

Les minéraux

La Terre est constituée de roches, les roches sont formées de minéraux et les minéraux sont constitués d'un ou plusieurs éléments chimiques. Ainsi, le granite est une **roche** composée de trois minéraux principaux : quartz, feldspaths et micas. Le quartz est un minéral de formule chimique SiO_2 : il est composé de silicium et d'oxygène.

1. Définition d'un minéral

Un **minéral** est un solide naturel, homogène, possédant une composition chimique définie et une structure atomique ordonnée.

La structure atomique ordonnée veut dire que tous les minéraux sont des cristaux : c'est-à-dire des solides possédant une forme polyédrique limitée par des faces planes (dans le cas où la formation du cristal n'a pas été perturbée par des agents externes).

La science qui s'occupe de l'étude des minéraux est : **la minéralogie**.

Exemple : l'eau **liquide** n'est pas un minéral, mais la glace d'eau qui est solide, naturelle, homogène, possédant une composition chimique définie (H_2O) et une structure atomique ordonnée (la glace d'eau est cristallisée) est un **minéral**.

2. Critères de reconnaissance des minéraux

- **La densité**

La densité est un critère important pour déterminer un minéral. On distingue les minéraux légers, de densité 1 à 2, moyennement lourds, de densité 2 à 4, lourds, de densité 4 à 6 et très lourds, de densité supérieure à 6. La plus forte densité est celle des métaux, tels que l'or (15 à 16) ou le platine (14 à 20). La plupart des minéraux ont une densité de 2 à 4.

Exemple : l'or et la phlogopite sont deux minéraux qui se ressemblent. Cependant, la densité de l'or est de 15 tandis que celle de la phlogopite est de 2-3.

- **La couleur**

Pour certains minéraux, la couleur peut-être un critère de détermination. Mais beaucoup de minéraux présentent des tons et même des couleurs très différents.

Exemple : l'olivine possède une couleur verte caractéristique (d'où son nom).

- **La couleur de la trace (le trait)**

La **couleur de la trace** (ou **couleur de la poudre** ou **couleur du trait**) des minéraux est la couleur que laisse la trace ou la poudre d'un minéral lorsqu'on le frotte sur une surface blanche. La couleur de la poudre des minéraux peut être différente de la couleur du minéral.

Exemple : la pyrite (FeS_2) de couleur jaune a une trace noir verdâtre.

- **L'éclat**

L'éclat est la propriété du minéral de réfléchir la lumière. On distingue plusieurs

types d'éclats, parmi les plus importants :

- 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'ont pas d'éclat (ils ont une apparence terreuse).

- Exemple certaines argiles.

- **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.

- **La forme du minéral**

Cubique - forme cubique.

Octaédrique - forme d'un octaèdre.

Tabulaire - forme rectangulaire ;

- **Le clivage**

Le clivage est la propriété d'un minéral de se briser selon des plans parallèles bien définis. Ces plans sont appelés : plans de clivage.

- **La dureté**

C'est la résistance d'un minéral à la rayure. Un minéral est dit plus dur qu'autre, s'il raye ce dernier. Les duretés sont classées par rapport à celles de 10 minéraux tests (échelle de Mohs).

3. Classification des minéraux

Dans la classification des minéraux, on distingue les **non-silicates**, qui ne contiennent pas de silicium et qui sont peu abondants, mais qui sont très importants du point de vue économique étant donné que la plupart des métaux et éléments chimiques sont extraits de ces minéraux, et les **silicates**, qui sont les plus abondants et entrent dans la composition d'une grande partie des roches, mais ne sont pas intéressants du point de vue économique.

Le principe de base de la classification des minéraux est de grouper les espèces minérales en classes en fonction de la nature des **radicaux anioniques** présents. On distingue ainsi les 8 classes suivantes :

1. Les éléments natifs : L'élément se combine à lui-même; exemples : l'or (Au), le diamant (C), le platine (Pt).

2. Sulfures : Dans les sulfures, le soufre est combiné avec un ou plusieurs métaux; exemples : galène PbS, blende ZnS, pyrite FeS₂.

3. Oxydes et hydroxydes : Dans les oxydes, l'oxygène est combiné avec un ou plusieurs métaux; exemples : magnétite Fe₃O₄, hématite Fe₂O₃. Les hydroxydes contiennent le radical OH⁻; exemple : gibbsite Al(OH)₃.

