. L'inclinaison se fait du S-E au N-W vers le centre du Bassin parisien.

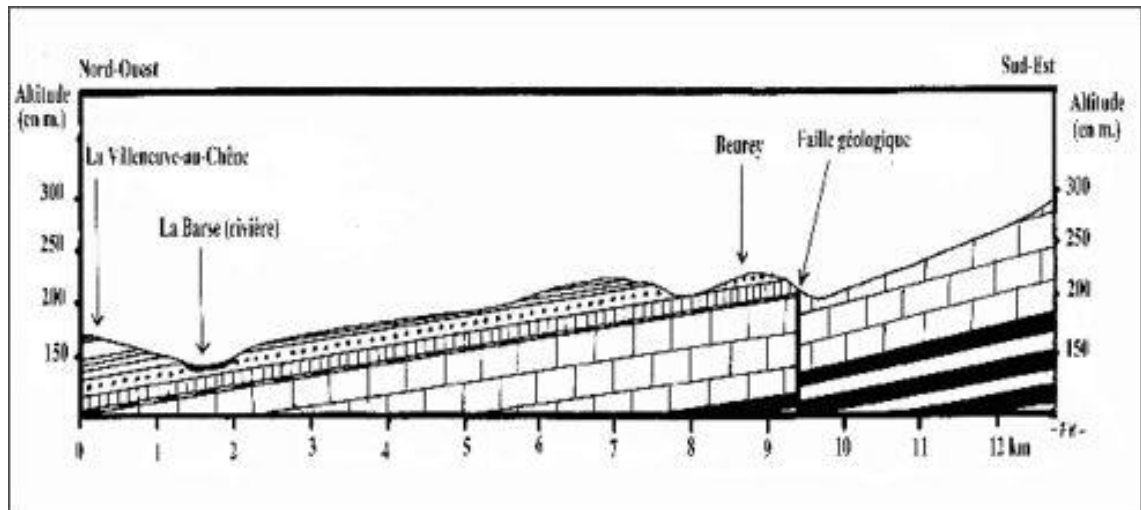


Fig. 4 – Coupe entre Villeneuve-au-Chêne et Beurey.

Un deuxième exemple est représenté par la coupe N-S à travers la Lorraine belge (fig. 5), où l'on voit bien la structure en cuesta.

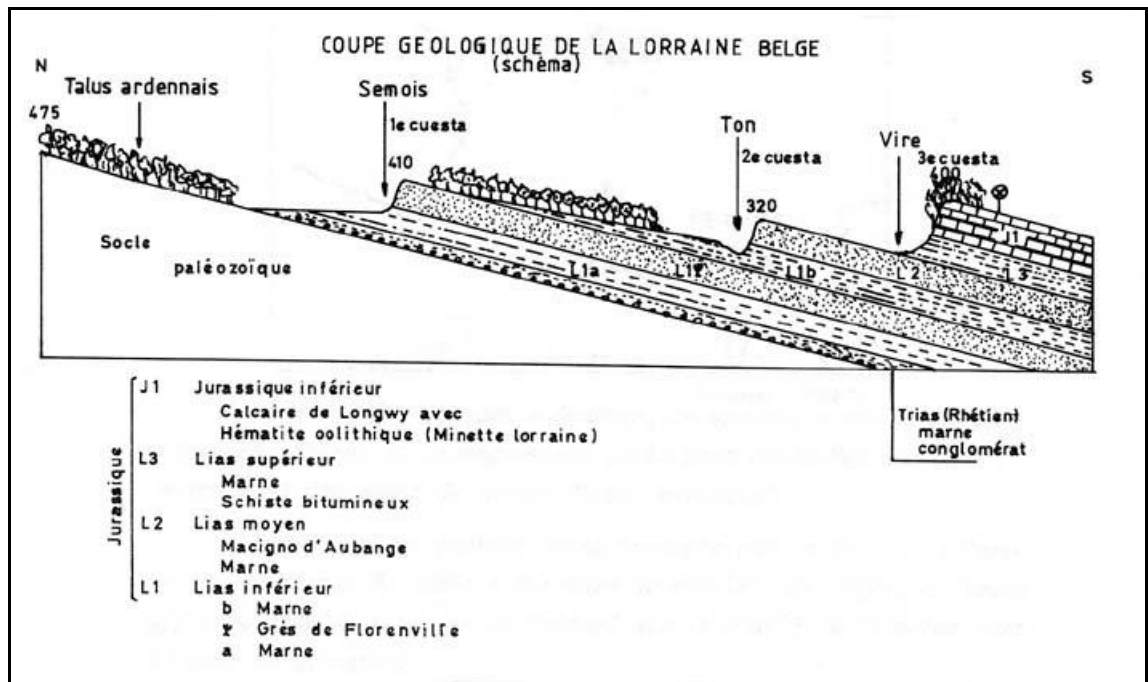


Fig. 5 – Coupe géologique de la Lorraine belge (d'après B. DUCARME).

C. Caractéristique d'une couche géologique

On peut, plus ou moins localement, assimiler une **surface géologique** à un plan défini par **deux paramètres** (fig. 6) :

- la **direction** (d) : c'est l'angle β que fait avec le nord une ligne horizontale (d), tracée dans le plan de stratification (P) de la couche. La direction d'un plan se mesure sur le terrain à la boussole, c'est-à-dire par rapport au nord magnétique. La valeur de cet angle **varie de 0° à 180°** .
- Le **pendage** (p) : c'est l'angle α entre le plan horizontal et la droite de plus grande pente (Lpp) du plan de stratification. La valeur de α varie **entre 0° et 90°** .

Lorsque l'on considère les couches qui constituent un ensemble monoclinale, on peut également déterminer la **puissance** (e) de celles-ci. La puissance est l'épaisseur mesurée entre les joints limites d'une couche.

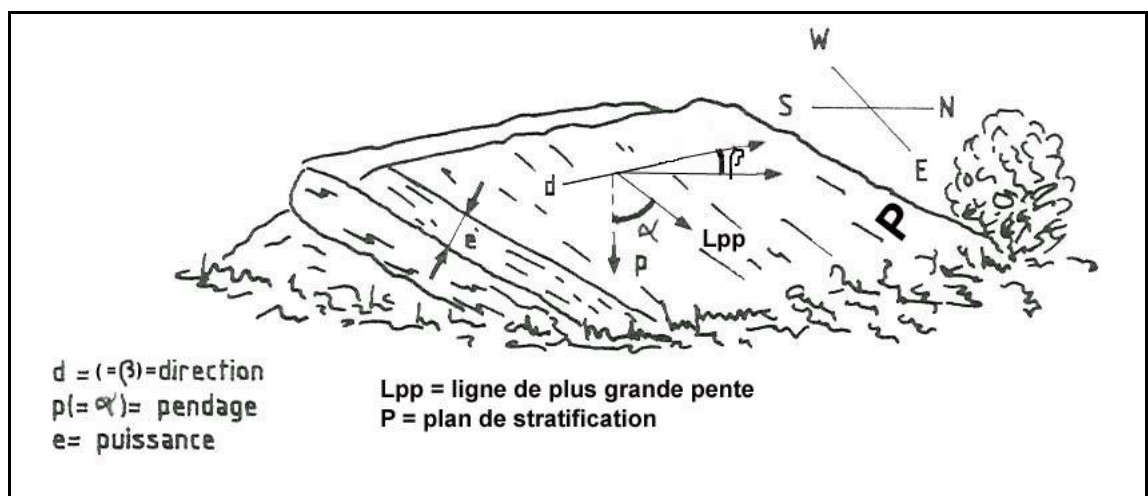


Fig. 6 – Caractéristique d'une couche de terrain (d'après B. DUCARME).

Ces notions sont importantes et peuvent être appliquées à n'importe quelle couche géologique. Elles permettent d'apporter des précisions lors de l'établissement d'une carte géologique.

E. Pli (du latin, *plicare*, plier)

a. Définition

Le **pli** est une **structure courbe** issue d'une **déformation ductile** des roches par **flexion** ou **torsion**. On ne peut mettre en évidence un pli que si l'on trouve dans le matériau qu'il affecte des éléments antérieurs à la déformation : stratification, schistosité, joint, etc.

Le cas le plus simple est le pli de roches sédimentaires dont la structure et les marqueurs sont planaires avant la déformation.

En toute rigueur, un pli correspond à un événement ou un épisode unique de déformation. Il est donc nécessaire, dans la mesure du possible, de séquencer les plis qui affectent un même matériau : plis replissés, plis superposés, etc.

b. Déformation à grand rayon de courbure

En suivant des **couches sédimentaires** sur de grandes étendues, on remarque souvent dans leur disposition des **affaissements** ou **dépressions** et des **bombements** ou **soulèvements**. Ce sont des **déformations à grand rayon de courbure** de l'ordre de **plusieurs kilomètres** si pas de **dizaines de kilomètres**. Ces accidents peuvent être repris dans la classification générale des plis.

c. Éléments d'un pli

Une **surface courbée** présente localement un **arc de cercle** d'un certain rayon. La **courbure de la surface** est l'**inverse du rayon**. En effet, plus la surface est proche d'un plan, plus la courbure est faible et le rayon associé grand.

Un pli dessinant une **courbe convexe vers le haut** est une **antiforme** ; si la **courbe est concave vers le haut**, elle est **synforme**. Ces termes sont uniquement descriptifs et ne permettent pas de définir la **polarité** des couches, c'est-à-dire de définir l'**emplacement des plus jeunes par rapport aux plus anciennes** (fig. 7 A).

