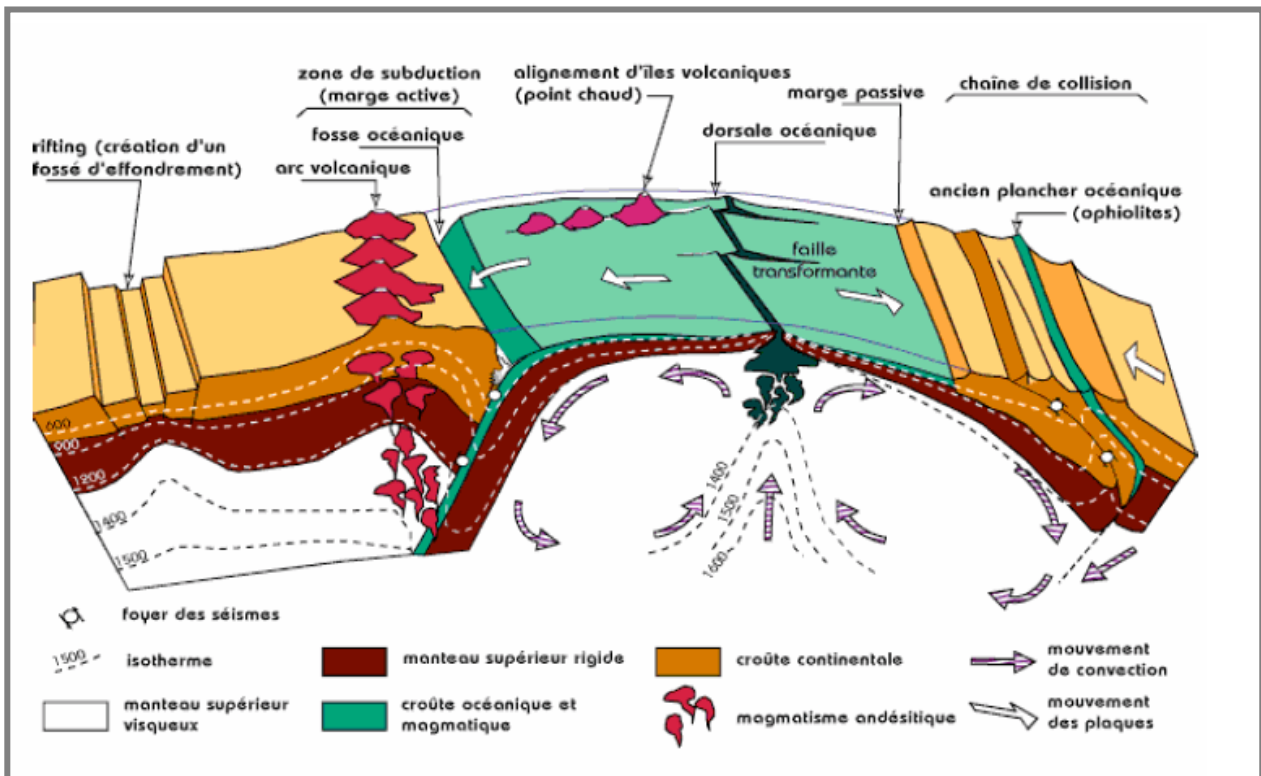


Complément chapitre 5 « Géodynamique Interne »

Filière GGA& SV Semestre 2

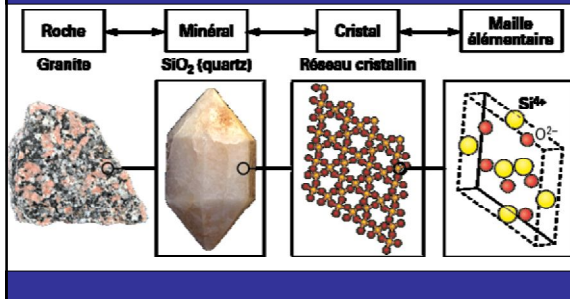


H. EL MESSBAHI

Année universitaire 2022/2023

Chapitre 5

Complément



La pétrologie est l'étude des processus responsables de la formation des roches alors que la pétrographie s'attache à décrire les roches. Les propriétés essentielles des roches magmatiques et métamorphiques sont : la composition minéralogique, la composition chimique, la fabrique et les relations spatio-temporelles avec les autres formations.

Le **pétrographe** qui doit reconnaître les différentes roches du globe doit passer nécessairement par l'étape de reconnaissance des minéraux.

