MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE
UNION – DISCIPLINE - TRAVAIL

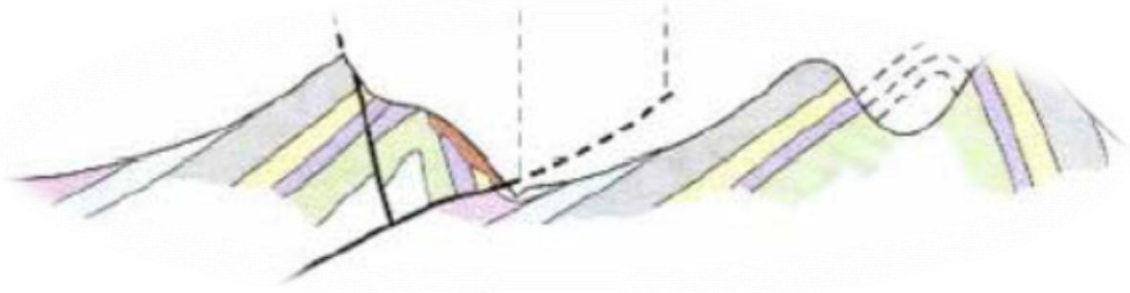
GROUPE CSI
Pôle Polytechnique

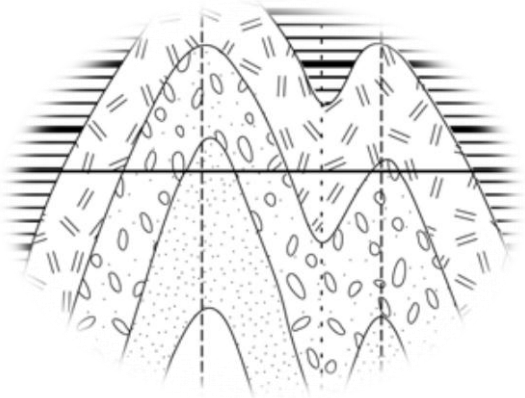
ETABLISSEMENT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR PRIVE

SUP-MINES, Pétrole et Energies

Initiation à la Cartographie Géologique
(Manuel de Travaux Pratiques en Géologie)

Apports théoriques, travaux dirigés et pratiques





Dr ASSOMA TCHIMOU VINCENT
Enseignant-Chercheur, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières
GSM : 05 65 61 48 ; assoma.vce@gmail.com

*****Support de cours de TP*****
LICENCE 3 & 2A BTS
2013 - 2014

……

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 constitue un support utile à l'enseignement de la cartographie assuré par le département des sciences de la Terre. Il est destiné aux étudiants débutants dans cette discipline (Licence I ou BTS) ; il servira d'aide-mémoire et pourra être complété par des notes personnelles et des exercices qui seront effectués en salle de travaux pratiques (TP).

La cartographie englobe un ensemble de techniques conduisant à l'établissement et à l'étude des cartes. La carte géologique est un outil indispensable pour l'étude du sol (pédologie, géographie, écologie, etc…) et du sous-sol (recherche pétrolière, minière, hydraulique, etc…).

La lecture correcte d'une carte topographique est une nécessité pour ceux (géologues, pédologues et biologistes entre autres) qui vont faire des sciences de la nature leur profession. Elles sont aussi utiles dans les activités de loisirs (randonnées en montagne, la navigation en) etc…. couplées avec le GPS et une bonne boussole.

Le choix du type de carte dépend du but recherché. Ainsi, donc, au cours des travaux pratiques de géologie, nous allons dans un premier temps faire le rappel de la **réalisation de profil topographique :** Il s'agit des cartes topographiques qui permettent de décrire avec précision les différents éléments du relief.

En second lieu, **l'étude des cartes géologiques simples** nous permettra de comprendre la structure du sous-sol. Elle est consacrée à la reconnaissance des principales structures de déformation et à la réalisation des coupes géologiques.

Prérequis :

- Notions de géologie simple comme connaissance, même succincte, des principaux types de roche et leurs caractéristiques ;
- Notions simple de géométrie (trigonométrie de base) ;
- Aptitude à percevoir les schémas en trois dimensions (3D).

Objectifs :

- Savoir utiliser de manière rationnelle et prudente les cartes géologiques à votre disposition ;
- Connaître les méthodes de construction des cartes ;
- Savoir présenter les données sous une forme explicite et/ou simple pour les utiliser sur chantier ou dans les rapports et/ou présentations.

Avertissement

Les thèmes abordés ici sont totalement interdépendants et présentent une complexité croissante. Il est donc très conseillé d'assurer une présence continue.
Durant toutes les séances, le matériel requis est le suivant :
Crayon à dessin (à mine ou HB), papier millimétré, une gomme, un papier calque et éventuellement un rapporteur d'angle et une calculatrice.

TABLE DES MATIERES

LEÇON 1. GENERALITES 3

1.1. NOTIONS FONDAMENTALES EN GEOLOGIE 3

1.1.1. COUCHES OU STRATES 3
1.1.2. LA STRATIGRAPHIE 3
1.1.3. LE FACIES 3
1.1.4. FOSSILES STRATIGRAPHIQUES (BONS FOSSILES) 4
1.1.5. FOSSILES DE FACIES 4

1.2. LA CARTE GEOLOGIQUE 4

1.3. PROPRIETES GEOMETRIQUES DES COUCHES 5

1.3.1. NOTION DE PENDAGE 5
1.3.2. ORIENTATION D'UN PLAN DANS L'ESPACE 6

1.4. PRINCIPE DE CONSTRUCTION D'UNE COUPE GEOLOGIQUE 7

1.4.1. DEFINITIONS 7
1.4.2. DEMARCHE A SUIVRE 7
1.4.3. REPRESENTATION DES FIGURES 7
1.4.4. RECOMMANDATION POUR UNE BONNE CONSTRUCTION DE COUPE GEOLOGIQUE 7

LEÇON 2. STRUCTURES TABULAIRES 10

2.1. CRITERES DE RECONNAISSANCE D'UNE STRUCTURE TABULAIRE 10
2.2. METHODE DE CONSTRUCTION DE LA COUPE GEOLOGIQUE D'UN' STRUCTURE TABULAIRE 11

LEÇON 3. STRUCTURES MONOCLINALES OU INCLINEES 12

3.1. PRESENTATION D'UNE STRUCTURE MONOCLINALE 12
3.2. CRITERES DE RECONNAISSANCE D'UNE STRUCTURE MONOCLINALE 13

LEÇON 4. STRUCTURES PLISSEES 17

4.1. DEFINITIONS 17

4.2. RECONNAISSANCE DES STRUCTURES PLISSEES SUR UNE CARTE GEOLOGIQUE 17

4.3. METHODE DE CONSTRUCTION 18

LEÇON 5. STRUCTURES DISCORDANTES 20

5.1. DEFINITIONS 20

5.2. TRANSGRESSION ET REGRESSION 20

5.3. DISCORDANCE 20

5.4. DIFFERENTS TYPES DE DISCORDANCES 21

5.5. RECONNAISSANCE CARTOGRAPHIQUE ET CONSTRUCTION EN COUPE 21

LEÇON 6. STRUCTURES FAILLEES 23

6.1. DEFINITIONS 23

6.2. CRITERES DE RECONNAISSANCE D'UNE STRUCTURE FAILLEE 25

6.3. CONSTRUCTION D'UNE COUPE GEOLOGIQUE EN TERRAIN FAILLE 25

LEÇON 7. STRUCTURES GÉOLOGIQUES EN TERRAINS CRISTALLINS 28

7.1. DEFINITIONS 28

A/ LES TERRAINS METAMORPHIQUES 28
B/ LES TERRAINS ERUPTIFS 28
C/ PROBLEMES POSES POUR LA DEFINITION DES STRUCTURES CRISTALLINES 29

7.2. CRITÈRES DE RECONNAISSANCE 30

7.3. MÉTHODE DE CONSTRUCTION 30

ANNEXES 33

Leçon 1. GENERALITES

1.1. NOTIONS FONDAMENTALES EN GEOLOGIE

1.1.1. Couches ou strates

Les roches sédimentaires sont le plus souvent arrangées en couches ou strates, on dit qu'elles sont stratifiées.

– On appelle **strate** la plus petite division lithologique, limitée par deux surfaces parallèles, son épaisseur est de l'ordre du mètre.

– On appelle **toit** d'une couche, le sommet de la couche ou sa limite supérieure, le mur étant sa partie basale ou sa limite inférieure.

Ces deux surfaces, généralement parallèles peuvent, sous l'action de l'érosion, être recoupées par la surface topographique, ces intersections sont appelées des contours géologiques et elles limitent **l'affleurement** de la couche (= partie d'une couche visible en surface).

1.1.2. 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.

Principes de la stratigraphie : En outre, la stratigraphie permet d'établir une chronologie relative des terrains par l'application des principes suivants :

- **principe de continuité :** une même couche a le même âge sur toute son étendue.
- **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.
- **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.

Analyse stratigraphique : elle présente de nombreux intérêts :

– scientifiques : compréhension des phénomènes ayant abouti à la formation des strates,
– historiques : reconstitution de l'histoire du globe (ex : existence de calottes glaciaires au Sahara à l'Ordovicien supérieur),
– économiques : recherche d'eau, d'hydrocarbures, de minerais, réalisation de grands travaux).

1.1.3. Le faciès

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 d'un point à l'autre des variations latérales de faciès (passage latéral de faciès) ou des variations verticales de faciès (*Ex.* granoclassement).

On distingue plusieurs types de facies :

- micro faciès (microscope optique)
- nano faciès (microscope électronique)
- lithofaciès (constituants minéraux)
- biofaciès (reste d'organisme) ;
- faciès continentaux (éolien, glaciaire, fluviatile)
- faciès marins (benthique, pélagique).

1.1.4. Fossiles stratigraphiques (bons fossiles)

Ce sont les fossiles utilisés pour la datation des différentes strates ; ils doivent répondre aux conditions suivantes :

- évolution rapide dans le temps,
- grande abondance,
- large dispersion géographique,
- conservation facile.

Exemples : **Graptolites** à l'Ordovicien et au Silurien (Paléozoïque) ; **Ammonites** au Secondaire (Mésozoïque).

1.1.5. Fossiles de faciès

Ce sont des fossiles le plus souvent d'une longue durée de vie ; ils caractérisent des faciès bien déterminés et apportent des renseignements sur le milieu de dépôt.

Exemples : **Hélix** : milieu continental ; **Coraux** : milieu récifal ; **Huîtres** : milieu marin côtier

1.1.6. 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).

1.2. 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.

Principe de notation et de figuration : Sur une carte géologique, chaque formation géologique est représentée par une **couleur** et affectée d'une **notation** (ou indice), qui indiquent leur âge géologique quand on le connaît (**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.)

Légende géologique : elle est imprimée en marge de la carte, les différentes couches représentées par leur couleur et la notation correspondante sont disposées sous forme d'un petit rectangle dans l'ordre de superposition normale (de bas en haut, on va de la couche la plus ancienne vers la couche la plus récente). Devant chaque rectangle sont rappelées brièvement :

1) l'âge ; 2) la nature lithologique ; 3) l'épaisseur quand on la connaît.

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

Tableau 1 : couleur et **notation** (indice) indiquant l'âge géologique des formations

1.3. PROPRIETES GEOMETRIQUES DES COUCHES

1.3.1. Notion de pendage

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

Le **pendage** : c'est l'angle dièdre d'une couche (ou d'une faille) avec un plan horizontal h. 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 (Figure 1).

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°.

Représentations de la direction et du pendage : 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 2).

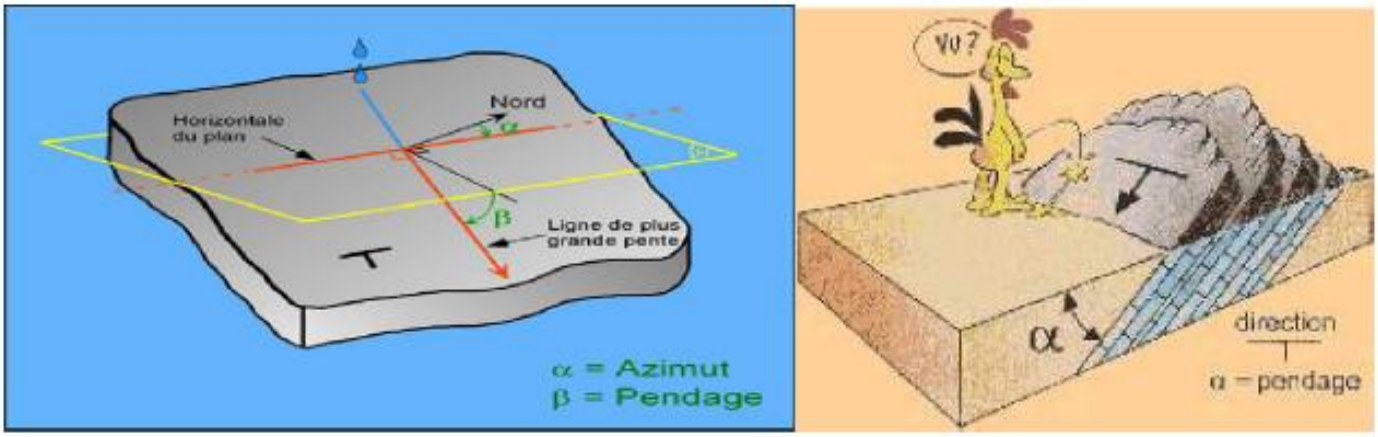


Figure 1. Pendage d'une couche

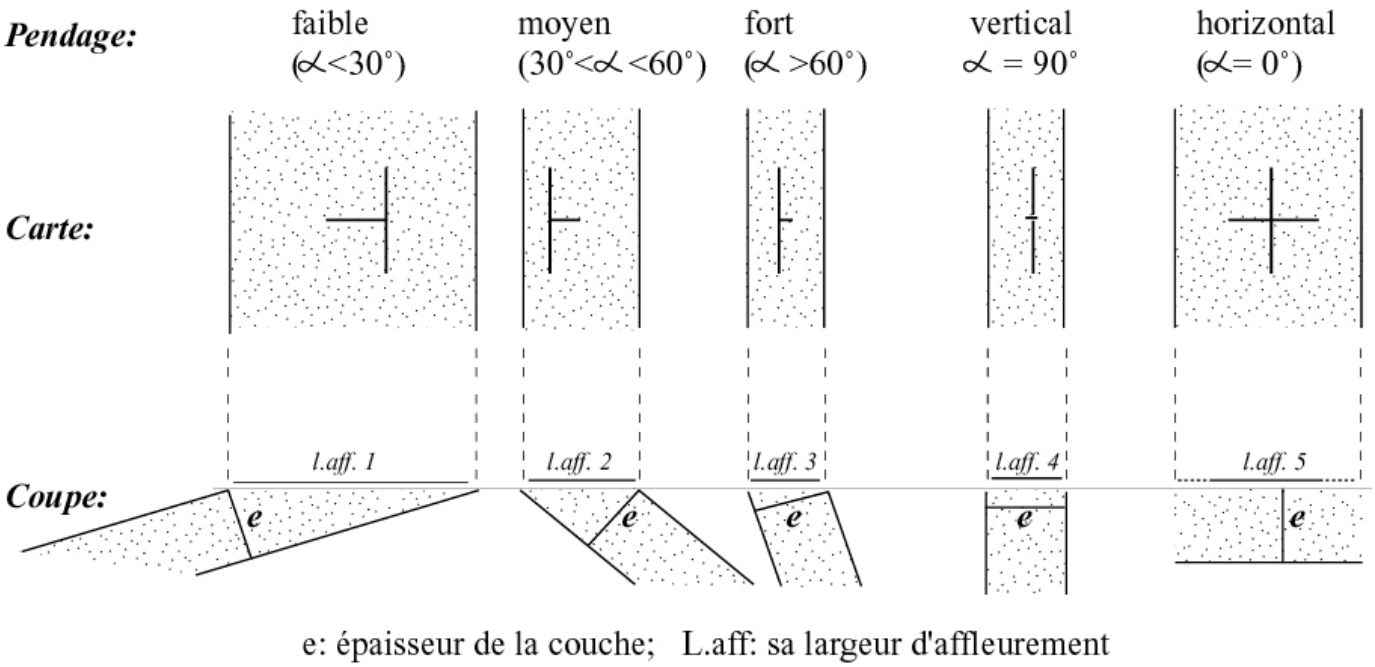


Figure 2 : Représentation des directions et pendages sur une carte et en coupe géologique

1.3.2. Orientation d'un plan dans l'espace

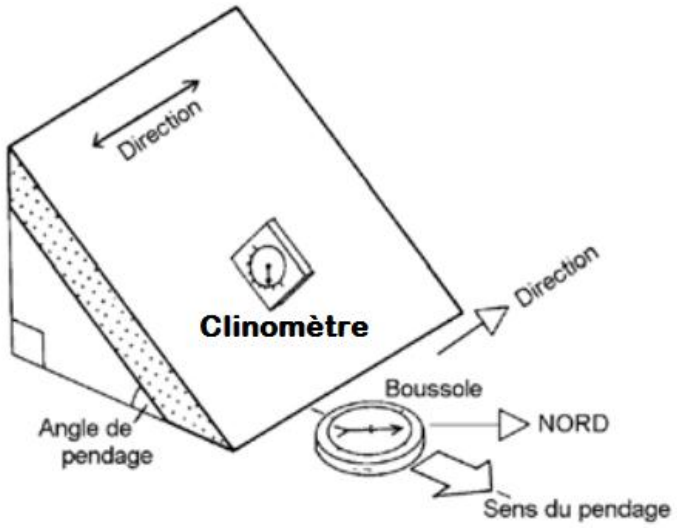


Figure 3. Orientation d'un plan

Le plan est la surface géométrique la plus simple. L'orientation d'un plan (figure 3) (ex : stratification, miroir de faille…) nécessite la définition de deux droites remarquables :

- l'horizontale **du plan** : elle matérialise sur le plan (P) la trace d'un plan horizontal passant par un point choisi,
- la **ligne de plus grande pente (**ou ligne de plus grande inclinaison) **:** elle visualise la direction d'écoulement d'un filet d'eau sur le plan (P) (figure 1). Cette ligne est orthogonale à l'horizontale du plan.

