

**UNIVERSITE CADI AYYAD - MARRAKECH -**

**FACULTE POLYDISCIPLINAIRE - SAFI -**

**FILIERE SCIENCES DE LA VIE  
GEOLOGIE GENERALE**

**MANUEL DE TRAVAUX PRATIQUES DE GEOLOGIE**

**INITIATION AUX CARTES ET AUX  
COUPES GEOLOGIQUES**

***Pr. H. AIT MALEK & Pr. F. EL BCHARI***

**Faculté Polydisciplinaire de Safi**

**Année Universitaire : 2019-2020**

## PRESENTATION

La carte géologique constitue le support indispensable pour l'étude des formations géologiques et la reconstitution de leur histoire. 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 du semestre S1 de la filière SVI ; il servira d'initiation à l'acquisition des techniques de base pour la lecture des cartes géologiques et la réalisation des coupes géologiques et pourra être complété par des exercices qui seront effectués en salle de travaux pratiques.

Le contenu de ce manuel constitue la continuité des séances de travaux pratiques de cartes et profils topographiques. La parfaite assimilation du contenu de ces séances est donc fortement recommandée.

Les thèmes abordés ici sont totalement interdépendants. Il est donc très conseillé d'assurer une présence continue. Toute absence portera préjudice à la compréhension des séances ultérieures.

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

- Crayon à dessin (à mine ou HB),
- papier millimétré,
- gomme et une règle graduée

# 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.

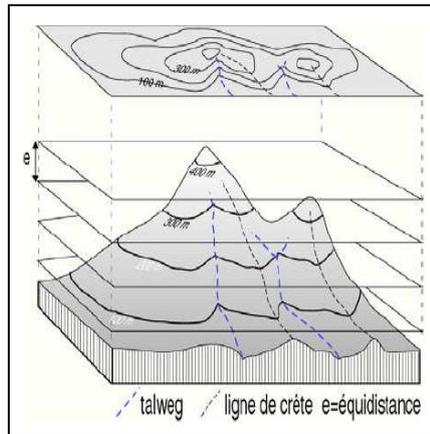


Figure 1

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).

## 2. Notion d'échelle

La projection plane (figure 2) s'est faite sans réduction, ni agrandissement de la topographie initiale. Cependant, pour la réalisation d'une carte topographique (moins d'1 m<sup>2</sup>) d'une grande superficie de terrain (plusieurs dizaines de km<sup>2</sup>), il est évident qu'une forte réduction s'impose.

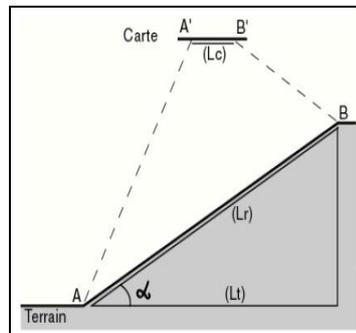


Figure 2

C'est ce coefficient de réduction 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 (Lc), en une unité donnée, à la distance horizontale correspondante sur le terrain (Lt), à la même unité:

$$E = Lc/Lt$$

**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).

**Remarque :**

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

$$(Lr) = (Lt)/\text{Cos } \alpha$$

- *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):

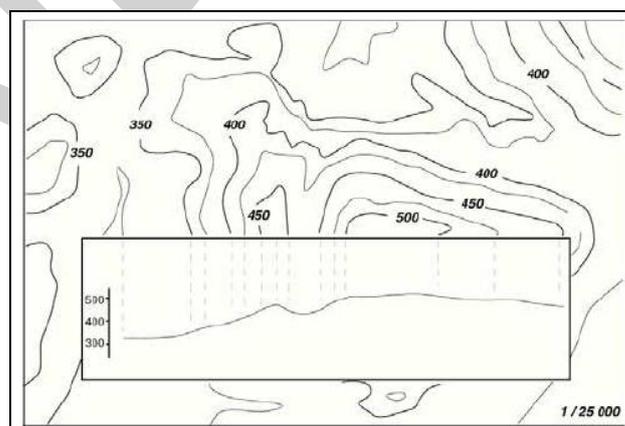


Figure 3

- On choisit une ligne de coupe (A-B), matérialisée sur la carte par un trait au crayon.

- Le long de la coupe on applique le bord supérieur d'une feuille de papier millimétrée.

- Les intersections des courbes de niveau et de la ligne de coupe sont reportées sur la feuille et ensuite abaissées à leur altitude à l'échelle de la coupe.
- Ces différents points sont ensuite reliés entre eux par une courbe continue.

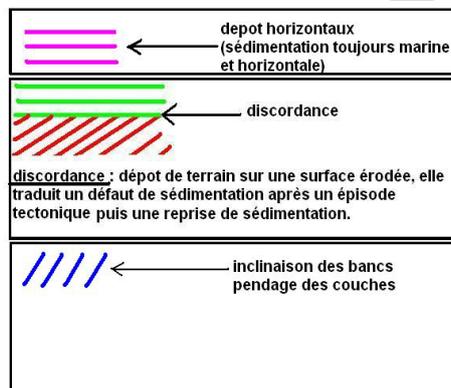
On obtient ainsi le profil topographique qui correspond à une courbe en coordonnées rectangulaires, avec les altitudes en ordonnée et les distances en abscisse.

**Remarque :**

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 géologiques

**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:

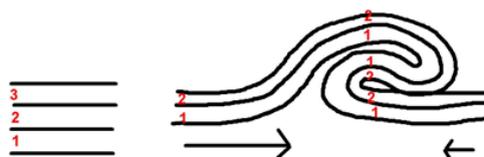


*Principes de datation relative*

- 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.

