



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de l'Enseignement Fondamental

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم التعليم الأساسي لعلوم الطبيعة و الحياة

Polycopié des travaux pratiques de géologie : Initiation à la cartographie

1^{er} année Licence de Biologie

Code du cours selon le canevas de formation

Préparé par Dr. HADEF Selma

Maitre de conférences « B » Hydrogéologue

2025/2026

Ref.....

Table des matières

Introduction

Chapitre I : Profil topographique

I.1 Notions de base	01
I.2 Propriété des courbes de niveau.....	04
I.3 Les formes de relief	06
I.4 Profil topographique	08
Exercices	11

Chapitre II : Coupe géologique

II.1. Notions de base.....	14
II.2. Propriétés géométriques des couches	16
II.3. Structures des couches géologiques	18
II.4. Coupe géologique	20
Exercices	24

Chapitre III : Minéraux et roches (pétrographie)

III.1. Notions de minéralogie	26
III.2. Notions sur les roches	31

Introduction

La cartographie et la géologie constituent des outils importants pour comprendre le milieu naturel dans lequel se développent les organismes vivants. Pour les étudiants de première année en Sciences de la Nature et de la Vie, leur apprentissage permet d'établir un lien entre les caractéristiques du terrain, la nature du sous-sol, la formation des sols, la disponibilité de l'eau et la répartition de la végétation et des écosystèmes.

La cartographie permet de représenter et d'analyser la surface terrestre. Parmi les différents types de cartes, la carte topographique et la carte géologique sont particulièrement utiles pour l'étude du milieu naturel. La carte topographique renseigne principalement sur la forme et l'altitude du relief, tandis que la carte géologique fournit des informations sur la nature, l'âge et la disposition des formations géologiques affleurant à la surface.

Dans ce cadre, ce support de travaux pratiques (TP) a pour objectif d'initier l'étudiant à la lecture et à l'interprétation des cartes topographiques et géologiques, ainsi qu'à l'observation macroscopique des roches. Trois activités complémentaires sont particulièrement importantes :

- 1- Le profil topographique permet de transformer une représentation plane du relief en une représentation en coupe. Il aide ainsi à visualiser les variations d'altitude, les formes du relief, les vallées, les versants et les zones relativement planes. Cette compréhension du relief est importante en biologie et en écologie, car la topographie influence notamment l'écoulement de l'eau, le drainage, l'érosion, la formation des sols et, par conséquent, la répartition des organismes et des habitats.
- 2- La coupe géologique permet de représenter la disposition des différentes formations géologiques en profondeur à partir des informations fournies par la carte géologique. Elle aide l'étudiant à comprendre la succession et l'inclinaison des couches ainsi que les principales structures géologiques, telles que les plis et les failles. Ces structures peuvent notamment contrôler la circulation et le stockage des eaux souterraines et influencer la nature des sols et du substrat.
- 3- La description macroscopique des roches permet d'identifier les principales caractéristiques d'un échantillon à l'œil nu ou à l'aide d'une loupe : couleur, texture, structure, taille et nature des grains, présence de minéraux particuliers, dureté et autres caractères diagnostiques. Cette observation permet de relier la nature de la roche mère aux processus d'altération et de formation des sols. Elle contribue ainsi à comprendre l'influence du substrat géologique sur les propriétés du sol, la disponibilité des éléments minéraux et les conditions de développement de la végétation.

Ces trois approches sont donc complémentaires : le profil topographique permet de comprendre la forme du terrain, la coupe géologique permet de comprendre la structure du sous-sol, et l'étude macroscopique des roches permet de comprendre la nature du matériau géologique. Leur combinaison permet d'avoir une vision plus globale du fonctionnement du milieu naturel et des relations entre géosphère, sol, eau et biosphère.

Objectifs du TP

À l'issue de ce travail pratique, l'étudiant devra être capable de :

- Lire et interpréter les principales informations d'une carte topographique ;
- Utiliser les courbes de niveau et les points cotés pour analyser le relief ;
- Réaliser et interpréter un profil topographique ;
- Lire les principales informations d'une carte géologique ;
- Reconnaître la disposition des couches et identifier les principales structures géologiques ;
- Réaliser une coupe géologique simple ;
- Observer et décrire macroscopiquement les principales caractéristiques des roches ;

Chapitre I :

Profil topographique



I. 1. Notions de base

I.1.1. Lecture de la carte topographique

I.1.1.1. Qu'est-ce qu'une carte topographique ?

Topographie : association de **topos** en grec signifiant **le lieu**, et de **graphie** en grec signifie **décrire ou design**

La topographie : C'est la science qui donne les moyens de représentation graphique ou numérique d'une surface terrestre.

Carte topographique

Une **carte topographique** est une représentation réduite et simplifiée d'une partie de la surface terrestre. Elle permet de localiser les principaux éléments du paysage et de représenter le **relief**, les cours d'eau, la végétation, les routes, les constructions et les différents lieux.

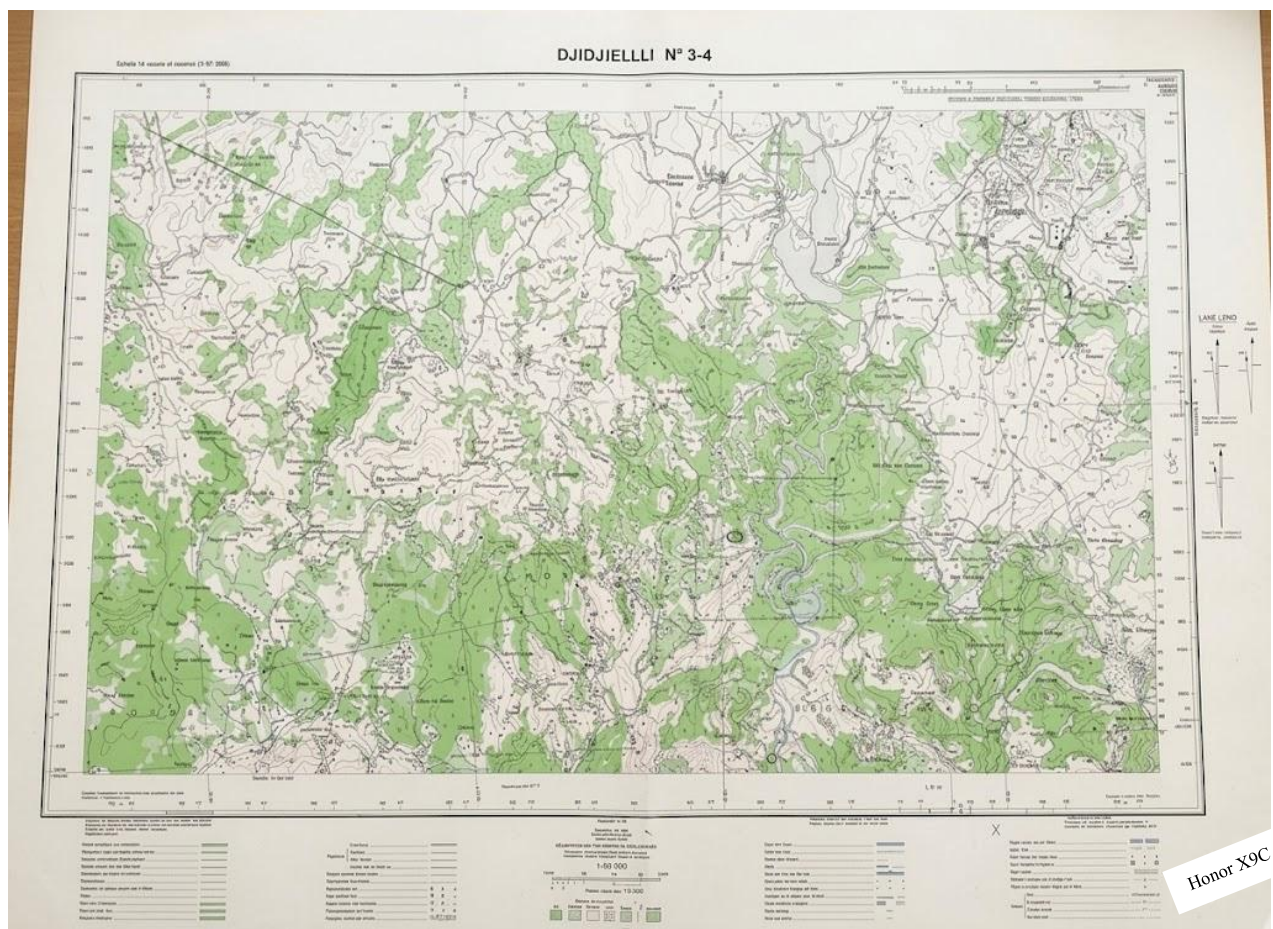


Fig.I.1. Carte topographique de Jijel N°3-4 (1/50000)

Pour bien lire une carte topographique, il faut connaître plusieurs éléments essentiels : **le titre, la légende, l'échelle, l'orientation et les coordonnées.**

a. Le titre de la carte

Chaque carte possède un **titre** qui permet d'identifier la région ou la zone représentée.

Le titre est généralement indiqué sur la carte et permet de savoir **quelle région est étudiée.**

b. La légende

La **légende** explique la signification des différents **signes et symboles conventionnels** utilisés sur la carte : routes, chemins, bâtiments, cours d'eau, végétation, limites administratives, etc.

Il est important de **consulter la légende avant d'interpréter une carte**, car les symboles et les couleurs peuvent varier selon le type de carte ou l'organisme qui l'a réalisée.

Sur les cartes topographiques classiques en couleurs, on utilise généralement :

- **Bleu** : représente l'**hydrographie** (rivières, oueds, lacs, sources, etc.).
- **Vert** : représente principalement la **végétation** (forêts, bois, certaines zones cultivées, etc.).
- **Noir** : représente une grande partie des éléments construits par l'Homme, notamment les **habitations, routes, voies de communication**, ainsi que de nombreux noms de lieux (**toponymie**).
- **Bistre ou brun** : représente le **relief**, notamment les courbes de niveau.

c. Les coordonnées et le repérage

Une carte topographique comporte différents éléments permettant de **localiser précisément un point.**

On peut notamment trouver :

- Les **méridiens**, qui indiquent la longitude ;
- Les **parallèles**, qui indiquent la latitude ;
- Un **quadrillage** permettant de repérer facilement un point sur la carte ;
- La direction du **Nord géographique.**

Ces informations permettent de déterminer la position d'un lieu et de se repérer sur la carte.

d. L'orientation de la carte

L'orientation permet de connaître les différentes directions : **Nord, Sud, Est et Ouest.**

Sur une carte topographique, le **Nord géographique** est généralement indiqué par une flèche ou par les lignes du quadrillage.

Il faut distinguer le **Nord géographique** du **Nord magnétique**, qui correspond à la direction indiquée par une boussole. L'angle entre ces deux directions est appelé **déclinaison magnétique.**

e. L'échelle de la carte

L'échelle indique la relation entre une distance mesurée sur la carte et la distance réelle correspondante sur le terrain.

Il existe principalement **deux formes d'échelle**.

e.1. L'échelle numérique

L'échelle numérique est exprimée sous la forme d'une fraction, par exemple :

1/25 000, 1/50 000, 1/100 000, etc.

Elle signifie que **1 unité mesurée sur la carte correspond au dénominateur de la fraction sur le terrain**, dans la même unité.

Par exemple, pour une carte à **1/50 000** :

1 cm sur la carte = 50 000 cm sur le terrain = 500 m.

La relation générale est : $E = \frac{d}{D}$

avec :

- **E** : échelle de la carte ;
- **d** : distance mesurée sur la carte ;
- **D** : distance correspondante sur le terrain.

Ainsi, si l'on connaît deux de ces valeurs, on peut calculer la troisième.

e.2. L'échelle graphique

L'échelle graphique est une barre graduée représentée directement sur la carte. Elle permet de déterminer rapidement la distance réelle correspondant à une distance mesurée sur la carte.

Elle est particulièrement pratique pour les exercices de TP, car il suffit de comparer la distance mesurée avec les graduations de l'échelle.



Applications pratiques sur l'échelle

1. Calcul de l'échelle (E)

Si deux points sont séparés par une distance de **8 km** sur le terrain et de **10 cm** sur la carte, l'échelle de cette dernière se calcule ainsi :

$$E = \frac{\text{Distance sur la carte (cm)}}{\text{Distance sur le terrain (cm)}} = \frac{10 \text{ cm}}{800\,000 \text{ cm}} = \frac{1}{80\,000}$$

Résultat : L'échelle de la carte est au **1/80 000** (1 cm sur la carte représente 80 000 cm, soit 800 m sur le terrain).

2. Calcul de la distance sur le terrain (L)

Sur une carte au **1/20 000**, si deux points sont distants de **10 cm**, quelle est la distance réelle sur le terrain ?

$L = \text{Distance sur la carte} \times \text{Dénominateur de l'échelle}$

$$L = 10\text{cm} \times 20\,000 = 200\,000\text{cm} = 2\text{km}$$

Résultat : La distance réelle sur le terrain est de **2 km**.

Exercices :

1/ Sur la carte, vous avez une barre d'échelle qui mesure **2 cm** et correspond à **500 m**, dans ce cas, quelle est l'échelle de votre carte ?

2/ Vous devez tracer une route rectiligne sur un plan de cadastre à l'échelle **1\5000**. En réalité, cette route a une longueur physique de **1,25 km**. Quelle devra être la longueur de cette route (en centimètres) sur votre dessin ?