4. Les carbonates : Les carbonates contiennent le radical (CO₃)²⁻, exemple : calcite CaCO₃.

5. Les sulfates : Les sulfates contiennent le radical (SO₄)²⁻; exemple : barytine BaSO₄.

6. Les phosphates : Les phosphates contiennent le radical (PO₄)³⁻ ; exemple : l'apatite Ca₅(PO₄)₃(OH,F,Cl).

7. Les silicates : Les silicates sont des minéraux caractérisés par le tétraèdre (SiO₄)⁴⁻ comportant un atome Si au centre, et des atomes O aux quatre sommets (fig.12).

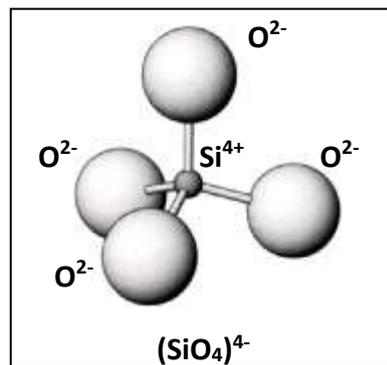


Figure 1

Les silicates constituent environ 92% en poids de la totalité des minéraux formant la croûte terrestre (fig.2), d'où leur extrême importance.

8. Halogénures : Les halogénures incluent les chlorures dans lesquels le chlore est généralement combiné à un métal (exemple : halite NaCl) et les fluorures dans lesquels le fluor est combiné avec un ou plusieurs métaux (exemple : fluorine CaF₂).

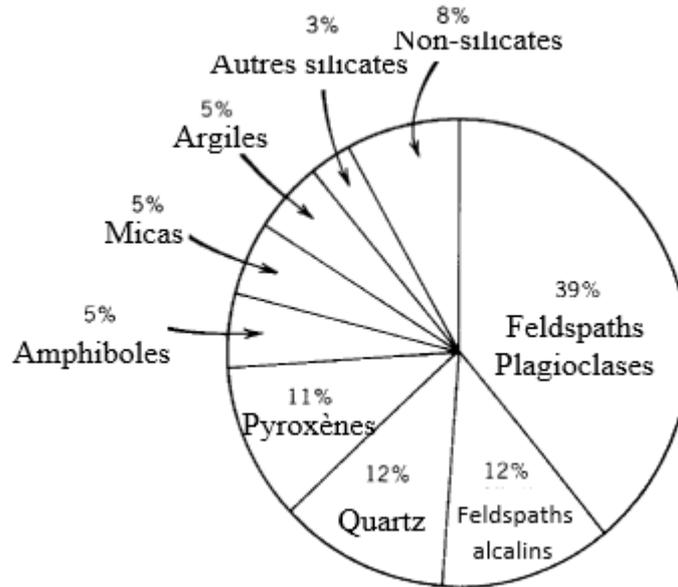


Figure 2 : Pourcentage en volume des minéraux de la croûte terrestre (continentale+océanique). Les silicates représentent 92 %.

4. Les tectosilicates : Les **tectosilicates** sont des minéraux du groupe des silicates définissent un sous groupe où le type d'architecture, correspond à une polymérisation maximale ; architecture à charpente tridimensionnelle ; le rapport Si/O est égal à 0,5.

Les tectosilicates sont des minéraux formés par association de motifs élémentaires tétraédriques ($[\text{SiO}_4]^{4-}$) par tous leurs sommets.

En fait les tétraèdres (polyèdres qui ont 4 faces, 6 côtés et 4 sommets) de base $[\text{SiO}_4]^{4-}$ que l'on retrouve dans tous les silicates, sont ici soudés par leurs quatre sommets et chaque oxygène est lié à deux cations.

4.1. Types de tectosilicates :

Les tectosilicates comprennent plusieurs minéraux parmi les plus importants de l'écorce terrestre.

Si on part du tétraèdre $[\text{SiO}_4]^{4-}$ et qu'on mette en commun chaque oxygène entre deux tétraèdres, on obtient la formule de la silice, SiO_2 , qui dans la nature se présente en différents polymorphes (quartz, tridymite, crystalobalite etc.) et est le constituant principal du verre.

