



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers



Manuel des Travaux Pratiques en Pétrographie **Reconnaissance Macroscopique des Roches** (1^{ère} année de Licence)

Dr. MAHBOUBI Chikh Younes

Maitre de Conférences B

Université Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté de sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Géologie

Email : mahboubi_32@hotmail.com



Année universitaire : 2023/2024

Première version

TABLE DES MATIERES

Avant-propos	4
I- Objectif des séances de travaux pratiques en pétrographie.....	5
II- Prérequis essentiels pour toute description pétrographique.....	6
III-Description systématique d'un macro-échantillon de roche.....	6
Chapitre I : Les minéraux	7
1. Les minéraux.....	8
2. Les cristaux.....	8
3. Critères macroscopique de reconnaissance des minéraux	11
3.1. La densité.....	11
3.2. La couleur.....	11
3.3. La couleur de la trace (le trait).....	11
3.4.	
L'éclat.....	12
3.5. L'éclat métallique.....	12
3.6. La transparence.....	12
3.7. La dureté.....	13
4. Nomenclature des Minéraux.....	14
5. Classification des minéraux.....	15
Chapitre II : Les roches magmatiques	19
1. Définition.....	20
2. Le magma.....	21
3. La classification des roches magmatiques.....	21
3.1. La classification granulométrique.....	21
3.2. La Classification en fonction de la couleur.....	25
3.3. Classification en fonction de la chimie.....	26
3.4.La classification en fonction de la composition minéralogique : la classification modale (exemple : STRECKEISEN, 1974).....	28
3.5.La classification chimique (exemple du diagramme TAS).....	30
4. Importance économique des roches volcaniques.....	33

5. Exercice.....	33
Chapitre III : Les roches sédimentaires.....	35
1. Définition.....	36
2. Source et genèse des roches sédimentaires.....	36
2.1. L'altération.....	37
2.2. Érosion.....	40
2.3. Transport.....	42
2.4. Dépôt (sédimentation).....	43
2.5. Diagenèse.....	43
3. Classification des roches sédimentaires.....	45
3.1. La roche détritique.....	45
3.2. Les roches carbonatées.....	48
3.3. Les roches siliceuses.....	50
3.4. Les roches évaporitiques.....	52
3.5. Les roches ferrifères et phosphatées.....	53
4. Importance économique des roches sédimentaire.....	55
Chapitre IV : Les roches métamorphiques	56
1. Aperçu historique.....	57
2. Définition.....	57
3. Types de roches affectées par le métamorphisme.....	57
4. Limites du métamorphisme.....	58
5. Degrés du Métamorphisme (Grade).....	58
6. Les Facteurs du Métamorphisme.....	59
7. Les types de Métamorphisme.....	60
8. Classification des Roches Métamorphiques.....	63
9. Importance économique des roches métamorphiques.....	64
Références bibliographiques.....	66
Liste des figures.....	67
Liste des tableaux.....	68

AVANT PROPOS

I- Objectif des séances de travaux pratiques en pétrographie :

L'objectif principal de ces séances de travaux pratiques est de familiariser les étudiants avec l'identification macroscopique des roches principales.

Reconnaissance Macroscopique des Roches :

- **Identification Visuelle** : Les étudiants apprendront à identifier les roches en se basant sur des critères visuels tels que la **texture** et la **couleur**.
- **Observation Directe** : L'utilisation de critères macroscopiques permet d'éviter l'emploi de microscopes pour les premières observations, rendant l'analyse plus pratique et accessible.

Première Approche de la Pétrographie :

- **Contact Initial** : Les étudiants auront un premier contact avec les roches et la science de la pétrographie, limité à l'observation des caractéristiques macroscopiques.
- **Description Normalisée** : Ils seront formés à observer et à décrire les échantillons de roches selon une méthode standardisée, en se concentrant sur les propriétés visibles et tangibles.

Interprétation et Classification :

- **Analyse et Conclusion** : Sur la base de leurs descriptions, les étudiants apprendront à tirer des conclusions sur l'origine et le processus de formation des roches.
- **Dénomination Descriptive** : Ils seront également capables de nommer les échantillons de manière descriptive, reflétant leur origine et leur composition.

Importance de la Description Macroscopique :

- **Prérequis Essentiel** : Bien que la description macroscopique ne soit pas suffisante pour nommer définitivement une roche, elle est une étape essentielle dans le processus d'identification.

- **Nom Provisionnel** : Les géologues expérimentés peuvent proposer un nom pour la roche sur la base d'une description macroscopique, mais ce nom doit être considéré comme provisoire et suivi d'un point d'interrogation pour indiquer l'incertitude.

II- Prérequis essentiels pour toute description pétrographique :

Avant de commencer toute description pétrographique, il est crucial de comprendre que tenir un fragment de roche ne signifie pas nécessairement qu'il s'agit d'un échantillon scientifiquement valide. Pour qu'un fragment soit considéré comme un échantillon de roche, il doit répondre à une série de critères stricts, établis en fonction des objectifs de l'étude. Voici une liste détaillée et organisée des prérequis pour un échantillon de roche :

- **Intégrité** : L'échantillon doit être frais et non altéré, à moins que l'altération ne soit l'objet de l'étude.
- **Pureté** : Il doit être exempt de contamination par des éléments étrangers, qu'ils soient naturels (comme l'érosion) ou anthropiques.
- **Représentativité** : L'échantillon doit incarner l'ensemble des caractéristiques de la roche étudiée.
- **Quantité** : Il doit être disponible en quantité suffisante pour permettre une analyse approfondie.
- **Adaptabilité** : Il doit être approprié aux types d'analyses prévues.
- **Localisation** : Chaque échantillon doit être clairement localisé, tant géographiquement que géologiquement.
- **Contexte** : Il doit être accompagné d'une description détaillée de la roche in situ et de son contexte géologique.
- **Orientation** : L'échantillon doit être orienté par rapport aux structures lithologiques et tectoniques.
- **Identification** : Il doit être numéroté et correctement protégé dans son emballage pour assurer sa conservation.

III-Description systématique d'un macro-échantillon de roche :

Critère	Description
Aspect	Massif ou vacuolaire (présence de vacuoles ou vides)
Couleur	Définie en fonction de la proportion des minéraux présents dans la roche. Observation importante pour identifier l'origine et la composition de la roche.
Taille du grain	Indicateur des conditions de formation et de la classification des roches.
Composition	Identification des constituants de la roche e (cristaux, débris de roches, fossiles ou vacuoles), avec des observations sur leur apparence et leurs propriétés.
Forme des grains et cristaux	Informations sur le transport des éléments pour les roches sédimentaires, et sur les conditions et l'ordre de cristallisation pour les roches magmatiques.
Texture	Mode d'agencement des minéraux dans la roche, dépendant du type, de l'origine et du mode de formation de la roche.
Structure	Structures particulières qui définissent certaines familles de roches, surtout présentes dans les roches métamorphiques.
composition minéralogique	Elle consiste à citer les minéraux qui composent la roche. Certains minéraux sont reconnaissables à l'oeil nu (quartz, feldspaths, mica, ...).
Test de la dureté	Évaluation de la dureté des constituants de la roche en comparaison avec une échelle de référence (échelle de Mohs).
Test de mesure de la densité	Estimation de la densité de la roche en comparaison avec des roches de référence ou mesure directe au laboratoire.
Test à l'acide chlorhydrique	Détection de réactions spécifiques de certains minéraux à l'acide chlorhydrique, utile pour identifier les roches sédimentaires.

CHAPITRE I

Les minéraux

1. Les minéraux :

Les minéraux sont des substances solides et inorganiques d'origine naturelle. Ils possèdent une structure atomique ordonnée, ce qui leur confère des propriétés physiques et chimiques spécifiques. Un minéral est normalement formé naturellement, bien qu'il puisse aussi être synthétisé artificiellement. Il est défini par sa composition chimique et l'agencement périodique et symétrique de ses atomes, reflété dans son système cristallin.

La minéralogie est la science qui étudie ces substances, leurs propriétés, leur classification, et leur rôle dans la composition des roches. Les minéraux sont classés selon leur composition chimique et leur structure cristalline. Par exemple, la classification de *Strunz* organise les minéraux en groupes basés sur leur composition chimique et la classification de Dana utilise à la fois la composition chimique et la structure cristalline pour classer les minéraux.

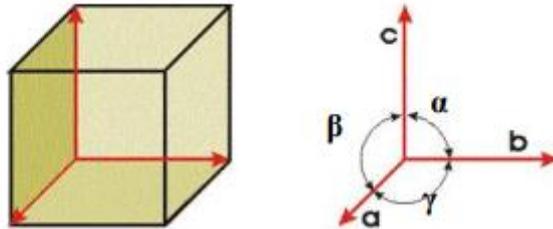
2. Les cristaux :

La science qui étudie les cristaux s'appelle : **la cristallographie**

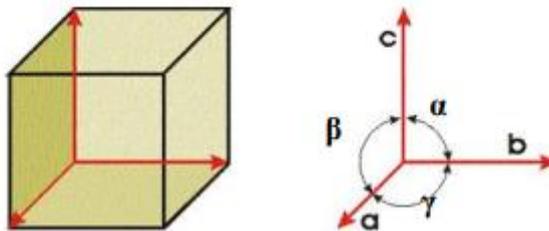
Les cristaux sont classés selon les paramètres de la maille élémentaire du cristal (polyèdre fondamental) qui représente le plus petit parallélépipède qui conserve les propriétés géométriques, physiques et chimiques d'un cristal. On appelle ainsi l'ensemble des trois côtés a , b et c du parallélépipède et des trois angles α , β et γ , situés entre ces trois côtés.

On distingue 7 systèmes cristallins :

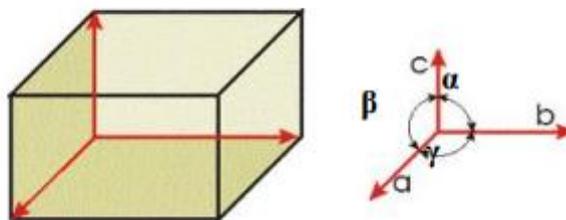
- Le système **cubique** : $a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



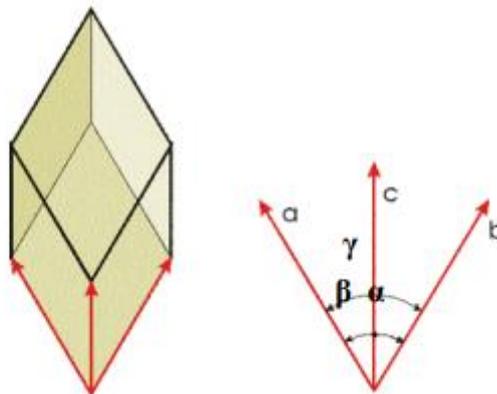
- Le système **quadratique** : $a = b \neq c$; $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$



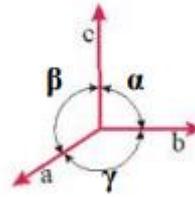
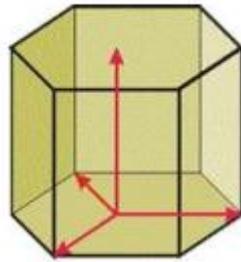
- Le système **orthorhombique** : $a \neq b \neq c$; $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$



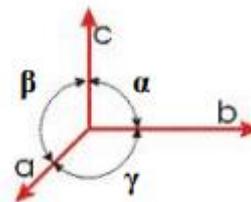
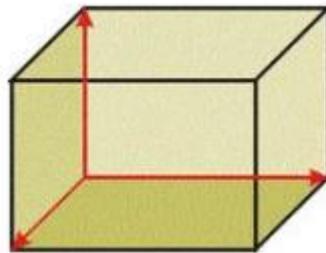
- Le système **rhomboédrique** : $a = b = c$; $\alpha < 120^\circ$; $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$



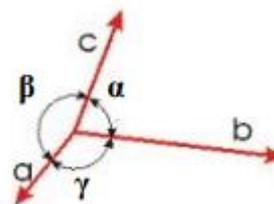
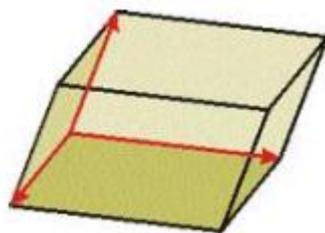
- Le système **hexagonal** : $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = 90^\circ$; $\gamma = 120^\circ$



- Le système **monoclinique** : $a \neq b \neq c$; $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$



- Le système **triclinique** : $a \neq b \neq c$; $\alpha \neq \beta \neq \gamma$



3. Critères macroscopiques de reconnaissance des minéraux :

3.1. La densité :

La densité : La densité constitue un paramètre essentiel dans l'identification des minéraux. Ces derniers se classent en plusieurs catégories selon leur densité : les *minéraux légers* présentent une densité entre 1 et 2, les *minéraux moyennement lourds* affichent une densité de 2 à 4, les *minéraux lourds* se situent entre 4 et 6, et les *minéraux très lourds* ont une densité qui excède 6. Les métaux détiennent les densités les plus élevées, avec l'or estimé entre 15 et 16 et le platine entre 14 et 20. Toutefois, la densité de la majorité des minéraux se trouve dans la fourchette de 2 à 4.

3.2. La couleur

En 2024, l'identification des minéraux a été révolutionnée par l'intégration de nouvelles technologies d'intelligence artificielle et de méthodes de caractérisation avancées. La couleur reste un indicateur précieux pour certains minéraux, mais les avancées récentes permettent une analyse plus nuancée et précise. Par exemple, l'**olivine**, avec sa couleur verte emblématique, peut désormais être étudiée en profondeur grâce à des techniques telles que la *tomographie par ordinateur (CT)*, la *diffraction des rayons X et des neutrons*, et la *microscopie électronique*. Ces méthodes offrent une compréhension plus détaillée de la structure microscopique et des propriétés des minéraux, allant au-delà de la simple observation visuelle pour inclure des données sur la composition chimique et la cristallographie. Ainsi, bien que la couleur puisse fournir des indices initiaux, c'est l'association de ces techniques de pointe qui permet aujourd'hui une identification plus complète et fiable des minéraux.

3.3. La couleur de la trace (le trait) :

La couleur de la trace, également connue sous le nom de *couleur de la poudre* ou *couleur du trait*, est un critère distinctif en minéralogie. Elle désigne la couleur laissée par la poudre d'un minéral lorsqu'il est frotté contre une surface blanche non émaillée, comme une plaque de porcelaine. Cette caractéristique peut révéler des informations précieuses, car la couleur de la poudre d'un minéral peut différer significativement de sa couleur apparente. Par exemple, la *pyrite (FeS₂)*, bien qu'elle présente une couleur jaune métallique, produit une trace de

couleur *noir verdâtre* lorsqu'elle est frottée, ce qui aide à la distinguer d'autres minéraux de couleur similaire. Cette méthode est particulièrement utile pour identifier les minéraux aux couleurs variées ou ceux qui peuvent changer de couleur en raison de l'altération de surface ou de l'inclusion d'impuretés.

