

# TECTONIQUE ET INTERPRÉTATION DES CARTES GÉOLOGIQUES

## INTRODUCTION

### DÉFINITIONS

- La tectonique est l'étude des déformations de la croûte terrestre et des structures qui en sont l'expression. On l'envisagera ici surtout du point de vue des structures résultantes à l'échelle d'une carte géologique régionale.
- Formation géologique : une formation géologique peut être considérée comme un certain volume de roches que l'on identifie sur un critère particulier comme la lithologie.
- Couche géologique : les roches sédimentaires peuvent être subdivisées en couches ou strates: volumes de roches limités par deux plans de stratification, un plan inférieur et un plan supérieur.
- Plan de stratification: surface assez régulière, séparant deux couches. Le plan qui sépare la couche de celle qui lui est sousjacent (plus ancienne) détermine la limite inférieure de la couche, tandis que celui qui la sépare de la couche susjacent (plus jeune) en constitue la limite supérieure.
- La direction d'une couche est l'angle que fait avec le nord, une ligne horizontale tracée dans le plan de stratification de la couche. Elle se mesure sur le terrain avec la boussole, c'est à dire par rapport au nord magnétique et se reporte sur la carte par rapport au nord géographique.
- Le pendage d'une couche est l'angle entre le plan horizontal et la ligne de plus grande pente du plan de stratification. Par définition, il se mesure dans un sens perpendiculaire à la direction (fig. 1).
- Direction et pendage déterminent la géométrie des couches géologiques.

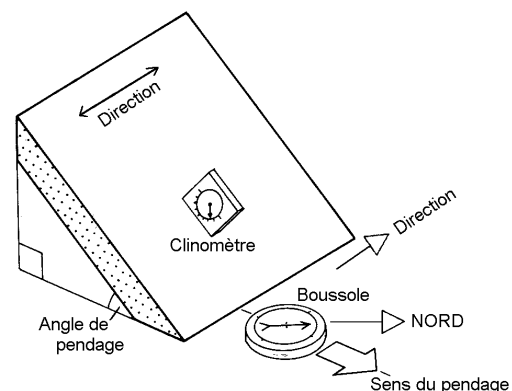
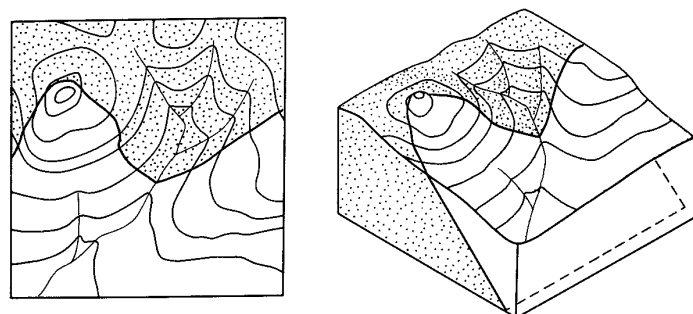


Figure 1 (d'après R.J. Lisle)

- La carte géologique est une carte topographique sur laquelle ont été tracés les contours géologiques, c'est à dire l'intersection des limites géologiques avec la surface topographique. Le contour géologique est donc la ligne d'affleurement d'une limite de formation géologique (fig. 2).



Carte

Bloc diagramme

Figure 2 (d'après R.J. Lisle)

- Lors du levé de terrain, tous les affleurements font l'objet d'une étude tectonique, stratigraphique, pétrographique, paléontologique, etc.. et c'est à partir de ces observations, reportées sur la carte topographique (minute géologique), que le géologue va tracer les contours géologiques. On conçoit dès lors que la part d'interprétation et d'hypothèse soit inversement proportionnelle à la densité des affleurements.

### CARTE TOPOGRAPHIQUE

La carte topographique est la représentation plane à une échelle déterminée d'une partie de la surface terrestre. Les éléments du relief sont situés en latitude et en longitude par rapport à un ellipsoïde de référence (fig. 3) et sont ensuite projetés sur une surface plane. Pour la Belgique le système de projection est la projection Lambert conique, sécante aux parallèles 49° 50' et 51° 10' (fig.4).

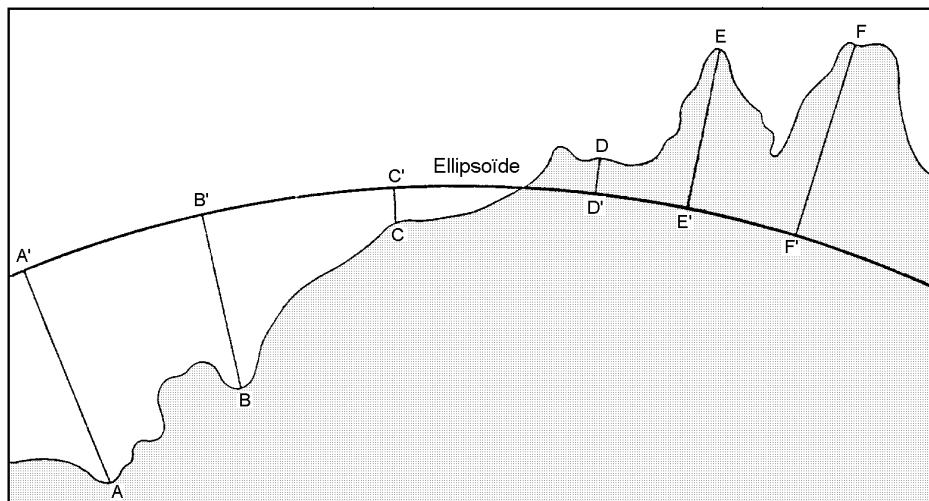


Figure 3

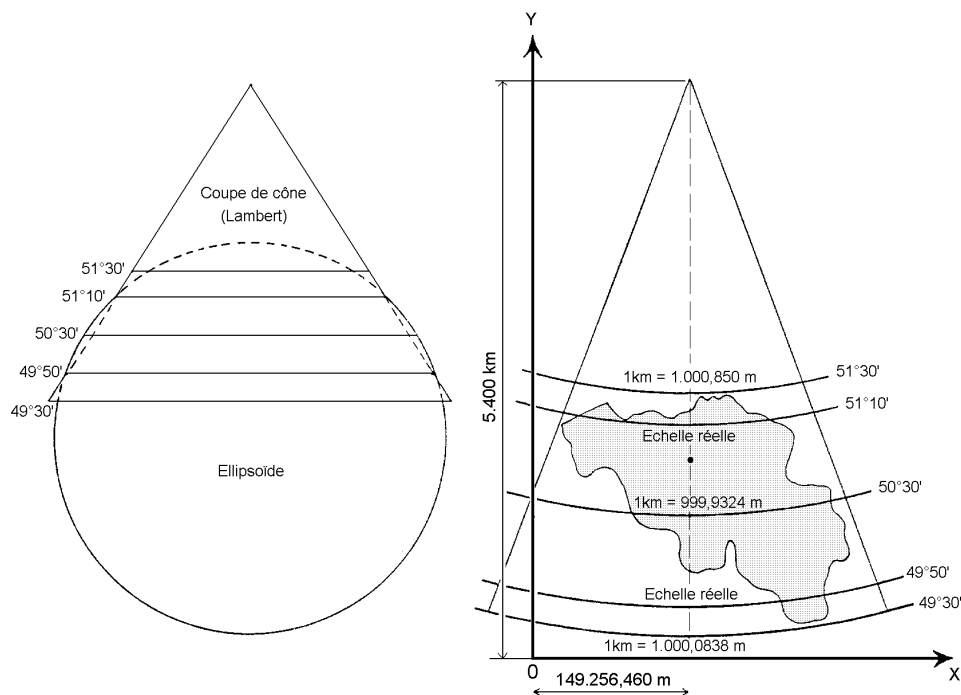


Figure 4

- L'échelle d'une carte (E) est le rapport de la longueur mesurée sur la carte (Lc) à la distance horizontale correspondante sur le terrain (Lt):

$$E = Lc/Lt$$

Exemples :

- Soit 2 points distants de 1 km sur le terrain et de 1 cm sur la carte.  
L'échelle de cette dernière sera :

$$E = 1 \text{ cm}/1 \text{ km} = 1/100.000$$

La carte sera dite à l'échelle 1/100.000.

