

UNIVERSITE KASDI MERBEH OUERGLA - ALGERIE
FACULTE DES HYDROCARBURES ET DES ENERGIERS

RENOUVLABLES ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

COURS DE CARTOGRAPHIE
POUR LES 2^{ÈMES} ANNÉES LMD

Par : BOUTRIKA Rabah

PRESENTATION

La carte géologique constitue le support indispensable pour l'étude des formations géologiques et la reconstitution de leur histoire. L'objet de ce manuel est une initiation à l'acquisition des techniques de base pour d'une part, la lecture des cartes géologiques, et d'autre part la réalisation des coupes géologiques.

Cette introduction s'appuie sur des notions géométriques et géologiques (morphologie, tectonique et stratigraphie), selon un ordre de difficulté croissant.

Ce manuel comprend six séances relatives à six thèmes géologiques. Chacune est subdivisée en deux parties :

i) travaux dirigés sous forme de rappels théoriques où l'accent est mis sur l'aspect géométrique et cartographique des structures étudiées, illustré par des dessins (blocs-diagramme, cartes,...) et d'exercices d'application ;

ii) travaux pratiques qui consistent à la reconnaissance des structures sur une carte géologique et leur représentation en coupe.

La *première séance* constitue un rappel des éléments topographiques et une étude cartographique de la structure tabulaire. La *deuxième séance* traite des caractéristiques géométriques et cartographiques des plans inclinés (structure *monoclinale*). La reconnaissance cartographique des structures plissées est abordée lors de la troisième séance et le problème des discordances est approché dans la *quatrième séance*. Enfin, Les contacts anormaux (failles) qui caractérisent les régions déformées (chaîne de montagnes et bassins en extension) sont abordés au cours des *cinquième et sixième séance*.

Au terme de ce manuel sont exposés, en quatre annexes, des compléments et recommandations supplémentaires aux différents thèmes abordés.

Remarque:

- *Durant toutes les séances, le matériel requis est le suivant :*

Crayon à dessin (à mine ou HB), papier millimétré, gomme, et éventuellement un rapporteur d'angle et une calculatrice.

Enseignant **BOUTRIKA Rabah**

Maitre assistant A

Département de Géologie

Université de Ouargla - Algérie

SOMMAIRE

Présentation

Avertissement

I. LES STRUCTURES TABULAIRES.....	5-16
I. Rappels topographiques.....	6-8
1. La carte topographique.....	6
2. Notion d'échelle.....	6
3. Le profil topographique.....	8
II. Notions géologiques.....	8-9
1. La stratigraphie.....	8
2. Le faciès.....	9
3. La tectonique.....	9
III. Présentation de la carte géologique.....	9
IV. Principe de la construction d'une coupe géologique.....	12
V. Structures tabulaires.....	14
II. LES STRUCTURES MONOCLINALES.....	16-26
I. Caractéristiques géométriques d'un plan.....	17
1. Définitions.....	17
2. Représentation des directions et pendages sur une carte et en coupe géologique.....	17
II. Représentation des structures monoclinale sur la carte.....	18-19
1. Relief plat.....	18
2. Relief accidenté.....	19
III. Détermination qualitative des caractéristiques géométriques d'une couche inclinée.....	19-21
1. Relation entre le pendage d'une couche et son contour géologique.....	19
2. Relation entre les contours et le relief.....	20
• Cas d'un plan vertical.....	20
• Cas d'un plan incliné.....	20
3. Relations entre largeur d'affleurement et épaisseur d'une couche.....	21
IV. Détermination quantitative des caractéristiques géométriques d'une couche inclinée.....	21-23
1. Calcul de la direction d'une couche inclinée.....	21

2. Calcul du pendage d'une couche inclinée.....	22
3. Calcul de l'épaisseur d'une couche inclinée.....	23
V. Construction des couches géologiques monoclinales en coupe.....	23-27
1. Détermination du pendage d'une couche par la méthode des trois points.....	23
2. Construction des couches géologiques en coupe.....	26
III. LES STRUCTURES PLISSEES.....	28-33
I. Définitions.....	29-30
1. Les structures plissées.....	29
2. Eléments morphologiques d'un pli.....	29
3. Les différents types de plis.....	30
4. Notions de flanc normal et de flanc inverse.....	30
II. Reconnaissance des structures plissées sur une carte géologique.....	31-32
1. Structure plissée à axe horizontal.....	31
2. Structure plissée à axe incliné.....	32
3. Terminaison périclinale.....	32
IV. Coupe géologique d'une structure plissée.....	33
IV. LES STRUCTURES DISCORDANTES.....	34-38
I Définitions.....	35
1. Transgression et régression.....	35
2. Discordance.....	35
II. Différents types de discordances.....	36-38
1. Discordance majeure.....	36
2. Discordance angulaire sur une structure plissée.....	36
3. Discordance angulaire sur une série monoclinale.....	36
4. Discordance plate ou par lacune.....	36
III. Reconnaissance cartographique et construction en coupe.....	37-38
1. Cas des transgressions-régressions.....	37
2. Cas des discordances angulaires.....	38
IV. Coupe géologique de structures discordantes.....	38
V. LES STRUCTURES FAILLEES.....	39-44
I. Définitions.....	40

II. Différents types de failles.....	41
1. Faille normale.....	41
2. Faille inverse.....	41
3. Faille conforme.....	41
4. Faille contraire.....	41
5. Faille de décrochement.....	41
III. Reconnaissance des failles sur les cartes géologiques.....	43
IV. Représentation des failles sur la coupe.....	44
V. Coupe géologique de structures faillées.....	44
VI. LES CHEVAUchements.....	45-47
I. Définitions.....	46
II. Reconnaissance de chevauchements sur les cartes géologiques.....	46
III. Exemples de pli-faille.....	47
IV. Nappes de charriage.....	47

BOUTRIKA RABAH

CHAPITRE *I*

LES STRUCTURES TABULAIRES

BOUTRIKA RABAH

I. RAPPELS TOPOGRAPHIQUES

1. La carte topographique

C'est la représentation plane, à une échelle déterminée, d'une partie de la surface terrestre (*figure 1*).

Le **relief** se représente par les **courbes de niveaux** (ou courbes hypsométriques), qu'on peut définir comme étant l'intersection de plans horizontaux équidistants avec la surface topographique.

Le choix de **l'équidistance** (e) est dicté par le type de relief à représenter et par l'échelle de la carte.

La **pente** d'un **versant** est perpendiculaire aux courbes de niveau et son sens est déterminé par la lecture des ces dernières.

L'**espacement** des courbes de niveau est inversement proportionnel à la valeur de la pente (Courbes espacées = pente faible; courbes serrées = pente forte).

Sur une carte topographique, les **vallées** sont indiquées par une convexité des courbes de niveau dirigée vers l'amont en forme de « U » ou de « V » (en fonction de la morphologie de la vallée). Au fond de la vallée, le **talweg** est la ligne de drainage des eaux. Au niveau des **lignes de crête**, la convexité est dirigée vers l'aval. Les **collines** et **dépressions** fermées se marquent par des courbes de niveaux concentriques (*Figure 1*).

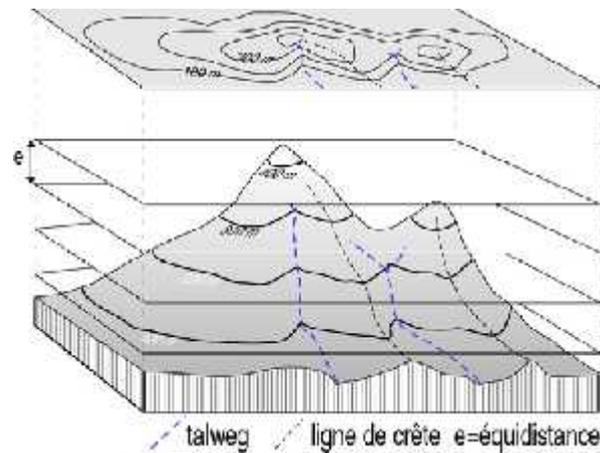


Figure 1

2. Notion d'échelle

La projection planaire (*figure 2*) s'est faite sans réduction, ni agrandissement de la topographie initiale. Cependant, pour la réalisation d'une carte topographique (moins d'1 m²) d'une grande superficie de terrain (plusieurs dizaines de km²), il est évident qu'une forte réduction s'impose. C'est ce coefficient de réduction

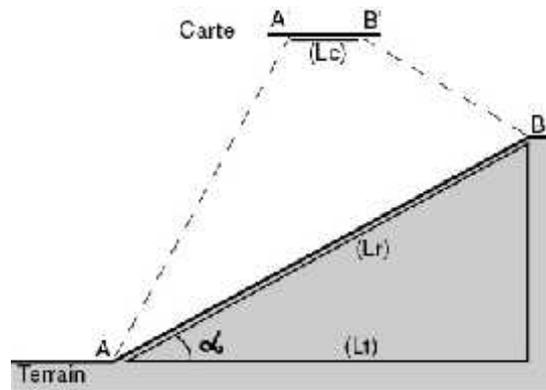


Figure 2

ainsi choisi, correspondant à un nombre fractionnaire, qu'on appelle *échelle*. Autrement dit, l'échelle d'une carte (E) est le rapport de la longueur mesurée sur la carte (L_c), en une unité donnée, à la distance horizontale correspondante sur le terrain (L_t), à la même unité:

$$E = L_c / L_t$$

Exemples:

- l'échelle d'une carte dont deux points distants de 1 cm sur la carte et de 1 km sur le terrain est:

$$E = 1\text{cm} / 100\,000\text{cm},$$

La carte sera dite à l'échelle 1/100 000 (représentation numérique).

- Deux points distants de 5 km, sont séparés de :

10 cm sur une carte au 1/50 000 (carte à petite échelle).

20 cm sur une carte au 1/25 000 (carte à grande échelle).

Remarques:

- Noter bien que l'échelle d'une carte est fonction de (L_t) (appelée aussi distance à vol d'oiseau), qui est la projection sur un plan horizontal de la distance réelle sur le terrain (L_r). Cette dernière est fonction de la pente topographique (α) selon la formule :

$$(L_r) = (L_t) / \text{Cos}\alpha$$

- La précision d'une carte dépend de l'échelle du levé et non de son agrandissement. Autrement dit, agrandir une carte (par exemple par photocopie) n'améliore en rien sa précision.

L'échelle (E) peut aussi être représentée graphiquement par un segment gradué, permettant de lire directement la distance réelle correspondant à une certaine longueur sur la carte.

L'échelle graphique a pour avantages une conversion plus rapide des longueurs mesurées et surtout de rester valable après agrandissement ou réduction de la carte.

3. Le profil topographique

L'établissement d'un 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. Sa réalisation passe par les étapes suivantes (figure 3):

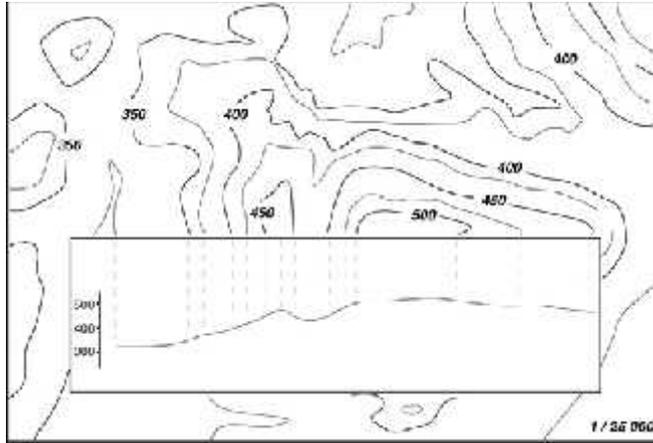


Figure 3

et ensuite abaissées à leur altitude à l'échelle de la coupe.

- Ces différents points sont ensuite reliés entre eux par une courbe continue. On obtient ainsi le profil topographique qui correspond à une courbe en coordonnées rectangulaires, avec les altitudes en ordonnée et les distances en abscisse.

Remarques:

Un profil correct doit avoir la même échelle que celle de la carte, mais aussi une échelle identique pour les hauteurs et les longueurs. Il doit aussi comporter un certain nombre d'indications : échelle, orientation de la ligne de coupe, localisation des points de repères fixes, nom des rivières et villages, etc.

II. NOTIONS GEOLOGIQUES

1. La stratigraphie

C'est l'étude de la succession des couches ou des formations rocheuses d'une région qui permet de reconstruire les événements géologiques. Par exemple, la nature des roches sédimentaires nous informe sur le milieu de sédimentation et comment cet environnement a évolué dans le temps. En outre, la stratigraphie permet d'établir une chronologie relative des terrains par l'application des principes suivants:

- **Le principe de continuité** : une même couche a le même âge sur toute son étendue.
- **Le principe de superposition** : dans les terrains non-déformés, les formations les plus basses sont les plus anciennes et les formations les plus hautes sont les plus jeunes. C'est la façon d'exprimer *l'âge relatif*.
- **Le principe d'horizontalité** : les couches sédimentaires sont déposées à l'origine horizontalement. Une séquence sédimentaire qui n'est pas en position horizontale aurait subi des déformations ultérieurement à son dépôt.
- **Le principe de recoupement** : les couches sont plus anciennes que les failles ou les roches qui les recoupent.
- **Le principe d'inclusion** : les morceaux de roche inclus dans une autre couche sont plus anciens que leur contenant.

2. Le facies : c'est l'ensemble des caractères pétrographiques et paléontologiques qui caractérisent une roche. Certains de ceux-ci permettent d'en préciser les conditions de dépôt. Certaines couches peuvent présenter des variations latérales de faciès d'un point à l'autre.

3. La tectonique : c'est l'étude des déformations de la croûte terrestre et des structures qui en résultent, à différentes échelles, depuis l'échelle du globe (Tectonique des plaques) à l'échelle d'échantillons (microtectonique). Ici, on l'envisagera surtout du point de vue des structures à l'échelle régionale (carte géologique).

III. PRESENTATION DE LA CARTE GEOLOGIQUE

La *carte géologique* est une représentation sur un fond topographique des différentes *formations géologiques* qui affleurent à la surface du sol (ou masquées par une faible épaisseur de formations superficielles récentes : sol, terre végétal, éboulis,...), par la projection de leurs *contours géologiques*, c'est à dire l'intersection des limites géologiques avec la surface topographique.

Nous considérons une *formation géologique* comme un volume de roche que l'on identifie sur un ou des critères particuliers, comme par exemple la **lithologie** ou **l'âge**.

Couche géologique : dans la plupart des cas, les roches sédimentaires sont naturellement subdivisées en *couches* ou *strates*, qu'on peut considérer comme un volume limité par deux

plans de stratification : plans inférieur et plan supérieur.

Le **plan de stratification** correspond à une surface assez régulière, séparant deux couches. Le plan qui sépare la couche de celle qui lui est sous-jacente (plus ancienne) détermine la limite inférieure de la couche, tandis que celui qui la sépare de la couche sus-jacente (plus jeune) en constitue la limite supérieure.

Sur une carte géologique, chaque formation géologique est représentée par une **couleur** et affectée d'une **notation** (ou indice), qui indiquent leur âge géologique (*tableau 1*). Si on ignore celui-ci, on différencie les formations grâce à leurs caractères pétrographiques, comme c'est le cas habituel des terrains magmatiques et métamorphiques.

Sur toutes les cartes géologiques, la signification stratigraphique ou pétrographique de ces couleurs et notations est donnée dans la **légende** de la carte, qui figure généralement en bordure de celle-ci. La légende est toujours disposée de telle manière que les terrains se suivent dans l'ordre stratigraphique (du plus ancien à la base au plus récent en haut).