Les couches sédimentaires se sont déposées à l'horizontale ; donc pour deux couches superposées, celle du dessous est plus ancienne que celle du dessus (possibilité de relief inversé si le pli est couché, le plus vieux est au-dessus)

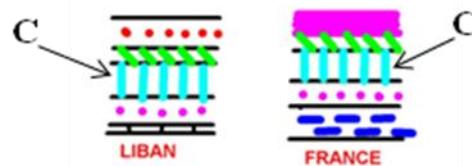
- premier schéma : couche 1 plus vieille que couche 2, elle-même plus vieille que couche 3.
- deuxième schéma : inversion de terrains due à un pli couché (tectonique en compression).



*Sédimentation et principe de superposition. La couche 1 est plus ancienne que la couche 2 qui elle-même plus ancienne que la couche 3.*

- Principe de continuité : une même couche a le même âge sur tout son étendu (quel que soit l'endroit de la Terre où elle se trouve). Le problème est d'identifier une même couche à deux

endroits différents. Cela passe par la présence de plusieurs espèces fossiles identiques tant chez les animaux que chez les végétaux. On peut l'identifier aussi si elle est intercalée entre deux couches repères identiques.



- La couche C dans ces deux pays a le même âge car elle est très semblable et car elle est entre deux couches repères qui sont les mêmes dans ces deux endroits.

- 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.

- Principe de recoupement : les couches sont plus anciennes que les failles ou les roches qui les recourent.

Un corps rocheux qui en recoupe un autre est plus jeune que celui qu'il recoupe. Ceci est vrai aussi pour un événement géologique comme une faille, ou une cheminée volcanique.

-premier schéma : roche a est plus vieille que couche 1

-deuxième schéma : faille plus jeune que les couches qu'elle recoupe.

-troisième schéma : pluton granitique mis en place après la sédimentation des couches 1, 2 et 3 (on ne peut pas dater la couche 4)

-quatrième schéma : cheminée volcanique mise en place après la sédimentation des couches 1, 2 et 3.

- Principe d'inclusion : les morceaux de roche inclus dans une autre couche sont plus anciens que leur contenant.

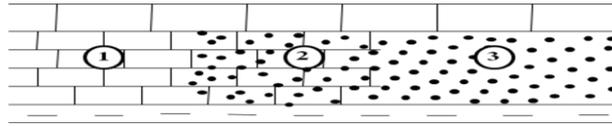
- Principe d'actualisme : les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient également valables dans le passé. Par exemple, si l'on trouve des fossiles de coraux dans une roche, on peut dire qu'il y avait à l'époque une mer chaude car à l'heure actuelle c'est là qu'ils se trouvent.

Ce principe en engendre un autre qui est celui de l'identité biologique :

- Principe d'identité biologique : les fossiles peuvent être dans certains cas de remarquables marqueurs temporels. Certains correspondent à des formes qui ont vécu pendant une période relativement brève dans des zones très étendues géographiquement : ces fossiles sont des fossiles stratigraphiques. Ils permettent de comparer les âges de couches éventuellement très distantes, même lorsque le principe de continuité n'est pas applicable : les couches présentant le même contenu paléontologique (les mêmes fossiles stratigraphiques) ont le même âge. Par ailleurs, la comparaison des différentes faunes fossiles trouvées dans les couches superposées permet d'établir une chronologie relative.

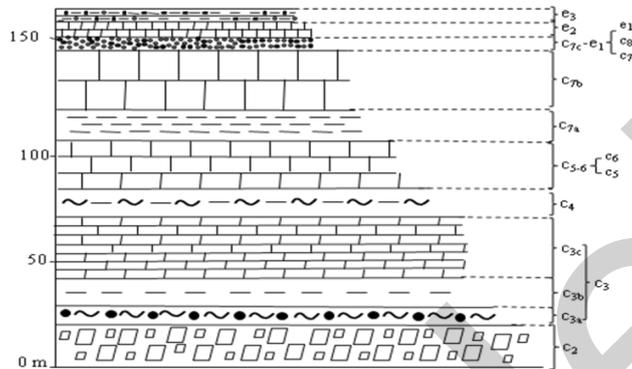
**2. Notion de faciès** : c'est l'ensemble des caractères pétrographiques et paléontologiques qui caractérisent une roche. Certains de ceux-ci permettent d'en préciser les conditions de dépôt

Certaines couches peuvent présenter des variations latérales de faciès d'un point à l'autre. Par exemple, un calcaire peut passer à un calcaire gréseux, puis à un sable. On dit alors qu'il y a un passage latéral de faciès.



Passage latéral de faciès : 1. Calcaire 2. Calcaire gréseux 3. Sable

**3. Colonne stratigraphique :** c'est la représentation sur une verticale de la succession, de la nature et le plus souvent de l'épaisseur des couches géologiques d'une région déterminée.



Exemple de colonne stratigraphique. Exemples de notations.

**4. 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. Présentation de la carte géologique

#### 1- La carte géologique

La **carte géologique** est une représentation sur un fond topographique, à une échelle donnée (1/50 000e), des différentes **formations géologiques** qui affleurent à la surface du sol représentées par différentes couleurs (Annexe 1).

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**.

Ces formations différenciées par leur âge pour les roches sédimentaires et selon leur nature pour les roches cristallines sont séparées les unes des autres par des lignes continues ou contours géologiques qui représentent les limites de ces formations.

A l'intérieur de ces limites, chaque **couche géologique**, ou chaque roche est représentée par une couleur et affectée d'une notation.

**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.

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

Tableau 1- Principales notations et couleurs utilisées sur les cartes géologiques (Voir l'échelle stratigraphique plus détaillée en annexe)

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) ; et comporte des caissons de couleur dans les teintes de la carte, auxquels sont associées des abréviations (lettres et chiffres) qui précisent la nature de la roche ou l'âge de la formation. En général, l'ordre dans lequel sont rangés les caissons correspond à l'ordre de superposition des terrains, les plus récents en haut et à gauche de la légende.