- Deux points distants de 15 km sont séparés par 75 cm sur une carte à 1/20.000 (carte à grande échelle) et par 10 cm sur une carte à 1/150.000 (carte à petite échelle).

Il ne faut cependant pas oublier que la distance réelle sur le terrain (Lr) est liée à sa projection sur un plan horizontal (Lt) et à la pente topographique (p en degrés) :

$$Lr = Lt / \cosinus p$$

La représentation numérique de l'échelle peut être remplacée ou complétée par une échelle graphique: segment de droite gradué de gauche à droite permettant de lire directement la distance réelle correspondant à une certaine longueur sur la carte.

L'avantage des échelles graphiques est de permettre une conversion plus rapide des longueurs mesurées et de rester valables après agrandissement ou réduction photographique de la carte. Il est évident que la précision d'une carte dépend de l'échelle du levé et que l'agrandissement ne peut pas l'améliorer.

- Le relief se représente par les courbes de niveau: intersection de plans horizontaux équidistants avec la surface topographique. Ce sont donc des courbes d'égale altitude appelées pour cette raison isohypses ou courbes hypsométriques (fig. 5).

Le choix de l'équidistance est dicté par le type de relief à représenter et par l'échelle de la carte. Dans les régions à faible relief, l'équidistance sera plus petite (5m - 2,5m) que dans les régions montagneuses où une équidistance plus grande sera suffisante.

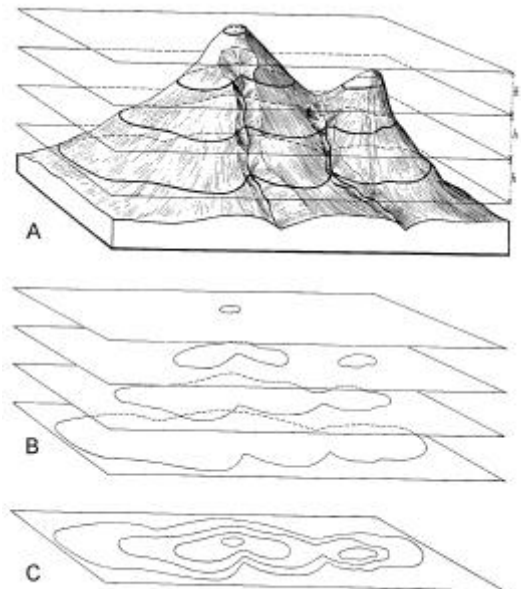


Figure 5 (d'après J. Aubouin & al)

L'interprétation du relief étant très importante pour les études géomorphologiques et géologiques, rappelons brièvement l'allure des isohypses dans les principales formes du relief.

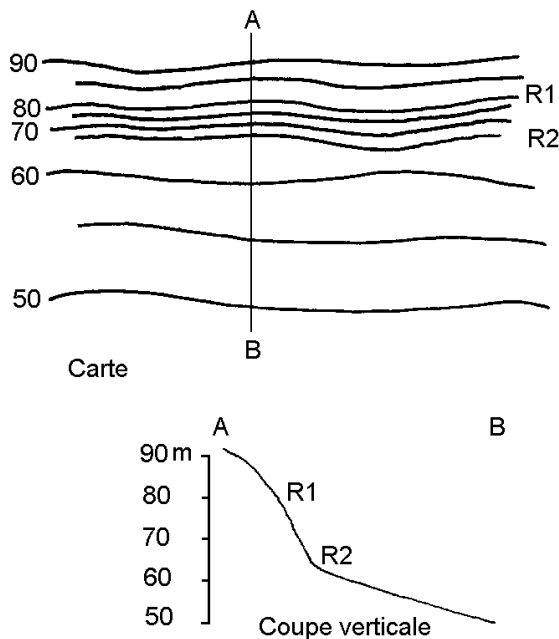


Figure 6

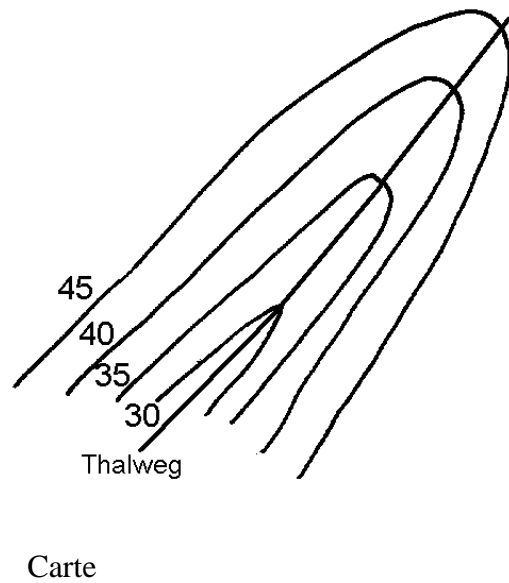


Figure 7

– Versants.

Le versant peut être considéré comme l'unité élémentaire du relief. La pente d'un versant est perpendiculaire aux isohypses, le sens de la pente est déterminé par la lecture des altitudes. L'espacement des isohypses est inversement proportionnel à la valeur de la pente. Un resserrement (R1) ou un écartement (R2) des isohypses indiquent des ruptures de pente (fig. 6).

– Vallée.

La présence des têtes de vallées est indiquée par une convexité des courbes hypsométriques, dirigée vers l'amont et en forme de U ou de V (fig. 7). Le fond de la vallée (thalweg) est la zone comprise entre les deux isohypses les plus basses et d'égale altitude : c'est la ligne de drainage des eaux.

– Collines et dépressions fermées.

Les collines et les dépressions fermées se marquent par des isohypses concentriques (fig. 8). Sur la figure 8 remarquez la dissymétrie des versants de la colline.

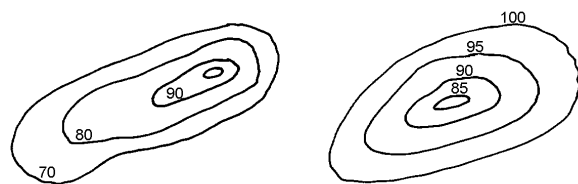


Figure 8 : carte

Des signes conventionnels sont utilisés pour la représentation des éléments du paysage tels que réseau hydrographique, routes, chemin de fer, villages, maisons, églises, fermes, remblais, forêts de résineux ou de feuillus etc.

- Le profil topographique.

L'établissement du profil topographique est particulièrement important car d'une part il permet de visualiser le relief et d'autre part, il est le support de la coupe géologique. Le dressé du profil topographique se fait de la façon suivante (fig. 9):

- on choisit une ligne de coupe A-B suivant laquelle le relief est représentatif de la région et on la matérialise sur la carte par un trait au crayon;
- le long de cette ligne on applique le bord supérieur d'une feuille de papier millimétré;
- les intersections des isohypses et de la ligne de coupe sont reportées sur la feuille et ensuite abaissées à leur altitude à l'échelle de la coupe;
- ces différents points sont ensuite reliés entre eux par une courbe continue.