Lorsque cette **polarité** est **connue**, c'est-à-dire lorsque l'on sait quels étaient les éléments les plus bas avant plissement, on distingue **deux cas** (fig. 7 B) :

- **l'anticlinal** : les éléments situés à l'intérieur de la courbe étaient les plus bas, à l'origine ;
- **le synclinal** : où la situation est inverse.

Un pli anticlinal présente les couches les plus anciennes au cœur du pli, tandis qu'un pli synclinal présente les couches les plus récentes en son centre.

Ainsi des plis dans des roches sédimentaires présentant des **critères de polarités** dans les strates peuvent souvent être interprétés en termes d'anticlinaux et de synclinaux. Cependant lorsque des plis affectent une **série renversée**, les **plis en voûtes** ont leur **cœur formé de couches plus récentes** et ceux **en gouttière** ont leur **cœur formé de couches plus anciennes** : ce seront respectivement des "**antiformes synclinaux**" et des "**synformes anticlinaux**"

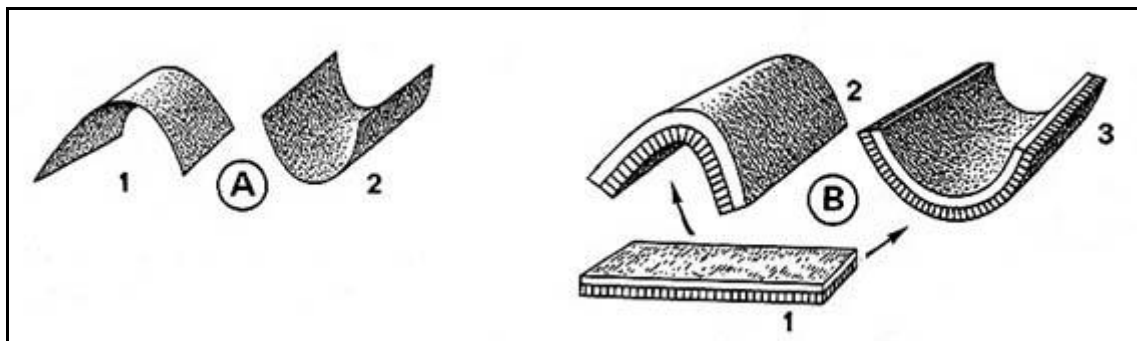


Fig. 7 – A. 1 : antiforme – 2 : synforme – B. couches non plissées (1) donnant un anticlinal (2) ou un synclinal (3) (d'après A. FOUCAULT & J.-F. RAOULT)

Afin de décrire la **forme des plis** et leur **disposition dans l'espace** on utilise différents **éléments géométriques** qui sont résumés dans la figure ci-dessous (fig. 8).

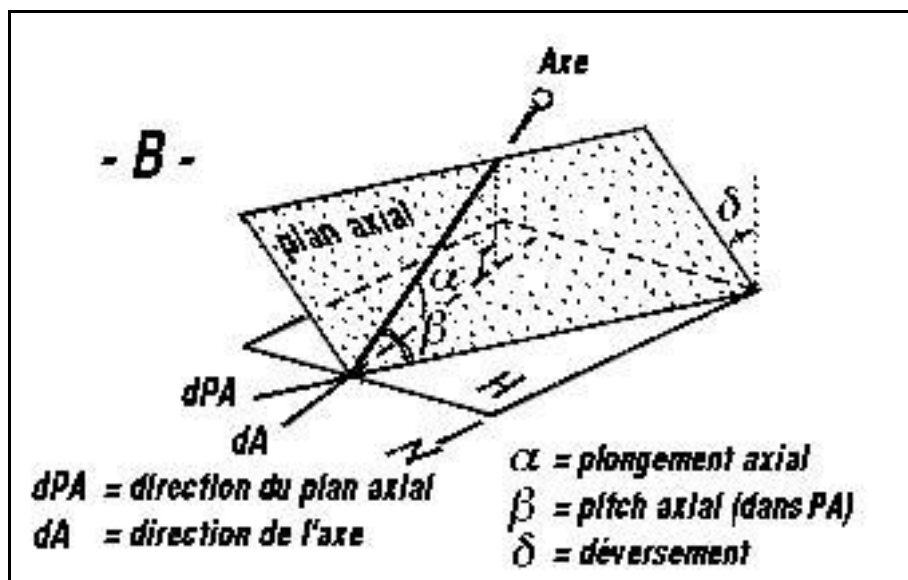


Fig. 8 – Eléments définissant la position de l'axe et du plan axial du pli, dans l'espace par rapport à un plan de référence horizontal et orienté par rapport au nord.

Un pli se définit par divers éléments (fig. 9) :

- la **charnière**, région où la **courbure** est **maximale** ;
- l'**axe**, ligne passant par le **milieu de la charnière**. Dans le cas d'un pli dans une série sédimentaire, les charnières de chaque couche définissent un **axe du pli** sur une coupe. En volume, ces axes définissent un **plan axial** du pli. Dans un pli, le sens de la courbure est donné par la direction de sa convexité

- les **flancs** situés de **part et d'autre de la charnière** sont les régions où la **courbure** est **minimale**. Lorsque les deux flancs sont inclinés dans le même sens, on appelle **flanc normal** celui qui, pour un anticlinal ou antiforme, est situé au-dessus de la surface axiale, et en-dessous de cette surface pour un synclinal ou synforme. L'autre flanc s'appelle **flanc inverse** ;
- l'**angle d'ouverture**, **angle dièdre** que l'on peut mesurer si les flancs sont assez plats. Le pli est ouvert si l'angle est très important, serré si l'angle est faible et isoclinal si ses flancs sont parallèles (fig. 10).

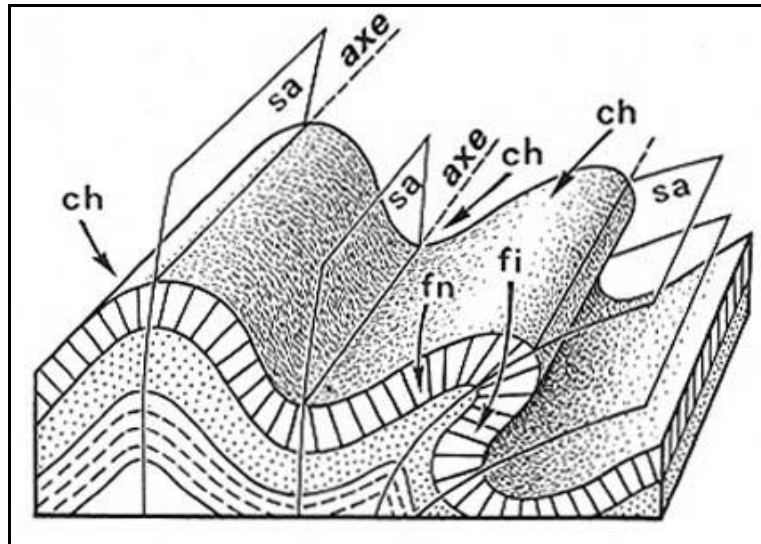


Fig. 9 – Plis affectant une série de couches, avec – ch : charnière – fn : flanc normal – fi : flanc inverse – sa : surface axiale passant par les axes des plis, qui définissent la direction de ceux-ci (d'après A. FOUCAULT & J.-F. RAOULT)

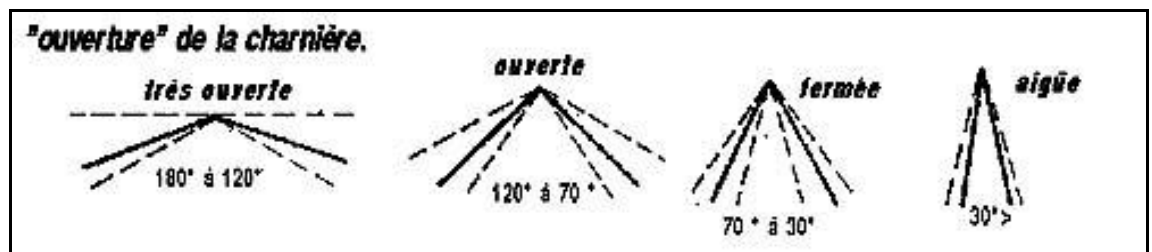


Fig. 10 – Angle d'ouverture d'un pli.

Dans le cas de **structures érodées** on définit également les éléments suivants (fig. 11) :

- la **direction** (ou direction axiale) qui est celle de l'**axe du pli** ;
- le **cœur**, partie du pli constitué par ses **couches les plus internes** ;
- l'**enveloppe**, **couches les plus externes** par opposition au cœur ;
- le **noyau**, désigne le **cœur** lorsque les roches qui le constituent ont des propriétés mécaniques différentes de celles des roches de l'enveloppe ;
- l'**arête**, ligne d'un pli qui relie les **points les plus hauts ou les plus bas** ;
- les **terminaisons périclinales**, **intersections des charnières** avec la surface topographique : terminaison **périanticlinal** pour les **anticlinaux** ; **périsynclinal** pour les **synclinaux**.

Une **disposition périclinale** des couches consiste en ce que d'un point d'observation au suivant, l'azimut du pendage d'une même couche tourne progressivement (vers la gauche ou vers la droite). Il en résulte que le tracé d'une couche donnée décrit, sur la surface topographique, une courbe qui correspond à la section, par l'érosion, de la voûte d'un pli (fig. 12).