FORMATION SUPERFICIELLES	
	Colluvions
	Alluvions fluviales
	Dépôts de versant
	Formations éoliennes
	Formations altérées
	Formations résiduelles
FORMATIONS MÉSOZOÏQUES ET PALÉOZOÏQUES	
	Formation du calcaire de Caen (Bathonien)
	Formation du calcaire de Fresné-la-Mère (Bajocien)
	Argiles à poissons (toarcien)
	Grès (Pliensbachien)
	Calcaire à bélemnites (Pliensbachien)

Exemple de légende

## 2. Les notations des terrains

Nous avons vu que les âges des couches étaient indiqués par des notations (ou indices).

- a- La notation comporte une lettre qui rappelle la nomenclature des divisions stratigraphiques.
- b- Chaque lettre est accompagnée d'un indice ou d'un exposant, qui permettent de subdiviser les ensembles désignés par les lettres :
  - i. *les exposants*, écrits en chiffres arabes, sont employés en ordre croissant lorsqu'on monte dans la série stratigraphique. De bas en haut, on écrit par exemple :  $c^1$ ,  $c^2$ ,  $c^3$ , etc....

- ii. *les indices*, écrits en chiffres romains, sont employés en ordre croissant lorsqu'on descend dans la série stratigraphique. De haut en bas, on écrit par exemple : **c<sub>i</sub>**, **c<sub>ii</sub>**, **c<sub>iii</sub>**, **c<sub>iv</sub>**, **c<sub>v</sub>**, etc...
- c- Des divisions supplémentaires peuvent être introduites par l'emploi de lettres (**a**, **b**, **c**, **d**,...) placées en indice. Lorsqu'elles sont employées en même temps que les chiffres arabes, on les écrit dans l'ordre alphabétique en montant dans la série stratigraphique. De bas en haut, on écrit donc : **c<sub>a</sub>**, **c<sub>b</sub>**, **c<sub>c</sub>**,...ou **c<sub>1a</sub>**, **c<sub>1b</sub>**, **c<sub>1c</sub>**, ...Lorsqu'elles sont employées en même temps que des chiffres romains, on les écrit dans l'ordre alphabétique lorsqu'on descend dans la série, de haut en bas, on écrit **c<sub>1a</sub>**, **c<sub>1b</sub>**, **c<sub>1c</sub>**.
- d- Lorsqu'on a besoin de grouper plusieurs subdivisions, on écrit ensemble les notations de la plus élevée et de la plus basse des couches, en commençant par la première, exemple : **c<sub>ii-3</sub>**
- Lorsque le début de ces deux notations est le même, on ne l'écrit qu'une fois ; exemple : **c<sub>ii-iii</sub>** et non **c<sub>ii-c<sub>iii</sub></sub>**,
- C<sub>5-2</sub>** désigne tous les terrains allant de **c<sub>2</sub>** à **c<sub>5</sub>** inclus.
- e- Pour distinguer des faciès, au sein d'une même division chronologique, on se sert de lettres majuscules, exemple : **n<sub>2G</sub>** : Valanginien gréseux.
- Les légendes des cartes précisent ces notations particulières
- f- Pour les terrains métamorphiques, ne nous retenons que les notations suivantes :  $\xi$ (Ksi) : micaschistes,  $\zeta$ (dzéta) : gneiss, M : migmatites.
- g- Pour les roches éruptives, on utilise des lettres grecques, en principe proches de l'initiale du nom de la roche. Voici les plus courantes :
- |                             |                           |                            |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| $\alpha$ (alpha) : andésite | $\beta$ (bêta) : basalte  | $\gamma$ (gamma) : granite |
| $\eta$ (êta) : diorite      | $\theta$ (thêta) : gabbro | $\rho$ (rô) : rhyolite     |
| $\tau$ (tau) : trachyte     | $\phi$ (phi) : phonolite  | $\omega$ (oméga) : ophite  |

### 3. Autres renseignements portés sur les cartes géologiques

Les cartes géologiques fournissent aussi d'autres données relatives à la structure du sous-sol :

- L'inclinaison des couches sédimentaires ou pendage qui est indiqué par un signe conventionnel,
- axes de plis,
- contacts anormaux : les failles ou les chevauchements qui sont indiqués par un trait plus épais,
- l'emplacement des carrières ainsi que des renseignements relatifs à la présence de substances minérales (minerais, pierres de taille, sables, sources, etc.)

Sur une carte géologique, il est fait abstraction des sols, (il existe des cartes pédologiques à cet effet), cependant certaines formations superficielles peuvent avoir un intérêt géologique, elles sont alors représentées (alluvions d'un cours d'eau...).

L'explication des signes particuliers aux cartes géologiques est donnée dans leur légende.

#### 4. Notice de la carte

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.).

Cette notice comprend, en général, trois parties :

- une introduction géographique,
- la description des terrains représentés avec des données sur leur épaisseur, leur nature lithologique et ses variations (passage de faciès), les fossiles qu'on y rencontre, etc...
- un aperçu structural et paléogéographique, qui reflète bien souvent l'opinion personnelle de l'auteur et les idées en vigueur.

#### 5. Comment se lit une carte géologique ?

Une carte géologique est composée de plusieurs éléments :

- Les couleurs représentent différents affleurement (les couleurs indiquent une roche spécifique qui est noté dans la légende)
- Les affleurements sont délimité grâce a des lignes (en plus du changement de la couleur)
- Sur certaines cartes, l'âge de la couche est indiqué sur l'endroit même. Il y a l'indication d'une datation absolue, il y a donc un atome qui est écrit sur la couche: 
- Les failles sont représentées (par des coupures)

Donc afin de lire une carte géologique, il faut les coordonnées de l'endroit que l'on veut étudier. Ensuite sur les cotés de la carte, sont indiqués les degrés afin de pouvoir se localiser sur la carte. Ainsi on obtient sa position et l'ont peut observer et identifier les éléments que la carte nous offre et donc étudier les roches dans l'endroit donné.