On peut dériver la formule chimique des autres tectosilicates à partir de celle de la silice, généralisée en $n\text{TO}_2$, où T indique le cation tétraédrique, essentiellement du silicium ou de

l'aluminium. La charge négative, qui résulte du remplacement du silicium par l'aluminium dans les tétraèdres, est compensée par la présence des cations M (K, Na, Ca, Ba, Li...) dans les cavités de la structure. Cette caractéristique est commune aux feldspaths, aux feldspathoïdes et aux zéolithes, mais la topologie est différente dans les trois cas.

4.2. Groupe de Quartz



Quartz

Tridymite : La **tridymite** est une espèce minérale de la famille des tectosilicates, et un des polymorphes de la silice, avec le quartz, la crystalalite, de Formule SiO_2 pouvant contenir des traces : Ti;Al;Fe;Mn;Mg;Ca;Na;K;H₂O.

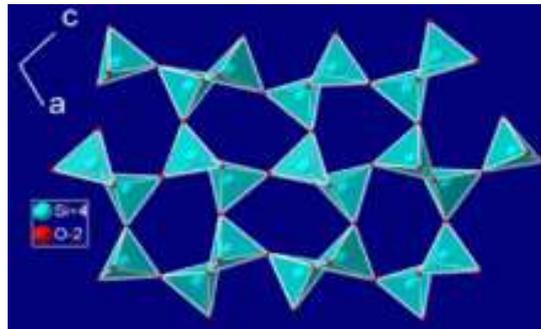


Figure 3 Structure de la tridymite

Il s'agit de la phase hexagonale de la silice, stable à température intermédiaire entre le quartz et la crystalalite. Sa structure est constituée de couches de tétraèdres orientés alternativement dans les deux sens de l'axe sénnaire (axe cristallographie c). Chaque couche est reliée à deux autres couches, supérieure et inférieure, à former une structure tridimensionnelle. Dans la structure on peut reconnaître des canaux formés par des hexagones de tétraèdres, plus ou moins déformés. Cristobalite, Kéatite, Coésite, Stishovite

4.3. Groupe des feldspathoïdes : $n = 2$, MT_2O_4 , à structure quartz ou tridymite

$n = 3$, MT_3O_6 , à structure crystalalite

Les **feldspathoïdes** sont des minéraux anhydres appartenant à la famille des tectosilicates et chimiquement proches des feldspaths. La structure est plus ouverte de celle des feldspaths et les cations (sodium, potassium, calcium ...) occupent des cavités généralement plus grandes que

celles des feldspaths, cavités qui forment des canaux dans lesquels des ions peuvent entrer et sortir et où de petites molécules peuvent circuler sans détruire la structure. Certains magmas sont si riches en silice qu'ils forment des roches riches en quartz (roches acides). D'autres magmas ont juste ce qu'il faut de silice pour former des silicates, principalement des feldspaths, mais pas assez pour former du quartz. D'autres ont encore moins de silice et ne peuvent pas former de feldspaths : ils forment alors des feldspathoïdes, qui contiennent seulement environ les 2/3 de la silice présente dans les feldspaths alcalins. Évidemment la coexistence feldspathoïdes – quartz dans le système $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ n'est pas possible : s'il y a assez de silice pour former des feldspaths, minéraux très stables et de composition intermédiaire entre les feldspathoïdes et le quartz, on n'observe pas de feldspathoïdes.

2.3. Groupe des feldspaths : $n = 4$, MT_4O_8

Un feldspath est un minéral à base de silicate double d'aluminium, de potassium, de sodium ou de calcium. Les feldspaths sont de la famille des tectosilicates. Il existe de nombreux feldspaths dont les principaux sont l'orthoclase, potassique, l'albite, sodique, et l'anorthite, calcique. Le mélange de ces deux derniers donne la série des plagioclases. On peut distinguer les feldspaths alcalins, souvent translucides, blanchâtres ou roses et riches en alcalins (Na^+ , K^+), des plagioclases qui diffèrent des précédents par la présence de calcium (Ca^{2+}), et l'absence de potassium (K^+). Les feldspaths forment le plus important groupe de minéraux de la croûte terrestre. Ils sont hautement cristallisés et ont la propriété de former des macles et de rayer le verre. En combinaison avec d'autres minéraux les feldspaths potassiques (ou alcalins ou orthoses) composent des roches plutôt acides, telles les syénites et les granites (grenues) ou les trachytes et les rhyolites (microlithiques). Les feldspaths plagioclases, composent quant à eux, pour ce qui concerne les roches grenues, les diorites, les gabbros, plus rarement les tonalites et parfois les syénites. Lorsque l'on en retrouve dans les roches microlithiques, il s'agit la plupart du temps d'andésites ou de basaltes.