3.4. L'éclat :

L'éclat d'un minéral est un critère déterminant qui reflète la manière dont sa surface interagit avec la lumière. Il est défini par le rapport entre la quantité de lumière réfléchie et la quantité de lumière reçue. En minéralogie, l'éclat est souvent classé en plusieurs catégories distinctes, telles que **métallique**, **vitreux**, **adamantin**, **résineux**, **soyeux**, et **terreux**.

Par exemple, des minéraux opaques comme l'or ou la pyrite présentent souvent un éclat métallique, renvoyant presque intégralement la lumière, semblable à des miroirs. À l'inverse, des minéraux comme les argiles sont opaques mais ont un éclat terne. L'éclat le plus commun dans le monde minéral est l'éclat vitreux, que l'on retrouve chez des minéraux transparents à translucides tels que le quartz et la calcite.

Les minéraux les plus brillants, comme le diamant, sont qualifiés d'adamantins en raison de leur transparence et de leur densité élevée, qui permettent à la lumière de se propager de manière optimale à travers eux. D'autres types d'éclats incluent les éclats gras, perlés, résineux, satinés et chatoyants, chacun apportant des indices supplémentaires sur la composition et la structure du minéral.

3.5. L'éclat métallique : fort éclat des métaux (or, cuivre, argent)

- l'éclat vitreux : c'est un éclat qui rappelle le verre (le quartz)
- l'éclat gras : la surface du minéral semble induite d'une couche d'huile
- l'éclat terreux : minéral qui n'a pas d'éclat (ils ont une apparence terreuse). *Exemple* : certaines argiles.

3.6. La transparence :

C'est la propriété des minéraux de laisser passer la lumière. D'après le degré de transparence, on distingue :

- Minéraux transparents : on peut voir clairement un objet à travers et on peut lire l'écriture au travers du minéral.
- Minéraux translucides : le minéral est traversé par la lumière même sous une forte épaisseur, sans que l'on puisse toutefois distinguer un objet à travers.
- Minéraux non transparents et minéraux opaques : ne laissent pas passer la lumière.

3.7. La dureté

La dureté des minéraux est une propriété qui mesure leur résistance à être rayés. Elle est souvent évaluée à l'aide de *l'échelle de Mohs*, qui classe les minéraux sur une échelle de 1 (très tendre) à 10 (très dur). Sur cette échelle, le talc a une dureté de 1, ce qui signifie qu'il est très tendre, tandis que le diamant est à 10, indiquant qu'il est extrêmement dur.

Pour déterminer la dureté d'un minéral, on utilise généralement un test simple qui consiste à essayer de rayer le minéral avec un objet de référence connu ou un autre minéral de dureté connue. Si le minéral en question est rayé, cela signifie que sa dureté est inférieure à celle de l'objet utilisé pour le test.

En 2024, les avancées dans le domaine de la minéralogie ont peut-être introduit de nouvelles méthodes pour mesurer la dureté des minéraux avec plus de précision, en tenant compte de la variabilité de cette propriété sur différentes faces cristallines ou en utilisant des techniques de caractérisation plus sophistiquées. Cela permettrait une identification plus précise des minéraux et une meilleure compréhension de leurs propriétés physiques.

Dureté	Minéral	Test	Dureté Rosiwal
1	Talc 	Très friable sous l'ongle	0,03
2	Gypse 	Rayable avec l'ongle	1,25
3	Calcite 	Rayable par une pièce en cuivre	4,5
4	Fluorite 	Facilement rayable au couteau	5
5	Apatite 	Rayable au couteau	6,5
6	Orthose 	Rayable avec une lime	37
7	Quartz 	Raye le verre	120
8	Topaze 	Rayable par Carbure de tungstène	175
9	Corindon 	Rayable par Carbure de silicium	1000
10	Diamant 	Rayable par un autre Diamant	140000

ongles=2,5
pièce cuivre=3,5
canif=5,5
verre=6,5

Figure 1 : Échelle de dureté de Mohs : Classification des minéraux par résistance aux rayures

4. Nomenclature des Minéraux

La nomenclature des minéraux est un domaine fascinant qui reflète l'histoire, la chimie et la géographie. En 2024, il est possible que la tradition de nommer les minéraux se soit enrichie avec l'introduction de nouveaux minéraux et peut-être même de nouvelles règles de dénomination.

À ce jour, on recense environ *quatre mille espèces de minéraux*, parmi lesquels une trentaine revêt une importance particulière. Chaque année, la science minéralogique s'enrichit d'une dizaine de nouvelles espèces.

Si certains minéraux portent des noms hérités de l'Antiquité, la majorité adopte une terminaison en **-ite**, indiquant leur appartenance au genre féminin. Ces appellations sont souvent un hommage à un individu, une allusion à leur composition chimique, à des caractéristiques physiques notables ou à leur lieu de découverte.

Exemples illustratifs :

- **Albite [NaAlSi₃O₈]** : Dérivé du latin *albus* signifiant blanc, en référence à sa couleur.
- **Chromite (FeCr₂O₄)** : Ainsi nommée pour sa riche teneur en chrome.
- **Nadorite (PbSbO₂Cl)** : Baptisée d'après le Djebel Nador en Algérie, son lieu de découverte.
- **Sillimanite (Al₂SiO₅)** : En l'honneur du Professeur Benjamin Silliman de l'Université de Yale.

Avec l'avènement de nouvelles découvertes, la nomenclature minéralogique pourrait s'adapter pour inclure des critères supplémentaires tels que les propriétés optiques avancées, les structures cristallines complexes ou les applications industrielles inédites. Les systèmes de classification modernes pourraient également intégrer des outils numériques pour une mise à jour et un partage plus efficaces des connaissances.

5. Classification des minéraux

Dans la classification des minéraux, on établit une distinction fondamentale entre les **non-silicates** et les **silicates**. Les non-silicates ne contiennent pas de **silicium** et, bien qu'ils soient moins abondants dans la croûte terrestre, ils revêtent une grande importance économique. Cela s'explique par le fait que la plupart des métaux et éléments chimiques que nous utilisons sont extraits de ces minéraux. Les silicates, quant à eux, sont les minéraux les plus répandus et constituent une part majeure des roches de la croûte terrestre. Cependant, ils sont généralement moins valorisés du point de vue économique, à l'exception de certains minéraux utilisés dans l'industrie ou comme pierres précieuses.

Le principe de base de la classification des minéraux repose sur le regroupement des espèces minérales en classes selon la nature de leurs radicaux anioniques.

Voici les 8 classes principales :

1. **Éléments natifs** : Comprend les métaux purs, les alliages et certains non-métaux l'or (Au), le diamant (C), le platine (Pt).
2. **Sulfures** : Comprend les minéraux composés de sulfure ; exemples : galène PbS, blende ZnS, pyrite FeS₂.
3. **Halogénures** : Minéraux formés par des halogènes comme le fluor, le chlore, l'iode.

4. **Oxydes et hydroxydes** : Minéraux où l'oxygène ou l'hydroxyle est lié à un métal
exemples : magnétite Fe_3O_4 , hématite Fe_2O_3 . Les hydroxydes contiennent le radical OH^- ; exemple : gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$.
5. **Carbonates** : Minéraux contiennent le radical $(\text{CO}_3)^{2-}$, exemple : calcite CaCO_3 .
6. **Sulfates** : Minéraux contiennent le radical $(\text{SO}_4)^{2-}$; exemple : barytine BaSO_4 .
7. **Phosphates** : les phosphates contiennent le radical $(\text{PO}_4)^{3-}$; exemple : l'apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$.
8. **Silicates** : La classe la plus large, comprenant les minéraux contenant des groupes silicates. Les silicates sont des minéraux caractérisés par le tétraèdre $(\text{SiO}_4)^{4-}$ comportant un atome Si au centre, et des atomes O aux quatre sommets

8.1. Les néosilicates :

Les néosilicates ou silicates insulaires, sont une catégorie de minéraux dans laquelle les tétraèdres de silice (SiO_4) sont isolés et ne partagent aucun oxygène avec d'autres tétraèdres, ce qui leur confère une structure cristalline distincte. Chaque tétraèdre est lié aux cations environnants, tels que le magnésium, le fer ou le zinc, pour maintenir l'équilibre de la structure. Parmi les néosilicates les plus connus, on trouve **les olivines, les grenats, et le zircon**

8.2. Les sorosilicates :

Ce sont un groupe de minéraux appartenant à la grande famille des silicates. Ils se caractérisent par des tétraèdres de silice $([\text{SiO}_4])$ qui sont groupés par deux, partageant un oxygène commun, formant ainsi des groupes $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$. Parmi les sorosilicates, on trouve des minéraux tels que les épidotes et les idocrases (vésuvianite), qui sont importants pour la compréhension des phénomènes métamorphiques et pour leur utilisation dans diverses applications industrielles.

8.3 : Les cyclosilicates :

Également connus sous le nom de silicates annulaires, sont une classe de minéraux silicatés caractérisée par leur structure cristalline unique en forme d'anneaux. Les tétraèdres sont disposés en anneaux et suivant que ceux-ci possèdent trois $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$, quatre $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$ ou six

tétraèdres $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$. Parmi les cyclosilicates, on trouve des minéraux tels que le **béryl**, l'**émeraude**, et la **tourmaline**.

8.4. Les inosilicates :

Les inosilicates, les tétraèdres sont disposés en chaînes. Chaque tétraèdre partage deux sommets avec ses voisins. On distingue :

- **Les tétraèdres à chaînes simples** : Dans les *chaînes simples*, chaque tétraèdre partage deux de ses atomes d'oxygène avec les tétraèdres voisins, formant une structure en chaîne linéaire. Les **pyroxènes** sont un exemple important de ce type d'inosilicate, avec des minéraux comme l'enstatite et l'augite qui sont des constituants essentiels des roches éruptives.
- **Les tétraèdres à chaînes doubles** : Ils se forment lorsque deux chaînes simples partagent certains de leurs atomes d'oxygène, créant ainsi un ruban. Les **amphiboles** sont des inosilicates à chaîne double, avec des minéraux comme l'amiante et la hornblende, qui jouent un rôle crucial dans les roches métamorphiques et éruptives.

8.5. Les phyllosilicates :

Les phyllosilicates dont les tétraèdres sont disposés en feuillets. Ils mettent en commun trois oxygènes. La formule de base est $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ ou $(\text{Si}_4\text{O}_{10})^{4-}$.

L'exemple le plus important de phyllosilicates est la famille des micas. Il s'agit de silicates hydratés, plus ou moins alumineux et presque toujours potassiques, qui contiennent en proportion variable du fer et du magnésium.

8.6. Les tectosilicates :

Les tectosilicates dont les tétraèdres sont liés entre eux par leurs sommets (fig.21). La formule de base est SiO_2 ou Si_4O_8 . Les tectosilicates sont également connus pour leur résistance et leur durabilité, ce qui les rend utiles dans la fabrication de matériaux de construction, de céramiques et de verre. De plus, certains tectosilicates, comme le quartz, sont valorisés pour leur beauté et leur utilisation en joaillerie.

MINÉRAUX DES ROCHES

Familles des silicates

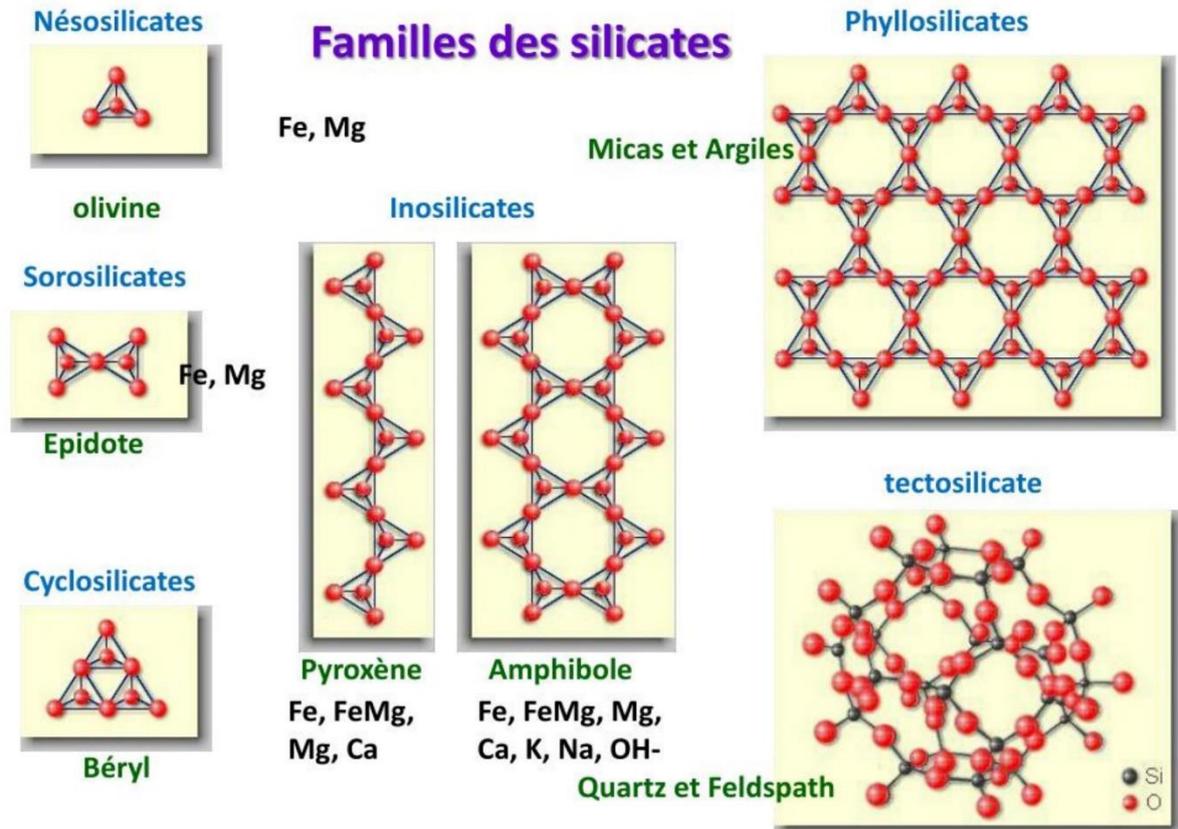


Figure 2 : Structure des silicates : Variations des arrangements des tétraèdres dans les nésosilicates, inosilicates, phyllosilicates et tectosilicates

CHAPITRE II

Les roches magmatiques

1. Définition :

Les roches magmatiques, également connues sous le nom de roches ignées ou éruptives, sont des roches formées par le refroidissement et la solidification du magma. Ce processus peut se produire soit en profondeur, soit à la surface de la Terre, conduisant à deux catégories principales :

- **Roches plutoniques (ou intrusives)** : Elles se forment lorsque le magma refroidit lentement en profondeur, ce qui permet une cristallisation relativement bien définie. Les roches plutoniques sont souvent grenues et comprennent des roches comme le granite.
- **Roches volcaniques (ou extrusives)** : Ces roches se forment lorsque le magma refroidit rapidement à la surface de la Terre, souvent au contact de l'air ou de l'eau. Les roches volcaniques ont généralement une structure microlithique avec des textures variées et peuvent inclure des roches comme le basalte.

