

IV. 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.

IV.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**.

IV.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 (fig.1).

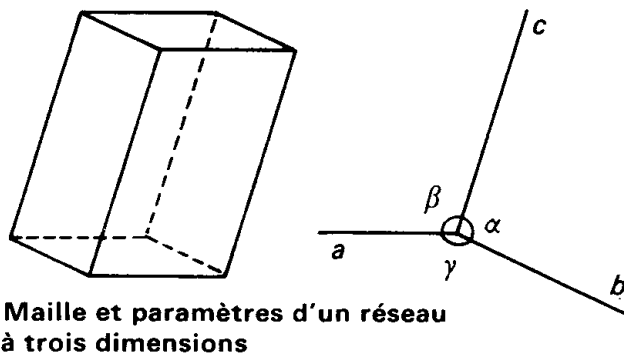


Figure 1

α : angle entre b et c.
 β : angle entre a et c.
 γ : angle entre a et b.

On distingue 7 systèmes cristallins :

- Le système **cubique** : $a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (fig.2)

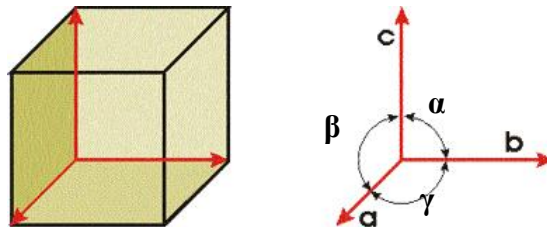


Figure 2

- Le système **quadratique** : $a = b \neq c$; $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$ (fig.3)

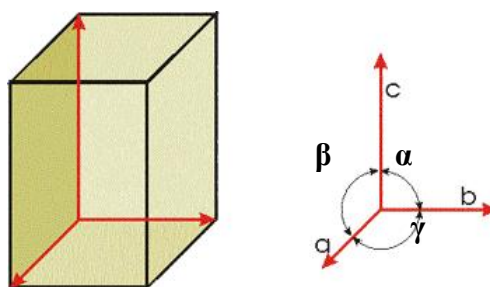


Figure 3

- Le système **orthorhombique** : $a \neq b \neq c$; $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$ (fig.4)

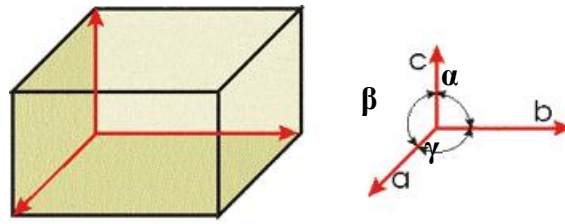


Figure 4

- Le système **rhomboédrique** : $a = b = c$; $\alpha < 120^\circ$; $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ (fig.5)

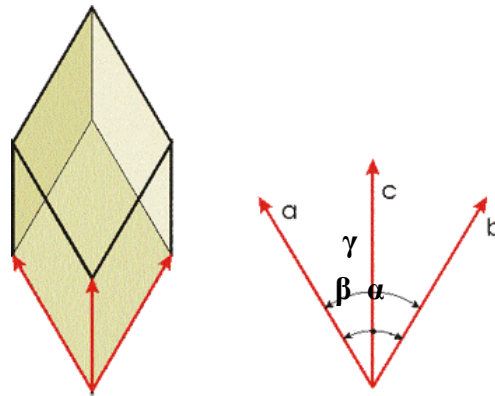


Figure 5

- Le système **hexagonal** : $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = 90^\circ$; $\gamma = 120^\circ$ (fig.6)

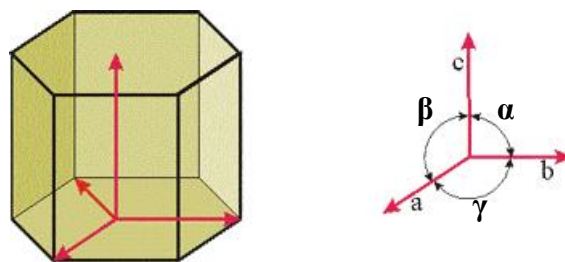


Figure 6

- Le système **monoclinique** : $a \neq b \neq c$; $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ (fig.7)

