

Chapitre 2

LES MINERAUX ET LES ROCHES

1) NOTIONS DE MINERALOGIE

1.1) Définition

Un minéral est une substance formée naturellement ou synthétisée artificiellement, définie par sa composition chimique et l'agencement de ses atomes selon une périodicité et une symétrie précises qui se reflètent dans le groupe d'espace et dans le système cristallin du minéral.

Les minéraux sont généralement solides dans les conditions normales de température et de pression et s'associent pour former les roches constituant la croûte terrestre et, d'une façon plus générale, la lithosphère (Les minéraux sont donc les matériaux élémentaires des roches de la croûte terrestre).

L'étude se fait par

- * Cristallographie (géométrie, forme)
- * Physique (couleurs, fracture, clivage, dureté)
- * Chimique (l'association des éléments simples)

1.2) Cristaux et Cristallographie

a) Définition

La cristallographie est la science qui se consacre à l'étude des substances cristallines à l'échelle atomique. Les propriétés physico-chimiques d'un cristal sont étroitement liées à l'arrangement spatial des atomes dans la matière. L'état cristallin est défini par un caractère périodique et ordonné à l'échelle atomique ou moléculaire. Le cristal est obtenu par translation dans toutes les directions d'une unité de base appelée maille élémentaire.

On appelle un cristal un solide minéral naturel homogène aux formes régulières, limité par des surfaces habituellement planes faisant entre elles des angles bien définis.

b) Les systèmes de Cristallisation

i) le système cubique (figure 2.1)

C'est un prisme droit à 6 faces égales

$$\begin{aligned} a &= b = c \\ \alpha &= \beta = \gamma = 90^\circ \end{aligned}$$

ii) le système quadratique (figure 2.1)

C'est un prisme droit à base carrée et à 4 faces rectangulaires égales.

$$\begin{aligned} a &= b \neq c \\ \alpha &= \beta = \gamma = 90^\circ \end{aligned}$$

iii) le système hexagonal (figure 2.1)

C'est un prisme droit à 6 faces rectangle à base hexagone

iv) le système rhomboédrique (figure 2.1)

C'est un prisme oblique ou toutes les faces sont des losanges.

v) le système orthorhombique (figure 2.1)

C'est un prisme droit à base rectangle à 4 faces rectangle égale 2 à 2.

$$\begin{aligned} a &\neq b \\ \alpha &= \beta = \gamma = 90^\circ \end{aligned}$$

vi) le système monoclinique (figure 2.1)

C'est un prisme oblique à 4 faces latérales parallélogramme à base rectangulaire égale 2 à 2.

vii) le système triclinique (figure 2.1)

C'est un prisme oblique à 4 faces latérales et à base parallélogramme égale 2 à 2.

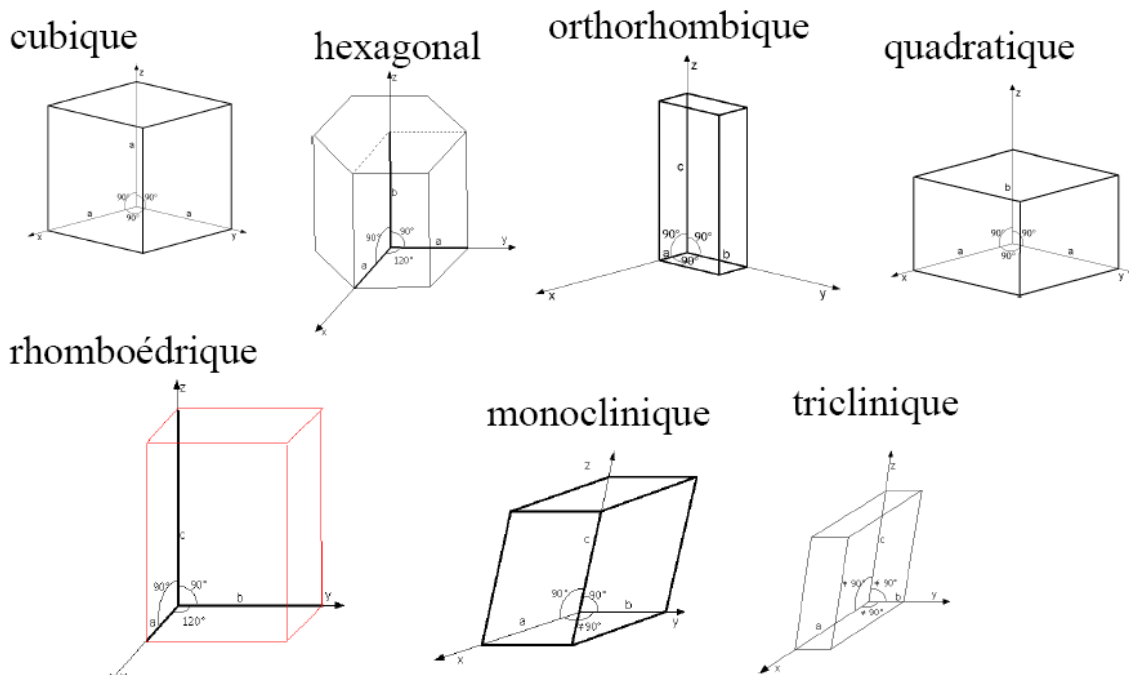


Figure 2.1 : 7 systèmes cristallins

1.3) L'identification des minéraux

Les minéraux possèdent des propriétés physiques qui permettent de les distinguer entre eux et qui deviennent des critères d'identification. Ce qui attire d'abord l'œil, c'est bien sûr la couleur et la forme cristalline des minéraux, mais il y a bien d'autres propriétés. Plusieurs de ces propriétés peuvent être observées sans l'aide d'instruments et sont d'une grande utilité pratique.

a) Couleur

Il y a une grande variété de couleurs chez les minéraux, mais c'est là un critère qui est loin d'être absolu. Des spécimens de couleurs différentes peuvent représenter le même minéral, comme le quartz qui présente plusieurs variétés selon la couleur qui va de l'incolore limpide (cristal de roche), au blanc laiteux, au violet (améthyste), au rouge (jaspe), au noir enfumé, au bleu, etc., alors que des spécimens qui ont tous la même couleur peuvent représenter des minéraux tout à fait différents, comme ces minéraux à l'éclat métallique qui ont tous la couleur de l'or: la pyrite qu'on appelle l'or des fous, la chalcoppyrite qui est un minerais duquel on extrait le cuivre, et l'or. Il faut noter que la couleur doit être observée sur une cassure fraîche, car l'altération superficielle peut modifier la couleur, particulièrement chez les minéraux à éclat métallique.

b) Éclat

L'éclat des minéraux, c'est l'aspect qu'offre leur surface lorsqu'elle réfléchit la lumière. On distingue deux grandes catégories: l'éclat métallique, brillant comme celui des métaux, et l'éclat non métallique que l'on décrit par des termes comme vitreux (comme le verre), gras (comme si la surface était enduite d'huile ou de graisse), adamantin (qui réfléchit la lumière comme le diamant), résineux (comme la résine), soyeux (comme la soie), etc.

c) Trait

Une propriété qui a trait à la couleur, mais qui est un peu plus fiable et dont le test est facile à réaliser, c'est le trait. Il s'agit en fait de la couleur de la poudre des minéraux. Cette propriété se détermine sur la trace laissée par le minéral lorsqu'on frotte ce dernier sur une plaque de porcelaine non émaillée (en autant que la dureté de la plaque est supérieure à celle du minéral). Par exemple, l'hématite, un minéral dont on extrait le fer, possède une couleur noire en cassure fraîche mais un trait brun rougeâtre sur la plaque de porcelaine.

d) Dureté

La dureté d'un minéral (voire tableau 1.1) correspond à sa résistance à se laisser rayer. Elle est variable d'un minéral à l'autre. Certains minéraux sont très durs, comme le diamant, d'autre plutôt tendres, comme le talc. Les minéralogistes ont une échelle relative de dureté qui utilise dix minéraux communs, classés du plus tendre au plus dur, de 1 à 10. Cette échelle a été construite par le minéralogiste autrichien Friedrich Mohs et se nomme par conséquent l'échelle de Mohs.