1.4. PRINCIPE DE CONSTRUCTION D'UNE COUPE GEOLOGIQUE

1.4.1. Définitions

Il existe trois principales méthodes d'étude d'une carte géologique :
1) établir son **commentaire** géologique ; 2) établir son **schéma structural** ; 3) 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.

Les couches géologiques se présenteront de plusieurs manières sur le terrain. On distingue :

- la structure horizontale (= tabulaire) ;
- la structure inclinée (= monoclinale) ;
- la structure plissée ;
- les contacts anormaux qui traduisent : des discordances, des failles, des phénomènes éruptifs.

1.4.2. Démarche à suivre

1) Exécuter le profil topographique de la coupe demandée avec le plus grand soin (15 à 20 min).

2) Repérer sur le bord supérieur du papier millimétré, les limites des affleurements géologiques, puis les abaisser sur le profil topographique. Chercher les correspondances dans la légende.

3) A partir de ces points, dessiner la section de terrain en profondeur, en reliant entre eux les différents affleurements. Elle doit se faire en respectant des règles issues de la bonne lecture de la carte géologiques. Deux règles fondamentales sont toutefois à respecter :

• Il faut commencer par dessiner la couche **la plus récente** dont on connaît le toit partout où elle affleure, puisque les autres couches doivent se mouler sur elle.

• Appliquer les valeurs de **pendages** 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.

4) De façon générale, l'ordre chronologique classique (quand ces structure existent) est :

i) faille et/ou surface de discordance ; ii) synclinaux ; iii) anticlinaux.

5) Les alluvions laissées par les rivières lors des crues n'interviennent pas dans la structure géologique, on les représente à la fin par un trait de crayon plus épais sur le tracé du profil (voir planches Annexe 1).

6) Représenter chaque couche par un figuré conventionnel (habillage des couches) correspondant à sa nature lithologique ;

7) A l'aide de la rose des vents, orienter la coupe.

1.4.3. Représentation des figurés

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 3 (3A et 3B) sont représentés quelques-uns des figurés les plus utilisés.

1.4.4. RECOMMANDATION POUR UNE BONNE CONSTRUCTION DE COUPE GEOLOGIQUE

1) Centrer convenablement votre dessin ;
2) Indiquer le titre en majuscule ;
3) Rappeler l'échelle des longueurs et l'échelle des hauteurs ;
4) Indiquer l'orientation de la coupe, la toponymie et l'hydrographie ;
5) Faire une légende correcte comprenant : Les rectangles faits à la règle avec les figurés correspondant aux couches, l'âge, une description rapide et synthétique de la nature lithologique des couches et enfin, leur épaisseur (il faut simplement résumer la légende de la carte).
6) En respectant les proportions, représenter une réduction de votre carte avec la situation de votre trait de coupe.

Si toutes ses recommandations sont respectées, la réalisation de coupes simples ne pose aucun problème.

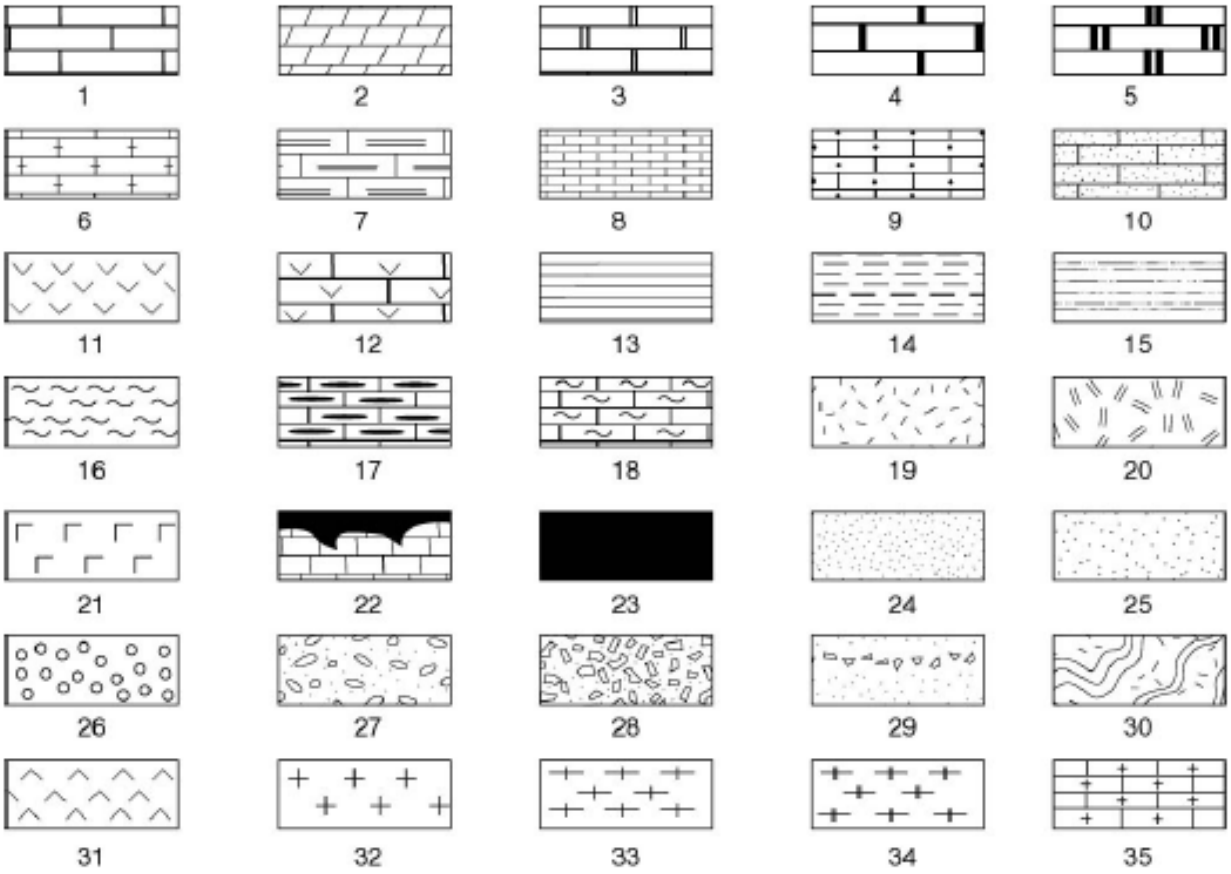


Figure 3A : Représentation des figurés

TERRAINS SEDIMENTAIRES
- **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 :
TERRAINS CRISTALLINS
- **31** : roche éruptives basiques (basalte) ; **32** : roches intrusives acides (granite);
- **33 à 35** : roches métamorphiques (33 et 34 : schistes cristallins ; 35 : calcaires métamorphiques).

Le dessin des figurés doit être réaliser **soigneusement**, en rapport avec les limites des couches, parallèlement ou perpendiculairement (figure 4A) et non par rapport à l'horizontale de la coupe (figure 4B).

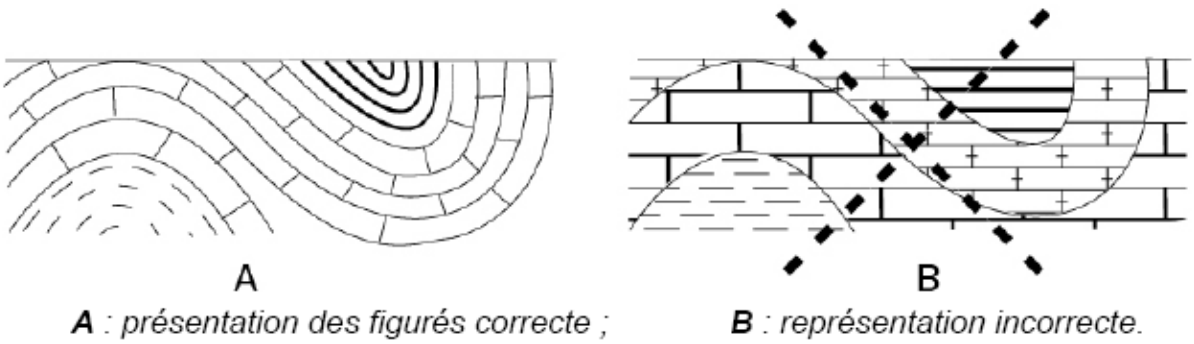


Figure 4. Représentation des figurés (disposition des couches déformées)

TERRAINS SEDIMENTAIRES
Calcaire
Calcaire cristallin
Calcaire biogène
Calcaire détritique
Craie ou calcaire crayeux
Calcaire dolomietique
Dolomie
Calcaires marneux
Calcaires gréseux ou sbleux
Marno - calcaire
Marnes ou argiles
Marnes gréseuses ou sbleuses
Marnes argileuses
Récifs
Argiles sableuses
Sables
a b
Grès a = Fin b = Grossier
a b
Conglomérat a = Fin b = Grossier
Brèches
TERRAINS CRISTALLINS
Granite
Basalte
Schistes cristallins
Gneiss

Fig.3B :

Leçon 2. STRUCTURES TABULAIRES

DEFINITION : Une structure tabulaire ou horizontale est une structure dans laquelle les couches ont un pendage nul (couches horizontales). Un pendage inférieur à 5° est toléré (couches subhorizontales). Ces couches n'ont donc pas de direction ni de sens de pendage. Ce sont donc des structures qui n'ont 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.

2.1. Critères de reconnaissance d'une structure tabulaire

- Sur la carte, les limites géologiques sont parallèles aux contours des courbes de niveau.

- Dans les régions à relief plat, seule la couche la plus jeune affleure (figure 5A), et donc la seule représentée sur la carte géologique ; Le relief est nul ou faible (plateau ou plaine), au niveau d'une vallée les contours géologiques épousent alors les sinuosités des courbes de niveau ;

- 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 5B : vue en 3D).

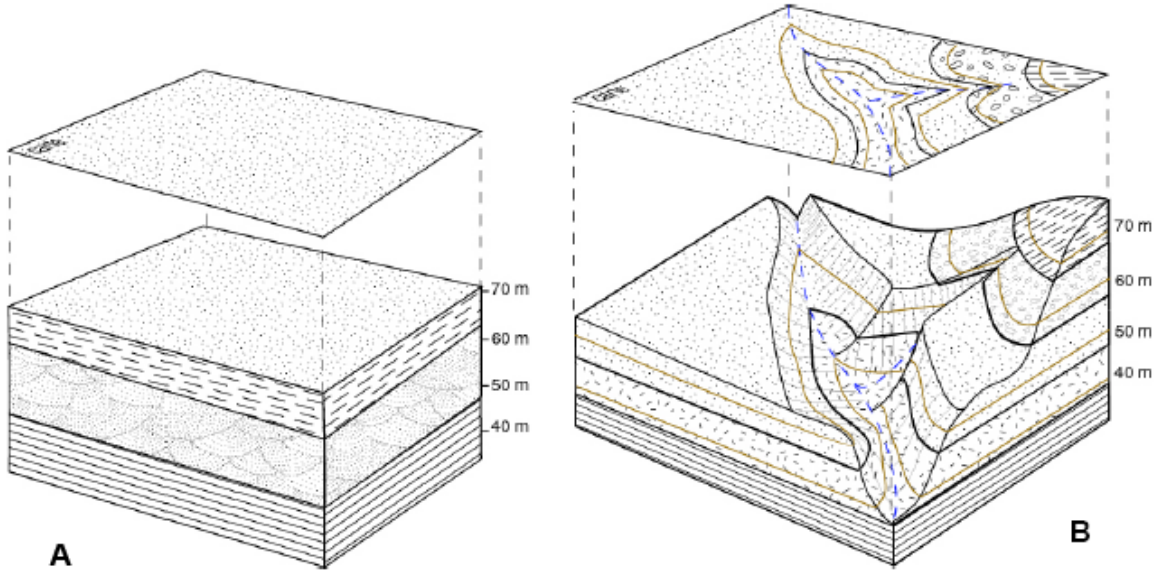


Figure 5 : Structure tabulaire : A) région à relief plat, B) région à forte activité d'érosion

La **largeur** (Li) **d'affleurement** (figure 6) est directement proportionnelle à l'**épaisseur** (ei) : (e1 > e2 ⇒ L1 > L2) et inversement proportionnelle à la **pente** topographique (Pi) : (P1 < P2 ⇒ 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 (mur) et sa limite supérieure (toit).

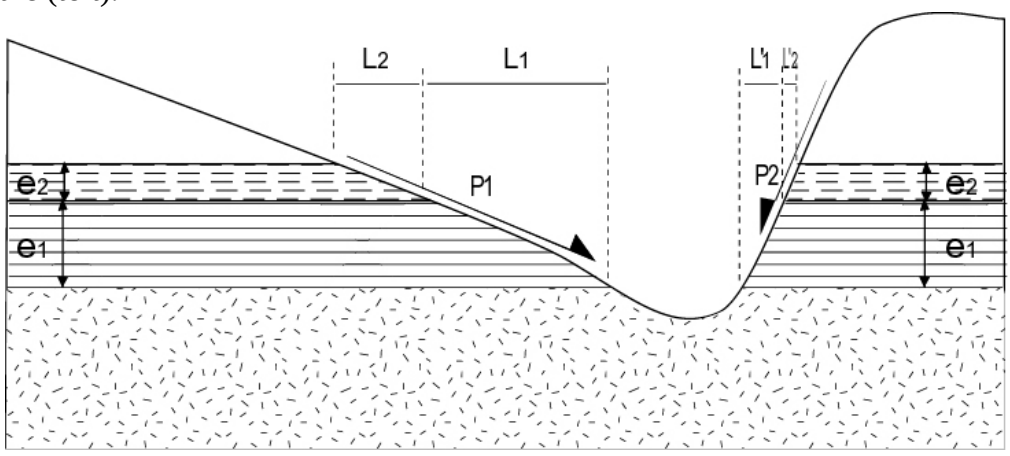
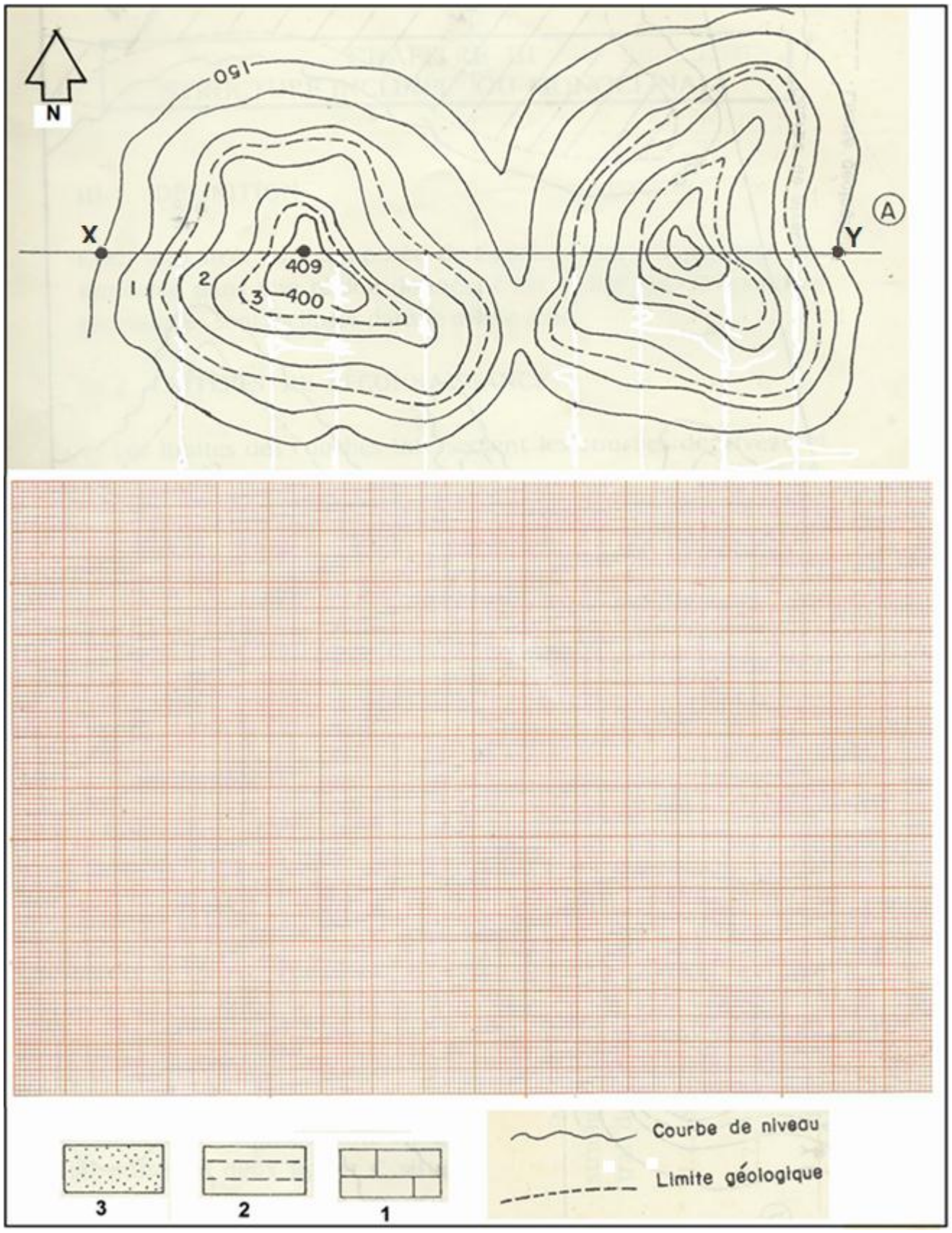


Figure 6 : Structure tabulaire (vue en 2D)

2.2. Méthode de construction de la coupe géologique d'un' structure tabulaire

- reporter les limites géologiques sur le profil topographique
- relier ensuite les limites équivalentes entre elles par des lignes.

EXERCICE 1 : Coupe Géologique d'une structure tabulaire.



Leçon 3. STRUCTURES MONOCLINALES OU INCLINEES

DEFINITION : On appelle structures monoclinales, les structures composées de couches dont le pendage se fait dans le même sens est uniforme dans une région donnée, c'est-à-dire que les couches géologiques sont inclinées dans le même sens.