Comme nous le découvrirons dans les chapitres ultérieurs, les cartes géologiques fournissent aussi d'autres données relatives à la structure du sous-sol (pendage des couches, axes de plis, contacts anormaux,...), ainsi que des renseignements relatifs à la présence de substances minérales (minerais, pierres de taille, sables, sources, etc.)

Remarques :

- une carte géologique est habituellement accompagnée d'une **notice** (livret) qui donne des précisions complémentaires et détaillées sur la région étudiée (situation géographique, description détaillée des terrains avec leur épaisseur, leur lithologie, les variations latérales, le contenu fossilifère, ainsi que l'évolution structurale de la région.).
- lors des levés de terrain, le **géologue cartographe** étudie les différents affleurements (formation géologique accessible à l'observation), selon différents aspects : tectonique, stratigraphique, pétrographique, paléontologique, etc.. C'est à partir de ces observations, reportées sur la carte topographique (**minute de terrain**), que le géologue va tracer les contours géologiques. On conçoit dès lors que les cartes géologiques renferment une part, plus au moins importante, d'interprétations et d'hypothèses, en fonction de la densité des affleurements étudiés. Ce problème, bien réel dans les régions à fort couvert végétal (régions tempérées), ne se pose pas, ou peu, pour cartographier des zones arides ou semi-arides comme la plus grande partie du territoire marocain.

Tbleau 1

(voir l'échelle stratigraphique plus détaillée en annexe 1)

Divisions stratigraphiques		notation	couleur
Quaternaire			<i>beige</i>
Cénozoïque (Tertiaire)	<i>Pliocène</i>	<i>p</i>	
	<i>Miocène</i>	<i>m</i>	<i>jaune</i>
	<i>Oligocène</i>	<i>g</i>	<i>orange</i>
	<i>Eocène</i>	<i>e</i>	
Mésozoïque (Secondaire)	<i>Crétacé</i>	<i>c</i>	<i>vert calir</i>
	<i>Jurassique</i>	<i>l et j</i>	<i>bleu</i>
	<i>Trias</i>	<i>t</i>	<i>rose</i>
Paléozoïque (Primaire)	<i>Permien</i>	<i>r</i>	<i>violet</i>
	<i>Carbonifère</i>	<i>h</i>	<i>gris</i>
	<i>Dévonien</i>	<i>d</i>	<i>marron</i>
	<i>Silurien</i>	<i>s</i>	<i>vert</i>
	<i>Ordovicien</i>	<i>o</i>	
	<i>Cambrien</i>	<i>k</i>	<i>brun beige</i>
Précambrien		<i>x</i>	<i>rouge</i>

IV. PRINCIPE DE LA CONSTRUCTION D'UNE COUPE GEOLOGIQUE

1. Définitions

Il existe trois principales méthodes d'étude d'une carte géologique :

- i) établir son *commentaire* géologique;
- ii) établir son *schéma structural* ;
- iii) réaliser des *coupes géologiques*.

C'est cette dernière approche qui fera l'objet de toutes les séances ultérieures.

Une *coupe géologique* est une représentation, selon une section verticale, des terrains cachés en profondeur en n'en connaissant que la partie qui affleure. La coupe géologique s'appuie donc sur une part d'hypothèses et d'interprétations déduite, logiquement, des indications de la carte. En définitif, si la carte est bien levée, et lue correctement, ces diverses interprétations ne diffèrent généralement que fort peu.

Il faut noter que des données complémentaires, comme des sondages ou des données géophysiques, peuvent aider à rendre une coupe géologique plus exacte.

Une coupe géologique est généralement prise perpendiculairement à la direction des structures géologiques.

2. Démarche à suivre :

- i) Exécuter le profil topographique de la coupe demandée.
- ii) Repérer sur le bord supérieur du papier millimétré, les limites des affleurements géologiques, puis les abaisser sur le profil topographique.
- iii) A partir de ces points, dessiner la section de terrain en profondeur, en reliant entre eux les différents affleurements. Cette étape, la plus délicate, dépend du type de structure géologique considérée. Elle doit se faire en respectant des règles issues de la bonne lecture de la carte géologiques et dont nous allons voir le détail au fur et à mesure des pages suivantes. Deux règles fondamentales sont toutefois à respecter :
 - Il faut commencer par dessiner la couche la plus récente, puisque les autres couches doivent se mouler sur elle.
 - Appliquer les valeurs de pentages déduites de la carte et donner aux couches les épaisseurs indiquées sur la légende et les maintenir constantes, sauf indication contraire, tout le long de la coupe.

Remarques :

- La représentation d'une coupe géologique demande beaucoup de soin, d'application et de minutie, car il est bien évident qu'une erreur sur la projection des couches ou d'épaisseur entraîne des erreurs beaucoup plus graves sur la physionomie générale et l'exactitude de la coupe géologique (une erreur d'1mm sur une coupe réalisée à partir d'une carte au 100 000°, représente une erreur réelle de 100m). C'est pour cette raison qu'il est conseillé d'utiliser un crayon bien taillé ou porte mine.
- En annexe 2 (figure 46), à la fin de ce manuel, nous avons représenté un modèle de représentation d'une coupe géologique. Celui-ci doit servir comme modèle de base pour toutes les coupes géologiques à réaliser.

3. Représentation des figures

Si, sur une carte géologique, les formations géologiques se distinguent par une couleur et une notation, dans une coupe géologique on leur affecte un figuré.

Sur la *figure 4*, sont représentés quelques-uns des figurés les plus utilisés.

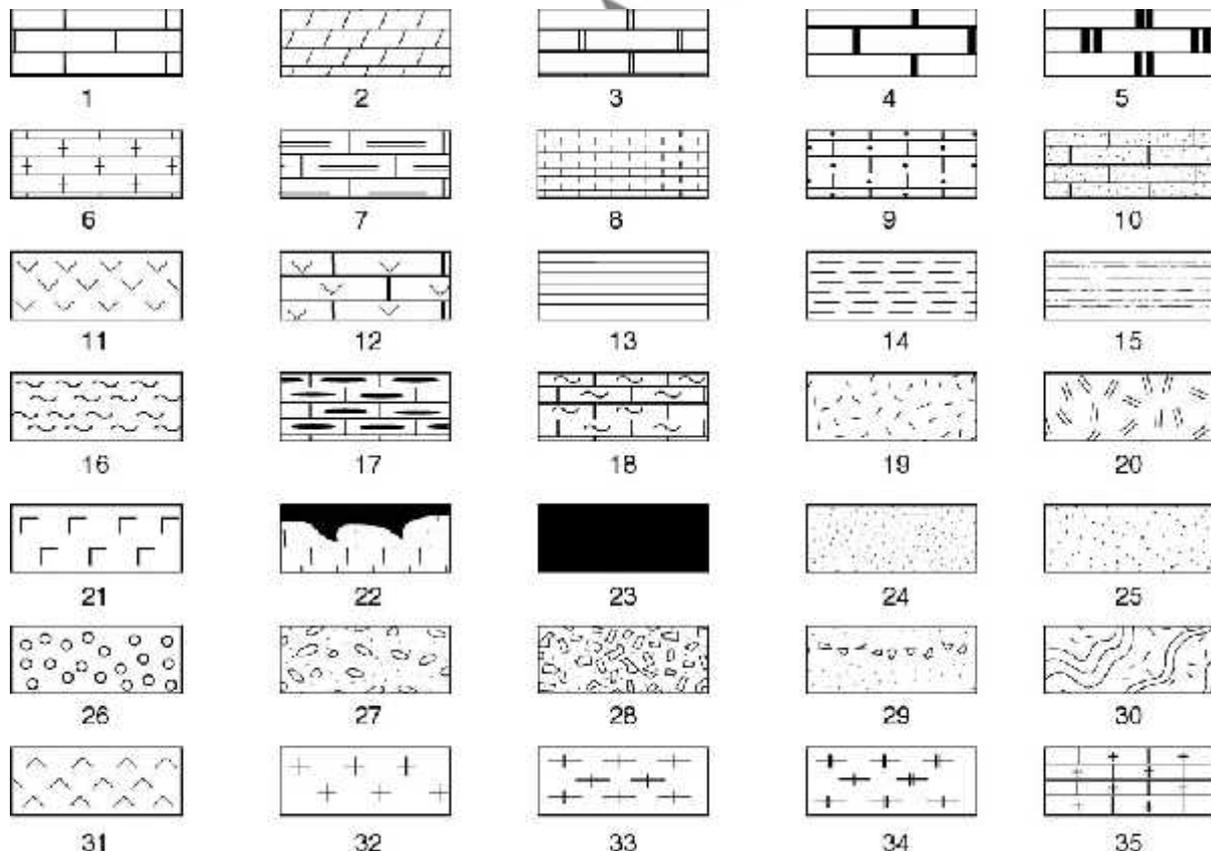
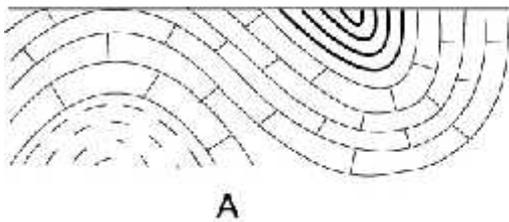
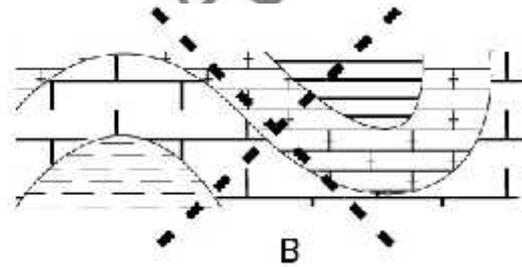


Figure 4

- 1 à 10 : calcaires (1 à 5, en bancs ; 6 : marneux ; 7 : à silex ; 8 : en plaquettes ; 9 : conglomératiques ; 10 : gréseux) ; 11 et 12 : dolomies et calcaires dolomitiques ;
- 13 à 18 : argiles et marnes (15 : sableuses ; 17, 18 : marno-calcaires) ; 19 et 20 : roches massives ; 21 : roches salines ; 22 : dépôts en poches ; 23 : couche de faible épaisseur ou épaisseur variable ;
- 24 à 29 : roches détritiques (24 : sables ; 25 : grès ; 26 et 27 : conglomérats ; 28 et 29 : brèches ; 30 : socle plissé ;
- 31 : roche éruptives basiques ; 32 : roches intrusives acides ;
- 33 à 35 : roches métamorphiques (33 et 34 : schistes cristallins ; 35 : calcaires métamorphiques). Le dessin des figurés doit être réalisé **soigneusement**, en rapport avec les limites des couches, parallèlement ou perpendiculairement (*figure 5A*) et non par rapport à l'horizontale de la coupe (*figure 5B*).



A : présentation des figurés correcte ;



B : représentation incorrecte.

Figure 5

V. STRUCTURES TABULAIRES

Dans le cas d'une structure tabulaire, les couches sont horizontales ou sub-horizontales, et n'ont, de ce fait, pas subi de mouvements tectoniques (ou peu), depuis leur dépôt.

Ce sont les structures les plus simples à reconnaître sur les cartes géologiques et les plus faciles à représenter dans les coupes géologiques.

1. Dans les régions à relief plat

Cas d'un plateau par exemple, seule la couche la plus jeune affleure, et donc la seule représentée sur la carte géologique (*figure 6A*).

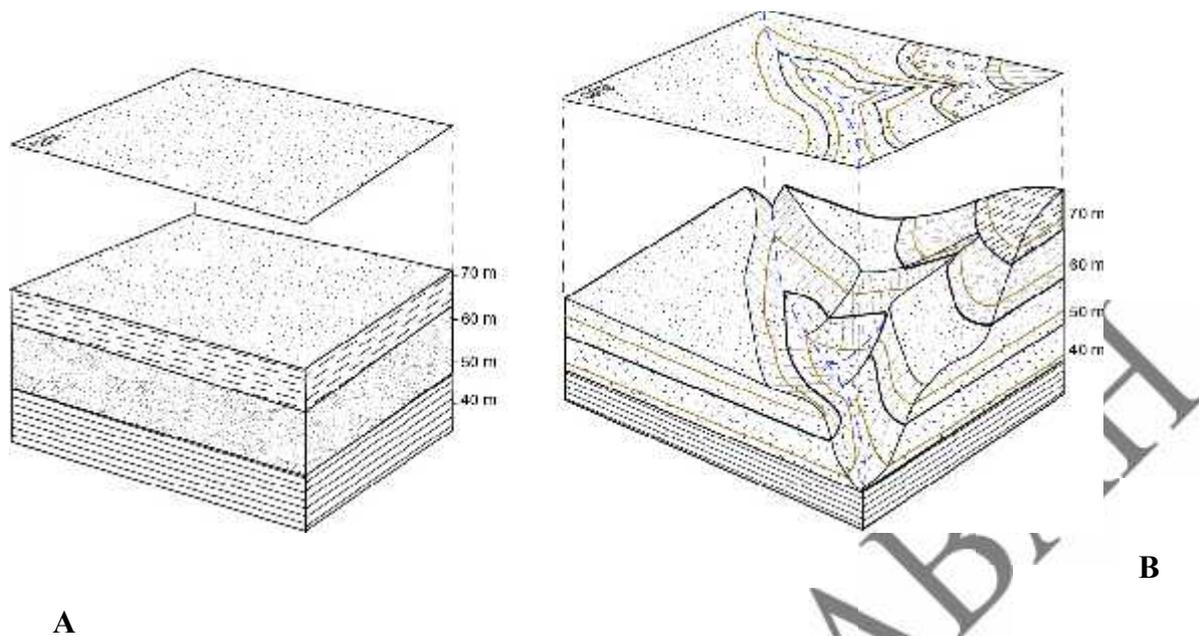


figure 6

- Dans les régions marquées par une plus forte activité des agents d'érosion, les couches inférieures affleurent dans les versants des vallées, alors que les couches supérieures peuvent être isolées dans les crêtes (figure 6B).

Il ressort de la carte géologique de la figure 6 que les contours géologiques des couches horizontales forment des bandes parfaitement parallèles aux courbes de niveau.

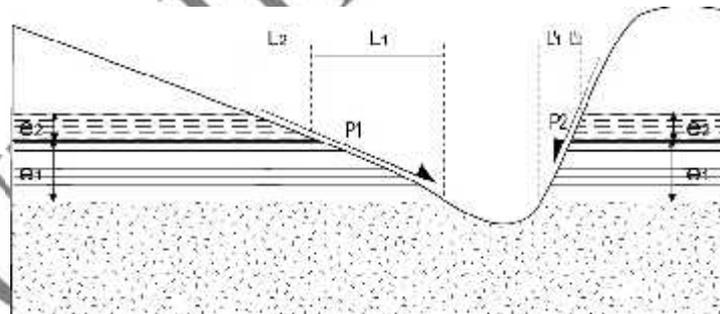


Figure 7

La **largeur d'affleurement** (L) est directement proportionnelle à l'**épaisseur** (e) (figure 7): ($e_1 > e_2 \Rightarrow L_1 > L_2$) et inversement proportionnelle à la **pente** topographique (P) : ($P_1 < P_2 \Rightarrow L'_2 < L'_1$)

L'épaisseur des couches horizontales peut ainsi être facilement calculée, directement sur une carte géologique. Elle est en effet égale à la différence d'altitude entre sa limite (contour) inférieure et sa limite supérieure.