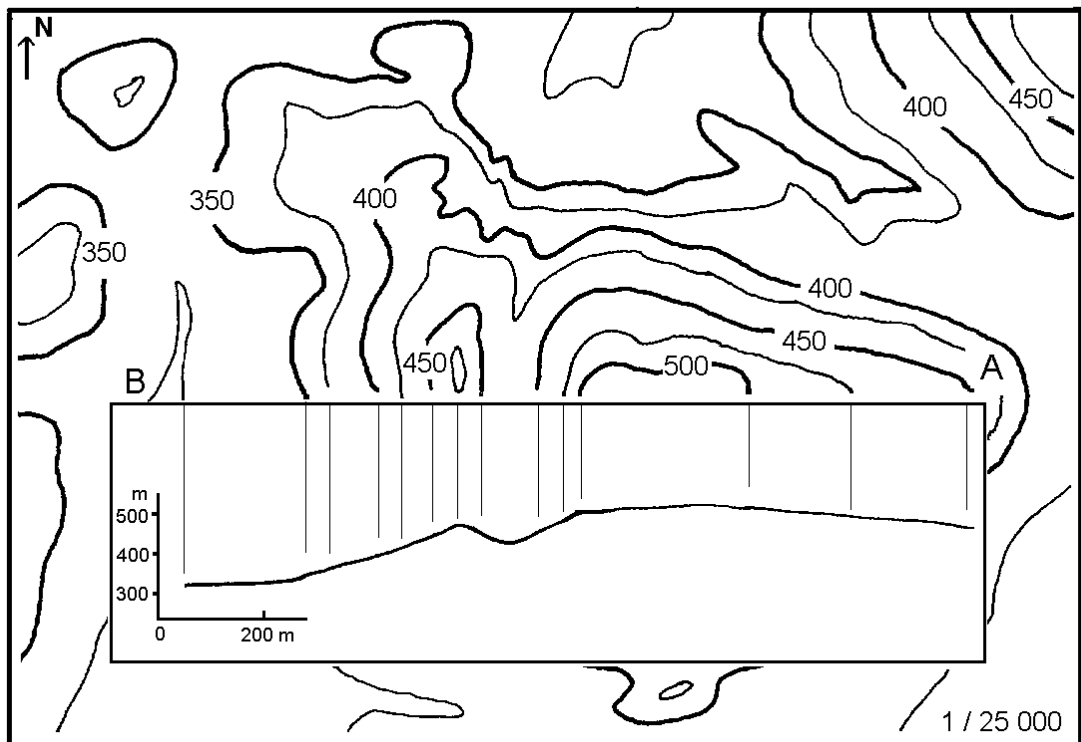


Figure 9

On obtient ainsi un profil topographique : courbe en coordonnées rectangulaires, avec les altitudes en ordonnée et les distances en abscisse.

Afin d'avoir un profil correct où les pentes sont respectées, la même échelle doit être utilisée pour les hauteurs et les longueurs. C'est particulièrement important lorsque le profil topographique doit servir de base à la coupe géologique.

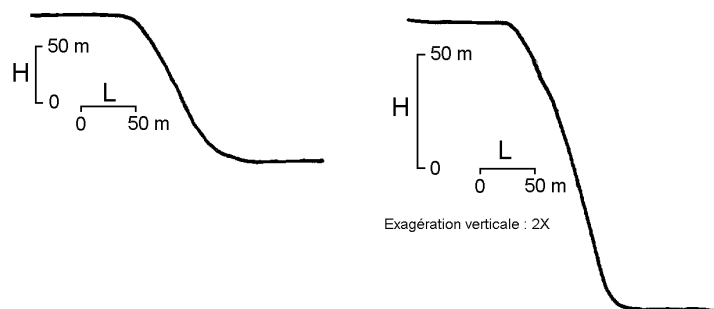


Figure 10

Si on décide d'exagérer le relief (fig. 10), on devra aussi en tenir compte pour le dessin de la coupe géologique (page 17).

Le profil doit aussi comporter un certain nombre d'indications: échelle, orientation de la ligne de coupe, localisation de points de repères fixes, noms des rivières et villages, etc.

## STRUCTURES TABULAIRES

Dans les structures tabulaires les couches sont horizontales ou subhorizontales; elles n'ont donc pas de direction nettement définie (en réalité, elles en ont une infinité).

- Relief plat: dans le cas d'un plateau par exemple, seule la couche la plus jeune affleure et est donc représentée sur une carte géologique (fig.11).
- Vallées (fig.12): par le jeu de l'érosion, les couches inférieures affleurent dans les versants de la vallée. Les couches étant horizontales, leurs limites et leurs contours sur carte, sont parallèles aux courbes de niveau (fig. 13).

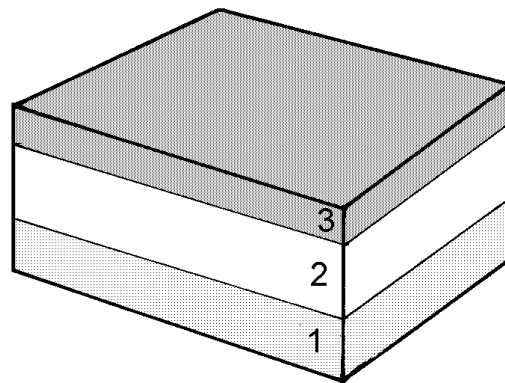


Figure 11

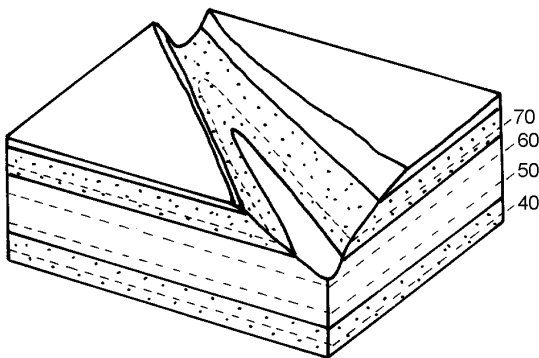


Figure 12 : bloc diagramme

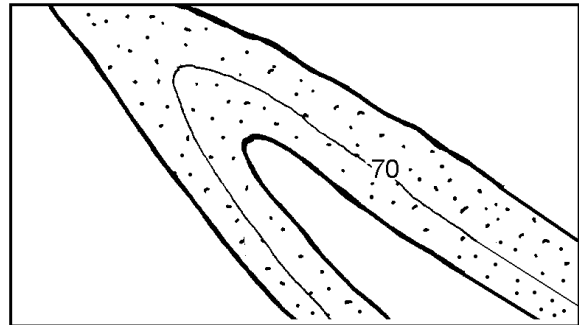


Figure 13 : carte

- Sur carte, les différentes couches forment des bandes parallèles aux isohypses; leur largeur d'affleurement est directement proportionnelle à l'épaisseur ( $E_i$ ) de la couche et inversement proportionnelle à la pente topographique ( $P_i$ ) (fig. 14).

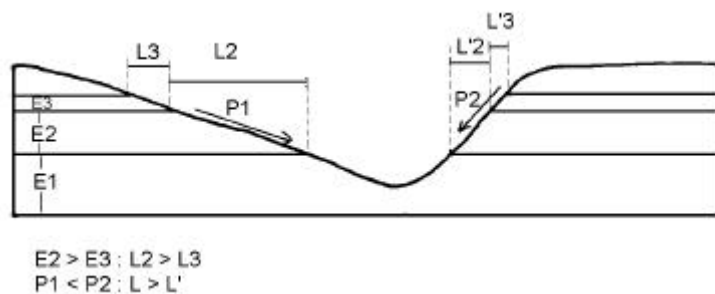


Figure 14 : coupe verticale

- L'épaisseur d'une couche horizontale peut se calculer sur carte: elle est en effet égale à la différence d'altitude entre la limite (contour) supérieure et la limite (contour) inférieure.

## STRUCTURES MONOCLINALES

On appelle monoclinales les formations géologiques dont le pendage se fait dans le même sens.

- En relief plat, les contours géologiques des structures monoclinales sont rectilignes et parallèles les uns aux autres; ils représentent la direction des couches dont le sens du pendage est indiqué par la stratigraphie: c'est le sens allant des couches anciennes vers les couches plus jeunes (exception: les séries tectoniquement renversées) (fig. 15).

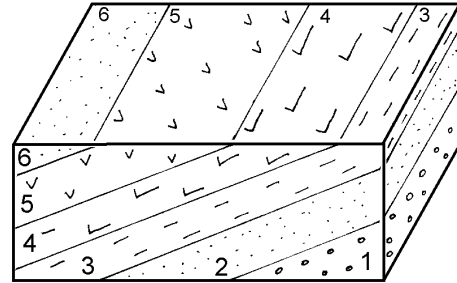


Figure 15

- En relief accidenté, les contours recourent les isohypses sous un angle d'autant plus grand que le pendage est fort (fig. 16).