I.2. Propriété des courbes de niveau

1.2.1. Définition les courbes de niveau

Une courbe de niveau est une ligne tracée sur une carte qui relie tous les points ayant la **même altitude**. Imaginez que vous coupez une montagne avec un plan horizontal : la ligne où ce plan rencontre la montagne serait une courbe de niveau

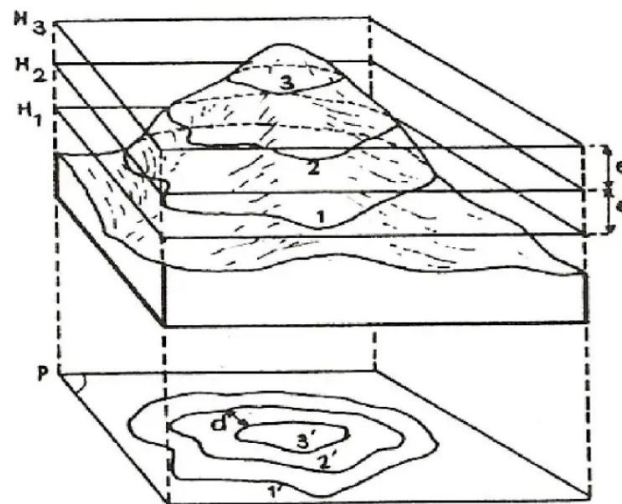


Fig.I.2 : Schéma représentatif des courbes de niveaux

1.2.2. Différents types de courbes de niveau

Courbes maitresses : Elles sont représentées par des traits épais (gras) en couleur bistre.

Courbes normales : Entre 2 courbes maitresses. Elles sont dessinées en traits plus fins (en bistre).

Courbes intercalaires : Lorsque l'équidistance est trop grande, on ajout alors une courbe dite intercalaire dessinée en général en tirets, pour préciser des détails important du terrain.

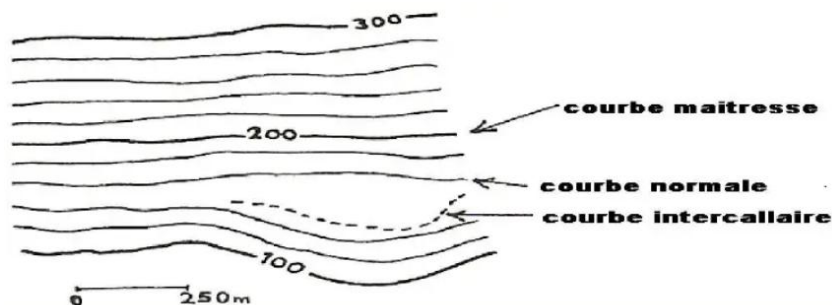


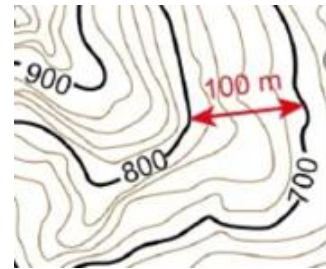
Fig.I.3 : Schéma représentatif les types des courbes de niveaux

1.2.3. Equidistance des courbes de niveau

On appelle équidistance des courbes de niveau la distance verticale qui sépare deux courbes

successives. Elle est toujours constante pour une même carte et elle est indépendante de l'échelle de la carte.

La valeur de l'équidistance est en général indiquée dans la légende. Parfois elle n'est pas indiquée. Alors, on essaye les équidistances 5m, 10m, 20m et 50m pour les courbes de niveau situées entre deux points cotés, l'un en haut et l'autre en bas.



Exemple : $E_q = (800 - 700) / 5 = 100/5 = 20\text{m}$

1.2.4. Altitude des courbes de niveau

L'altitude des courbes est souvent indiquée le long de leur tracé. En principe le bas des chiffres indiquant cette altitude est dirigé vers le bas de la pente. Mais cette règle n'est pas respectée sur toutes les cartes.

1.2.5. Pente des reliefs

La pente est le rapport entre la **différence d'altitude entre deux points** (notée h) et la **distance qui sépare ces deux points**, appelée **écartement** ou **espacement** (notée D). Elle peut être donnée en **pourcentage (%)**.

La position plus ou moins rapprochée des courbes de niveau sur une carte reflète directement la valeur de la pente du terrain.

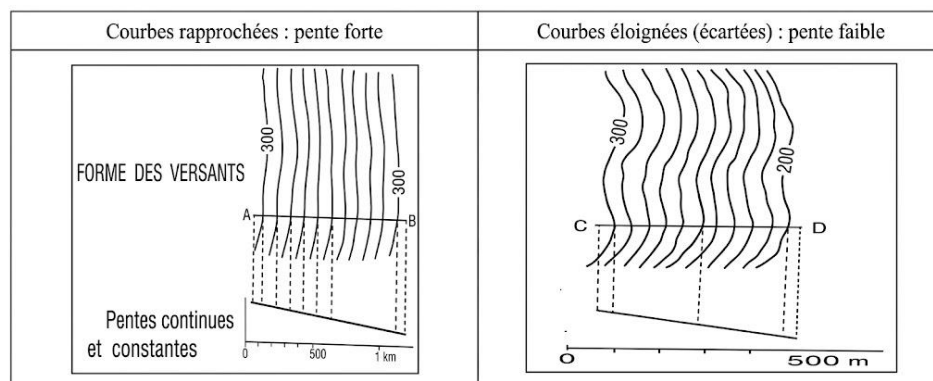


Fig.I.4 : comparaison entre les courbes de niveau

Calculée par expression suivant en **pourcentage (%)** : $P\% = h/D * 100$

Exemple :

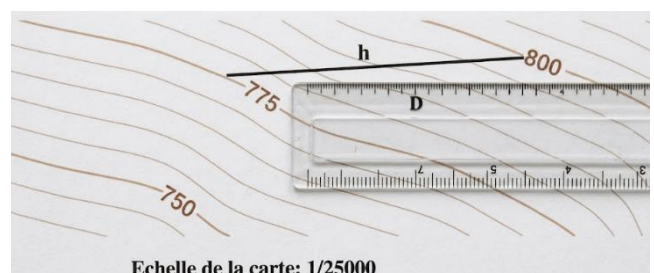
$$P\% = h/D * 100$$

$$h = 800 - 775 = 25\text{m}$$

$$D \text{ (par règle calculer la distance)} = 5\text{cm}$$

$$D = 5 * 25000 = 125000\text{cm} = 1250\text{m}$$

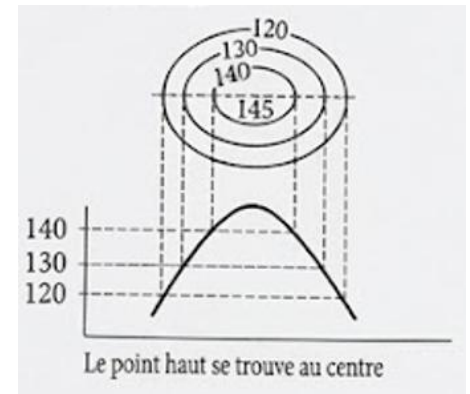
$$P\% = (25/1250) * 100 = 2\%$$



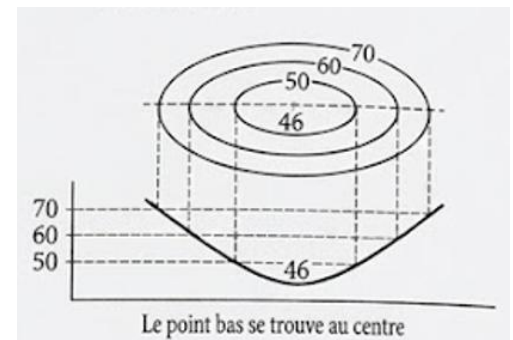
I.3. Les formes de relief

En examinant les courbes de niveau sur une carte topographique, on peut facilement déterminer la forme de la région, et on peut faire la différence entre les zones élevées et les zones basses simplement en lisant les altitudes sur les courbes de niveau ou les **points de côté** sur la carte. Les zones qui ont été fortement érodées par la présence de diverses taïgas sont également visibles, les sommets des montagnes sont bien visibles et les pistes et les pentes sont facilement reconnaissables.

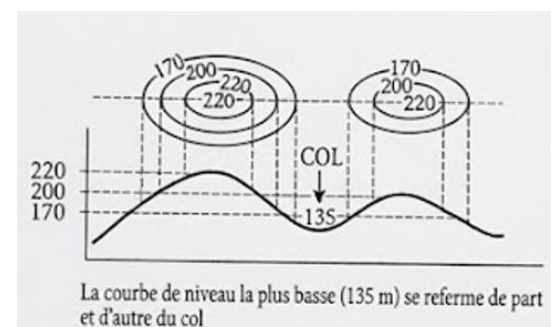
a. Dôme : zone légèrement élevée régulières est peu isolé à sommet arrondi et structure symétrique (le point le plus haut se trouve au centre des courbes de niveau).



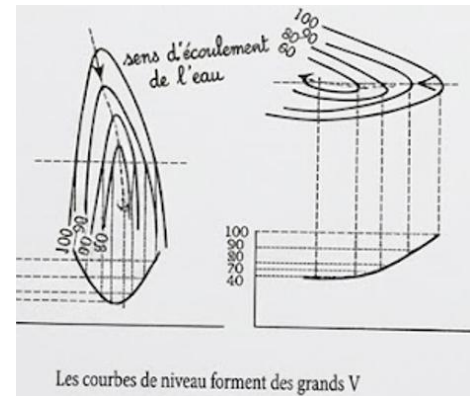
b. Cuvette : dépression fermée vers le fond de laquelle convergent l'ensemble des pentes. Les courbes de niveau sont aussi concentriques, l'altitude du point central est inférieure à celle des courbes qui l'entourent, parfois une flèche indique le centre de la dépression (le point le plus bas se trouve au centre des courbes de niveau).



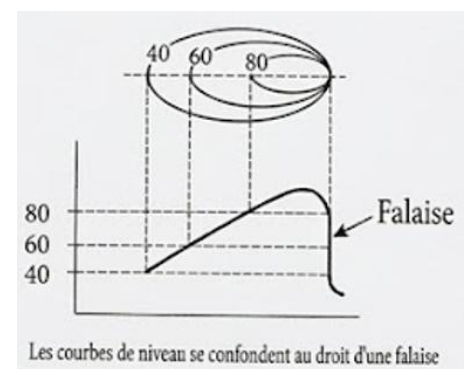
c. Col : est un affaissement de relief entre deux élévations (sommets).



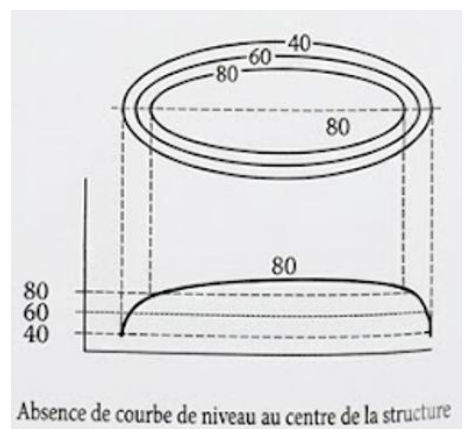
d. Talweg : les courbes de niveau forment un V.



e. Falaise : les courbes de niveau se superposent et se confondent au droit de la falaise, la hauteur de la falaise est déduite en lisant la courbe la plus haut et la plus basse.



f. Plateau (plate-forme) : surface plane ou légèrement ondulée au sein de laquelle le réseau hydrographique est encaissé.



I.4. Exécution du profil topographique

I.4.1. Définition de profil topographique

Le profil topographique est une représentation graphique de la variation du relief le long d'un tracé donné, sur une feuille de papier. Il sert notamment de base à la réalisation d'une coupe géologique.

I.4.2. Étapes de réalisation d'un profil topographique

1. Tracer le trait de coupe sur la carte. Il est préférable de faire aboutir les deux extrémités du trait de coupe à des points remarquables (cotes, maisons, villages, etc.).
2. Découper ensuite un rectangle de papier millimétré, nettement plus long que le trait de coupe.
3. Dessiner l'échelle des hauteurs dans la partie inférieure du papier millimétré. Il s'agit d'un axe vertical gradué selon l'échelle de la carte ou, dans certains cas, selon une échelle plus grande. Commencer par une cote simple immédiatement inférieure à l'altitude du point le plus bas situé sur le trait de coupe.
4. Appliquer le bord supérieur de la feuille contre le trait de coupe et marquer les deux extrémités de celui-ci. Pour orienter la feuille, placer l'Est (E), le Nord-Est (NE) ou le Sud-Est (SE) à droite, et l'Ouest (W), le Nord-Ouest (NW) ou le Sud-Ouest (SW) à gauche, selon l'orientation du trait de coupe.
5. Sur le bord supérieur de la feuille, reporter les altitudes des points d'intersection des courbes de niveau avec le trait de coupe, en particulier celles des courbes maîtresses. Les inscrire légèrement au crayon, car elles seront effacées par la suite. Lorsque l'espacement entre les courbes de niveau est important ou irrégulier, il est également utile de prendre en compte les courbes normales.
6. Reporter les points à leur position sur le graphique : leur abscisse est déterminée par leur position sur le trait de coupe, tandis que leur ordonnée correspond à leur altitude, lue à partir de l'échelle des hauteurs précédemment tracée.
7. Tracer le profil topographique en reliant les points reportés à main levée, sans utiliser de règle, tout en respectant la forme générale du relief (sommets, talwegs, versants, etc.).
8. Pour terminer, procéder à l'habillage du profil :
 - Effacer les points et les indications inscrits sur le bord supérieur de la feuille ;
 - Indiquer l'orientation du profil (E-W, NE-SW, N-S, etc.) ;
 - Grader l'échelle horizontale en kilomètres, si nécessaire ;
 - Inscrire quelques noms de lieux (villages, sommets, rivières, etc.) ainsi que certaines cotes altimétriques ;

- Indiquer en haut de la feuille le nom de la carte topographique ainsi que son échelle.