Le **minéralogiste** ne se limite pas seulement à un inventaire des espèces minérales basé sur un raisonnement purement descriptif (c.a.d, la **crystallographie**) mais il s'intéresse à la structure interne des cristaux (**Cristallochimie** : composition chimique, propriétés physiques)

Quelques notions de cristallographie

Un **cristal** est un **solide homogène** qui possède une **composition chimiques définie** et un **arrangement atomique ordonné**.

Rq 1 : solide : Un minéral doit être un **solide et non pas un liquide ou un gaz** (ex. eau glace et liq)

Rq 2 - homogène : Un minéral se compose d'un seul solide qui ne peut pas être subdivisé en des composés chimiques plus simples.

Rq 3 - composition chimique définie : il peut être décrit par une formule chimique spécifique.

Ex. **quartz** : ne contient que Si et O, sa formule est **SiO₂**, sa composition chimique est donc définie.

Rq 4 - arrangement ordonné d'atomes : indique qu'il y a un **réseau interne d'atomes** (ou d'ions) rangés dans une structure géométrique régulière. Les minéraux sont donc **cristallins**. Un solides, comme le verre, non cristallisé n'est pas un cristal.

Déf. Un minéral est un solide homogène **existant dans la nature**, qui possède une composition chimique définie et un **arrangement atomique ordonné**.

Rq 5 : existant dans la nature pour distinguer les substances **formées par des processus naturels** de celles créés dans les **laboratoires**.

Les laboratoires de recherche et de l'industrie produisent en routine des équivalents synthétiques de plusieurs substances existant dans la nature que l'on nomme minéraux synthétiques « le diamant industriel par exemple ».

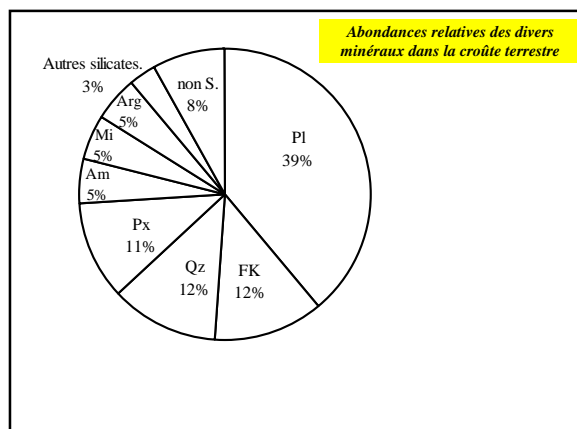
Déf. La minéralogie est la science qui étudie les minéraux.

Déf. La cristallographie est la science qui étudie les formes, les structures et les propriétés des cristaux.

Rq 6 - un minéral se forme normalement par un processus inorganique. Néanmoins, dans certain cas, il peut être formé par un processus organique. C'est l'exemple de la formation de la coquille de certains organismes par précipitation de CaCO₃ par exemple.

On appelle **minéraux biogéniques** les minéraux qui sont précipités par des organismes.

Rq 7 - Le charbon est parfois appelé minéral combustible. En réalité ce composé n'a, ni une composition chimique définie ni un arrangement ordonné des atomes. Mais en chauffant du charbon on peut volatiliser les hydrocarbures et cristalliser ce qui reste. Ce résidu est le minéral **graphite**.



Les 8 % restants se distribuent entre les minéraux non silicatés :

Oxydes

magnétite ($Fe_3O_4 = Fe_2+Fe_3+2O_4$),
hématite (Fe_2O_3)
hydroxydes (opales $SiO_2 (nH_2O)$)

Sulfures

(pyrite FeS_2
 galène PbS
 blende ZnS
 chalcopryrite $Cu Fe S_2$)

Halogénures

Halite $NaCl$
Fluorine CaF

Carbonates

calcite et aragonite $CaCO_3$

dolomite $CaMg(CO_3)_2$

Calcite

$CaCO_3$
 Calcaire
 Rhomboédrique
 effervescence à froid
 Clivage facile
 macle
 Dureté 3

Dolomite

$CaCO_3$
 Dolomie
 Rhomboédrique
 effervescence à chaud
 raye la calcite

Aragonite

$CaMg(CO_3)_2$
 Orthorhombique
 Effervescence à froid
 Pas de clivage

Sulfates

Anhydrite, $CaSO_4$,

Gypse $CaSO_4 (2H_2O)$

-phosphates

Apatite $(Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl))$

On a l'habitude de rassembler les minéraux en deux groupes : les **silicates** et les **non-silicates**.