DURETÉ		
Rayés par l'ongle	1	Talc
Rayés par une pièce en cuivre de un cent	2	Gypse
	3	Calcite
Rayés par la lame d'acier d'un canif	4	Fluorite
	5	Apatite
Rayent le verre	6	K-feldspath
	7	Quartz
	8	Topaze
	9	Corindon
	10	Diamant

Tableau 2.1 : Echelle de dureté de MOHS

Sur cette échelle, on a quelques points de repères. Des minéraux comme le talc et le gypse sont si tendres qu'ils sont rayés par l'ongle. Pas étonnant qu'on utilise le talc dans les poudres pour la peau. La calcite est rayée par une pièce de cuivre, alors qu'une lame de canif, en acier, saura rayer tous les minéraux de dureté inférieure à 5, mais ne pourra rayer les feldspaths et le quartz. Un morceau de corindon, très dur, un minéral qu'on utilise dans les abrasifs, pourra rayer le quartz, mais sera rayé par un diamant.

e) Densité

La densité des minéraux est une propriété mesurable; elle est une constante physique qui caractérise un minéral donné. Beaucoup de minéraux ont une densité qui se situe autour de 2.7 gr/cm³, soit 2.7 fois plus lourd qu'un volume égal d'eau. Mais certains ont une densité relativement faible, comme le sel qui a une densité de 2.1; d'autres se situent à l'autre extrême, comme la galène (sulfure de plomb) avec une densité de 7.5 et l'or dont la densité est de 19.3.

f) Forme cristalline

La forme cristalline est souvent ce qui donne la valeur esthétique d'un minéral. Chaque minéral cristallise dans un système donné, ce qu'on appelle un système cristallin. Un minéral donné reproduira toujours les mêmes formes régies par ce système. Par exemple, l'halite (sel) cristallise dans le système cubique. La calcite cristallise dans le système rhomboédrique, un système où les trois axes sont de longueur égale et où les angles entre les axes sont identiques, mais différents de 90°. Le quartz commun cristallise dans le système hexagonal; on aura des cristaux à six côtés, et, dans les formes pyramidales, on aura une pyramide à six faces à chaque extrémité.

g) Clivage

Le clivage (voire figure 2.2) est une propriété très importante des minéraux. Il correspond à des plans de faiblesse dans la structure cristalline. Puisqu'il s'agit de plans de faiblesse, un minéral va donc se briser facilement le long des plans de clivage, alors qu'il ne se brisera jamais selon ses faces cristallines.

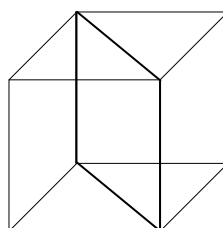


Figure 2.2 : Clivage

c) Macles

Imbrication intime de 2 ou de n individus de la même espèce dès les premiers stades de la germination et de la croissance cristalline. Il est rare que le cristal soit seul, on assiste très souvent à l'association de 2 ou 3 cristaux, cette association s'appelle macle.

h) Effervescence

Les minéraux de la classe des carbonates sont décomposés chimiquement par les acides; cette réaction chimique dégage des bulles de gaz carbonique, un phénomène qu'on qualifie d'effervescence (un bouillonnement). Selon les minéraux carbonatés, cette effervescence se produit, sur la masse minérale même ou sur la poussière, à froid ou à chaud.

1.4) Les principaux minéraux constitutifs de l'écorce terrestre**a) Les différents types de minéraux**

Les minéraux sont rangés en 10 classes, notées en chiffres romains.

Classe I : Les éléments natifs

L'élément natif est un corps chimique qui ne peut se décomposer en corps plus simple. Il représente 3 à 4% des espèces. Les métaux existent sous forme d'éléments natifs (constituant pur) ou, plus généralement, d'alliages.

On les divise en trois sous-classes :

- Métaux natifs : or (Au), argent (Ag), cuivre (Cu), platine (Pt), ...
- Semi-métaux : le bismuth (Bi), l'antimoine (Sb), l'arsenic (As), ...
- Métalloïdes : carbone (C), soufre (S), ...

Classe II : Les sulfures et dérivés

Ils représentent 15 à 20% des minéraux. De nombreux minerais sont des sulfures. Ils sont répartis en deux groupes :

- Les sulfures, arsénures, antimoniures, tellures : le groupement anionique ne contient que du soufre, les plus courants étant la pyrite (FeS_2) et la galène (PbS_2)
- Les sulfosels : Le groupement anionique est composé de soufre et d'un autre métal.

Classe III : Les halogénures

Le groupe anionique des halogénures sont des halogènes. Cette classe représente 5 à 6% des espèces minérales. Le plus connu est sans doute la halite (NaCl), ou sel gemme. Les halogénures sont fragiles, légers et souvent solubles dans l'eau.

Classe IV : Les oxydes et hydroxydes

La quatrième classe regroupe les minéraux dont le groupe anionique est constitué d'oxygène ou d'hydroxyle ($[\text{OH}]^-$). 14% des minéraux sont des oxydes.

On les divise en trois sous-classes :

- Les oxydes simples : l'hématite (Fe_2O_3), minéral de fer.
- Les oxydes multiples : le spinelle (MgAl_2O_4) utilisé en joaillerie en substitution du rubis.
- Les hydroxydes

Classe V : Carbonates et nitrates

Ces minéraux se caractérisent par leur fragilité et une faible dureté. On distingue deux sous-classes :

- Carbonates
Le groupement anionique est le groupe carbonate $[\text{CO}_3]^{2-}$. Ils représentent 9% des espèces connues. Parmi elles, des espèces importantes, comme la calcite (CaCO_3), qui est le constituant principal du calcaire.
- Nitrates
Le groupement anionique est l'ion nitrate $[\text{NO}_3]^-$.

Classe VI : Borates

Le groupement anionique est soit l'ion borate $[\text{BO}_3]^{3-}$ soit l'ion $[\text{BO}_4]^{5-}$. Cette petite famille représente 2% des minéraux.

Classe VII : Sulfates et dérivés

Cette classe représente 10% des minéraux et se définit par le groupement anionique de forme $[XO_4]^{2-}$.