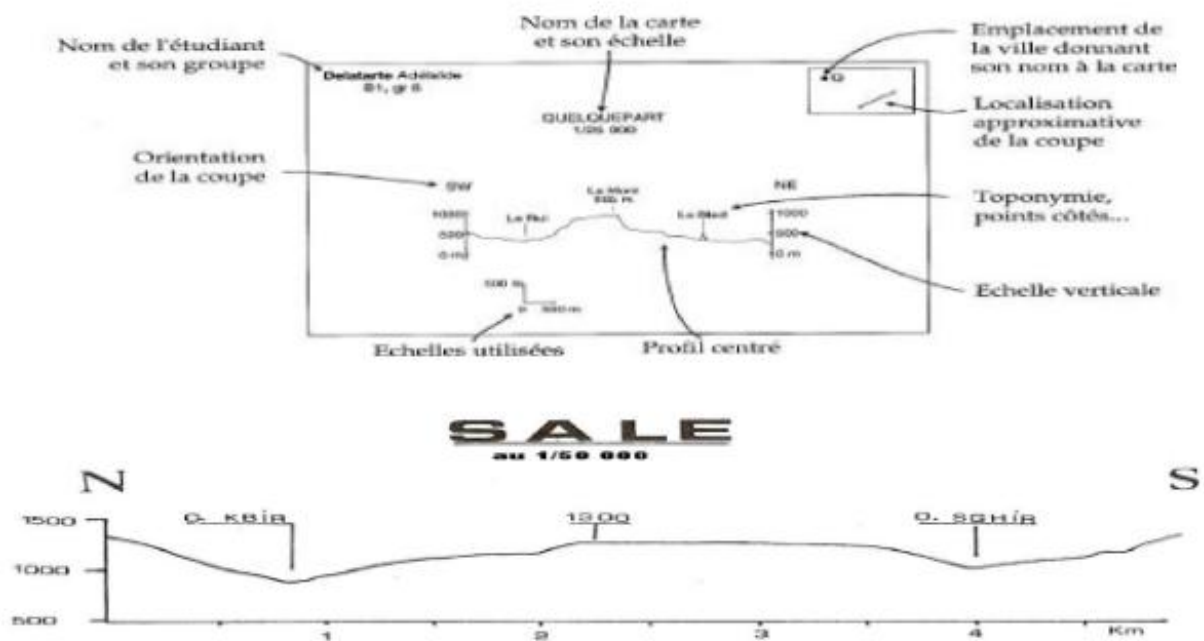
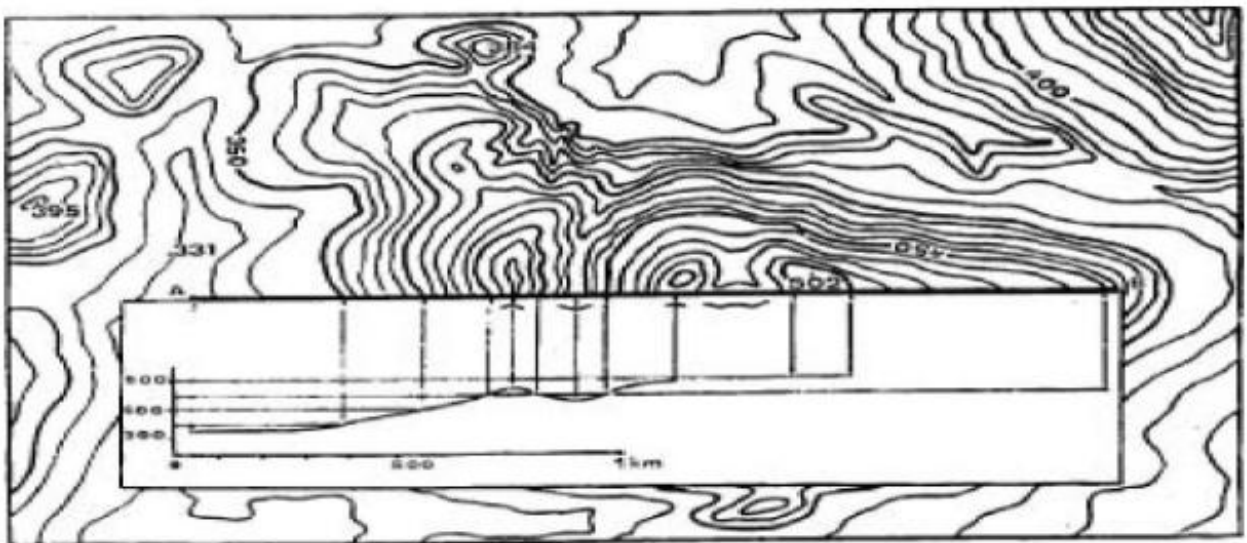


Fig.1.5 : Réalisation du profil topographique

Exercice 1: Questions à Choix Multiples (QCM)

Q1. La carte topographique est :

- ☐ Une photographie aérienne.
- ☐ La représentation du sous-sol.
- ☐ Une projection du relief sur un plan.
- ☐ La représentation exclusive des routes et des sites touristiques.

Q2. Des courbes de niveau très rapprochées (serrées) représentent :

- ☐ Une plaine.
- ☐ Un sommet.
- ☐ Une cuvette.
- ☐ Une forte pente.

Q3. Sur une carte topographique, on ne trouve jamais d'informations en rapport avec :

- ☐ Les méridiens et les parallèles.
- ☐ Les failles et les pendages des couches géologiques.
- ☐ Le réseau routier.
- ☐ L'hydrographie.

Q4. Sur une carte topographique, la direction du nord géographique :

- ☐ Se situe toujours vers le haut de la carte.
- ☐ N'est jamais indiquée car ce n'est pas utile.

Q5. Le profil topographique et son matériel :

- ☐ C'est une photographie aérienne stéréoscopique du relief.
- ☐ C'est un tableau statistique des altitudes d'une région.
- ☐ C'est la représentation de la variation du relief selon un trait de coupe, réalisée principalement sur du papier millimétré.
- ☐ C'est une carte thématique montrant uniquement la végétation et les cours d'eau.

Q6. L'équidistance des courbes de niveau correspond à :

- ☐ La distance horizontale entre deux courbes de niveau successives.
- ☐ La distance verticale (différence d'altitude) constante entre deux courbes successives.
- ☐ La longueur totale du trait de coupe topographique.
- ☐ L'échelle graphique de la carte.

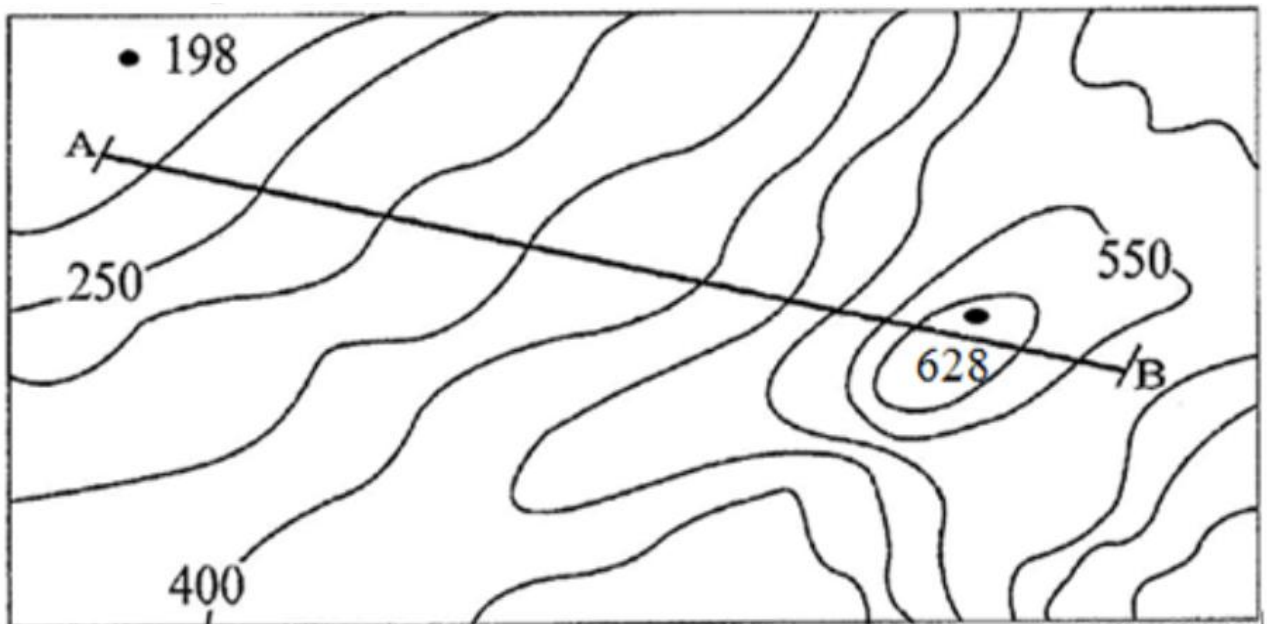
Q7. Si l'équidistance n'est pas indiquée dans la légende, on la détermine en :

- ☐ Calculant la différence d'altitude entre deux points cotés divisée par le nombre d'intervalles (espaces) entre eux.
- ☐ Mesurant la distance à la règle entre le Nord magnétique et le Nord géographique.
- ☐ Comptant uniquement le nombre de courbes maîtresses sur la carte.

Exercice 2 :

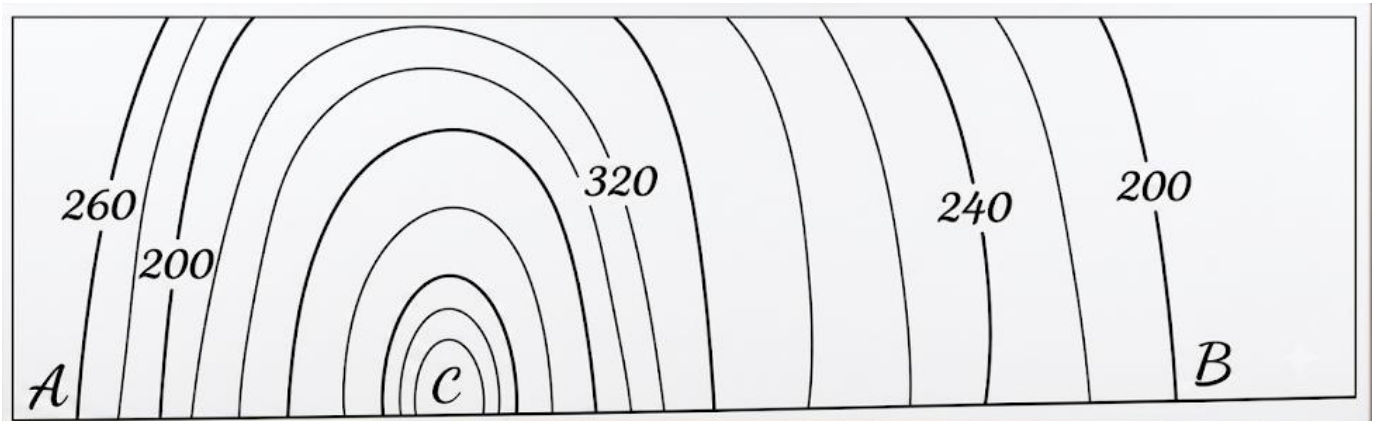
On donne l'extrait de la carte topographique suivante (voir document attaché). En vous basant sur les données de la carte et vos connaissances, répondez aux questions suivantes :

1. Définir une carte topographique.
2. Déterminer l'**échelle** de cette carte si la distance réelle AB est de 1,05km
3. Calculer l'**équidistance** de cette carte
4. Que montrent les courbes de niveau lorsqu'elles sont **espacées** ? Et lorsqu'elles sont **très serrées** ?
5. A-t-on une **cuvette** ou un **sommet** au point d'altitude 628 ? Justifier la réponse.
6. Déterminer la **pente en %** [AB]
7. Établir le **profil topographique** suivant le trait de coupe [AB]



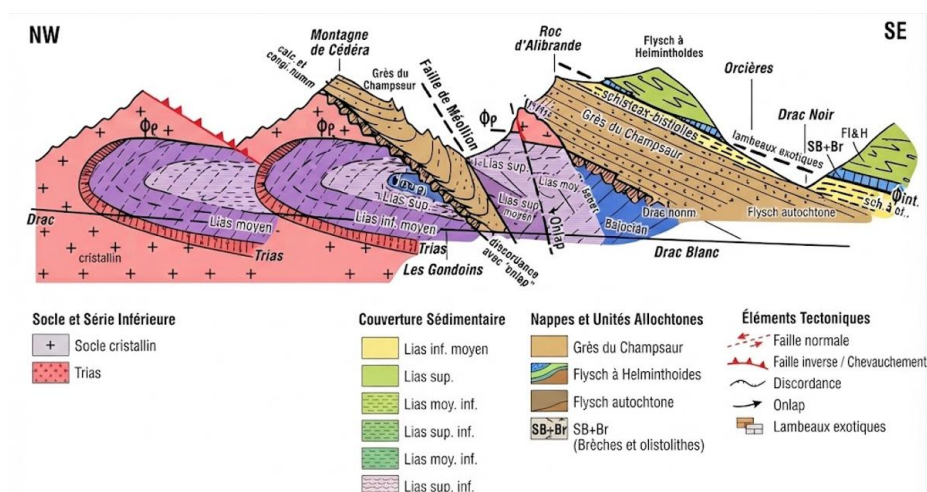
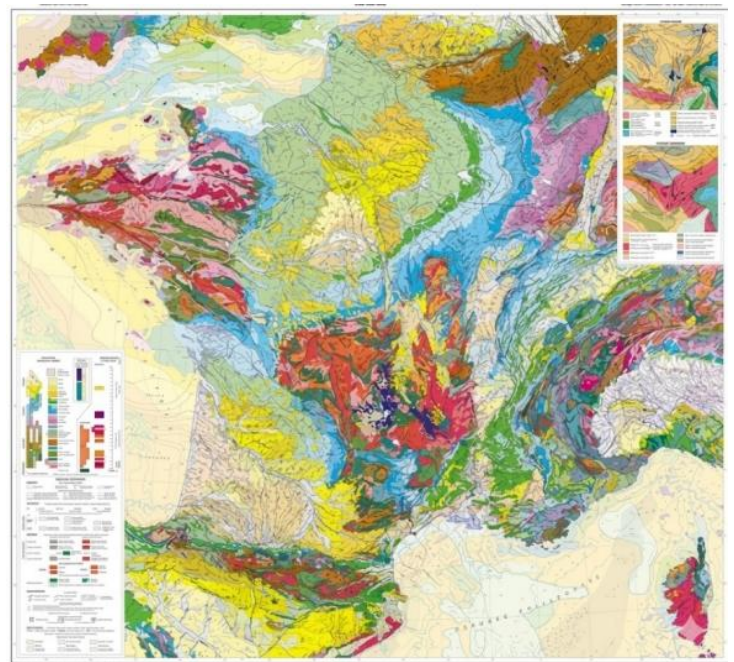
Exercice 3:

- 1/ Trouver l'équidistance de la carte
- 2/ Comparer l'écartement entre les courbes de niveau dans les deux segments (AC) et (CB)
- 3/ Indiquer sur la carte l'altitude de tous les points d'intersection de la coupe (AB) avec les courbes de niveau
- 4/ Identifier le point C et Justifier
- 5/ Trouver l'échelle numérique de cette carte si la distance réelle AB est de 2km
- 6/ Tracer le profil topographique de la coupe AB



Chapitre II :

Coupe géologique



II.1. Notion de base

II.1.1. Définition de la carte géologique

Une carte géologique est une représentation en deux dimensions, superposée à une carte topographique, des formations rocheuses qui affleurent à la surface.