Le granite représente environ 95 % des roches plutoniques, tandis que le basalte constitue environ 90 % des roches volcaniques. Ces roches constituent la majorité des roches continentales et océaniques et sont essentielles pour comprendre la structure et l'évolution de la croûte terrestre.



Figure 3 : Roches magmatiques : Différences entre les roches plutoniques (intrusives) et volcaniques (extrusives)

2. Le Magma :

Le magma est un matériau géologique constitué d'un mélange de roche en fusion, de cristaux et de gaz dissous. Il se forme sous la surface de la Terre, dans la croûte ou le manteau, à des températures très élevées et sous une forte pression. Lorsque le magma remonte vers la surface, il peut entraîner des éruptions volcaniques, formant ainsi des roches magmatiques lorsqu'il refroidit et se solidifie. Voici quelques points clés sur le magma :

- **Origine** : Il provient de la fusion partielle des roches dans la croûte ou le manteau terrestre.
- **Composition** : Le magma peut varier en composition, mais il est généralement riche en silicates et peut contenir des éléments comme l'aluminium, le fer, le calcium, le sodium et le potassium.
- **Viscosité** : La viscosité du magma dépend de sa température, de sa composition et de sa teneur en gaz dissous. Les magmas riches en silice sont généralement plus visqueux.
- **Évolution** : En remontant vers la surface, le magma peut subir des transformations, comme la cristallisation de certains minéraux ou la libération de gaz dissous.

3. La classification des roches magmatiques :

Les roches magmatiques peuvent être classées selon des critères granulométriques, minéralogiques ou chimiques.

3.1. La classification granulométrique :

3.1.1. La texture grenue (en grains) :

Ce sont des roches à refroidissement lent, formées en profondeur (roches plutoniques + roches mantelliques). Elle caractérise une roche holocristalline (entièrement cristallisée) dont les minéraux sont visibles à l'œil nu (phénocristaux). Elle caractérise aussi les roches formées en profondeur (exemples : gabbro dans la croûte océanique, granite dans la croûte continentale), par refroidissement lent, ce qui a permis aux cristaux de croître raisonnablement.

Les roches magmatiques à texture grenue sont appelées **roches plutoniques** (roches intrusives). Ce terme vient du mot pluton, qui désigne le gisement des roches plutonique sous forme de grosses masses s'intrudant dans la croûte lors de leur formation.

- Les roches à très gros grains $\Theta > 3 \text{ cm}$ pegmatites.
- Les roches à gros grains $1 \text{ cm} < \Theta < 3 \text{ cm}$.
- Les roches à grains moyens $1 \text{ mm} < \Theta < 1 \text{ cm}$.
- Les roches à grains fins $\Theta < 1 \text{ mm}$ aplites.



Granite



Texture grenue

Figure 4 : Classification granulométrique : La texture grenue

3.1.2. La texture microgrenue :

Ce sont des roches à refroidissement plutôt lent (roches filoniennes). La texture microgrenue caractérise une roche holocristalline (entièrement cristallisée) dont une partie des minéraux sont ne sont pas visibles à l'œil nu (microcristaux), constituant une pâte. Il peut y avoir ou non des phénocristaux (visibles à l'œil nu). Elle caractérise les roches formées à une profondeur moyenne (exemple : microgranite dans la croûte continentale), par refroidissement plutôt lent, ce qui a permis aux cristaux de croître mais sans atteindre une taille visible à l'œil nu.

Les roches magmatiques à texture microgrenue sont appelées **roches microplutoniques** ou **roches filoniennes**. Leur mode de gisement est en effet souvent un filon, langue plate de quelques cm à dizaines de cm.

3.1.3. La texture microlitique :

Il s'agit des roches à refroidissement rapide, formées en surface (roches volcaniques) qui caractérise une roche hémicristalline (en partie cristallisée) présentant des cristaux visibles à l'œil nu (phénocristaux), des microcristaux souvent en bâtonnets visibles seulement au microscope (microlites) et une pâte non cristallisée (verre) dans laquelle les cristaux sont contenus. Elle caractérise les roches formées à une profondeur faible (exemples : basaltes dans la croûte océanique, andésites ou trachytes au niveau continental), par refroidissement rapide, ce qui explique qu'une partie de la pâte n'ait pas eu le temps de former des cristaux. Les roches magmatiques à texture microlitique sont appelées **roches volcaniques (roches effusives)**. Elles sont en effet émises sous forme de laves se solidifiant en surface par des édifices nommés volcans.

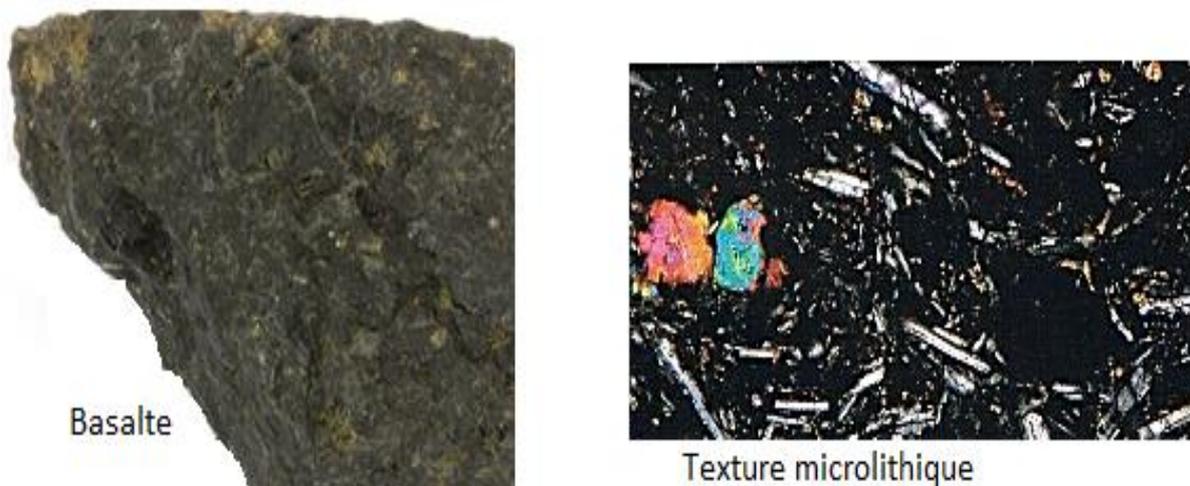


Figure 5 : Texture microlitique des roches volcaniques : Exemple des basaltes

Conseil :

01) :

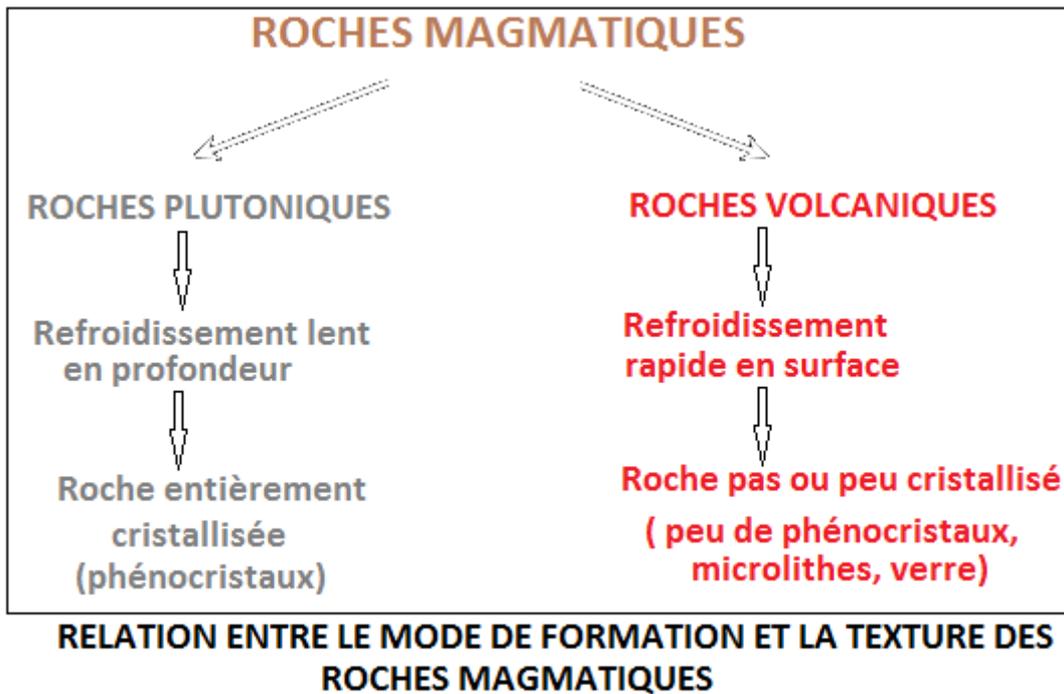


Figure 6 : relation entre le mode de formation et la texture des roches magmatiques

02) :

	MAGMA BASIQUE	MAGMA ACIDE
	Au niveau de la dorsale	Au niveau des zones de subduction
	Basalte Gabbro  	Andésite Granite  
Observation à l'œil nu		
Observation au microscope	 texture microlithique (roche volcanique)	 texture grenue (roche plutonique)
	 texture microlithique (roche volcanique)	 texture microlithique (roche plutonique)

Figure 7 : Différence entre magma basique et acide à l'œil nu et en microscope

3.2. La Classification en fonction de la couleur :

Les minéraux clairs comprennent généralement le quartz, les plagioclases et les feldspaths alcalins, tandis que les minéraux sombres incluent l'olivine, le pyroxène, l'amphibole et la biotite. Les minéraux sombres sont souvent appelés minéraux ferromagnésiens en raison de leur teneur en fer et en magnésium, ce qui leur confère leur couleur caractéristique.

L'indice de couleur d'une roche magmatique est une mesure qui reflète la proportion de minéraux clairs par rapport aux minéraux sombres dans la roche. Voici les catégories basées sur l'indice de couleur :

- **Hololeucocrate** : 0 - 10% de minéraux ferromagnésiens
- **Leucocrate** : 10 - 35% de minéraux ferromagnésiens
- **Mésocrate** : 35 - 65% de minéraux ferromagnésiens
- **Mélanocrate** : 65 - 90% de minéraux ferromagnésiens
- **Holomélanocrate** : plus de 90% de minéraux ferromagnésiens

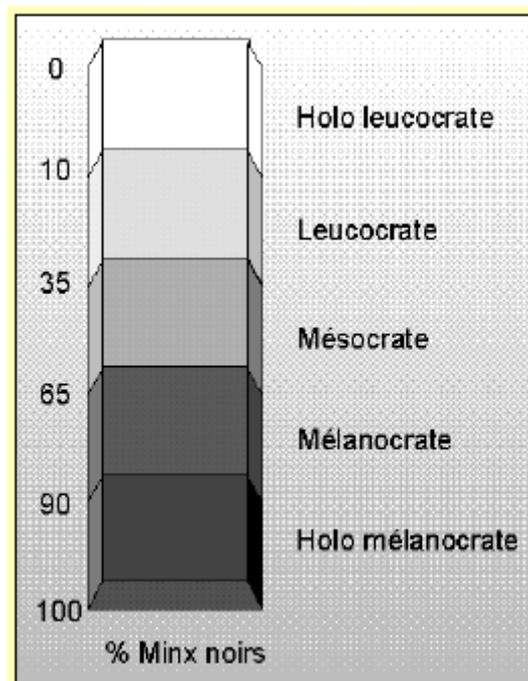


Figure 8 : Classification des roches magmatiques selon l'indice de couleur : Des hololeucocrates aux holomélanocrates

3.3. Classification en fonction de la chimie

3.3.1. Acidité de la roche : La classification des roches magmatiques en fonction de leur composition chimique est principalement basée sur la teneur en silice (SiO_2), qui est le constituant dominant de ces roches. Voici comment les roches magmatiques sont classifiées selon leur acidité, c'est-à-dire leur teneur en SiO_2 :

- **Roches ultrabasiques** : moins de 45% de SiO_2 cas des péridotites.
- **Roches basiques** : 45-52% de SiO_2 cas des basaltes.
- **Roches intermédiaires** : 52-65% de SiO_2 cas des andésites.
- **Roches acides** : plus de 63% de SiO_2 cas des granites

3.3.2. Saturation de la roche : La saturation en silice d'une roche magmatique est un concept qui décrit la disponibilité de la silice (SiO_2) pour former des minéraux spécifiques lors de la cristallisation du magma. Voici une explication détaillée de la saturation en SiO_2 :

- **Sursaturée en silice** : Lorsque la teneur en SiO_2 est **supérieure à 65%**, le magma a assez de silice pour former du quartz en plus des autres minéraux silicatés. Les roches qui en résultent sont dites sursaturées en silice et contiennent souvent du quartz visible.
- **Saturée en silice** : Si la teneur en SiO_2 se situe entre **45% et 65%**, le magma est juste assez riche en silice pour former des feldspaths sans produire de quartz libre. Ces roches sont considérées comme saturées en silice.
- **Sous-saturée en silice** : Lorsque la teneur en SiO_2 est **inférieure à 45%**, il n'y a pas assez de silice pour former du quartz ou même certains types de feldspaths. À la place, des minéraux pauvres en silice, comme les feldspathoïdes, se forment. Les roches issues de ce type de magma sont dites sous-saturées en silice.

La saturation en silice affecte non seulement les types de minéraux qui se forment mais aussi les propriétés physiques de la roche, comme sa couleur et sa densité. Par exemple, les roches sursaturées en silice tendent à être plus claires et moins denses que les roches sous-saturées. Cette classification est essentielle pour les géologues afin de comprendre l'histoire géologique et les processus de formation des roches magmatiques.