- Sulfates : $[SO_4]^{2-}$. Le sulfate le plus connu est sans aucun doute le gypse, la pierre à plâtre ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).
- Chromates : $[CrO_4]^{2-}$
- Tungstates : $[WO_4]^{2-}$
- Molybdates : $[MoO_4]^{2-}$

Classe VIII : Phosphates et dérivés

Cette classe regroupe 16%. Le groupe anionique est de forme $[XO_4]^{3-}$.

- Phosphates : $[PO_4]^{3-}$
- Arsénates : $[AsO_4]^{3-}$
- Vanadates : $[VO_4]^{3-}$

Classe IX : Silicates

L'unité de base du minéral est l'ion silicate $[SiO_4]^{4-}$. Les silicates représentent plus d'un quart des minéraux à la surface du globe. Cette abondance a amené à une classification spécifique. Celle-ci fait intervenir des notions structurales, c'est-à-dire fonction de l'enchaînement des tétraèdres $[SiO_4]$. Les silicates sont divisés en 6 sous-classes.

- **Les nésosilicates**
Les nésosilicates représentent 5% environ des espèces minérales. On y retrouve l'olivine $(Mg,Fe)_2SiO_4$, les grenats et les topazes.
- **Les sorosilicates**
Les sorosilicates représentent 3% environ des espèces minérales. Parmi elles, l'épidote.
- **Les cyclosilicates**
S'ils ne représentent que 2% des espèces minérales, celles-ci sont très connues comme pierres gemmes. Il y a d'abord tous les béryls : aigue-marine, émeraude, et toutes les tourmalines.
- **Les inosilicates**
Les inosilicates représentent 4,5% environ des espèces minérales. Les deux grandes familles sont les pyroxènes et les amphiboles
- **Les phyllosilicates**
On distingue donc plusieurs familles : les micas, les argiles et les serpentines. Les phyllosilicates représentent 6,5% environ des espèces.
- **Les tectosilicates**
La formule chimique de base est donc SiO_2 comme pour le quartz. Le nombre et la nature des substitutions déterminent les familles des feldspaths, des feldspathoïdes et des zéolites. Les tectosilicates représentent 4% des minéraux.

Classe X : Minéraux organiques

Cette classe renferme environ 30 d'espèces à structure cristallographique bien définie. C'est le cas de la whewellite, minéral constitutif des calculs rénaux.

b) Proportions des minéraux et leurs utilisation

Le tableau 2.2 présente la proportion des éléments chimiques les plus abondants dans la croûte terrestre.

Oxygène (O)	46,6 %	~75 %
Silicium (Si)	27,7	
Aluminium (Al)	8,1	
Fer (Fe)	5,0	
Calcium (Ca)	3,6	
Sodium (Na)	2,8	
Potassium (K)	2,6	
Magnésium (Mg)	2,1	
... les autres	1,5	

Tableau 2.2 : Les éléments chimiques les plus abondants

On y voit que deux éléments seulement, Si et O, comptent pour près des trois quarts (74,3%) de l'ensemble des matériaux. Il n'est donc pas surprenant qu'un groupe de minéraux composés fondamentalement de Si et O avec un certain nombre d'autres ions et nommés silicates, compose à lui seul 95% du volume de la croûte terrestre. A noter que cette répartition n'est applicable qu'à la croûte terrestre. On considère que le noyau est composé presque uniquement de fer et de nickel, ce qui est bien différent de ce qu'on présente ici. Lors de la formation de la terre, les éléments légers, comme l'oxygène et le silicium ont migré vers l'extérieur, alors que les éléments plus lourds, comme le fer, se sont concentrés au centre. Le tableau 2.3 présente les minéraux les plus communs dans les principaux groupes et leurs usages.

GROUPE	MINÉRAL	FORMULE	USAGE
ÉLÉMENTS NATIFS	Or Argent Cuivre Diamant Graphite Soufre Platine	Au Ag Cu C C S Pt	Échange, joaillerie joaillerie, photographie conducteurs électriques gemmes, abrasifs mines à crayons, lubrifiants médicaments, produits chimiques catalyseurs, alliages
OXYDES	Hématite Magnétite Corindon	Fe ₂ O ₃ Fe ₃ O ₄ Al ₂ O ₃	minerai de fer minerai de fer gemme, abrasif
SULFURES	Galène Sphalérite Pyrite Chalcopryrite Bornite Cinabre	PbS ZnS FeS ₂ CuFeS ₂ Cu ₅ FeS ₄ HgS	minerai de plomb minerai de zinc "or des fous" minerai de cuivre minerai de cuivre minerai de mercure
SULFATES	Gypse Anhydrite Barite	CaSO ₄ .H ₂ O CaSO ₄ BaSO ₄	plâtre et panneaux plâtre et panneaux boue de forage
CARBONATES	Calcite Dolomite Malachite Azurite Rhodochrosite	CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃ Cu ₃ (OH) ₂ (CO ₃) ₂ MnCO ₃	ciment Portland ciment Portland minerai de cuivre, joaillerie minerai de cuivre, joaillerie joaillerie
SILICATES	quartz talc amiante kaolinite	SiO ₂ Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ Mg ₆ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈ Al ₄ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈	verre, horlogerie, calculatrices poudre pour bébés isolant céramique
HALOGÉNURES	Halite Fluorite Sylvite	NaCl CaF ₂ KCl	sel commun fabrication des aciers fertilisants
HYDROXYDES	Limonite Bauxite	FeO(OH).nH ₂ O Al(OH) ₃ . nH ₂ O	minerai de fer, pigment minerai d'aluminium

Tableau 2.3 : Les minéraux et leurs usages

C) exemple de minéraux

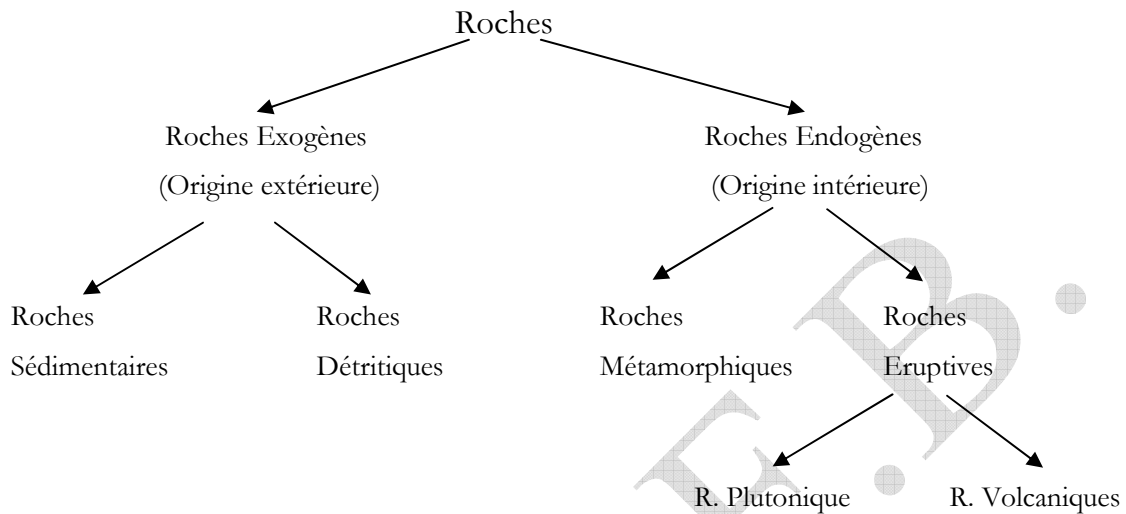


Figure 2.3 : Exemple de minéraux

2) LA PETROGRAPHIE

2.1) Introduction

La pétrographie c'est la science qui étudie les roches. Il existe deux grandes catégories de roches



Trois grands types de roches forment la croûte terrestre. La figure 2.4 présente ces trois grands types, ainsi que les processus qui conduisent à leur formation. Ainsi présenté, il véhicule l'idée de la cyclicité des processus.