**Pour lire une carte géologique**, il faut :

1. Repérer sur la légende les types de terrain susceptibles d'être étudiés : tous les éléments portés en légende d'une carte de géologie, figurent sur le terrain.
2. Repérer sur la carte la nature des terrains (sédimentaires, magmatiques ou métamorphiques). Dans le cas des formations sédimentaires, repérer la disposition des légendes qui peut être une indication chronologique.
3. Regrouper les terrains ayant une histoire commune, en réalisant, dans le cas de l'analyse d'une carte un schéma d'interprétation, en repérant les contacts anormaux, les plissements, les événements métamorphiques, les discordances...
4. Placer dans l'ordre chronologique ces terrains et les événements qui les ont affectés en utilisant les principes de datation relative (principe de superposition, principe de recoupement- déformation, principe d'identité paléontologique,...). On pourra réaliser un tableau chronologique des événements ayant affectés la région.

Formations géologiques	Événements
Formations superficielles	Érosion post-jurassique
j Jurassique	Dépôts en concordance du Jurassique
t Trias	Dépôts en discordance du Trias
k Cambrien et Paléozoïque	Failles post-plissement anté-Trias Plissement post-Paléozoïque anté-Trias Dépôts en discordance du Cambrien sur b2 et $\gamma^d$
$\gamma^d$ Granodiorite d'Athis	Intrusion et métamorphisme de contact post-b2 anté-Cambrien
b2 Briovénien	Plissement post-b2 anté-intrusion de $\gamma^d$

*Tableau chronologique des événements.*

## 6. Méthodes d'étude de la carte géologique

Les faits structuraux mis en évidence par la carte géologique peuvent être représentés de différentes façons :

- a- soit sur un plan où on note les principaux ensembles géologiques ainsi que les plis et accidents (failles) les plus importants : c'est le *schéma structural*;
- b- soit sur une section verticale de terrain : c'est la *coupe géologique*.
- c- soit dans l'espace : c'est le *bloc diagramme*.

Parmi tous ces moyens de mettre en évidence les faits structuraux révélés par l'étude d'une carte géologique, celui que nous utiliserons le plus souvent est la coupe géologique.

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.

## IV. Principe de la construction d'une coupe géologique

### 1. Définitions

La coupe géologique est la représentation de la disposition des roches du sous-sol dans un plan vertical le long d'un profil topographique. Comme la carte, la coupe est associée à une légende. Les coupes géologiques permettent de montrer la structure en profondeur. Elles sont réalisées à partir de la carte géologique interprétative, perpendiculairement aux principales structures. S'il y a plusieurs secteurs sur la carte ayant une structure remarquable (faille, chevauchement, plis...) il convient de faire plusieurs coupes.

Une coupe géologique représente l'empilement de couches sédimentaires ou magmatiques du terrain représenté sur la carte géologique. Elle matérialise la superposition et les structures géologiques. Une coupe géologique permet de pouvoir faire des datations relatives. Donc classer dans un ordre chronologique les événements géologiques ayant eu lieu (faille, plissement...). Elle permet aussi de classer ses événements dans le temps.

Donc l'utilisation d'une carte géologique permet de faire le rapport entre l'allure du relief (surface topographique) et la structure géologique du sous-sol.

### 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.

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. Recherche de la nature des différentes structures en repérant s'il y a lieu les discordances et les principaux accidents. S'il y a des contacts anormaux qui les affectent, commencé par dessiner ces derniers. Traiter chaque ensemble délimité par des contacts anormaux comme une structure indépendante.

- 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.

iv) Dessiner les figurés symbolisant la nature lithologique des différentes couches ; il existe un certain nombre de figurés "types" qu'il convient d'utiliser (cf figure 4). Il convient d'organiser sa légende dans l'ordre chronologique de l'âge des formations.

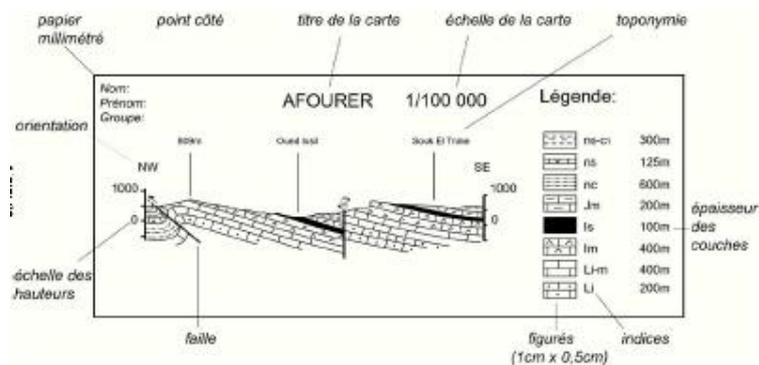
v) Au dessus de la coupe, indiquer un titre et sous ce titre, l'échelle et l'orientation. A l'aplomb des principaux sommets, rivières ou localités, indiquer leur nom.

vi) sous la coupe, indiquer l'échelle verticale et horizontale à l'aide de 2 flèches perpendiculaires de 1 cm chacune. L'échelle de la coupe doit être celle de la carte géologique; l'échelle verticale doit être la même que l'échelle horizontale;

### Remarque:

*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.*

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.



**Représentation type d'une coupe géologique**

### 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 4*, sont représentés quelques-uns des figurés les plus utilisés.