Adulaire - Macle de Manebach



Orthose gemme de Benono Madagascar

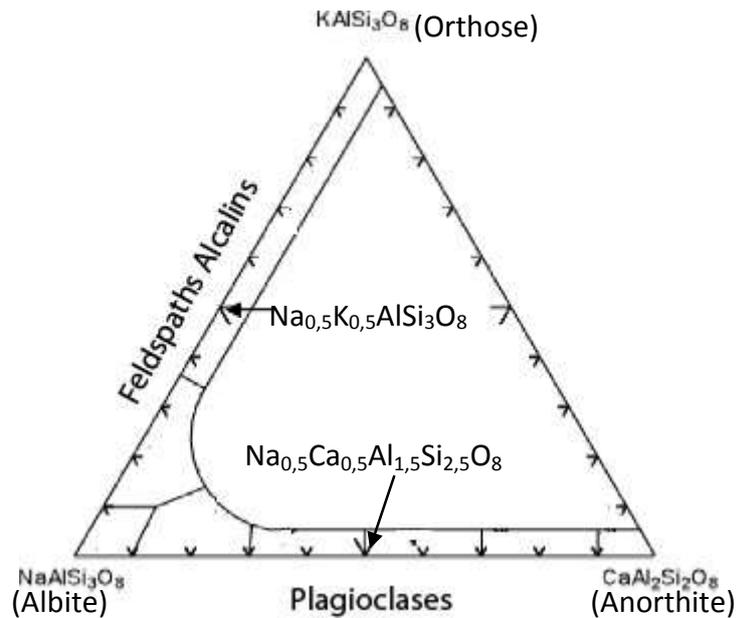


Figure 4 : Position des feldspaths dans le diagramme KAlSi_3O_8 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

4.4. Groupe des zéolithes - $n > 4$

Une **zéolithe**, ou **zéolite** est un minéral microporeux appartenant au groupe des silicates, sous groupe des tectosilicates dans lequel il forment une famille comprenant des aluminosilicates hydratés de métaux des groupes IA et IIA du tableau périodique des éléments, tels le calcium, le magnésium et le potassium.

$\text{AlO}_4/\text{SiO}_4$ tétraédriques

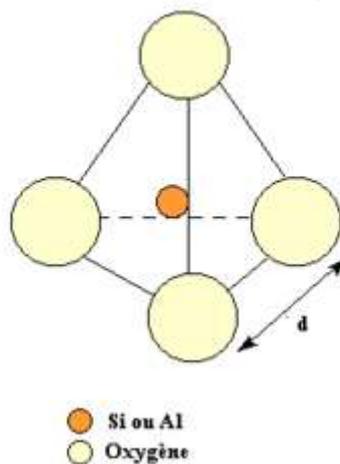


Figure 5

Les zéolithes sont des polymères inorganiques cristallins structurellement complexes, basés sur une suite indéfinie tridimensionnelle de structures quadri-connectées de AlO_4 et de SiO_4 tétraédriques, liées entre elles par un échange d'ions oxygène (oxyde). Chaque AlO_4 tétraédrique

présent dans la structure apporte une forte charge négative qui est contre-balançée par un ou plusieurs cations, tels Ca^{2+} , Mg^{2+} ou K^+ .

Origine : Les zéolithes peuvent être naturelles ou synthétiques. Plus de 150 types de zéolithes ont été synthétisées et 48 zéolithes naturelles sont connues. Les zéolithes naturelles se forment sur des terrains où les roches et les cendres volcaniques ont réagi avec les eaux souterraines alcalines et aussi dans les couches de dépôts organiques des bassins superficiels. Cette formation dure plusieurs centaines ou milliers d'années. Les zéolithes naturelles sont très rarement pures car elles sont généralement contaminées à divers degrés par d'autres minéraux métalliques, du quartz ou d'autres zéolithes. Pour cette