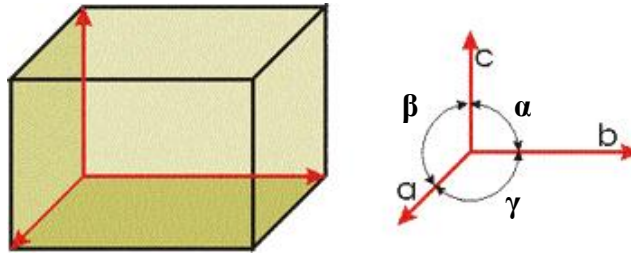


Figure 7

- Le système **triclinique** : $a \neq b \neq c$; $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ (fig.8)

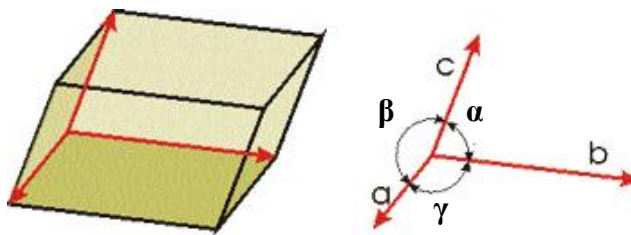


Figure 8

Exemple : le quartz est un minéral qui appartient au système rhomboédrique.

IV.3. Polymorphes

Les polymorphes sont des minéraux qui possèdent la même formule ou composition chimique mais cristallisant dans des systèmes différents.

Exemple : le carbone (C) possède deux polymorphes : **le graphite**, qui cristallise dans le système rhomboédrique, est un minéral très tendre, et **le diamant** qui cristallise dans le système cubique et constitue le minéral le plus dur dans la nature. Les diamants se forment à très haute pression et température à plus de 150 km de profondeur et sont ramenés en surface par une roche volcanique qu'on appelle kimberlite.

IV.4. Isomorphes

Les isomorphes sont des minéraux ayant la même structure cristalline, mais ayant des compositions chimiques différentes.

Exemple : La forsterite Mg_2SiO_4 et la fayalite Fe_2SiO_4 sont des isomorphes : il appartient à la famille des olivines cristallisant dans le système orthorhombique et de formule chimique générale $(Mg, Fe)_2SiO_4$. Le Mg^{2+} peut être remplacé par Fe^{2+} dans la formule des olivines et vice-versa (car ces deux éléments ont des propriétés chimiques similaires).

IV.5. 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 : minéraux 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 (fig.9).

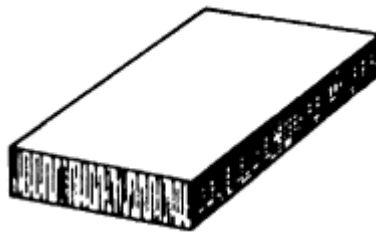


Figure 9

- *Aciculaire* - en forme d'aiguilles (fig.10).



Figure 10

- *Lamellaire* - en forme de lamelles ou lattes (aplatis et allongé) (fig.11).

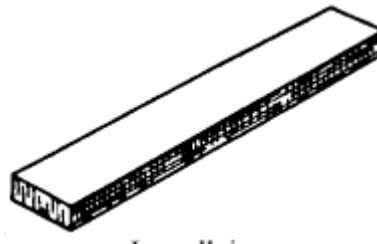


Figure 11

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) (tableau 1) :

Tableau 1 : Echelle de Mohs

Échelle de dureté de Mohs

Minéral	Dureté de Mohs	Autres matériaux	Dureté
Talc	1		Faible (minéraux mous)
Gypse	2	2.2 : ongle	
Calcite	3	3.2 : un cent en cuivre	Modérée
Fluorite	4		
Apatite	5	5.2 : lame de canif 5.5 : plaque de verre	Forte (minéraux durs)
Orthose	6	6.5 : lime en acier	
Quartz	7	7.0 : plaque de céramique	Très forte
Topaze	8		
Corindon	9		
Diamant	10		

IV.6. Nomenclature des minéraux

On connaît environ quatre mille espèces de minéraux, dont une trentaine seulement sont importants. Chaque année, une dizaine de nouveaux minéraux sont découverts.