Composition de la croûte terrestre

RAPPEL

élément	Poids moléculaire de l'oxyde (g/mol)	% en poids	% volumique
O		46,60	93,8
Si	60,09	27,72	0,9
Al	101,96	8,13	0,5
Fe	Fe^{2+} 71,85	5,00	0,4
	Fe^{3+} 159,5		
Ca	56,08	3,63	1,0
Na	61,99	2,83	1,3
K	94,20	2,59	1,8
Mg	40,31	2,09	0,3
total		98,59	

- 8 éléments forment à eux seuls près de 99% des matériaux crustaux, ce sont les **éléments majeurs**.
 - Les éléments (Ti 0.44%, P 0.12% , Mn 0.1%), dits **éléments mineurs** représentent 0.57% en poids de la croûte terrestre.
 - d'autres n'existent qu'en faibles quantités : se sont des **éléments en traces**

Le rôle prédominant est joué par l'**oxygène** et le **silicium**. La géochimie de la croûte est donc une **géochimie des silicates**.

composition du manteau

Le **manteau** terrestre peut correspondre à la composition des **péridotites**, constituées essentiellement de **Si, Fe et Mg**

Les péridotites sont des **matériaux crustaux d'origine profond**.

Elles sont très riches en **péridot ou olivine** $(Fe,Mg)_2SiO_4$.

RAPPEL

composition du noyau

RAPPEL

Le **noyau** est essentiellement formé de **Fe** puis de **Si**. Le **S** et le **Ni** sont également présents.

L'estimation de la composition du noyau est fournie par les **météorites** qui sont des fragments rocheux venant de l'espace.

RAPPEL

RAPPEL

Association et affinités entre éléments

Le solide terre n'est pas constitué d'éléments chimiques isolés, Mais de combinaison de ces éléments dont certains présentent pour d'autres, des affinités plus ou moins prononcées.

Ainsi on distingue des éléments :

Atmosphiles : éléments chimiquement **inertes** : H, He ; Ne, Li, Kr ; Xe

Lithophiles : qui se combinent avec l'**oxygène** O_2 - : Si, Fe, Al, Mg,

Chalcophiles : qui se combinent avec le **soufre** (khalkos =Cu) Cu, Zn, Cd, Hg ...

Sidérophiles : qui se combinent avec le **Fer**(sidéros) . Au, Ni...

Ces combinaisons inorganiques sont des minéraux ou espèces minérales. Parmi ces minéraux, on distingue :

- ceux qui sont **amorphes** : ils ne présentent **aucune structure interne**, non plus une forme définie. Ils sont isotropes.
- ceux qui sont **cristallisés** ou **automorphes** : se présentent sous forme de **polyèdres limités par des faces planes** lorsqu'ils se sont développés librement. ils sont anisotrope.
- Les roches sont composées de minéraux et donc, pour mieux comprendre la Terre et son évolution, il faut **comprendre les compositions et les structures des minéraux**.

Les forme cristallines

Les cristaux se forment par la **répétition en trois dimensions d'une unité de structure**. Les surfaces qui limitent les cristaux (c'est à dire les faces) dépendent de

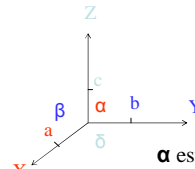
- la forme de cette unité
- conditions de croissance : T° , P,
- composition de la solution,
- la direction d'écoulement de la solution,
- l'espace disponible pour la croissance.

Les faces d'un minéral sont liées les unes aux autres par des relations définies.

Un minéral peut avoir des tailles et de formes différentes, mais les angles entre paires de faces correspondantes sont toujours les mêmes.

Loi de la constance des angles dièdres (loi de Steno) : les angles entre des faces équivalentes pour des cristaux de la même substance, mesurés à la même température, sont constants.

Notation de Miller



- α est l'angle formé par les vecteurs $b \wedge c$
- β est l'angle formé par les vecteurs $a \wedge c$
- δ est l'angle formé par les vecteurs $a \wedge b$

L'orientation d'une face cristalline peut être déterminée par trois points situés respectivement sur les trois axes cristallographiques : ox , oy et oz et caractérisée par les longueurs à l'origine a/h , b/k et c/l .