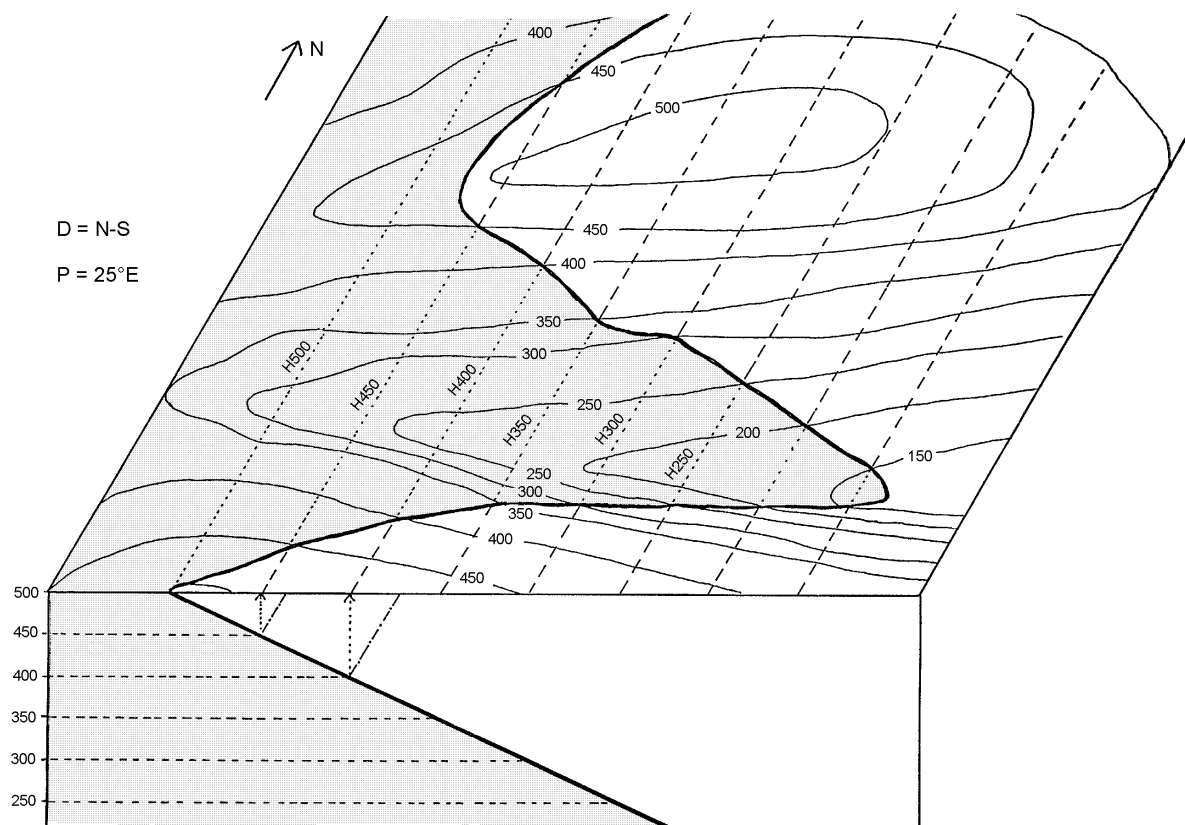


Figure 16

Les horizontales ( $H_i$ ) représentent la projection sur le plan horizontal des intersections entre le plan de stratification et le plan horizontal situé à une certaine altitude. L'intersection entre  $H_i$  et la courbe de niveau de même altitude représente un point d'affleurement de la couche géologique en question. Le contour est obtenu en reliant les points d'affleurements.

Relation entre les contours et le relief.

- Vallées
    - Pendage des couches dans le même sens et supérieur à la pente du thalweg: contours en V pointé vers l'aval.
    - Pendage des couches en sens opposé à la pente longitudinale de la vallée: les contours ont la forme d'un V plus ouvert que les isohypses et pointé vers l'amont.
  - Collines
    - Selon la forme de la colline, les contours dessinent des sinuosités dont la concavité est tournée vers le sens du pendage.
  - Couches verticales : les contours sont rectilignes.
- Détermination de la direction des couches(fig. 17).
    - Lorsque la surface topographique est plane, ou sur les cartes à petite échelle, la direction générale des contours représente celle des couches.
    - Sur les cartes à grande échelle et lorsque la surface topographique présente un relief assez accentué, la direction exacte des couches peut être déterminée par 2 points d'affleurement situés à la même altitude. La ligne qui les relie donne la direction de la couche et est appelée l'horizontale de la couche pour l'altitude considérée.

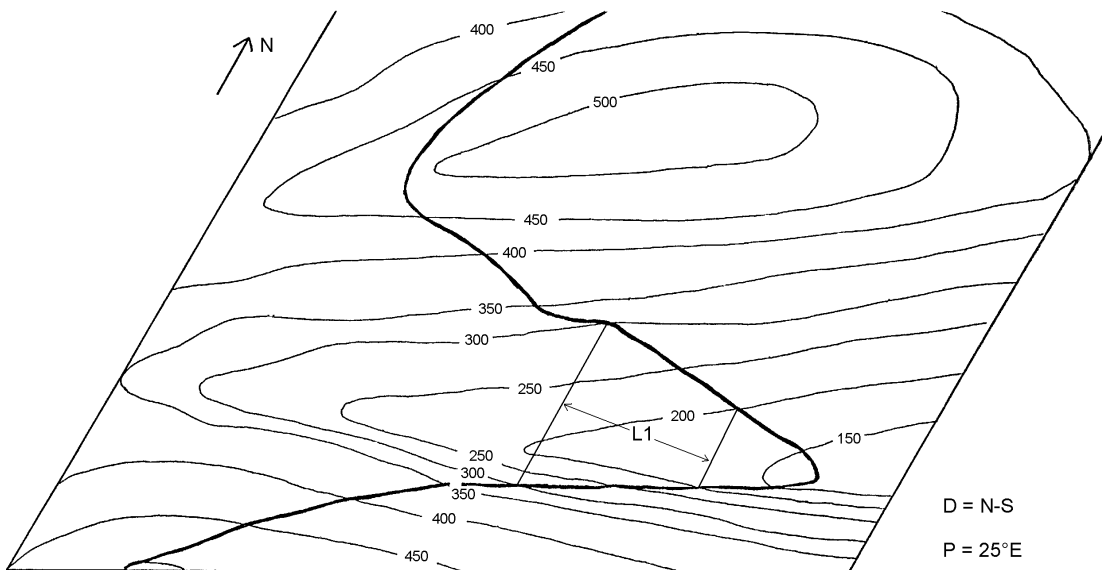


Figure 17

- Détermination du pendage des couches  $\alpha$  (fig. 17).
  - Le sens du pendage, suggéré par la stratigraphie, peut être vérifié par la forme des contours dans les vallées.
  - Sur les cartes à grande échelle, le sens et la valeur du pendage peuvent être facilement déterminés grâce aux différences d'altitudes entre les horizontales (dHi).  
La valeur du pendage peut être déterminée de la façon suivante: on trace deux horizontales sur le même contour, on mesure la distance  $L_1$  qui les sépare et on construit un triangle de pendage en gardant évidemment la même échelle pour dH et  $L_1$ . On voit également que:

$$\text{tg}\alpha = \text{dH} / L_1$$



Le sens du pendage étant perpendiculaire à la direction de la couche,  $L_1$  doit être mesuré perpendiculairement aux horizontales.