Selon la convention cartographique, la couche superficielle de terre ou les formations très minces sont omises afin de représenter directement l'affleurement.

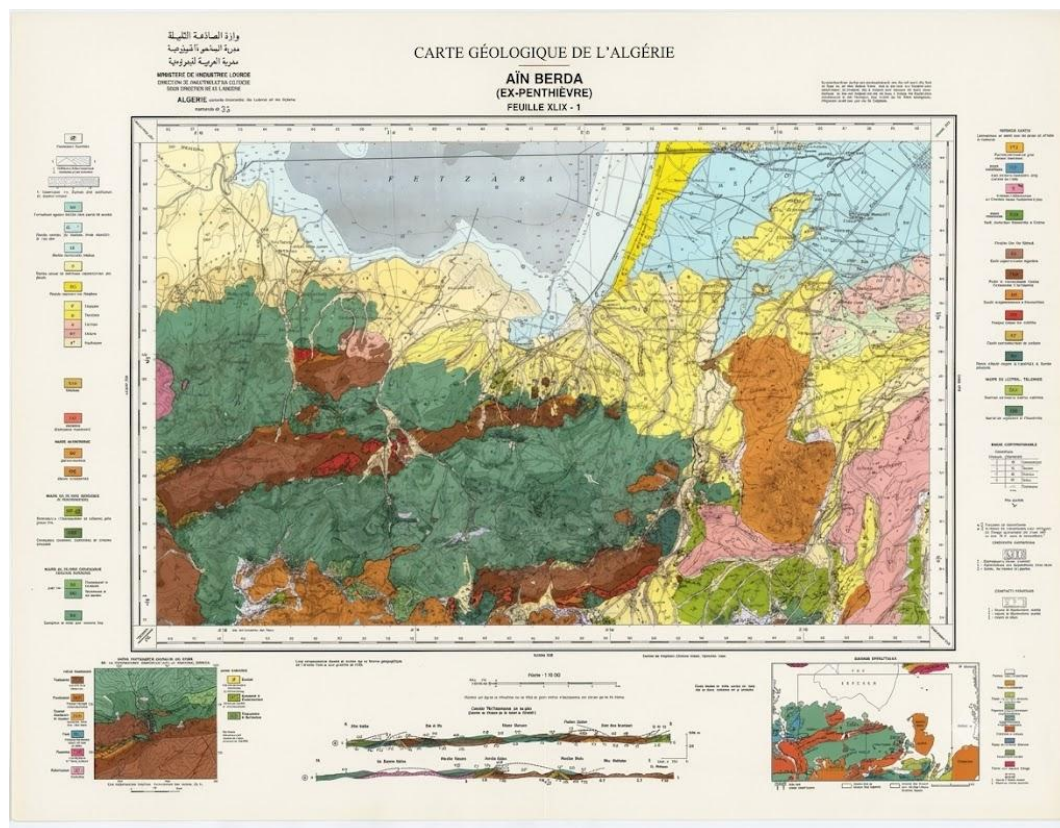


Fig II.1 : Carte géologique de Ain berda (1/50000)

II.1.2. Principe de notation et de figuration

La carte géologique est une synthèse remarquable qui condense l'évolution spatio-temporelle d'une région sur un simple support plan. Pour y parvenir, cette cartographie normalisée croise les données topographiques du relief avec un double codage universellement reconnu : une **couleur** représentative de la période chronologique et une **notation textuelle** spécifiant l'étage stratigraphique. En superposant systématiquement ces limites aux symboles structuraux, la carte permet d'identifier simultanément l'âge des terrains (stratigraphie), la nature des roches (lithologie) et leur disposition dans l'espace, offrant ainsi une restitution précise et tridimensionnelle du sous-sol.

- Couleur

Quaternaire (IV).....	noir ou blanc
Crétacé.....	vert
Tertiaire (III).....	jaune à orange
Secondaire (II) jurassique.....	bleue

Trias.....	violet à rose
Primaire (I).....	teintes variables sombres

- Notation

Elle comporte un corps principal et des signes

Le corps principal est une lettre qui rappelle la nomenclature des divisions stratigraphiques : c pour le Crétacé, j pour le jurassique, affectés d'un chiffre en arabe ou en romain (C1, C2, C3.....ou CI, CII, CIII...).

- 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 :

- l'âge
- la nature lithologique

II.2. Propriétés géométriques des couches

II.2.1. Pendage : c'est l'angle dièdre d'une couche (ou d'une faille) avec un plan horizontal h.

Plus α est petit et plus le pendage est faible

Plus α est grand et plus le pendage est fort.

II.2.2. Représentation du pendage sur carte

	Pendage incliné de la stratification		Couche inclinée vers l'est		Pli anticlinal
	Pendage de série renversée		Couche inclinée vers le sud		Pli synclinal
	Schistosité métamorphique		Couche horizontale		Gîte de fossiles
	Couche horizontale (pendage = 0°)		Couche verticale		Mine et Carrière
	Pendage faible (de 10 à 30° environ)				
	Pendage moyen (de 30 à 60° environ)				
	Pendage fort (de 60 à 80° environ)				
	Couche verticale (pendage = 90°)				
					Replis
					Axe de pli et son plongement

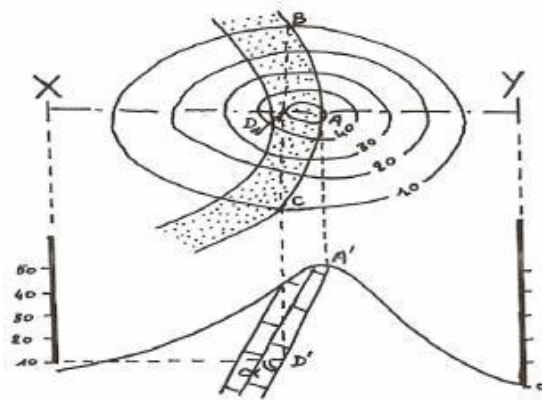
Sur les cartes, le pendage est figuré par des signes conventionnels. Sens du pendage

Pendage:	faible ($\alpha < 30^\circ$)	moyen ($30^\circ < \alpha < 60^\circ$)	fort ($\alpha > 60^\circ$)	vertical $\alpha = 90^\circ$	horizontal ($\alpha = 0^\circ$)
Carte:					
Coupez:					

II.2.3. Détermination du pendage et construction des couches géologiques

Lorsque le pendage n'est pas indiqué sur la carte par le signe en forme de T, on peut le déterminer grâce à la méthode : **La méthode de 3 points**

Cas 1 : couches inclinées :

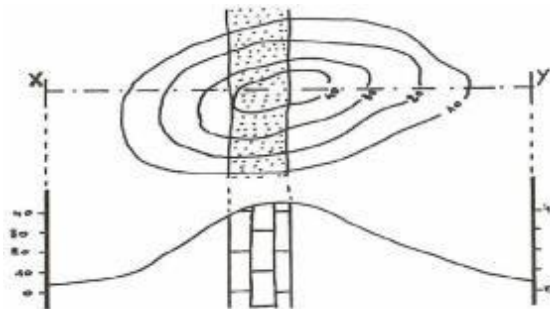


Prendre 3 points non alignés tels que 2 d'entre eux aient la même altitude (B et C) et le point 3 à une altitude différente (A): ils définissent un plan dont le pendage est celui de la couche que l'on veut construire.

Tous les points de la droite BC sont à la même altitude (10m). Le point D (intersection de BC et de XY) est donc aussi à l'altitude 10m.

Il suffit alors de projeter le point D sur la coupe (et non sur le profil), à l'altitude 10m, on obtient le point D'; puis on joint A'D' et on obtient le pendage de la couche.

Cas 2: Couches verticales

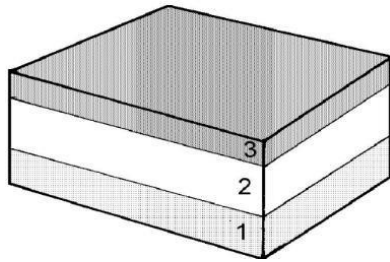


II.3. Structures des couches géologiques

II.3.1. Structure tabulaire :

Ce sont des structures horizontales ou subhorizontales.

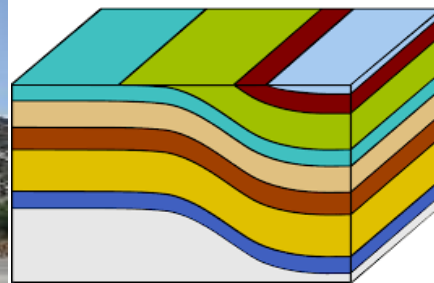
- Les limites géologiques des couches sont parallèles aux courbes de niveau.
- Le relief est nul ou faible (plateau ou plaine)
- Au niveau d'une vallée les contours géologiques épousent alors les sinuosités des courbes de niveau.



II.3.2. Structure monoclinale :

Les couches géologiques sont planes, et inclinées dans le même sens, Les séquences apparaissant à la surface sont continuées et chaque formation n'y apparaît qu'une seule fois.

- Imaginez un paquet de feuilles légèrement penché dans une seule direction. Les couches géologiques d'une structure monoclinale s'empilent de la même manière, créant une pente régulière.
- C'est comme suivre un chemin bien tracé : les couches géologiques s'alignent dans une direction précise, sans faire de détours ni de boucles

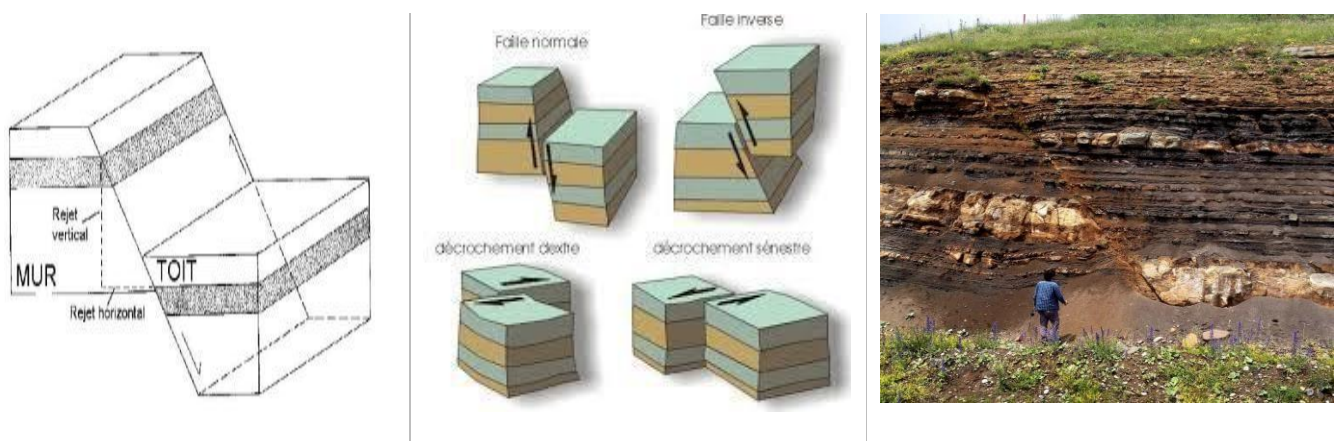


II.3.3. Structure faillée :

Une faille est une cassure des roches accompagnées du déplacement relatif de deux compartiments qui se fait le long du plan de faille. La valeur de ce déplacement se nomme le rejet.

Les failles sont des fractures dans la croûte terrestre le long desquelles s'est produit un déplacement relatif des blocs rocheux. Leur identification repose sur des critères morphologiques (miroirs de faille,

stries, brèches) et structuraux (décalage des couches, rejet). Ces structures sont souvent repérables sur les cartes et coupes géologiques grâce à des discontinuités et des décalages des unités lithologiques.



II.3.4. Structure plissée :

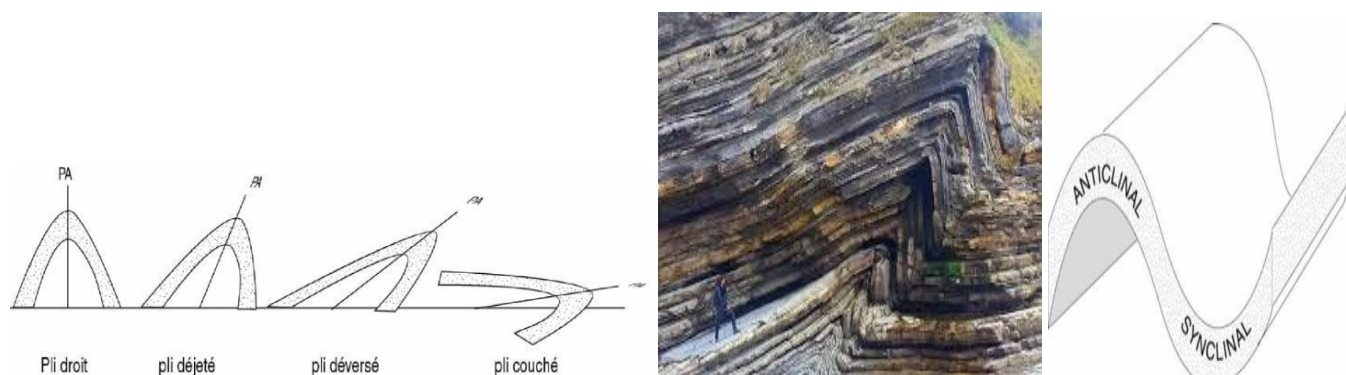
Résultent de la déformation ductile des roches sous l'effet de contraintes tectoniques, donnant naissance à des ondulations dans les couches sédimentaires.

