

LES MATERIAUX DE LA LITHOSPHERE

Définition : roche, minéral, cristal

Les matériaux qui constituent la lithosphère, notamment la croûte terrestre, ainsi que les planètes telluriques, sont représentés essentiellement, par des roches.

Une roche (une pierre, un caillou) est définie comme un matériau (une matière) dur, inerte (ne fait pas partie du monde du vivant), froid et cohérent (consolidé).

Cas particuliers : Le sable (qui est meuble), des liquides (eau, pétrole) ou gaz (gaz naturel sous forme de méthane) ainsi que certains matériaux combustibles (charbon, houille) qui se trouvent, eux aussi dans la croûte terrestre peuvent être considérés comme des roches.

En dehors de ces matériaux, on admet qu'une **roche** est un matériau solide composé d'un assemblage de **minéraux** qui se présentent sous forme de **cristaux**.

La science qui étudie les roches est la **pétrographie**. L'étude des cristaux est la **cristallographie**, celle des minéraux est la **minéralogie**. On commencera par ces deux dernières sciences. Un cours (n°9) est réservé aux différents groupes de roches.

1. La cristallographie

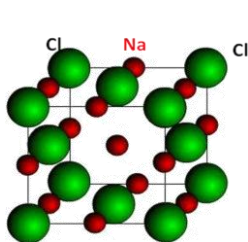
Définition

La cristallographie est l'étude des formes, des structures et des propriétés physiques des cristaux.

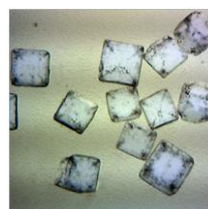
Un cristal : Le terme de cristal évoque un **minéral** aux formes géométriques régulières.

C'est un solide dont les *atomes* sont disposés de manière régulière, selon une disposition fondamentale. La disposition fondamentale signifie : la première forme géométrique du cristal. On parle également de maille élémentaire. (Ces structures sont observées et mesurées grâce au microscope électronique à transmission, MET et au diffractomètre des rayons X).

On peut imaginer une maille élémentaire, ou maille cristalline, comme la division d'un cristal en morceaux de plus en plus petits jusqu'à obtenir un volume insécable (indivisible). Dans le cas du sel (NaCl) la maille élémentaire est cubique.

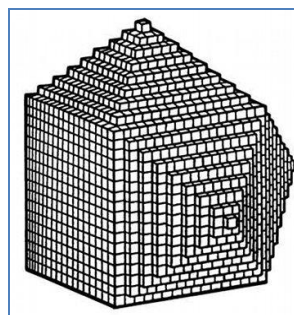
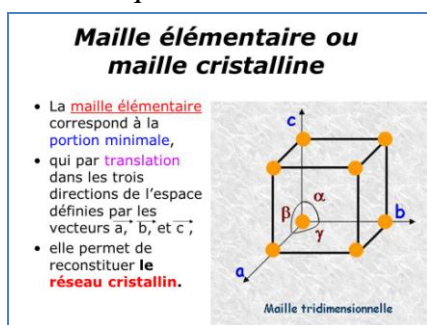


A gauche : dimension de l'arête de la maille cubique : $5,64 \text{ \AA}$ ($\text{\AA} = 10^{-4} \text{ micron}$). *A droite* : des cristaux cubiques de sel



Exemple d'une maille élémentaire de chlorure de sodium NaCl (sel de cuisine) formée d'ions Na^+ (en rouge) et Cl^- (en vert). A droite de gros cristaux de sel qui gardent leur structure cubique.

La maille cubique va se répéter dans les 3 directions de l'espace et aboutir à un cristal de forme également cubique dont la taille est de quelques millimètres à plusieurs centimètres.



La répétition d'une maille cubique va se répéter dans l'espace et donner un cristal cubique régulier ou irrégulier.