A l'exception de quelques noms de minéraux connus souvent depuis l'Antiquité, tous les noms de minéraux sont du genre **féminin** et se terminent en **-ite**. Les minéraux sont nommés d'après le nom d'une personne, soit d'un terme qui rappelle son chimisme, certaines de ses propriétés externes (faciès, habitus, couleur) ou encore sa localité originelle

Exemples :

- Albite [$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$] : nom qui provient du latin, *albus* (blanc), allusion à sa couleur.
- Chromite (FeCr_2O_4) à cause de la présence d'une teneur élevée en chrome dans le minéral;
- Nadorite (PbSbO_2Cl): du nom du Djebel Nador, Constantine, Algérie, où le minéral a été découvert (tableau 2);
- Sillimanite (Al_2SiO_5): dédiée au Professeur Benjamin Silliman de l'université de Yale (1779-1864);

Tableau 2 : Minéraux découverts en Algérie

Minéral	Origine du nom du minéral	Localité	Date de la découverte
Nadorite	Inspiré du nom de sa localité	Jebel Nador, Constantine, Algérie.	1870
Sénarmontite	Dédié au minéralogiste français Hureau de SENARMONT (1808-1862)	Mine du Djebel Haminat, Ain Beida, Constantine, Algérie.	1851
Kulkeite	Dédié au Dr Holger Kulke, géologue allemande	Ksar el Boukhari, Derrag, Algérie.	1980
Dussertite	Dédié à D. Dussert, ingénieur des mines français	Jebel Debar, Constantine, Algérie.	1925

IV.7. Classification des minéraux

IV.7.1. Composition chimique de la croûte terrestre

La croûte terrestre est essentiellement composée (à 99 %) de 8 éléments chimiques : O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na et K. Les pourcentages en poids de ces éléments sont les suivants :

- O : 46,60 %
- Si : 27,72 %
- Al : 8,13 %
- Fe : 5 %
- Ca : 3,63 %
- Na : 2,83 %
- K : 2,59 %
- Mg : 2,09 %.

L'oxygène est un anion (charge négatif, O^{2-}) tandis que tous les autres éléments sont des cations (charge positif) et auront tendance à se lier à l'oxygène. Etant donné que l'oxygène et le silicium sont les éléments les plus abondants de la croûte terrestre, la plupart des minéraux qui composent la croûte sont un assemblage de silicium et d'oxygène en plus des autres éléments. C'est la famille **des silicates**.

IV.7.2. 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. 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).

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

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

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

8. 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).

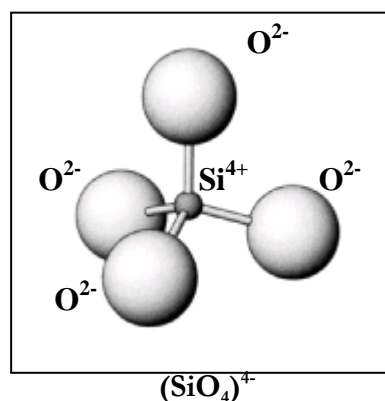


Figure 12

Les silicates constituent environ 92% en poids de la totalité des minéraux formant la croûte terrestre (fig.13), d'où leur extrême importance.