Reliefs caractéristiques : Les plis créent des reliefs alternant des crêtes (correspondant aux anticlinaux) et des dépressions (correspondant aux synclinaux).

Inclinaison des couches : Le pendage des couches, c'est-à-dire leur inclinaison par rapport à l'horizontale, varie d'un flanc à l'autre du pli.

Orientation des contraintes : La vergence des plis indique la direction dans laquelle les roches ont été comprimées lors de la formation du pli.

Structures annexes : Les plis peuvent être associés à d'autres structures tectoniques comme des failles ou des joints de schistosité, qui témoignent des déformations subies par les roches.



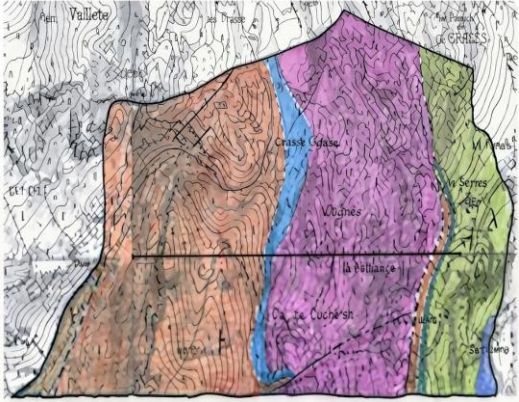
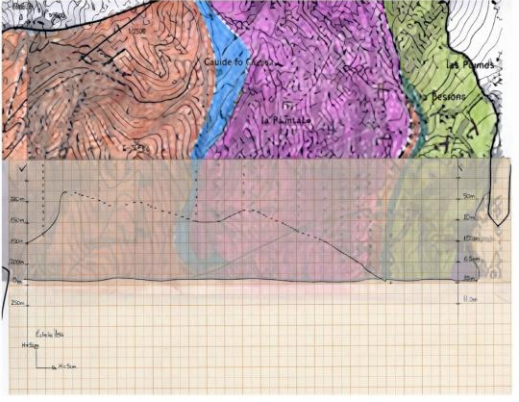
II.4. Coupe géologique

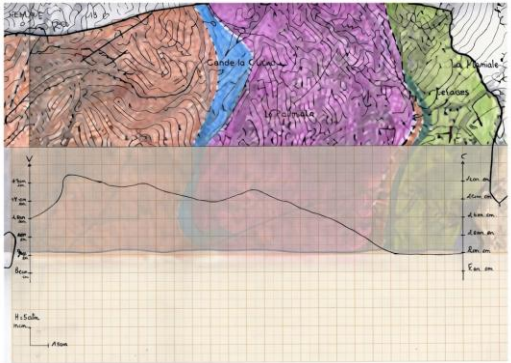
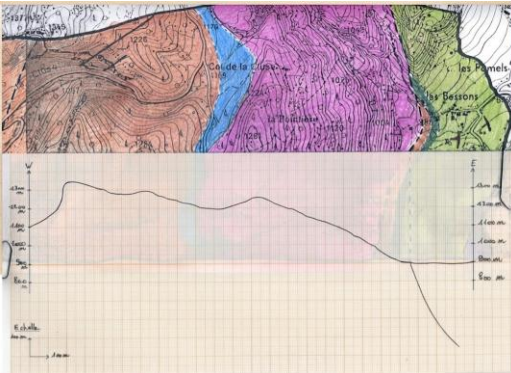
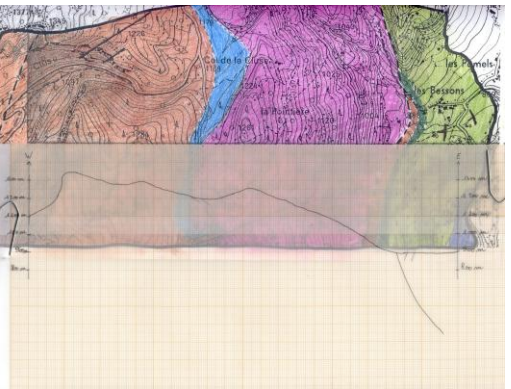
II.4.1. Définition :

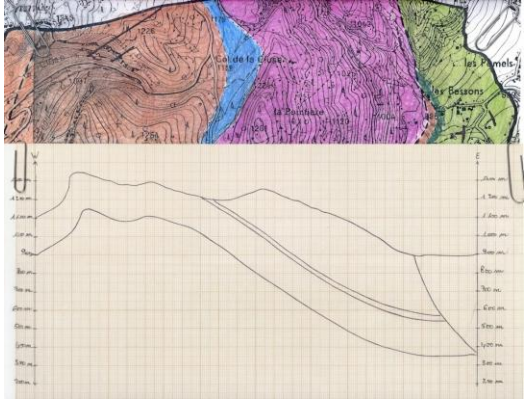
Une coupe géologique est une représentation, selon une section verticale, des terrains cachés en profondeur en n'en connaissant que la partie qui affleure. La coupe géologique s'appuie donc sur une part d'hypothèses et d'interprétations déduite, logiquement, des indications de la carte.

II.4.2. Démarche Méthodologique

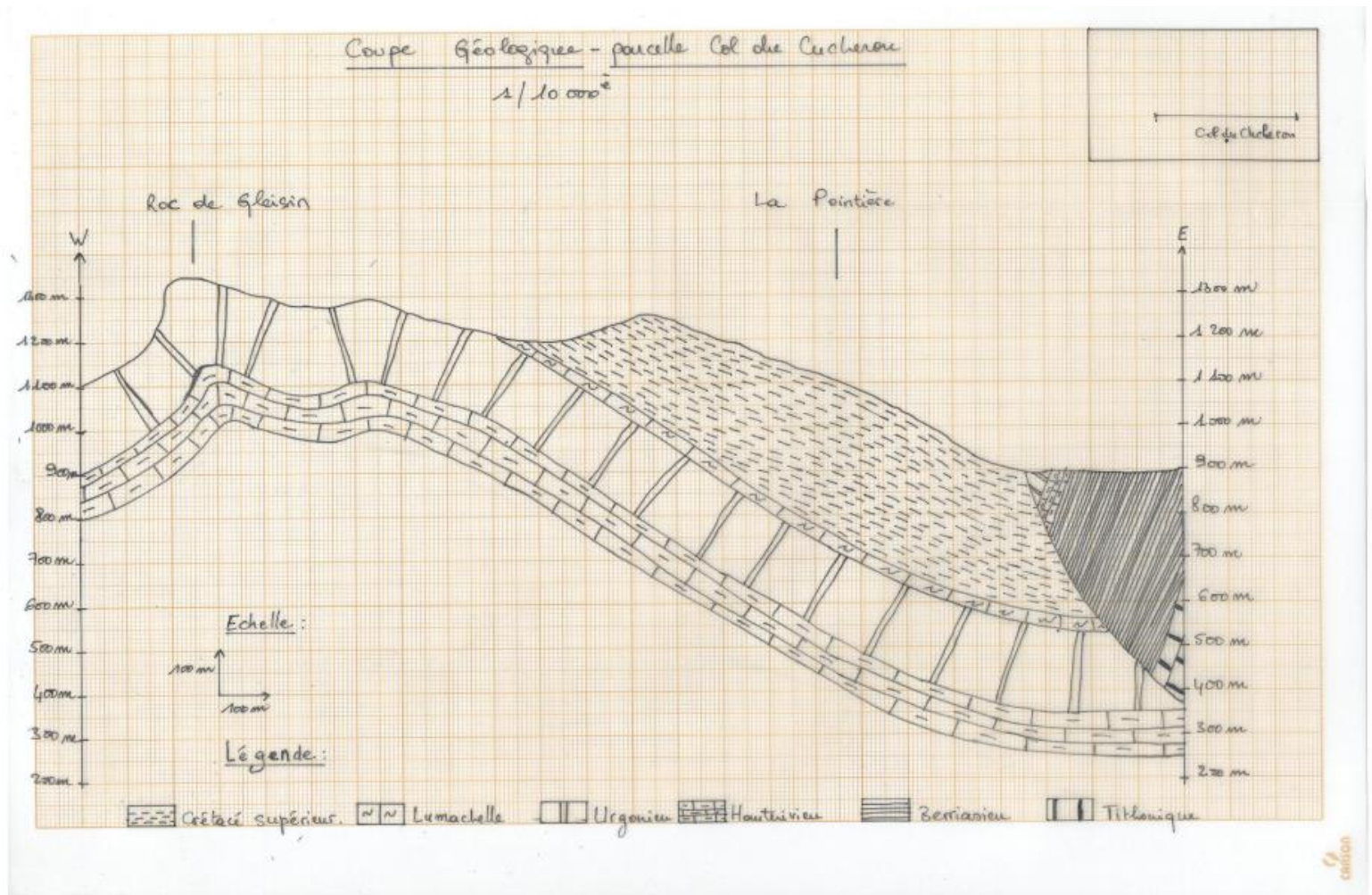
Pour guider efficacement les étudiants lors des séances de travaux pratiques (TP), la démarche est structurée en 6 étapes clés illustrées dans la planche de référence :

Nom de l'étape	Instructions et Actions à Mener (Démarche pratique)	Illustration de l'étape
Étape 1 : Choix du tracé de coupe	Choisir l'emplacement du profil en fonction des structures géologiques majeures et de l'objectif recherché. Tracer proprement un trait rectiligne représentant la coupe sur la carte géologique.	
Étape 2 : Projection des contacts et de la topographie	Placer la feuille de papier millimétré le long du trait de coupe pour projeter les intersections de la topographie et des limites de couches. Repérer les principaux accidents (failles) recoupés par le profil ainsi que ceux situés à proximité immédiate.	

Nom de l'étape	Instructions et Actions à Mener (Démarche pratique)	Illustration de l'étape
Étape 3 : Construction du profil topographique	Exécuter le profil topographique à mi-hauteur de la feuille en le centrant transversalement. Reporter les affleurements traversés par le trait de coupe sur le profil en indiquant, provisoirement au-dessus, leurs notations (ex: c1, j2). Effacer proprement les repères de construction placés en haut de la feuille.	
Étape 4 : Tracé des failles et contacts anormaux	Dessiner en priorité la géométrie des failles et les contacts anormaux qui recoupent le profil avant de tracer les limites des couches géologiques. Respecter rigoureusement le sens de pendage (inclinaison) des plans de faille déduits de la carte.	
Étape 5 : Dessin des couches en profondeur	Réaliser un schéma rapide à main levée au brouillon pour anticiper la structure globale (plis, monoclinal, etc.). Dessiner à l'échelle la colonne stratigraphique des terrains traversés. Placer les couches géologiques en profondeur en commençant impérativement par les plus récentes (les plus superficielles).	

Nom de l'étape	Instructions et Actions à Mener (Démarche pratique)	Illustration de l'étape
Étape 6 : Finalisation du dessin et des contours	Donner à chaque couche un figuré (ou une couleur) différent, en stricte conformité avec la nature lithologique des terrains.	

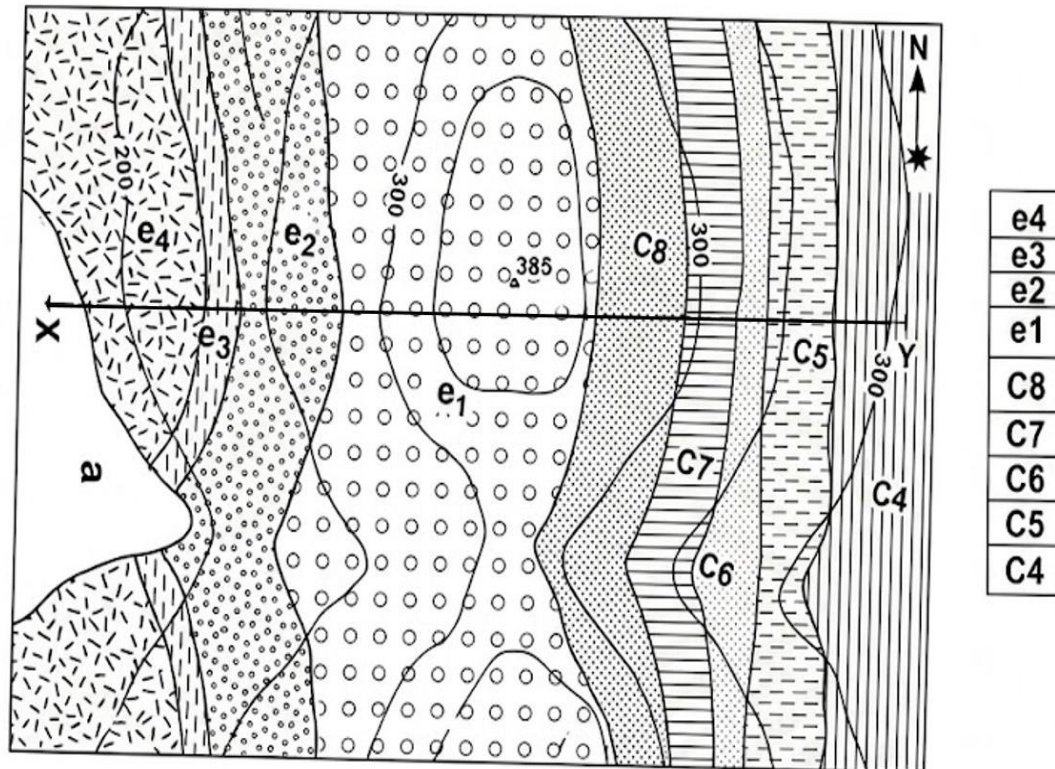
Terminer la présentation en indiquant la légende complète, le titre de la coupe, les orientations (ex: W - E) et les échelles (horizontale et verticale)