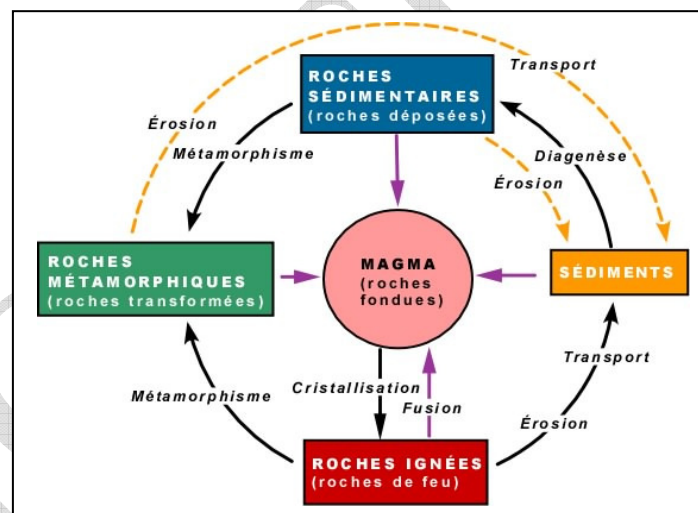


Figure 2.4 : Cycles de formation des roches

2.2) Définition de la roche

C'est un matériau qui entre dans la constitution de l'écorce terrestre quelque soit ses propriétés et son aspect physique. Une roche correspond à un agencement de minéraux les uns par rapport aux autres selon les lois de la cristallographie. Chaque roche a une architecture, une forme, les dimensions et une disposition particulière.

2.3) Les roches sédimentaires

a) Introduction

Les roches sédimentaires sont les roches qui résultent de l'accumulation et du compactage de débris d'origine minérale (dégradation d'autres roches), organique (restes de végétaux ou d'animaux, fossiles), ou de précipitation chimique.

Elles se forment sur la surface de la terre, ou au fond des eaux et résultent de l'action des agents d'érosions et du transport et de l'activité des êtres vivants ou des phénomènes purement physiques ou chimiques se sont donc les roches Exogènes.



Figure 2.5 : Différentes couches sédimentaires

b) Processus de sédimentation

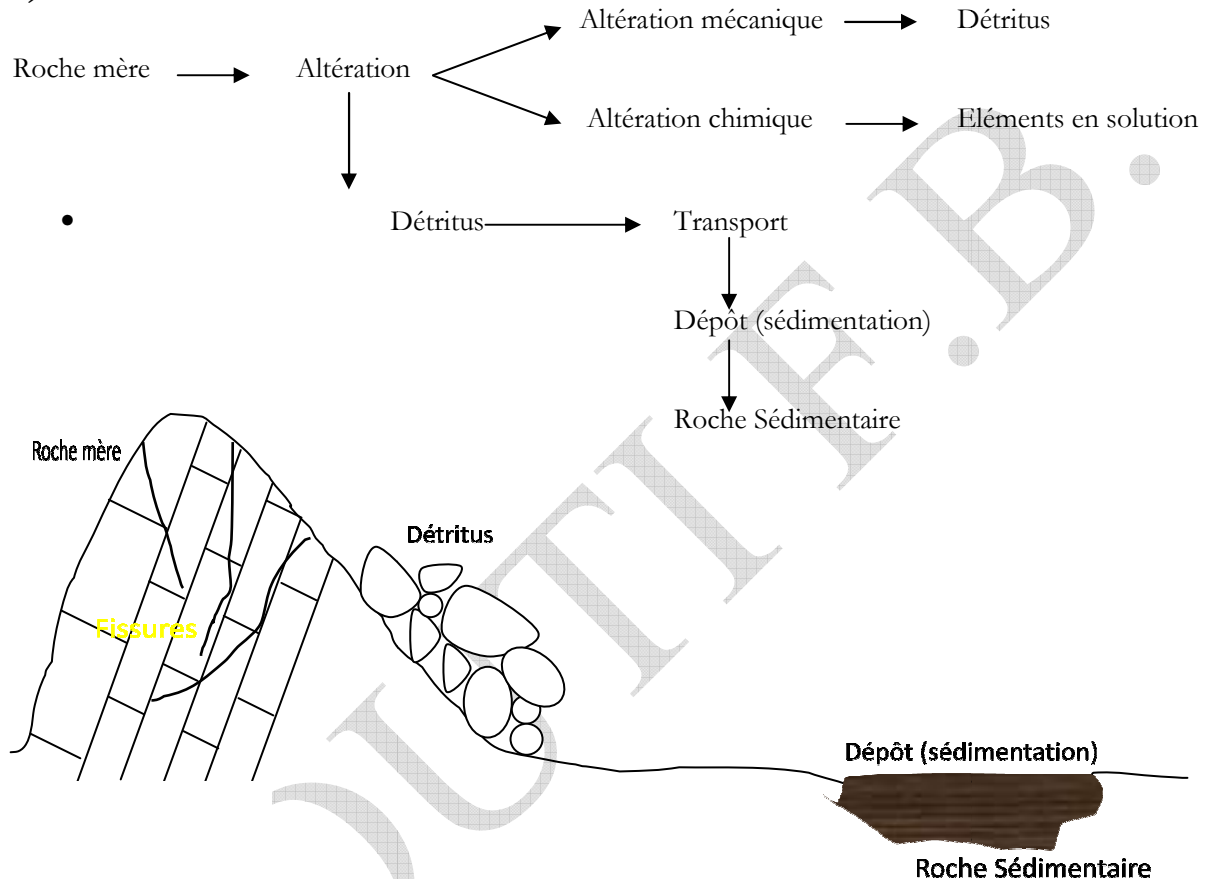


Figure 2.6 : Processus de sédimentation

i)- L'altération superficielle (Stade de mobilisation)

Les processus de l'altération superficielle de la roche mère sont de trois types : mécaniques, chimiques et biologiques.

- Les processus mécaniques (ou physiques) sont ceux qui désagrègent mécaniquement la roche, comme l'action du gel et du dégel qui à cause de l'expansion de l'eau qui gèle dans les fractures ouvre progressivement ces dernières. L'action mécanique des racines des arbres ouvre aussi les fractures.

Altération mécanique (pluie, variation de température gel et dégel),

Existence de fissures + eau + gel + dégel ➡ éclatement de la roche

- L'altération chimique est très importante : plusieurs silicates, comme les feldspaths, souvent abondants dans les roches ignées, sont facilement attaqués par les eaux de pluies et transformés en minéraux des argiles (phyllosilicates) pour former des boues. Modification de la composition de la composition chimique (cristallographie)
- Certains organismes ont la possibilité d'attaquer biochimiquement les minéraux. Certaines roches vont chercher dans les minéraux les éléments chimiques dont ils ont besoin.