3.1. Présentation d'une structure monoclinale

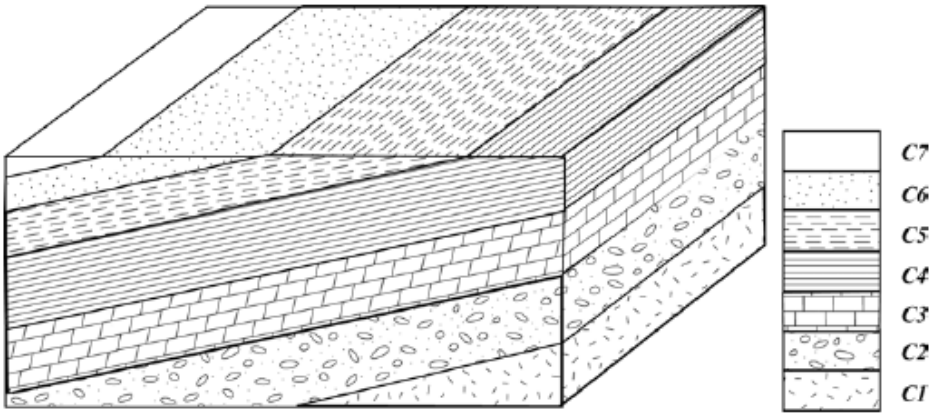


Figure 7 : Structure monoclinale en relief plat : les contours géologiques des structures sont parallèles les uns aux autres ; le sens du pendage est indiqué par la succession stratigraphique.

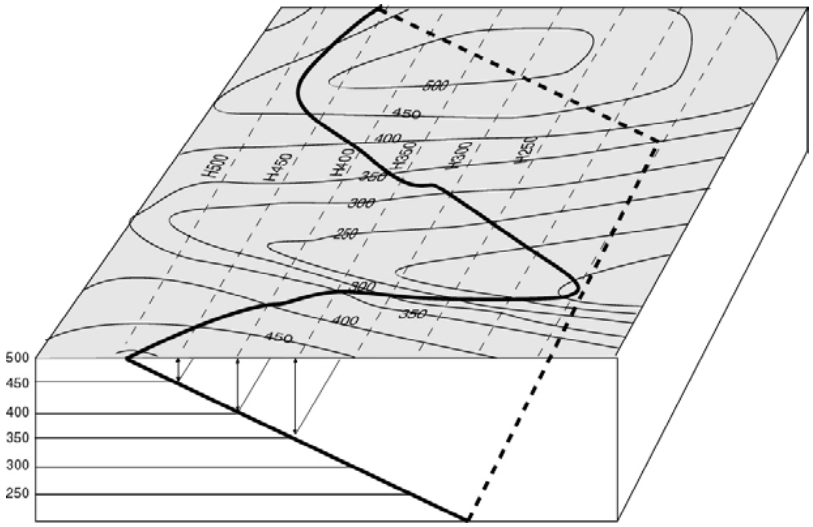


Figure 8 : Structure monoclinale en relief accidenté : Les contours géologiques recoupent les courbes de niveau sous un angle variable en fonction du pendage des couches. Cet angle est grand pour un pendage fort.

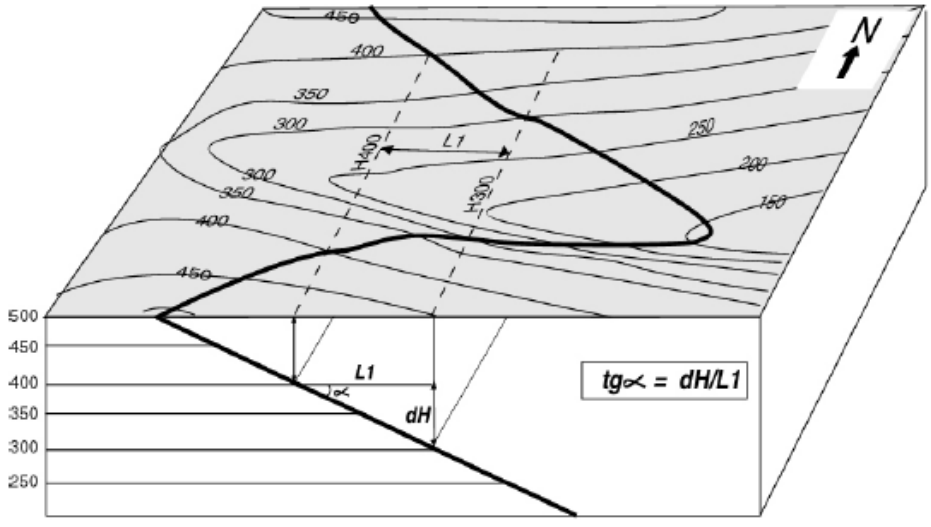


Figure 9 : Calcul de la direction et du pendage d'une couche inclinée

- **Calcul de la direction d'une couche inclinée**

La direction exacte d'une couche peut être aisément déterminée sur une carte (figure 9), par deux points d'affleurement situés 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).

- **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 (figure 9):
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 : **Tan (**α**) = dH/L1**

- **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 10). Connaissant la valeur (α) du pendage vrai, l'épaisseur peut se calculer par la formule suivante : **$e = L2.\sin(\alpha)$**

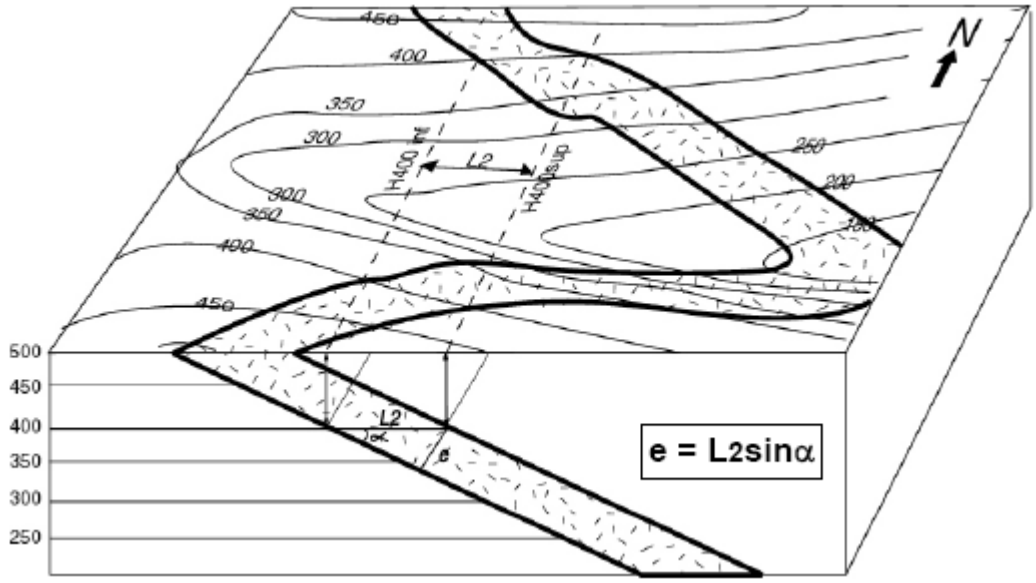


Figure 10 : Calcul de l'épaisseur d'une couche inclinée

3.2. Critères de reconnaissance d'une structure monoclinale

1- les contours géologiques des structures sont parallèles les uns aux autres ;
2- les limites des couches intersectent (recoupent) les courbes de niveau sous un angle variable et décrivent des V topographiques plus ou moins prononcés (Figure 11A).
3- les signes de pendage sont orientés dans le même sens.

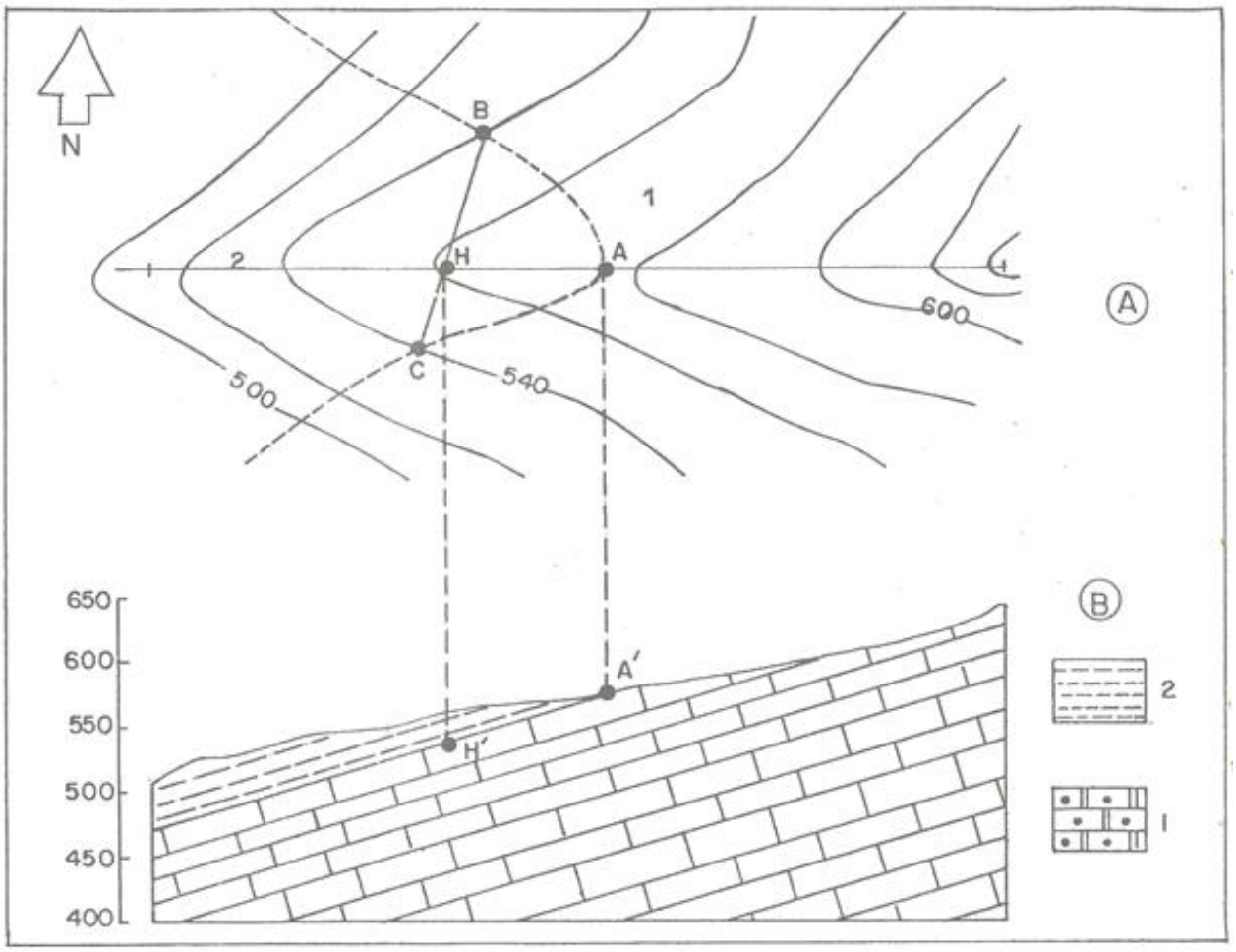


Figure 11 : METHODE DES TROIS POINTS

3.3. Construction d'une coupe géologique monoclinale

Lorsque le pendage n'est pas indiqué sur la carte par le signe en forme de T, on peut le déterminer grâce aux trois méthodes : méthode des 3 points, méthode des horizontales et la méthode du cercle.

Méthode des trois points (détermination du pendage)

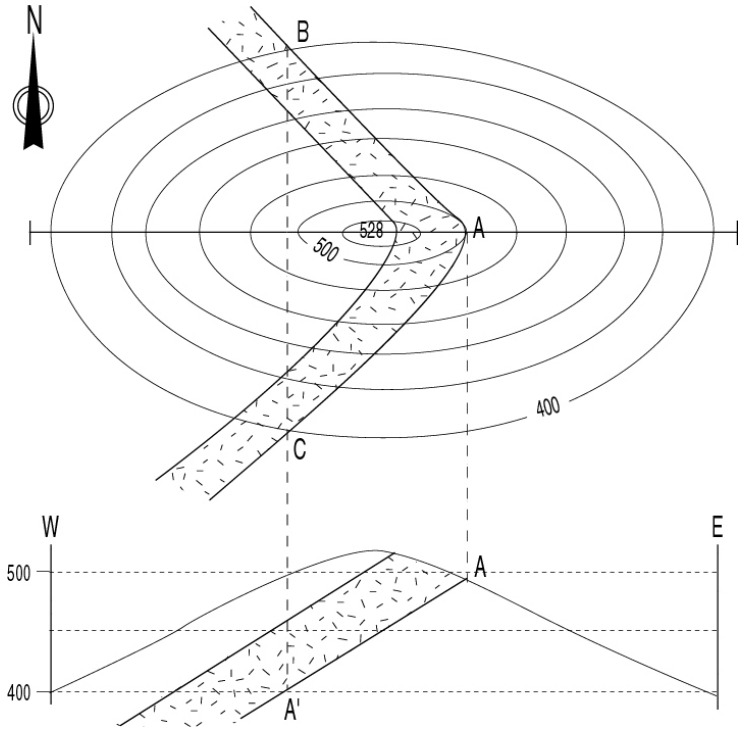


Figure 12. Couche oblique (inclinée) : cas de la topographie en colline

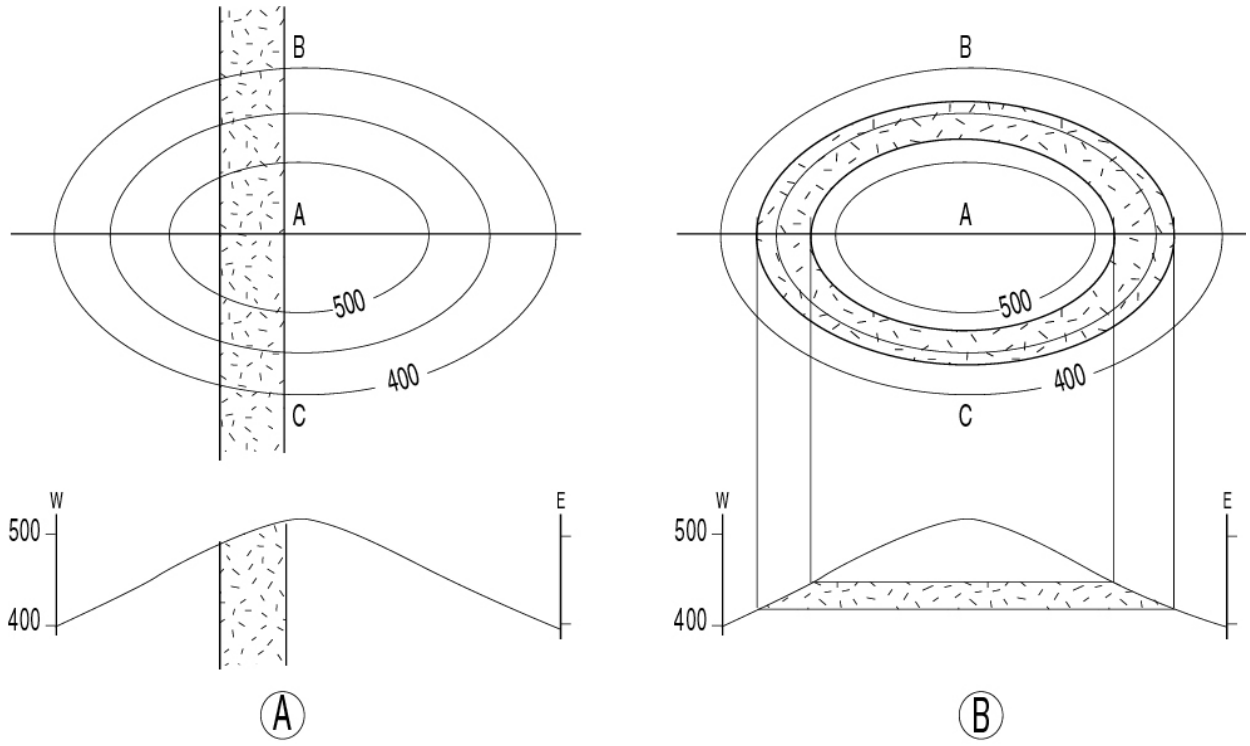


Figure 13 : Couches verticales (le tracé des couches verticales est rectiligne) : Cas de la topographie en vallée