Cette disposition résulte de ce que l'axe du pli est incliné. Le plus souvent cela correspond à des surfaces de couches affectées de **plis cylindriques** (c'est-à-dire à génératrices parallèles), qui s'enfoncent sous la surface du sol (pli "plongeant"). Il s'agit d'un anticlinal (périanticlinal) si les pendages sont divergents (pentes ayant le bas dans des directions opposées) et d'un synclinal (périsynclinal) si ceux-ci sont convergents.

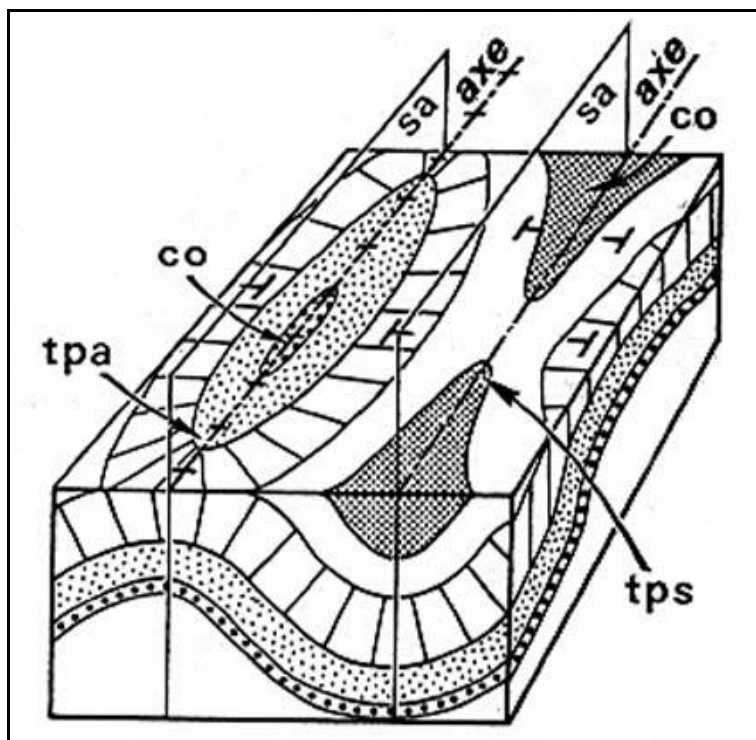


Fig. 11 – Bloc diagramme montrant des plis érodés dont les axes, dans cette acception, correspondent à l'intersection de la surface axiale (sa) et de la surface topographique – co : cœur des plis – tpa : terminaison périanticlinal – tps : terminaison périsynclinal.

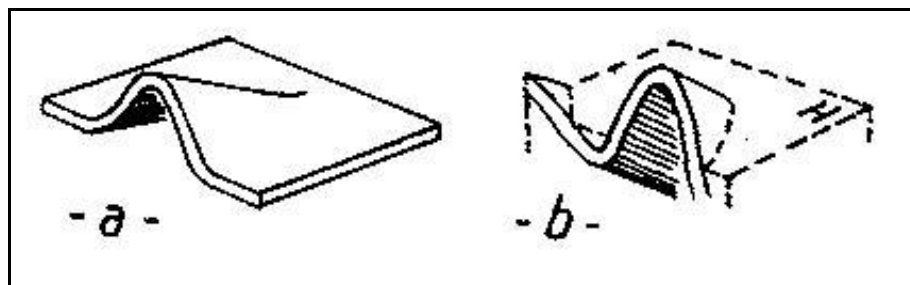


Fig. 12 – Les deux sortes de dispositions périclinales : a : terminaison conique d'une antiforme – b : ennoïement d'une antiforme cylindrique, sous la surface du sol, ici horizontal (H).

Cette disposition peut aussi correspondre à un **pli conique**, c'est-à-dire dont les flancs ont des génératrices convergentes vers un point, qui est l'endroit où se termine le pli. On parle donc de **terminaison périclinale** du

pli lorsque celui-ci dessine un périclinal du fait qu'il devient conique (alors qu'il montre ailleurs des flancs plus ou moins parallèles qui résultent d'une forme cylindrique et d'un axe à peu près horizontal).

Il n'est pas aisé de distinguer les périclinaux de simple **plongement axial** de ceux de terminaison conique (cela ne peut souvent se faire qu'à l'aide d'un report des mesures de pendage sur canevas stéréographique).

Plongement axial, ensellement, culmination

Il est rare que les plis aient des axes rectilignes et horizontaux, contrairement à ce que les schémas tendraient à faire croire.

Le **plongement axial** du pli (c'est-à-dire le pendage de son axe) amène souvent les **couches sectionnées par l'érosion** à dessiner à la surface du sol une **disposition périclinale** (Fig. 13).

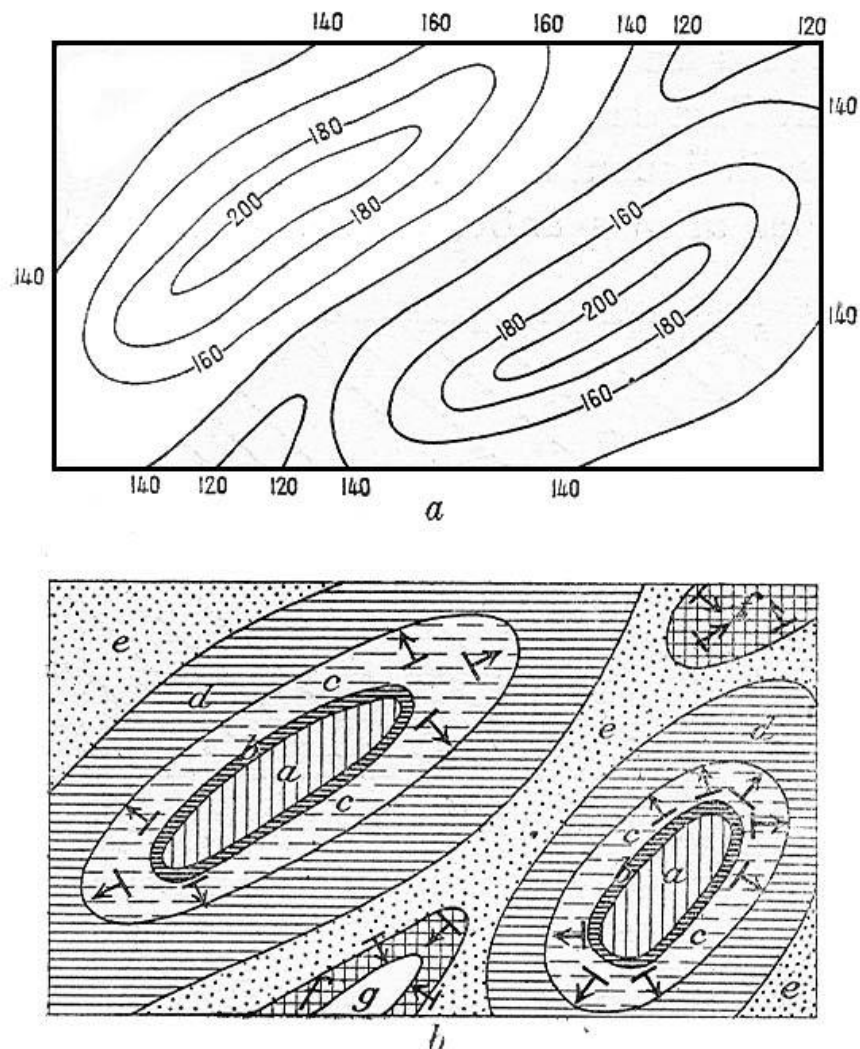


Fig. 13 – a : surface structurale d'une région de plis à terminaisons structurales – b : carte géologique de la même région supposée nivelée d'après E. HAUG)

Le **plongement axial** peut d'autre part **changer de sens**, ce qui aboutit soit à créer des points hauts ou **culminations** (bosses) du pli et des points bas ou **ensellements** (fig. 14)..

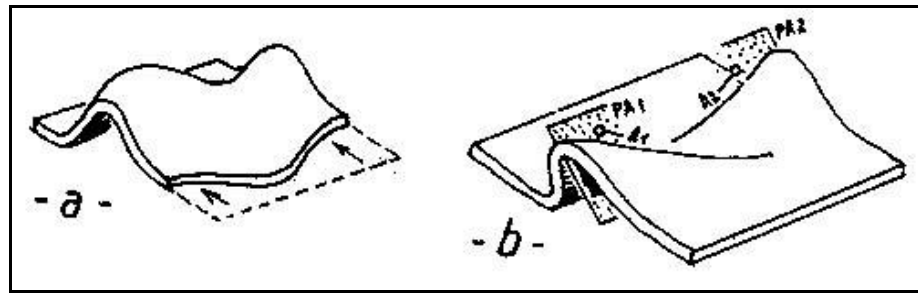


Fig. 14 – Culminations et relais formés en une seule étape de déformation :

a : culminations et relais dus à des variations du taux de raccourcissement responsable de la création d'une antiforme ;
 b : relais entre deux antiformes déversées. Dans ce cas les plans axiaux (PA1 et PA2) ne se prolongent pas comme en a, mais sont décalés. A1 et A2 sont des plis coniques.