(hkl) sont les indices de Miller

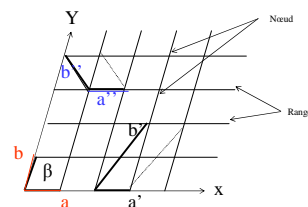
Maille et réseau cristallin

Un mono-cristal idéal se compose d'une répétition de blocs identiques ou **mailles**, qui remplissent l'espace. Les mailles sont orientées parallèlement les unes aux autres et chacune est ainsi liée à ses voisins par des **translations** le long d'un des trois **axes cristallographiques**.

Une maille est le plus petit volume de la matière cristallisée conservant toutes les propriétés géométriques, physiques et chimiques du cristal et contenant suffisamment d'atomes pour respecter sa composition chimique.

Pour construire un cristal, on va empiler des volumes élémentaires (maille), cette répétition s'appelle le **réseau cristallin**.

Réseau réticulaire



Plan $x-y$ d'un réseau réticulaire. Chaque maille dans ce plan est définie par a , b et α (à deux dimensions) ou a , b , c et α , β , δ (à trois dimensions)

L'empilement des mailles dessine le **réseau cristallin**, leurs sommets constituent des **nœuds** et chaque droite qui dérive de sa voisine par translation du vecteur OA , OB constitue une **rangée**.

Exemple cristal de **pyrite FeS₂ ; cubique.**

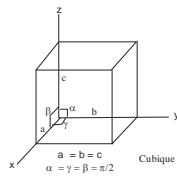
- ✓ si on le brise, on va obtenir une multitude de petits cubes de formule chimique **FeS₂**.
- ✓ Si on le brise plusieurs fois, on obtiendra toujours des petits cubes de composition chimique **FeS₂**.
- ✓ Si on le brise à l'infini, on obtiendra une maille cubique correspondant toujours à la composition **FeS₂** de la pyrite.

Les 7 systèmes cristallins

L'observation montre que, du point de vue de la symétrie de leur forme, **les cristaux se regroupent en 7 ensembles principaux** correspondant à des combinaisons d'éléments de symétrie particuliers ; chacun correspond à un système cristallin.

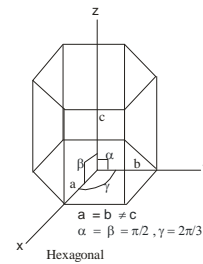
Cubique

toutes les faces sont carrées



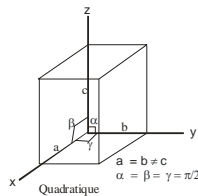
Hexagonal

prisme droit à base hexagonal et à 6 faces latérales rectangulaires



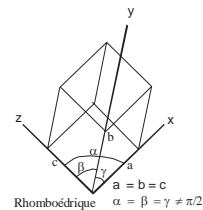
Quadratique

prisme droit à base carrée et à 4 faces latérales rectangulaires



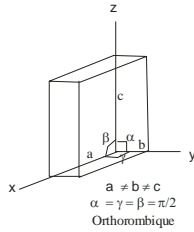
Rhomboédrique

prisme à 6 faces losangiques identiques



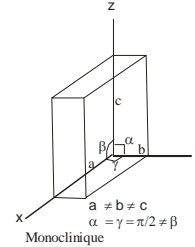
Orthorhombique

prisme droit à base rectangulaire et à 4 faces latérales rectangulaires



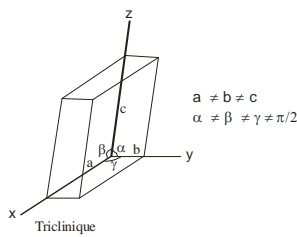
Monoclinique

prisme oblique à base rectangulaire et à 4 faces latérales parallélogramme



Triclinique

prisme oblique à base parallélogramme



Système Cristallin	Dimension de la Maille
Triclinique	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$
Monoclinique	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
Orthorhombique	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$
Rhomboédrique	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
Hexagonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$
Quadratique	$a = b \neq c$ $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$
Cubique	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Les propriétés de l'état cristallin

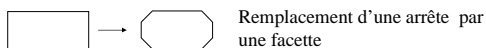
L'habitus

Les cristaux ont une forme qui dans certains cas correspond à la maille primitive :

Exemple : la calcite est toujours un rhomboédre
 la pyrite est toujours un cube.

Dans la plupart des cas, la forme cristalline dérive de la maille primitive par un système de tronçatures.

Une tronçature est le remplacement d'un sommet ou d'une arête par une facette supplémentaire.



L'habitus est la forme habituelle du cristal, un minéral peut en posséder plusieurs.