L'action combinée de ces trois mécanismes produit des particules de toutes tailles. C'est là le point de départ du processus général de la sédimentation.

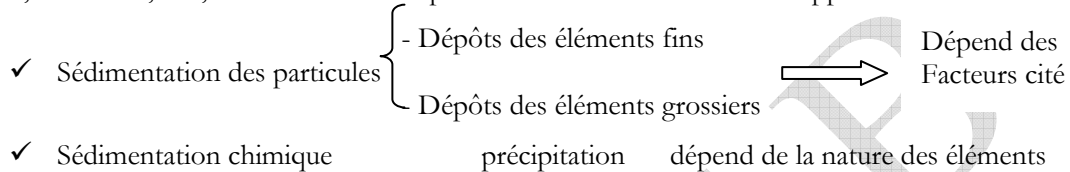
ii)- Le transport.

Outre le vent et la glace, c'est surtout l'eau qui assure le transport des particules. Selon le mode et l'énergie du transport, le sédiment résultant comportera des structures sédimentaires variées.

- ✓ Transport par roulement
- ✓ Transport par traction
- ✓ Transport par saltation
- ✓ Transport par suspension

iii)- La sédimentation.

Tout le matériel transporté s'accumule dans un bassin de sédimentation, ultimement le bassin marin, pour former un dépôt. Les sédiments se déposent en couches successives dont la composition, la taille des particules, la couleur, etc., varient dans le temps selon la nature des sédiments apportés.

**iv)- Faciès des roches sédimentaires**

Un faciès est ensembles des caractères paléontologique (étude des fossiles) et Lithologique (nature chimique) des roches qui définissent un dépôt et révèlent en même temps les conditions dans les quelles ils sont formés.

On a :

- Faciès marins
- Faciès continental
- Faciès lacustre (dépôt dans les lacs)

v)- Diagenèse

On appelle diagenèse les transformations physiques et chimiques qu'ils subissent après leurs dépôts et qui les transforment en roches sédimentaires. La diagenèse s'accomplit à faible profondeur et à faible température, mois de 100 à 200°C, ce qui la distingue du métamorphisme. Les facteurs de la diagenèse :

- Les êtres vivants
- L'action de l'eau
- Action des facteurs physiques (pression, température, mouvement tectonique)

c) Principales roches sédimentaires**i)- formation**

D'après l'origine, on distingue les roches détritiques, roches chimiques et roches organiques.

Les roches d'origine détritiques

Au bord d'une rivière ou de la mer. La roche est plus ou moins fissurée, sous l'effet du gel et dégel, les fragments tombent au pied, la rivière les enlève, les transporte et les dépose plus loin, les dépôts ainsi formés sont des sédiments. Souvent les débris sont soudés les uns aux autres par un ciment, la roche qui était meuble à l'origine, se trouve consolidée et dure.

Cinq étapes principales conduisent aux roches dures détritiques :

- 1- Elaboration sur place des fragments
- 2- Leurs enlèvements ou mobilisation
- 3- Le transport
- 4- Le dépôt, sous forme de sédiments meubles
- 5- La cimentation qui les transforme en roches cohérentes.

Les roches d'origine organique

Après la mort d'animaux ou de plantes, les parties dures ou résistantes, s'accumulent et donnent des roches sédimentaires.

Les roches d'origine chimique

L'évaporation se produit à l'air libre dans des lagunes salées, l'eau s'évapore, le sel reste et se dépose.

ii- Roches sédimentaires Siliceuses

Ce sont des roches formées essentiellement de silice sous forme de quartz. Elles sont dures (rayent le verre et l'acier) et sont caractérisées par l'existence d'une grande résistance chimique (pas d'effervescence avec les acides) sauf l'acide fluorhydrique (HF)

✓ Origine détritique

Peuvent être meubles ou consolidées

Exemple : Sable → meuble

Grès → consolidé (figure 2.7)

✓ Origine chimique

Diatomites (polissage),

Radiolarites (utilisé par les bijoutiers).

✓ Origine chimique

Exemple : Silex. (Figure 2.8)



Figure 2.7 : Grès



Figure 2.8 : Rognons de silex

iii- Roches évaporitiques (roches salines)

Composées de chlorures ou de sulfate, les roches salines sont en grande majorité des résidus d'évaporation de l'eau de mer ou de lagunes, d'où le nom d'évaporites.

La précipitation des minéraux évaporitiques se fait, entre autres, dans les grandes lagunes en bord de mer, lagunes qui se mesurent en plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres carrés, dans des régions où l'évaporation excède la précipitation

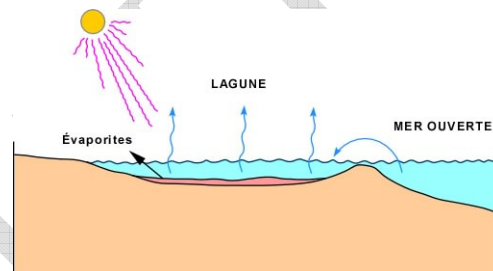


Figure 2.9 : formation de roches salines

Le gros de l'alimentation en eau de ces lagunes vient de la mer. L'évaporation concentre la solution et les minéraux évaporitiques s'accumulent au plancher de la lagune. Pour une région donnée, il s'établira une sorte d'équilibre entre l'alimentation de la lagune en eau marine et l'évaporation, ce qui fait que la salinité de l'eau demeurera à peu près constante. En fonction de cette salinité, c'est l'un ou l'autre des minéraux de la séquence qui précipite. Le plus souvent, on oscille entre la calcite et le gypse.

Dans une variante du système évaporitique, les minéraux cristallisent et croissent à l'intérieur du sédiment. Il s'agit de grandes plaines en bordure de mer qui s'étendent sur des centaines de kilomètres carrés, mais dont la surface est à peine quelques mètres au-dessus du niveau marin. C'est ce qu'on appelle la sebkha.

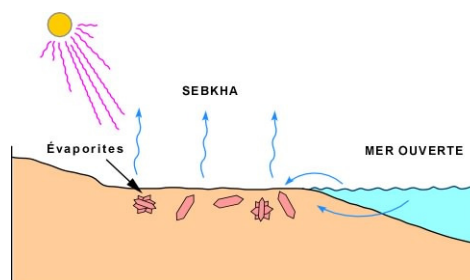


Figure 2.10 : la sebkha

Le sous-sol de ces grandes plaines est alimenté principalement par l'eau marine. L'évaporation qui se fait à la surface de la plaine augmente la salinité des eaux souterraines qui précipitent alors les minéraux

évaporitiques. Le plus souvent, le système se stabilise au gypse, avec parfois des cristaux de sel. Les minéraux cristallisent et croissent à l'intérieur même du sédiment. La sebkha ne se développe pas exclusivement en bordure de mer, mais partout où on peut concentrer des eaux salines dans la nappe phréatique et les évaporer. Ainsi, certaines plaines dans le désert où on a concentré périodiquement des eaux salines provenant de l'érosion de formation riches en sels minéraux contiennent des minéraux évaporitiques. Les magnifiques roses des sables (voire figure 2.11) sont un exemple de ce phénomène. Elles se sont développées à l'intérieur des sables d'une sebkha désertique et sont composées de grains de sable cimentés par du gypse, de là les formes cristallines de ce dernier.