La **cause du plongement axial** peut être due à, selon les cas :

- 1) lors du plissement, le **taux de raccourcissement** varie d'intensité d'un secteur à l'autre du pli (parallèlement à son axe). Dans ce cas, le pli a une **géométrie « conique »** ;
- 2) les **couches** sont **inclinaées avant plissement**, soit pour des **raisons sédimentaires** (litages obliques), soit par **basculement tectonique** (flanc du bloc basculé, ou pli plus ancien) ;
- 3) le **pli** a lui-même **basculé**, dans un sens ou dans l'autre, plus ou moins transversalement à son axe.

F. Classification des plis

La **complexité des formes plissées** entraîne une **classification descriptive** renvoyant à l'un ou l'autre des éléments du pli observé qui peut paraître fort lourde. Pourtant, les géologues ont classé les plis selon différents critères :

1) Selon l'inclinaison des flancs et de la surface axiale

Il s'agit d'une classification plutôt descriptive :

• **Cylindrique opposé à pli conique**

- **Pli cylindrique** : dont la surface peut être engendrée par une droite qui reste parallèle à une direction donnée et dont la forme de toute coupe se retrouve dans toute autre section (fig. 15).
- **Pli conique** : dont la surface peut être engendrée par une droite passant par un point donné.

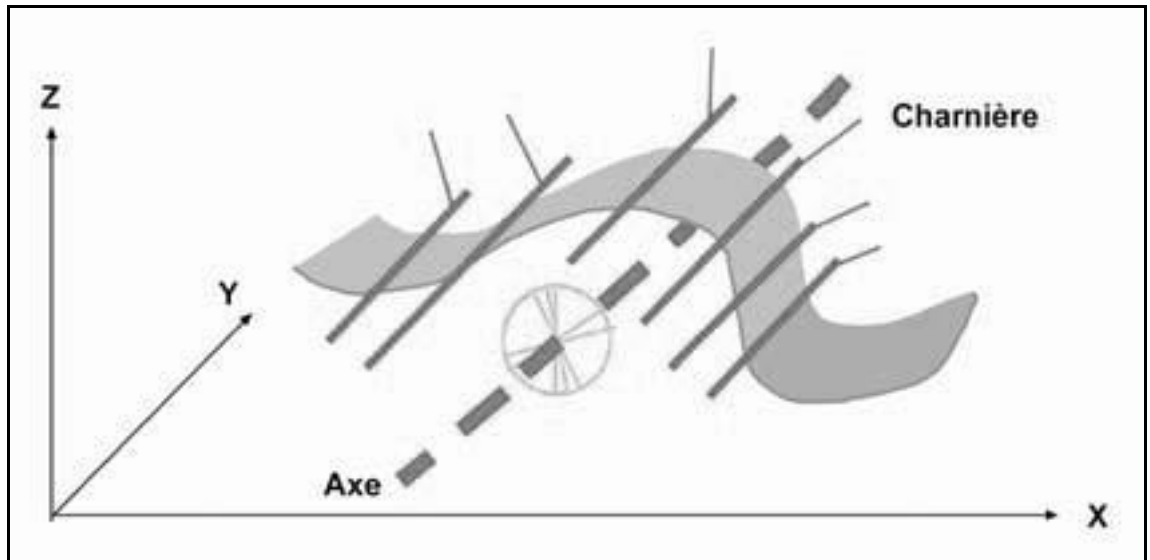


Fig. 15 – Schéma d'un pli cylindrique

- **Droit, déjeté ou couché**

Ce type de pli est déterminé par la **position de son plan axial** : vertical, oblique ou presque horizontal.

- **Pli droit** ou **symétrique** : **surface axiale verticale** (fig. 16-1). Les plissements que recoupe la Meuse entre Tailfer et Yvoir sont de ce type (Fig. 17)
- **Pli déjeté** ou **dissymétrique** : **surface axiale inclinée dans le sens de la poussée orogénique**, et pendage des flancs en sens opposé (fig. 16-2).
- **Pli déversé** ou **oblique** : **surface axiale inclinée** et **pendages des flancs**, tous trois **dans le même sens**. L'inclinaison du flanc le plus incliné ne dépasse pas 90° (fig. 16-3).
- **Pli couché** : **surface axiale** se rapprochant de l'**horizontal** (fig. 16-4).

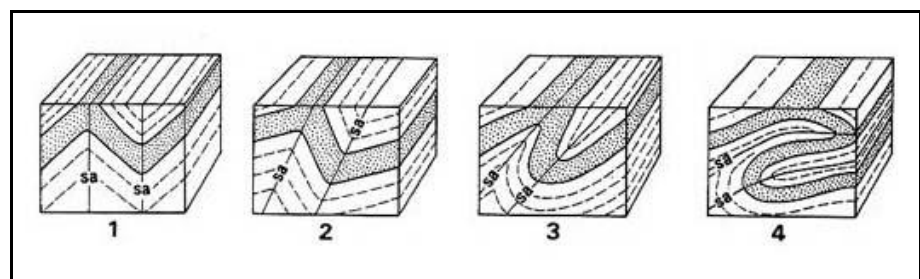


Fig. 16 – Différents types de plis selon l'inclinaison des flancs et de la surface axiale (sa : surface axiale) : - 1 : plis droits – 2 : plis déjetés – 3 : plis déversés – 4 : plis couchés (d'après A. FOUCAULT & J.-F. RAOULT)

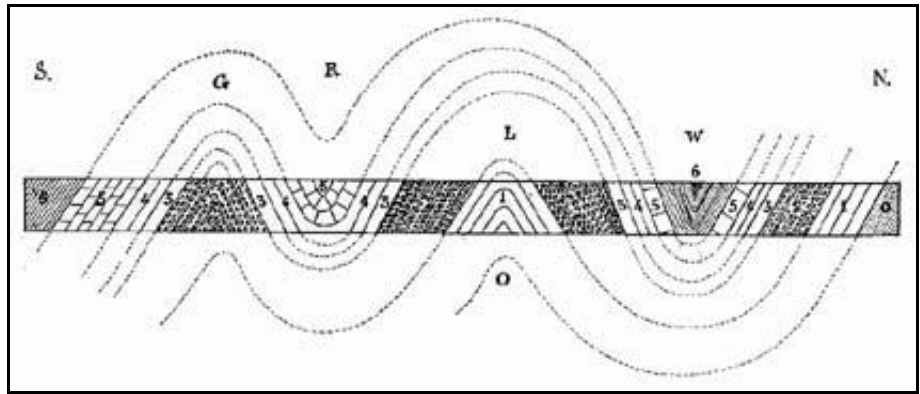


Fig. 17 – Plissement du Dévonien entre Tailfer et Yvoir (vallée de la Meuse). G : anticlinal de Godinne – R : synclinal de Rivière – L : anticlinal de Lustin – W : synclinal de Walgrappe (d'après J. CORNET).

- **Ouvert, serré ou isoclinal**

Un pli est **ouvert** si l'angle entre ses flancs est très important, **serré** si l'angle est faible et **isoclinal** si ses flancs sont parallèles.

- **Pli retourné ou renversé :**

Pli dont la **charnière** est **fermée** vers le bas pour un anticlinal, vers le haut pour un synclinal, de sorte que le premier dessine un synforme (ou faux-anticlinal) et le second un antiforme (ou faux-synclinal) (fig. 18-1).

- **Pli en genou ou en chaise**

Pli déjeté dont un **flanc** est **subhorizontal** (fig. 18-3) ;

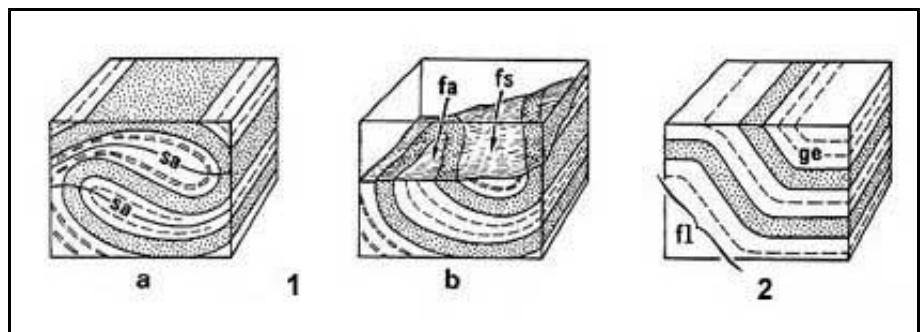


Fig. 18 - Différents types de plis selon l'inclinaison des flancs et de la surface axiale (sa : surface axiale) : - 1 : plis renversés, a : avant érosion, b : après érosion, on y observe un faux anticlinal (fa) et un faux synclinal (fs) – 2 : pli en genou (ge) et flexure (fl) (d'après A. FOUCAULT & J.-F. RAOULT)

2) Selon leur forme

- **Flexure ou pli monoclinal** (fig. 18-2 et fig.19)

Lorsque deux **compartiments monoclinaux** se trouvent à des niveaux différents et qu'ils sont raccordés entre eux par un **pli en double genou** de pendage plus accentué, nous avons affaire à une **flexure**. Dans ce cas, les deux ensembles monoclinaux sont reliés par un **flanc de raccordement**.

La flexure se caractérise par le pendage des conches dans les trois flancs, le rejet vertical et les dimensions (largeur) du flanc de raccordement.