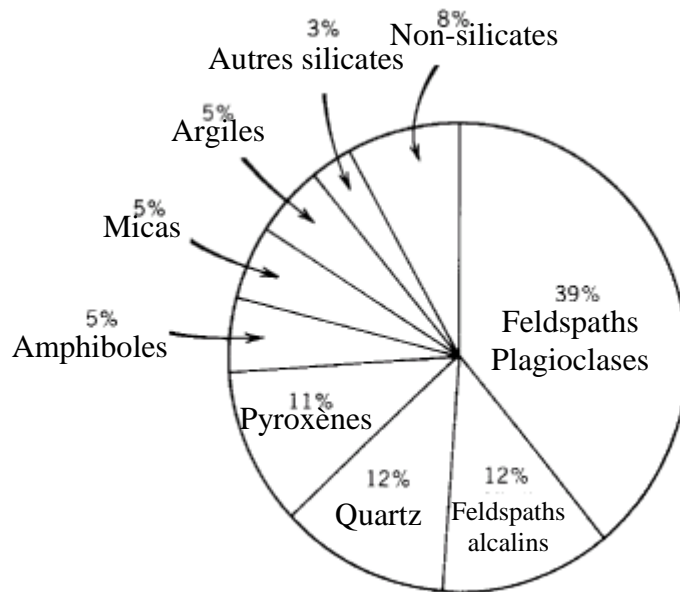


Figure 13. Pourcentage en volume des minéraux de la croûte terrestre (continental+océanique).
Les silicates représentent 92 %.

Selon l'agencement de tétraèdres $(\text{SiO}_4)^{4-}$, on distingue six sous-classes de silicates :

8.1. Les nésosilicates

Ces silicates se caractérisent par des îlots de tétraèdres $[\text{SiO}_4]^{4-}$ indépendants et isolés les uns des autres par des cations (fig.14). La formule de base est $(\text{SiO}_4)^{4-}$.

Exemple : les olivines de formule chimique $(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{SiO}_4$ sont des nésosilicates. La composition des olivines peut-être représentée entre deux pôles : un pôle magnésien Mg_2SiO_4 (forstérite) et un pôle ferrique Fe_2SiO_4 (fayalite).



Figure 14

Une olivine composée de 50%Fe et 50%Mg aura une formule chimique $(\text{Fe},\text{Mg})\text{SiO}_4$. Une olivine composée de 80%Fe et 20%Mg aura une formule chimique $(\text{Fe}_{1,6},\text{Mg}_{0,4})\text{SiO}_4$. Une olivine composée de 80%Mg et 20%Fe aura une formule chimique $(\text{Fe}_{0,4},\text{Mg}_{1,6})\text{SiO}_4$.

8.2. Les sorosilicates

Tétraèdres unis par deux avec un O en commun (fig.15). La formule de base est $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$. Les sorosilicates sont rares. Exemple: la lawsonite qui est un sorosilicate aluminocalcique $[\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})]$.

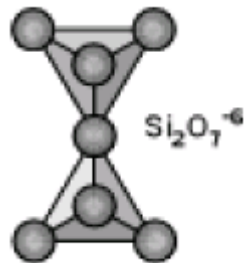


Figure 15

8.3. Les cyclosilicates

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 $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ (fig.16). Exemple: Le béryl est un cyclosilicate de formule chimique $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$. L'émeraude est une variété de béryl qui contient du chrome.

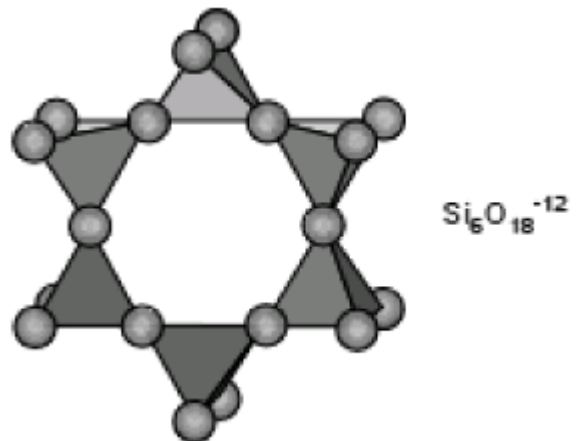


Figure 16

8.4. Les inosilicates

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

8.4.1. Les tétraèdres à chaînes simples (fig.17), de formule de base $(Si_2O_6)^{4-}$ ou $(SiO_3)^{2-}$. Cette famille est représentée par les **pyroxènes**, minéraux importants de la croûte terrestre. Les pyroxènes sont des ferromagnésiens calciques qui se divisent en deux grandes classes selon leur structure cristalline et leur composition chimique (fig.18):

a. Les orthopyroxènes, de structure orthorhombique et qui sont composés de fer et de magnésium. La formule générale des orthopyroxènes est $(Mg, Fe)_2Si_2O_6$.

b. Les clinopyroxènes, de structure monoclinique, qui contiennent, en plus du fer et du magnésium, du calcium. La formule générale des clinopyroxènes est $(Mg, Fe, Ca)_2Si_2O_6$. Les clinopyroxènes ne contiennent jamais plus de 50% de Ca.