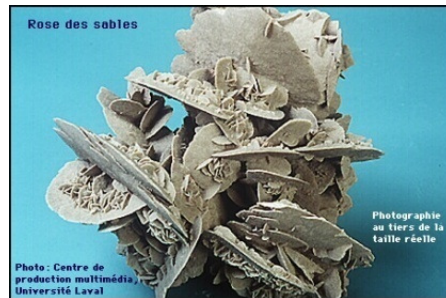


Figure 2.11 : Roses des sables

a) : Gypse

Le gypse (figure 2.12) est un sulfate de calcium hydraté, tendre rayé par l'ongle, se dissout dans l'eau.

* en chauffant le gypse vers 100 à 250°C on obtient le plâtre



* il existe aussi les plâtres spéciaux

* le gypse entre dans la fabrication de certains fongicides et insecticides.



Figure 2.12 : Gypse

b) : Sel gemme

Le sel gemme est du chlorure de sodium (Na Cl), soluble dans l'eau, reconnaissable à sa saveur, il offre des couleurs variées ; blanches, grises, rouges, jaunes ou incolores. Il colore la flamme en jaune. Il résulte d'une évaporation plus poussée que le gypse.

Le sel est employé en cuisine et dans les industries alimentaires et chimiques, pour la fabrication de la soude (Na_2CO_3).

iv- Roches carbonatées

Principalement composées de :

Carbonate de calcium (calcite) $\rightarrow \text{CaCO}_3$

Carbonate de magnésium (dolomite) $\rightarrow \text{MgCO}_3$

Carbonate de fer (sidérose) $\rightarrow \text{FeCO}_3$

a) : Calcaires

Elles renferment au moins 50% de CaCO_3 (calcite), font effervescence à froid avec les acides, sont tendres (la calcite a la dureté 3), elles sont rayables à l'acier et parfois à l'ongle (craie)

Exemple : les analyses de la craie (figure 2.13) révèlent qu'elle est souvent très pure. C'est un calcaire fait presque uniquement de calcite, sous forme de tests d'organismes marins microscopiques. Elle est blanche, tendre et friable

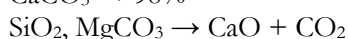
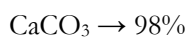


Figure 2.13 : Falaise de craie

Application pratique des calcaires

Par calcination, les calcaires fournissent la chaux



En portant du calcaire marneux à plus de 1400° C, on obtient le Ciment.

Suivant le pourcentage d'argile on obtient des produits différents (voir tableau 2.4)

% Argile	0	5	12	20	25	40
% Calcaire	100	95	88	80	75	60
Roche	Calcaire	Calcaire Marneux				Marne
Produit Obtenue	Chaux Grasse	Chaux Maigre	Chaux Hydraulique	Ciment a prise Lente	Ciment Ordinaire	Ciment a prise rapide

Tableau 2.4 : Produits obtenue par les roches calcaires et argileuses.

v- Roches carbonées

Se sont des roches formées essentiellement de carbone. Les principales roches sont les charbons (tourbe, houilles, lignite et anthracite) et les pétroles, on les appelle aussi les roches combustibles.

Les charbons (du latin *carbona* = charbon) désigne des roches sédimentaires stratifiées, combustibles, de couleur sombre, formées principalement de débris végétaux. On distingue plus précisément :

- la tourbe (65% de C), légère, brune, formée d'un amas de plantes enrichies en carbone.
- le lignite (70-75% de C), brun noir et terne, à débris ligneux bien reconnaissables, à pouvoir calorifique de l'ordre de 5000 kcal/kg.
- la houille ou charbon (voir figure 2.17) (85% de C), noire, mate ou brillante, tachant les doigts, bon combustible, plus au moins friable.
- l'anthracite (voir figure 2.16) (92-95% de C), noir, brillant, ne tachant pas les doigts, possède le pouvoir calorifique le plus élevé: plus de 8000 kcal/kg.



a) Tourbe



b) Anthracite



c) Charbon

Figure 2.14 : Les charbons

Les pétroles (du grec *petrelaion* = huile de pierre) : désigne une série de produit de mélanges complexes composés d'hydrocarbure avec une faible quantité d'azote, d'oxygène, de soufre et d'hélium. La densité des pétroles varie de 0,7 à 0,97.

vi- Roches argileuses

Les argiles sont des roches tendres (rayables à l'ongle), douées d'un grand pouvoir absorbant. Elles gonflent à l'eau et deviennent plastiques avant de perdre leur cohésion. Elles ne se déforment pas à la cuisson mais durcissent, changeant de couleur si elles renferment des oxydes de fer.

* Les minéraux argileux

Ce sont des minéraux qui n'atteignent jamais de grande dimension. Elles ont une forme caractéristique en feuillet (voir figure 2.15) d'une largeur moyenne de 1 µm et d'épaisseur de l'ordre de 1/100 µm.

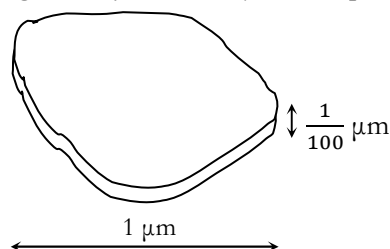


Figure 2.15 : Feuillet d'argile

On peut les classer en :

- ✚ Minéraux argileux à deux feuillets (Kaolinites et Hallaysites)
- ✚ Minéraux argileux à trois feuillets (Montmorillonites et Illites)
- ✚ Minéraux argileux fibreux (Sépiolites)

* Feuille de base

On a deux types de minéraux qui constituent les deux structures de base desquelles sont construites toutes les argiles à savoir :

La silice qui est tétraédrique (SiO_2) voir figure 2.16.

L'épaisseur est de 4 Å

Hydroxyde d'aluminium ou Hydroxyde de Magnésium qui sont Octaédrique, voir figure 2.17.

L'épaisseur est de 3 Å

* Principales familles d'argiles

- KAOLINITE (figure 2.18): c'est l'argile la plus stable dont le feuillet comporte 2 couches, une de Silice l'autre d'Alumine, la liaison se fait par l'intermédiaire des atomes d'oxygènes.

- HALLAYSITE figure 2.19: ce n'est qu'une KAOLINITE hydratée (il existe deux états d'hydratation dans la nature $2\text{H}_2\text{O}$ et $4\text{H}_2\text{O}$).

- MONTMORILLONITE (figure 2.20) : le feuillet élémentaire de cette famille résulte d'un assemblage d'un octaédrique intercalé entre deux feuillets tétraédrique. La liaison entre les feuillets de base est très faible de telle sorte que des molécules d'eau peuvent s'y intercaler, il peut y avoir jusqu'à 6 molécules d'eau. Ainsi les sols dont la teneur en MONTMORILLONITE est relevée sont susceptibles de gonflement et de retrait important suivant la variation de la teneur en eau.