Clivage

- les cristaux peuvent se briser selon des plans bien définis : plan de clivage.

- Le clivage peut être

- parfait, très facile → calcite ; micas

- facile → feldspaths

- difficile → cassure en marche d'escalier des pyroxène et amphibole

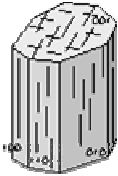
- Certains cristaux n'en ont pas du tout → quartz : ils présenteront plutôt des cassures.



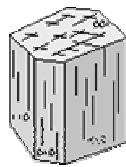
micas : 1 plan de clivage sur les coupes longitudinales.



micas : 1 plan de clivage sur les coupes longitudinales.



pyroxènes : 2 plans de clivage à 90° sur des coupes transversales et 1 plan sur les sections longitudinales.



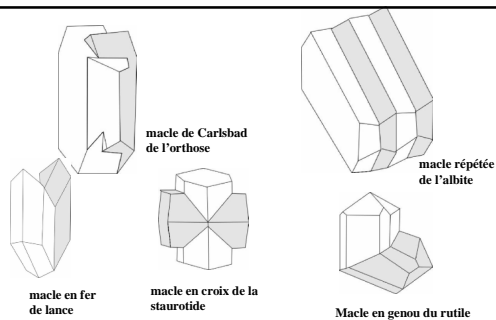
amphiboles : 2 plans de clivage à 60° sur des coupes transversales et 1 plan sur les sections longitudinales.

Les macles

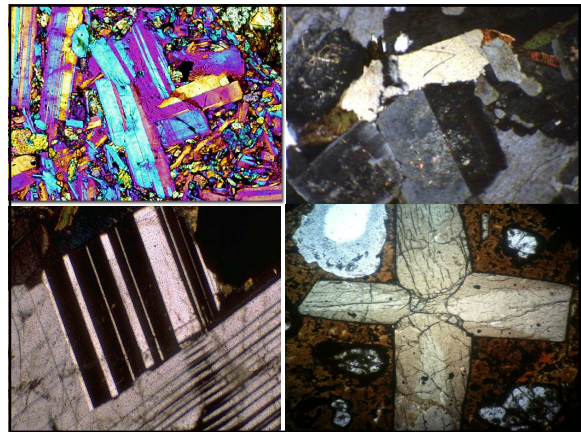
c'est l'association de 2 ou plusieurs cristaux selon des lois géométriques définies qui sont liés aux éléments de système cristallin.

Une macle peut se former par **accolement** ou par **interpénétration** de cristaux.

Elle peut être **simple** : accolement de deux cristaux ou **multiple = polysynthétique** : association de plusieurs cristaux.



Rq. Ce type de macle est dit **macles primaires** (formées au moment de la formation du minéral). On distingue également des **macles secondaires** ou mécaniques dues à la déformation du minéral (olivines déformés)



Isomorphisme

On parle d'**isomorphisme**, lorsque deux cristaux de même structure cristalline possèdent des formules chimiques différentes.

Exemple : la famille des péridots : $(Mg,Fe)_2SiO_4$

fayalite ----- **olivines** ----- **forstérite**

Fe_2SiO_4 ----- $(Mg,Fe)_2SiO_4$ ----- Mg_2SiO_4

- Système **orthorhombique**.

- Simple échange des cations Mg^{2+} & Fe^{2+}

- Le tétraèdres $[SiO_4]^{4-}$ reste toujours le même

- Même structure, ils sont **isomorphes**.

Polymorphisme

On appelle polymorphisme, la capacité d'une substance chimique à cristalliser dans **plusieurs structures cristallines différentes** en réponse aux changements de P et T. Ces minéraux sont dits **polymorphes**.

Ex 1: carbonates de calcium

Calcite

$CaCO_3$

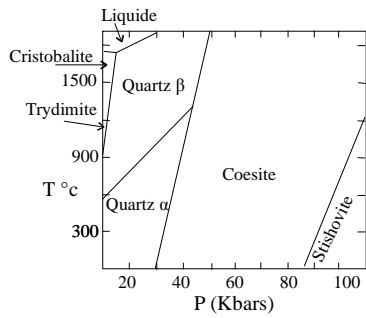
Rhomboédrique

Aragonite

$CaCO_3$

Orthorhombique

Ex 2 : Les minéraux de la silice SiO2:

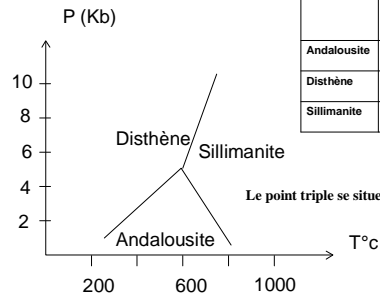


Les différents polymorphes de la silice SiO2

stishovite ne se rencontre que dans les cratères d'impacts créés par des météorites.