8.4.2. Les tétraèdres à chaînes doubles (fig.19), de formule de base $(Si_4O_{11})^{6-}$ ou $(Si_8O_{22})^{12-}$. Cette famille est représentée par les **amphiboles**, minéraux importants de la croûte terrestre. Les amphiboles sont des ferromagnésiens hydratés (ils contiennent la molécule OH^- dans leur formule chimique qui s'incorpore au centre de chaque hexagone formé dans la structure tétraédrique à chaînes doubles).

Comme pour les pyroxènes, on distingue des amphiboles ferromagnésiens de formule générale $(Mg, Fe)_7[Si_8O_{22}](OH)_2$, des amphiboles ferromagnésiens et calciques de formule

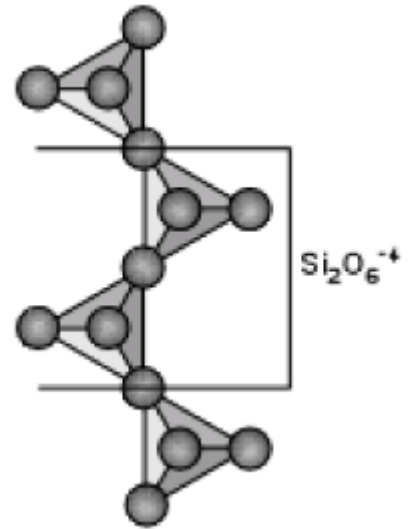


Figure 17

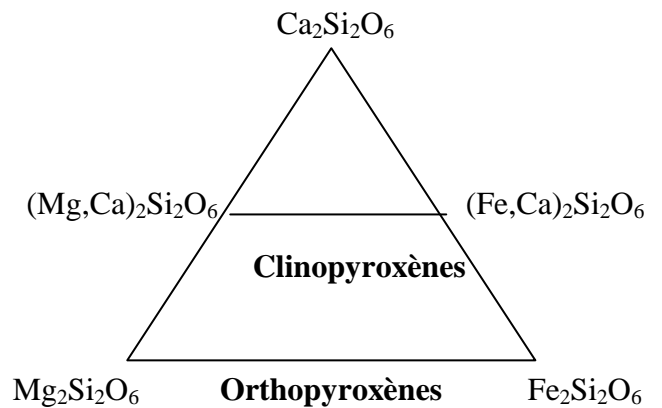


Figure 18

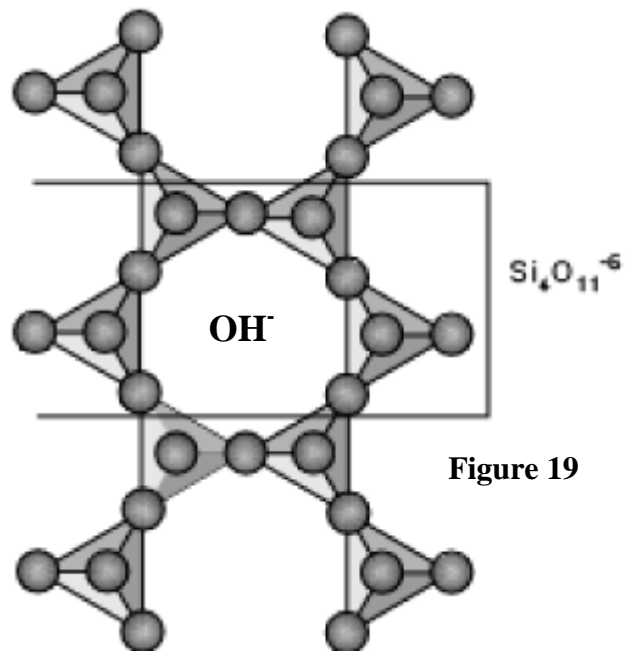


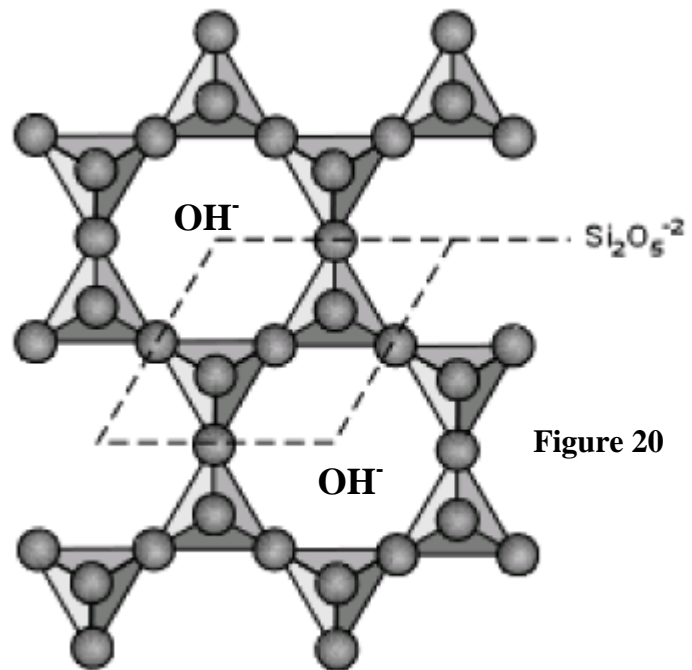
Figure 19

générale $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Il existe aussi des amphiboles alumineuses appelées hornblendes, qui sont les plus importantes, et de formule chimique générale $(\text{Ca,Na,K})_2(\text{Mg,Fe,Al})_5\text{Si}_6(\text{Si,Al})_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$.

8.5. Les phyllosilicates