3.3.3. Teneur en alumine Al_2O_3 : La teneur en alumine (Al_2O_3) est un facteur clé dans la classification des roches magmatiques, car elle influence la minéralogie de la roche. Voici une explication détaillée des différents types de roches basées sur leur teneur en alumine :

- **Roches hyper-alumineuses** : Ces roches contiennent un excès d'alumine après la formation des feldspaths. Cela signifie que la quantité d' Al_2O_3 est suffisante pour former tous les feldspaths et qu'il reste encore de l'alumine disponible. Cette situation peut conduire à la formation de minéraux supplémentaires riches en aluminium, comme les micas.
- **Roches méta-alumineuses** : Elles présentent un équilibre entre l'alumine et les alcalins (CaO , Na_2O , K_2O), avec une formule générale $Al_2O_3 < (CaO + Na_2O + K_2O)$ et $Al_2O_3 > Na_2O + K_2O$. C'est le cas le plus courant pour les roches magmatiques, où l'alumine est principalement utilisée pour former des feldspaths.
- **Roches hypo-alumineuses** : Ces roches sont caractérisées par une sous-saturation en alumine, où la quantité d' Al_2O_3 est inférieure à celle des alcalins combinés ($Na_2O + K_2O$). Dans ce cas, il n'y a pas assez d'alumine pour former tous les feldspaths nécessaires, ce qui peut entraîner la formation de minéraux pauvres en aluminium ou la présence de feldspathoïdes.

3.3.4. Alcalinité de la roche : L'alcalinité d'une roche magmatique est déterminée par la relation entre les teneurs en sodium (Na) et potassium (K) par rapport au calcium (Ca). Voici les catégories basées sur cette relation :

- **Roches hyperalcalines** : La somme des teneurs en sodium et potassium est nettement supérieure à celle du calcium ($Na + K \gg Ca$). Ces roches sont souvent riches en feldspaths alcalins.
- **Roches alcalines** : La somme des teneurs en sodium et potassium est supérieure à celle du calcium ($Na + K > Ca$). Elles contiennent généralement une proportion significative de minéraux alcalins.
- **Roches calco-alcalines** : La somme des teneurs en sodium et potassium est approximativement égale à celle du calcium ($Na + K \sim Ca$). Ces roches sont typiques des zones de subduction et sont souvent associées à des arcs volcaniques.
- **Roches calco-sodiques ou calciques** : La somme des teneurs en sodium et potassium est inférieure à celle du calcium ($Na + K < Ca$). Ces roches peuvent être caractéristiques de certains environnements géologiques spécifiques.

3.6. La classification en fonction de la composition minéralogique : la classification modale (exemple : STRECKEISEN, 1974)

La Classification (de Streckeisen) et nomenclature des roches magmatiques plutoniques basée sur leur composition minéralogique modale (*Recommendations of the International Union of Geological Sciences*).

Les 2 triangles sont jointifs par la ligne A-P (feldspaths alcalins - plagioclase). Quartz (Q) et felspathoïde (F) se placent aux 2 sommets opposés : ainsi aucune roche ne peut contenir l'association Q-F.

On calcule la proportion relative des minéraux leucocrates A - P - Q ou F dans la roche. C'est la composition minéralogique modale. Deux versions du triangle sont proposés : celle ci-dessus pour les roches plutoniques ; une autre pour les équivalents volcaniques.

a- Pour les roches magmatiques :

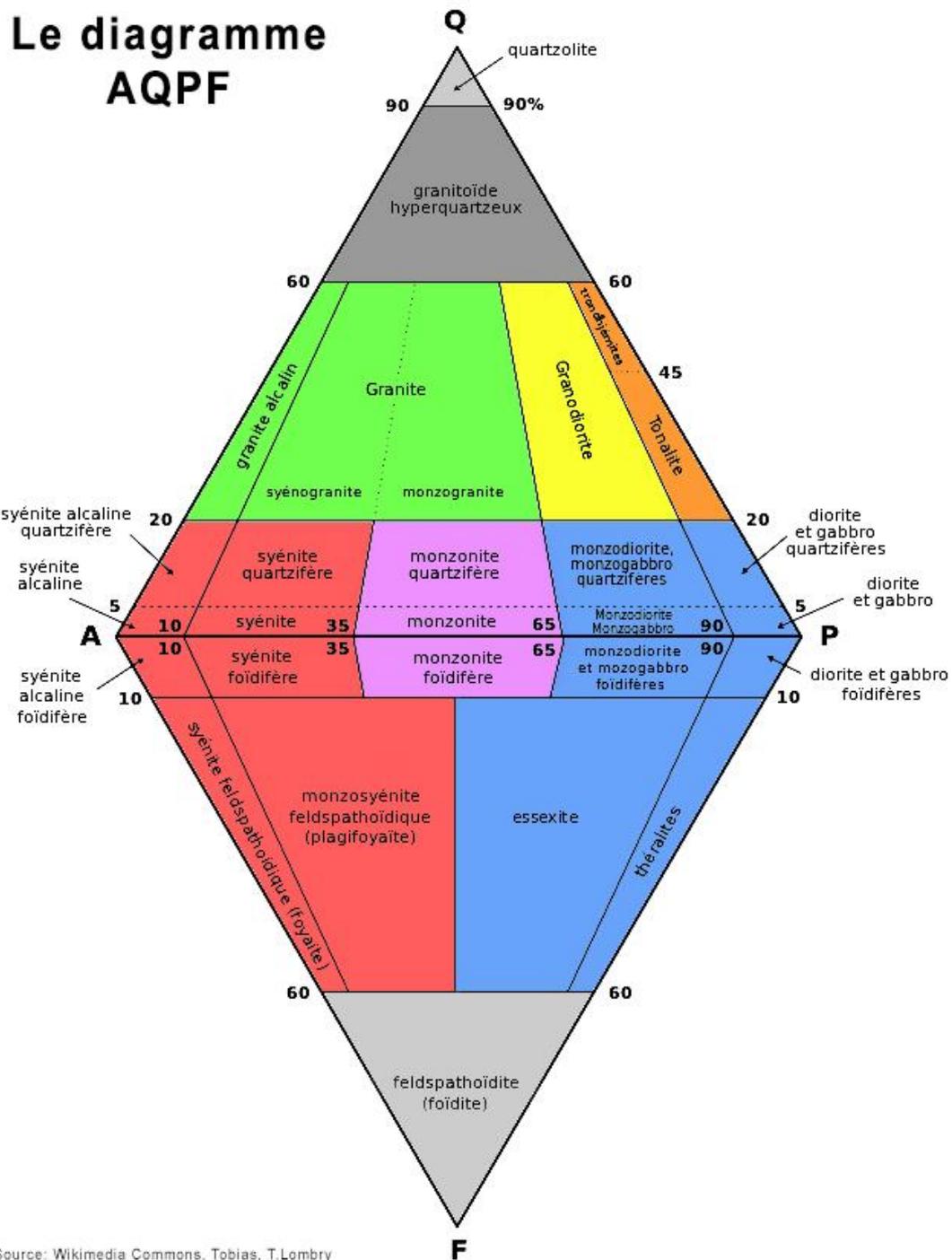


Figure 9 : Diagramme AQPF : Classification des roches magmatiques par composition minéralogique

b- Pour les roches plutoniques :

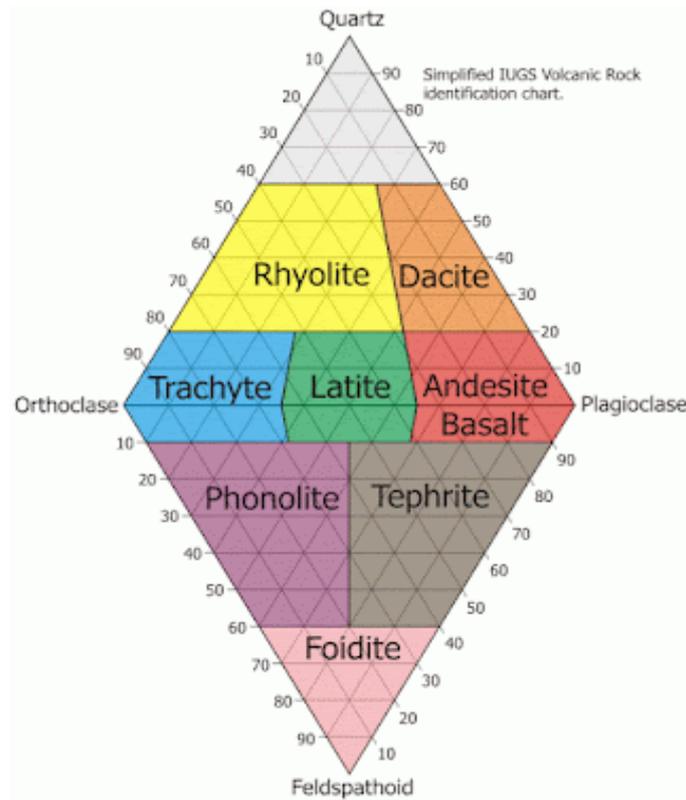
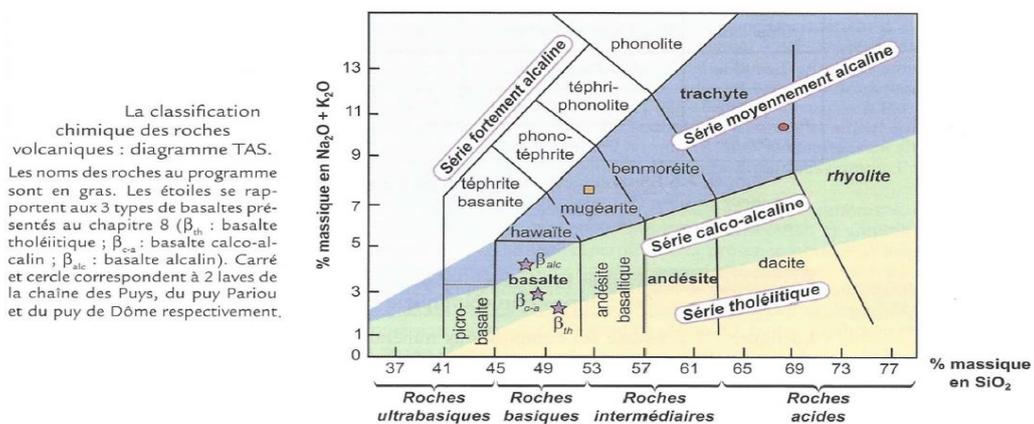


Figure 10 : Diagramme AQP : Classification des roches plutoniques par composition minéralogique

3.7. La classification chimique (exemple du diagramme TAS) :

La classification chimique se base sur la composition chimique des roches, typiquement la part de silice (SiO₂) et la part d'éléments alcalins (Na₂O, K₂O). Le diagramme TAS (total alcalins / silicium) est le plus usité



La classification chimique des roches volcaniques : diagramme TAS. Les noms des roches au programme sont en gras. Les étoiles se rapportent aux 3 types de basaltes présentés au chapitre 8 (β_{th} : basalte tholéiitique ; β_{ca} : basalte calco-alcalin ; β_{alc} : basalte alcalin). Carré et cercle correspondent à 2 laves de la chaîne des Puys, du puy Pariou et du puy de Dôme respectivement.

Figure 11 : Classification chimique des roches magmatiques : diagramme TAS.

D'après PEYCRU *et al.* (2015).

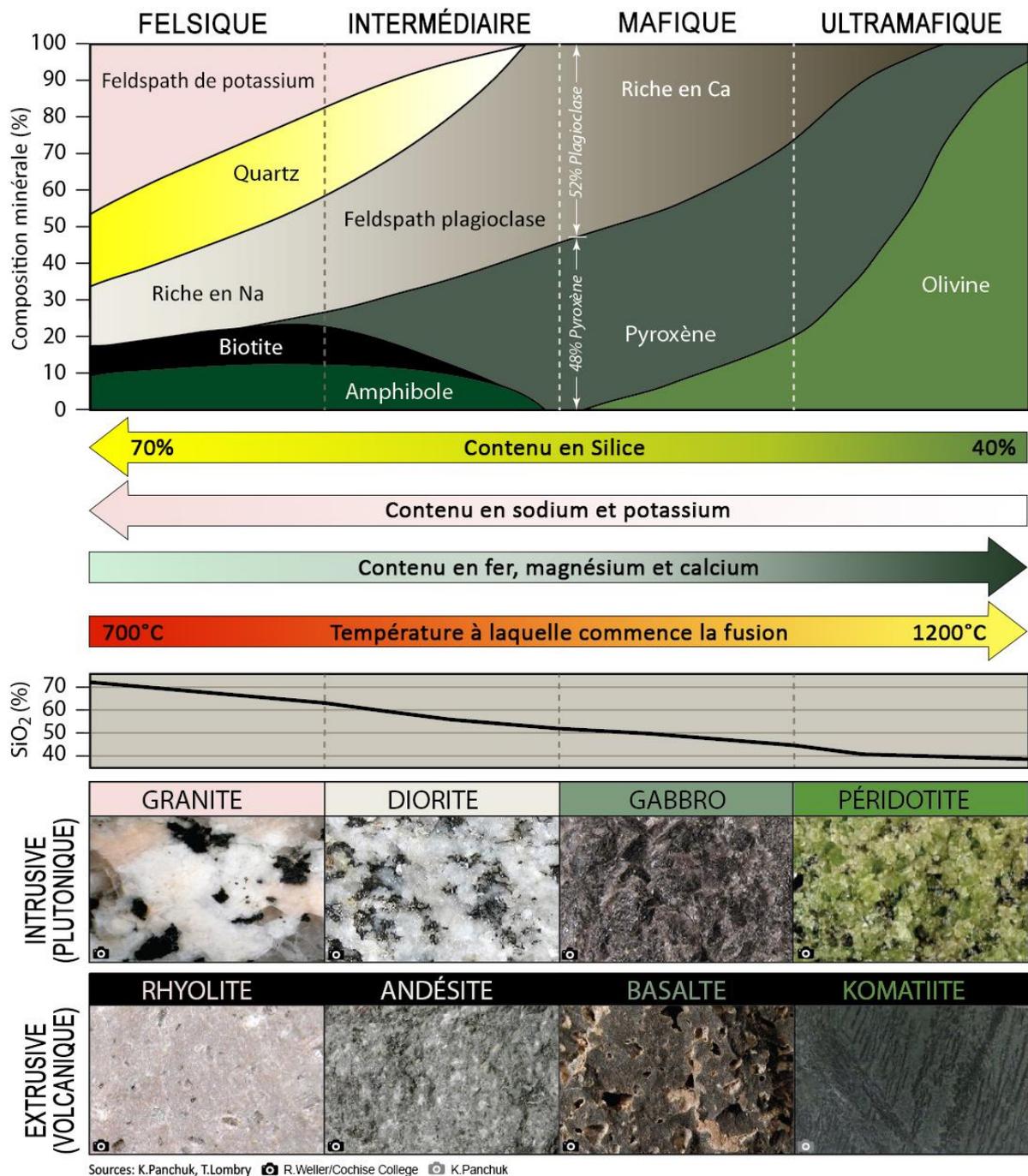


Figure 12 : Classification modale des roches magmatiques et mantelliques.