- ILLITE (figure 2.21: l'illite a une structure analogue à celle de la MONTMORILLONITE mais des ions de potassium sont intercalés entre les feuillets tétraédriques grâce à ces ions, les liaisons sont relativement plus fortes et les molécules d'eaux ne peuvent s'y intercaler.

- CHLORITE (figure 2.2) : le feuillet de chlorite est constitué de deux feuillets de MONTMORILLONITE reliée entre eux par une couche d'hydroxyde de magnésium.

* Importance des argiles

Toutes les argiles font pâte avec l'eau, donc on les utilise dans la fabrication des briques tuiles et céramiques surtout les argiles à KAOLINITE.



Figure 2.16 : Feuille de Silice



Figure 2.17 : Hydroxydes d'aluminium et de magnésium

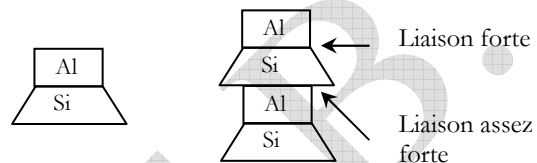


Figure 2.18 : Kaolinite

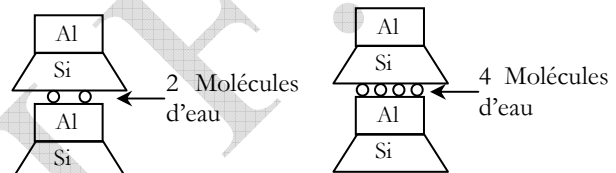


Figure 2.19 : Hallaysite

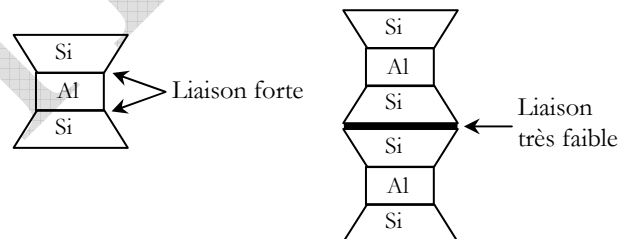


Figure 2.20 : Montmorillonite

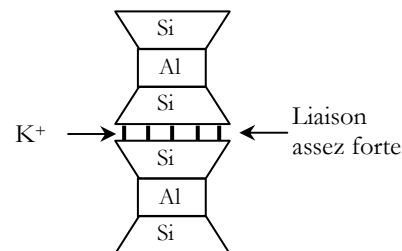


Figure 2.21 : Illite

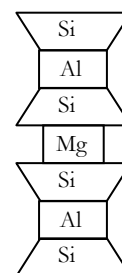


Figure 2.22 : Chlorite

2.4) Les roches métamorphiques

a) Introduction

Les roches métamorphiques sont issues de la transformation de roches ignées ou sédimentaires sous l'effet de température et/ou de pressions élevées. Deux grands types de métamorphisme produisent la majorité des roches métamorphiques : le métamorphisme de contact et le métamorphisme régional. Un troisième type est plus restreint : le métamorphisme de choc.

Roche A	différente	Roche B
$T^{\circ}1$		$T^{\circ}2$
$P1$		$P2$

b) Facteurs de métamorphisme

i- Augmentation de la température

Au cours d'un enfouissement sous de nouvelles couches de sédiment, les roches sont soumises à des températures de plus en plus élevées à cause du gradient géothermique.

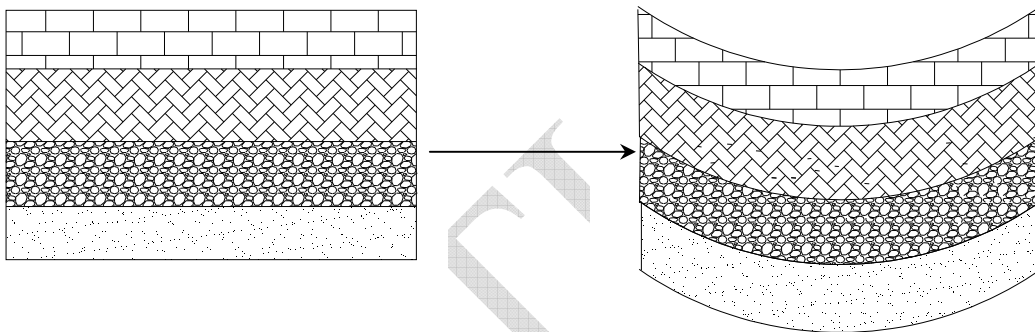


Figure 2.23 : Influence du poids des couches

Lorsque le magma très chaud est introduit dans une séquence de roches froides, il y a transfert de chaleur et cuisson de la roche encaissante aux bordures.

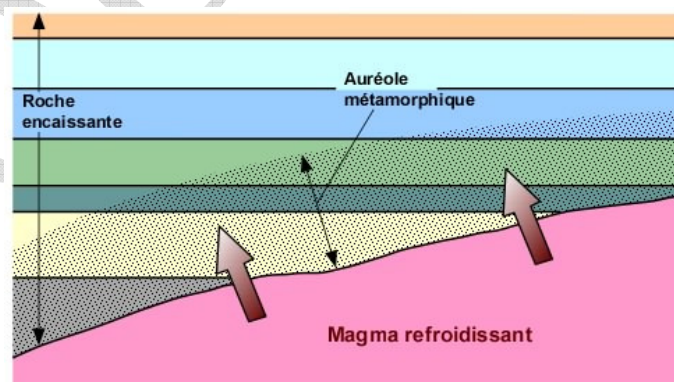


Figure 2.24 : Influence du magma

La tectonique est aussi un facteur de l'élévation de température.

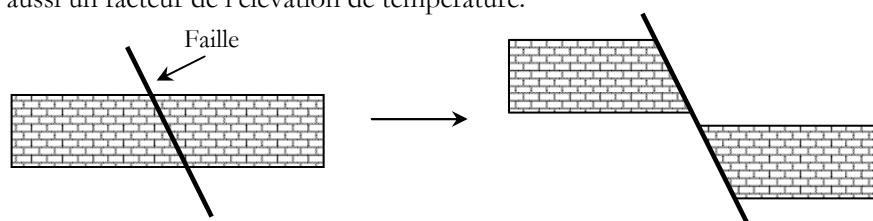


Figure 2.25 : Influence de la tectonique

ii- Augmentation de la pression

La pression (voire figure 2.23) s'accroît en profondeur en même temps que la température, les pressions qu'elles subissent s'élèvent progressivement.

iii- Le temps

Se fait en temps assez long. Exemple : la craie comprimée à 600 atmosphères pendant quelques instants ne subit pas de transformation notable, mais elle se transforme en calcaire cohérent si on la maintient sous pression pendant 17 ans.

c) Les types de métamorphisme

i- Le métamorphisme de contact.

Le métamorphisme de contact est celui qui se produit dans la roche encaissante au contact d'intrusifs. Lorsque le magma encore très chaud est introduit dans une séquence de roches froides, il y a transfert de chaleur (voire figure 2.24) et cuisson de la roche encaissante aux bordures.

ii- Le métamorphisme régional et la foliation métamorphique.