Silicates dont les tétraèdres sont disposés en feuillets (fig.20). 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.



Les micas sont monocliniques. Les principaux représentant de cette famille sont la **muscovite**, ou **micas blancs** de formule chimique : $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, et la **biotite** ou **micas noirs** de formule chimique générale : $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$.

8.6. Les tectosilicates

Silicates dont les tétraèdres sont liés entre eux par leurs sommets (fig.21). La formule de base est SiO_2 ou Si_4O_8 .

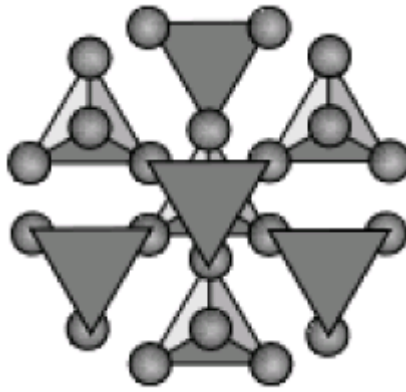


Figure 21

Le quartz et les feldspaths sont les principaux tectosilicates.

8.6.1. Le quartz

Le quartz (silice, SiO_2) représente environ 12 % de l'ensemble des minéraux de la croûte terrestre. Il possède six variétés polymorphiques, chacune cristallisant dans des conditions de pression et de température bien définies (fig.22) : quartz α , quartz β , tridymite, cristobalite, coesite et stishovite. Le quartz stable aux conditions de température et de pression de la surface de la Terre est le quartz α .