D'après BEAUX et al. (2011).

Clé de détermination des roche mantellique et magmatique à partir d'un examen macroscopique :

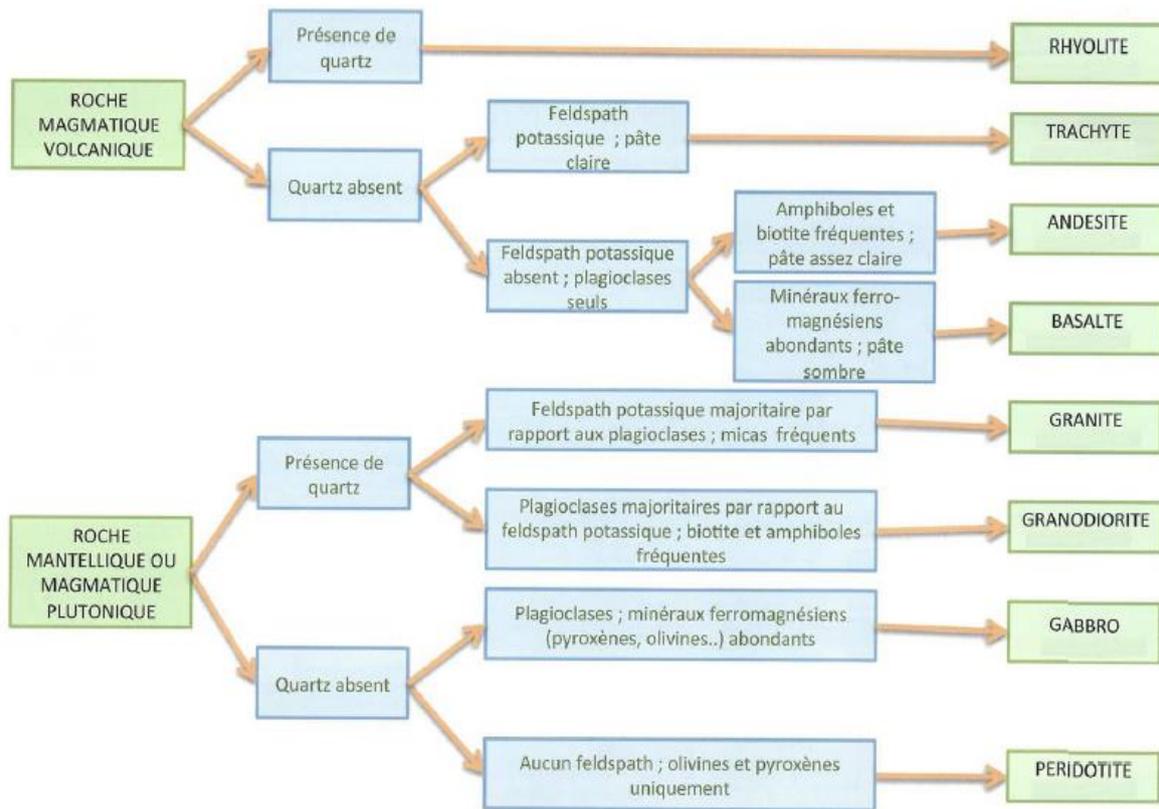


Figure 13 : Clé de détermination des roche mantellique et magmatique à partir d'un examen macroscopique

	GRANITE	GRANODIORITE	RHYOLITE	ANDESITE	BASALTE
Observation macroscopique					
Couleur	Clair	Clair	Clair	Sombre/Gris	Sombre/Gris
Observation microscopique					
Texture	Grenue	Grenue	Microlithique	Microlithique	Microlithique
Nature du magma	Acide Riche en silice (>65 % SiO ₂)	Acide Riche en silice (>65 % SiO ₂)	Acide Riche en silice (65-75 % SiO ₂)	Intermédiaire pauvre en silice (55-65 % SiO ₂)	Basique pauvre en silice (45-55 % SiO ₂)
Type de roche	Roche plutonique	Roche plutonique	Roche volcanique (volcanisme explosif)	Roche volcanique (volcanisme explosif des zones de subduction)	Roche volcanique (volcanisme effusif des planchers océaniques)

Figure 14 : Clé de détermination des magmatique

4. Importance économique des roches volcaniques :

Les roches volcaniques jouent un rôle significatif dans l'économie pour plusieurs raisons :

1. **Matériaux de construction** : Elles sont souvent utilisées dans la construction, notamment le basalte pour le pavage et l'agrégat.
2. **Minéraux précieux** : Les roches volcaniques peuvent contenir des minéraux précieux comme l'or, l'argent, le cuivre, le plomb et le zinc.
3. **Agriculture** : Les sols formés à partir de roches volcaniques sont généralement très fertiles, favorisant l'agriculture.
4. **Pierre ponce** : Utilisée pour le polissage et l'abrasion, ainsi que dans les produits de soins personnels.
5. **Géothermie** : Les zones volcaniques sont des sources potentielles d'énergie géothermique.
6. **Tourisme** : Les paysages volcaniques attirent souvent les touristes, ce qui génère des revenus pour les communautés locales.

5. Exercice :

Parmi les propositions suivantes sur les roches magmatiques, choisis celle qui est correcte :

- Une roche magmatique est une roche issue de l'érosion d'un magma.
- Une roche magmatique est une roche issue de la solidification d'un magma.
- Une roche magmatique est une roche issue de la fusion d'un magma.
- Une roche magmatique est une roche issue de la dégradation d'un magma.

Parmi les propositions suivantes concernant les roches plutoniques, choisis celles qui sont correctes :

- Une roche plutonique est une roche endogène.
- Une roche plutonique est une roche exogène.
- Une roche plutonique est une roche issue d'un refroidissement lent d'un magma.
- Une roche plutonique est une roche issue d'un refroidissement rapide d'un magma.

Parmi les propositions suivantes concernant les roches plutoniques, choisis celles qui sont correctes :

- Une roche volcanique est une roche exogène.
- Une roche volcanique est une roche issue d'un refroidissement lent d'un magma.
- Une roche volcanique est une roche issue d'un refroidissement rapide d'un magma.
- Une roche volcanique est une roche endogène.

Parmi les propositions suivantes concernant le granite et le basalte, coche celles qui sont correctes.

- Les roches granitiques sont les principales roches magmatiques de la croûte terrestre.
- Les roches granitiques sont les principales roches magmatiques de la croûte océanique.
- Les roches basaltiques sont les principales roches magmatiques de la croûte terrestre.
- Les roches basaltiques sont les principales roches magmatiques de la croûte océanique.

Parmi les propositions suivantes concernant une comparaison entre le basalte et le gabbro, coche celles qui sont correctes.

- Le basalte et le gabbro proviennent de magma ayant les mêmes caractéristiques.
- Le basalte et le gabbro sont des roches qui se forment (solidification) dans des conditions différentes.
- Le basalte et le gabbro sont des roches volcaniques.
- Le basalte et le gabbro sont des roches plutoniques.

CHAPITRE III

Les roches sédimentaires

1. Définition :

Les roches sédimentaires jouent un rôle crucial dans de nombreux aspects de la géologie et de l'économie humaine. Voici quelques points clés qui soulignent leur importance :

- **Enregistrement de l'histoire de la Terre** : Elles conservent des traces des conditions environnementales passées et des événements géologiques, permettant aux scientifiques de déchiffrer l'histoire de la Terre.
- **Contiennent des fossiles** : Les roches sédimentaires sont souvent riches en fossiles, ce qui aide à comprendre l'évolution de la vie et les anciens écosystèmes.
- **Ressources naturelles** : Elles abritent des ressources essentielles comme le pétrole, le gaz naturel, le charbon, et l'uranium, qui sont cruciaux pour l'énergie et l'industrie.
- **Matériaux de construction** : De nombreux matériaux de construction, tels que le grès et le calcaire, proviennent des roches sédimentaires.
- **Géologie appliquée** : Elles sont utilisées dans l'industrie pour leurs propriétés chimiques et mécaniques, comme dans la fabrication de ciments, chaux, et plâtres.
- **Hydrogéologie** : Leur porosité et perméabilité permettent la formation de nappes aquifères et la migration d'hydrocarbures, ce qui est fondamental pour l'approvisionnement en eau et l'exploration pétrolière.

2. Source et genèse des roches sédimentaires :

Les roches sédimentaires sont issues de la consolidation de sédiments, qui sont des particules de roches, de minéraux, ou de matière organique accumulés à la surface de la Terre. Leur genèse peut être décrite en plusieurs étapes clés :

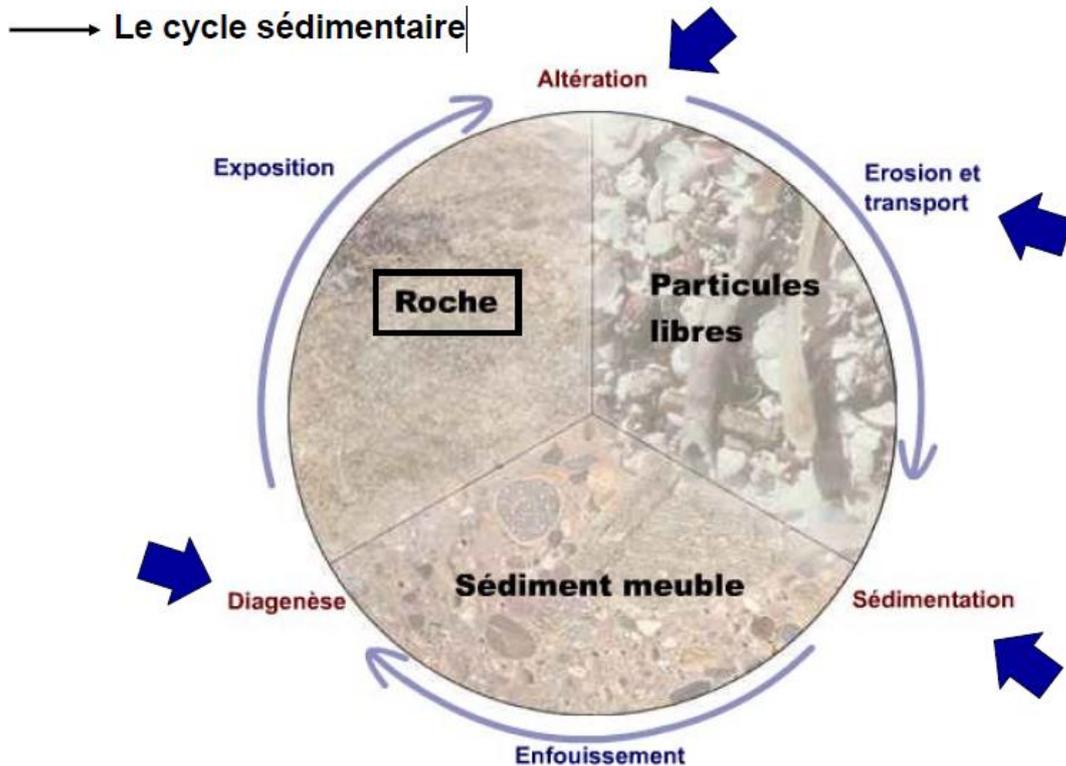


Figure 15 : Source et genèse des roches sédimentaires : Processus de formation

2.1. L'altération :

C'est le processus par lequel les roches sont transformées en un matériau plus mou ou en sol, principalement sous l'influence de l'eau, de l'air, et des organismes vivants. Ce processus peut être divisé en deux catégories principales :

- a) **Altération mécanique** : Elle implique la désagrégation physique des roches sans changer leur composition chimique. Par exemple, le gel et le dégel de l'eau dans les fissures des roches peuvent les briser en morceaux plus petits.

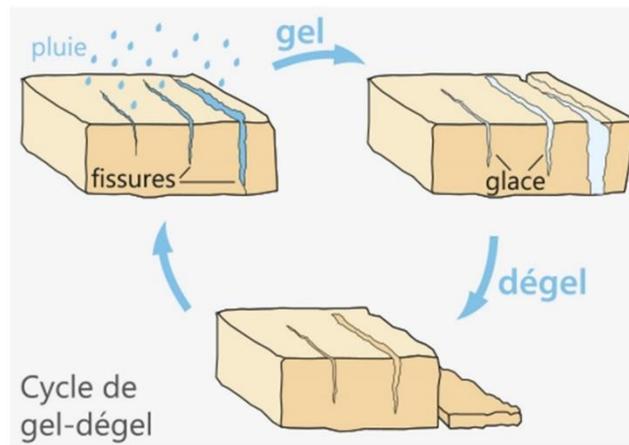


Figure 16 : Altération mécanique : Exemple du gel et dégel

- b) **Altération chimique :** Elle modifie la composition chimique des minéraux d'une roche. L'eau, souvent acide à cause du CO₂ dissous, réagit avec les minéraux pour former de nouveaux minéraux (comme les argiles) et des ions solubles.

Ces processus d'altération sont les premières étapes du cycle sédimentaire et sont essentiels pour la formation des sédiments qui, à leur tour, se transformeront en roches sédimentaires. L'altération chimique est particulièrement importante car elle contribue à la formation de sols fertiles et à la régulation des cycles biogéochimiques sur Terre.

C) Altération biologique :

L'altération biologique est un processus par lequel les organismes vivants contribuent à la décomposition et à la transformation des roches. Ce type d'altération peut se produire de plusieurs manières :

- **Action des plantes :** Les racines des plantes peuvent pénétrer dans les fissures des roches, les élargissant et contribuant à leur fragmentation.



Figure 17 : Altération biologique : Effet des racines des plantes sur les roches

- **Activité microbienne :** Les micro-organismes, tels que les bactéries et les champignons, peuvent altérer chimiquement les minéraux des roches en produisant des acides ou en modifiant les conditions chimiques, facilitant ainsi leur dissolution.