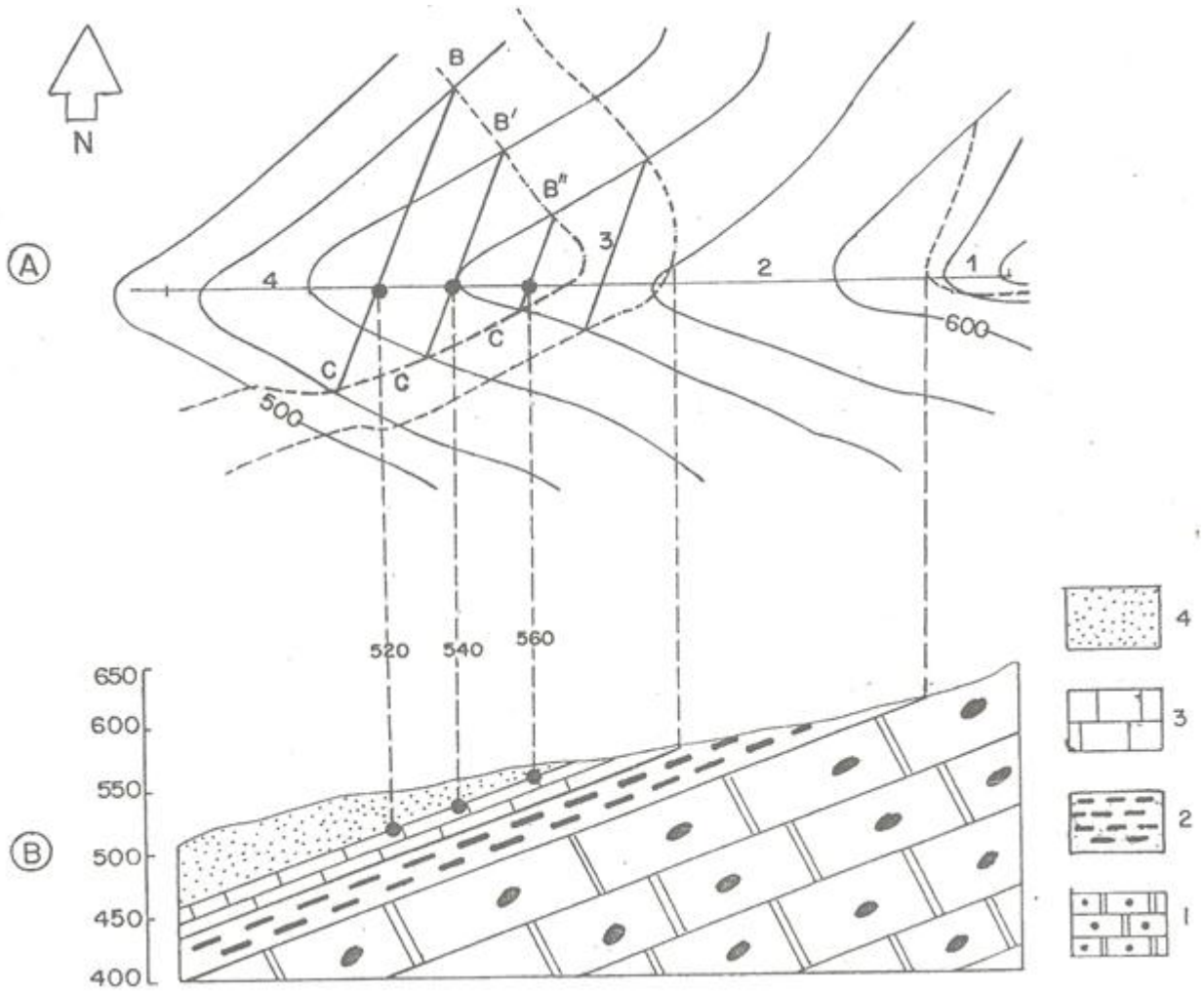


Figure 14 : METHODE DES HORIZONTALES

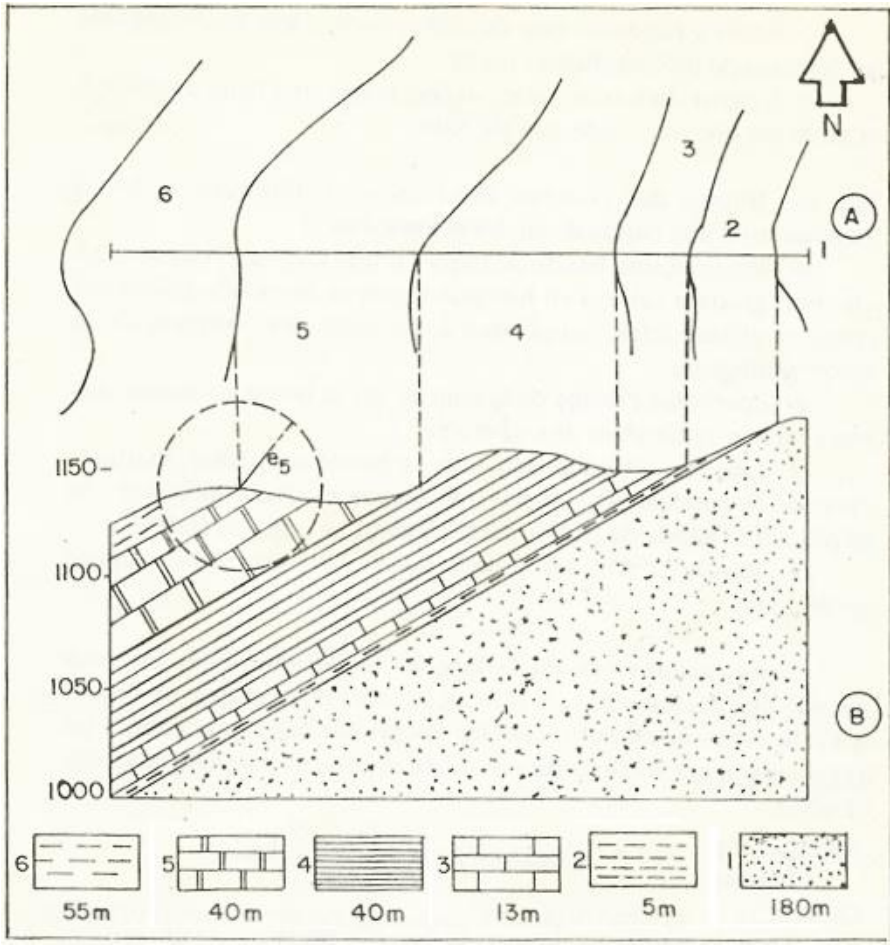


Figure 15 : METHODE DE LA TANGENTE AU CERCLE

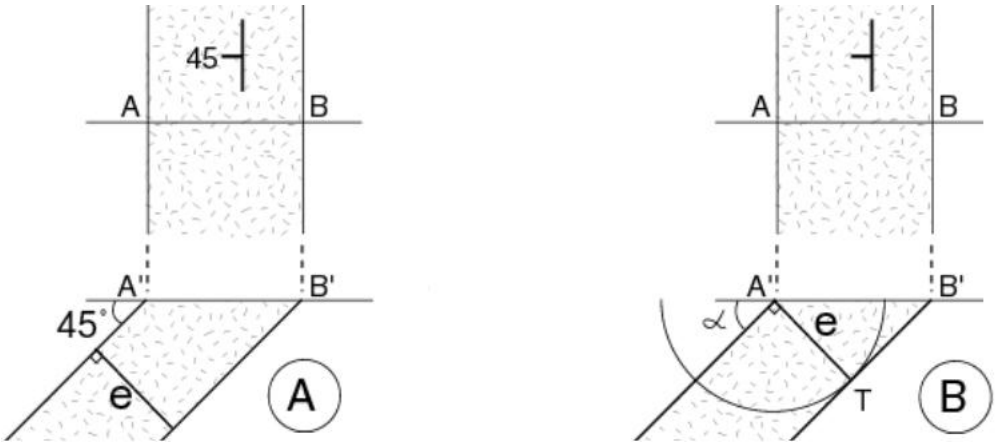


Figure 16 : Construction des couches géologiques à angle de pendage variable : A) Connaissant le sens et la valeur du pendage ; B) Connaissant le sens du pendage et l'épaisseur des couches.

3.4. Construction par la méthode de la Tangente au cercle

1) Abaisser sur le profil, toutes les limites géologiques rencontrées
2) placer la pointe en acier du compas sur le toit de la couche considérée puis tracer sous le profil un demi-cercle de rayon égal à l'épaisseur de la couche rapportée à l'échelle;
3) tracer à partir du mur de cette couche, une ligne tangente au demi-cercle précédemment tracé;
4) à partir du toit de cette couche, tracer une ligne parallèle à la tangente obtenue ci-dessus.

Leçon 4. STRUCTURES PLISSEES

4.1. Définitions

Les structures plissées sont nées à la suite de la déformation de façon plus ou moins plastique des roches (ou couches sédimentaire) sous l'action des contraintes tectoniques. Leurs pendages deviennent alors variables et dirigés dans des sens divers, on dit qu'elles sont **plissées**.

Elles se présentent sous forme de **Synclinaux** (plis concaves vers le haut) et **Anticlinaux** (plis convexes vers le haut). Sur carte, les contours des couches plissées dépendent du relief topographique et du pendage des flancs ainsi que de l'allure de la charnière. Les éléments morphologiques d'un pli sont :

Charnière : c'est la zone de courbure maximale présentée par les couches,

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 pli (β) : c'est la direction du plan axial,

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

Remarque *: 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.*

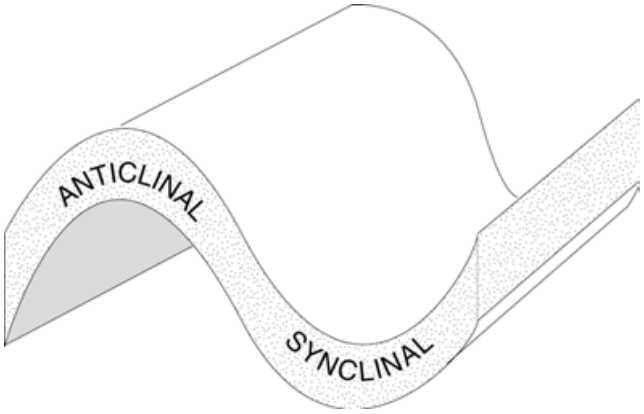


Figure 17A : structure plissée (Synclinal et Anticlinal)

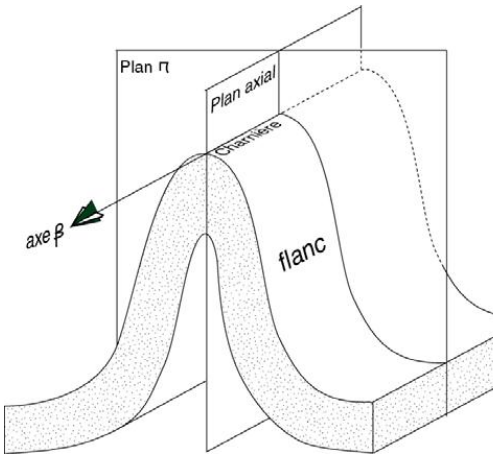


Figure 17B : morphologie d'un pli

En fonction de la géométrie du plan axial, on peut distinguer différents types de plis (figure 18). 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.

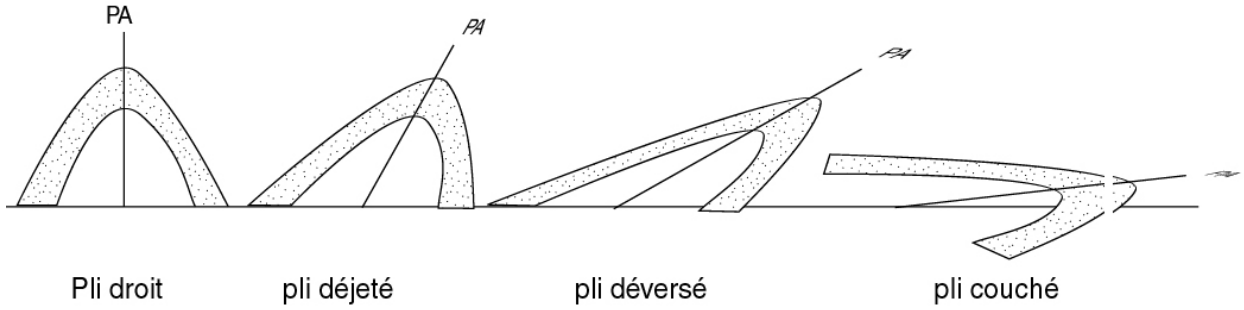


Figure 18 : Différents types de plis en fonction de la géométrie du plan axial

4.2. Reconnaissance des structures plissées sur une carte géologique

- Les limites géologiques intersectent les courbes de niveau et sont symétriques par rapport à une couches plus vielle dans un **Anticlinal** (Fig. 19A) ou d'une couche plus jeune dans un **Synclinal** (Fig. 19B).
- Les pendages varient le long d'une même couche ;
- Symétrie de part et d'autre d'une couche ancienne (anticlinal) avec des signes de pendage divergents ;
- Symétrie de part et d'autre d'une couche jeune (synclinal) avec des signes de pendage convergents.

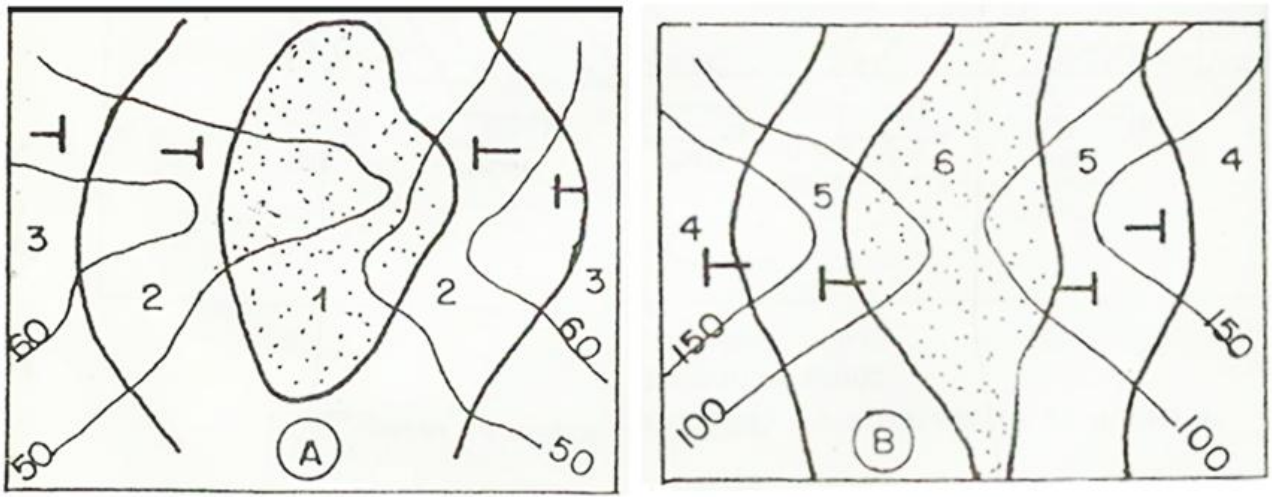


Figure 19. Carte géologique d'une structure plissée

4.3. Méthode de construction

Les pendages étant convergents ou divergents selon le cas, la méthode de construction sera calquée sur celle de la tangente au cercle comme dans le cas de structures inclinées ; mais la symétrie de part et d'autre d'une couche jeune ou vieille obligera à réaliser deux fois la même opération.

Condition préalable : **commencer toujours par le Synclinal** (figure 20).

a) Reporter sur le profil topographique, toutes les limites géologiques rencontrées en affleurement le long du profil ;

b) Placer la pointe en acier du compas sur le toit de la couche (de la condition préalable) la plus jeune dont on connait les deux limites à l'affleurement le long du trait de coupe, puis tracer sous le profil, un demi-cercle de rayon égale à l'épaisseur de la couche considérée en tenant compte de l'échelle ;

c) Tracer à partir du mur de cette couche, une ligne tangente au demi-cercle ; répéter l'étape **b** sur le toit équivalent opposé ;

d) A partir des deux points du toit de cette couche, tracer des parallèles aux deux tangentes obtenues ;

e) Lisser, en arrondissant, le toit puis le mur construit au cœur du synclinal. Les concavités sont d'autant plus prononcées que les couches internes sont constituées de roches dures.

N.B. : Pour tracer le cœur de l'anticlinal, il faudra d'abord tracer une bissectrice.