CHAPITRE *II*

STRUCTURE MONOCLINALE

I. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES D'UN PLAN

1. Définitions

La géométrie d'un plan (couche géologique) est déterminée par deux paramètres (*figure 8*):

- **La direction** : c'est la valeur angulaire (α) que fait avec le nord, une ligne horizontale tracée dans le plan de stratification de la couche (P).

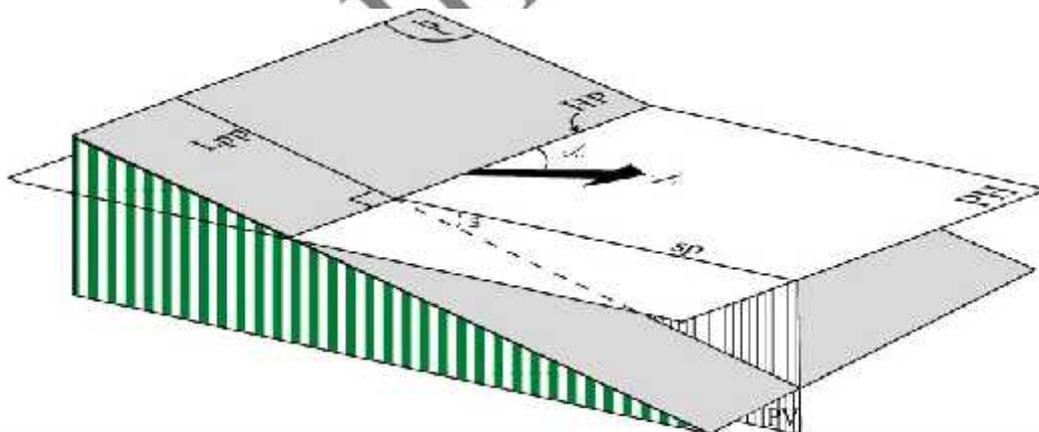
La direction d'un plan se mesure sur le terrain avec la boussole, c'est à dire par rapport au nord magnétique et se reporte sur la carte par rapport au nord géographique.

La valeur (α) varie de 0° à 180° .

- **Le pendage** : c'est l'angle (β) entre le plan horizontal et la *ligne de plus grande pente* (Lpp) du plan de stratification.

La valeur (β) varie de 0° à 90° .

Il faut noter que pour une direction donnée, on a deux plans qui présentent la même valeur de pendage mais présentent des *sens du pendage* (sp) opposés



P: Plan considéré; PH: plan horizontal; PV: plan vertical; HP: horizontale du plan P; N: Nord magnétique;
 α : direction du plan (P); β : pendage du plan (P); sp: sens du pendage

figure 8

2. Représentation des directions et pendages sur une carte et en coupe géologique (fig. 9)

Un plan est représenté sur une carte par des signes conventionnels, généralement en (T) dont la barre horizontale est parallèle à l'horizontale du plan et la barre verticale à sa ligne de plus grande pente. La longueur de cette dernière est inversement

proportionnelle à la valeur du pendage. Parfois le signe reste le même, mais on note, à côté de lui, la valeur du pendage en degrés.

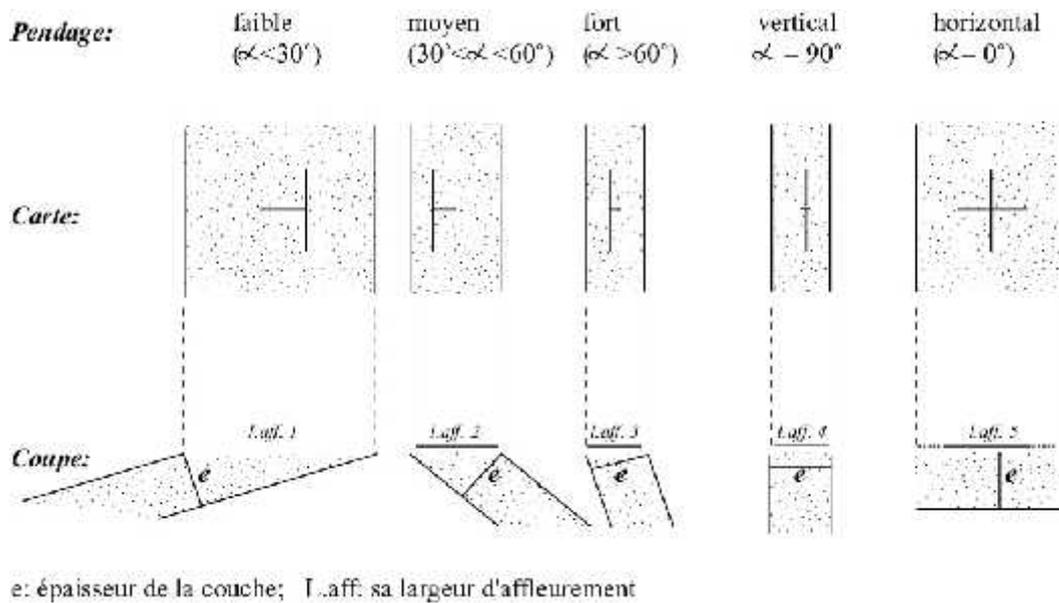


figure 9

II. STRUCTURE MONOCLINALE

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

1. En relief plat :

Les contours géologiques des structures sont rectilignes et parallèles les uns aux autres (figure 10)

- La direction des couches est celle des contours géologiques.
- Le sens du pendage est indiqué par la succession stratigraphique : c'est à dire le sens allant des couches les plus anciennes vers les couches les plus récentes (à l'exception des séries tectoniquement renversées).
- Il est impossible de déterminer la valeur exacte du pendage avec ces seules informations.

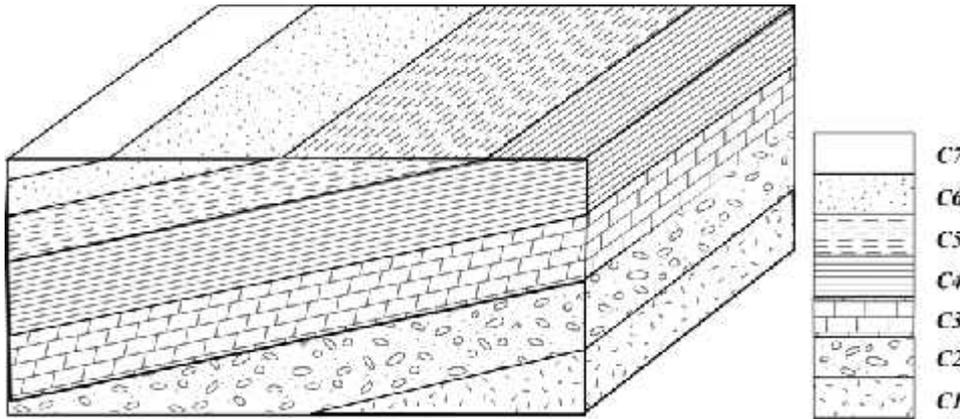


figure 10

2. En relief accidenté

Les contours géologiques recoupent les courbes de niveau sous un angle variable en fonction du pendage des couches. Cet angle est d'autant plus grand que le pendage du plan est fort (figure 11).

III. DETERMINATION QUALITATIVE DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES D'UNE COUCHE

1. Relation entre le pendage d'une couche et son contour géologique

Sur la figure 11, 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 en question. Le *contour géologique* est obtenu en reliant les différents points d'affleurement.

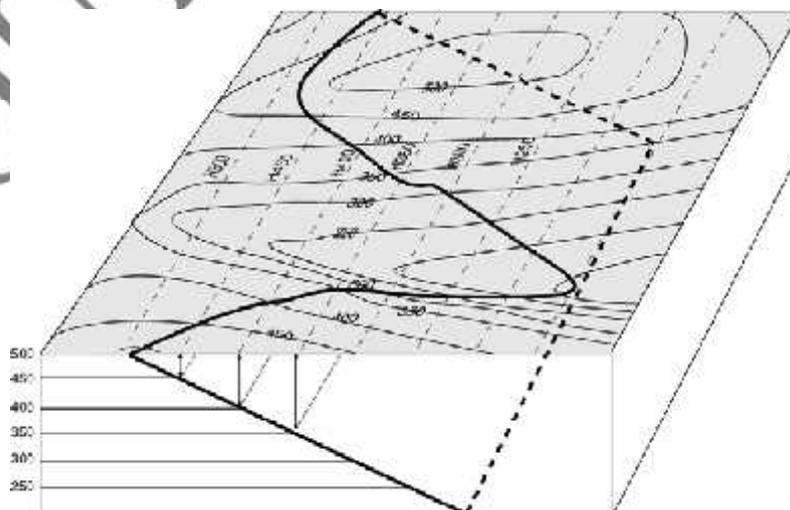


Figure 11

2. Relation entre les contours et le relief

Soit les trois plans (P1, P2 et P3) de la figure 12, dont la valeur et le sens du pendage sont variables. A partir de leur trace respective sur la carte, on peut déduire les conclusions suivantes :

- Cas d'un plan vertical

La projection du contour géologique d'un plan vertical sur une carte est une ligne rectiligne.

- Cas d'un plan incliné

La projection sur une carte du contour géologique d'un plan incliné est une ligne qui forme des V aussi bien au niveau des talwegs que des lignes de crêtes.

- i) Dans les vallées, prise perpendiculairement aux directions des couches, la pointe du V indique le sens du pendage des couches. Cette définition reste généralement valable sauf dans le cas où le pendage de la couche serait plus faible et de même sens que celui de la topographie.
- ii) Au niveau des lignes des crêtes, la pointe des V indique le sens contraire du pendage des couches, sauf dans le cas où le pendage de la couche deviendrait plus faible et de même sens que celui de la topographie.
- iii) L'ouverture du V est proportionnelle à la valeur du pendage (plus le V est ouvert, plus le pendage est fort, et l'inverse).

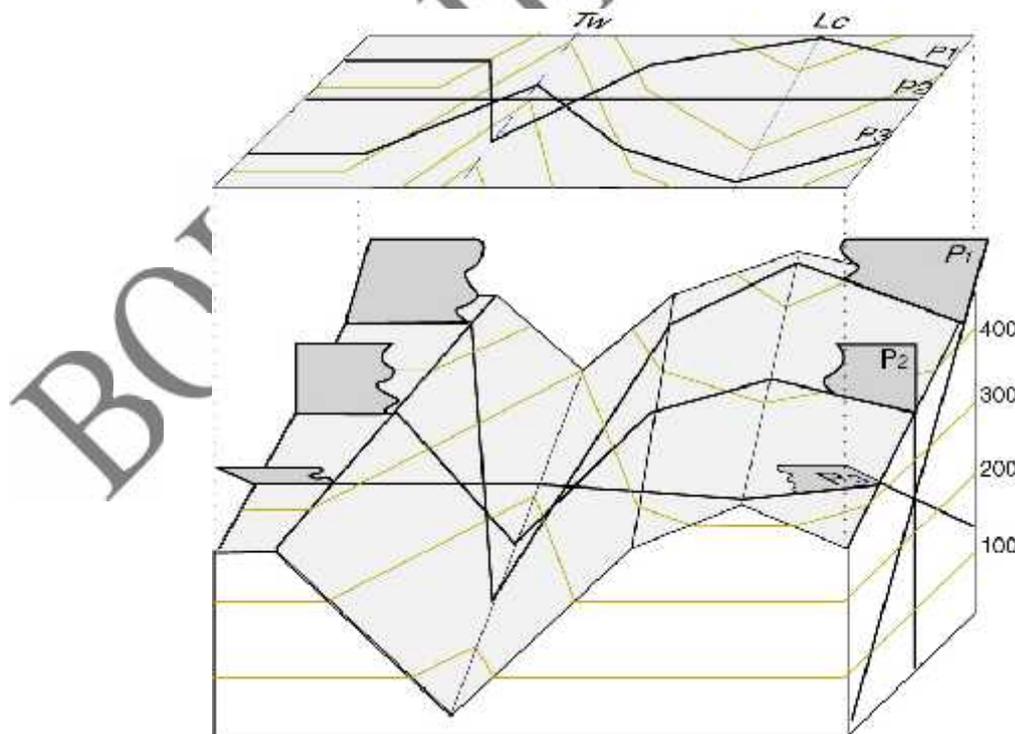


figure 12

3. Relations entre largeur d’affleurement et épaisseur d’une couche

Comme nous l’avons vu dans les cas où les couches sont horizontales, la largeur d’affleurement d’une couche inclinée est fonction de son épaisseur, de son pendage et de la pente topographique (*figure 13*)

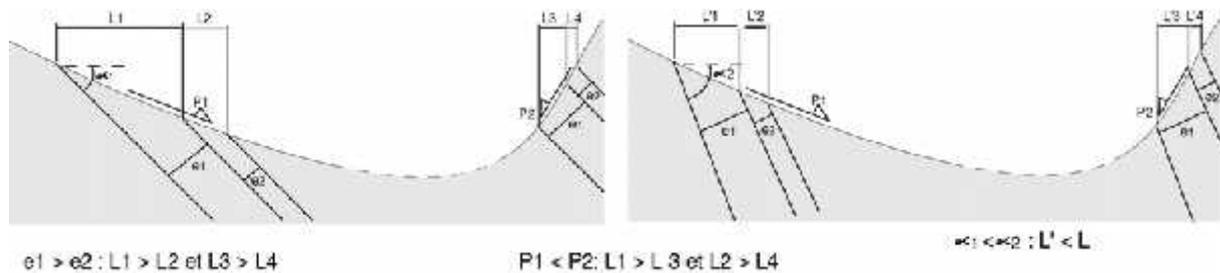


figure 13

On en déduit que :

- La largeur d’affleurement (L) est proportionnelle à l’épaisseur (e), et est inversement proportionnelle à la pente (P) et à la valeur du pendage (α).
- Pour une couche verticale, la largeur d’affleurement est égale à son épaisseur.

IV. DETERMINATION QUANTITATIVE DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES D’UNE COUCHE A PARTIR DE LA CARTE GEOLOGIQUE

1. Calcul de la direction d’une couche inclinée

La direction exacte d’une couche peut être aisément déterminée sur une carte (*figure 14*), par deux points d’affleurement situé à la même altitude. La ligne qui les relie, correspondant à l’horizontale de la couche pour l’altitude considérée, donne la direction de la couche (ici, N0).