Natrolite

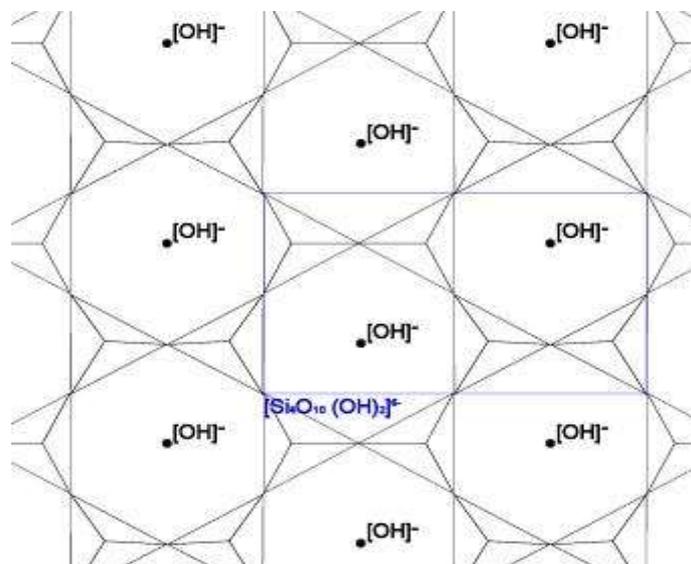
Natrolite - $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Chabazite-Ca - $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Heulandite-Ca - $\text{CaAl}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

les phyllosilicates : Les **phyllosilicates**, sont des minéraux du groupe des silicates construits par empilement de couches tétraédriques (« T ») où les tétraèdres partagent trois sommets sur quatre (les oxygènes « basaux »), le quatrième sommet (l'oxygène « apical ») étant reliée à une couche octaédrique (« O ») occupé par des cations différents (Al, Mg, Fe, Ti, Li, etc.).

L'union des couches T et des couches O forme des feuillets, qui représentent l'unité de clivage des phyllosilicates. Dans la couche T, l'aluminium peut se substituer au silicium, auquel cas la charge négative du groupement est plus élevée ; exemple les micas.





Mica

Selon le type de feuillet, les phyllosilicates sont classés dans les groupes suivants :

- *Phyllosilicates TO ou 1 : 1*,
 - où le feuillet est formée d'une couche T et d'une couche O, l'épaisseur de le feuillet étant environ 7Å : groupe de la kaolinite-serpentine ;
- *Phyllosilicates TOT ou 2 : 1*,
 - où le feuillet est formée de deux couches T dans les deux côtés d'une couche O, l'épaisseur de le feuillet étant environ 10Å : groupe talc-mica-montmorillonite dont de nombreux minéraux sont les principaux constituants des argiles ;
- *Phyllosilicates TOT:O ou 2 : 1 : 1*,
 - où le feuillet est formé de trois couches TOT et une autre couche O isolé, l'épaisseur du feuillet étant environ 14Å : groupe des chlorites.

Les phyllosilicates sont classés en deux groupes et trois familles sur la base de l'occupation des trois site octaédriques indépendants dans la maille primitive.

Classification par groupes

Selon que les trois sites cationiques sont occupés par des cations, ou seulement deux sur trois, on distingue deux groupes de phyllosilicates : les **trioctaédriques** et les **dioctaédriques**.

La couche O isolé forme aussi des minéraux, et notamment des hydroxydes : la brucite, $Mg(OH)_2$, trioctaédrique, et la gibbsite, $Al(OH)_3$, dioctaédrique.

La formule chimique idéale des minéraux les plus représentatifs est obtenue en partant de celle du couche tétraédrique - $[Si_nO_{4n}]^{4n-}$ et de celle du couche trioctaédrique - $Mg_3(OH)_6$ ou dioctaédrique $Al_2(OH)_6$ en remplaçant une partie des hydroxydes par des oxygènes apicaux.

Classification par familles

Les trois sites octaédriques peuvent être partiellement ou totalement équivalents en termes de leur occupation et dimension. Ce critère mène à une classification plus détaillée, en trois familles :

- **Famille homo-octaédrique** : les trois sites octaédriques sont tous équivalents (contiennent le même cation ou mélange de cations et ont une dimension égale ou très proche) ;
- **Famille méso-octaédrique** : deux des trois sites octaédriques sont équivalents, tandis que le troisième se différencie pour son occupation et/ou dimension ;
- **Famille homo-hétéro-octaédrique** : les trois sites octaédriques sont tous différents.

La classification par familles est plus précise que celle par groupes. En fait, les phyllosilicates présentent souvent une occupation intermédiaire entre 2 et 3 (un site partiellement occupé, les deux autres complètement occupés) : la classification par groupes devient alors approximative, tandis que celle par famille couvre tous les cas.



TOT ou 2:1 - Alurgite



TOT:O ou 2:1:1 - Chamosite