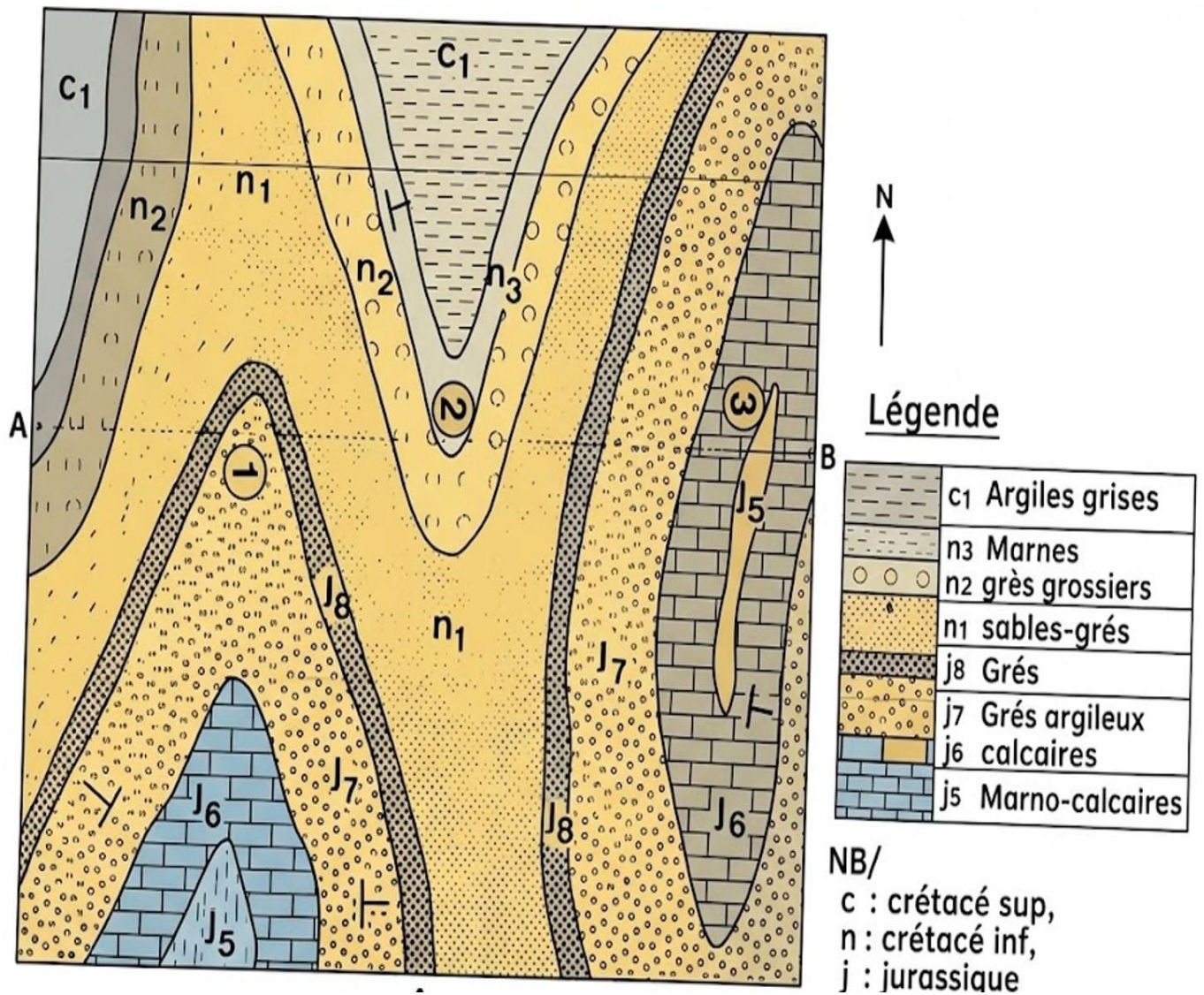
Normes Graphiques et Épaisseur des Traits

La présentation des coupes géologiques obéit aux mêmes lois académiques que celles des coupes topographiques. La hiérarchisation de l'épaisseur des traits est obligatoire pour garantir la lisibilité du document :

- **Trait fin** : Limites normales de couches et contours géologiques.
- **Trait moyen** : Dessin des figurés internes (lithologie), textes, échelles et légendes.
- **Trait épais** : Failles, contacts anormaux (surfaces de chevauchement) et courbe du profil topographique (Foucault, A., & Raoult, J.-F., 2001).



1. Définir une carte géologique
2. Déterminer l'**échelle** de cette carte si la distance réelle xy est de 12dam
3. Calculer l'**équidistance** de cette carte
4. Exécutez la coupe géologique xy
5. Quel type de structure observez-vous sur la coupe.



1. Repérer sur la carte les différentes structures géologiques d'après la forme des affleurements
2. Exécuter la coupe géologique AB

Roches et minéraux



III.1. Notions de minéralogie

III.1.1. Introduction

La vie humaine dépend étroitement de la croûte terrestre pour satisfaire ses besoins essentiels et subvenir à ses subsistances. Cette relation a poussé l'Homme à explorer ses profondeurs et à exploiter ses ressources naturelles.

Les études géologiques montrent que les roches de la croûte terrestre sont composées de minéraux, formés d'un ou de plusieurs éléments chimiques. Bien que la science ait recensé plus de 4 000 minéraux différents, seuls 200 environ sont communs dans la composition des roches ou présentent un réel intérêt économique.

Pour étudier la dynamique et l'évolution perpétuelle de la Terre (surface et sous-sol), les géosciences s'appuient sur deux disciplines clés :

- **La Minéralogie** : Science des minéraux (liée historiquement à la cristallographie). Elle étudie leurs propriétés physiques, chimiques, leurs modes de formation et leur classification.
- **La Pétrographie** : Science des roches. Elle décrit leurs caractères structuraux et chimiques, et analyse leurs relations avec l'environnement géologique.

La pétrographie distingue **trois grandes familles de roches** selon leur genèse :

- **Roches sédimentaires** (issues de l'accumulation de sédiments).
- **Roches magmatiques** (nées du refroidissement d'un magma).
- **Roches métamorphiques** (issues de la transformation d'autres roches sous l'effet de la pression et de la température).

III.1.2. Importance économique et environnementale :

La dégradation de ces roches forme la fraction minérale des sols. De plus, ces roches fournissent à l'Homme :

- Des **matériaux de construction** (granulats, ciment, plâtre, briques).
- Des **ressources énergétiques fossiles** (pétrole, charbon).

Note : Ne pas confondre « roche » et « minéral » : une roche est généralement un assemblage de plusieurs minéraux.

III.1.3. Notions de Minéralogie et Cristallographie

La minéralogie est l'une des branches des sciences de la Terre. Elle s'intéresse à l'étude des minéraux du point de vue de :

Leurs propriétés chimiques.

Leurs propriétés physiques.

Leurs propriétés optiques.

Leur structure cristalline.

Ce domaine englobe également des spécialités telles que :

- L'étude des systèmes de cristallisation.
- La genèse des minéraux et l'évolution de leur structure.
- Leur classification scientifique.
- Leur répartition géographique.

III.1.3. 1. Définition du Cristal et de l'État Cristallin

A. Qu'est-ce qu'un cristal ?

Un cristal est un corps solide homogène caractérisé par une composition chimique déterminée et une structure interne ordonnée. Les atomes, ions ou molécules ne sont pas disposés au hasard, mais arrangés de manière régulière et périodique selon une géométrie tridimensionnelle parfaite (le réseau cristallin), dont la plus petite unité répétitive est la maille élémentaire. Cet ordre interne se manifeste à l'extérieur par un aspect géométrique délimité par des faces planes et lisses.

Origine : Cette régularité géométrique résulte d'un arrangement précis formé dans des conditions naturelles spécifiques (température et pression adéquates).

L'état amorphe : Si le refroidissement d'un liquide (comme une lave) est extrêmement rapide, les atomes n'ont pas le temps de s'ordonner. Le solide obtenu est désordonné : on dit qu'il est amorphe (ex. : le verre, l'obsidienne).

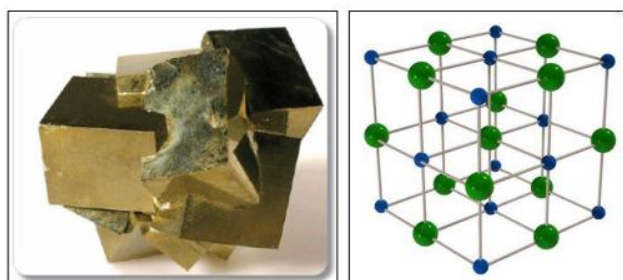


Fig.III.1. Forme cristalline

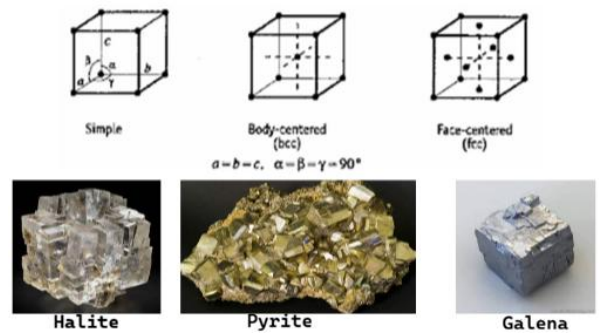
B. Les 7 Systèmes Cristallins En cristallographie

La forme géométrique de la maille élémentaire permet de classer tous les cristaux en sept systèmes cristallins principaux (définis par les longueurs des axes a , b , c et les angles α , β , γ), répartis en quatorze réseaux de Bravais :

• Système Cubique :

Caractéristiques : $a = b = c$ et $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (trois axes égaux et perpendiculaires ; le plus haut degré de symétrie).

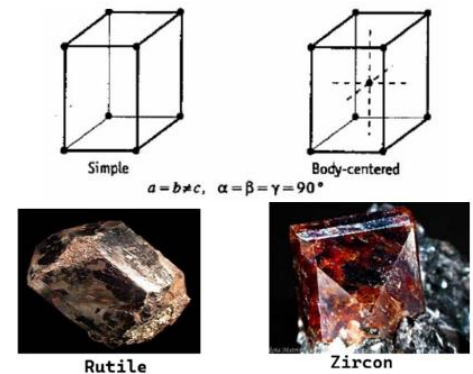
Exemples : Galène (PbS), Pyrite (FeS₂), Halite (NaCl), Fluorite (CaF₂), Diamant (C).



• Système Quadratique (ou Tétragonal) :

Caractéristiques : $a = b \neq c$ et $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (deux axes horizontaux égaux, le troisième vertical est différent).

Exemples : Cassitérite (SnO₂), Rutile (TiO₂), Zircon (ZrSiO₄).



• Système Hexagonal :

Caractéristiques : $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$; $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$ (quatre axes : trois horizontaux à 120° et un vertical).

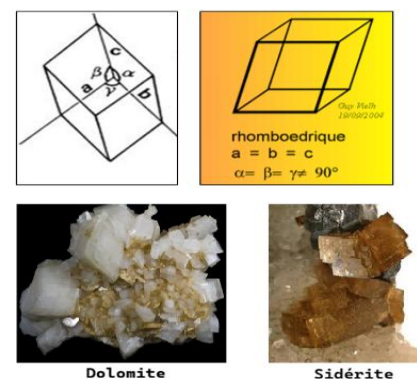
Exemples : Quartz (SiO₂), Béryl (dont l'émeraude), Graphite, Apatite.



• Système Trigonal (ou Rhomboédrique) :

Caractéristiques : $a = b = c$ et $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ (trois axes égaux, non perpendiculaires).

Exemples : Dolomite (CaMg(CO₃)₂), Sidérite (FeCO₃), Corindon, Tourmaline.



- **Système Orthorhombique (ou Losangique) :**

Caractéristiques : $a \neq b \neq c$ et $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
(trois axes perpendiculaires de longueurs différentes).

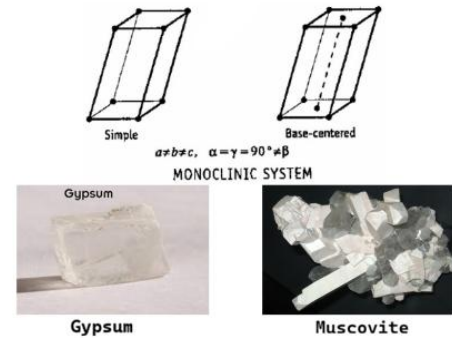
Exemples : Aragonite (CaCO_3), Barytine (BaSO_4), Célestine (SrSO_4), Olivine.



- **Système Monoclinique :**

Caractéristiques : $a \neq b \neq c$; $\alpha = \gamma = 90^\circ$ et $\beta \neq 90^\circ$
(deux axes perpendiculaires, le troisième est incliné).

Exemples : Gypse, Orthose, Malachite, Azurite, Muscovite.



- **Système Triclinique :**

Caractéristiques : $a \neq b \neq c$ et $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ (trois axes inégaux et angles quelconques ; symétrie minimale).

Exemples : Microcline, Albite, Anorthite.