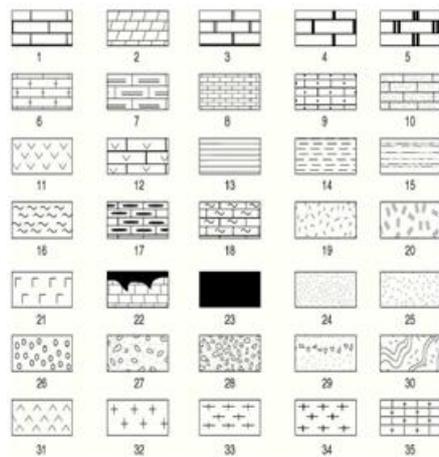
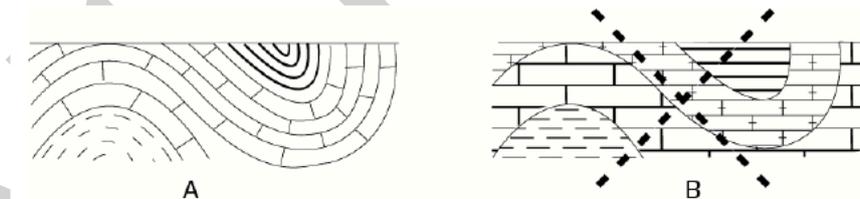


Figure 4 : Exemples de figurés

- 1 à 10 : calcaires (1 à 5, en bancs ; 6 : marneux ; 7 : à silice ; 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*). Les figurés des couches géologiques doivent être parallèles aux structures. Aucun figuré ne doit être horizontal sauf si la couche l'est.



*A* : présentation des figurés correcte ;

*B* : représentation incorrecte.

Figure 5- Disposition des figurés

## V. Propriétés géométriques des couches géologiques

### A. Direction et pendage d'une couche

Les couches, dont l'épaisseur peut-être le plus souvent considérée comme constante, peuvent être horizontales, inclinées ou verticales.

- **La direction** : Quand une couche est inclinée ou verticale, on appelle direction de cette couche son intersection avec un plan horizontal (OO' sur la figure 6). 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.

- **Le pendage** ou plongement de cette couche en un point donné est l'angle dièdre qu'elle fait avec un plan horizontal. La valeur du pendage est égale à l'angle ( $\alpha$ ) formé par la

ligne de plus grande pente AB avec sa projection AC sur un plan horizontal (figure 6). La valeur ( $\alpha$ ) varie de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  et sera donc élevée quand le pendage sera fort et peu importante quand le pendage sera faible.

Le sens du pendage est défini par la droite AC orientée du côté où la couche s'incline vers le bas ( $AC \perp OO'$ ).

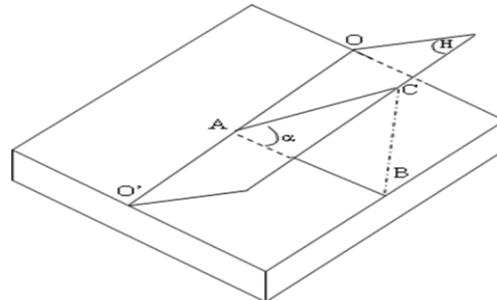


Figure 6- Pendage d'une couche.

OO' : direction de la couche

H : plan horizontal

AB : ligne de plus grande pente

AC : projection de AB sur H perpendiculaire à OO', ce segment indique le sens du pendage

$\alpha$  : valeur du pendage

Sur les cartes géologiques, le pendage des couches est indiqué par un signe en forme de T, la barre horizontale du T donnant la direction de la couche et la barre verticale le sens du pendage.

Suivant les cartes, ces signes peuvent varier :

- parfois la longueur de la barre verticale varie en fonction du pendage : plus le pendage est fort, plus cette barre est courte (figure 7)
- parfois le signe reste le même, mais on note la valeur du pendage en degrés.

Dans le cas des couches horizontales, le pendage est indiqué par une croix.

Dans le cas des couches verticales, on peut figurer la direction de la couche mais non le sens du pendage. On le représente alors par une droite interrompue par un point.

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.

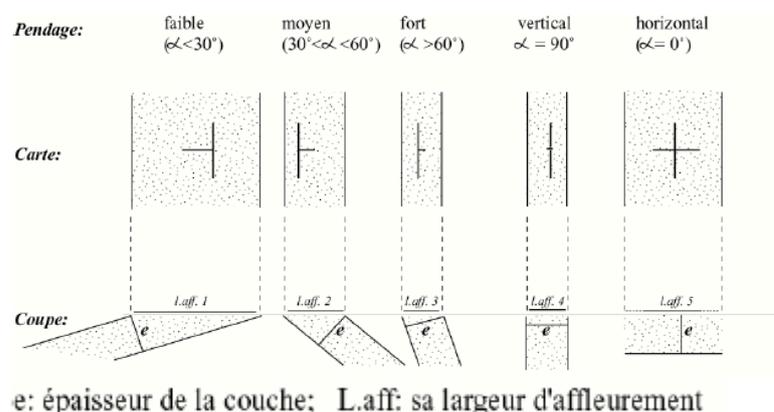


Figure 7- Représentation du pendage des couches sur les cartes et en coupe

## B. Détermination du pendage à l'aide de la carte

Lorsque le pendage d'une couche n'est pas indiqué sur la carte, on peut généralement le déterminer grâce aux intersections de cette couche avec la surface topographique. Dans un pareil cas on cherche à déterminer le sens du pendage pour pouvoir construire les couches.

On peut assimiler la surface d'une couche à un plan ; celui-ci est donc parfaitement déterminé si on connaît 3 de ses points non alignés.

**Remarque :** Les principes énoncés ci-dessous pourront être appliqués à tous les plans géologiques (limites de couches, failles...).

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

#### a- Cas de la topographie en colline

Sur la figure 8, on a représenté différents aspects (carte et coupe) d'une colline traversée par une couche oblique. Afin de définir le plan correspondant à une des limites de cette couche nous allons prendre 3 points non alignés appartenant à ce plan tels que deux se positionnent à la même altitude et le troisième à une altitude différente.