Ex 3 : Les silicates d'alumine

3 polymorphes Al2SiO5



	système cristallin	densité
Andalousite	orthorhombique	3,25
Disthène	triclinique	3,6
Sillimanite	orthorhombique	3,15

Le point triple se situe vers 5.5 Kb et 622°C environ

Composition	Nom	Système Cristallin	Densité
C	diamant	cubique	3,52
	Graphite	Hexagonal	2,23
CaCO3	calcite	rhomboédrique	2,71
	Aragonite	Orthorhombique	2,94
SiO2	a-quartz	hexagonal	2,65
	b-quartz	hexagonal	2,53
	tridymite	hexagonal	2,20
	cristobalite	cubique	2,20
	Coesite	monoclinique	3,01
	Stishovite	Tétragonal	4,30
Al2SiO5	andalousite	orthorhombique	3,25
	Kyanite	triclinique	3,6
	Sillimanite	orthorhombique	3,15

minéraux polymorphes communs

SILICATES

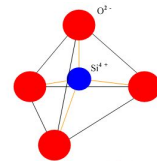
La liaison **Si - O** est hybride, elle est **50% ionique et 50% covalente**.

Le rapport **Rc/Ra (= 0,3)** des ions Si4+ (Ri = 0,42 Å) et O2- (Ri = 1,40Å) montre que le **polyèdre de coordination des silicates est un tétraèdre**.

Les **silicates** peuvent donc être décrits comme résultant de **l'empilement de tétraèdres [SiO4]4-**.



tétraèdres [SiO4]4-

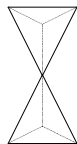


O sur les sommets et Si au centre

Les tétraèdres de [SiO4]4- sont soit **isolés** ou **connectés à d'autres tétraèdres** de [SiO4] par le partage de leurs sommets.



tétraèdres de [SiO4]4- **isolés**



tétraèdres de [SiO4]4- **connectés**

En fonction du **mode d'agencement** de ces tétraèdres, on établit une **classification structurale des silicates**.

Un trait supplémentaire important pour plusieurs minéraux silicatés est la **substitution de Si 4+ par Al 3+** dans le tétraèdre.



→ Charge négative supplémentaire

Une telle substitution indique qu'il doit exister une **autre substitution** dans la structure pour que les **charges soient neutres**.

→ un cation est nécessaire pour neutraliser l'édifice cristallin

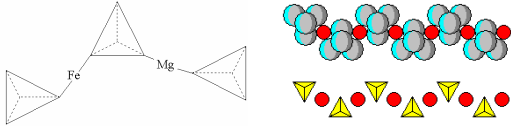
Classification structurale des silicates

NESOSILICATES $[\text{SiO}_4]^{4-}$

silicate à tétraèdres isolés

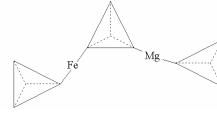
Les quatre valences libres sont saturées par :

- ▶ des cations divalents : (Fe^{2+} et Mg^{2+}) dans les péridots
- ▶ un cation tétravalent Zr^{4+} dans le Zircon



les péridots

Les tétraèdres ne sont pas réunis par leur sommet mais les charges sont compensées par Fe^{2+} et Mg^{2+} . Les péridots constituent donc une série isomorphe.



On aura donc :

$\text{Mg}_2 (\text{SiO}_4)$	<u>forstérite</u>
$(\text{Fe}, \text{Mg})_2 (\text{SiO}_4)$	<u>olivine</u>
$\text{Fe}_2 (\text{SiO}_4)$	<u>fayalite</u>

- ⇒ L'olivine cristallise dans le système **orthorhombique** elle est le premier cristal à refroidir selon la série de Bowen.
- ⇒ Elle se présente en grains de **forme trapue** et de **couleur vert olive**
- ⇒ Le clivage est souvent mauvais, mais présente des **cassures**, s'altérer facilement en serpentine (jaunâtre).
- ⇒ L'olivine est un minéral typique des **roches basiques et ultrabasiques**.