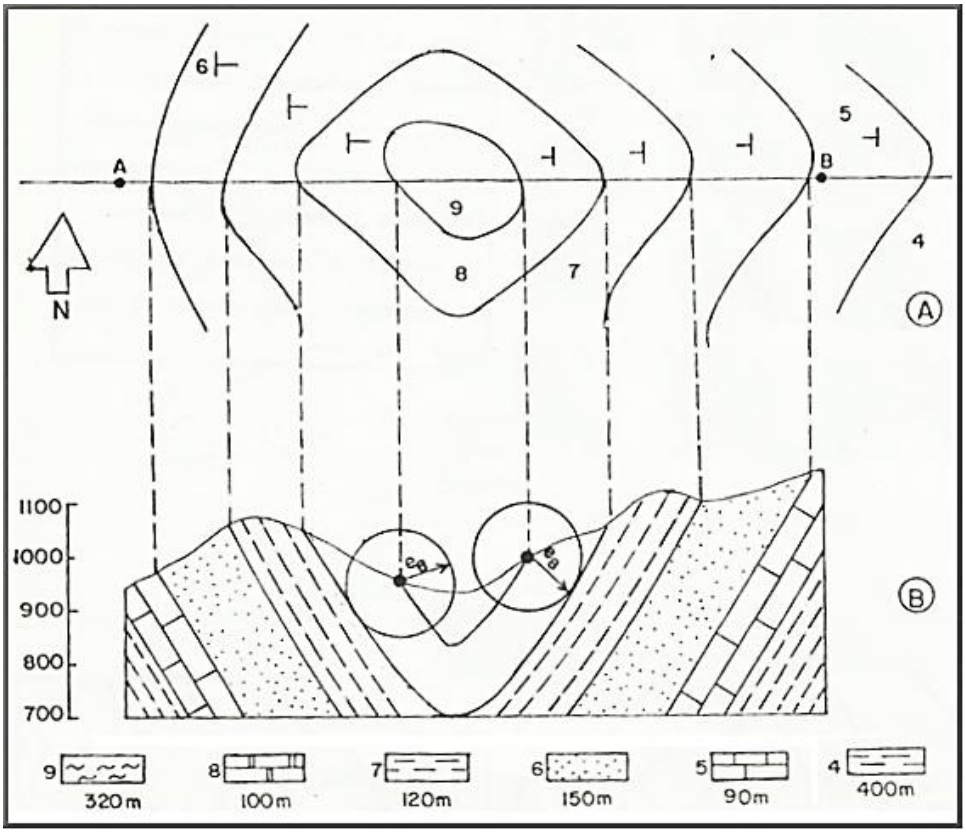


Fig. 20

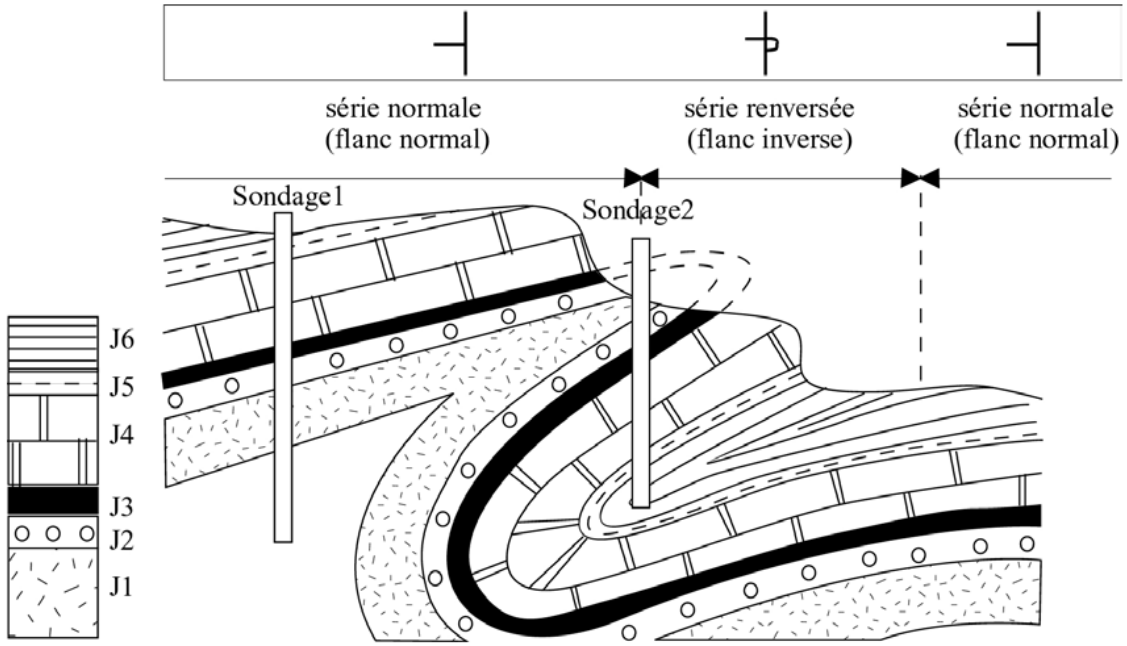


Figure 21 : Flanc normal et flan inverse

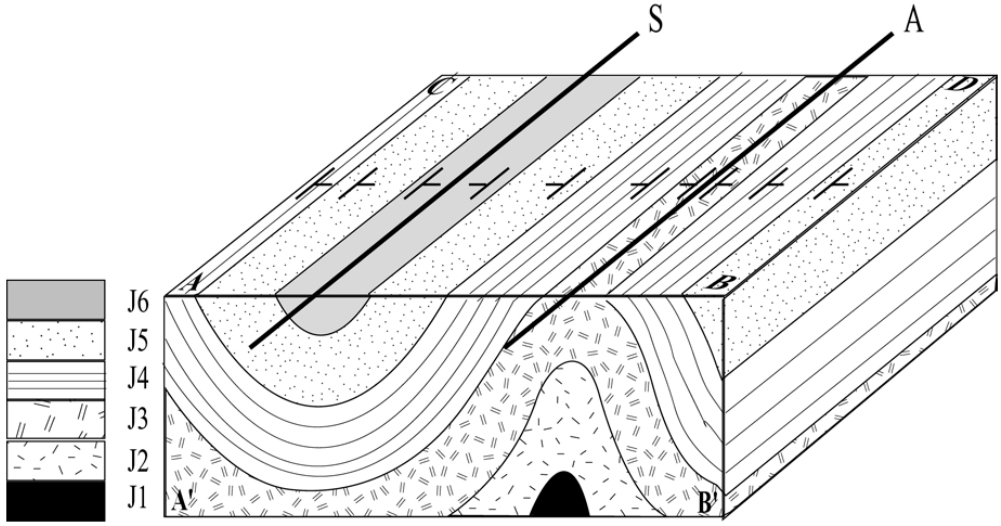


Figure 22 : Structure plissée à axe horizontal

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 23).

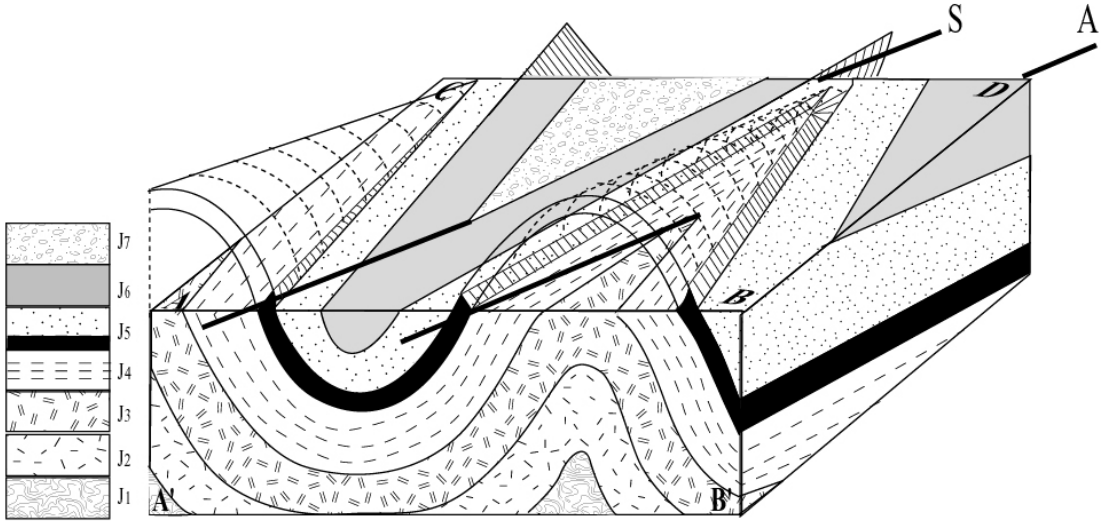


Figure 23 : Structure plissée à axe incliné

Leçon 5. STRUCTURES DISCORDANTES

5.1. Définitions

On dira qu'une structure B est concordante sur une structure A, si B s'est déposée sur A sans que cette dernière ait été préalablement érodée ou déformée.

A l'inverse, une structure B est discordante sur une structure A lorsque, avant le dépôt de B, A a préalablement subi une déformation tectonique (pli, faille) suivie d'une érosion. B se déposera donc sur une surface d'érosion dite surface de discordance.

La discordance se traduit également par un angle de discordance entre les plans stratigraphiques des séries A et B. Elle est généralement liée aux variations eustatiques (variations du niveau moyen des océans), traduites par des phénomènes de transgression et de régression.

Une discordance régionale classique provient d'une succession de quatre étapes ou phases principales : Phase de sédimentation, Phase tectonique, Phase d'érosion et Phase de transgression.

5.2. 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 24 A).

- 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 24 B).

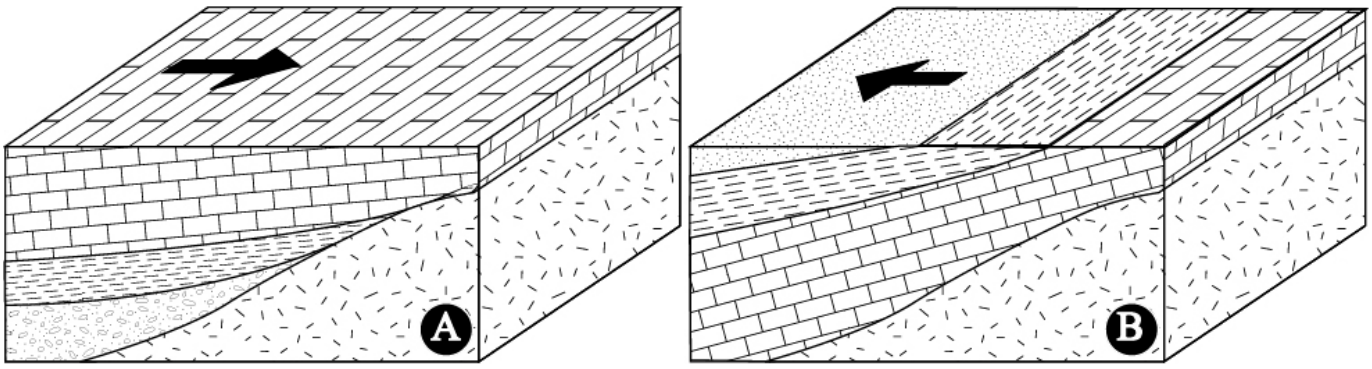


Figure 24 : A) Transgression marine ; B) Régression marine

5.3. 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**.

- 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 (J1 à J6). On remarque que la couche discordante **m**, disséquée ultérieurement par l'érosion, repose indifféremment sur les différentes couches plissées (figure 25).

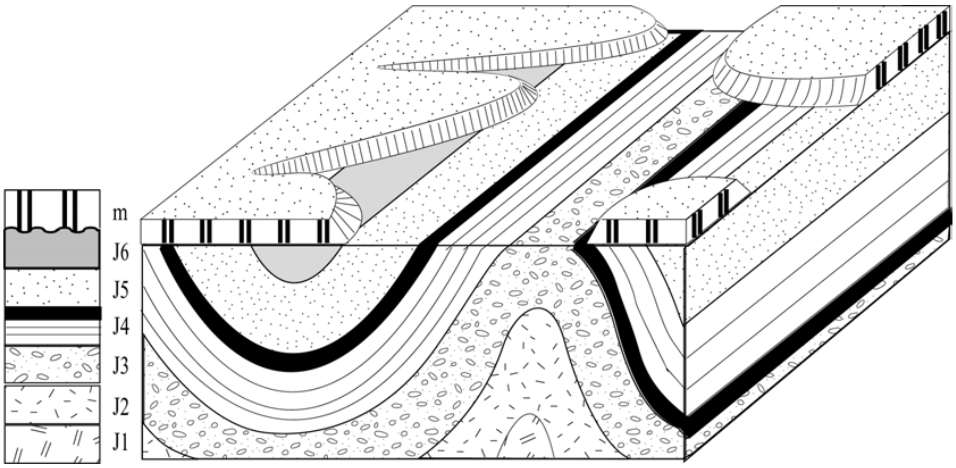


Figure : 25 : représentation d'une discordance

5.4. Différents types de discordances

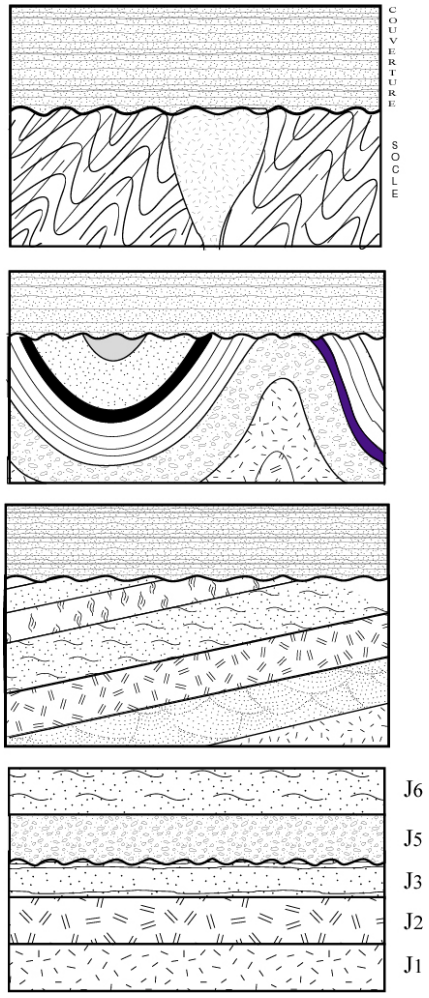


Figure 26 : Types de discordance

- **Discordance majeure :**

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.

- **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.

5.5. Reconnaissance cartographique et construction en coupe

a) Critères de reconnaissance d'une structure discordante

- Disparition de certaines couches dans la colonne litho-stratigraphique,

- Sur la carte géologique, la surface de discordance (limite de base de la série discordante) interrompt indifféremment (de façon quelconque) les contours des diverses couches de la série antérieure. Elle induit ainsi des contacts anormaux entre des couches récentes et plus anciennes (figure 27).

b) Méthodes de construction d'une structure discordante

- On commence par construire d'abord les limites de la série discordante dont la base constitue la surface de discontinuité.

- La construction des limite géologiques utilise les méthodes adaptées à chaque type de structure (horizontale, incliné, etc…) rencontrées tant au-dessous de la paléo surface topographique ou surface de discordance. (conf. Figure 27).

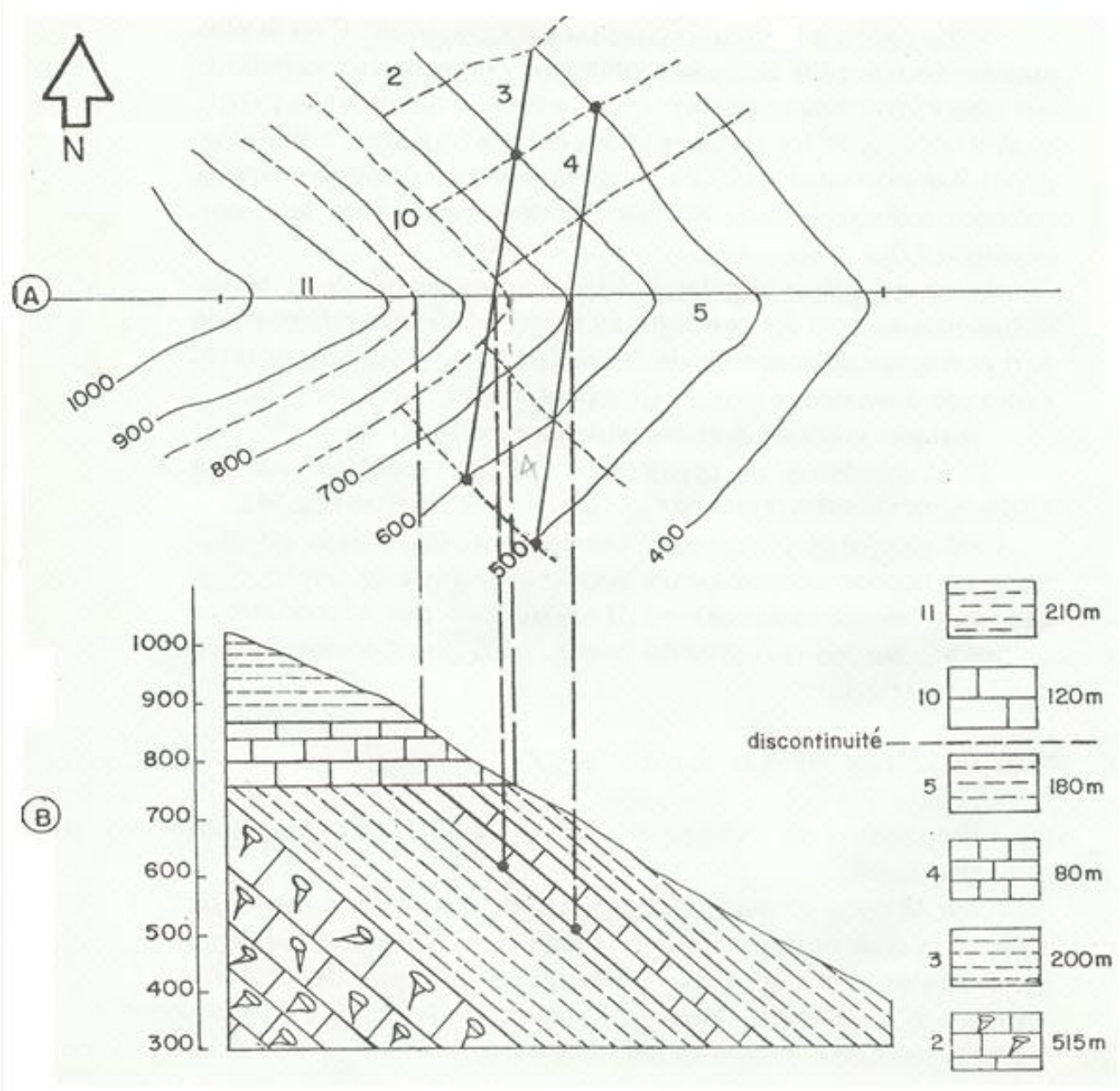


Figure 27 : Méthode de construction d'une structure discordante

Leçon 6. STRUCTURES FAILLEES

6.1. Définitions

Une structure faillée est une structure dans lesquelles les couches sont affectées de failles (figure 28). Une faille est une fracture de l'écorce, suivie d'un déplacement relatif des compartiments séparés. Cette cassure est indépendante des structures affectées. La valeur ou l'ampleur du déplacement est appelée **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**).

- **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.
- **contraintes tectoniques :** ce sont les forces qui s'exercent sur les roches de la croûte terrestre. Elles peuvent être de deux sortes (figure 29) :

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**).

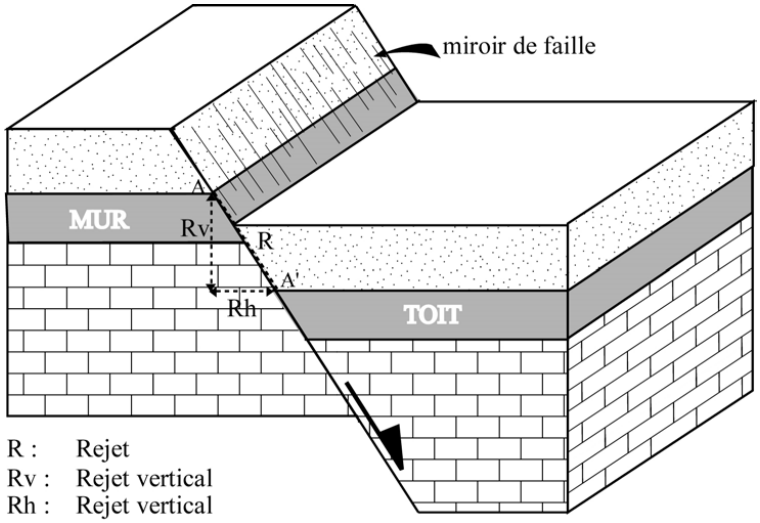


Figure : 28 : Structure faillée

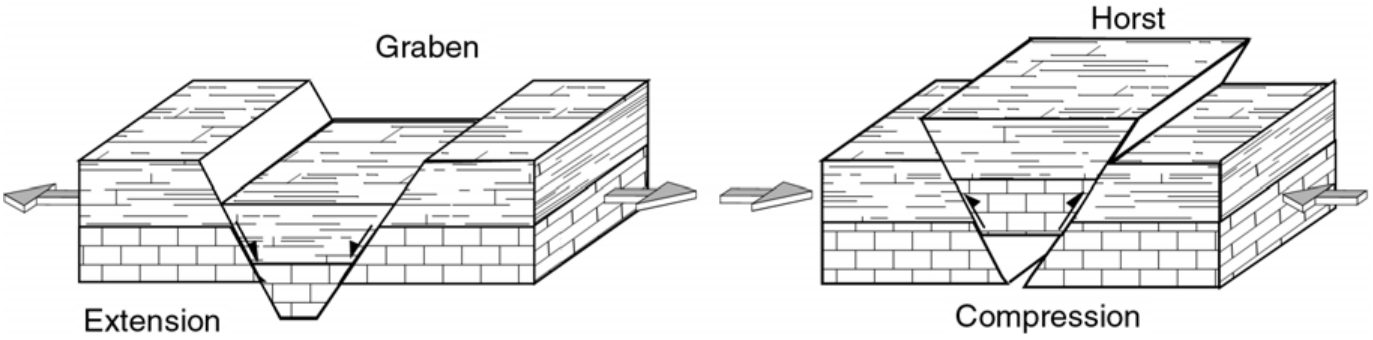


Figure : 29 : Contraintes tectoniques

- **Différents types de failles**

Il existe plusieurs classes de failles en fonction de la nature des mouvements qui les engendrent. En fonction de leur géométrie et de leur cinématique on distingue plusieurs types de failles (figure 30) :

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 30 B) ;
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 30 C) ;
3). **Faille conforme :** faille dont le plan est incliné dans le même sens que les couches affectées (fig 30 B1 et C1) ;
4). **Faille contraire :** faille dont le sens du pendage est opposé à celui des couches affectées (figure 30 B2 et C2) ;
5). **Faille de décrochement :** faille verticale à rejet horizontal (figure 30 D). Elle peut être associée à tous les contextes tectoniques (extensifs et compressifs).