Tableau III.1 : Résumé des Systèmes Cristallins et de leurs Propriétés

Système Cristallin	Longueurs des axes	Angles	Nb. d'axes	Principales caractéristiques	Exemples de minéraux
Cubique	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	3	Degré de symétrie maximal	Galena, Pyrite, Halite, Diamant
Quadratique	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	3	Axe vertical de longueur différente	Cassitérite, Rutile, Zircon
Hexagonal	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	4	3 axes horizontaux à 120°	Quartz, Béryl, Graphite
Trigonal	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	3	Similaire au cubique mais incliné	Dolomite, Corindon
Orthorhombique	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	3	3 axes perpendiculaires inégaux	Aragonite, Barytine, Olivine
Monoclinique	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$	3	Un seul axe incliné	Gypse, Orthose, Muscovite
Triclinique	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	3	Symétrie minimale	Albite, Anorthite

III.1.3. 2. Définition d'un minéral

A. Qu'est-ce qu'un minéral ?

Un minéral est une substance :

- Inorganique.
- Formée naturellement sous l'effet des conditions de pression et de température.
- Possédant une composition chimique déterminée.
- Caractérisée par une structure cristalline régulière.

Les minéraux se trouvent généralement dans la nature sous forme de cristaux bien définis ou sous forme cristalline irrégulière.

Il est important de noter que la composition chimique seule ne suffit pas pour définir un minéral ; il est également indispensable de connaître sa structure cristalline, car elle influence directement ses propriétés physiques telles que : la dureté, la densité, la couleur, le clivage, la trace, l'éclat et la transparence.

Remarques :

- Le pétrole n'est pas considéré comme un minéral car il est amorphe (non cristallin).

- De même, la perle n'est pas un minéral en raison de son origine organique.

La plupart des minéraux sont formés par la combinaison de deux éléments chimiques ou plus dans des proportions définies, chaque minéral possédant ses propres caractéristiques.

Exemple important : L'élément carbone existe dans la nature sous deux formes minérales différentes :

- Le diamant : extrêmement dur.
- Le graphite : tendre.

La raison de cette différence réside dans la structure cristalline, malgré la similarité de la composition chimique.

B. Importance des minéraux

Les minéraux occupent une place fondamentale dans la vie humaine depuis l'Antiquité, et leur importance n'a cessé de croître avec le développement des civilisations.

Les minéraux contribuent à :

- L'essor des différentes industries (légères et lourdes).
- Les progrès dans les domaines des transports et des télécommunications.
- Le soutien des activités technologiques.
- L'amélioration du niveau de vie.

La découverte et l'exploitation des minéraux ont entraîné des transformations majeures dans le cours du développement humain.

C. Genèse des minéraux (Formation)

Les minéraux se forment dans la nature à la suite de plusieurs processus géologiques, dont les plus importants sont :

- La cristallisation issue du refroidissement du magma.
- La précipitation chimique à partir de solutions.
- La cristallisation à partir de vapeurs (sublimation).
- La recristallisation suite à la modification des conditions physiques.

D. Propriétés physiques des minéraux

D.1. Propriétés optiques

A- La couleur : elle se divise en :

- Couleur constante (ex. : le soufre : jaune, la calcite : blanc).
- Couleur variable due à des impuretés (ex. : le quartz).

B- L'éclat : c'est l'aspect de la surface d'un minéral lorsqu'il réfléchit la lumière. Il se divise en

- Éclat métallique (ex. : pyrite, galène).
- Éclat non métallique (ex. : quartz, calcite).

C- La trace (ou la couleur de la rayure) : c'est la couleur de la poudre du minéral obtenue en le frottant sur une surface rugueuse.

D. Propriétés mécaniques

- **La cassure** : l'aspect de la surface résultant de la fracture d'un minéral, qui peut être régulier ou irrégulier.

- **Le clivage** : la capacité d'un minéral à se fendre selon des plans précis en formant des surfaces planes.

- **La dureté** : la résistance d'un minéral à la rayure, mesurée à l'aide de l'échelle de Mohs de 1 à 10 :

Le talc (1).

Le diamant (10).

Exemples approximatifs :

L'ongle humain (2.5)

Le verre (5.5)

La lime d'acier (6)

- **La ténacité** : la capacité du minéral à résister à la fracture ou à la déformation.

- **La densité (poids spécifique)** : le rapport entre le poids du minéral et le poids d'un volume égal d'eau ; elle peut être estimée approximativement sur le terrain.

E. Propriétés particulières de certains minéraux

- **La transparence** : la capacité du minéral à laisser passer la lumière.
- **La luminescence (fluorescence)** : l'émission de couleurs sous l'effet des rayons ultraviolets.
- **Le magnétisme** : comme le minéral de magnétite.

- **La radioactivité** : comme la monazite.
- **Propriétés sensorielles** :
 - Le toucher (le talc : toucher soyeux).
 - L'odeur (la pyrite lors du chauffage).
 - Le goût (l'halite : salé).

III.1.3. 3. Classification générale des minéraux

A. Selon leur importance dans les roches

- **Minéraux essentiels** : constituent la majeure partie de la roche et déterminent son nom.
- **Minéraux accessoires** : présents en faibles quantités et n'influencent pas la dénomination de la roche.

B. Selon leur genèse

- **Minéraux primaires** : se forment directement sans altération.
- **Minéraux secondaires** : résultent de la transformation de minéraux antérieurs.

C. Selon la composition chimique (Classification de Dana)

C.1. Les minéraux non silicatés

- **Éléments natifs** : comme l'or, l'argent, le cuivre, le soufre.
- **Sulfures** : comme la pyrite, la galène, la sphalérite.
- **Halogénures** : comme l'halite, la fluorite.
- **Oxydes** : comme l'hématite, la magnétite, le corindon.
- **Carbonates** : comme la calcite, la dolomite.
- **Phosphates** : comme l'apatite.
- **Sulfates** : comme le gypse, la barytine.

C.2. Les minéraux silicatés

Ils constituent le groupe minéral le plus important et le plus vaste, car :

- Ils représentent environ 90 % de la croûte terrestre.
- Ils reposent sur une unité structurale fondamentale qui est le groupement tétraédrique $(\text{SiO}_4)^{4-}$

III.2. Notions sur les roches

III.2.1. Introduction

Une roche est un agrégat naturel formé par l'association de plusieurs cristaux ou minéraux. Dans la nature, une roche contient des minéraux principaux (qui font sa signature) et des minéraux accessoires (présents en faibles quantités sous forme d'impuretés). Lorsque la roche est pure et constituée à plus de 90 % d'un seul et unique minéral, elle est qualifiée de monominérale (comme le calcaire pur ou le gypse).

Toutes les roches de la Terre sont liées entre elles à travers le temps par un mécanisme de recyclage permanent : **le cycle des roches** (les relations dynamiques entre le magma, les roches ignées, l'érosion, les sédiments, les roches sédimentaires et le métamorphisme).

Les roches constituent le composant fondamental de la croûte terrestre. Elles résultent de l'interaction de divers processus géologiques se produisant soit à l'intérieur de la Terre, soit à sa surface.

La **pétrologie** est la science qui étudie ces matériaux du point de vue de leurs caractéristiques, de leur classification, de leur origine et de leur histoire de formation, tout en analysant les conditions et les processus ayant conduit à leur genèse. C'est l'une des branches principales de la géologie, combinant la description précise des roches et l'interprétation scientifique de leurs sources.

L'étude des roches repose sur deux approches fondamentales :

- **L'étude macroscopique (étude préliminaire)** : basée sur l'observation des caractéristiques apparentes de la roche telles que la couleur, la structure, la taille des grains et la composition minéralogique (si la cristallisation est visible).
- **L'étude microscopique (étude approfondie)** : réalisée par l'examen de lames minces de roches au microscope après préparation en laboratoire, elle complète l'étude préliminaire.

A. Définition des Roches

Les roches sont des matériaux naturels solides formés par divers processus géologiques, et elles représentent la matière fondamentale sur laquelle reposent les études géologiques.

Une roche peut se composer de :

- Plusieurs minéraux, comme le granite (quartz, feldspath, mica...).

- Un seul minéral, comme le calcaire (calcite).

De plus, un même minéral peut entrer dans la composition de plusieurs types de roches, comme le quartz que l'on trouve dans le grès et le quartzite.

B. Caractéristiques des Roches

- La structure

Elle désigne la forme, la disposition et la taille des composants minéraux à l'intérieur de la roche, et varie selon le type de roche et sa genèse :

- **Roches ignées** : structure massive.
- **Roches sédimentaires** : structure stratifiée (en couches).
- **Roches métamorphiques** : structure foliacée.

La structure est l'un des critères les plus importants pour déterminer l'origine de la roche.

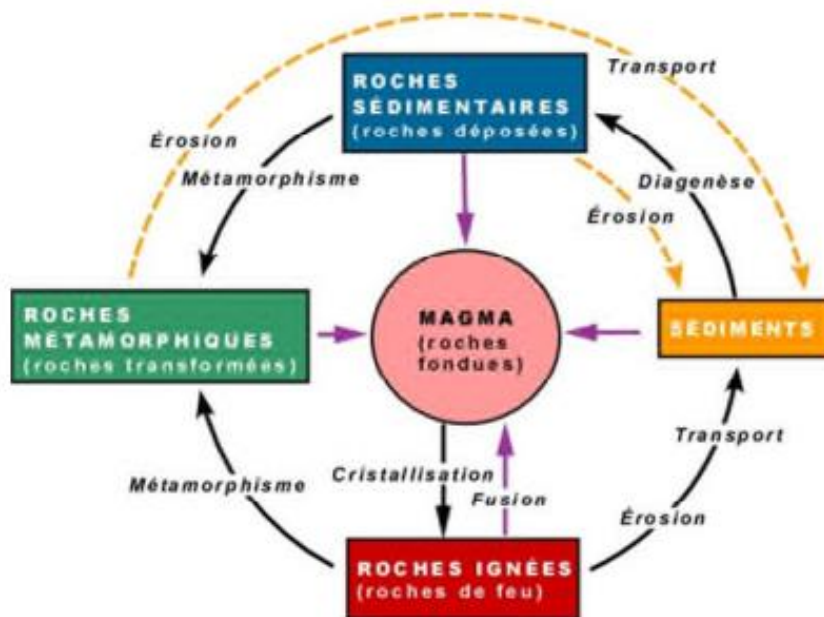


Fig.III.2. Structures des différentes roches de la croûte terrestre.

- La composition minéralogique

C'est l'une des caractéristiques les plus précises pour identifier les roches, distinguant :

- **Minéraux principaux** : tels que les silicates, les carbonates, les oxydes... utilisés pour classer les roches.

- **Minéraux accessoires** : n'influencent pas la dénomination de la roche, mais peuvent lui conférer une valeur économique.

- La texture

C'est l'ensemble des caractéristiques liées à la forme, la taille et l'arrangement des grains minéraux à l'intérieur de la roche, déterminé par les conditions de formation. Exemples :

- Le granite : texture cristalline.
- Le conglomérat : texture détritique.

L'étude de ces caractéristiques est essentielle pour déterminer le type de roche, la classer et comprendre ses conditions de formation.

C. Le Cycle des Roches (La Doute / Cycle Lithologique)

Le cycle des roches est une série de processus continus par lesquels les roches se transforment d'un type à un autre au cours du temps géologique. Il comprend :

- La transformation des roches sédimentaires en roches métamorphiques.
- La fusion des roches pour former des roches ignées.
- L'exposition des roches à l'altération et à l'érosion, puis leur sédimentation pour former de nouveau des roches sédimentaires.

D. Classification des Roches

Les roches sont classées selon leur origine en trois types principaux :

➤ Les roches sédimentaires

Les roches sédimentaires sont des roches **exogènes** : elles se forment entièrement à la surface de la Terre, dans des conditions de température et de pression ambiantes. Bien qu'elles ne représentent géométriquement que 5% en volume de la croûte terrestre, leur étalement est immense puisqu'elles tapissent près de **75% de la surface du globe**.

Leur genèse (formation) est une longue chaîne d'étapes :

Altération → Transport → Sédimentation (Dépôt) → Diagenèse

La **diagenèse** est l'ensemble des processus physico-chimiques qui lient, compactent et cimentent les sédiments meubles (comme le sable) pour les transformer en roches compactes et dures (comme le grès).

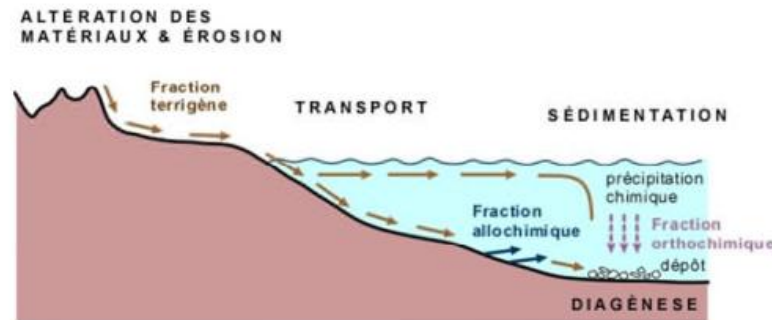


Fig.III.3. Illustration des étapes de la diagenèse : de l'accumulation des sédiments meubles jusqu'à la cimentation et compaction en roche dure

Origine des composants sédimentaires

L'altération (l'attaque mécanique et chimique de la roche mère par l'eau, le gel ou le vent) est influencée par : la nature de la roche, son état de fracturation, et le climat (température/chimisme de l'eau). Les débris formés ont trois origines possibles :

1. **Origine Terrigène** : Les particules proviennent directement du démantèlement mécanique du continent (ex: débris de quartz).
2. **Origine Allochimique** : Les fragments proviennent du bassin sédimentaire lui-même, principalement créés par l'activité biologique (coquilles, fragments de récifs).
3. **Origine Orthochimique** : Les minéraux naissent par précipitation chimique directe des ions dissous dans l'eau du bassin (sans intervention biologique).

Variétés pétrographiques courantes :

- **Les roches meubles (Sédiments)** : Ce sont des accumulations de particules non cimentées (gravier, sable, boue) transportées par les agents d'érosion.
- **Les latérites** : En climat tropical humide, l'altération chimique lessive presque tous les éléments, laissant sur place un résidu très riche en fer et en aluminium (bauxite).
- **Les roches détritiques** : Formées par la compaction de sédiments terrigènes.

Exemple : le sable meuble se compacte et devient du grès.

- **Les roches d'origine chimique** : Formées lorsque l'évaporation d'un milieu aquatique provoque la précipitation de cristaux (les évaporites comme le gypse ou le sel gemme (NaCl)).