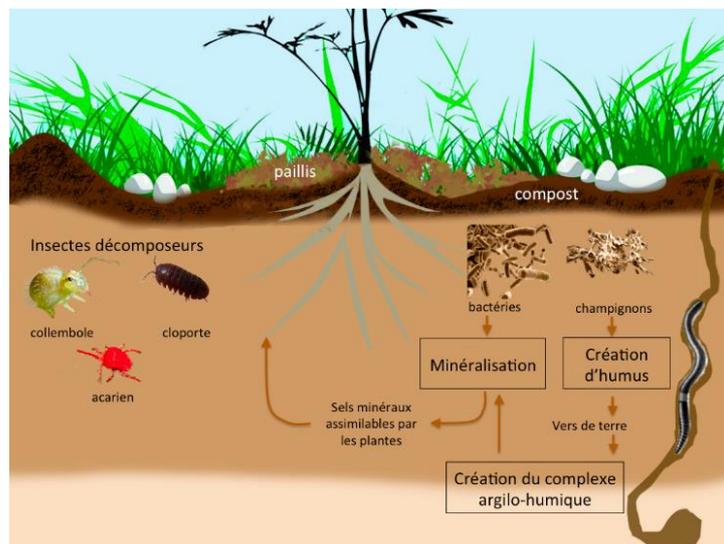


Figure 18 : Altération biologique : Rôle de l'activité microbienne dans la désintégration des roches

- **Animaux fouisseurs** : Les animaux qui creusent le sol, comme les vers de terre, peuvent transporter des particules de roche en surface, où elles sont plus exposées aux éléments et peuvent s'altérer plus rapidement.



Figure 19 : Altération biologique : Impact des animaux fouisseurs sur les roches

2.2. Érosion :

Les roches préexistantes sont fragmentées par l'action de l'eau, du vent, des variations de température et des organismes vivants. Il existe plusieurs types d'érosion, chacun étant caractérisé par l'agent naturel qui en est à l'origine. Voici les principaux types d'érosion :

- **Érosion éolienne** : Causée par le vent qui transporte les particules de sable et de sol d'un endroit à un autre.



Figure 20 : Érosion éolienne : Interaction entre le vent et les surfaces rocheuses

- **Érosion hydrique** : Inclut l'érosion pluviale (par l'eau de pluie) et fluviale (par les cours d'eau), ainsi que l'érosion marine (par les vagues).

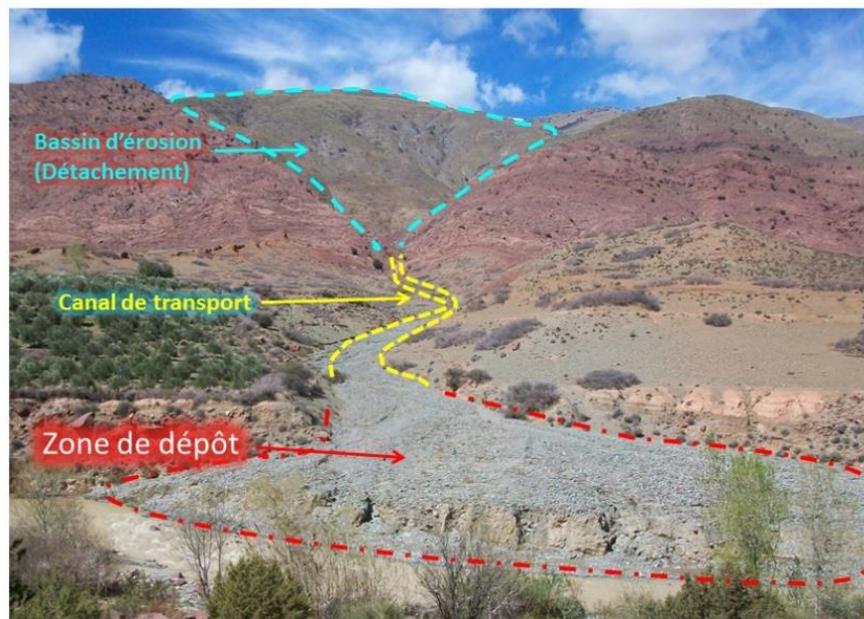


Figure 21 : Mécanismes de l'érosion hydrique

- **Érosion anthropique** : Résulte des activités humaines comme l'agriculture, la déforestation et le pâturage, qui peuvent accroître l'impact des agents naturels d'érosion.



Figure 22 : Érosion anthropique : Impact des activités humaines sur le paysage

- **Érosion glaciaire** : Provoquée par le mouvement des glaciers qui érodent la surface rocheuse sous-jacente.



Figure 23 : Érosion glaciaire : Processus de désintégration et de transport des sédiments par les glaciers

- **Érosion gravitationnelle** : Implique le mouvement descendant de l'eau et des particules sous l'effet de la gravité.

2.3. Transport :

Le transport des particules érodées est un processus géologique fondamental qui joue un rôle crucial dans la formation du paysage. Ces particules, une fois détachées de leur substrat d'origine par l'érosion, entament un voyage guidé par les forces naturelles. L'eau, agissant à travers les rivières, les ruisseaux et le ruissellement, peut transporter des sédiments sur de grandes distances, les déposant finalement dans des lacs, des océans ou des deltas. Le vent, quant à lui, est capable de déplacer des grains de sable et de poussière sur des étendues considérables, façonnant des déserts et des dunes. La glace, sous forme de glaciers, transporte des roches et des débris sur son passage, laissant derrière elle des moraines et des paysages sculptés. Enfin, la gravité entraîne la chute de matériaux le long des pentes, un phénomène souvent observé lors de glissements de terrain. Ensemble, ces agents de transport contribuent à remodeler continuellement la surface de la Terre.

2.4. Dépôt (sédimentation) :

Le dépôt, ou sédimentation, est l'étape finale du cycle de l'érosion et du transport des particules. Ce processus se produit lorsque les agents de transport comme l'eau, le vent, la glace ou la gravité perdent de leur énergie, ne pouvant plus soutenir le poids des particules qu'ils charrient. Lorsque la vitesse d'un cours d'eau diminue, par exemple en entrant dans un lac ou un océan, sa capacité à transporter des sédiments est réduite et les particules commencent à se déposer, formant des couches successives. De même, lorsque le vent faiblit, les particules de sable et de poussière tombent et s'accumulent. Les glaciers, en fondant, laissent également derrière eux les roches et débris qu'ils transportaient, créant des dépôts morainiques. La gravité, après avoir entraîné des matériaux vers le bas d'une pente, permet leur accumulation en bas de celle-ci. Ces dépôts sédimentaires peuvent, avec le temps, se compacter et se cimenter, formant des roches sédimentaires. Ainsi, la sédimentation est essentielle à la formation du sol et à la création de nouveaux terrains géologiques.

2.5. Diagenèse :

La **diagenèse** regroupe la série de **transformations physiques, chimiques et biochimiques** que subissent les sédiments après leur dépôt, menant à la formation de **roches sédimentaires consolidées**. Une fois déposés et au fur et à mesure de leur enfouissement, les sédiments subissent une **augmentation progressive de la pression et de la température**.

Plusieurs facteurs influencent la diagenèse :

1. **Facteurs biologiques** : Dès le dépôt des sédiments, les plantes, les animaux et les bactéries jouent un rôle important. Les racines modifient l'acidité des sédiments, les animaux fouisseurs (coquillages, crustacés, etc.) les remanient en creusant des tunnels (bioturbations), et les bactéries sont à l'origine de nombreuses transformations, telles que la dolomitisation, la formation de carbonates, de pétrole ou de charbon, qui participent largement au processus diagénétique de surface.
2. **Facteurs physiques** : La **compaction mécanique** diminue la porosité des dépôts sédimentaires et favorise leur déshydratation. Cette dessiccation entraîne un durcissement des sédiments et modifie leurs propriétés physiques. La compaction mécanique peut s'associer à une **compaction chimique**, où les points de contact entre

les grains subissent une dissolution sous l'effet de l'augmentation de la pression. Ce processus est particulièrement important pour les sables et les calcaires. Par exemple, une boue argileuse devient compacte vers 2 000 mètres d'enfouissement et durcit vers 3 000 mètres pour former une roche appelée **argilite** ou **mudstone**. Vers 5 000 mètres, les effets de la température et de la pression transforment les argilites en **schistes**.

3. **Facteurs chimiques** : L'infiltration et la circulation de l'eau dans les sédiments encore non compactés peuvent entraîner la **solubilisation de certains minéraux** et leur re-précipitation entre les grains, entraînant la formation d'un **ciment**. Ce processus est également appelé **lithification**. La cimentation représente le processus diagenétique principal pour le passage d'un dépôt sédimentaire à une roche consolidée

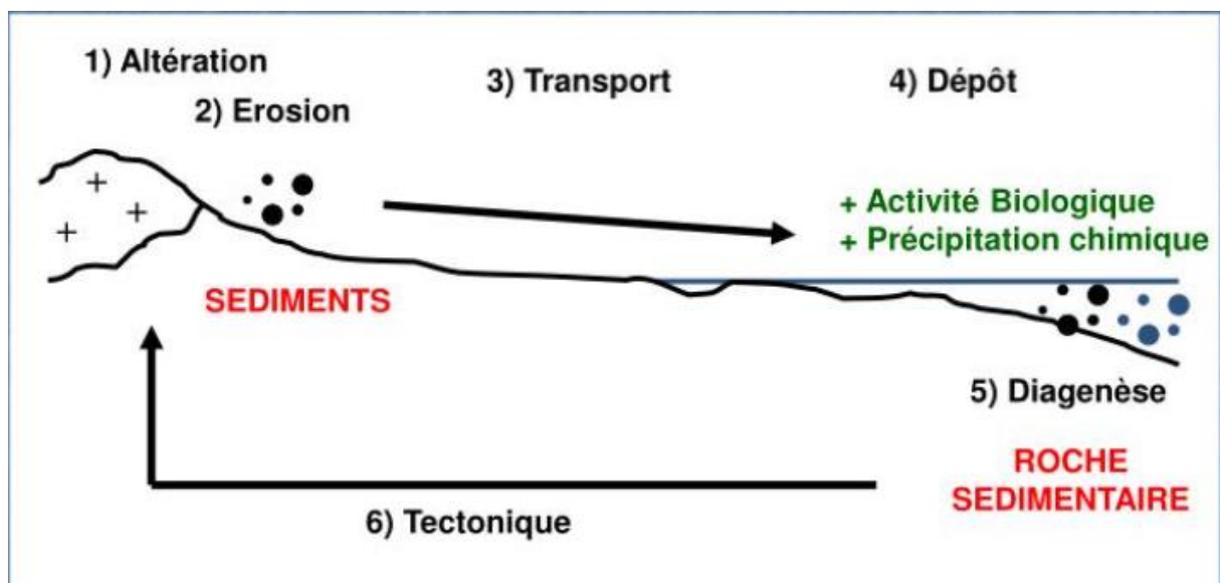


Figure 24 : Cycle des roches sédimentaires

Il est important de distinguer *les sédiments des roches sédimentaires*.

- **Les sédiments** sont des particules et des débris non consolidés qui proviennent de l'érosion des roches et de la décomposition de matière organique. Ils peuvent être transportés par l'eau, le vent ou la glace et se déposer dans des environnements variés comme les rivières, les lacs, ou les océans.
- **Les roches sédimentaires**, en revanche, se forment lorsque ces sédiments sont compactés et cimentés au fil du temps, un processus connu sous le nom de lithification. Pendant la lithification, les sédiments subissent une série de

transformations physiques et chimiques, appelées diagenèse, qui incluent la compaction sous le poids des couches supérieures et la précipitation de minéraux qui agissent comme un ciment entre les particules de sédiments.

3. Classification des roches sédimentaires :

3.1. La roche détritique :

Une **roche détritique**, également connue sous le nom de roche clastique, est une roche sédimentaire formée par l'accumulation de débris issus de l'altération et de l'érosion des roches en domaine continental. Ces débris sont composés d'au moins 50 % de minéraux hérités et néoformés, ainsi que d'une lignée ionique contenue dans les solutions de lessivage ou de dissolution.

Les roches détritiques sont classées en trois catégories principales selon la taille des particules :

- **Rudites** : avec des grains de taille supérieure à 2 mm.
- **Arénites** : avec des grains de taille entre 1/16 et 2 mm.
- **Lutites** : avec des grains de taille inférieure à 1/16 mm.

Parmi les exemples de roches détritiques, on trouve l'argile, le grès, la brèche, le poudingue, le sable, le limon, le loess, le grauwacke et la silcrète. Ces roches peuvent se former dans différents environnements, comme les milieux continentaux (colluvions, alluvions, molasses) ou marins (turbidites, flyschs).

Diamètre (Φ)	Diamètre (mm)	Sédiment meuble		Roche consolidée		Classe
-3,32	10	Cailloutis et blocs		Conglomérats		Rudites
-1	2	Graviers				
0	1	Très grossiers	Sables	Très grossiers	Grès	Arénites
1	0,5	Grossiers		Grossiers		
2	0,25	Moyens		Moyens		
3	0,125	Fins		Fins		
4	0,063	Très fins		Très fins		
5	0,0315	Très grossiers	Silts	Très grossiers	Siltites	Lutites
6	0,016	Grossiers		Grossiers		
7	0,008	Moyens		Moyens		
8	0,004	Fins		Fins		
9	0,002	Très fins		Très fins		
		Argiles		Argilites		

Figure 25 : Classification des tailles de grains des sédiments terrigènes selon Udden et Wentworth (1922)

Exemples :



Figure 26 : Conglomérats



Figure 27 : Sable fin désertique

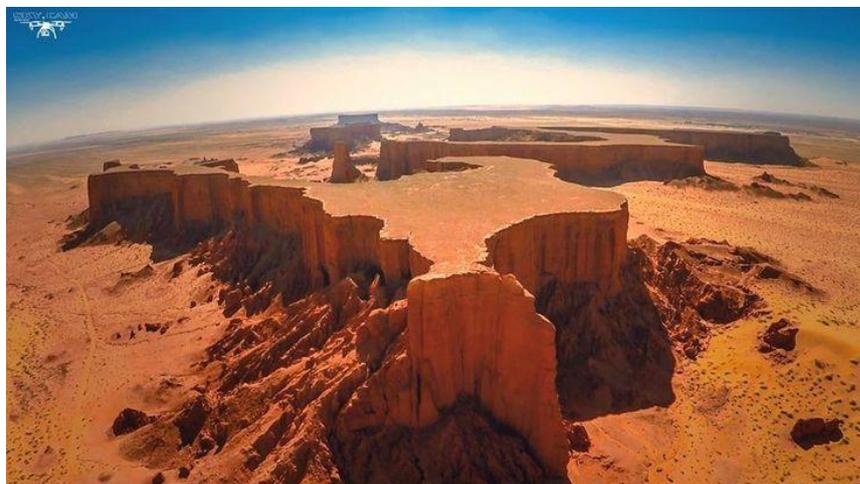


Figure 28 : Sable moyen grossier



Figure 29 : Argile noire

3.2. Les roches carbonatées :

Les roches carbonatées sont un type important de roches sédimentaires qui se composent principalement de minéraux carbonatés. Voici quelques points clés à leur sujet :

- a) **La composition** : Elles sont principalement constituées d'au moins 50 % de carbonates, comme la calcite (CaCO_3) ou la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).
- b) **La formation** : Leur formation peut être liée à des processus chimiques, comme la précipitation de minéraux à partir de solutions saturées en ions dans l'eau, ou à des processus biochimiques, comme l'accumulation de coquilles et de squelettes d'organismes marins.
- c) **Les principaux Types** :
 - o **Calcaire** : Composé principalement de calcite, il peut se former par accumulation de coquilles ou par précipitation chimique.