Les 7 systèmes cristallins

Dans la nature, la répétition de la maille élémentaire dans les 3 directions de l'espace aboutit à **7 systèmes cristallins** qui sont les suivants : Cubique, Quadratique, Orthorhombique, Hexagonal, Rhomboédrique, Monoclinique, Triclinique.

Figure 1 : Planche représentant les 7 systèmes cristallins

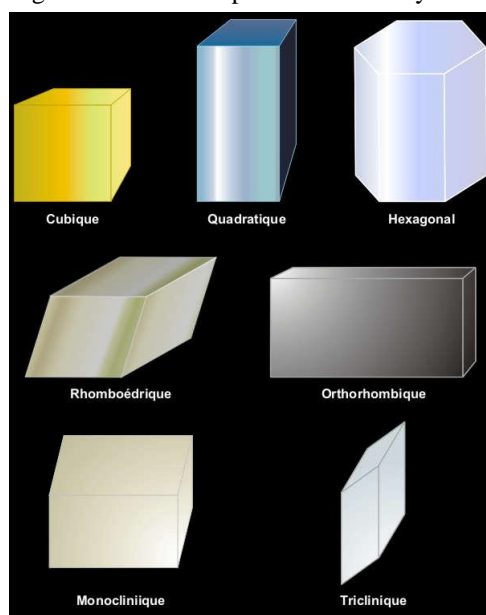


Planche représentant les 7 systèmes cristallins

Les systèmes sont définis par la géométrie des cristaux : quelques exemples : Dans le système cubique : toutes les faces sont des carrés ; dans le quadratique : les faces sommitale et basale sont des carrés et les faces latérales des rectangles ; dans l'orthorhombique toutes les faces sont des rectangles ; dans le système hexagonal, les faces sommitale et basale sont des hexagones et les faces latérales des rectangles.



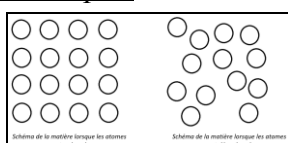
Paramètres des mailles élémentaires (voir encadré)

2. La minéralogie

La minéralogie est la science qui étudie les minéraux.

Un minéral : C'est un solide, inorganique, naturel qui a une composition chimique connue et qui se présente sous deux états physiques : l'état cristallin ou l'état amorphe.

L'état cristallin : état ordonné des atomes qui aboutit aux 7 systèmes cristallins cités plus haut. L'état amorphe : état désordonné des atomes.



Etat ordonné : cas des cristaux et leurs formes géométriques.
Etat désordonné : les liquides, les gaz et les matières amorphes comme le verre ou certaines substances minérales.

Explication : Le minéral est composé d'éléments chimiques sous forme d'atomes. Si les atomes sont répartis de façon ordonnée dans les 3 directions de l'espace, on parle de l'état cristallin.

Si les atomes ne sont pas ordonnés, on parle d'un état physique amorphe, c'est-à-dire qui n'a pas de formes cristallographiques.



Si on prend le cas de la silice SiO_2 , l'état cristallin donne des formes hexagonales et le minéral est dénommé : **quartz** (à gauche). L'état désordonné va donner de l'**opale** (à droite).



Quelques propriétés physiques des minéraux

Pour reconnaître et déterminer un minéral, on étudie les propriétés suivantes :

- La *couleur*, la *transparence* qui est fonction de la quantité de lumière qu'un minéral laisse passer, l'*éclat* qui est fonction de la quantité de lumière qui est réfléchi, la *densité* (rapport de la masse par rapport au volume et par rapport à la même quantité d'eau) et la *dureté*.

Exemple de densité $d(\text{eau})=1$; $d(\text{quartz})=2,7$; $d(\text{opale})=2$; $d(\text{or})=19$; $d(\text{platine})=20$

- La dureté est établie selon l'échelle de Mohs (inventée en 1812 par le minéralogiste allemand par le Friedrich Mohs) afin de mesurer la dureté des minéraux. Elle est basée sur dix minéraux facilement disponibles. Le minéral le plus tendre est le talc ($D=1$) ; le plus dur est le diamant ($D=10$).