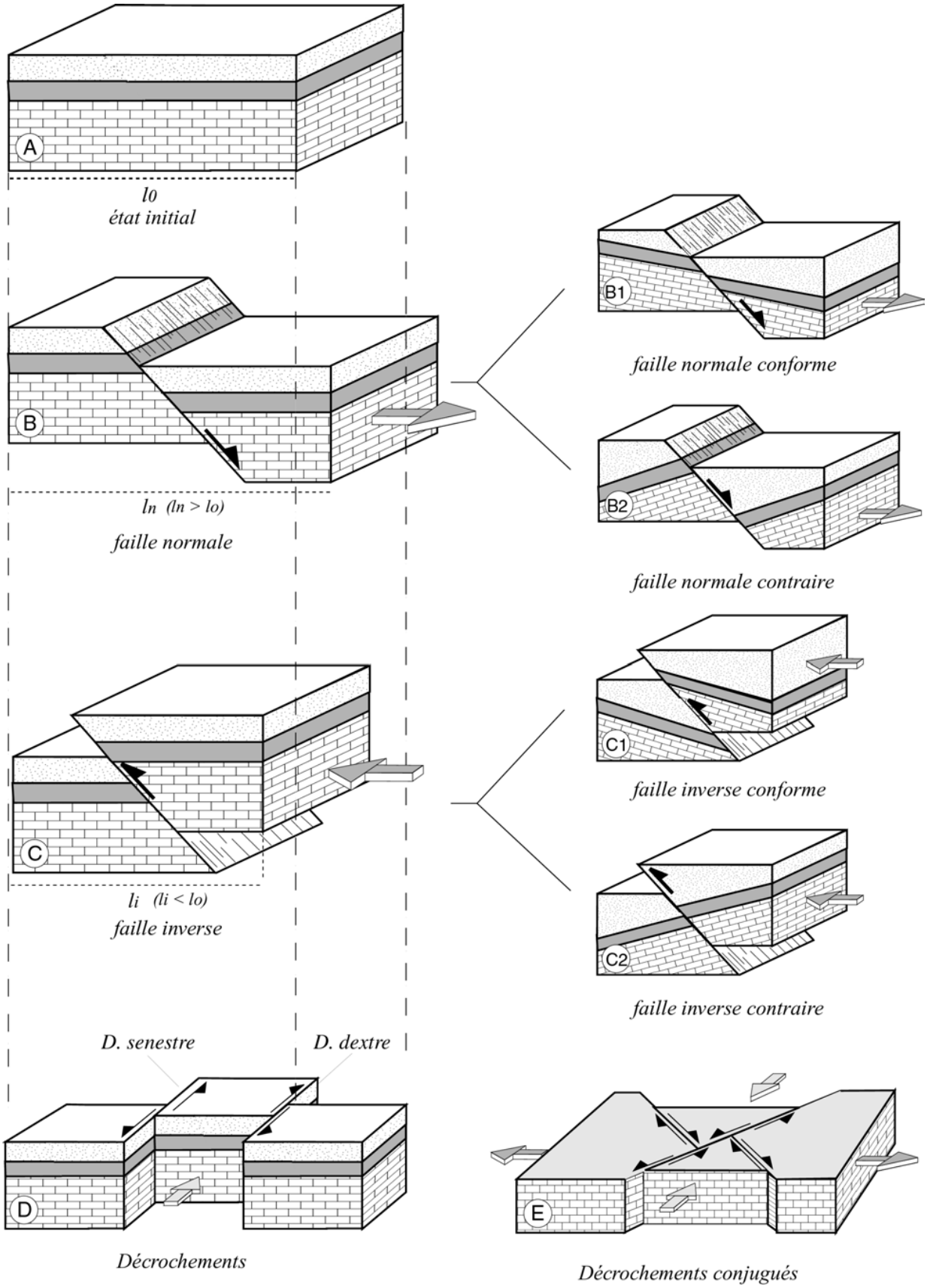


Figure 30 : Différents types de failles

- **Jeu d'une faille**

C'est le déplacement relatif des compartiments de part et d'autre d'une faille sur une carte géologique.

- il faut observer sur la carte l'âge relatif des terrains situés de part et d'autre de la faille ;
- le compartiment qui montre les terrains les plus récents est le compartiment effondré ;
- par contre le compartiment qui montre les terrains les plus anciens est le compartiment qui s'est soulevé.

6.2. Critères de reconnaissance d'une structure faillée

Les failles étant assimilées à des plans, leur tracé sur la carte répond aux mêmes règles que celles des plans de stratification pour la détermination de leur direction et leur 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.

- Sur une carte géologique, les failles sont conventionnellement représentées par des traits noirs épais continus ;
- contact anormal entre des couches d'âges et de caractères différents.

6.3. Construction d'une coupe géologique en terrain faillé

II s'agit plus généralement de représenter le plan d'une faille (figure 31). Celui-ci est assimilable à une surface plane tout à fait comparable de ce point de vue à une limite de couche. Dès lors, la construction des pendages de failles suivra la même règle que celle des structures géologiques déjà rencontrées **(tabulaire, monoclinale, plissée etc.)**.

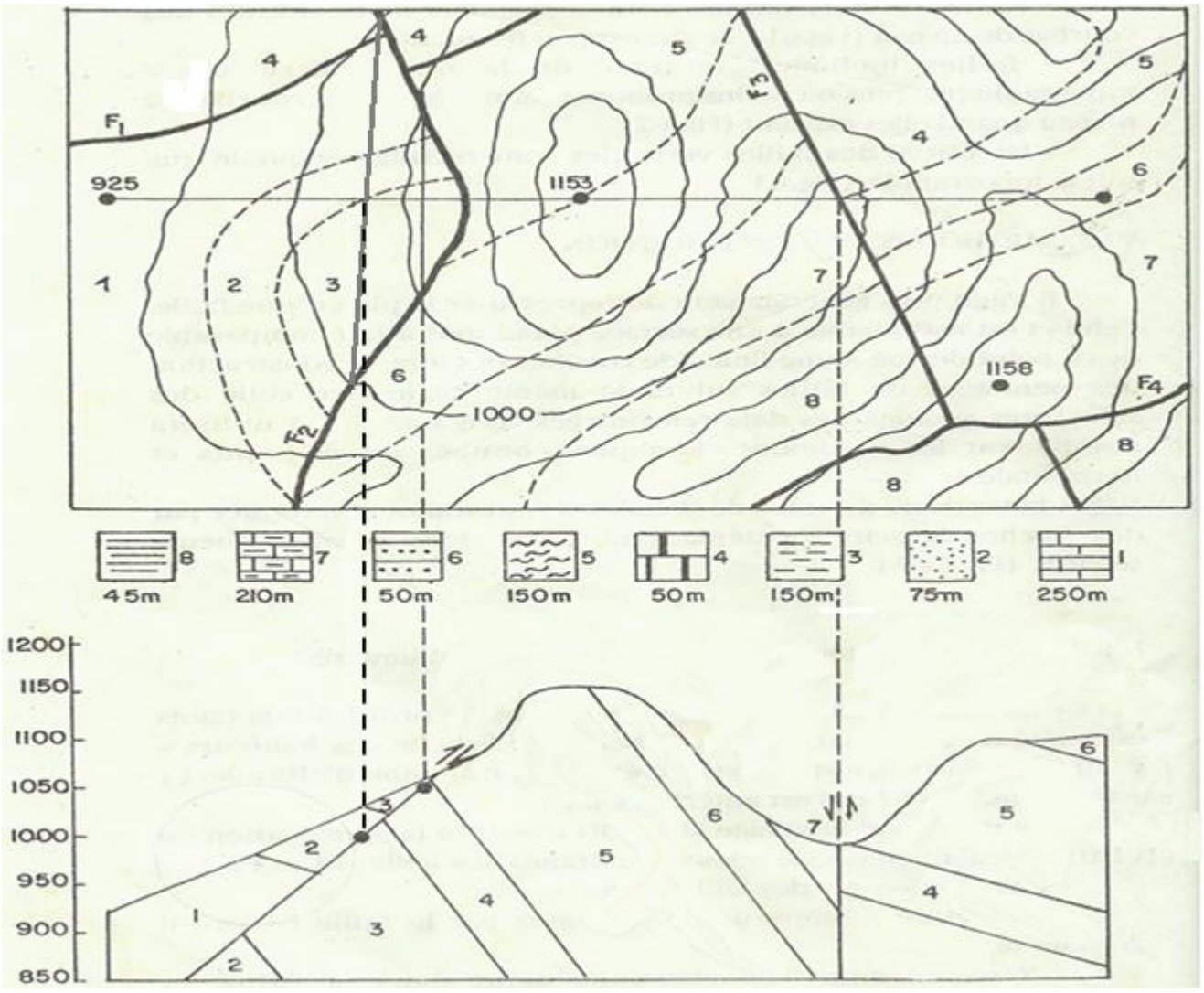


Figure 31 : METHODE DE CONSTRUCTION D'UNE STRUCTURE FAILLEE

On utilisera notamment les méthodes classiques connues (trois points et horizontales).

1) dessiner le profil avec précision et soin ;
2) repérer l'intersection du trait de coupe avec la faille et la projeter sur le profil topographique
3) Déterminer son pendage, et indiquer le déplacement relatif le long de la faille (jeu de la faille)
4) On commence toujours par représenter la faille, et ensuite on dessine les différentes structures, compartiment par compartiment, en commençant toujours par la couche la plus <u>récente</u> dont on connaît le toit et le mur.

5) Une fois la construction terminée, il faut préciser :

- l'âge relatif de la faille (figure 32),
- le rejet vertical (en mètre),
- le sens du regard,
- le jeu, par une double flèche (figure 33).
- et la direction si c'est possible.

N.B. A la verticale du tracé de la faille, il faut toujours indiquer par des flèches le sens du déplacement des deux compartiments séparés.

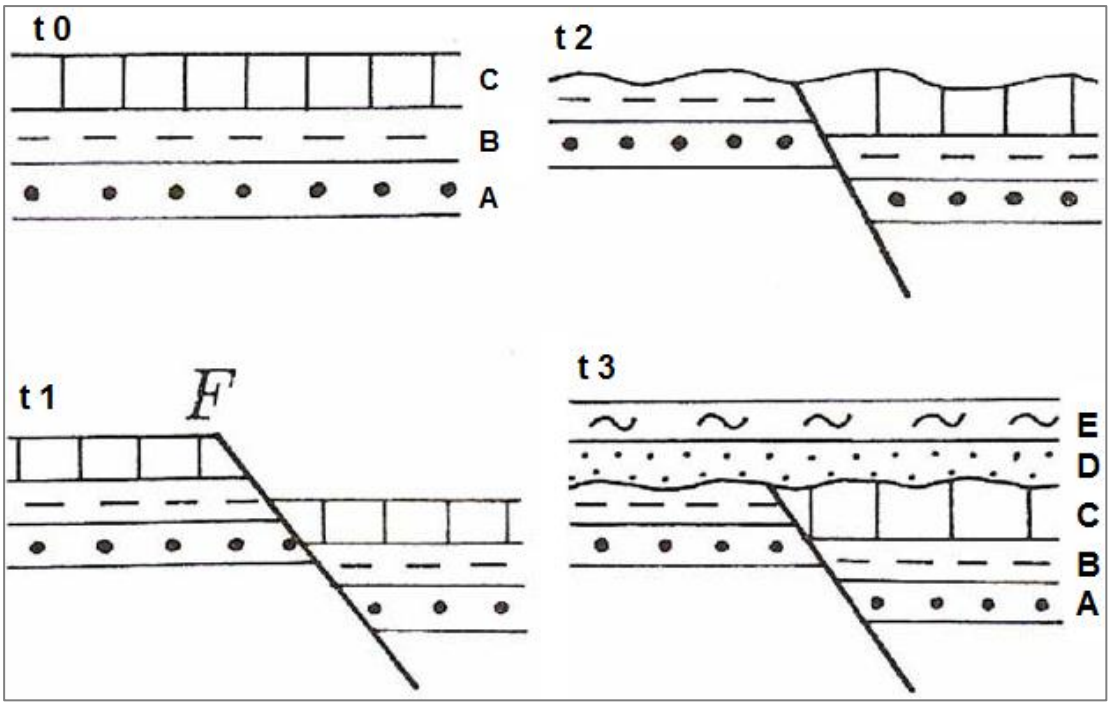


Figure 32 : Détermination de l'âge des faille : la Faille (F) est postérieur à C et antérieur à D

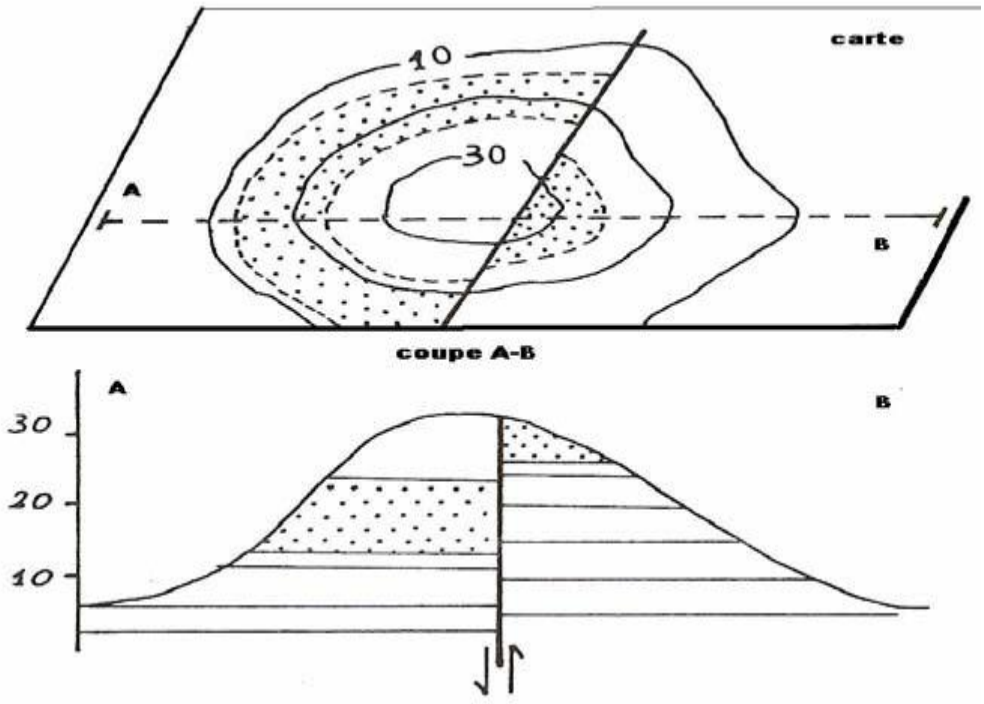
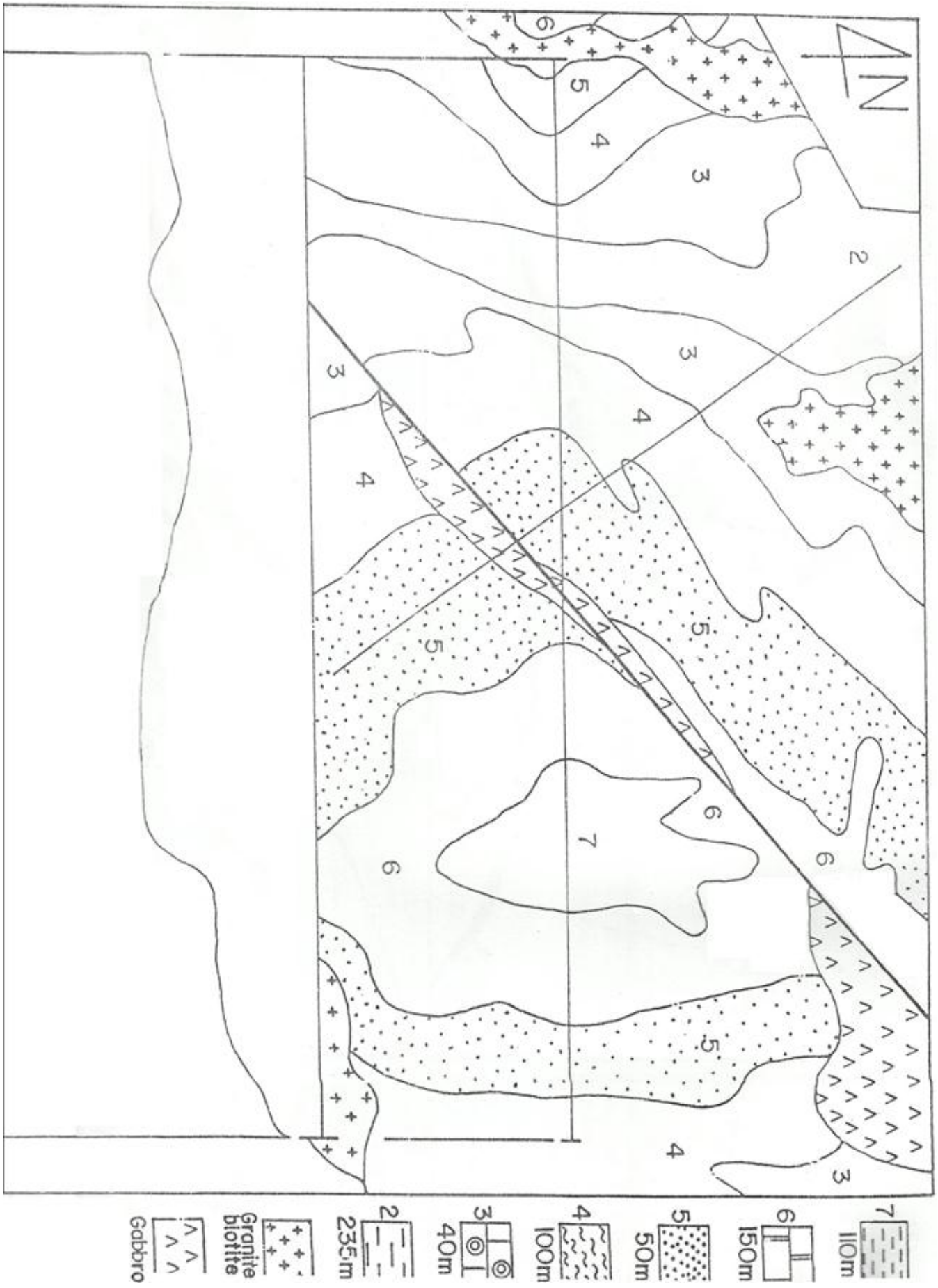


Figure 33 : Faille verticale traversant une colline (carte et coupe) et jeu de faille.