Figure 30 : Calcaire lumachellique

- **Dolomie** : Formée principalement de dolomite, elle peut résulter de la transformation du calcaire ou de la précipitation directe de dolomite.

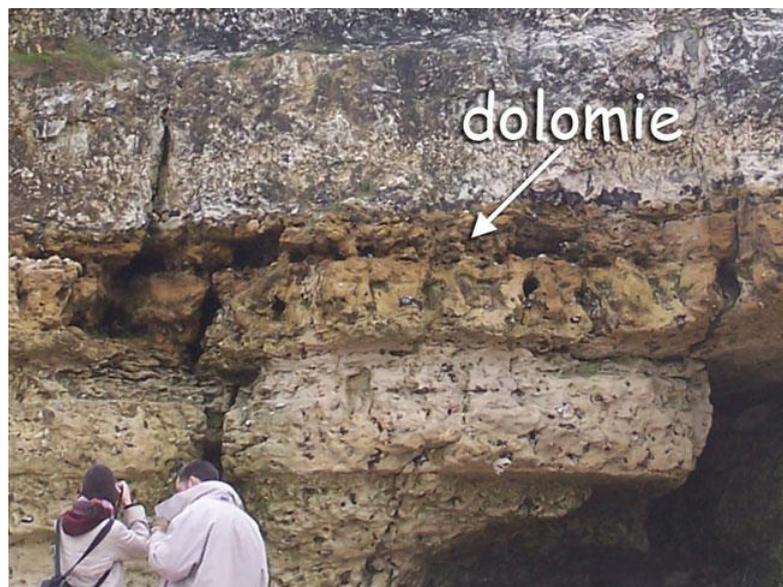


Figure 31 : Dolomie

***Nb ; Pour faire la différence entre calcaires et dolomies, on utilise le test de l'acide. Les calcaires font effervescences à l'acide (HCl), alors que les dolomies ne le font pas.**

- d) **Environnements de Formation** : Les roches carbonatées se forment souvent en milieu marin, en particulier dans les zones de plate-forme peu profondes et les

environnements récifaux. Elles peuvent également se former dans des sources pétrifiantes ou des lacs.

- e) **Importance Géologique** : Les roches carbonatées sont essentielles pour comprendre l'histoire géologique de la Terre. Elles peuvent contenir des fossiles qui fournissent des informations sur les environnements anciens et sur l'évolution de la vie.
- f) **Impact Environnemental** : Le réchauffement climatique, l'acidification des océans et la montée des eaux sont des facteurs qui peuvent affecter la formation et la dissolution des roches carbonatées, ainsi que le cycle du carbone auquel elles contribuent.

3.3. Les roches siliceuses :

Les roches siliceuses représentent un groupe de roches sédimentaires caractérisées par une composition dominante en silice (SiO_2), sous forme très finement cristallisée telle que le quartz ou la calcédoine. Ces roches se distinguent par leur origine, qui peut être soit biochimique, soit chimique.

- **Origine Biochimique** : Les roches siliceuses d'origine biochimique, telles que les radiolarites et les diatomites, se forment par l'accumulation d'organismes marins microscopiques qui produisent des squelettes siliceux. Les radiolaires, appartenant au zooplancton marin, et les diatomées, des algues unicellulaires, sont les principaux producteurs de ces squelettes. Au fil du temps, l'accumulation de ces tests siliceux et leur lithification conduisent à la formation de roches denses et dures.



Figure 32 : Les diatomites

- **Origine Chimique** : Le silex est l'exemple le plus emblématique des roches siliceuses d'origine chimique. Il se forme généralement dans des environnements calcaires par la précipitation de la silice dissoute dans l'eau. Cette précipitation peut être déclenchée par des changements dans les conditions physico-chimiques, tels que le pH ou la température. Le silex est reconnu pour sa dureté et a été largement utilisé par les sociétés préhistoriques pour la fabrication d'outils.



Figure 33 : Silex

3.4. Les roches évaporitiques :

Les roches évaporitiques sont des roches sédimentaires qui se forment par l'évaporation de l'eau dans des environnements où la concentration en sels minéraux est élevée. Elles sont typiquement **monominérales**, c'est-à-dire qu'elles sont composées principalement d'un seul type de minéral. Ce phénomène se produit dans des environnements comme les lacs salés, les mers intérieures, les lagunes, ou les bassins d'évaporation où l'eau s'évapore plus rapidement que l'apport d'eau douce, entraînant une concentration croissante de sels dissous.

Exemples de Roches Évaporitiques :

- **Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)** : Le gypse se forme dans des conditions d'évaporation modérée et est souvent associé à des roches sédimentaires comme les argiles et les marls.



Figure 34 : Cristaux de gypse après Galubérite, Camp Verde, Arizona, USA.

- **Halite (NaCl)** : Communément connue sous le nom de sel gemme, l'halite se forme dans des conditions d'évaporation intense où la concentration en chlorure de sodium devient suffisamment élevée pour précipiter.

Ces minéraux peuvent se déposer en couches successives, créant des strates distinctes qui peuvent être extraites pour divers usages industriels et domestiques. Le gypse est largement utilisé dans la fabrication de plâtre et de ciment, tandis que l'halite est essentielle dans l'industrie alimentaire comme sel de table et dans d'autres applications industrielles.

3.5. Les roches ferrifères et phosphatées :

Les roches ferrifères et phosphatées sont deux types importants de roches sédimentaires, chacune ayant des caractéristiques et des origines distinctes :

a) Roches Ferrifères :

- Les roches ferrifères sont **très riches en fer**, avec une teneur pouvant atteindre **65%**.
- Elles se présentent sous diverses formes, notamment l'hématite (Fe_2O_3), la goethite (FeOOH), la magnétite (Fe_3O_4), et la sidérite (FeCO_3).
- Ces roches sont souvent associées à des environnements marins et peuvent se former sous forme de *Banded Iron Formations* (BIF), qui sont des couches alternées de silice et d'oxydes de fer.



Figure 35 : Gisement de Gara Djebilet, Tindouf, Algérie

b) Roches Phosphatées :

- Les roches phosphatées sont principalement d'**origine organique**, formées par l'accumulation de restes d'animaux tels que les dents et les os, qui sont constitués d'apatite.

- L'apatite est un minéral qui peut contenir du calcium, du magnésium, et de l'azote, et peut se présenter sous différentes formes, comme la francolite ou la vivianite.
- Ces roches sont cruciales pour l'agriculture car elles sont une source majeure de phosphore, un élément essentiel pour la croissance des plantes.

La bauxite mentionnée est en fait une roche **alumineuse** plutôt qu'une roche ferrifère. Elle est riche en oxyde d'aluminium et se forme par l'altération des roches contenant des minéraux d'aluminium, comme les granites. Le fer oolithique est un type de roche ferrifère qui contient de petits grains sphériques de fer appelés oolithes.

Ces roches ont une grande importance économique et géologique, car elles sont exploitées pour leur contenu en minéraux précieux et peuvent nous renseigner sur les conditions environnementales passées de la Terre.

Tableau 1 : Clé d'identification des roches sédimentaires :

Présence de blocs Conglomérat	Éléments anguleux				Brèche			
	Éléments arrondis				Poudingue			
Pas de blocs	Effervescence à l'acide Roches carbonatées	Macro-fossiles nombreux	Coquilles		Calcaires coquilliers			
			Débris de coraux		Calcaires coralliens			
		Macro-fossiles rares	Oolithes (sphères < 2 mm)		Calcaires oolithiques			
			Non friable et massif		Calcaires lithographiques			
			Blanc et friable		Craie			
			Gras et gris (présence d'argiles)		Marne			
	Pas d'effervescence à l'acide	Roche très dure (raye le verre)	Pas d'éléments visibles			Silex		
			Éléments visibles	Roche meuble		Sable		
				Roche compacte		Grès		
		Roche plus tendre	Pas de carbone	Cristaux	Pas de gout salé	Gypse		
					Gout salé	Halite		
			Présence de carbone (roche très noire) Roches carbonées	Pas de gros cristaux	Roche friable, grasse au toucher qui fait pâte avec l'eau	Argilites (si seulement argiles) ou pélites (si présence d'autres minéraux tels que quartz ou feldspaths)		
						Solide avec des débris végétaux		Tourbe
						Aspect de charbon de bois		Lignite
						Solide plus ou moins brillant		Houille s.l. (Charbon)

4. Importance économique des roches sédimentaires :

1. **Combustibles fossiles** : Elles sont souvent associées à la formation de combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel
2. **Matériaux de construction** : Des roches comme les calcaires et les grès sont utilisées pour leur résistance mécanique dans l'habitat et le génie civil.
3. **Industrie chimique** : Les calcaires, argiles et gypses sont exploités pour leurs propriétés chimiques dans la production de chaux, ciments et plâtres.
4. **Agriculture** : Les phosphates, qui sont des roches sédimentaires, jouent un rôle crucial comme engrais dans l'agriculture.
5. **Scientifique** : Elles contiennent des fossiles qui fournissent des informations précieuses sur l'histoire de la Terre et les formes de vie passées.

CHAPITRE IV

Les roches métamorphiques

1. Aperçu historique :

Un peu d'histoire...

Jusqu'au 18ème siècle roches cristallines (= magmatiques) roches sédimentaires

Fin 18ème - début 19ème siècle James Hutton (Theory of the Earth, 1795) : observation en Écosse de roches issues de la transformation de roches magmatiques ou sédimentaires au contact de granite ou de basalte proposition d'un 3ème type de roches résultant de la transformation d'une des roches précédentes= **Roches Métamorphiques**



2. Définition :

Métamorphisme : Ce terme, issu du grec *meta* (changement) et *morph* (forme), fait référence à la transformation d'une roche à l'état solide. Cette transformation implique la formation de *nouveaux minéraux* et/ou l'acquisition de *nouvelles textures et structures*, sous l'influence de conditions de *température et de pression* différentes de celles présentes lors de la formation originale de la roche.

3. Types de roches affectées par le métamorphisme :

- **Roches sédimentaires** : Transformées en roches *paramétamorphiques*.
- **Roches magmatiques** : Deviennent des roches *orthométamorphiques*.

- **Roches métamorphiques** : Subissent un *polymétamorphisme* lorsqu'elles sont à nouveau métamorphisées.

4. Limites du métamorphisme :

- **Limite inférieure** : Correspond à une température de **200°C** et une pression de **300 MPa** (équivalent à 3000 atmosphères ou 3 kb). En dessous de ces valeurs, on se situe dans le domaine de la **diagenèse**.
- **Limite supérieure** : Est définie par la **fusion partielle** de la roche. Lorsque la roche commence à fondre, on passe au domaine du **magmatisme**.

5. Degrés du Métamorphisme (Grade) :

Le *grade métamorphique* désigne l'intensité des conditions de *température et de pression* ayant influencé la formation d'une roche. Ces conditions sont représentées sur la figure.

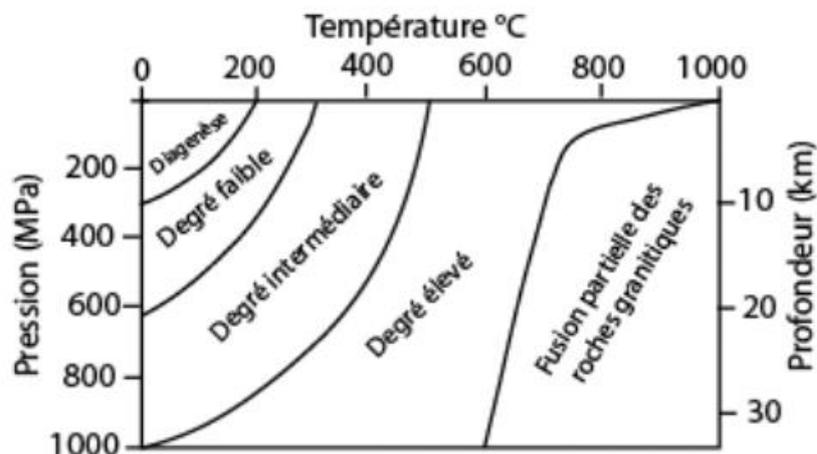


Figure 36 : Classification des grades de métamorphisme

- **Métamorphisme de faible degré** : Se produit entre 200°C et 320°C sous une pression relativement basse. Les roches affectées présentent des minéraux hydratés tels que les minéraux argileux, la serpentine et le chlorite, qui contiennent de l'eau dans leur structure cristalline.

- **Métamorphisme de degré élevé** : A lieu à des températures *supérieures à 320°C* et sous une pression plus élevée. Avec l'augmentation du grade métamorphique, les minéraux hydratés perdent progressivement leur H₂O, menant à la formation de minéraux non hydratés. Par exemple :
 - **Muscovite** : Un minéral hydraté qui disparaît aux grades très élevés.
 - **Biotite** : Reste stable même aux grades élevés du métamorphisme.
 - **Pyroxène et Grenat** : Exemples de minéraux non hydratés.
- **Métamorphisme Prograde** : Correspond à une **augmentation** de la pression et de la température, indiquant l'**enfouissement** de la roche.
- **Métamorphisme Rétrograde** : Implique une **diminution** de la pression et de la température, suggérant l'**exhumation** de la roche.

6. Les Facteurs du Métamorphisme

Le métamorphisme est influencé par plusieurs facteurs clés qui déterminent les caractéristiques finales des roches métamorphiques.

- **Température** : Elle est cruciale dans le processus de métamorphisme. Le *gradient géothermique*, qui est en moyenne de *30°C par kilomètre de profondeur*, joue un rôle significatif. De plus, la proximité de *roches plutoniques ou volcaniques* peut localement augmenter la température et accélérer les réactions métamorphiques.
- **Pression** : La pression augmente avec la profondeur en raison du poids des couches supérieures. Cette pression, dite *lithostatique*, est isotrope et ne favorise pas d'orientation spécifique des minéraux. À *4 km de profondeur*, la pression est d'environ 1 kbar, à 15 km, elle atteint 5 kbar, et à 30 km, elle s'élève à 10 kbar, en supposant une densité moyenne de la croûte terrestre de 2,5. Dans les zones de forte activité tectonique, comme les chaînes de montagnes, les *pressions orientées* peuvent induire une orientation préférentielle des minéraux, donnant naissance à des textures telles que la *schistosité ou la foliation*.
- **Fluides** : Les espaces interstitiels entre les grains minéraux sont souvent remplis de fluides, principalement de *l'eau (H₂O)* avec des minéraux dissous. Ces fluides facilitent le transport des ions et accélèrent les réactions chimiques, jouant ainsi un rôle

essentiel dans le métamorphisme. Sans la présence de fluides, les réactions métamorphiques seraient grandement ralenties.