Classification des minéraux

On peut définir un minéral comme une molécule résultant de la combinaison chimique entre un cation C^+ et un anion A^- (ou radical anionique [R] constitué de plusieurs éléments chimiques).

Exemple de minéral, le sel : $\text{Na Cl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{Molécule} = \text{Cation}^+ + \text{Anion}^-$

Les minéraux sont classés en fonction de leur anion. Ici l'anion est représenté par le chlore, ce minéral, le sel, appartient à la famille des chlorures.

Dans la nature, 98% des minéraux de l'écorce terrestre ont un radical anionique de type $[\text{SiO}_4]^{4-}$. Ces minéraux sont appelés **minéraux silicatés** ou **silicates**.

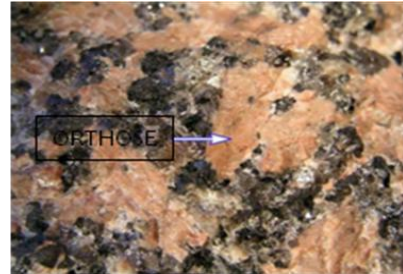
a. Les minéraux silicatés

Un silicate est un minéral dont la partie anionique est représenté par $[\text{SiO}_4]^{4-}$. La partie cationique est très variable. On trouve du potassium (K) ; du sodium (Na) ; du calcium (Ca) ; du magnésium (Mg) ; du fer (Fe) ; de l'aluminium (Al).

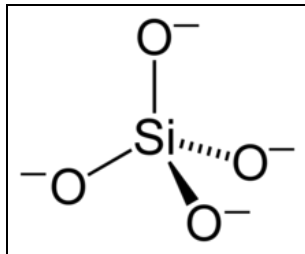
Par exemple l'orthose qui est un silicate de potassium s'écrit : KAlSi_3O_8



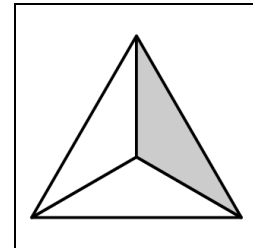
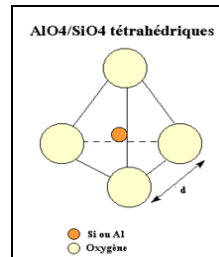
A gauche : cristaux monocliniques d'orthose.
A droite : les cristaux d'orthose au sein d'une roche.



Les silicates sont caractérisés par le motif élémentaire tétraédrique. Ce motif est constitué de 4 atomes d'oxygène qui occupent les sommets d'un tétraèdre et un atome de Si au centre du tétraèdre. (Tétraèdre = polyèdre à faces triangulaires).



A gauche : Structure de base des silicates
A droite : 2 représentations du tétraèdre de base



Ces tétraèdres sont reliés entre eux par d'autres oxygènes (d'autres tétraèdres) ainsi que par des éléments chimiques à charge positive, c'est-à-dire des cations. Il s'agit de Fe^{2+} , Mg^{+} , Ca^{+} , Na , Al^{+} , K^{+} .

Classification des minéraux silicatés

En fonction de la liaison entre les différents tétraèdres, on définit 6 familles de silicates :

2. Composition et structure des minéraux

Les silicates

Nésosilicates
formés de tétraèdres $[\text{SiO}_4]^{4-}$ isolés, reliés par des cations
ex. : olivine, grenat, etc.