TPE : Réaliser la coupe géologique et matérialiser le jeu de faille. "Le pluton sera ajouté plus tard".

Leçon 7. STRUCTURES GÉOLOGIQUES EN TERRAINS CRISTALLINS

7.1. DEFINITIONS

Les terrains cristallins sont constitués d'affleurements de roches d'origine soit éruptive (magmatique - endogène) soit métamorphique. Ils s'opposent fondamentalement par leur origine et leur architecture aux terrains sédimentaires précédemment décrits.

A/ LES TERRAINS METAMORPHIQUES

Les terrains métamorphiques sont issus de la transformation de roches préexistantes (sédimentaires ou éruptives) sous l'influence conjuguée de la pression et de la température.

Suivant leur mode de mise en place, on distingue fondamentalement deux grands types de métamorphisme :

1) le métamorphisme général ou thermodvnamique fait intervenir l'influence conjuguée de la température et de la pression. Il affecte l'ensemble des roches sur des épaisseurs et des superficies importantes, d'où le terme «général» (figures 34 ; figure 36). Dans les domaines non plissés, la base des séries très épaisses subit un métamorphisme statique ou d'enfouissement. Les roches y sont peu déformées.

A l'inverse, dans les grandes chaînes plissées, le métamorphisme induit la formation des schistes, des micaschistes et des gneiss qui sont des roches cristallophylliennes et qui constituent le plus souvent le substratum des séries sédimentaires. Les déformations subies par ces roches sont très marquées.

2) le métamorphisme de contact ou thermique ou thermométamorphisme est essentiellement lié à une élévation de la température et à la durée de cette élévation. Il est localisé au contact des roches magmatiques et affecte les enclaves et les terrains traversés (figure 35). Autour d'un massif intrusif la zone métamorphisée est plus ou moins épaisse et son affleurement sur une carte dessine **une auréole de métamorphisme de contact** (zone de terrains métamorphisés au contact d'une intrusion magmatique).

Mais trois autres types de métamorphisme d'importance secondaire sont connus :

- le métamorphisme dynamique ou dynamométamorphisme. Il est surtout lié aux contraintes qui se développent dans les grands accidents cassants où les roches acquièrent une schistosité et sont broyés (mylonitisées);

- le métamorphisme hydrothermal. Il est induit par les circulations de fluides (eau) à température élevée en relation avec des volcans ou des massifs plutoniques. Ces fluides réchauffent les roches traversées en même temps qu'ils apportent des éléments chimiques particuliers ;

- le métamorphisme d'impact. Il est exceptionnel et dû à la chute de grosses météorites (ex. Lac Bosumtwi au Ghana).

B/ LES TERRAINS ERUPTIFS

Les terrains éruptifs sont mis en place suivant plusieurs processus qui permettent de les classer : Les **roches plutoniques** sont formées en profondeur avec une cristallisation relativement lente. La remontée du magma à travers les roches encaissantes induira des formes et terminologies diverses (figure 36 et et 37A) :

- Les **Batholites** sont des massifs en forme de coupole (constitués de R magmatiques plutoniques)

- Les **Filons** ou dykes sont des intrusions en forme de lames étroites qui recoupent les roches encaissantes,
- Les **Sills** ou filons-couches sont disposés parallèlement à la stratification,
- les **Laccolites** : sont des massifs plutoniques en forme de lentille à base plane et à surface supérieure convexe. Ils sont sensiblement parallèles à la stratification ; on les appelle « massifs concordants ».

Les affleurements de **roches volcaniques** se présentent sous forme de coulées de laves ou de dépôts volcano-clastiques (figure 37 B).

C/ PROBLEMES POSES POUR LA DEFINITION DES STRUCTURES CRISTALLINES

Trois types de problèmes se posent pour la définition des structures cristallines :

- **Problème de l'âge** : La chronologie des événements géologiques (indiquée plus haut) dont la granitisation, utilise les relations géométriques entre le pluton et les roches encaissantes.

- **Problème de la résistance à l'érosion** : Généralement les modelés en saillie dans un relief traduisent les roches à structure massive ; les régions affaissées correspondant aux roches encaissantes.

- **Problème tectonique** : La granitisation et le métamorphisme s'accompagnent le plus souvent de plissements et de fracturations. Ces fracturations sont souvent tardi-tectoniques.

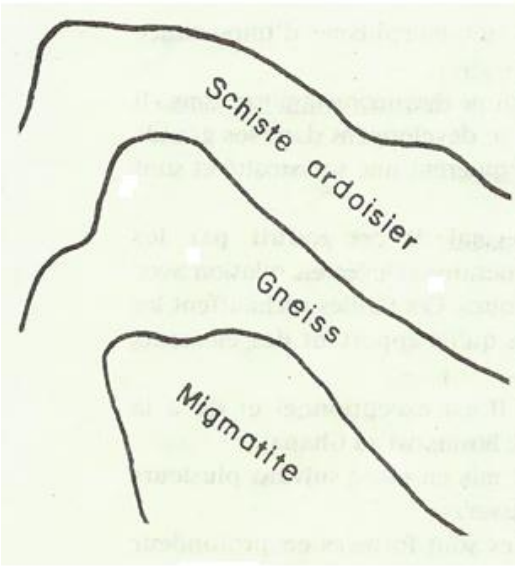


Figure 34

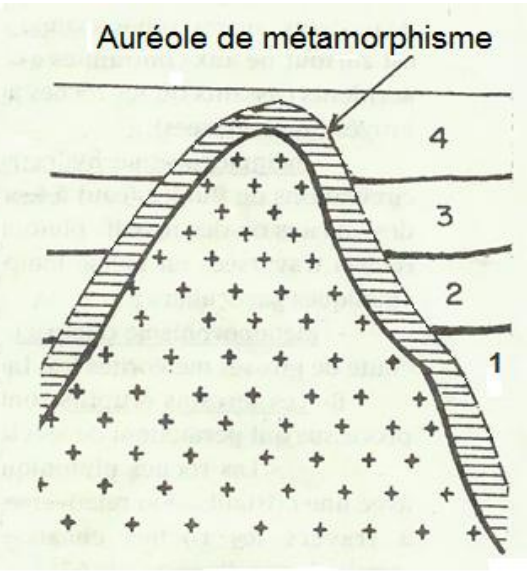
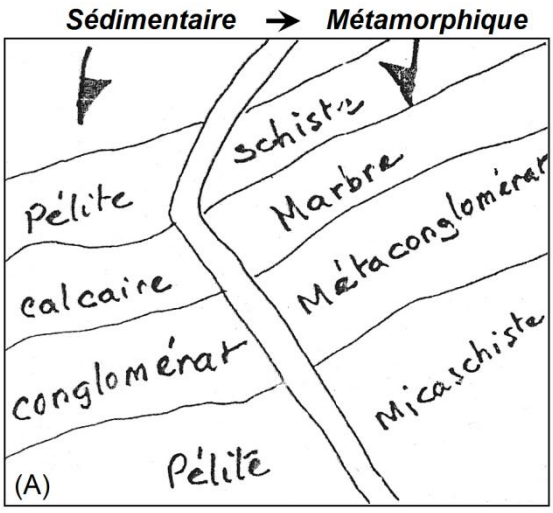


Figure 35



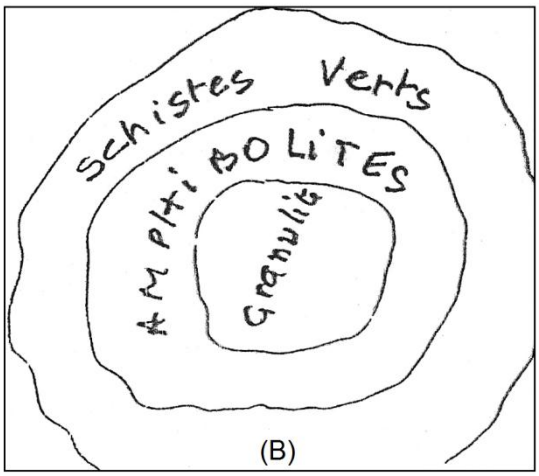


Fig.36

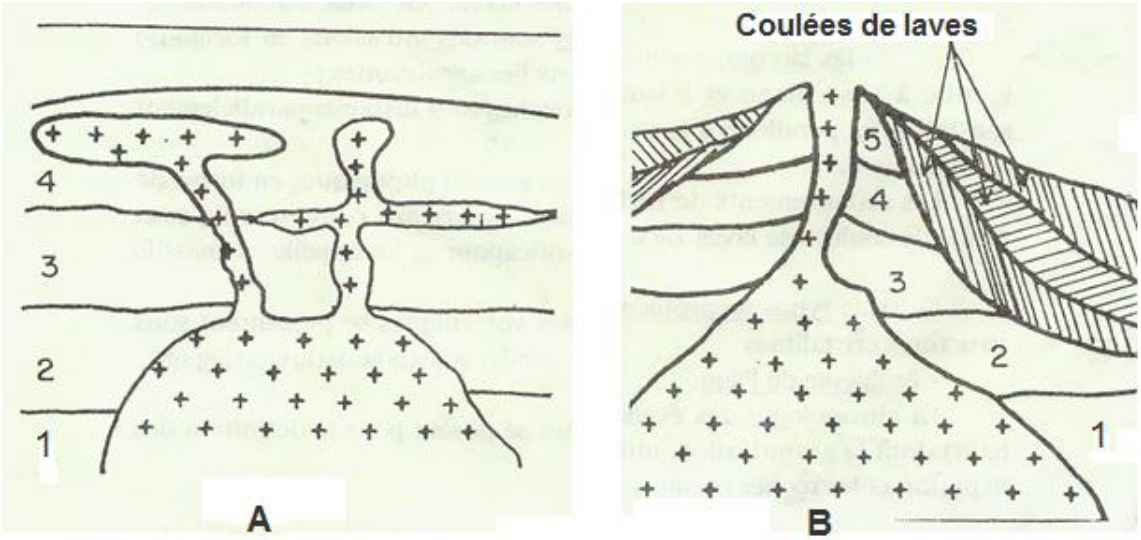


Fig.37

7.2. CRITÈRES DE RECONNAISSANCE

Les affleurements de roches plutoniques se présentent sous forme de pointements (batholites) à l'intérieur de structures sédimentaires dites encaissantes **(figure 38 A)**.

Les coulées de laves volcaniques (ou dépôt volcano-clastique) sont plus homogènes et ont un mode de dépôt qui suit le principe de superposition comme les terrains sédimentaires **(figure 38 B)**. Les dépôts volcano-clastiques sont généralement interstratifiés dans la série sédimentaire.

Les affleurements de roches métamorphiques se présentent sous forme de massifs (dans le cas de métamorphisme thermique et de contact) mais le plus souvent d'une succession de couches métamorphisées (cas du métamorphisme général ou régional).

Un mode de représentation conventionnelle caractérise également les formations cristallines. En effet, on les affecte d'une couleur (en relation avec le type pétrographique), associée à des lettres grecques désignant ce type pétrographique : γ *:* pour le granité ; β : pour le basalte, etc...

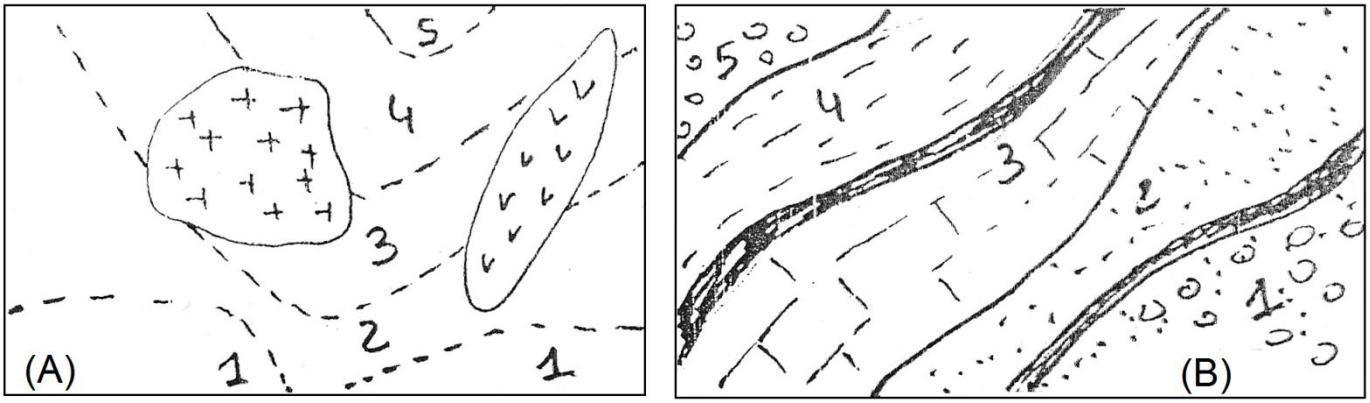


Figure 38. Affleurement de roche plutonique et mode de dépôt des coulées de laves volcaniques

7.3. MÉTHODE DE CONSTRUCTION

Limites du pluton

- reporter sur le profil topographique les limites du pluton (Figure 39 A) ;
- prolonger ces limites vers le bas avec un léger écartement vers la base (Figure 39 B);
- puis, de part et d'autre de ce pluton, construire les limites géologiques des formations sédimentaires encaissantes selon les méthodes appropriées.

Limites des laves volcaniques ou des formations volcano-clastiques interstratifiées

- appliquer les mêmes méthodes que pour les structures sédimentaires classiques.

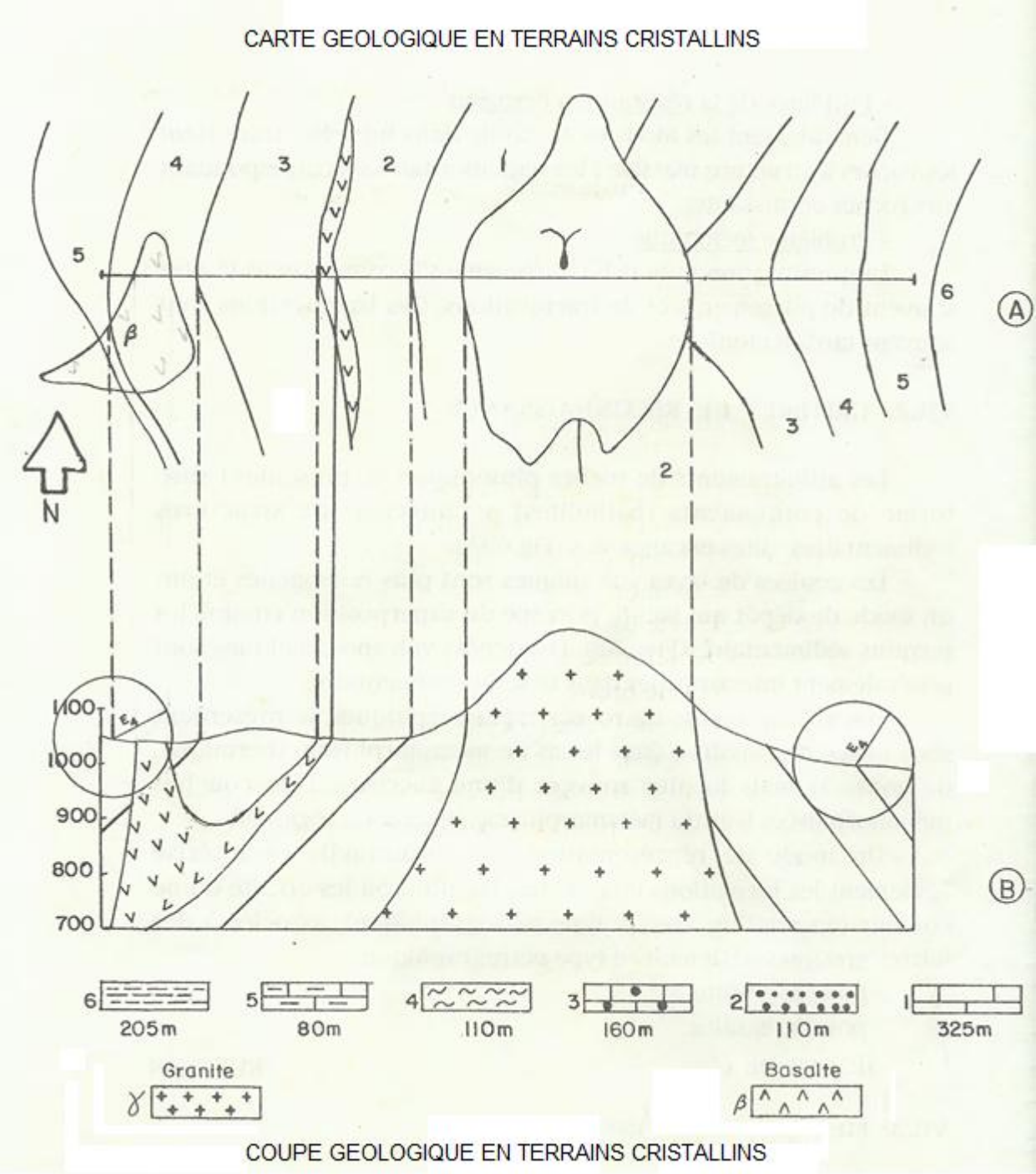


Figure 39 : A) Carte géologique en terrain cristallin, **B**) Méthode de construction

<u>EXERCICE D'APPLICATION</u> (Voir figure 40)

N.B. Répondre directement au verso du papier millimétré

- Exécuter la coupe géologique (le choix est laissé à l'enseignant) : Echelle verticale (des hauteurs) Ev = 1/2000 ; la base de la coupe est fixée à 700 m.
- IMPORTANT. Commencer par construire les pendages des structures de la région de BANOLIÉ.
- Préciser la terminologie qui s'applique à chacune des intrusions ayant affecté le profil ;
- Dites quel type de métamorphisme a affecté les roches encaissantes de cette région ;
- De quel type est la structure intrudée de la feuille étudiée ?
- Que concluez-vous quant à l'existence de la butte témoin dans la vallée ?