Classification les roches sédimentaires

Les scientifiques utilisent deux critères pour classer ces roches :

- **La granulométrie** : La taille des grains. On retient deux seuils critiques : **2mm** et **0.062mm**.
- **La minéralogie** : Si la roche contient beaucoup de calcaire d'origine biologique, on utilise le suffixe **CAL** dans son nom (ex : Calcarénite).



Fig.III.4. La structure stratifiée des roches sédimentaires.

➤ Les roches éruptives (ou magmatiques)

Les roches magmatiques sont des roches **endogènes** : elles naissent à l'intérieur de la Terre et résultent du refroidissement et de la cristallisation d'un bain de roche fondu appelé **magma**. On les sépare en deux grands groupes :

- **Les roches volcaniques (extrusives)** : Le magma est expulsé à la surface (lave). Au contact de l'air ou de l'eau, il subit un refroidissement extrêmement rapide. Les cristaux n'ont pas le temps de grandir, la roche présente une texture microlitique et contient du verre amorphe (*Exemples : Basaltes, trachytes, rhyolites*).

- **Les roches plutoniques (intrusives)** : Le magma reste piégé en profondeur (entre 10 et 20 km) sous de fortes pressions. Il se refroidit très lentement, sur des millions d'années. Tous les minéraux ont le temps de cristalliser parfaitement. La roche présente une texture grenue (*Exemples : Granites, diorites, gabbros*).

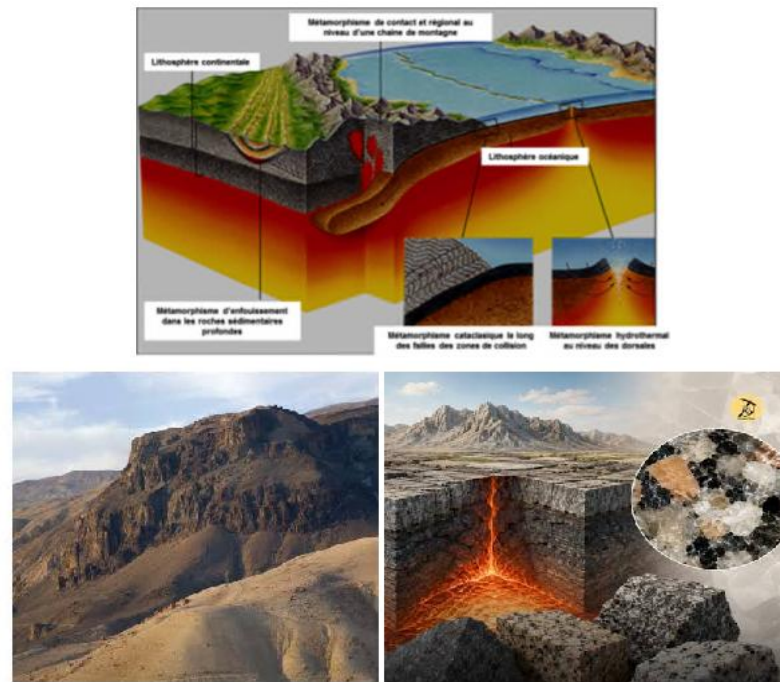


Fig.III.5 : Schéma d'un volcan et d'une chambre magmatique montrant la différence de niveau de refroidissement entre roches plutoniques (profondeur) et volcaniques (surface)

Classification des roches ignées

Pour nommer précisément les roches magmatiques, l'Union Internationale des Sciences Géologiques (IUGS) utilise la proportion de trois minéraux cardinaux : le **Quartz (Q)**, les **Feldspaths alcalins (A)**, et les **Plagioclases (P)**, reportés sur un double triangle de classification appelé **Diagramme de Streckeisen**.

➤ Les roches métamorphiques

Le métamorphisme (du grec *meta* = changement, et *morphé* = forme) correspond à la **transformation à l'état solide** (sans aucune fusion) d'une roche préexistante. Cette transformation structurelle et minéralogique se produit lorsque la roche est soumise à des conditions de température (T) et de pression (P) très différentes de son milieu d'origine.

Le métamorphisme peut modifier toutes les catégories de roches :

- Une roche sédimentaire de départ devient une roche **paramétamorphique**.
- Une roche magmatique de départ devient une roche **orthométamorphique**.
- Une roche métamorphique retravaillée devient une roche **polymétamorphique**.

Les Limites Physiques du métamorphisme :

- **Limite Inférieure** : Elle commence à une température d'environ **200°C** et une pression de **300MPa** (3kb). En dessous, on se trouve dans le domaine de la diagenèse sédimentaire.
- **Limite Supérieure** : Elle s'arrête dès que la roche subit une fusion partielle, appelée **anatexie**. Dès que le liquide apparaît, on entre à nouveau dans le domaine des roches magmatiques.

Notion de Degré ou Grade Métamorphique

Le "grade" caractérise l'intensité des conditions de température et de pression subies par la roche. On distingue :

- **Métamorphisme de faible degré** : Températures basses (200° à 320°C) et pressions modérées. Les minéraux marqueurs sont les argiles, la serpentine et le chlorite.
- **Métamorphisme de degré élevé** : Températures fortes (> 320°C) et pressions intenses. Les minéraux index sont la muscovite, la biotite, les pyroxènes et les grenats.

On parle de **métamorphisme prograde** quand la roche s'enfonce et enregistre une hausse de P et T. À l'inverse, si la roche remonte vers la surface, elle subit un **métamorphisme rétrograde** (ou rétro-métamorphisme).

Les quatre facteurs du métamorphisme

1. **La Température (T)** : C'est le facteur majeur. Elle augmente naturellement avec la profondeur suivant le **gradient géothermique** (en moyenne 30°C par kilomètre de profondeur).
2. **La Pression (P)** : On sépare la *pression lithostatique* (liée au poids vertical des roches, s'exerçant de manière uniforme) et la *pression orientée ou contrainte tectonique* (forces horizontales liées aux chocs entre plaques tectoniques). La pression orientée force les

minéraux à s'aligner parallèlement, créant une structure feuilletée appelée **schistosité** ou **foliation**.

3. **Les Fluides** : L'eau (H₂O) et le gaz (CO₂) piégés dans les pores agissent comme des catalyseurs indispensables aux échanges chimiques.
4. **Le Temps** : Les transformations minérales globales nécessitent des millions d'années pour s'accomplir à l'échelle de la croûte.

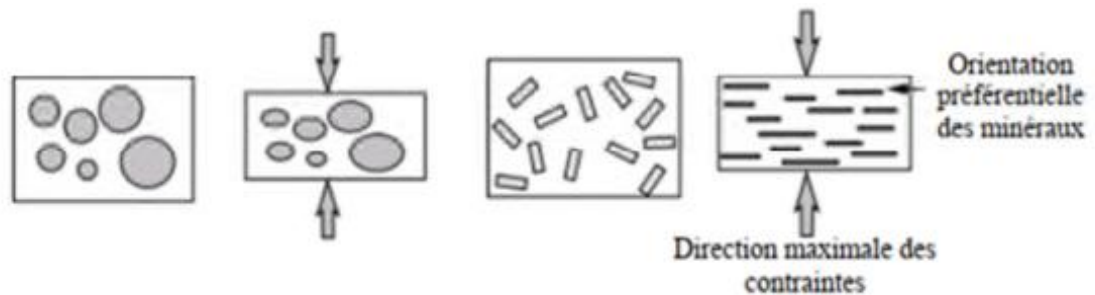


Fig. III.6 : Schéma montrant le comportement des minéraux sous une pression lithostatique (uniforme) versus une pression orientée (tectonique créant la schistosité)



Fig.III.7. La structure des roches métamorphiques.

Les différents types géodynamiques de métamorphisme

Il existe plusieurs grands environnements métamorphiques :

- **Le métamorphisme régional (ou général)** : Il se déploie sur des surfaces gigantesques lors de la formation des chaînes de montagnes. Les roches y subissent de très fortes

pressions et températures, ce qui leur donne une déformation et une orientation minérale systématiques (*Schistes, micaschistes, gneiss*).

- **Le métamorphisme de contact (ou thermique) :** Il se développe de façon très localisée autour des montées de magmas chauds (plutons). Ici, seule la température extrême agit. La roche encaissante est "cuite" sans être déformée, créant une zone appelée **auréole métamorphique** faite de roches très dures et massives : les **cornéennes**.
- **Le métamorphisme cataclastique (ou dynamique) :** Limité à l'espace des grandes failles cassantes. Les roches y sont broyées par les frictions mécaniques violentes, générant des *brèches tectoniques* et des *mylonites*.
- **Le métamorphisme hydrothermal :** Lié à la circulation d'eaux brûlantes dans les zones volcaniques, modifiant la composition chimique des roches par apport d'ions (phénomène de **métasomatose**).
- **Le métamorphisme d'enfouissement :** Se produit à la base des bassins sédimentaires profonds ($T > 300^{\circ}\text{C}$ sans forces orientées), caractérisé par la naissance de minéraux appelés **zéolithes**.
- **Le métamorphisme d'impact (ou de choc) :** Provoqué par la collision de grosses météorites, générant des pressions instantanées folles, donnant des **impactites** riches en *quartz choqués* ou en *coésite*.

Classification des roches métamorphiques

Pour le travail de terrain ou de laboratoire, les scientifiques retiennent une classification simple basée sur un critère visuel majeur : la présence ou l'absence d'orientation des cristaux.

Les roches orientées (ou foliées)

Elles montrent une organisation géométrique directionnelle de leurs grains. On les classe directement selon le grade (l'intensité) du métamorphisme : plus le grade augmente, plus la taille des cristaux grandit.

- **La Schistosité :** Feuilletage très serré en plans parallèles. La roche se débite facilement en plaques fines.
- **La Foliation :** Structure plus évoluée où les minéraux se séparent par affinité chimique. On observe une alternance de bandes claires (quartz, feldspaths) et de bandes sombres (micas).

Tableau III.2 : Classification des roches orientées (foliées)

Intensité / Grade	Conditions Thermiques	Nom de la Roche	Caractéristiques d'identification
Grade Faible	Conditions 200 à 300°C	Ardoise	Cristaux invisibles à l'œil nu. Teinte sombre, clivage parfait en dalles fines. Issue d'argiles sédimentaires.
Grade Moyen	Conditions 300 à 450°C	Schiste (ou <i>Micaschiste</i>)	Cristaux de micas visibles de taille moyenne donnant un aspect brillant. Issue d'ardoises ou de basaltes.
Grade Élevé	Conditions Supérieures à 450°C	Gneiss	Grains grossiers. Foliation nette en rubans alternés clairs/sombres parfois plissés. Issue de schistes ou de granites.

Les roches non orientées

Ces roches ne montrent aucun alignement préférentiel de leurs composants. Elles sont classées directement selon leur composition chimique, laquelle découle de la nature de la roche mère d'origine, appelée le **protolithe**.

Tableau III.3 : Classification des roches non orientées (massives)

Nom de la Roche	Minéral Dominant	Caractéristiques macroscopiques	Origine / Protolithe
Marbre	Calcite (CaCO ₃) ou Dolomie	Roche cristalline dure à gros grains engrenés. Facilement rayable à l'acier.	Cuisson et recristallisation de calcaires .
Quartzite	Quartz (SiO ₂)	Roche massive extrêmement dure et résistante, aspect vitreux.	Soudure thermique des grains de quartz d'un grès .
Anthracite	Carbone cristallin (C)	Roche noire, très dure, légère et d'aspect noir brillant.	Stade métamorphique ultime de la matière organique (charbons).

Références Bibliographiques

- **Ait Malek, H., & El Bchari, F. (2020).** *Initiation aux cartes et aux coupes géologiques.* Université Cadi Ayyad, Marrakech.
- **Belhadad, F. (2010).** *Travaux pratiques de géologie : cartes et coupes topographiques, notions de base.* Guide de TP, Université Mohammed V – Agdal, Rabat.
- **Bengamra, S. (2016).** *Travaux pratiques de Géologie : Cartographie géologique.* École Nationale des Sciences Appliquées (ENSA), Université Mohammed Premier, Al Hoceima.
- **Boulvain, F. (2021).** *Une introduction aux cartes et coupes géologiques.* Faculté des Sciences, Université de Liège, 68 p.
- **Denis, E. (2018).** *Initiation à la carte géologique : méthodes et exercices.* 4ème édition, Éditions Dunod, Paris, 142 p.
- **Djerrab, R. (2023).** *TD Géologie L1 : La carte et le profil topographique.* Support de cours, Université 8 Mai 1945, Guelma.
- **Foucault, A., & Raoult, J. F. (2001).** *Dictionnaire de Géologie.* 5ème édition, Éditions Dunod, Paris, 374 p.
- **Foucault, A., & Raoult, J. F. (2020).** *Dictionnaire de Géologie.* 9ème édition, Éditions Dunod, Paris, 448 p.
- **Mercier, J., & Vergely, P. (1999).** *Tectonique : Exercices et éléments de cartographie.* Enseignement des Sciences de la Terre, Éditions Dunod, Paris, 192 p.
- **Sorel, D., & Vergely, P. (2014).** *Initiation à la cartographie géologique.* 3ème édition, Éditions Dunod, Paris, 120 p.

Sites Web

- **Aix-Marseille Université (AMUpod).** *Cartographie géologique - Chapitre 1 : Qu'est-ce qu'une carte géologique ?* Disponible sur : <https://amupod.univ-amu.fr/video/2224-cartographie-geologique-chapitre-1-quest-ce-quune-cartegeologique/>
- **Éditions Dunod.** *Présentation du Dictionnaire de Géologie (5000 définitions, schémas et photos).* Disponible sur : <https://www.dunod.com/>
- **GeologieRessources.** *Méthodologie de construction des coupes géologiques (Tutoriels pratiques).* [Vidéos en ligne]. Disponibles sur :
 - https://www.youtube.com/watch?v=_fj_rY5A3iQ
 - <https://www.youtube.com/watch?v=vWKOryuVMzw>