Sorosilicates
tétraèdres $[\text{SiO}_4]^{4-}$ unis par deux avec un O commun

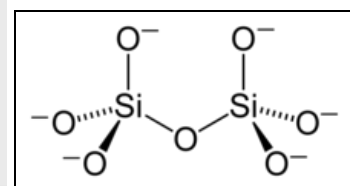
Phyllosilicates
tétraèdres $[\text{SiO}_4]^{4-}$ disposés en feuillet
ex. : argiles, micas

Inosilicates
tétraèdres $[\text{SiO}_4]^{4-}$ disposés en chaîne simple (ex. pyroxène), ou double (ex. amphibole)

Cyclosilicates
tétraèdres $[\text{SiO}_4]^{4-}$ disposés en anneau avec des O communs
ex. : tourmaline, émeraude etc.

Tectosilicates
tétraèdres $[\text{SiO}_4]^{4-}$ reliés par leurs quatre sommets, tous les O étant communs ex. : quartz, feldspaths

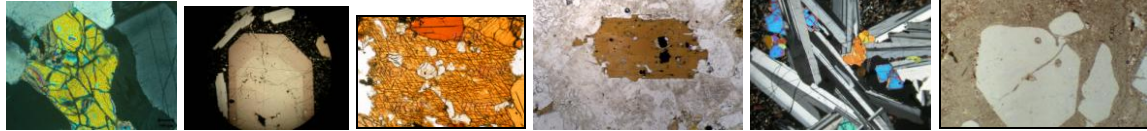
- 1 - Nésosilicates : tétraèdres isolés
- 2 - Sorosilicates : tétraèdres en paire
- 3-Cyclosilicates : tétraèdres en anneaux
- 4-Phyllosilicates : tétraèdres en feuillet
- 5 - Inosilicates : tétraèdres en chaîne
- 6-Tectosilicates: tétraèdres en charpente



Les minéraux silicatés sont les constituants essentiels des roches magmatiques et métamorphiques.

Il s'agit des *olivines*, *pyroxènes*, *amphiboles*, *micas* (biotite et muscovite), *plagioclases*, *feldspaths potassiques*, dont orthose citée plus haut, les *feldspathoïdes* et le *quartz*.

Les silicates observés au microscope polarisant



Olivine Pyroxène Amphibole Biotite Plagioclase Quartz

b. Les minéraux non silicatés

Les minéraux non silicatés sont répartis en 7 classes :

1-les éléments natifs : exemple. Au, Ag : ils ne sont combinés à aucun autre élément chimique. On parle d'or et d'argent natifs.

2- les sulfures (et sulfosels) : l'anion est représenté par le soufre : S. exemples : pyrite FeS_2 , galène ; PbS .

3- les halogénures : l'anion est représenté par un halogène : F, Cl, Br., I. exemples : NaCl et fluorite CaF_2 .

4- les oxydes (et hydroxydes). L'anion est représenté par l'oxygène. Exemple. : Fe_2O_3 . Le minéral est l'hématite.

5- les carbonates (nitrates, borates). L'anion est représenté par $[\text{CO}_3]^-$. Exemple la calcite CaCO_3 .

6- les sulfates (chromates, molybdates, tungstates). L'anion est $[\text{SO}_4]^-$. Exemple : barytine BaSO_4

7- les phosphates (arséniates, vanadates). L'anion est $[\text{PO}_4]^-$. Exemple l'apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$.



Or natif Argent natif Pyrite Fluorite Hématite Calcite Barytine Apatite

Cas particuliers : (pour culture générale)

Un minéral, mais aussi une roche, peut être une gemme : une pierre fine, pierre précieuse ou pierre ornementale.

Les pierres précieuses : diamant (C), saphir et rubis et (le minéral est un oxyde : le corindon, Al_2O_3), l'émeraude (béryl $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$, cyclosilicate).

Les pierres organiques : L'ambre, une résine végétale fossile (+ de 20 millions d'année, le corail, formé par les colonies de polypes, la nacre, revêtement intérieur de certains mollusques, la perle, composée de nacre dont le mollusque se sert pour se protéger d'un élément étranger, le jais, un dérivé du charbon, etc.).



Diamant Saphir Rubis Emeraude Ambre Corail Jais