Le point A étant à l'altitude 500m alors que B et C étant sur la courbe de niveau 400m, ces trois points définissent un plan représenté en coupe par AA' dont la pente correspond au pendage de la couche. Dans le cas de la figure 8, la couche a un pendage dirigé vers l'ouest.

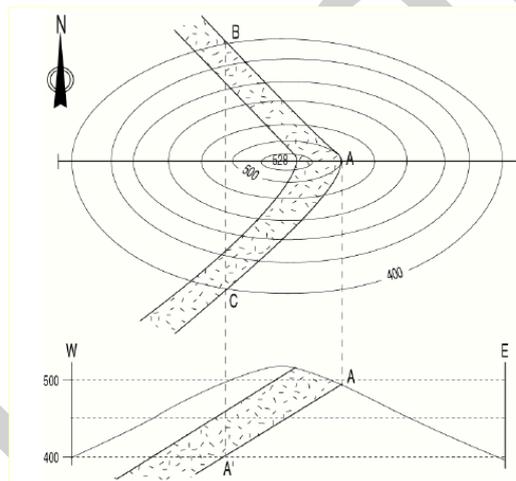


Figure 8

**Remarque :** La projection sur le plan de la coupe des 2 points B et C est le point A' qui appartient à l'horizontale BC et qui est donc à la même altitude que B et C.

#### ❖ Cas d'une couche verticale (figure 9A) :

Les limites géologiques dans le cas d'une couche verticale auront toujours sur une carte un tracé rectiligne quelque soit le relief puisque la projection d'un plan vertical sur un plan horizontal (carte) est forcément une droite.

#### ❖ Cas d'une couche horizontale (figure 9B) :

Les limites de la couche sont parallèles aux courbes de niveau, de ce fait tous leurs points appartiendront à 2 plans horizontaux.

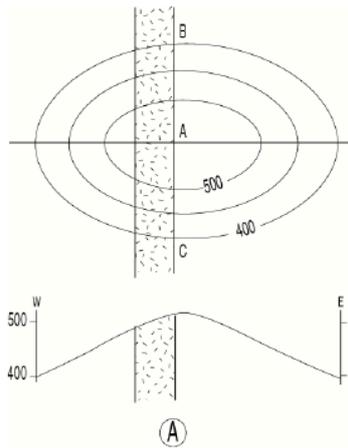


Figure 9A

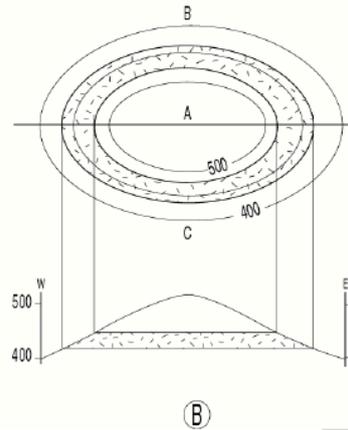


Figure 9B

*Cas d'une couche verticale, ses limites traversent les couches de façon rectiligne*

*Cas d'une couche horizontale, ses limites sont parallèles aux courbes de niveau*

**b- Cas de la topographie en vallées**

Voir l'exercice de la figure 10

Notez la principale règle mise en évidence par cet exercice.

**Exercice :**

En suivant le même principe décrit précédemment, représenter en coupe les six plans en gras de la figure 10, en appliquant la méthode des trois points.

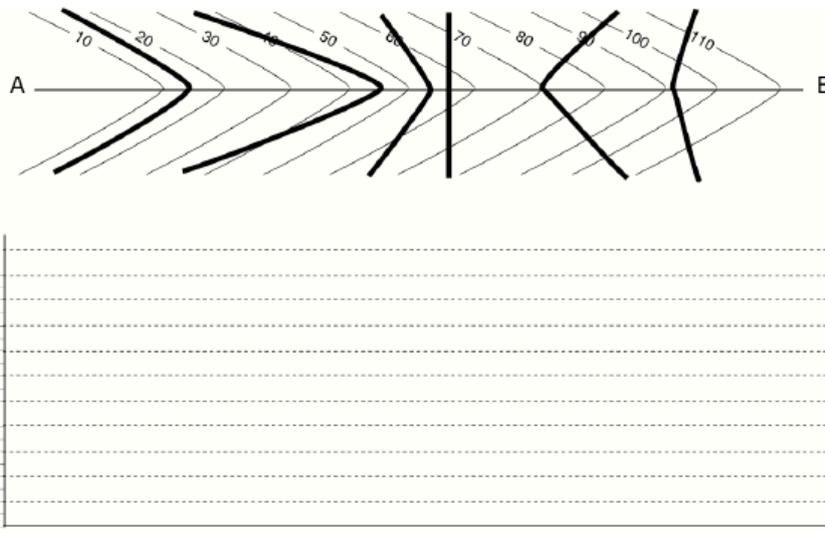


Figure 10- Détermination du sens du pendage et du tracé de la couche (trait fort)

Que peut-on déduire de l'ouverture du V à l'intersection d'une couche et de la vallée ?

**Remarque :** Lorsque la topographie est plane (incliné ou horizontale), son intersection avec des limites de couches qui elles aussi sont planes sera marquée par des lignes droites où on peut faire passer une infinité de plans ayant des pendages différents. Dans ce cas il est impossible de déterminer le sens du pendage avec ces seules informations.

## 2. Construction des couches géologiques en coupe

Quand on dessine une couche, il est impératif de lui conserver la même épaisseur tout au long de la coupe, à moins que des arguments stratigraphiques ou tectoniques ne viennent nous apporter la preuve formelle du contraire.

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

i) *Connaissant le sens et la valeur du pendage (figure 11A) :*

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.

ii) *Connaissant le sens du pendage et l'épaisseur de la couche (figure 11B)*

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 ( $\alpha$ ).

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.