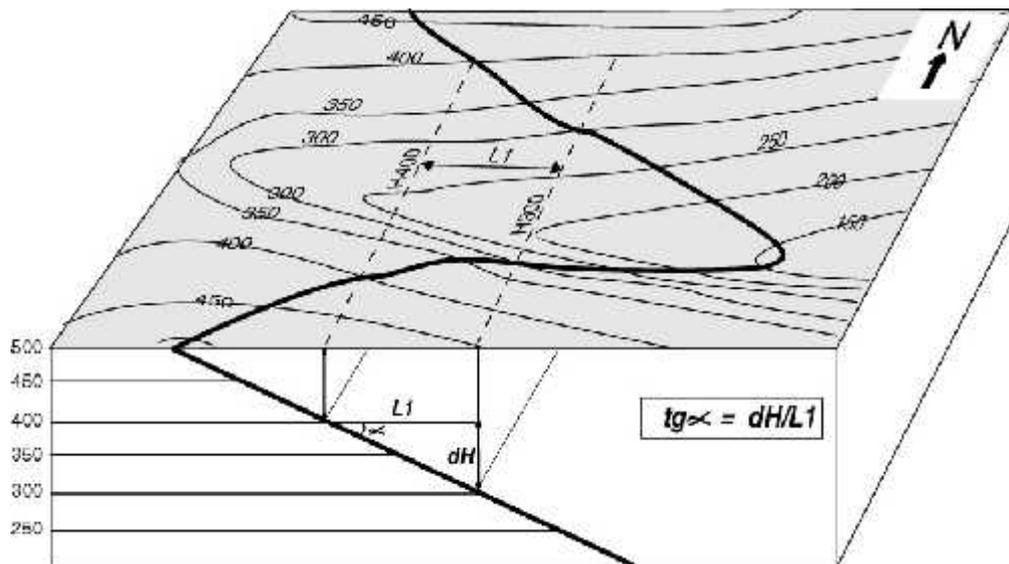


figure 14

2. Calcul du pendage d'une couche inclinée

Sur les cartes géologiques, la valeur (α) du pendage d'une couche peut être facilement déterminée grâce à la différence d'altitude entre deux horizontales (dH). On procède de la façon suivante :

On trace deux horizontales sur le même contour, on mesure la distance $L1$ qui les sépare. En construisant un triangle rectangle tout en gardant la même échelle pour dH et $L1$, on peut donc déduire :

$$\text{Tg } \alpha = dH/L1$$

Exercice :

Sur la carte topographique ci-contre (figure 15):

- Repérer les talwegs en bleu et les lignes de crête en noir.
- Donner l'équidistance des courbes de niveau.
- Déterminer la direction et le pendage du plan indiqué en gras

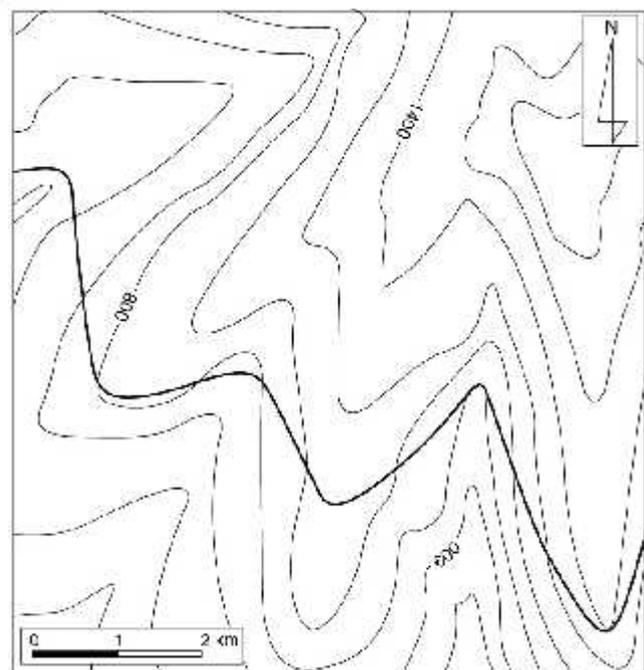


Figure 15

3. Calcul de l'épaisseur d'une couche inclinée

Traçons deux horizontales à la même altitude (ici H400), sur les deux contours de la même couche, correspondant à sa limite inférieure et supérieure (*figure 16*). Connaissant la valeur (α) du pendage vrai, l'épaisseur peut se calculer par la formule suivante :

$$e = L2 \sin \alpha$$

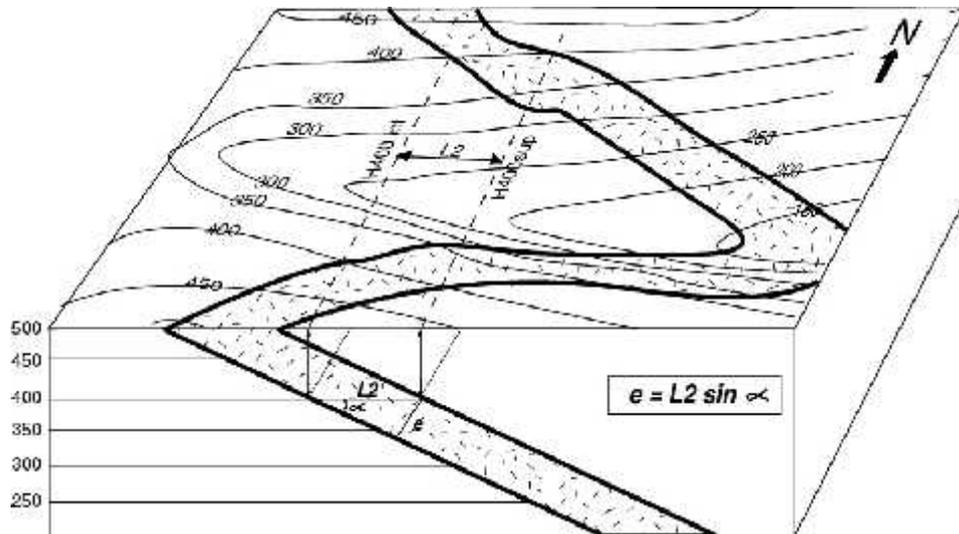


figure 16

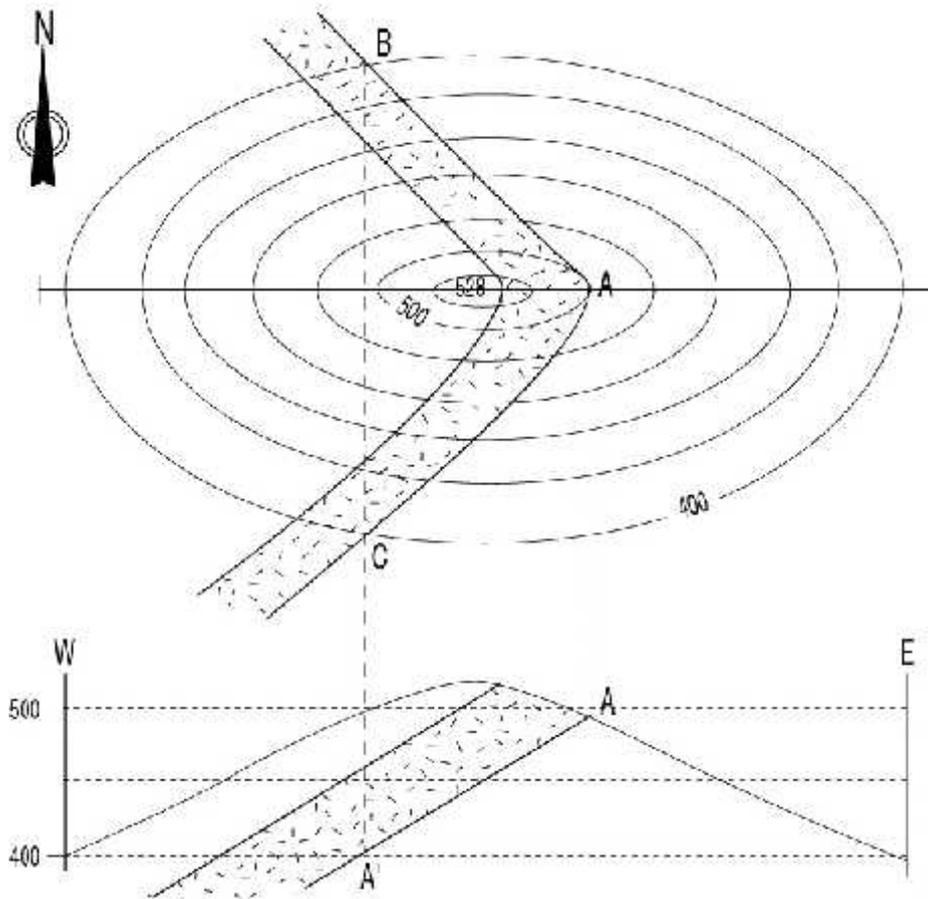
V. CONSTRUCTION DES COUCHES GEOLOGIQUES MONOCLINALES EN COUPE

1. Détermination du pendage d'une couche par la méthode des trois points

- *Cas de la topographie en colline*

La méthode, comme son nom l'indique, consiste à rechercher trois points appartenant au même plan (limite inférieure ou supérieure), de telle sorte que deux se positionnent à la même altitude et le troisième à une altitude différente.

Sur la *figure 17*, le point A est à l'altitude 500 alors que B et C seront projetés à l'altitude 400. Les trois points définissent un plan représenté en coupe par AA' dont la pente correspond au pendage de la couche. La deuxième limite de la couche étant tout simplement parallèle à celle déterminée.

*figure 17*

Rappelons que dans le cas d'une couche verticale, les limites géologiques présentent toujours un tracé rectiligne, quel que soit le relief, et les différents points (A, B, C et A') sont alignés sur la même verticale (*figure 18A*), alors que les couches horizontales présentent toujours des tracés parallèles aux courbes de niveau (*figure 18B*).

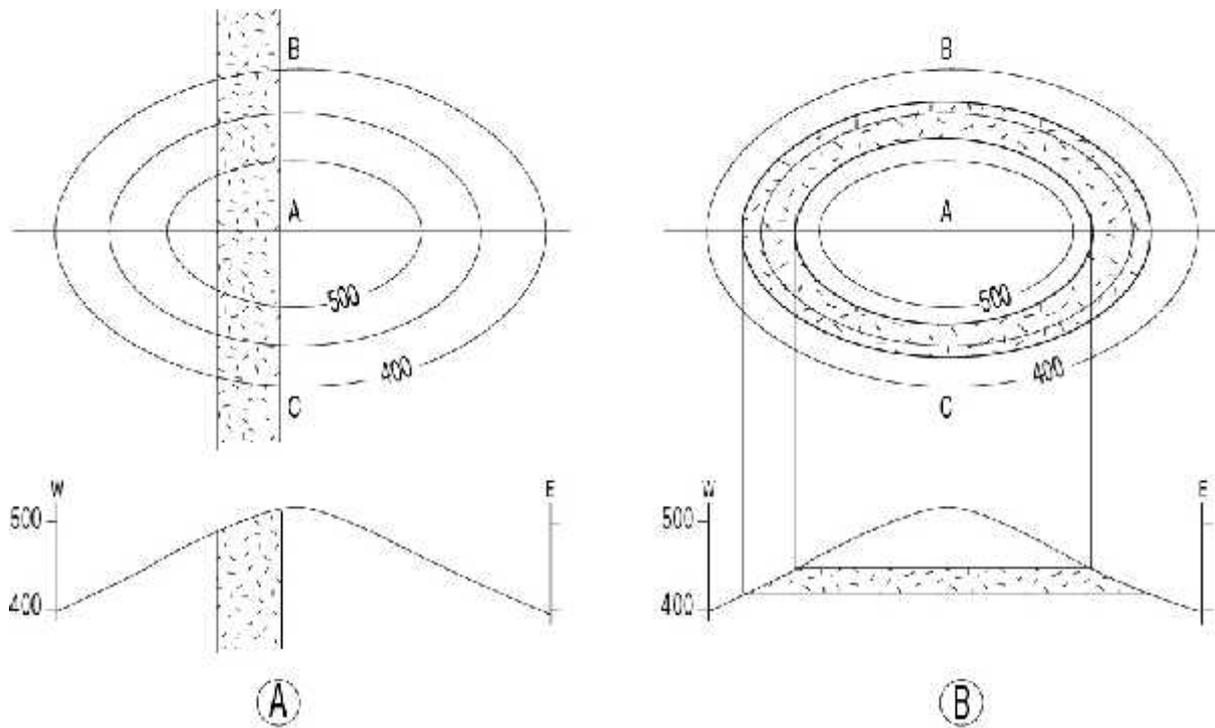


figure 18

- Cas de la topographie en vallées

Exercice :

En suivant le même principe décrit précédemment, représenter en coupe les six plans en gras de la figure 19, en appliquant la méthode des trois points.

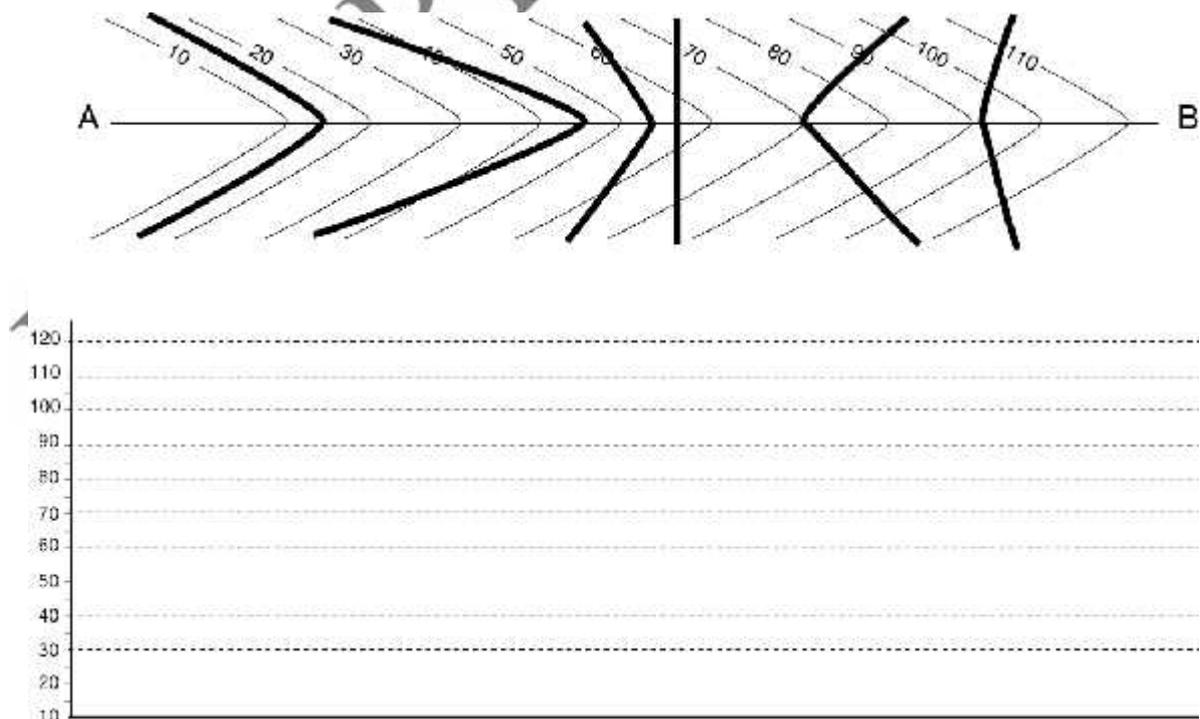


figure 19

En analysant les plans ainsi représentés, vérifier les relations entre :

- le sens de la pointe du V de la trace du plan et son sens du pendage.
- l'ouverture du V et la valeur du pendage.

2. Construction des couches géologiques en coupe : procédure à suivre

Comme souligné précédemment, il est impératif de conserver pour chaque couche la même épaisseur tout au long de la coupe, sauf indication contraire.

Pour construire une couche géologique en coupe, nous disposons généralement de renseignements tirés de la carte (largeur d'affleurement, pendage (sens et valeur) et/ou épaisseur). La procédure de construction est la suivante :

- La projection à partir de la carte de l'intersection du trait de coupe avec ses limites. La distance obtenue étant celle de sa largeur d'affleurement.

i) *Connaissant le sens et la valeur du pendage (figure 20A) :*

Si le pendage de la couche géologique est donné par la carte, il suffit de tracer en coupe les deux limites parallèles de la couche faisant avec l'horizontal un angle égale à la valeur du pendage indiquée. On peut ensuite facilement déduire l'épaisseur de la couche en la mesurant perpendiculairement aux limites de la couche sur la coupe.