- Pendage réel et pendage apparent

Les pendages mesurés suivant une direction oblique à la direction des couches, ont une valeur inférieure au pendage réel, ce sont des pendages apparents ( $\alpha'$ ) (fig. 18, 19).

$$0^\circ \leq \text{pendage apparent } \alpha' < \text{pendage réel } \alpha$$

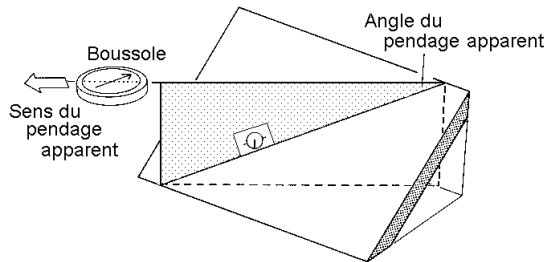


Figure 18 (d'après R.J. Lisle)

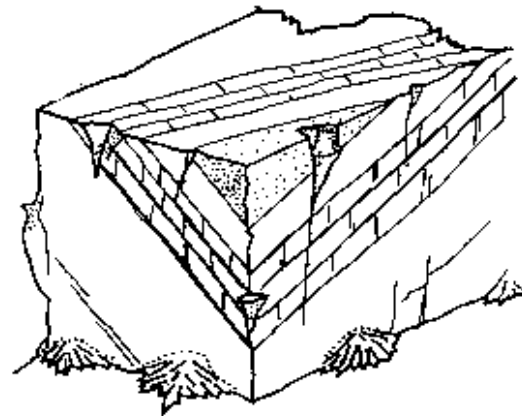


Figure 19 (d'après R.J. Lisle)

La figure 19 montre bien les 2 pendages apparents suivant l'orientation des parois de la carrière

- Détermination de l'épaisseur (fig. 20).

Traçons par exemple les horizontales de 400 m sur le contour supérieur (H400sup) et sur le contour inférieur (H400inf) de la couche. Les points C et D étant à la même altitude, l'épaisseur stratigraphique ( $E_s$ ) (ou puissance) de la couche peut se calculer par la formule:

$$E_s = L_2 \sin \alpha \quad (\alpha = \text{pendage réel})$$

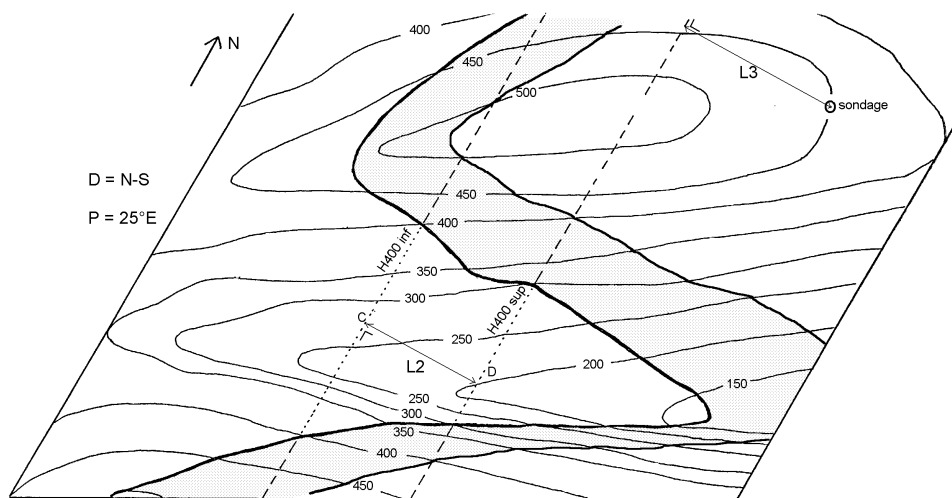


Figure 20

Es étant mesuré perpendiculairement aux plans de stratification,  $L_2$  doit être perpendiculaire aux horizontales.

- La largeur horizontale d'affleurement d'une couche est fonction de son épaisseur et de son pendage, ainsi que de la pente topographique (fig. 21).  
La largeur d'affleurement est directement proportionnelle à l'épaisseur stratigraphique de la couche et inversement proportionnelle au pendage et à la pente topographique.  
Lorsque la couche est verticale, sa largeur d'affleurement est égale à son épaisseur stratigraphique.

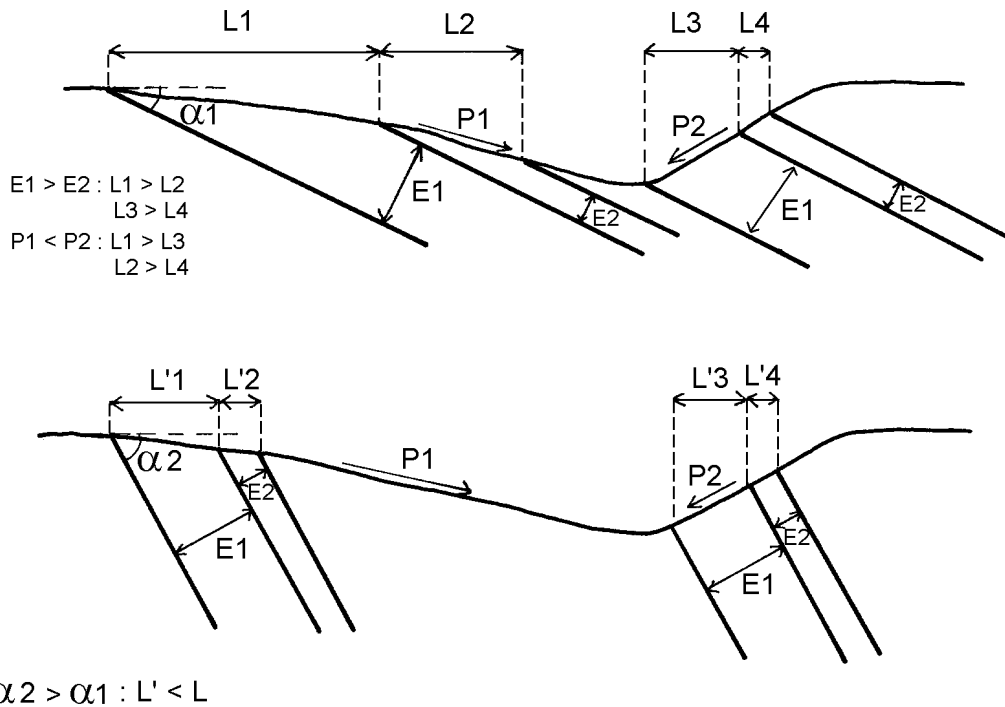


Figure 21 : coupes verticales

- Détermination de la profondeur d'une couche à l'aplomb d'un point donné.  
Exemple : sur la figure 20, à quelle profondeur  $P_1$  dans le sondage va-t-on rencontrer la couche et sous quelle épaisseur verticale ( $E_v$ ) va-t-on la traverser ?  
En tenant compte de la distance  $L_3$  (mesurée perpendiculairement à la direction), entre H400sup et le sondage, ainsi que de la différence d'altitude entre le sondage (450 m) et H400sup, on voit que:

$$P_1 = L_3 \operatorname{tg}\alpha + 50 \text{ m}$$

Le même raisonnement appliqué à la limite inférieure permet de trouver  $P_2$  et de prévoir la hauteur à traverser ( $P_2 - P_1$ ). Cette dernière peut d'ailleurs se calculer par la formule:

$$P_2 - P_1 = E_v = E_s / \cos\alpha$$

## STRUCTURES PLISSÉES

- Sous l'action des contraintes tectoniques, les roches peuvent se déformer de façon plus ou moins plastique, en formant des plis (fig. 22). Les structures plissées sont formées de synclinaux (plis concaves vers le haut) et d'anticlinaux (plis convexes vers le haut).
- On distingue des plis parallèles (Es constante) qui affectent les couches compétentes et des plis semblables (Ev constante), caractéristiques des couches incompetentes (fig. 23).