Figure 11A

Figure 11B

## VI. Etude des structures géologiques

### A- Structure tabulaire :

Les couches sont horizontales, leurs limites sur la carte sont parallèles aux courbes de niveau.

### B- Structure monoclinale :

Les couches présentent pour une région assez étendue le même pendage

### C- Structure plissée :

Les couches sont déformées, les pendages varient de façon continue en direction et en valeur.

## LES STRUCTURES PLISSEES

### 1. Définitions

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 12*) 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.

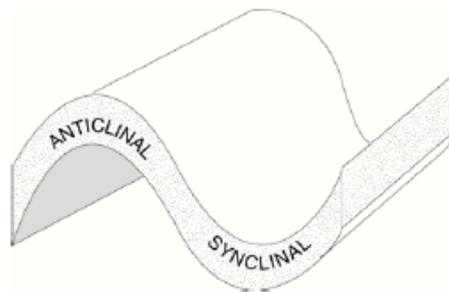


Figure 12

### 2. Eléments morphologiques d'un pli (*figure 13*)

- **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 des plis** ( $\beta$ ) : c'est la direction du plan axial. Il correspond aussi à sa projection sur la carte géologique.
- **Plan p** : c'est le plan perpendiculaire à l'axe du pli.

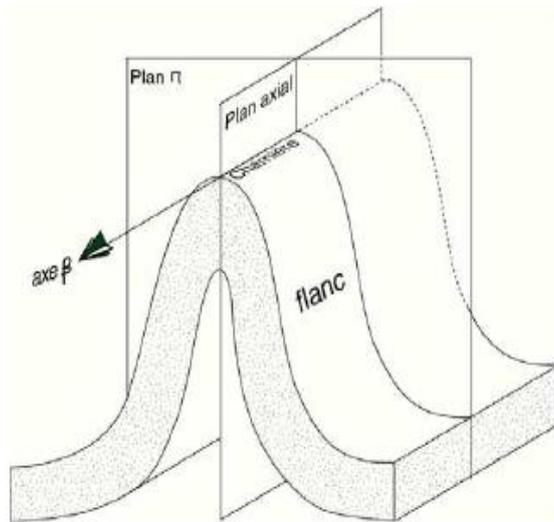


Figure 13

### 3. Les différents types de plis :

En fonction de la géométrie du plan axial, on peut distinguer différents types de plis (figure 14):

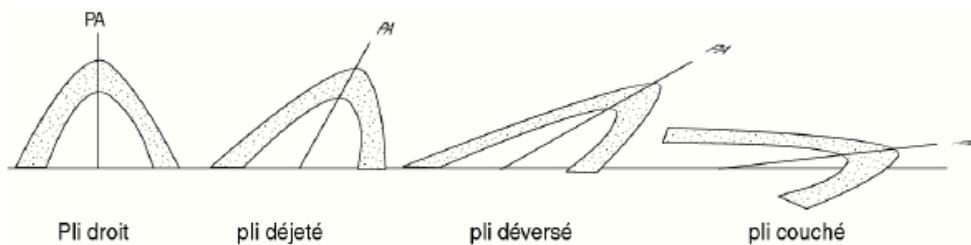


Figure 14

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 (figuré 15).

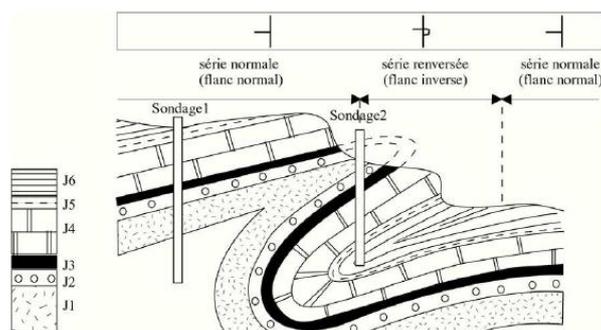


Figure 15

## II. Reconnaissance des structures plissées sur une carte géologique

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 à axe horizontal.

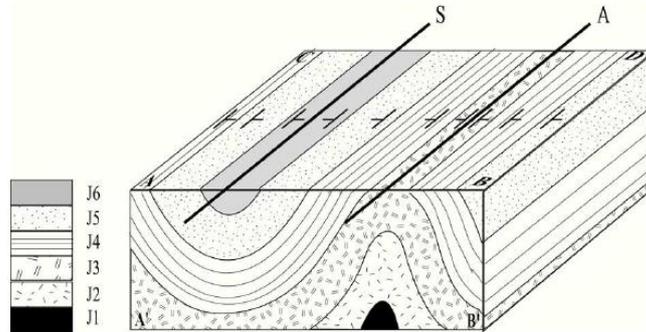


Figure 16

Considérons la structure plissée de la *figure 16*, 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 17*)

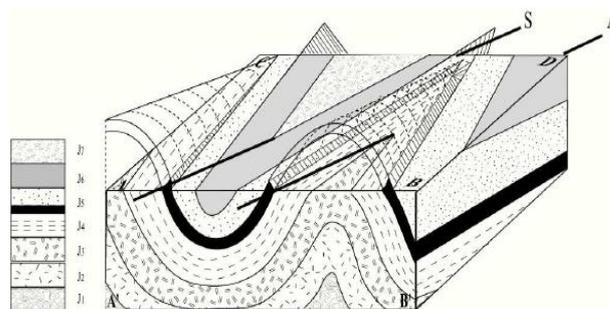


Figure 17

### 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.

## IV. Coupe Géologique d'une structure plissée

1. Retrouver sur la carte géologique proposée les structures plissées et déterminer la localisation des axes de symétrie et le type du plissement.
2. Réaliser la coupe géologique demandée en adoptant la légende proposée

## 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

**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 par 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 25):

- **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).