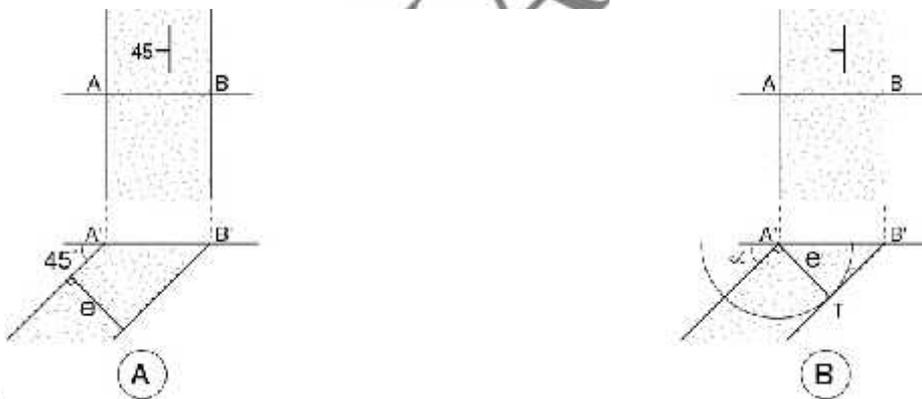


Figure 20

ii) *Connaissant le sens du pendage et l'épaisseur de la couche (figure 20B)* On trace un arc de cercle ayant comme centre la limite supérieure (A') et l'épaisseur (e) comme rayon. Le segment (B'T) tangent à ce cercle constitue la limite inférieure de la couche et donne son pendage exact (α).

iii) *Cas des couches à pendage variable*

Il s'agit du cas d'une couche dont on connaît l'épaisseur, le pendage de ses limites et dont la construction s'avère difficile à cause d'une largeur d'affleurement, trop large ou trop étroite. Ce cas implique obligatoirement une variation du pendage de la couche.

Exercice : construire les coupes correspondantes aux cartes ci-dessous (épaisseur de J2 est de

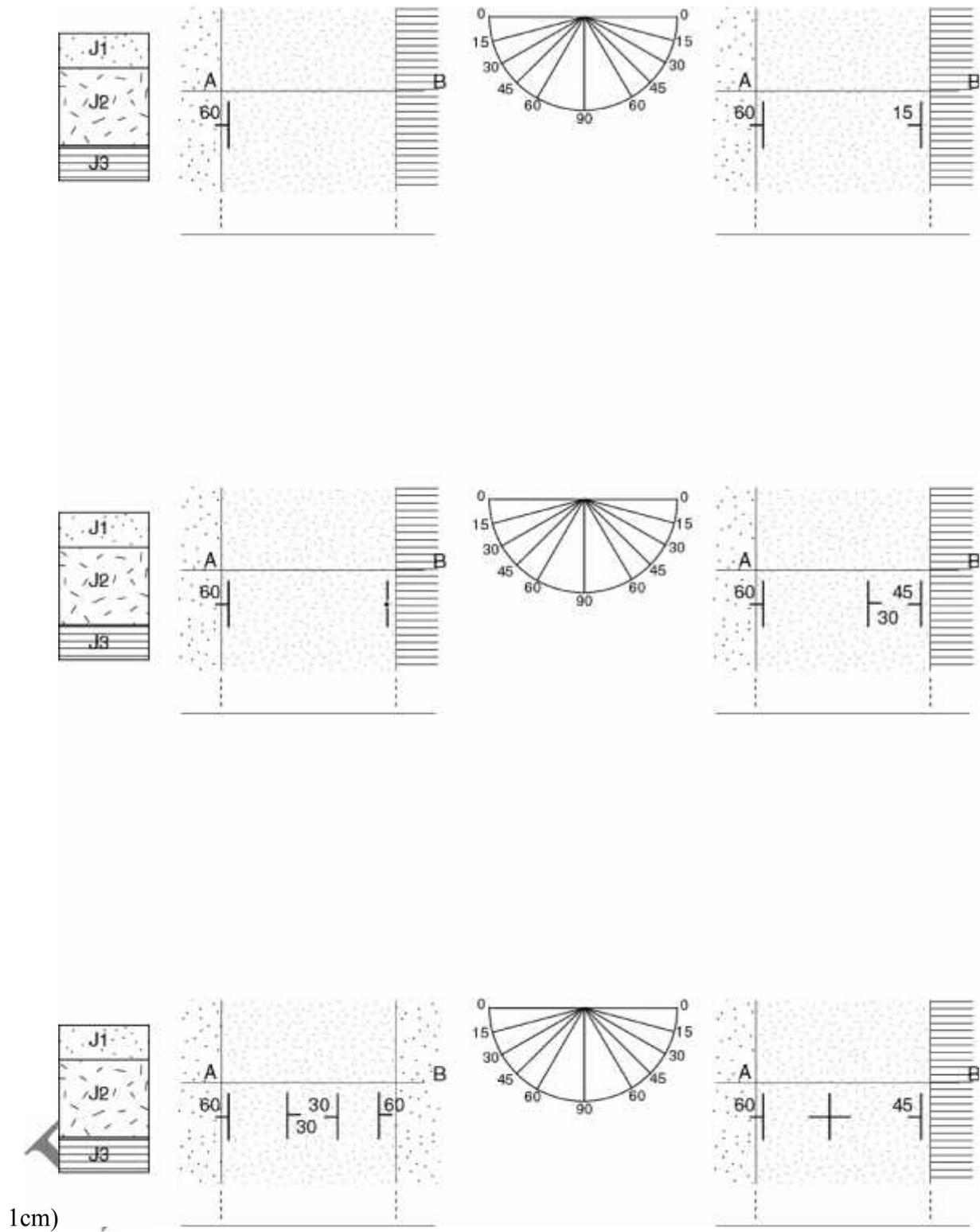


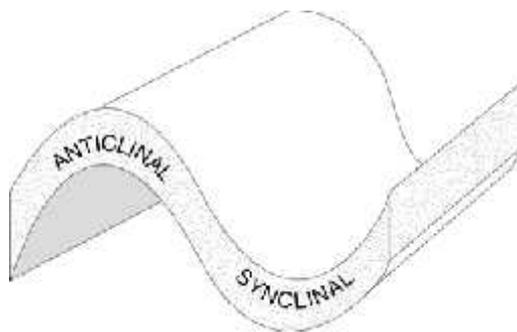
figure 21

CHAPITRE *III*
LES STRUCTURES PLISSEES

I. Définitions

1. LES STRUCTURES PLISSEES

Sous l'effet des contraintes tectoniques, les strates (couches) sédimentaires peuvent se déformer de façon plus ou moins plastique. Leurs pendages deviennent alors variables et dirigés dans des sens divers, on dit qu'elles sont **plissées**.



Les structures plissées (figure 22) sont formées de **synclinaux** (plis concaves vers le haut) et d'**anticlinaux** (plis concaves vers le bas).

Au cœur des synclinaux sont représentées les formations les plus récentes et les plus anciennes au cœur des anticlinaux.

Figure 22

2. ELEMENTS MORPHOLOGIQUES D'UN PLI (figure 23)

- **Charnière** : c'est la zone de courbure maximale présentée par les couches, souvent représentée sur la carte par :

respectivement pour la charnière anticlinale et synclinale.

- **Flancs** : surface de la couche de part et d'autre de la charnière

- **Plan axial** : c'est le plan de symétrie du pli passant par le milieu de la charnière.

- **Axe du plis** (β) : c'est la direction du plan axial.

Il correspond aussi à sa projection sur la carte géologique.

- **Plan π** : c'est le plan perpendiculaire à l'axe du pli.

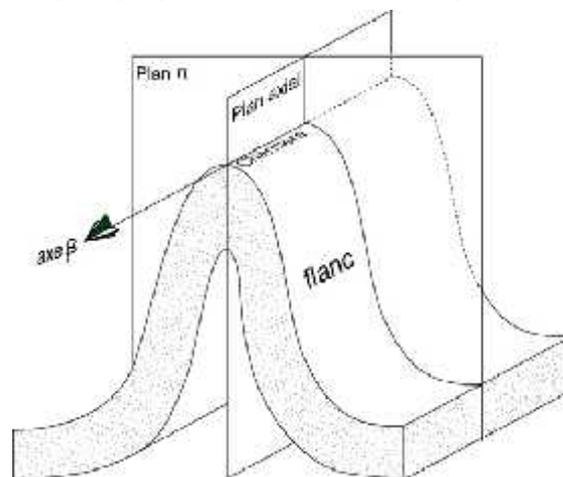


Figure 23

3. LES DIFFERENTS TYPES DE PLIS :

En fonction de la géométrie du plan axial, on peut distinguer différents types de plis (figure 24):

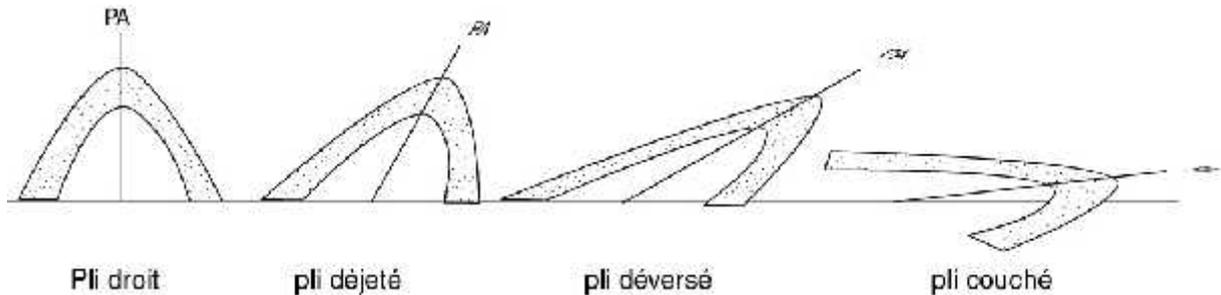


Figure 24

Lorsque le plan axial est vertical, on parle de pli *droit*. Le pli devient successivement *déjeté*, *déversé* et *couché* quand le plan axial s'incline de plus en plus.

4. NOTIONS DE FLANC NORMAL ET DE FLANC INVERSE

Lorsque sur une coupe verticale, les couches géologiques plissées se rencontrent dans l'ordre où elles sont déposées, on dit que la série est *normale* ; on est alors sur le *flanc normal* du pli. Dans le cas contraire on a une série *inverse* (ou *renversée*) qui se rencontre dans le *flanc inverse* du pli (figur25).

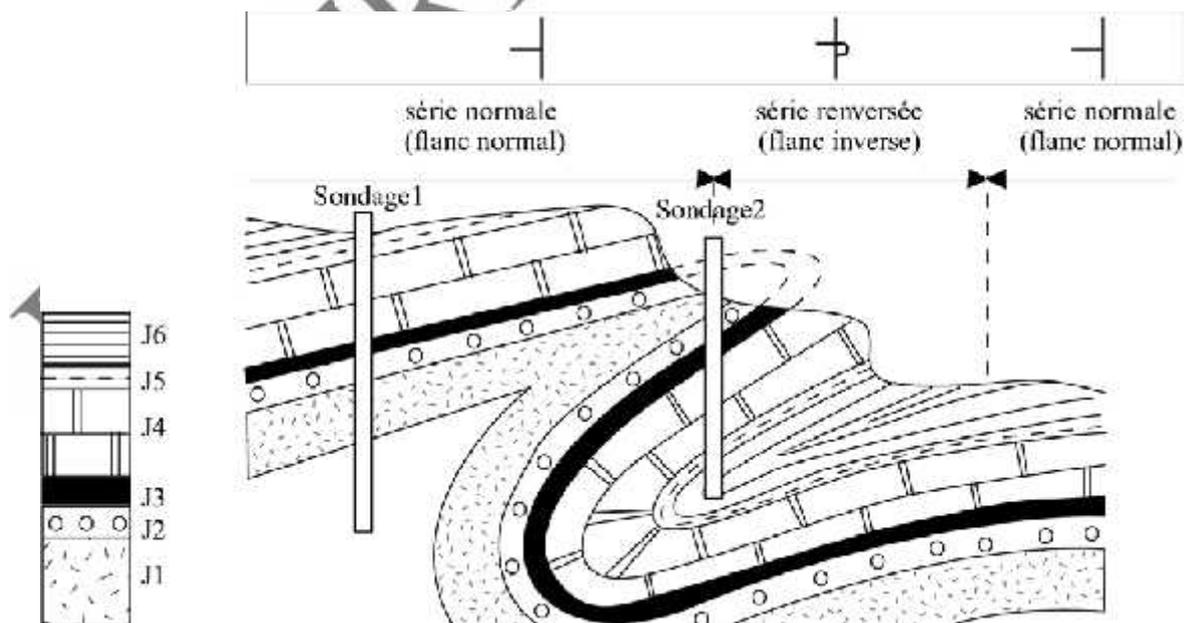


figure 25

II. RECONNAISSANCE DES STRUCTURES PLISSEES SUR UNE CARTE GEOLOGIQUE

Sur une carte géologique, les contours des couches plissées dépendent de la *topographie*, du *pendage des couches* mais aussi de la *géométrie de l'axe du pli*.

1. Structure plissée a axe horizontal

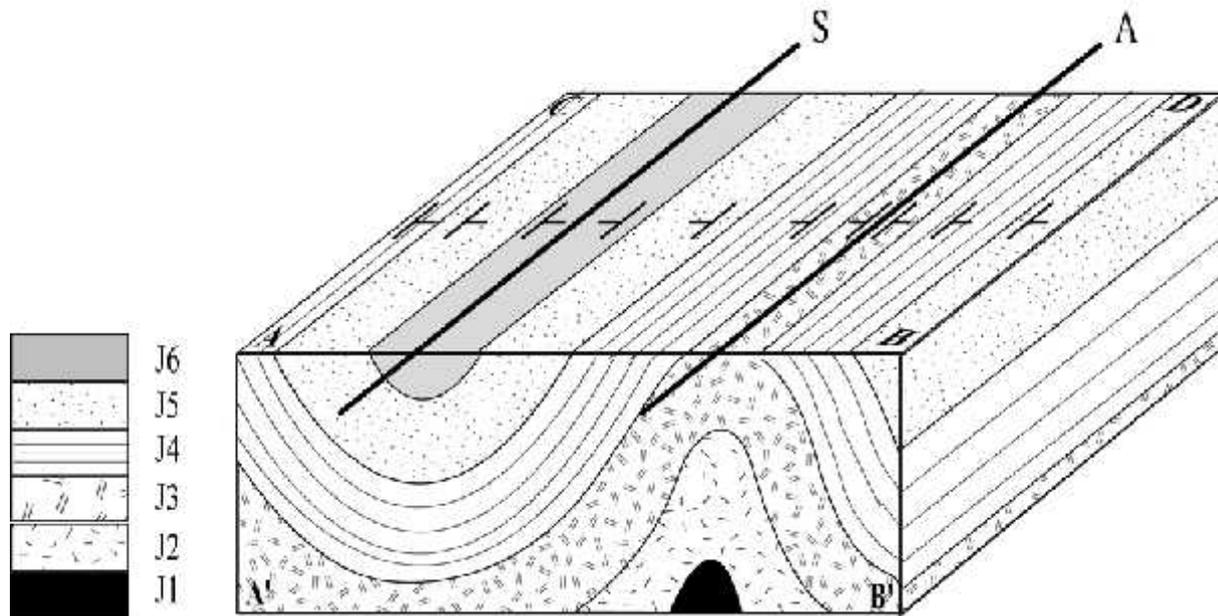


figure 26

Considérons la structure plissée de la *figure 26*, dont le plan axial est vertical est l'axe horizontal. Les contours géologiques forment sur le plan (ABCD) des lignes droites et parallèles en relief plat et plus au moins sinueuses en relief accidenté. Ils délimitent des bandes parallèles répétitives et plus au moins symétriques.