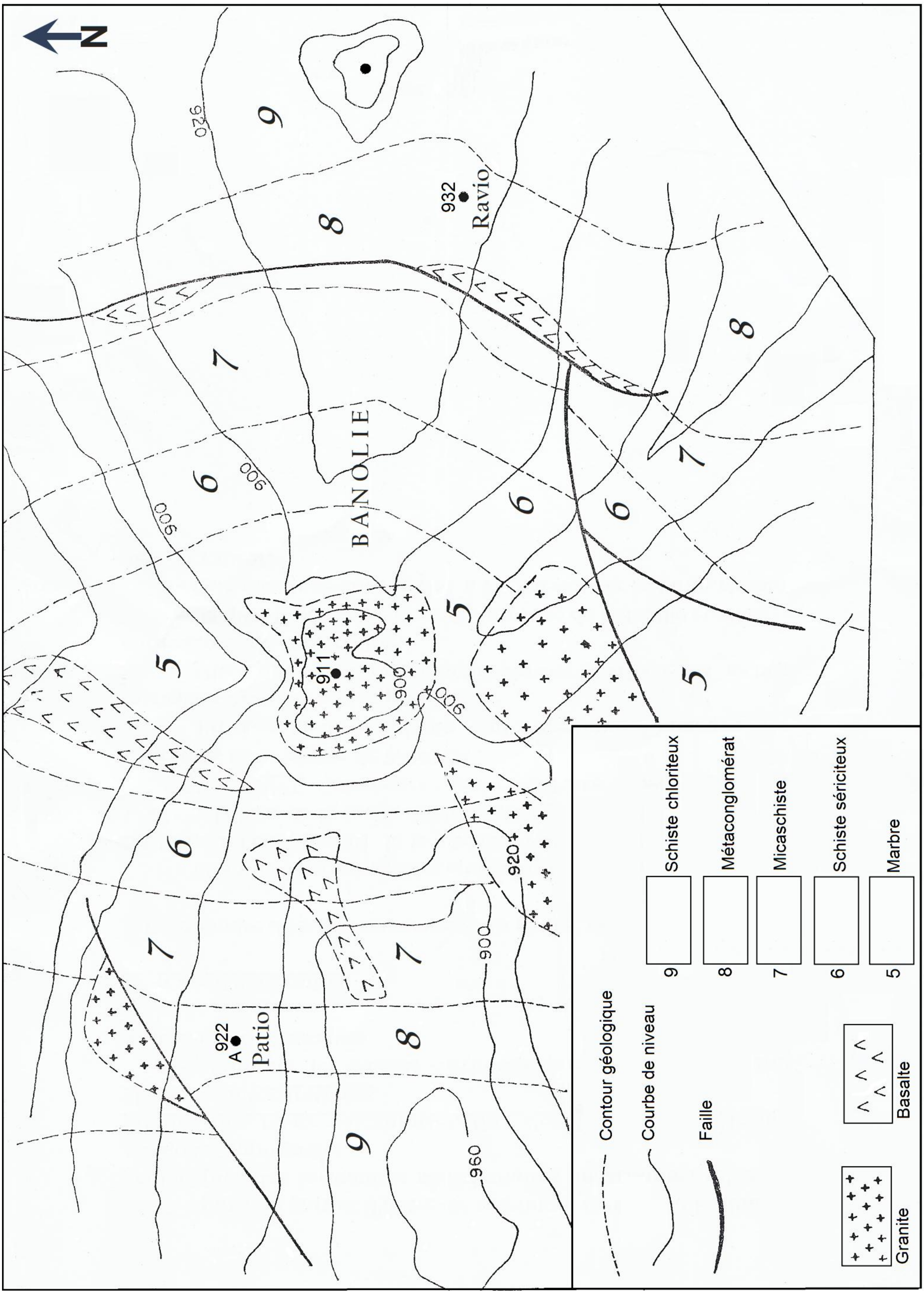
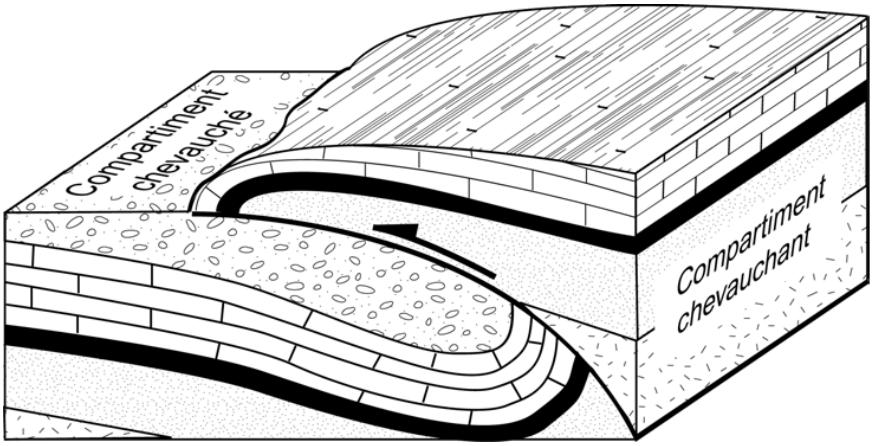
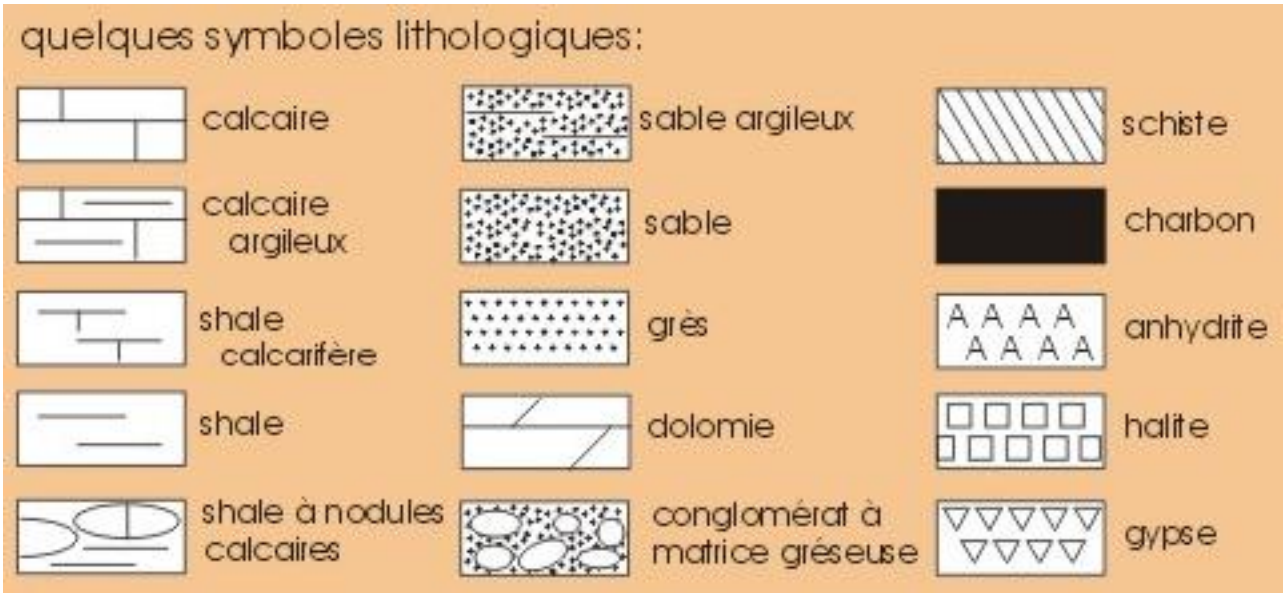

N
920
932
Ravio
BANOLIE
900
911
920
922
A
Patio
960
Contour géologique
Courbe de niveau
Faille
9 Schiste chloriteux
8 Métaconglomérat
7 Micaschiste
6 Schiste séricteux
5 Marbre
Basalte
Granite

Figure 40.

ANNEXE 1



Faille chevauchante



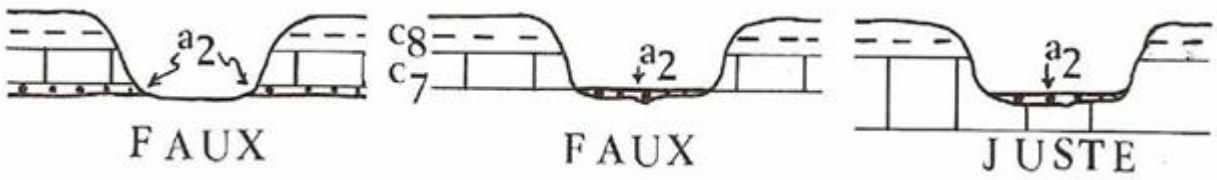
LES FORMATIONS SUPERFICIELLES (LIMON – ALLUVION – EBOULIS)

Ce sont des accumulations de matériaux d'origine récente, dépôts laissés par les oueds après les crues (débordements) qui se présentent sous forme de taches (plaquages) ou de trainées irrégulières. Leurs contours sont indépendants de ceux des couches géologiques qu'elles recouvrent indistinctement.

En coupes, elles ne doivent en aucun cas être interstratifiées (dessinées entre deux couches) dans les formations du sous-sol mais dessinées sous forme d'un mince liséré moulant la surface topographique (profil topo).

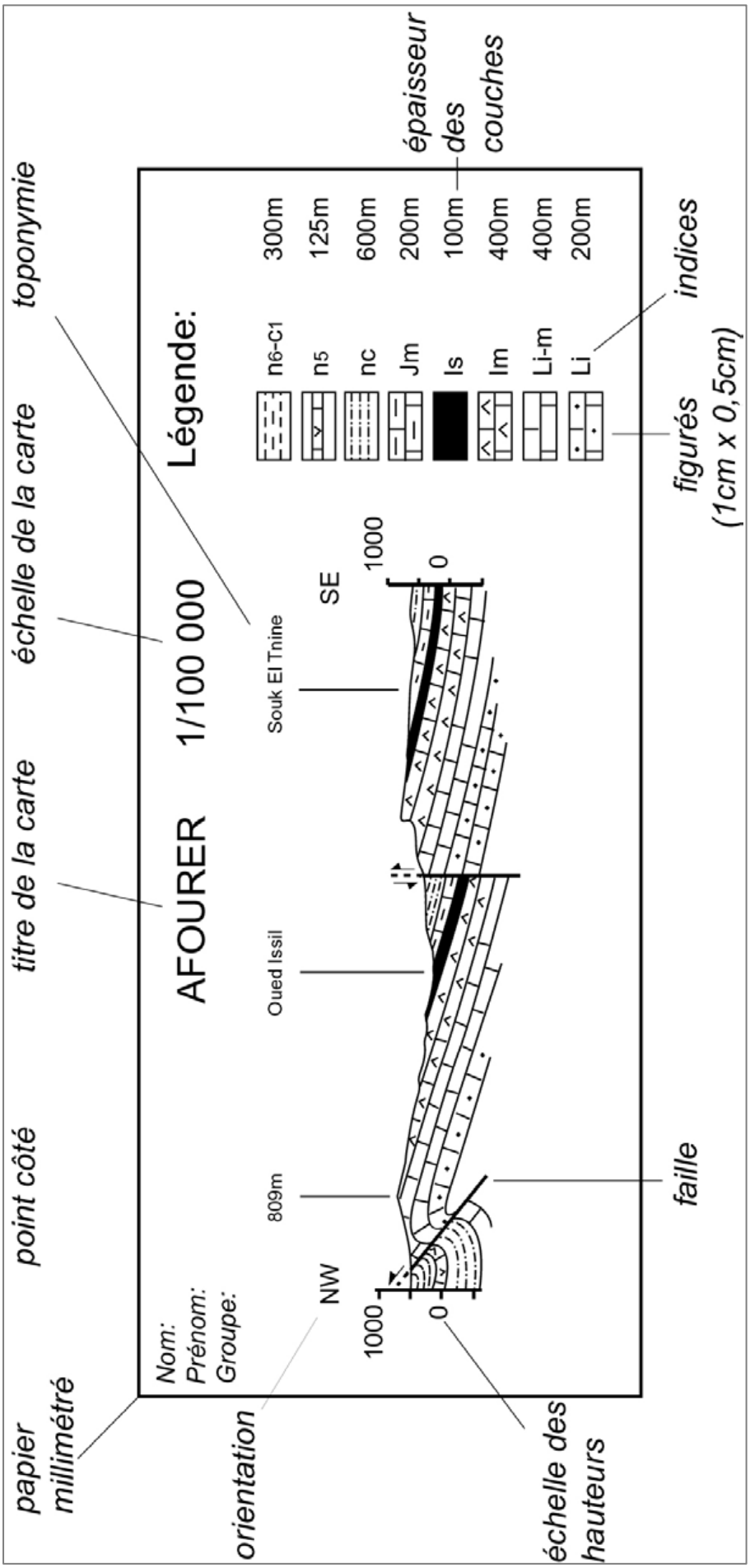
Remarque importante : Normalement, toute limite géologique représente à la fois la limite supérieure d'une couche et la limite inférieure de la couche qui lui est superposée ; Pour les alluvions, ceci n'est pas valable car ils peuvent reposer sur n'importe quelle couche ; par conséquent les limites de leurs affleurements correspondent uniquement à la surface basale de ces formations.

Utilisation pratique : Méthode de construction : cas des alluvions (a1. a2 sur carte géologique + couleur grise). Ils se construisent en dernier lieu c-à-dire après avoir terminé la construction des couches, en projetant les points recoupés par le trait de coupe sur le profil topographique et en joignant ces points par un trait foncé (suivre les explications au tableau).



ANNEXE 2 : Echelle stratigraphique internationale.

Eon	Ere	Période	notation et couleur	Age absolu (Ma)	Evénements significatifs
PHANEROZOIQUE	Quaternaire		Q (254/230/146)	0,01	Temps historiques Glaciations
	CENOZOIQUE	Néogène	N (255/232/0)	1,6 23,7	Apparition du genre Homo Premiers grands Singes (Proconsul)
		Paléogène	E (253/154/82)	66,4	Premières Graminées Diversification des Mammifères Grande vague d'extinction des organismes terrestres aquatiques; premiers Primates
	MESOZOIQUE	Crétacé	K (197/229/71)	144	Diversification des plantes à fleurs (Angiospermes) Plus anciens fossiles d'Oiseaux
		Jurassique	J (226/244/224)	208	Ouverture de l'océan Atlantique Plus anciens Mammifères connus
		Trias	T (107/1/125)	245	Apparition des Dinosaures Extinction massive des plus grands groupes d'organismes marins
	PALEOZOIQUE	Permien	P (240/64/40)	286	Fermeture de l'océan Iapetus
		Carbonifère	C (103/171/160)	320	Plus anciens insectes ailés connus Premiers Reptiles Derniers Graptolites Premières plantes à graines (Gymnospermes)
		Dévonien	D (203/140/55)	360 408	Apparition des premiers tétrapodes (Amphibiens) Premiers Poissons osseux de type moderne Plus anciens Poissons à poumons
		Silurien	S (179/226/208)	438	Apparition des plantes vasculaires terrestres Plus anciennes traces de poissons à mâchoires
		Ordovicien	O (0/146/112)	505	Premiers récifs coralliens Plus anciens Céphalopodes à coquille enroulée
		Cambrien	Ca (64/133/33)	570	Plus anciennes traces de Vertébrés Premiers Graptolites Apparition des Invertébrés à squelette minéralisé
PRECAMBRIEN	Protero-zoique	Néopr. Mésopr. Paléopr.	PR (251/154/148)	570 1000 1600 2500	Ouverture de l'océan Iapétus Les Laurentides sont complétement fermées Apogée des Algues Apparition des bactéries ne pouvant se développer qu'avec la présence d'air ou d'oxygène
	Archéen		AR (240/2/127)	3000 3400 4000	Plus ancienne trace de micro-organismes Plus anciennes Algues connues La plus ancienne roche datée

La charte des couleurs utilisée est celle de la Commission de la Carte Géologique du Monde (Paris), exprimées en codes en RVB (**R**ouge, **V**ert, **B**leu) ; exemple : D : 203/140/55 représente Dévonien, avec un mélange de couleurs (203 en Rouge, 140 en Vert et 55 en Bleu), (voir : http// :www.stratigraphy.org).

ANNEXE 3 : Représentation type d'une coupe géologique