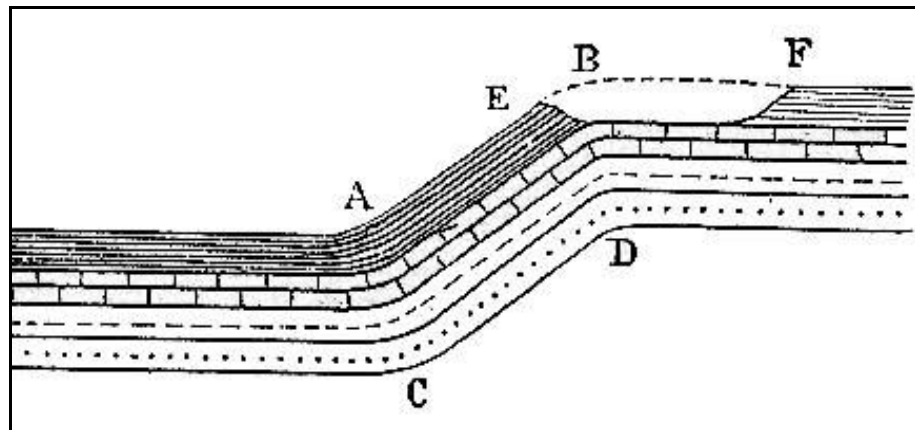


Fig. 19 – Pli monoclinal (d'après A. de LAPPARENT) – La zone A-E, C-D correspond au flanc de raccordement. B-F représente une partie de la couche supérieure érodée si qui peut faire croire à une discordance entre la couche AE et la couche sous-jacente mise à découvert.

Le schéma suivant (fig. 20) donne un exemple de flexure à grande échelle.

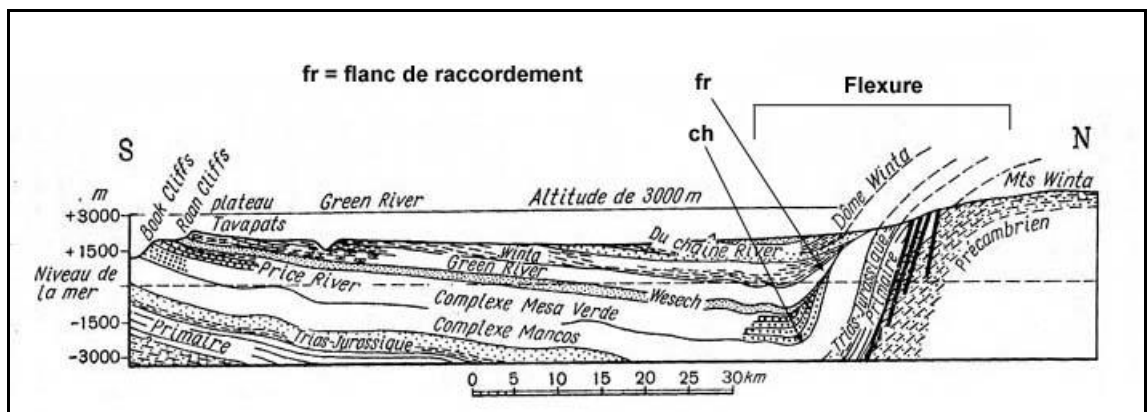


Fig. 20 – Flexure dans les Montagnes rocheuses, Etats-Unis (d'après A. EARDLEY). La flexure a affecté des sédiments primaires et secondaires. Dans les roches précambriennes la flexure passe à des failles.

Les flexures peuvent s'échelonner en se suivant les unes les autres. On parle dans ce cas de **flexures « en échelons »** ou **en « cascades »** si elles sont toutes tournées dans le même sens.

- **Pli coffré** (fig. 21-1)
C'est un pli un peu particulier dans lequel on peut définir **deux charnières** et **deux surfaces axiales** ou encore le considérer comme une association de deux plis en genou. En fait, il présente des flancs plus ou moins verticaux, et où le sommet des anticlinaux ou le fond des synclinaux sont pratiquement horizontaux.
- **Pli en éventail** (fig. 21-2)
Les flancs, après s'être écartés de la charnière, se resserrent avant de s'écarter à nouveau. Un pli en éventail, symétrique par rapport à un axe

vertical est suivant le cas un synclinal en **blague-à-tabac** (fig. 21-3- ou un anticlinal en champignon (ce dernier cas est très rare).

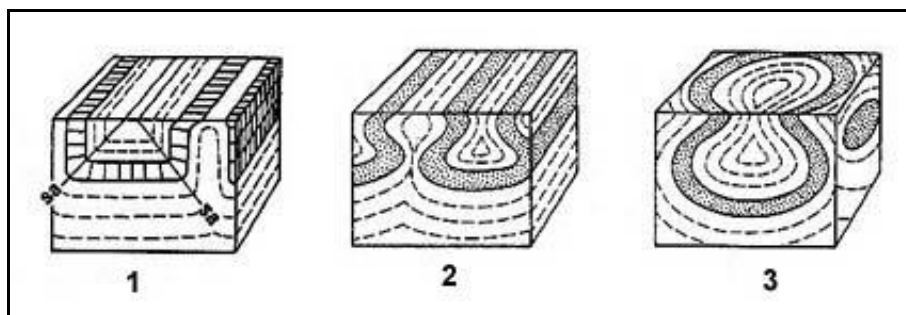


Fig. 21 – Plis selon leur forme : - 1 : plis coffrés – 2 : pli en éventail – 3 : pli en blague-à-tabac (d'après A. FOUCAULT & J.-F. RAOULT)

- **Pli-faille**

Pli déversé ou couché sont le **flanc inverse** a été laminé (fig. 22-1 et 23)).

- **Pli en chevrons**

Plis à **charnière anguleuse et à flancs plats**. Ces plis sont de petites tailles et leur courbure est concentrée sur une petite partie du pli (fig. 22-3).

- **Pli à noyau perçant**

Pli dont les couches situées au cœur ont traversées les couches les plus externes (fig. 22-2)

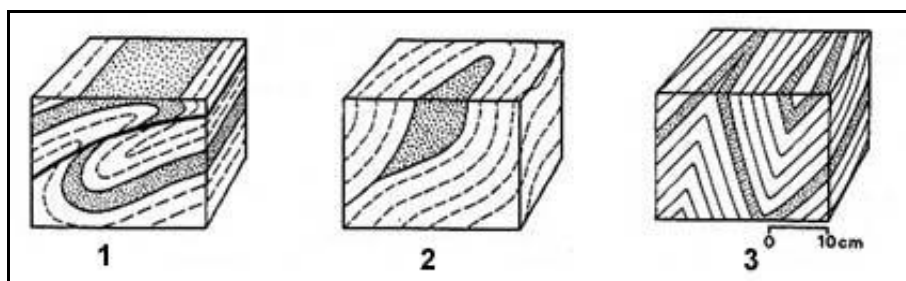


Fig. 22 – Plis selon leur forme : - 1 : pli-faille – 2 : pli à noyau perçant – 3 : plis en chevron (d'après A. FOUCAULT & J.-F. RAOULT)

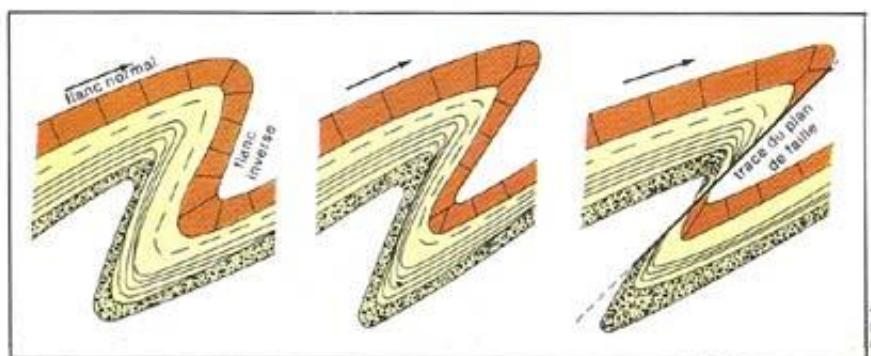


Fig. 23 – Représentation schématique de la formation d'un pli-faille : de gauche à droite, on peut observer l'étirement progressif et l'amincissement du flanc inverse jusqu'à sa disparition, le flanc normal

se superpose alors directement sur le synclinal sous-jacent. Les flèches indiquent la direction des poussées qui sont à l'origine du mouvement.

- **Pli en forme de selle**

Basculement dû à une seconde étape de déformation (fig. 24). Ce **basculement synforme** peut être obtenu lorsque le pli initial est repley par une antiforme transverse (fig. 24-a) ou lorsqu'il reploie une antiforme transverse (fig. 24-b).

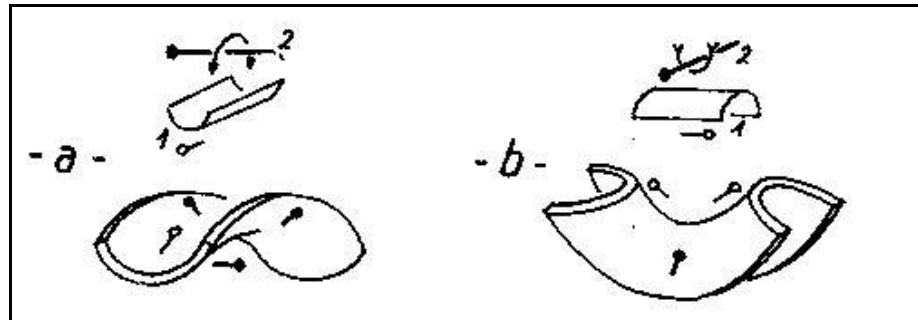


Fig. 24 – Basculements dus à une seconde étape de déformation (plis en forme de selle)

a = synforme (axe 1) repleyée par une antiforme transverse (axe 2) ;
b = synforme (axe 2) repleyant une antiforme transverse (axe 1).
Noter la très grande variabilité ("dispersion") des valeurs des plongements axiaux, tant sur les axes 1 (ronds blancs) que sur les axes 2 (ronds noirs).