Le métamorphisme régional est celui qui affecte de grandes régions. Il est à la fois contrôlé par des augmentations importantes de pression et de température. C'est le métamorphisme des racines de chaînes de montagnes (Reliée à la genèse de grande chaîne de montagnes (700°C à 800°C)).

iii- Le métamorphisme de choc.

Le métamorphisme de choc est celui produit par la chute d'une météorite à la surface de la planète. Le choc engendre des températures et des pressions énormément élevées qui transforment les minéraux de la roche choquées, des températures et des pressions qui sont bien au-delà de celles atteintes dans le métamorphisme régional.

d) Série des roches métamorphiques.

Le gros des roches métamorphiques (en volume) provient du métamorphisme régional. Il est rare que l'on puisse déterminer si une roche métamorphique vient de la transformation de telle ou telle roche (roche d'origine) à telle ou telle pression et température (trajet en P, T de la roche, c'est-à-dire son histoire métamorphique). Le tableau qui suit présente les roches métamorphiques les plus courantes en fonction du degré de métamorphisme.

Tableaux 2.5 : Principales roches métamorphiques

Quelques roches métamorphiques.		Quelques minéraux du métamorphisme
Schiste	toute roche métamorphique présentant une <u>schistosité</u> c'est-à-dire des plans de débitage donnant un aspect feuilleté à la roche (granite)	minéraux argileux: séricite, chlorite, biotite
micaschiste	roche métamorphique présentant une schistosité et une <u>foliation</u> (schistosité minéralogique correspondant à des accumulations de minéraux le longs de plans). Riche en lamelles de micas (brillantes) visibles à l'œil nu.	
gneiss	roche métamorphique à foliation très nette caractérisée par des alternances de lits de teinte sombre (riches en minéraux ferromagnésiens) et de lits clairs (quartz et feldspaths).	autres minéraux marqueurs: grenat, staurotide...
marbre	roche métamorphique calcaire à grains fins présentant ou non des veines colorées correspondant à différents minéraux argileux. Proviennent de calcaires ou dolomies.	silicates d'alumine de formule : (SiAl ₂ O ₅): sillimanite, andalousite, disthène
amphibolite pyroxénite	roches métamorphiques sombres où dominent les amphiboles ou les pyroxènes. Elles peuvent provenir d'argiles sédimentaires, de basaltes ou encore de gabbros.	

2.4) Les roches magmatiques

a) Introduction

Les roches éruptives résultent de la cristallisation du liquide ou magma (bain silicaté), ce magma arrive directement à la surface à l'état liquide et on appelle ça volcan.

Quand le magma s'arrête en profondeur, il se cristallise (on parle de roches cristallines) et on l'appelle dans ce cas pluton.

Les roches volcaniques cristallisent plus rapidement que les roches plutoniques et possèdent souvent de cristaux de moins grande taille. Certaines roches volcaniques solidifiées trop vite n'ont pas cristallisé et donnent des verres (roches vitreuses).

b) Processus magmatique

Le volcanisme est un phénomène qui est le responsable de la majeure partie des ouvertures des océans.

Appareils Volcaniques

Nous avons différents types d'appareils volcaniques.

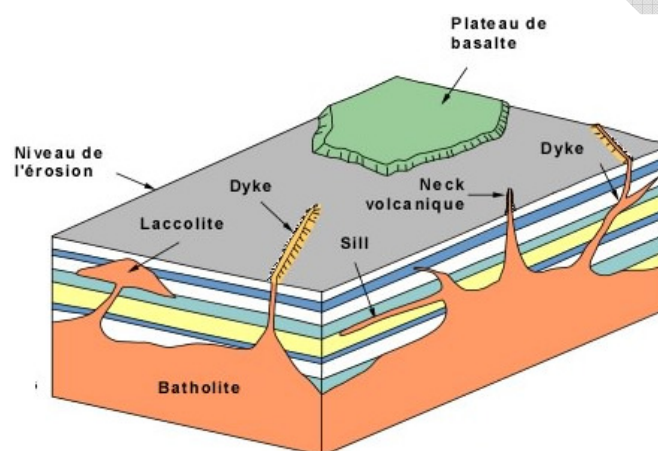


Figure 2.26 : Appareils volcaniques

- 1- Sill : c'est un corps horizontal
- 2- Dyke : c'est un corps légèrement vertical
- 3- Neck : ouvertures
- 4- Batholite : c'est un corps de grande taille dont on ne connaît pas la base
- 5- Laccolite : c'est un corps qui est emprisonné entre des roches encaissantes et on connaît la base.

c) Processus fondamentale de la naissance des roches magmatiques en général

i- Naissance du magma (bain silicaté)

- ✓ Augmentation de la température : la fusion des matériaux
- ✓ Diminution de la pression : elle est très souvent liée à la température de fusion

Les magmas montent, du fait de leur densité, plus faible que les roches avoisinantes, ce qui est lié notamment à leur température. Plus ils montent plus ils se refroidissent, ce qui augmente leur viscosité, mais plus leur pression diminue, ce qui diminue leur viscosité. La fusion des roches est due principalement à une décompression.

ii- Transfert du magma

La force essentielle qui provoque la montée du magma, c'est la gravité et aussi la densité. Si les liquides se forment par fusion partielle, ils vont se trouver plus légers que les roches avoisinantes. Pour arriver en surface le magma progresse à la faveur de fractures plus ou moins importantes. C'est le gaz qui est le moteur principal de l'ascension du magma.

Le caractère plus ou moins explosif d'une éruption (arrivée à la surface des produits magmatiques) dépend de la viscosité du magma (de sa composante liquide, solide et gazeuse), de la fracturation de la roche, de la présence d'eau dans le réseau de fractures (l'eau augmente toujours le caractère explosif de l'éruption), ou encore de la présence d'un bouchon de lave solidifiée dans la partie supérieure du conduit principal témoin des éruptions antérieures.

iii- Vitesse du magma

Il y'a la montée rapide → Volcan

Il y'a aussi la montée lente → Pluton

La vitesse de montée du magma est un paramètre important et au cours de sa montée le magma peu subir une modification de sa composition chimique.

d) Principale roches éruptives

Tableau 2.6 : Principales roches magmatiques

Roches Plutoniques et <i>Roches Volcaniques</i>			
		<i>Avec du quartz (SiO₂)</i>	<i>Sans quartz</i>
Roches à minéraux clairs abondants	Feldspaths alcalins (K) et Plagioclases sodiques (Na)	Granodiorite	Syénite
		<i>Rhyo-dacite</i>	<i>Trachyte</i>
		Granite	Diorite
	Plagioclases calciques (Ca)	<i>Rhyolite</i>	<i>Andésite</i>
		Gabbro quartzique	Gabbro
		<i>Basalte tholéitique</i>	<i>Basalte</i>
Roches à minéraux sombres dominants			Amphibolites, Pyroxénolites, Péridotites

Propriétés et usages : le granite est une roche de densité comprise entre 2,6 et 2,7 employée dans de nombreux domaines.

Sa résistance à l'écrasement est de 1500 Kg/cm² en moyenne, comme tous agrégats, sa résistance à la traction est faible (30 Kg/cm²).

Le granite est universellement utilisé en voirie : pavés, bordures de trottoirs, dalle, ballast etc. L'usure différentielle des différents minéraux, lui confère une rugosité qui diminue le danger de dérapage.