Exercice :

Comparer les deux axes de symétrie « S » et « A » en complétant le tableau ci-dessous:

	Axe 'S'	Axe 'A'
Âge des couches
Pendage des couches
Forme des couches
Type du pli

2. Structure plissée à axe incliné

Lorsque l'axe du pli est incliné, les contours des couches géologiques forment des «V» dont la pointe est dirigée vers le sens de l'inclinaison de l'axe, dans le cas d'un pli anticlinal et le sens contraire, dans le cas d'un pli synclinal (*figure 27*)

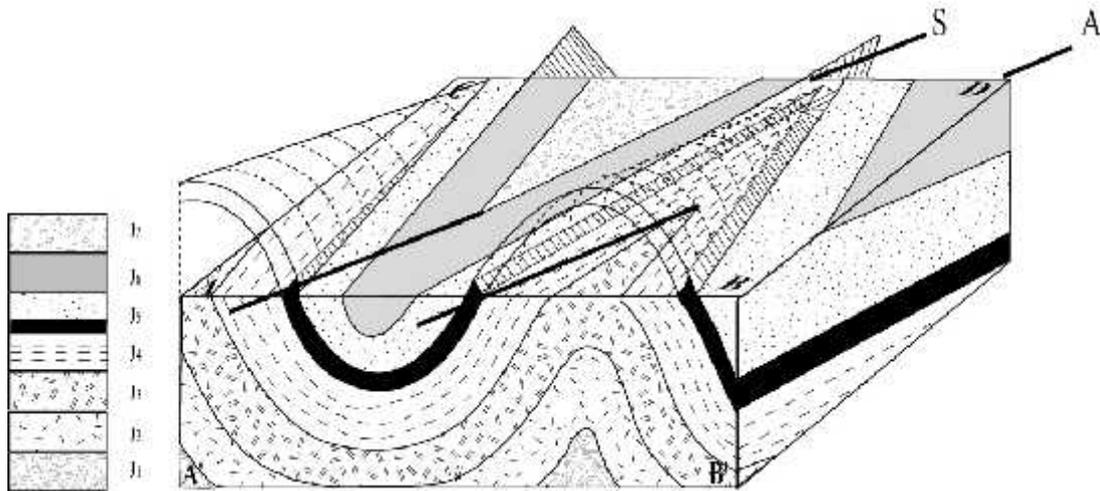


figure 27

Remarques: On appelle **synclinorium** un groupement de plis dont l'allure générale est un synclinal et un **anticlinorium** un groupement de plis dont l'allure générale est un anticlinal.

3. Terminaison périclinale (per synclinale ou peri anticlinale)

On appelle terminaison périclinale l'intersection des charnières du pli avec la surface topographique (*figure 28*).

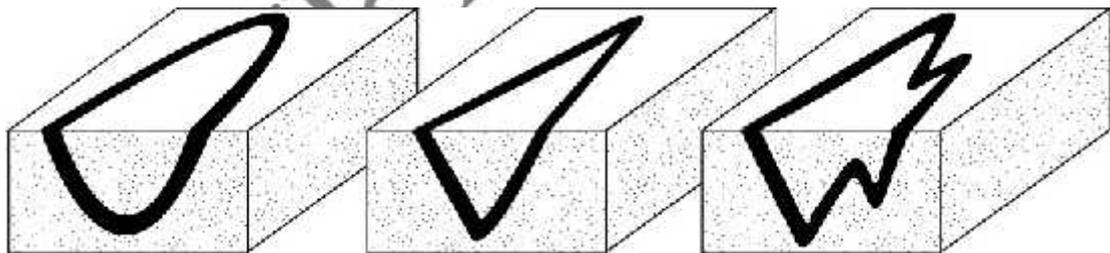


figure 28

Noter qu'il existe une ressemblance entre la forme du pli en coupe et sa terminaison périclinale sur carte.

Exercice 1: Construire les structures plissées selon les coupes suivantes (*figure 29*):

Exercice 2 : structure plissée en bloc diagramme (*figure 30*)

- En analysant la carte géologique, donner les différents types de plis ainsi que la géométrie des axes.

- A l'image du premier bloc-diagramme (ABCD), représenter les plans cartographiques (CDEF) et (EFGH) sur les plans correspondant en bloc-diagramme.

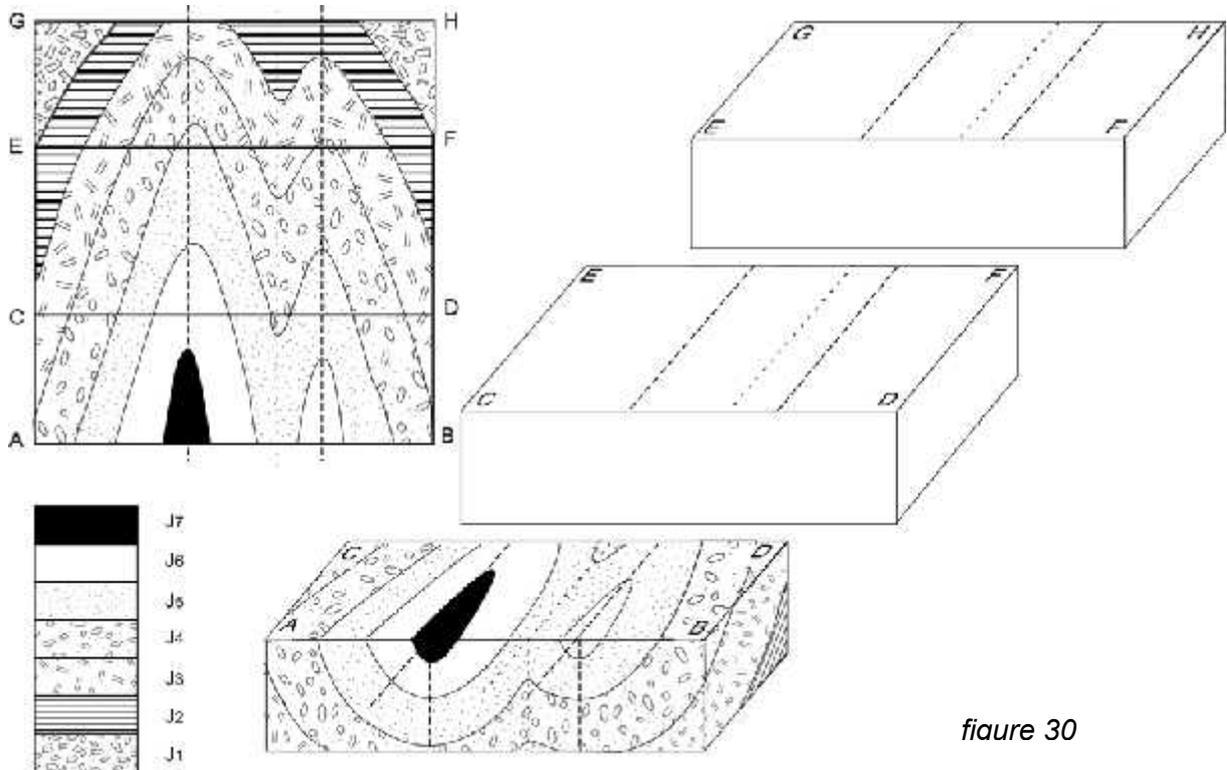


figure 30

CHAPITRE *IV*

LES STRUCTURES DISCORDANTES

I. Définitions

1. Transgression et régression

Au cours des temps géologiques, les limites des mers peuvent varier, pour diverses raisons (tectoniques, climatiques,...), et ceci selon :

- Une remontée du niveau marin (la mer dépasse ses limites initiales), c'est une **transgression** marine responsable de nouveaux dépôts qui vont s'avancer au-delà de ceux qui les avaient précédés (*figure 31A*).
- Une baisse du niveau marin (la mer se retire en deçà de ses limites initiales), on parle de **régression** marine et les sédiments liés à ce phénomène sont généralement moins étendus que ceux de la période précédente (*figure 31B*).

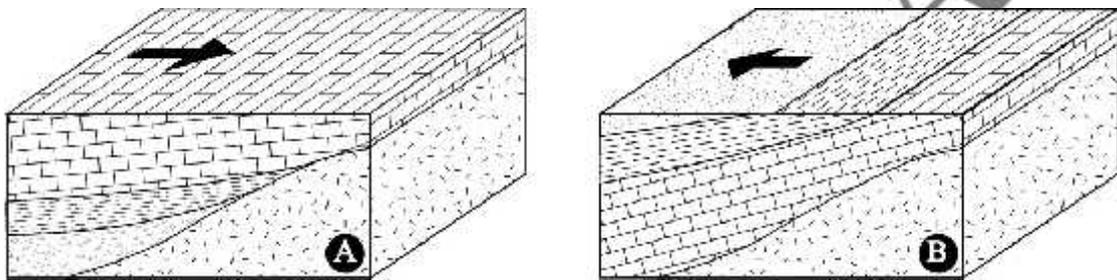


figure 31

2. Discordance

Dans un bassin sédimentaire (80% dans le milieu marin), les strates s'organisent en couches parallèles les unes aux autres : la disposition est dite **concordance**. Si au cours de l'histoire géologique de ce bassin, par le jeu de la tectonique, de l'érosion ou des cycles de variation du niveau marin, la géométrie des dépôts est perturbée, on parle de **discordance**.

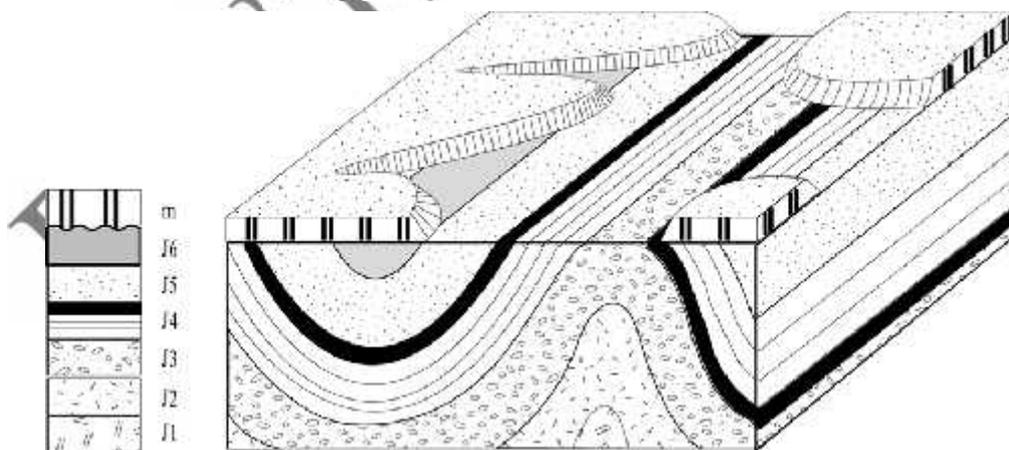
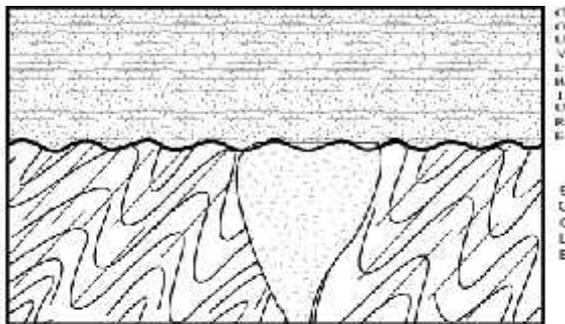


figure 32

Si, lors d'une phase tectonique, les sédiments se plissent et émergent de l'eau, ils sont rapidement attaqués par l'érosion qui aplanit le relief et donne une **surface d'érosion**. Si par la suite la mer revient en transgression, elle dépose de nouveaux sédiments sur cette

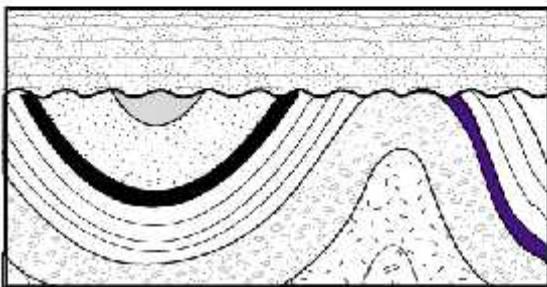
surface, on a alors une discordance entre la couche horizontale m et la série plissée. On remarque que la couche discordante m », disséquée ultérieurement par l'érosion, repose indifféremment sur les différentes couches plissées.

II. Différents types de discordances (figure 33) : _ *Discordance majeure*



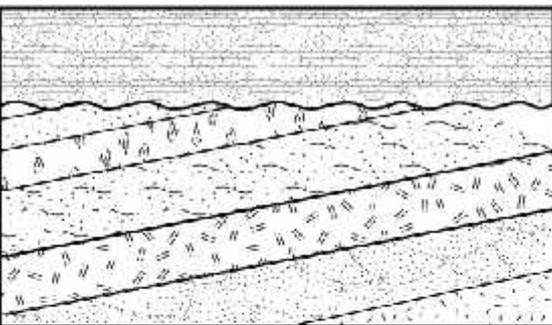
Socle
Couverte
Sédimentaire

La couverture sédimentaire transgressive se dépose sur un socle déformé et métamorphisé lors d'une phase orogénique. La discordance majeure implique au moins une phase orogénique entre les deux ensembles discordants.



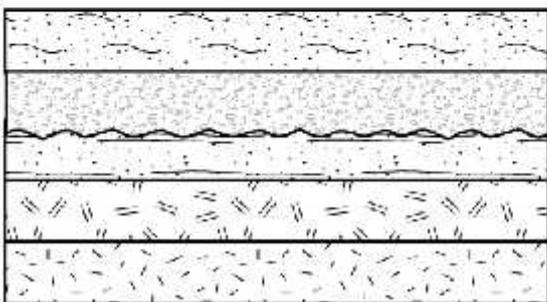
Discordance angulaire sur une structure plissée :

Les séries basales sont plissées, soulevées puis érodées, avant le dépôt des couches horizontales transgressives. L'angle entre les stratifications des deux ensembles est variable.



Discordance angulaire sur une série monoclinale :

Une séquence sédimentaire est discordante sur une série basculée puis érodée. L'angle entre les strates des deux ensembles reste localement constant.