zircon $\text{Zr}(\text{SiO}_4)$

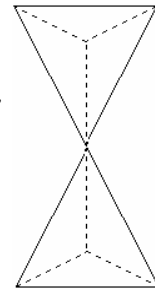
grenat $(\text{SiO}_4)_3 \text{Al}[\text{X}]$ ou $\text{Ca}[\text{X}]$ (calciques ou alumineux)

silicates d'alumine Al_2SiO_5 ($[\text{SiO}_4 | \text{O}]\text{Al}_2$)

SOROSILICATES $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$

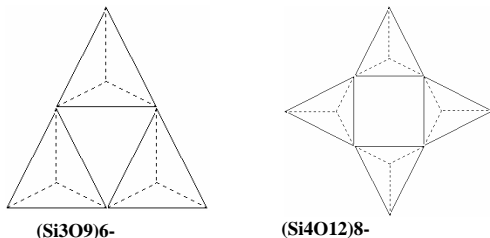
tétraèdres associés par paire, ils ont un sommet en commun

Les minéraux de cette famille sont rares, se sont essentiellement des minéraux du métamorphisme comme l'**épidote** et la **lawsonite**.



CYCLOSILICATES $[\text{SiO}_3]^{2-}$

assemblage en cercle de 3, 4 ou 5 tétraèdres



Chaque tétraèdre est lié à son voisin par un oxygène de coordination, ils vont donc créer un espace ouvert.

Les minéraux de cette famille sont rares, on citera essentiellement des minéraux du métamorphisme tel que :

Wollastonite : $\text{Si}_3\text{O}_9\text{Ca}_3$ (3 tétraèdres), silicate de calcium

Ce minéral **se trouve dans le marbre** (calcaire cuit), il se présente sous forme de **cristaux allongés fibreux blancs**. Elle fait **effervescence** dans l'acide dilué.

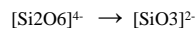
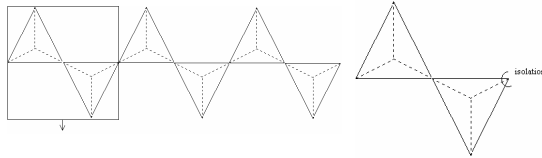
Cordiérite : $\text{Al}_3 (\text{Mg}, \text{Fe})_2 (\text{Si}_5\text{AlO}_{18})$

Minéral du métamorphisme de contact et de BP.

Béryl $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$

INOSILICATES EN CHAINES SIMPLES [SiO₃]²⁻

Tétraèdre associé à ces deux voisins par deux oxygènes de coordination. Ils conserve donc deux valences libres.



Le **pyroxène**, minéral de roches magmatiques et métamorphiques appartient à cette famille.

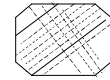
Les pyroxènes sont des minéraux **ferromagnésiens** avec une proportion variable de **Ca** et de **Na**

Ils cristallisent dans le système orthorhombique (**orthopyroxènes, OPX**) ou monoclinique (**clinopyroxènes, CPX**).

Ils sont caractérisés par une famille de clivage sur les sections longitudinales et deux familles de clivage suborthogonales sur les sections transversales.



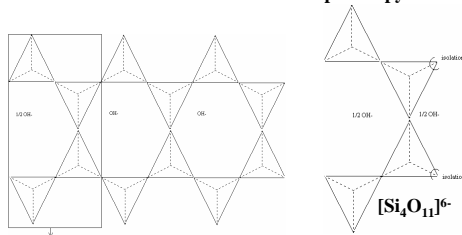
Section longitudinale
(1 plan de clivage)



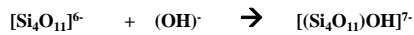
Section transversale
(clivage à 90°)

INOSILICATES EN CHAINES DOUBLES

Condensation de deux chaînes simples de pyroxène

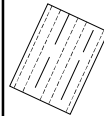


Au centre de chaque hexagone s'insère un ion (OH)⁻ → 1 charge (-)



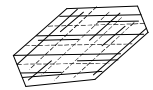
Les compensations par **Ca, Fe ou Mg ne suffiront plus**, il faudra donc faire intervenir de gros cations comme **K ou Na** :

Les amphiboles sont caractérisés par une famille de clivage sur les sections longitudinales et deux familles de clivage à 120° sur les sections transversales.



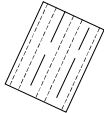
Section longitudinale
(1 plan de clivage)

Section transversale
(clivage à 120°)

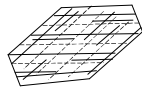


On distingue plusieurs familles d'amphiboles.