Noter aussi que l'on ne peut pas déterminer si l'on a affaire au cas a ou b sur la simple géométrie résultante, car il y a de grandes similitudes d'aspect entre le résultat final de a et b, malgré une chronologie inverse.

- **Brachyanticlinal** et **brachysynclinal** (du grec *brakhus*, court)

Plis dont la section par un plan horizontal n'est guère plus longue que large.

- **Dôme** : en tectonique, **antiforme brachyanticlinal** à peu près symétrique par rapport à un axe vertical. S'applique généralement au socle cristallin qui forme un anticlinal de grande taille et de faible courbure (fig. 25-1).
- **Pli en cuvette** ou **bassin** : c'est l'homologue du dôme mais en creux, c'est-à-dire un **synforme brachysynclinal** dont la section par un plan horizontal est pratiquement circulaire fig. 25-2).

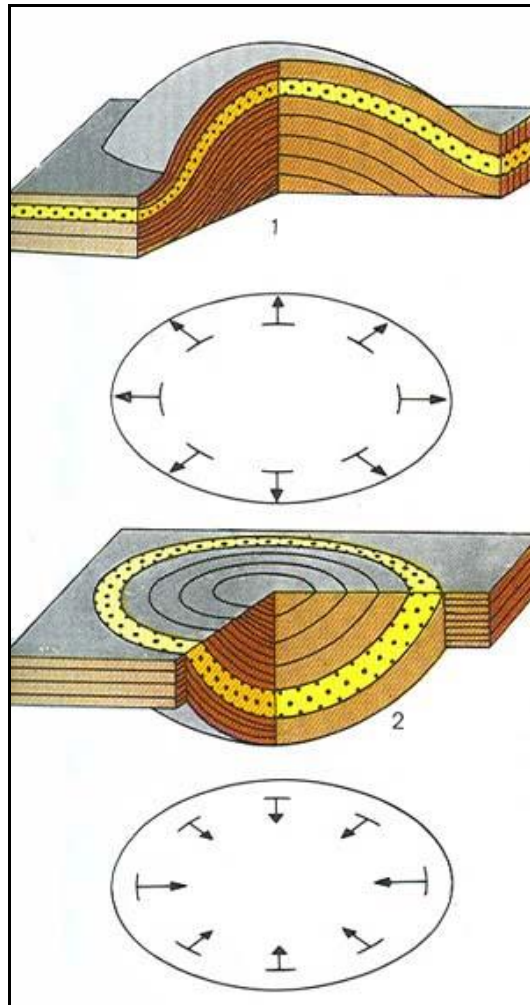


Fig. 25 – représentation schématique en coupe et en plan d'un brachyanticlinal ou dôme (1) et d'un brachysynclinal ou cuvette (2).

3) Selon le type de déformation

- Pli isopaque ou isopache** (fig. 26-1)
 Pli où l'épaisseur des couches reste constante dans tout le pli dont la forme varie du cœur à l'enveloppe.
 Un **pli isopaque** est dit **parallèle** si les épaisseurs des couches sédimentaires sont constantes quelle que soit l'orientation locale de la couche.
 Un groupe d'arcs de cercle sont dits **concentriques** s'ils se rapportent tous au même centre. 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. De part et d'autre du plan axial, 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 (fig. 26-3)
- Pli anisopaque ou anisopache**
 Pli où l'épaisseur des couches varie.
 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 (fig.26-2)

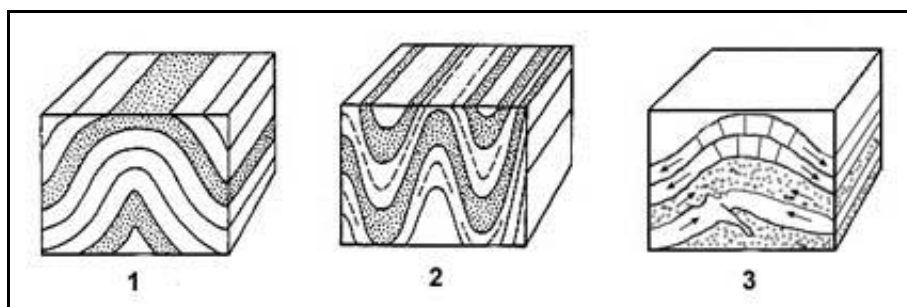


Fig. 26 – Plis selon le type de déformation. – 1 : plis isopaques – 2 : plis semblables – 3 : plis concentriques (d'après A. FOUCAULT & J.-F. RAOULT)

4) Selon leur genèse

- **Pli d'entraînement**

Pli **déversé** ou **couché** s'expliquant par le mouvement différentiel des terrains situés au toit et au mur. En d'autres mots, pli provoqué par un cisaillement simple.

- **Pli de fond**

Pli à **grand rayon de courbure** affectant un vieux socle et sa couverture. Dans ce type de déformation, c'est la masse continentale elle-même qui plie.

- **Pli de couverture ou tectonique de couverture**

Ensemble des déformations subies par une couverture sédimentaire qui s'est dissociée de son substratum (le socle). Le décollement des deux entités se fait généralement à la faveur de niveaux plastiques (couche-savon).

- **Pli de revêtement ou tectonique de revêtement**

Ensembles des structures affectant une couverture sédimentaire qui s'adapte souplement aux déformations du socle sous-jacent, plissé et fracturé, en ne s'en désolidarisant pas.

- **Pli synsédimentaire**

Se produit pendant la sédimentation ou dans un dépôt juste déposé comme le phénomène de « slumping » déjà étudié.

5) Selon leurs associations

- **Plis isoclinaux**

Plis **déversés** ou **couchés** dont tous les **flancs** ont le **même pendage** (fig. 27-1).

- **Anticlinorium ou synclinorium**

Vaste pli anticlinal ou synclinal affecté de plis parallèles à plus faible rayon de courbure. On utilise ces termes pour des structures à grande échelle : plusieurs dizaines ou de centaines de kilomètres) (fig. 27-2). Exemples : le synclinorium de Dinant, de Namur.

- **Plis en échelons ou en coulisse**
Plis parallèles les uns aux autres mais décalés selon leur allongement, toujours dans le même sens (fig. 27-3).
- **Pli en retour**
Pli déversé en sens contraire d'un pli plus important affectant le même matériel.
- **Kink-band**
Association de plis en chevrons affectant un volume de terrains compris entre deux plans parallèles distants de quelques millimètres à quelques décimètres ou formant une lentille allongée (fig. 27-5).

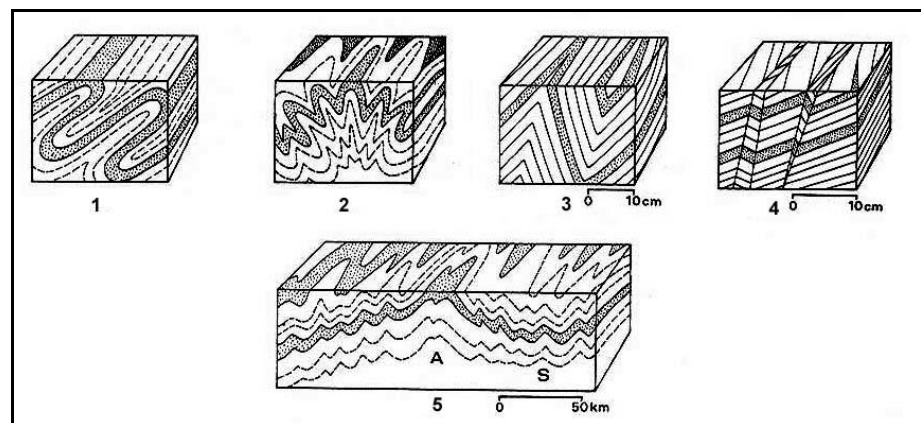


Fig. 27 – Plis selon leurs associations – 1 : plis isoclinaux – 2 : pli en éventail – 3 : plis en chevron – 4 : kink-band – 5 : anticlinorium (A), synclinorium (S) (d'après A. FOUCAULT & J.-F. RAOULT)

- **Plis superposés**
Deux ou plusieurs séries de plis peuvent se superposer à la suite de phases de déformation successives dans le temps. Si la direction de la poussée orogénique est exactement la même dans les deux phases de plissement, les deux systèmes de plissement se superposent exactement (fig. 28).
Par contre, si la nouvelle poussée est oblique par rapport à celle qui a donné naissance aux premiers plissements, les deux systèmes ne coïncideront plus ; tantôt les directions se confondent, tantôt elles se coupent et les deux systèmes peuvent se raccorder par deux accidents appartenant à l'un et l'autre système (plis-failles)