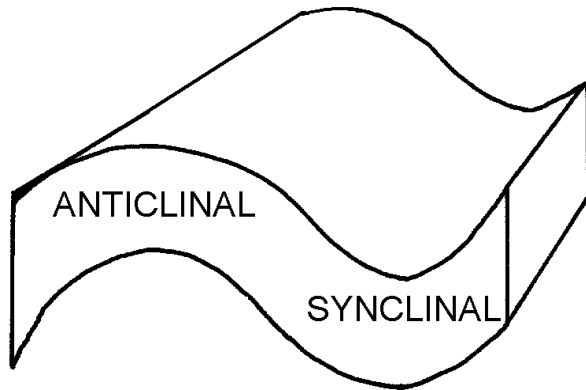


Figure 22

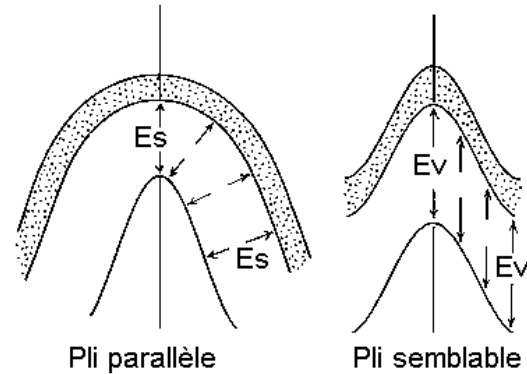


Figure 23 coupe verticale (d'après R.J. Lisle)

- La surface axiale peut être définie comme le plan bissecteur de l'angle formé par les flancs. L'intersection de la surface axiale avec un plan de stratification est la charnière (fig. 24). L'axe du pli est la direction de la surface axiale

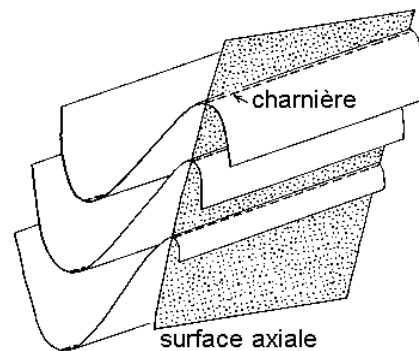


Figure 24 (d'après R.J. Lisle)

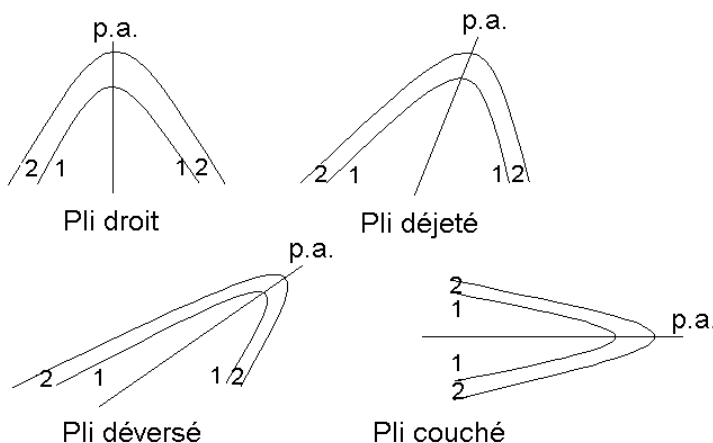


figure 25 : coupes verticales

Lorsque le plan axial (p.a.) est vertical, on parle de pli droit. Le pli devient successivement déjeté, déversé et couché quand la surface axiale s'incline de plus en plus. Dans les plis déversés et couchés le flanc situé sous la surface axiale est caractérisé par une succession stratigraphique inversée : la couche plus ancienne 1 est au dessus de la couche plus jeune 2 (fig. 25).

- Sur carte, les contours des couches plissées dépendent du relief topographique et du pendage des flancs (cfr. structures monoclinales) ainsi que de l'allure de la charnière.

- Lorsque la charnière est horizontale, les contours forment des lignes plus ou moins sinueuses (influence du relief), délimitant des bandes parallèles répétées de part et d'autre d'une bande centrale, formée soit par la couche la plus jeune (synclinal) soit par la couche la plus ancienne (anticlinal) (fig. 26).

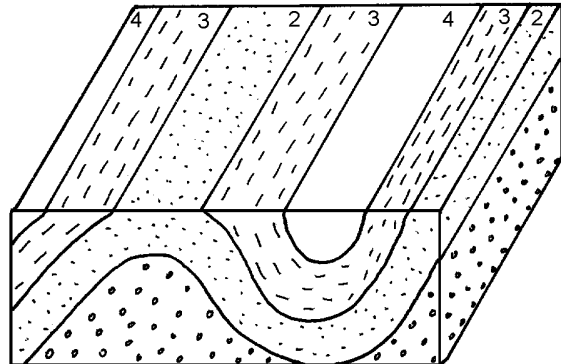


Figure 26

- Lorsque la charnière forme un certain angle avec l'horizontale (angle d'ennoyage), les contours ont la forme d'un V, respectivement pointé ou ouvert dans le sens de l'ennoyage, suivant qu'il s'agit d'un anticlinal ou d'un synclinal (fig. 27).

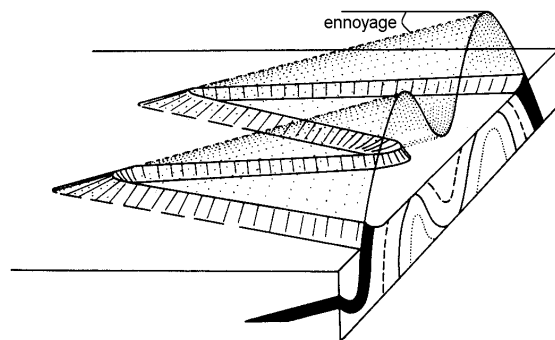


Figure 27 (d'après R. Chorley & al)

- Dans certains cas, la charnière elle-même est plissée. Il se forme alors des brachy-synclinaux ou des brachy-anticlinaux. Ces structures se marquent, sur la carte, par des bandes concentriques autour, soit de la couche la plus jeune (brachy-synclinal), soit de la couche la plus ancienne (brachy-anticlinal) (fig. 28).

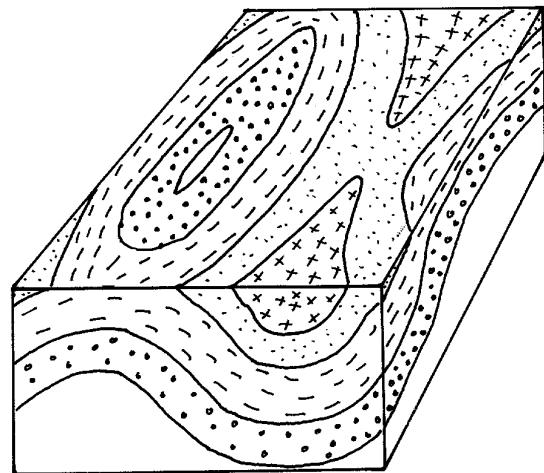
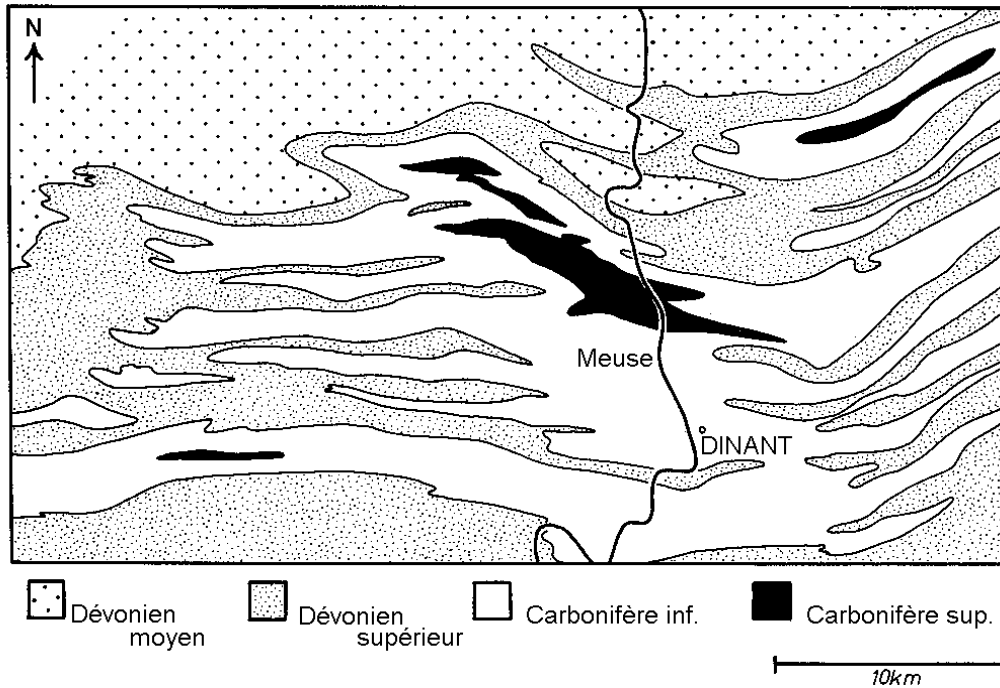


Figure 28

- Un groupement de plis dont l'allure générale est celle d'un synclinal est un synclinorium (ex.: synclinorium de Dinant: fig. 29), tandis que celui dont la disposition d'ensemble est celle d'un anticlinal est un anticlinorium (ex.: Ardenne).