- **Temps** : Les transformations métamorphiques sont des processus lents qui nécessitent souvent **des millions d'années** pour se compléter. Les expériences en laboratoire montrent que des conditions de haute température et pression sur de longues périodes favorisent la croissance de **grains minéraux de grande taille**. Ainsi, les roches métamorphiques à gros grains sont généralement le résultat d'un métamorphisme prolongé.

7. Les types de Métamorphisme :

Le métamorphisme se manifeste sous différentes formes, chacune résultant de conditions environnementales spécifiques et ayant des impacts distincts sur la roche.

- **Métamorphisme de Contact** : Provoqué par la chaleur due à l'intrusion de magma, ce type affecte les roches environnantes, entraînant des changements minéralogiques localisés.

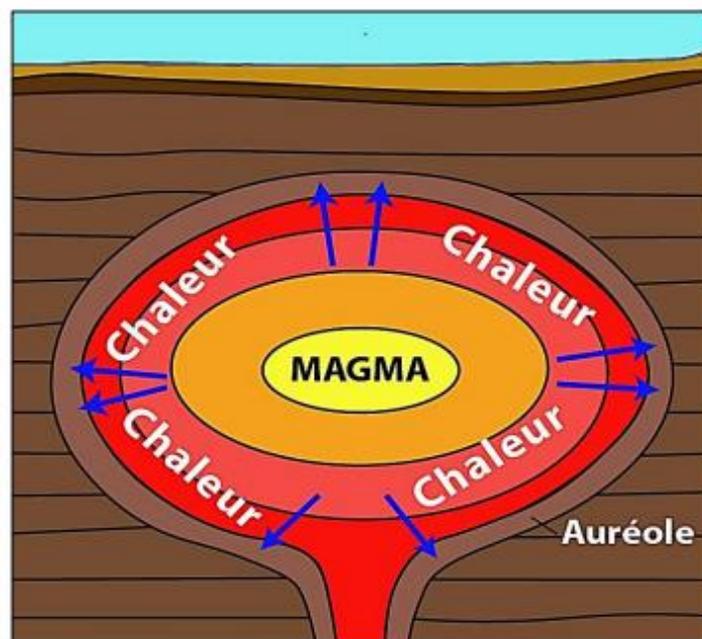


Figure 37 : Métamorphisme de contact

- **Métamorphisme Régional** : Associé aux grandes forces tectoniques lors de la formation des montagnes, il affecte de vastes régions et est responsable de la création de roches métamorphiques à grande échelle.
- **Métamorphisme Dynamique** : Résulte de l'application de pressions extrêmes et de déformations mécaniques, souvent près des failles actives, où les roches peuvent être broyées et pulvérisées.
- **Métamorphisme Hydrothermal** : Implique l'interaction de roches avec des fluides chauds et chimiquement actifs, souvent près des sources hydrothermales, modifiant la composition chimique des roches.

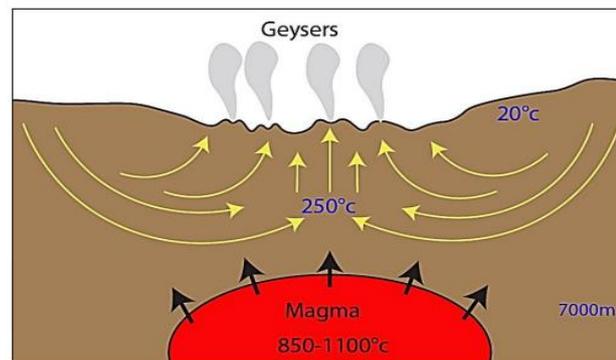


Figure 38 : Métamorphisme Hydrothermal

- **Métamorphisme d'Impact** : Occasionné par l'impact de météorites, ce type génère des pressions et des températures extrêmement élevées sur de courtes périodes, formant des structures uniques comme les tectites.

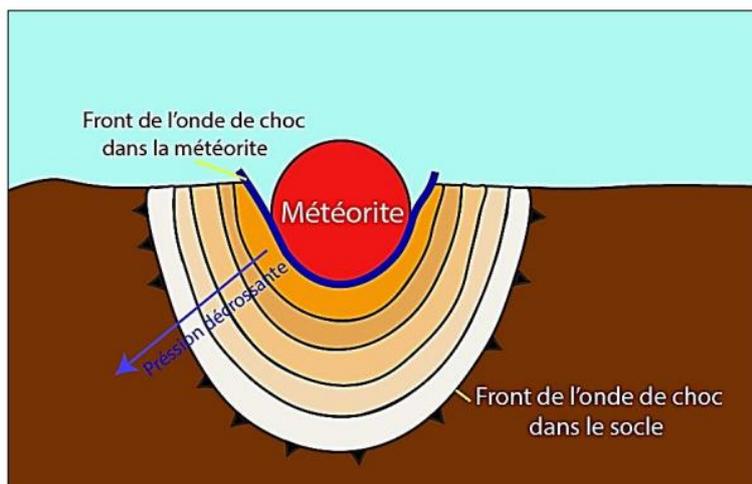


Figure 39 : Métamorphisme d'Impact

- Métamorphisme de Subduction** : Se produit dans les zones de subduction où les plaques tectoniques plongent dans le manteau. Les roches subissent des transformations à haute pression et basse température.

***Pour comparer les différents types de métamorphisme, voici un tableau récapitulatif qui met en évidence leurs caractéristiques principales :**

Tableau 2 : Les différents types de métamorphisme

Type de Métamorphisme	Source de Chaleur	Pression	Environnement	Exemples de Roches Formées
Contact	Intrusion magmatique	Faible	Près des intrusions plutoniques	Cornéennes, Hornfels
Régional	Tectonique	Élevée	Zones de collision continentale	Ardoises, Micaschistes, Gneiss, Schistes
Dynamique	Déformation	Très élevée	Zones de failles actives	Mylonites
Hydrothermal	Fluides chauds	Variable	Près des sources hydrothermales	Skarns, Minerais métamorphisés
D'Impact	Impact météoritique	Extrême	Sites d'impact de météorites	Tectites, Quartz choqué
De Subduction	Tectonique	Haute, Basse température	Zones de subduction	Schistes bleus, Éclogites

8. Classification des roches Métamorphiques

La classification des roches métamorphiques repose sur la texture et la composition minéralogique. Les roches métamorphiques sont classées selon deux critères principaux : **la texture et la composition minéralogique**. Ces critères reflètent les conditions de pression et de température auxquelles la roche a été exposée

a) Selon la Texture :

- **Roches Foliatées** : Présentent une orientation parallèle des minéraux, donnant un aspect feuilleté ou stratifié. Exemples : gneiss, schiste.
- **Roches Non-Foliatées** : Ne montrent pas de feuilletage distinct. Exemples : marbre, quartzite.

b) Selon la Composition Minéralogique :

- **Roches à Minéraux Félsiques** : Riches en silice, comme le quartz et le feldspath. Exemple : gneiss.
- **Roches à Minéraux Mafiques** : Contiennent des minéraux plus sombres et plus denses, comme le biotite et l'amphibole. Exemple : schiste vert.
- **Roches à Minéraux Ultramafiques** : Composées principalement de minéraux comme l'olivine et le pyroxène. Exemple : péridotite.

c) Selon le Degré de Métamorphisme :

- **Métamorphisme de Faible Degré** : Caractérisé par des minéraux tels que la chlorite et la serpentine.
- **Métamorphisme de Degré Moyen** : Minéraux comme la staurolite et l'andalousite sont communs.
- **Métamorphisme de Haut Degré** : Présence de minéraux tels que le sillimanite et le grenat.

***Voici un tableau résumé de la classification des roches métamorphiques avec des exemples :**

Tableau 3 : Classification des roches métamorphiques

Texture	Composition Minéralogique	Degré de Métamorphisme	Exemples de Roches
Foliatées	Minéraux Félsiques	Faible	Schiste
	Minéraux Mafiques	Moyen	Gneiss
	Minéraux Ultramafiques	Élevé	Migmatite
Non-Foliatées	-	Faible	Marbre
	-	Moyen	Quartzite
	-	Élevé	Corindon

9. Importance économique des roches Métamorphiques :

Les roches métamorphiques, telles que le marbre, le schiste, le gneiss et le quartzite, sont essentielles dans de nombreux domaines économiques. Le **marbre**, par exemple, est largement recherché pour son esthétique et sa durabilité, ce qui en fait un matériau de choix pour la construction, la sculpture et les revêtements de sol. Le **schiste** est utilisé dans la production de tuiles et de dalles, tandis que le **gneiss** et le **quartzite** sont appréciés pour leur résistance et leur beauté dans le revêtement extérieur des bâtiments et dans les aménagements paysagers. En outre, certaines roches métamorphiques contiennent des minéraux précieux ou des métaux utiles, comme le graphite, le talc, et certains types de garnets, qui sont exploités pour leur valeur industrielle. Leur résistance à la chaleur et à la corrosion les rend également précieuses dans les applications techniques et industrielles, allant des composants électroniques aux matériaux réfractaires.

***Voici un tableau approfondi qui présente les principales roches métamorphiques, leur origine, ainsi que des informations supplémentaires pour chaque type :**

Tableau 4 : Les principales roches métamorphiques

Roches Métamorphiques	Origine Sédimentaire	Origine Magmatique	Origine Métamorphique	Texture	Minéraux Clés	Utilisation
Schiste	Argile (Shale)	-	-	Foliatée	Mica, Chlorite	Construction, toiture
Gneiss	-	Granite	Orthogneiss	Bandée	Feldspath, Quartz	Décoration, construction
Quartzite	Sable (Sandstone)	-	-	Non-foliatée	Quartz	Revêtement, décoration
Marbre	Calcaire (Limestone)	-	-	Non-foliatée	Calcite	Sculpture, construction
Ardoise	Argile (Shale)	-	-	Foliatée	Mica, Quartz	Toiture, revêtement de sol
Phyllite	Argile (Shale)	-	-	Foliatée	Mica, Quartz	Revêtement intérieur
Migmatite	-	-	Gneiss, Schiste	Mixte	Biotite, Sillimanite	Recherche géologique
Éclogite	-	Basalte	-	Granoblastique	Grenat, Omphacite	Étude des zones de subduction

Références Bibliographiques :

- Manuel de Travaux Pratiques de pétrographie - Reconnaissance Macroscopique des Roches - Année Universitaire : 2019-2020, Pr. H. AIT MALEK.
- Cours de géologie - Moulley Charaf Chabou 2022/2023.
- Atlas de géologie pétrologie - Dunod.
- "Pétrographie et environnements sédimentaires" - C. Gaillard.
- "Roches et minéraux en gros plans" - J. Farndon.
- "La pétrographie : méthodes et applications" - Éditions Technip.
- "Initiation à la pétrologie : avec 180 photos en couleurs" - M. Fialin.
- "Pétrologie : Les minéraux et roches en 86 fiches et 480 photos" - J.-F. Fogelgesang.
- "Manuel de pétrographie" - P. de Wever, M. Villeneuve.

Liste des figures :

Figure 1 : Échelle de dureté de Mohs : Classification des minéraux par résistance aux rayures	14
Figure 2 : Structure des silicates : Variations des arrangements des tétraèdres dans les néosilicates, inosilicates, phyllosilicates et tectosilicates	18
Figure 3 : Roches magmatiques : Différences entre les roches plutoniques (intrusives) et volcaniques (extrusives)	20
Figure 4 : Classification granulométrique : La texture grenue	22
Figure 5 : Texture microlitique des roches volcaniques : Exemple des basaltes.....	23
Figure 6 : relation entre le mode de formation et la texture des roches magmatiques.....	24
Figure 7 : Différence entre magma basique et acide à l'œil nu et en microscope.....	24
Figure 8 : Classification des roches magmatiques selon l'indice de couleur : Des hololeucocrates aux holomélanocrates.....	25
Figure 9 : Diagramme AQPF : Classification des roches magmatiques par composition minéralogique.....	29
Figure 10 : Diagramme AQPF : Classification des roches plutoniques par composition minéralogique.....	30
Figure 11 : Classification chimique des roches magmatiques : diagramme TAS. D'après PEYCRU <i>et al.</i> (2015).....	30
Figure 12 : Classification modale des roches magmatiques et mantelliques.....	31
Figure 13 : Clé de détermination des roche mantellique et magmatique à partir d'un examen macroscopique	32
Figure 14 : Clé de détermination des magmatique.....	32
Figure 15 : Source et genèse des roches sédimentaires : Processus de formation	37
Figure 16 : Altération mécanique : Exemple du gel et dégel	38
Figure 17 : Altération biologique : Effet des racines des plantes sur les roches.....	39
Figure 18 : Altération biologique : Rôle de l'activité microbienne dans la désintégration des roches.....	39
Figure 19 : Altération biologique : Impact des animaux fouisseurs sur les roches	40
Figure 20 : Érosion éolienne : Interaction entre le vent et les surfaces rocheuses.....	40
Figure 21 : Mécanismes de l'érosion hydrique.....	41
Figure 22 : Érosion anthropique : Impact des activités humaines sur le paysage	41
Figure 23 : Érosion glaciaire : Processus de désintégration et de transport des sédiments par les glaciers.....	42
Figure 24 : Cycle des roches sédimentaires	44
Figure 25 : Classification des tailles de grains des sédiments terrigènes selon Udden et Wentworth (1922).....	46
Figure 26 : Conglomérats	46
Figure 27 : Sable fin désertique	47
Figure 28 : Sable moyen grossier	47

Figure 29 : Argile noire.....	48
Figure 30 : Calcaire lumachellique.....	49
Figure 31 : Dolomie	49
Figure 32 : Les diatomites	51
Figure 33 : Silex.....	51
Figure 34 : Cristaux de gypse après Galubérite, Camp Verde, Arizona, USA.....	52
Figure 35 : Gisement de Gara Djebilet, Tindouf, Algérie.....	53
Figure 36 : Classification des grades de métamorphisme.....	58
Figure 37 : Métamorphisme de contact	60
Figure 38 : Métamorphisme Hydrothermal	61
Figure 39 : Métamorphisme d'Impact	62

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Clé d'identification des roches sédimentaires :	54
Tableau 2 : Les différents types de métamorphisme	62
Tableau 3 : Classification des roches métamorphiques.....	64
Tableau 4 : Les principales roches métamorphiques	65