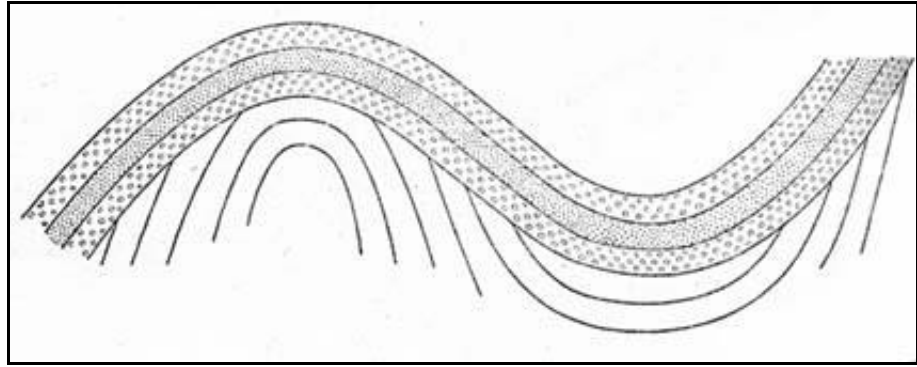
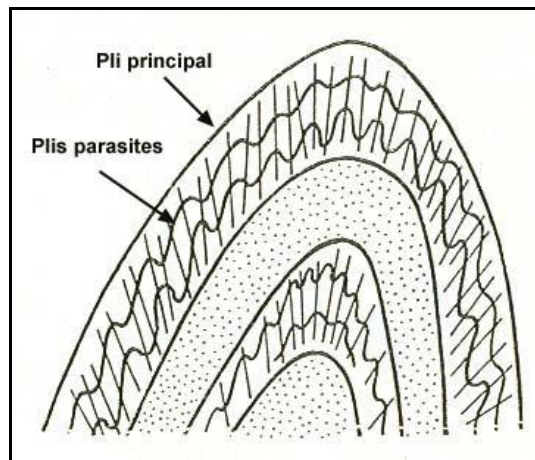


Fig. 28 – Superposition de deux système de plis d'âge différent, la direction de la poussée restant la même dans les deux phases orogéniques (d'après E. HAUG)

- **Principal ou parasite**



Un pli est dit **parasitaire** s'il déforme le flanc d'un autre pli, qui sera dit **principal** (fig. 29). Ces plis parasites affectent des lits plus minces et plus plastiques que les bancs compétents qui dessinent le pli principal. Une schistosité locale peut se développer conformément au plan axial de ces plis parasites.

Fig. 29 – Plis parasites (d'après P. COLLOMB).

6) Selon leur structure

- **Motif structural en "carton à oeufs" :**
Structure obtenue par l'entrecroisement de deux familles de plis formées à des étapes successives (fig. 30).

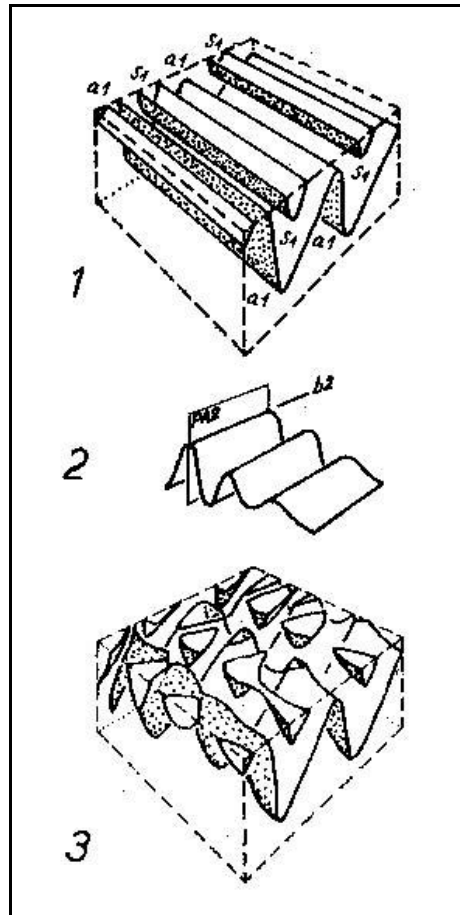


Fig. 30 Etapes de mise en place de la structure en "carton d'œufs"
 1 = Plis de la première étape (a_1 = antiforme ; s_1 = synforme) : on a les a figuré tranchés par une surface horizontale pour montrer le parallélisme des tracés des couches sur la surface topographique.

2 = thème du plissement de deuxième étape (b_2 = direction axiale des plis, choisie ici orthogonale à celle de la première étape ; PA2 = attitude des plans axiaux, choisie ici verticale) On a représenté des plis d'amplitude décroissante et de longueur d'onde croissante, de la gauche vers la droite

3 = plis en dômes et en cuvette : la section horizontale montre le dessin capricieux du tracé des couches sur la surface topographique.

- **dôme structural, cuvette structurale**

L'entrecroisement de deux familles de plis superposées, l'une créée postérieurement à l'autre, aboutit à la formation de **dômes structuraux** (ou "brachy-anticlinaux"), qui correspondent à l'entrecroisement de deux anticlinaux, et de **cuvettes structurales** (ou "brachy-synclinaux"), qui correspondent à l'entrecroisement de deux synclinaux (fig. 31).

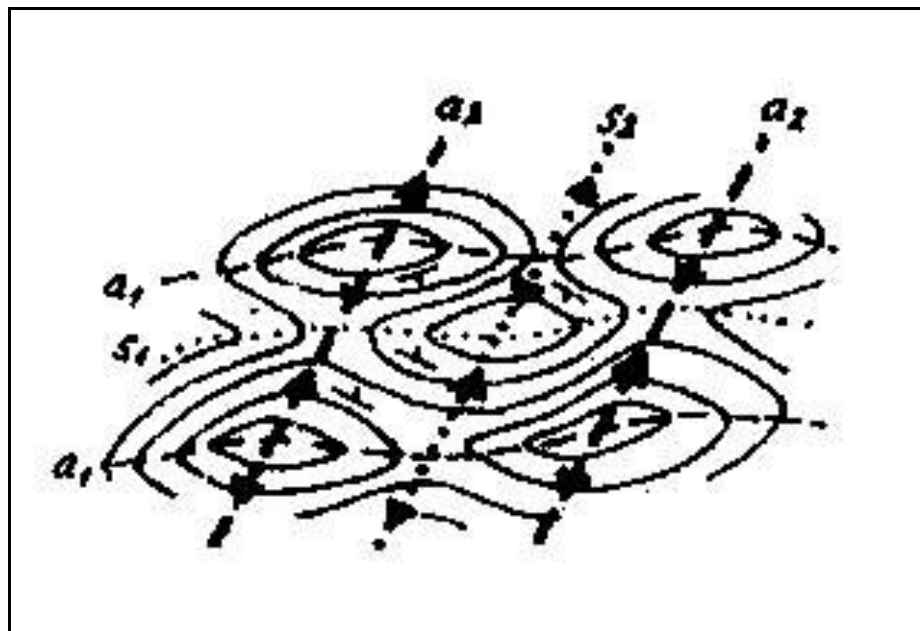


Fig. 31 - Aspect cartographique des limites de strates dans le cas de plissements entrecroisés

Les dômes se situent à la rencontre des a1 et des a2 ; les cuvettes à la rencontre des s1 et des s2 (observer les signes conventionnels indiquant le sens du pendage)

- **Structure en éventail**

Groupement de plis qui se déversent de plus en plus vers l'extérieur du dispositif lorsque l'on s'éloigne du centre. Lorsque dans une chaîne de montagne, le déversement des plis s'effectue en sens inverse de part et d'autre d'un axe médian, la chaîne est dite en **éventail composé** (fig. 32). Dans des cas beaucoup plus rares, le déversement a lieu de part et d'autre vers un axe de symétrie, on parle d'**éventail composé inverse** (fig. 33).

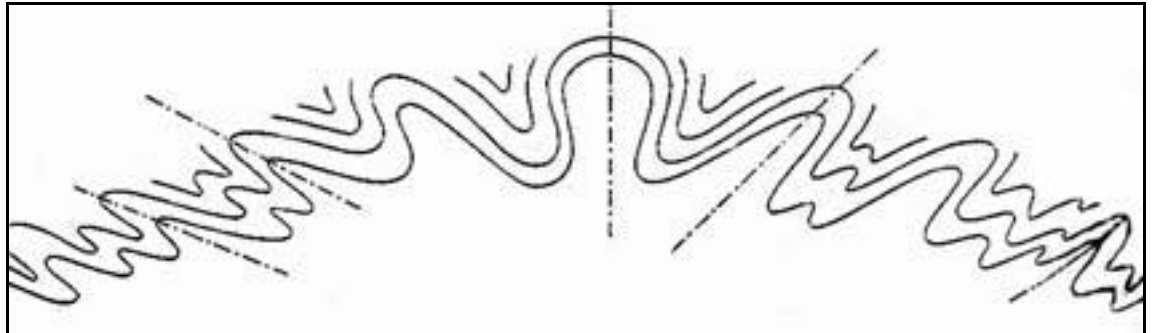


Fig. 32 – Eventail composé (d'après E. DE MARGERIE & A. HEIN).