## STRUCTURES FAILLÉES

### DÉFINITIONS (fig. 30)

- Faille: cassure avec déplacement relatif des deux compartiments.
- Plan de faille: surface le long de laquelle s'est fait le déplacement.
- Toit de la faille: compartiment situé au dessus du plan de faille.
- Mur de la faille: compartiment situé sous le plan de faille.

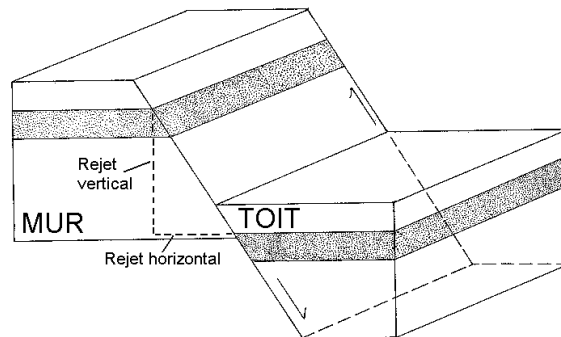


Figure 30 (d'après Simpson)

- Rejet: distance qui sépare deux points situés de part et d'autre du plan de faille, et qui étaient en contact avant la cassure; on en mesure surtout les composantes verticale et horizontale.
- Faille longitudinale: faille dont la direction est sensiblement parallèle à celle des couches affectées (fig. 31a, 33, 36a).
- Faille transversale: faille dont la direction est à peu près perpendiculaire à celle des couches recoupées (fig. 31b, 36b).

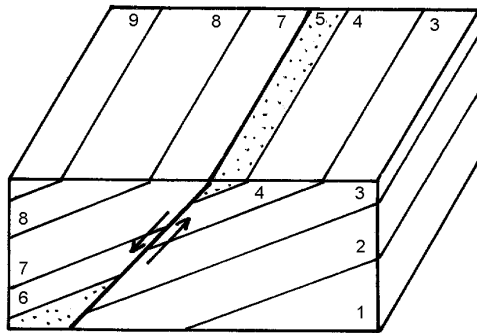


Figure 31a

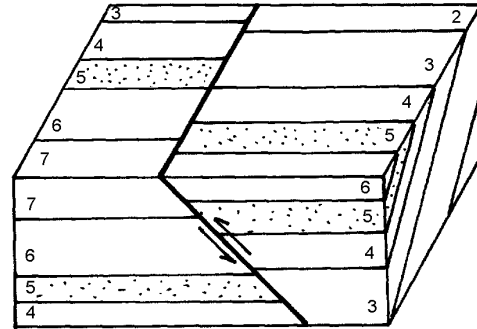
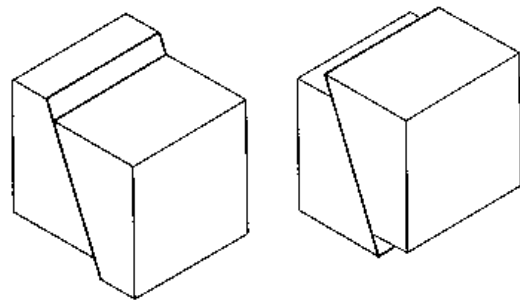


Figure 31b

- Faille normale: faille dont le toit est relativement affaissé par rapport au mur; c'est une faille liée à des forces tectoniques d'extension (fig. 30, 31a, 32, 36).
- Faille inverse: faille dont le toit est relativement monté par rapport au mur; c'est une faille de compression (fig. 31b, 32, 33).



Faille normale

Faille inverse

Figure 32 (d'après R. J. Lisle)

- Faille conforme: faille dont le plan incline dans le même sens que les couches (fig. 31a, 36a).
- Faille contraire: le plan de faille a un pendage opposé à celui des couches (fig. 33).

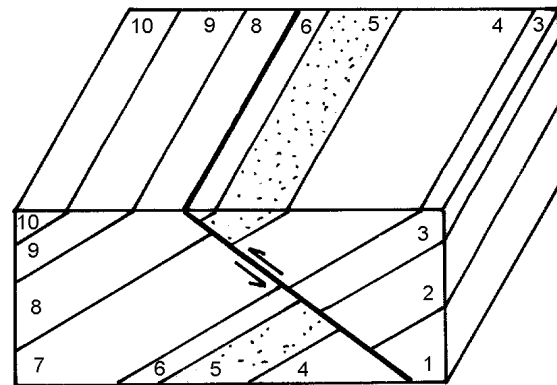
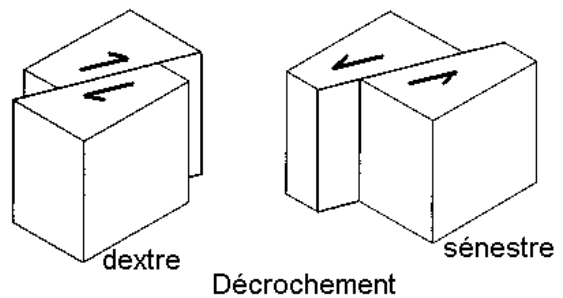


Figure 33

- Les failles de décrochement ont un rejet uniquement horizontal (fig. 34)



dextre

Décrochement

sinestre

Figure 34 (d'après R.J. Lisle)

- Les failles de charriage (fig. 35) sont des failles souvent peu inclinées, séparant un massif supérieur allochtone (nappe de charriage) d'un substrat autochtone. Le premier peut avoir

subi un déplacement considérable et être constitué de terrains stratigraphiquement plus anciens que le deuxième.

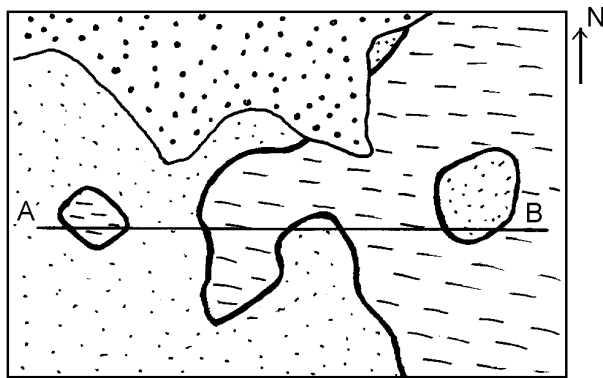
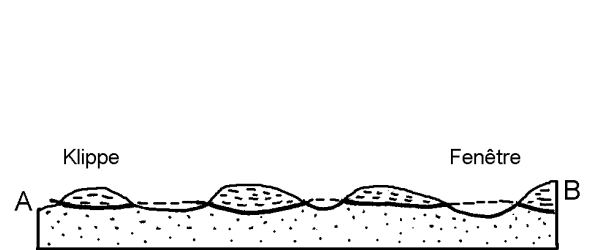


Figure 35 : Carte



Coupe verticale

Très souvent, la nappe de charriage peut être morcelée en lambeaux (klippes) par l'érosion qui peut aussi y ménager des "fenêtres", où affleure le massif autochtone.

Exemple : la nappe de Dinant et la fenêtre de Theux.

### TRACÉ SUR CARTE

Les failles pouvant être assimilées à des plans, leur tracé sur carte répond aux mêmes règles que celui des plans de stratification : influence de la direction et du pendage de la faille ainsi que du relief.

Sur carte, les failles se marquent soit par des anomalies (fig. 36b) dans les contours des couches recoupées (failles transversales et décrochements) soit par la suppression (fig. 31a) ou la répétition (fig. 36a) d'une partie des couches affectées (failles longitudinales).