Les amphiboles sont caractérisés par une famille de clivage sur les sections longitudinales et deux familles de clivage à 120° sur les sections transversales.



Section longitudinale
(1 plan de clivage)



Section transversale
(clivage à 120°)

On distingue plusieurs familles d'amphiboles.

Amphiboles ferromagnésiens

Orthorhombique

monoclinique

Formule générale : (Fe,Mg)₇ [(Si₈O₂₂)] (OH, F)₂

Les amphiboles calciques → monoclinique.

► Série de l'actinote

formule générale : Ca₂(Fe,Mg)₅ [(Si₈O₂₂)] (OH, F)₂

► Série de l'hornblende

formule générale : (Ca, Na, K)₂(Fe²⁺, Fe³⁺, Mg, Al)₅ [(AlSi₇O₂₂)] (OH, F)₂

Amphiboles sodiques → monoclinique

Glaucophanne de formule Na₂Mg₃Al₂ (Si₈O₂₂) (OH)₂

PHYLLOSILICATES

doublage de la double chaîne : silicate en ruban ou en feuillets plan

[Si₄O₁₀]⁴⁻

Au centre de chaque hexagone s'insère un ion (OH)-

La formule générale devient **[(Si₄O₁₀)(OH)₂]⁶⁻**

Les feuillets, empilés les uns sur les autres, sont liés par **(Fe, Mg, K, Al..)**

Micas

formule de base des mica
[(Si₃AlO₁₀)(OH)₂]²⁻

alumineuse

[(Si₃AlO₁₀)(OH)₂]₂Al₂K

↓

mica blanc (muscovite)

ferro-magnésienne

[(Si₃AlO₁₀)(OH)₂]₂(Fe,Mg)₃K

↓

mica noir (biotite)

- ▶ mica → système **monoclinique**,
- ▶ en cristaux **tabulaires** de forme sub-hexagonale
- ▶ **clivage parfait**.
- ▶ **muscovite, incolore & biotite brune**. dureté 2,5.

Les **minéraux argileux** sont des phyllosilicates :

- **kaolinite** (minéral argileux blanc)
- **montmorillonite** (variété de la famille des smectites)
- **illite**
- **glauconite** (ou glauconie)

TECTOSILICATES

silicates en charpente

Chaque tétraèdre est lié à ces 4 voisins par ces 4 oxygènes de coordinations.

Il y'a donc aucune valence de libre

→ famille des **quartz** et des **feldspaths**

Quartz

C'est de la silice anhydre, il cristallise dans le système **hexagonal** avec deux **extrémités pyramidales**.

- Dureté 7.
- **Pas de clivages**
- **Pas de macles**
- **Pas d'altération**
- cassure conchoïdale.

Feldspaths

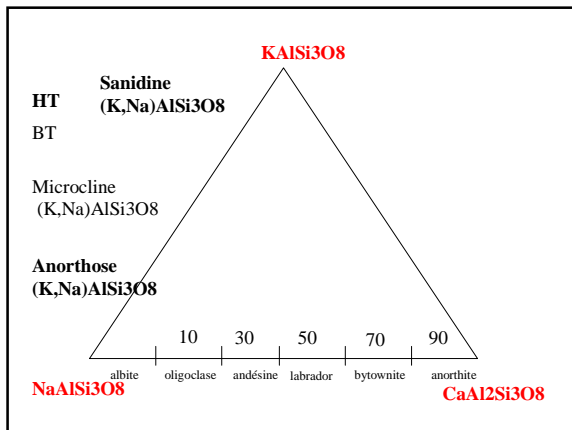
Ici il y a substitution d'un Si par Al :

SiO₂ ----- Si₄O₈ ----- [Al Si₃ O₈]¹⁻

La valence négative est neutralisé par Na, Ca, ou K

On distingue ainsi

- ▶ **F. alcalins** ou **sodi-potassiques** : solution solide avec 2 pôles
albite NaAlSi₃O₈ ---- orthose KAlSi₃O₈.
- ▶ **F. calco-sodiques** ou **plagioclases** : solution solide avec 2 pôles
albite NaAlSi₃O₈ ---- anorthite CaAl₂Si₂O₈.



- ▶ **Orthose** monoclinique, maclé **Karlsbad** = macle simple.
- ▶ **Microcline** triclinique, maclé **polysynthétiques en quadrillage**.
- ▶ **Plagioclases** tricliniques, maclés **polysynthétiques** de l'albite.