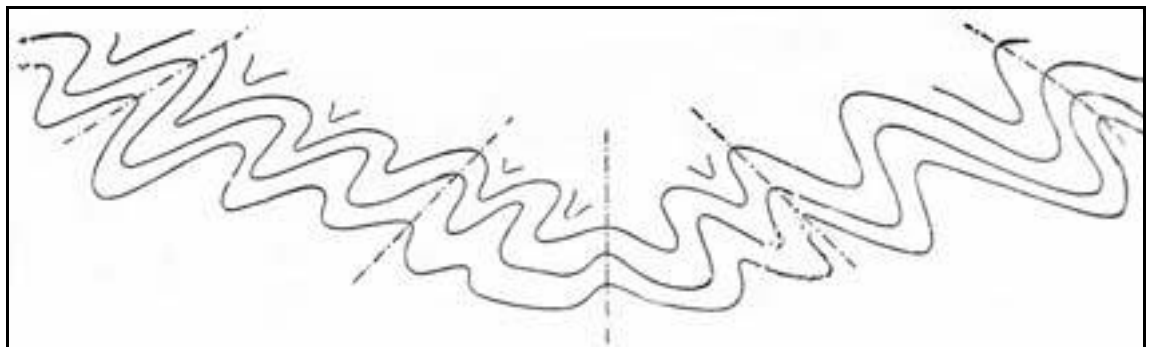


Fig. 33 – Eventail composé inverse (d'après E. DE MARGERIE & A. HEIN).

- **Plis diapirs :**

Résultent de l'intervention de forces tectoniques dans une structure salifère. Le sel soumis localement à une forte pression s'échappe le long d'une fissure, d'une faille de chevauchement ou perce un anticlinal. Les diapirs se présentent en lames discontinues ou en colonnes elliptiques ou circulaires recoupant à l'emporte-pièce les terrains sus-jacents (fig. 34)

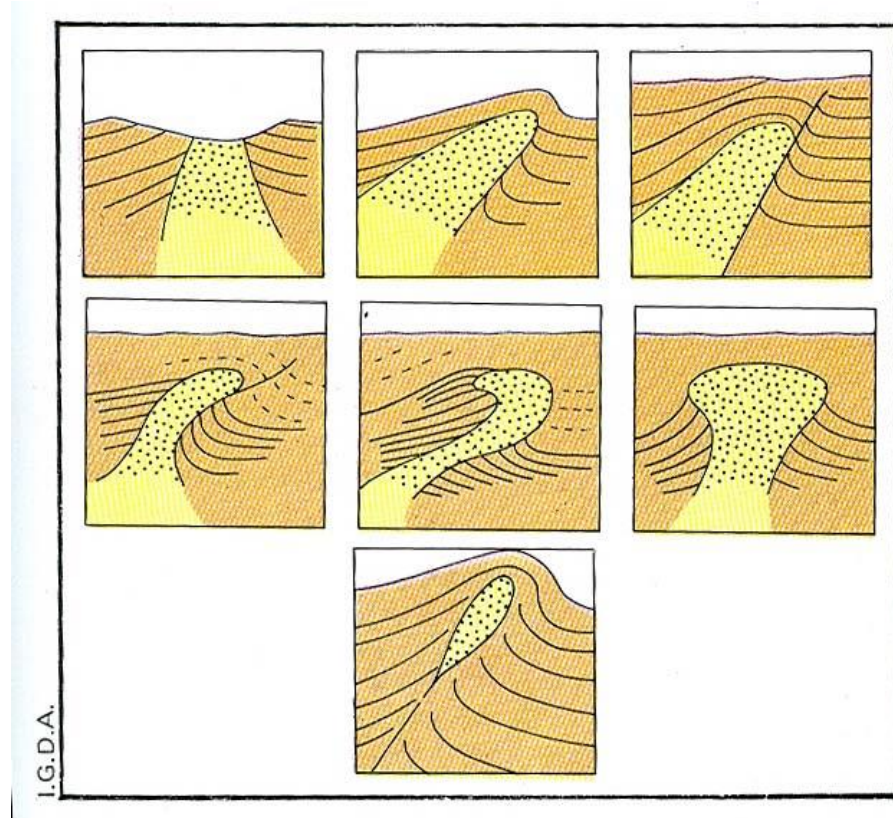


Fig. 34 – Diverses formes de plis diapirs

7) Selon le style de plissement

- **Plissements harmoniques**

Si une **masse stratifiée** est **homogène** dans le **sens vertical**, c'est-à-dire si les couches superposées sont de même composition minéralogique et ont la même plasticité, les plis formés par compression latérale décriront en général des sinuosités parfaitement parallèles entre elles : le **plissement** est dit **harmonique**.

- **Plissements dysharmoniques**

Ce style de plissement est observé lorsque les plis changent de style d'une série de couche à l'autre, créant ainsi des **dysharmonies** (fig. 35). Ce genre de plissement se passe lorsque la **masse plissée** est **hétérogène** dans le **sens vertical**.

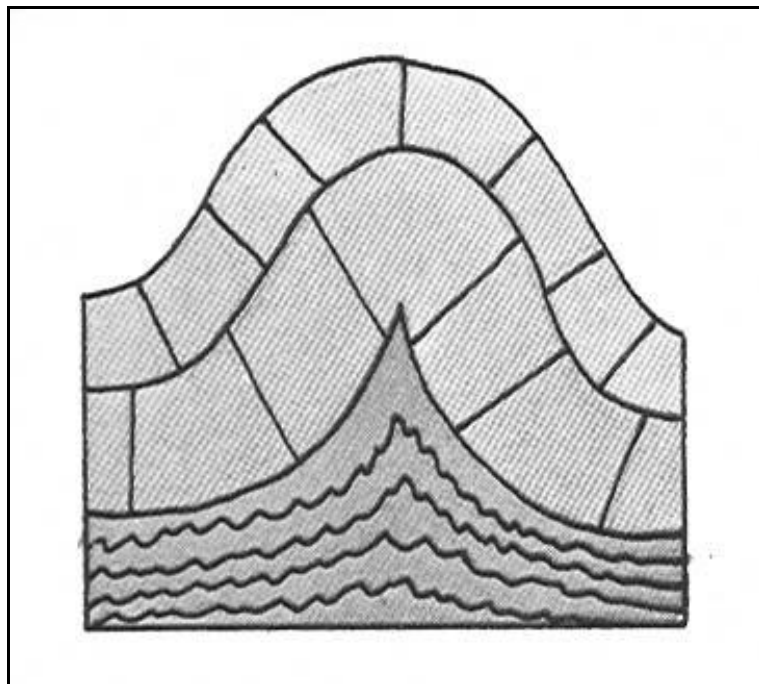


Fig. 35 – Dysharmonie entre roches compétentes et roches incompetentes (d'après R. Colin)

La figure 36 donne un exemple de **plissements dysharmoniques** de grande ampleur en Savoie.

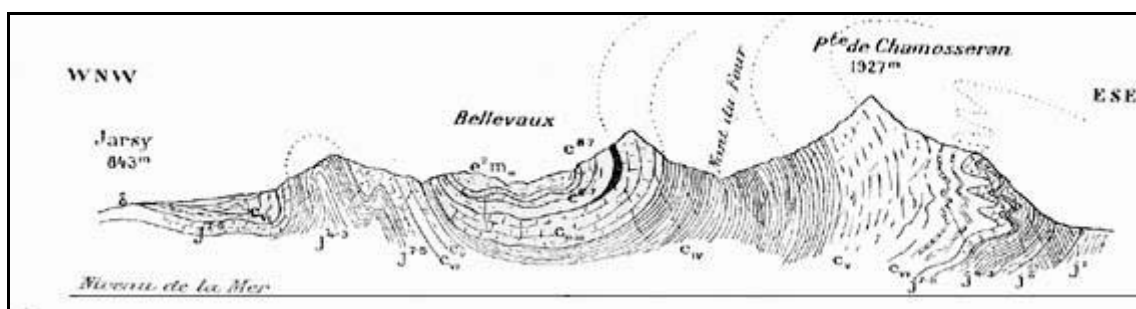


Fig. 36 – Plissements dysharmoniques dans les Bauges, Savoie (d'après M. LUGEON)

III. BIBLIOGRAPHIE

- **BELOUSSOV V.** (1978) – *Géologie structurale*, Editions de Moscou.
- **BREVOST J.-P.** (sous la direction) (1976) – *Grande encyclopédie Alpha des sciences et des techniques – Géologie II*, Grange Batelière, Paris – Editions Kister, Genève – Erasme, Bruxelles-Anvers.
- **CORNET J.** (1927) – *Leçons de géologie*, Maurice Lamertin, éditeur, Bruxelles
- **DELATTRE C., MERIAUX E., WATERLOT M.** (1973) –, Massons & Cie, éditeurs *Guides géologiques régionaux – Région du Nord : Bassin de Mons*
- **DUCARME B.** 1983) – *Histoire géologique de la Belgique*, Editions du G.E.S.T.
- **DUCARME B.** (1983) – *Le levé géologique – Exercice pratique entre Villers-le-Gambon et Merlemont*, Editions du G.E.S.T.

- **DUCARME B.** (1983) – *Les nappes de charriage, un exemple en Belgique : le massif de la Tombes à Landelies*, Editions du G.E.S.T.
- **FOUCAULT A., RAOULT J.-F.** (1980) – *Dictionnaire de géologie*, Masson.
- **GOGUEL J.** (sous la direction) (1972) – *Encyclopédie de la Pléiade – Géologie I*, Editions Gallimard.
- **HAUG E.** (1927) – *Traité de géologie T. I – Les phénomènes géologiques*, Librairie Armand Colin, Paris.
- **LAPPARENT (de) A.** (1885) – *Traité de géologie*, Librairie F. Savy, Paris.

A suivre