J6
J5
J3
J2
J1

Discordance plate ou par lacune :

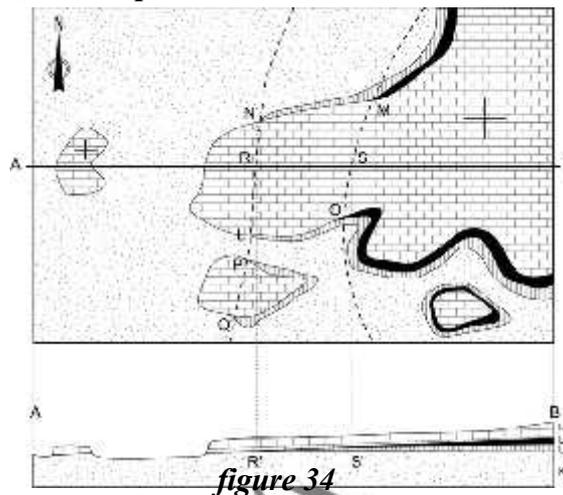
Les strates étant parallèles, la discordance n'est pas forcément liée à un évènement tectonique. La lacune a pour cause, soit l'absence de sédimentation durant une période plus ou moins longue, soit l'action d'une phase d'érosion intermédiaire.

figure 33

III . Reconnaissance cartographique et construction en coupe

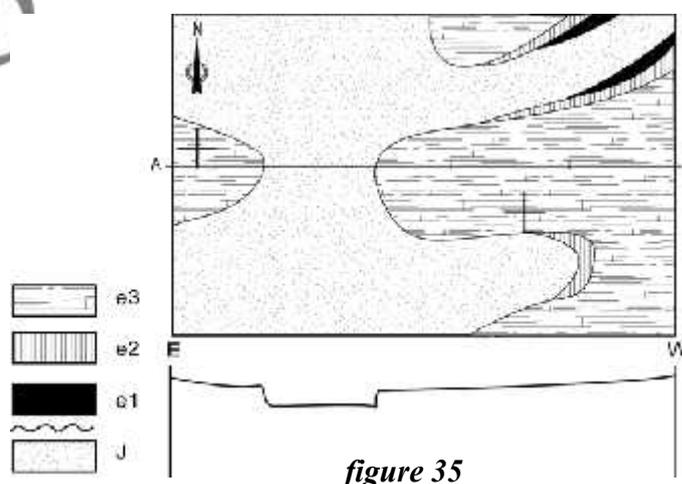
1. Cas de la transgression-régression

Sur *la carte* de la *figure 34*, on remarquera qu'entre le substratum K et la couche la plus récente L3, les couches L1 et L2 n'affleurent pas partout. L'épaisseur de ces dernières se réduit en effet vers l'ouest où elles finissent par totalement disparaître. La couche L3, plus étendue, est dite *transgressive* sur les autres couches. On notera par ailleurs que les points d'affleurement (M, N, L, O, P, et Q) appartiennent à trois formations différentes : ils sont de ce fait appelés «*points triples*».

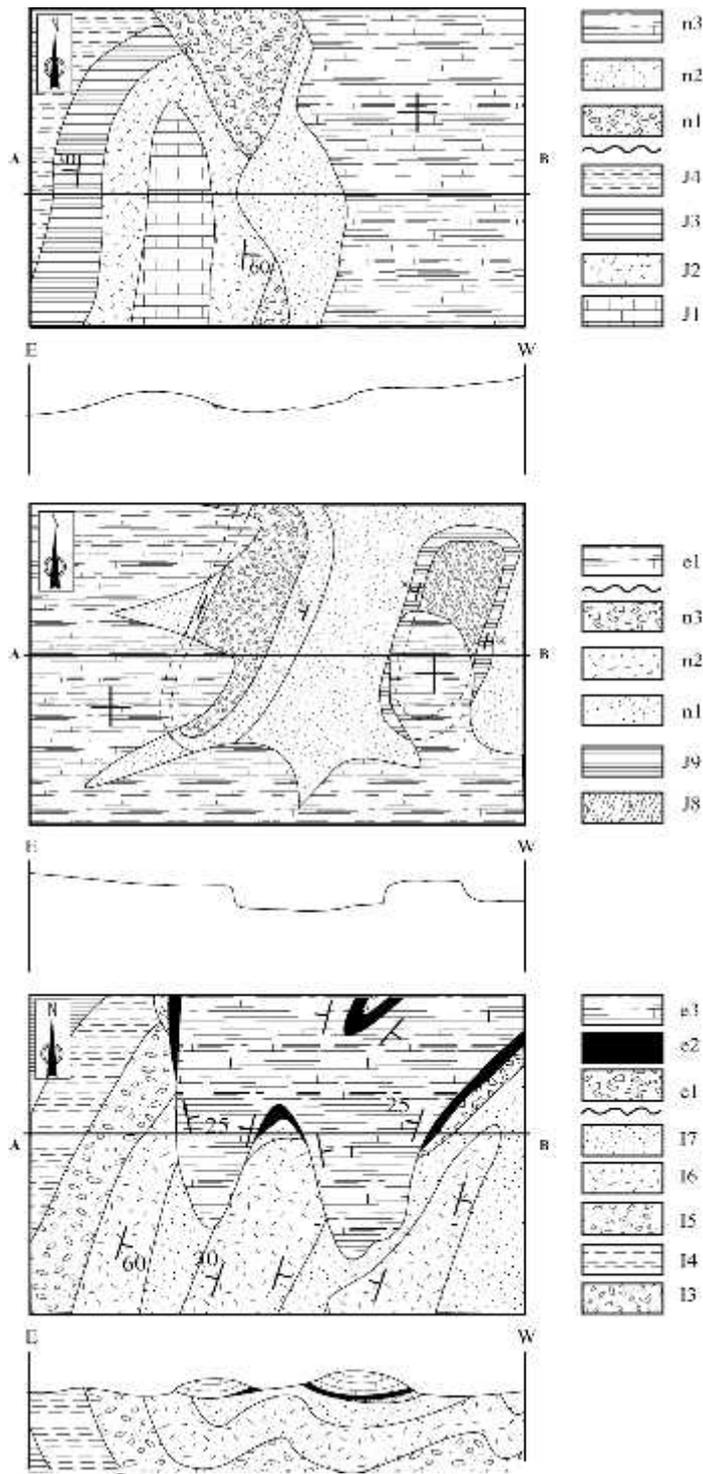


En coupe, la représentation de L3 ne pose pas de problème (couche horizontale). En revanche, pour les couches L1 et L2, qui n'affleurent pas au niveau du trait de coupe AB, il va falloir reconstituer leur contour caché par la couche L3, en s'aidant des points d'affleurement connus (NLPQ) pour L1 et (MO) pour L2. Ces limites interpolées délimitent ainsi l'étendue maximale supposée de ces couches vers l'ouest. La projection en coupe de R et S nous indiquera les points (R' et S') où les couches L1 et L2 ont respectivement une épaisseur nulle et se terminent ainsi en biseau.

Exercice (figure 35) : Analyser la carte suivante et construire la coupe AB



2. Cas des discordances angulaires



Exercice :

- Retrouver les grands ensembles géologiques de la carte ci-contre en se basant sur les couches discordantes
- Réaliser la coupe (AB)
- Retracer l'histoire géologique de cette région.
- Retrouver les grands ensembles géologiques de la carte ci-contre en se basant sur les couches discordantes
- Réaliser la coupe (AB)
- Retracer l'histoire géologique de cette région.
- Retrouver les grands ensembles géologiques de la carte ci-contre en se basant sur les couches discordantes
- En s'aidant de la coupe géologique, retracer l'histoire géologique de cette région

figure 36

CHAPITRE *V*

LES STRUCTURES FAILLEES

Tous les contacts géologiques, que nous avons étudiés jusqu'à présent, entre les différentes couches, aussi bien concordantes que discordantes sont dits : **contacts normaux (ou contacts stratigraphiques)**. Ultérieurement aux dépôts, des mouvements tectoniques peuvent intervenir, et en fonction de la lithologie des couches et des conditions de pression- température de la déformation, des plans de cassure apparaissent. Les déplacements relatifs entre les différents blocs engendrent de nouveaux contacts dits : **contacts anormaux (ou failles)**.

I. Définitions

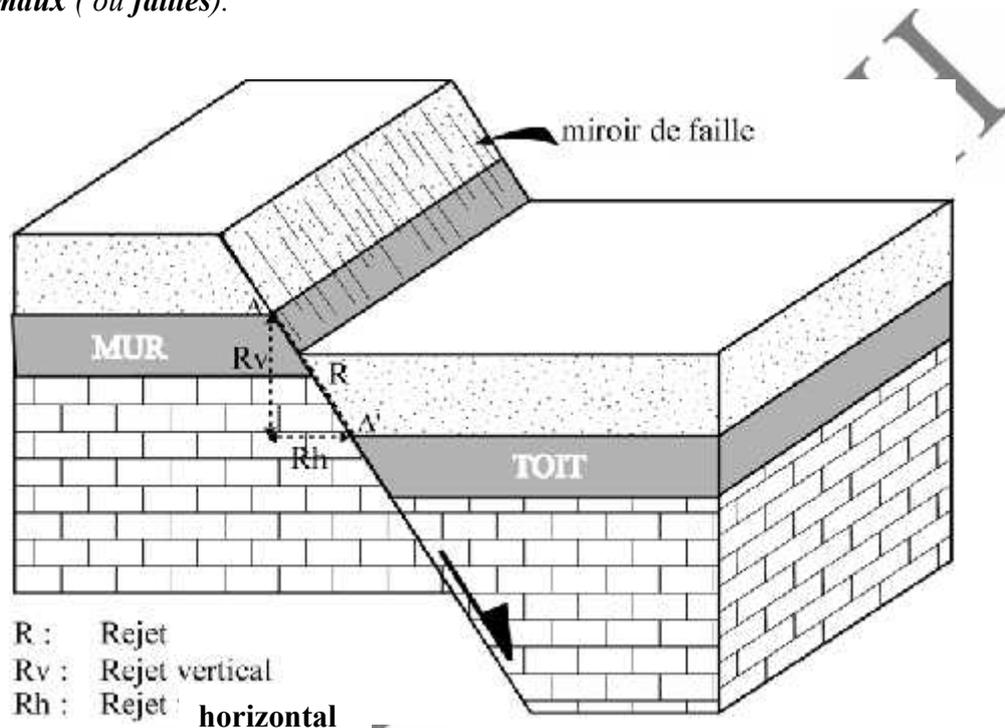


figure 37

- **faille** : on appelle faille, toute cassure avec déplacement relatif des deux compartiments
- **plan de faille** : surface le long de laquelle s'est fait le déplacement
- **compartiment** : volume rocheux délimité par une ou plusieurs failles.
- **toit de la faille** : compartiment situé au-dessus du plan de faille.
- **mur de la faille** : compartiment situé sous le plan de faille.
- **rejet** : distance qui sépare deux points situés de part et d'autre de la faille et qui étaient en contact avant la cassure. On mesure surtout ses composantes, horizontales (**rejet horizontal : Rh**) et verticale (**rejet vertical : Rv**).
- **contraintes tectoniques** : ce sont les forces qui s'exercent sur les roches de la croûte terrestre. Elles peuvent être de deux sortes (figure 38):

- **Compressives** : forces convergentes qui engendrent la création des reliefs et des chaînes de montagnes (horst).
- **Extensives** : forces divergentes qui engendrent des dépressions et des bassins (graben).

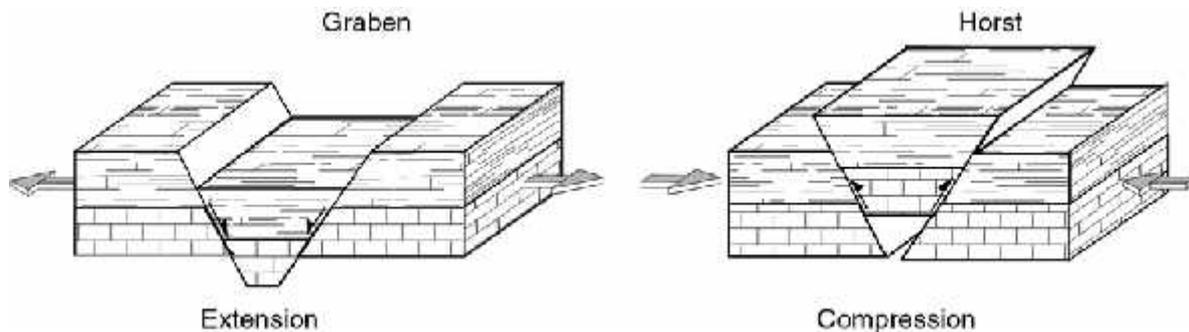


Figure 38

II. Différents types de failles

En fonction de leur géométrie et de leur cinématique on distingue plusieurs types de failles (figure 39):

1. **Faille normale** : faille dont le toit est relativement affaissé par rapport au mur. C'est une faille qui est associée aux contextes tectoniques en extension (figure 39B)
2. **Faille inverse** : faille dont le toit est relativement soulevé par rapport au mur. C'est une faille associée aux régimes tectoniques en compression (figure 39C).
3. **Faille conforme** : faille dont le plan est incliné dans le même sens que les couches affectées (figure 39B1 et C1).
4. **Faille contraire** : faille dont le sens du pendage est opposé à celui des couches affectées (figure 39B2 et C2).
5. **Faille de décrochement** : faille verticale à rejet horizontal. Elle peut être associée à tous les contextes tectoniques (extensifs et compressifs) (figure 39D).

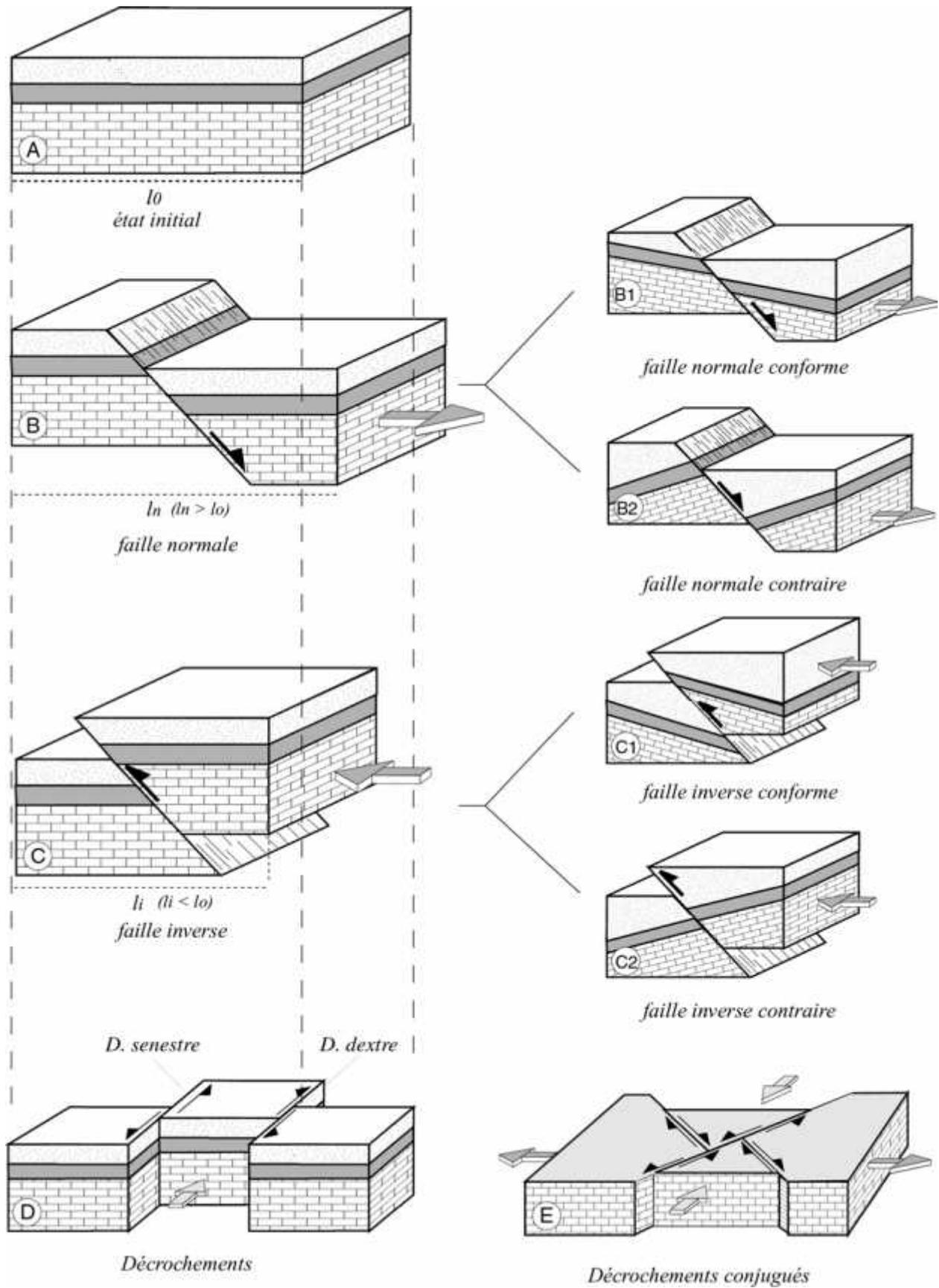


Figure 39

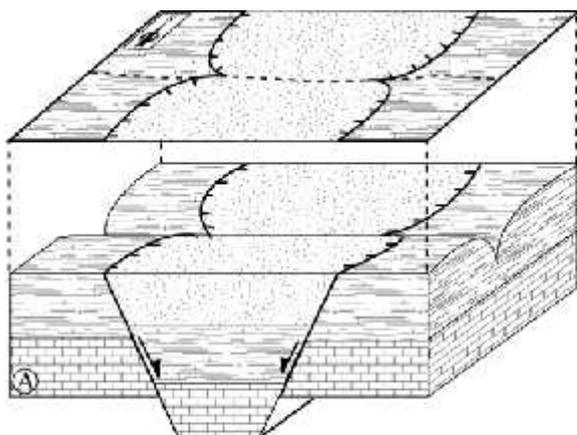
III. Reconnaissance des failles sur les cartes géologiques

Les failles étant assimilées à des plans, leur trace sur la carte répond aux mêmes règles que celles des plans de stratification pour la détermination de leur direction et pendage. Aussi bien sur les cartes que les coupes géologiques, les failles se dessinent avec un trait plus fort que celui des limites des couches.