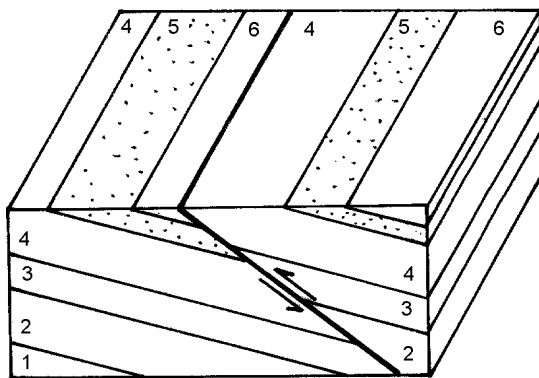


Figure 36a

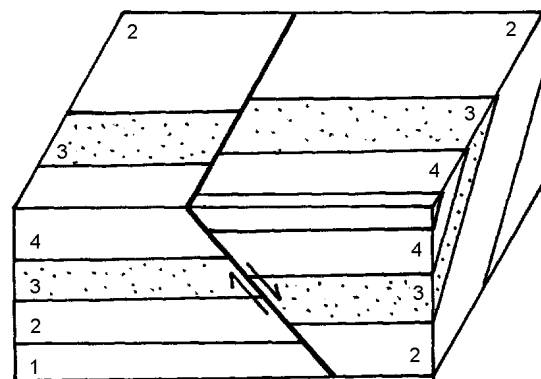


Figure 36b

La partie relativement affaissée se trouve toujours du côté de l'affleurement des couches les plus jeunes.

## STRUCTURES DISCORDANTES

Les discordances sont des surfaces qui mettent en contact "normal" (sans faille) deux ensembles de couches dont les caractéristiques géométriques sont tout à fait différentes (fig. 37).

La surface de discordance représente une ancienne surface d'érosion fossilisée et correspond à une "lacune" entre le dernier événement qui a affecté la série inférieure (socle) et le dépôt de la première couche de l'ensemble supérieur (couverture). Sur carte ces structures se reconnaissent au fait que les contours de la couverture recourent et interrompent ceux du socle.

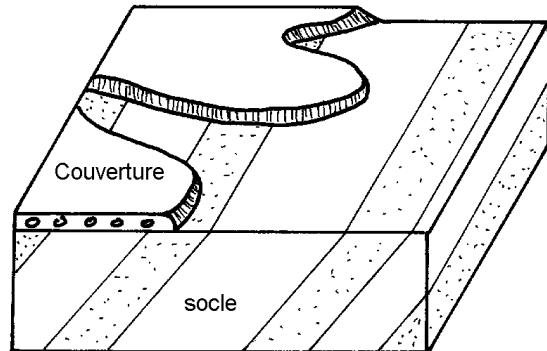


Figure 37

## FORMATIONS SUPERFICIELLES

Des formations superficielles cachent souvent les terrains sous jacents. C'est le cas des alluvions (fig. 38), des colluvions, des dépôts glaciaires ou éoliens, des altérites etc.. Sur carte, les contours géologiques du substrat disparaissent sous ces dépôts superficiels, pour autant que ces derniers soient représentés par leurs contours. Souvent en effet, les formations superficielles sont représentées uniquement par des symboles en surcharge sur la carte géologique traditionnelle et non par des contours.

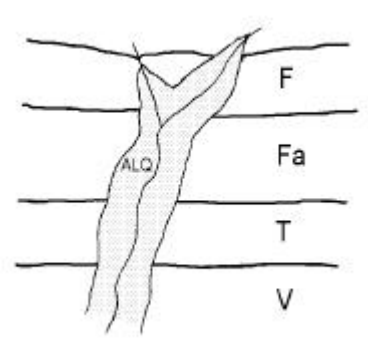


Figure 38

## COUPES GÉOLOGIQUES

Les coupes géologiques ont un double rôle: elles sont à la fois un outil d'interprétation et un moyen d'explication de la carte géologique.

L'établissement d'une coupe géologique passe par les étapes suivantes :

- Choix d'une ligne de coupe, de manière à recouper le maximum de terrains et de structures tectoniques.
  - D'une manière générale, en terrains horizontaux, la ligne de coupe passera à la fois par les altitudes les plus basses et les plus élevées.
  - En structure monoclinale, elle doit être faite transversalement à la direction des couches.
  - En terrains plissés, seules les coupes transversales aux axes des plis rendent parfaitement compte de la structure tectonique.
- Dressé du profil topographique (page 5).
- Dressé de la coupe géologique.
  - Les intersections de la ligne de coupe et des contours géologiques sont reportées sur le bord du papier et ensuite abaissées sur le profil topographique.



- A partir de ces points, les limites géologiques sont tracées avec leurs caractéristiques géométriques, et en commençant par les terrains les plus jeunes, sauf s'il y a des failles qui doivent d'abord être dessinées. Sauf indications contraires, il faut veiller à garder la même puissance de couche (épaisseur stratigraphique) d'un endroit à l'autre de la coupe.
- Chaque couche est ensuite affectée d'un figuré approprié et/ou d'une couleur.

Remarques.

- En plus des indications topographiques habituelles, la coupe doit être accompagnée d'une légende stratigraphique reprenant sous forme de colonne et dans l'ordre chronologique, les différentes couches avec la signification de leurs figurés.
- Par convention, la couche la plus ancienne occupe le bas de la colonne stratigraphique.
- On peut parfois négliger le profil topographique et le considérer comme horizontal. Cela dépend du relief, de l'échelle de la carte et du type de structure géologique. Lorsqu'on veut mettre l'accent sur la relation entre le relief et la géologie, on est parfois amené à exagérer l'échelle verticale de  $n$  fois et à déformer de ce fait les structures géologiques (fig. 38).

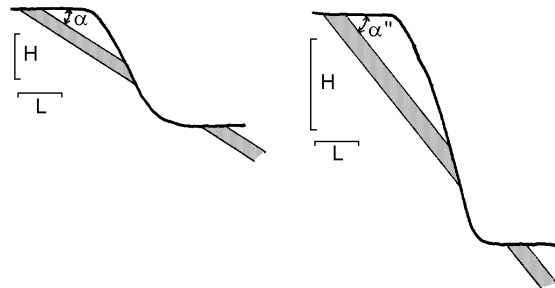


Figure 38

Le pendage exagéré ( $\alpha''$ ) est lié au pendage ( $\alpha$ ) par la relation :

$$\text{tg } \alpha'' = n \text{ tg } \alpha$$

- Lorsque la ligne de coupe n'est pas perpendiculaire à la direction des couches, il faut calculer ou mesurer le pendage apparent  $\alpha'$  soit par le triangle de pendage soit par la formule:

$$\text{tg } \alpha' = \text{tg } \alpha \cdot \sin \beta$$

$\beta$  : angle entre la direction de la couche et la direction de la coupe géologique (fig. 39)

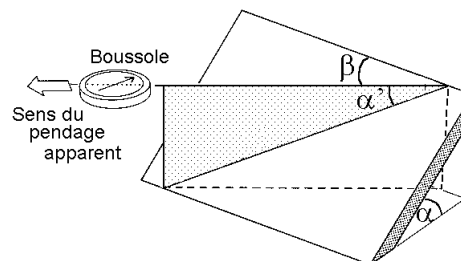


Figure 39

- Pour réaliser une bonne coupe géologique, il ne faut pas se limiter aux observations faites le long de la ligne de coupe. Il faut tenir compte de la structure d'ensemble de la carte, particulièrement lorsque, faute d'indications précises, on doit faire un choix entre plusieurs interprétations.

## RÉFÉRENCES

- AUBOUIN J., DERCOURT J. & LABESSE B. Manuel de travaux pratiques de cartographie. *Dunod Paris, 1970.*  
 CHORLEY R., SCHUMM S. & SLUDGEN D. Geomorphology. *Methuen, 1984.*  
 LISLE R. J. Geological structures and maps. *Pergamon Press, 1988.*  
 SIMPSON B. Geological maps. *Pergamon Press 1968*