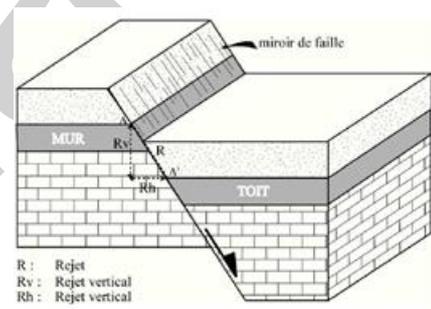


Figure 24

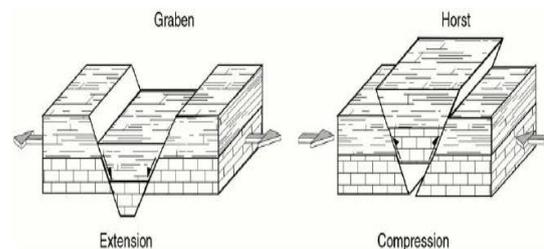


Figure 25

### II. Différents types de failles

En fonction de leur géométrie et de leur cinématique on distingue plusieurs types de failles (figure 26):

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 26B)

2. **Faïlle inverse** : faille dont le toit est relativement soulevé par rapport au mur. C'est une faille associée aux régimes tectoniques en compression (figure 26C).

3. **Faïlle conforme** : faille dont le plan est incliné dans le même sens que les couches affectées (figure 26B1 et C1).

4. **Faïlle contraire** : faille dont le sens du pendage est opposé à celui des couches affectées (figure 26B2 et C2).

5. **Faïlle de décrochement** : faille verticale à rejet horizontal. Elle peut être associée à tous les contextes tectoniques (extensifs et compressifs) (figure 26D).

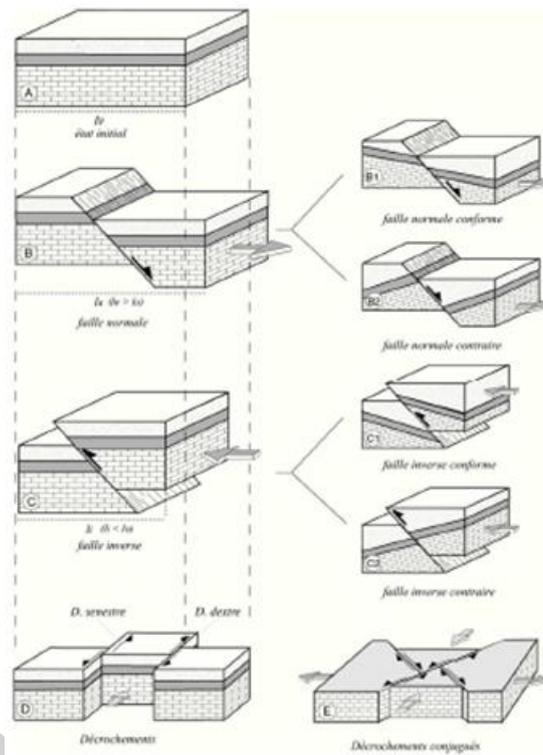


Figure 26

### 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.

### 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 :

- 3) Retrouver sur la carte géologique proposée les failles et déterminer leur type.
- 4) Réaliser la coupe géologique demandée en adoptant les figurés et les épaisseurs proposées

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **A. Foucault et J. –F. Raoult** : Coupes et cartes géologiques, édition Doin 1975.
- **M. Archambault, R. Lhénaff et J. R. Vanney** : Documents et méthode pour le commentaire de cartes (géographie et géologie), Masson, Paris, 1980.
- **J. Aubouin, J. Dercourt et B. Labesse** : Manuel de travaux pratiques de cartographie. Dunod, Paris, 1970.
- **D. Sorel., P. Vergély** Initiation aux cartes et aux coupes géologiques. Collection Sciences Sup. Série Atlas DUNOD, Paris, 1999.
- **G. Barrouquère & H. Nachit** : Guide de géologie. Méthode de lecture des cartes géologiques. 1999

Ait Malek

ANNEXE :

**Echelle stratigraphique internationale**

La charte des couleurs utilisée est celle de la Commission de la Carte Géologique du Monde (Paris), exprimées encodées en RVB (Rouge, Vert, Bleu) ; 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>)

Eon	Ere	Période	notation et couleur	Age absolu (Ma)	Evénements significatifs
PHANEROZOÏQUE	Quaternaire		Q (254/230/146)	0,01	Temps historiques
				1,6	Glaciations
	CENOZOÏQUE	Néogène	N (255/232/0)	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
	MESOZOÏQUE	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
		Trias	T (107/1/125)	245	Plus anciens Mammifères connus Apparition des Dinosaures
	PALEOZOÏQUE	Permien	P (240/64/40)	286	Extinction massive des plus grands groupes d'organismes marins
		Carbonifère	C (103/171/160)	320	Fermeture de l'océan Iapetus Plus anciens insectes ailés connus Premiers Reptiles Derniers Graptolites
			Dévonien	D (203/140/55)	360
		Silurien	S (179/226/208)	408	Premiers Poissons osseux de type moderne Plus anciens Poissons à poumons
		Ordovicien	O (0/146/112)	438	Apparition des plantes vasculaires terrestres Plus anciennes traces de poissons à mâchoires
		Cambrien	Ca (64/133/33)	505	Premiers récifs coralliens Plus anciens Céphalopodes à coquille enroulée
	PRECAMBRIEN	Proterozoïque	Néopr. Mésopr. Paléopr.	PR (251/154/148)	570
			AR (240/2/127)	1000	Les Laurentides sont complètement fermées
Archéen				1600	Apogée des Algues
				2500	Apparition des bactéries ne pouvant se développer qu'avec la présence d'air ou d'oxygène Plus ancienne trace de micro-organismes
			3000		
			3400	Plus anciennes Algues connues	
			4000	La plus ancienne roche datée	