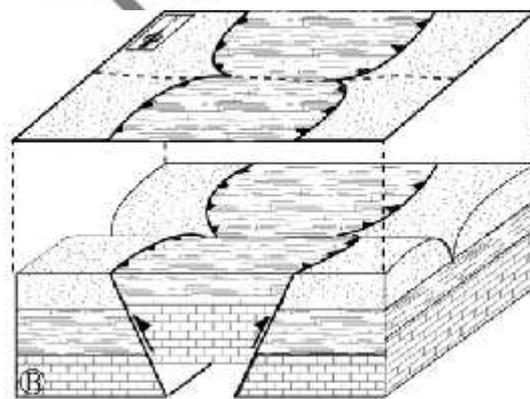
Exercice :

En considérant les cartes de la *figure 40*, compléter le tableau suivant :

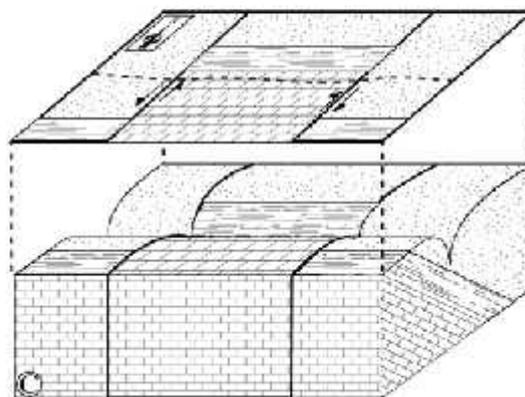
	Failles normales	Failles inverses	Décrochements
Nature des contraintes
Géométrie de la faille
Tracé cartographique
Relations : ages des terrains/pendage de la faille



Failles normales



Failles inverses

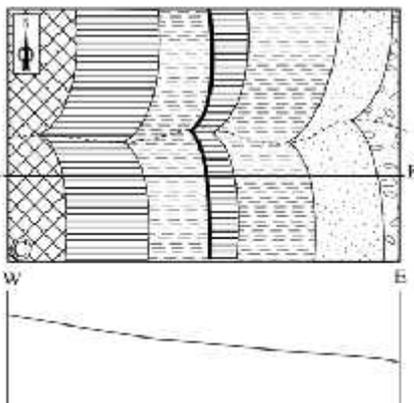
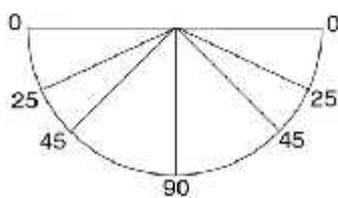
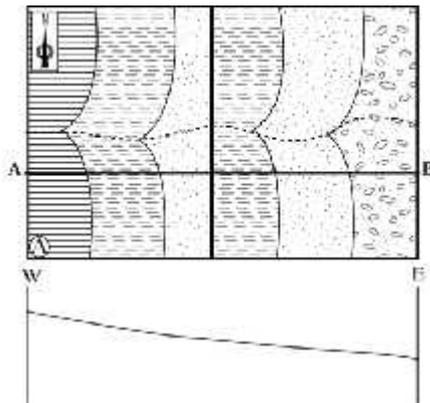


Déchirements

figure 40

IV. Représentation des failles en coupe

Les failles étant forcément plus récentes que les terrains qu'elles découpent, leur dessin en coupe doit de ce fait se faire juste après la réalisation du profil topographique et avant la représentation des couches. On obtient ainsi plusieurs compartiments en fonction du nombre de failles. Le choix est libre de commencer par n'importe quel compartiment dans lequel on doit respecter l'ordre convenu de représentation des couches.



Exercice : (figure 41)

Pour chacune des cartes suivantes :

1) réaliser la coupe AB en tenant compte de :

- pendage des couches = 25°
- pendage de la faille, s'il y a lieu = 45°

2) déduire le type de faille mise en jeu.

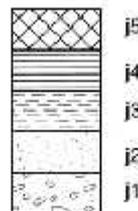
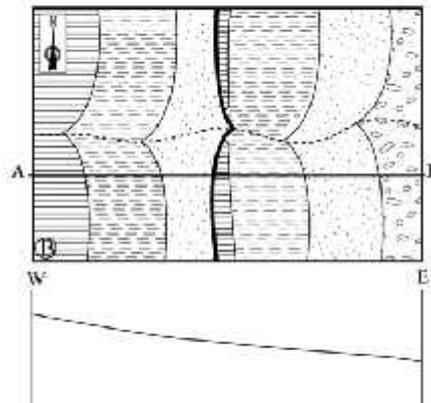


Figure 41

CHAPITRE *VI*

LES CHEVAUchements

BOU TRIKA RABAH

I. Définitions

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

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

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

Dans un chevauchement (*figure 42*) l'ensemble *chevauchant* est situé au-dessus du contact alors que l'ensemble *chevauché* est situé au-dessous du contact.

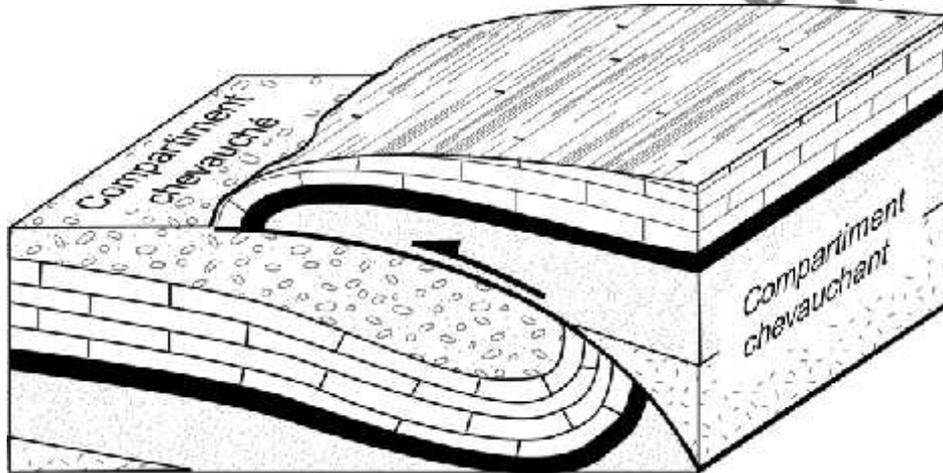


figure 42

II. RECONNAISSANCE DE CHEVAUCEMENTS SUR LES CARTES GEOLOGIQUES

Les chevauchements sont caractérisés par:

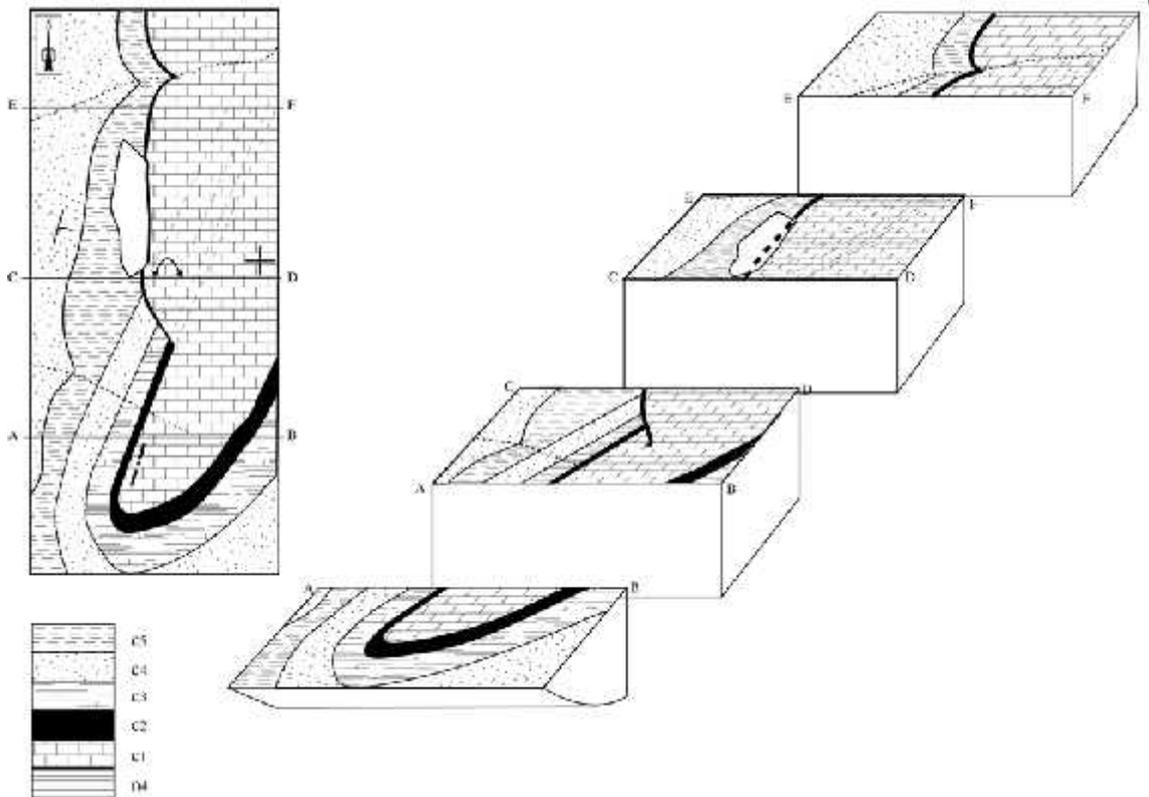
- Comme tous les contacts anormaux (failles), les chevauchements sont représentés par des traits épais.
- L'âge des terrains mis en contact par les chevauchements sont généralement très éloignés dans le temps.
- Les rejets sont globalement significatifs, les plans de chevauchements sont peu inclinés voir sub-horizontaux. De ce fait, ils présentent de fortes sinuosités sur les cartes géologiques.
- Par conséquent, ce sont des accidents d'ampleur cartographique qu'on peut suivre sur de grandes distances.

III. EXEMPLE DE PLIS-FAILLES

Lorsqu'un pli déversé ou couché, par étirement puis rupture de son flanc inverse, donne un chevauchement plus ou moins important, on parle de *pli-faille*.

Exercice :

La figure 43 montre l'évolution spatiale, mais aussi temporelle, d'un pli-faille. La carte étant reproduite dans les différents blocs-diagrammes, réaliser les coupes CD, EF et GH dans les plans verticaux correspondants.



figure

IV. NAPPES DE CHARRIAGE

Lorsque des terrains chevauchants s'étalent largement sur leur substratum, on parle d'*écailles*, et lorsque l'amplitude du déplacement est très importante on parle de *nappes de charriage*.

Une nappe de charriage est constituée par : (figure 44)

- Les terrains *autochtones* : ce sont les terrains restés sur place.
- Les terrains *allochtones* : ce sont les terrains ayant été déplacés par les forces tectoniques ou gravitaires.

Sous l'effet de l'érosion, des lambeaux de terrains allochtones peuvent être

isolés, on parle de *klippe*. De même, des entailles peuvent être creusées au sein des terrains allochtones pour faire apparaître les terrains sous-jacents autochtones, on parle alors de *fenêtre*.

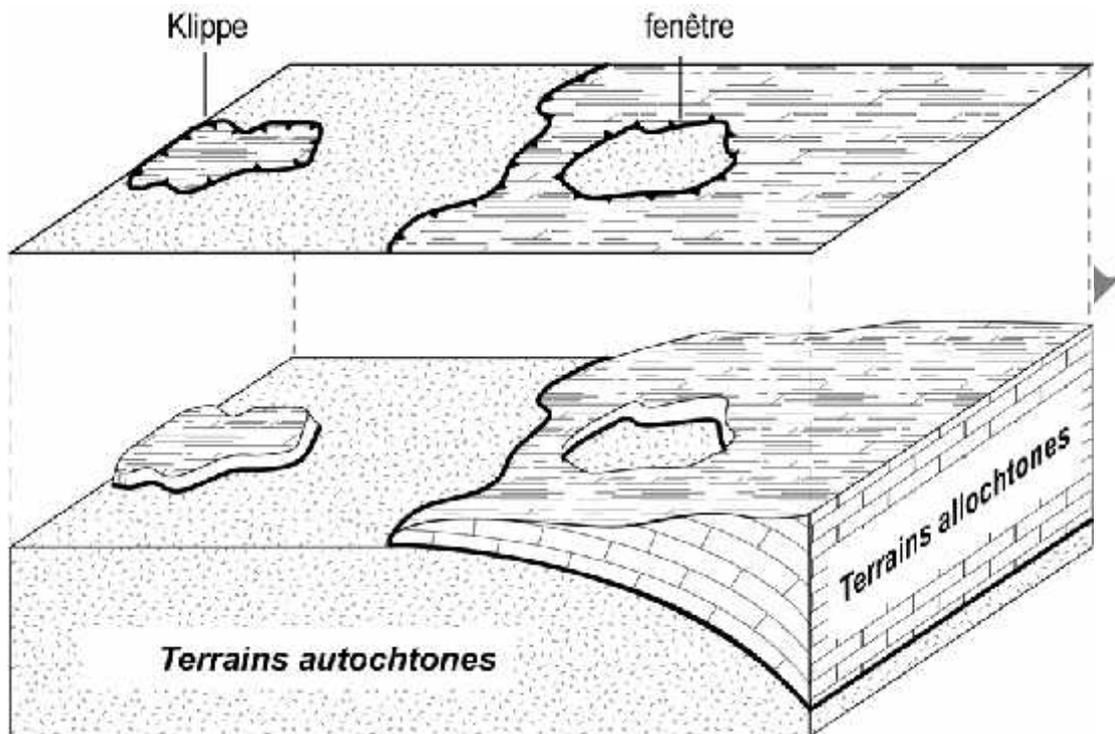


figure 44

Reconnaissance sur la carte géologique:

- Les contacts faillés des nappes de charriage étant sub-horizontaux, leurs traces cartographiques s'approche de celles des courbes de niveaux.
- Etant donnée l'importance du déplacement horizontal, les terrains allochtones et autochtones présentent de grandes différences géologiques (âge, lithologie)