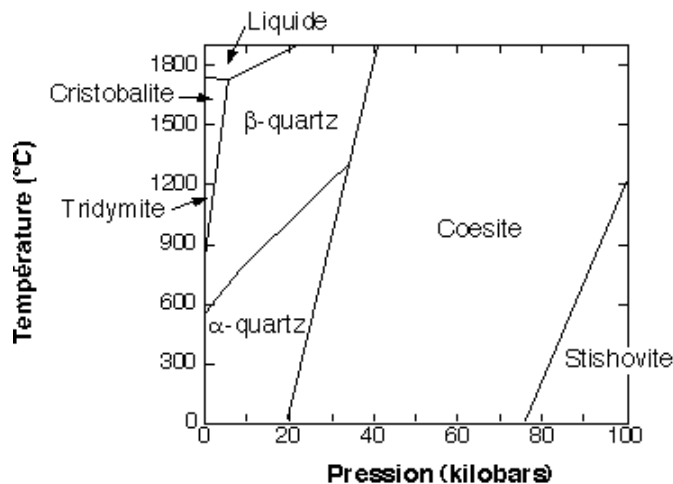


Figure 22. champs de stabilité des diverses formes de la silice en fonction de la température et de la pression.

8.6.2. Les feldspaths

Les feldspaths sont les constituants essentiels de la croûte terrestre (51 % des minéraux de la croûte). L'analyse des feldspaths permet de les considérer comme des mélanges plus ou moins homogènes de trois constituants élémentaires :

- KAlSi_3O_8 : **Orthose** (Or) (Sanidine ou microcline)
- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$: **Albite** (Ab)
- $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$: **Anorthite** (An)

KAlSi_3O_8 et $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ forment une solution solide complète (isomorphes), appelée **feldspaths alcalins** ; de la même manière, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ et $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ forment une solution solide complète, appelée **plagioclases**. La composition des feldspaths est généralement représentée dans un diagramme triangulaire : KAlSi_3O_8 [Orthose (Or)] - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ [Albite (Ab)] - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ [Anorthite (An)] (fig.23). Un feldspath alcalin qui contient 50% de Na et 50% de K possède la formule chimique suivante : $\text{Na}_{0,5}\text{K}_{0,5}\text{AlSi}_3\text{O}_8$. Un plagioclase qui contient 50% de Na et 50% de Ca possède la formule chimique suivante : $\text{Na}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Al}_{1,5}\text{Si}_{2,5}\text{O}_8$. En effet : $0,5x \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 0,5x \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 = 0,5 \text{Na} \ 0,5\text{Ca} \ (0,5+1)\text{Al} \ (1,5+1)\text{Si} \ (4+4)\text{O}$ soit : $0,5 \text{Na} \ 0,5\text{Ca} \ 1,5\text{Al} \ 2,5\text{Si} \ 8\text{O}$.

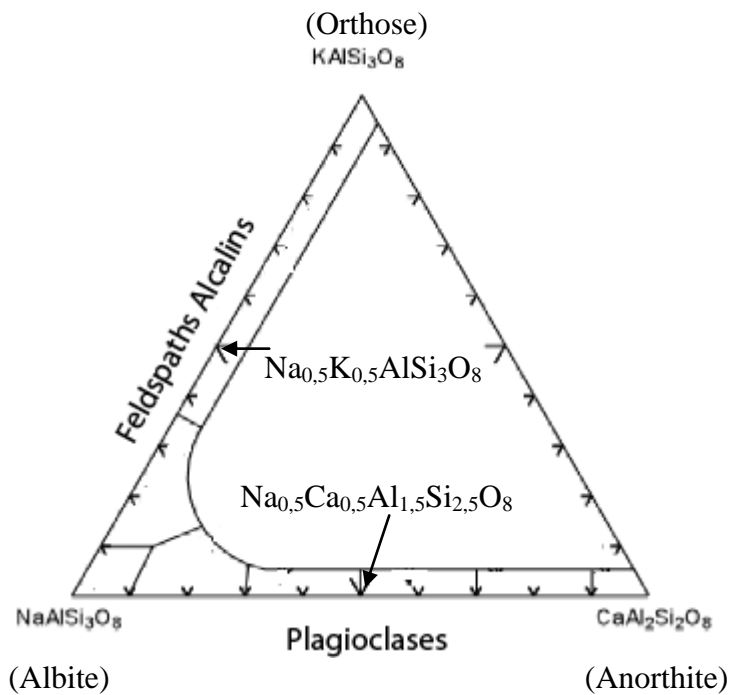


Figure 23. Position des feldspaths dans le diagramme KAlSi_3O_8 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.