

CHAPITRE 1 : Notions de minéralogie et cristallographie

1.1 Introduction et définition

Un minéral est un solide homogène, limité par des surfaces habituellement planes faisant entre elles des angles bien définis (cristal), ce qui suppose une structure atomique ordonnée et une composition chimique définie. Les cristaux peuvent se former à partir de solutions, de liquides de fusion ou de vapeurs (Pomerol, 1965).

Le terme de minéral ne doit pas être confondu avec le terme de *minerai* qui désigne en général un assemblage de minéraux ayant une teneur en métal exploitable.

La reconnaissance des minéraux se base sur un ensemble de propriétés : la composition chimique, le système cristallin, la dureté, la densité, les macles, les clivages, la forme des cassures, la couleur, le trait sur porcelaine, l'éclat, la transparence, la double réfraction, le goût, la réaction à l'HCl, et enfin, une des plus importantes, les propriétés optiques d'un minéral en lame mince observé au moyen d'un microscope.

1.2 Propriétés des minéraux

2.1 La composition chimique

Les minéraux ont une composition chimique bien déterminée, exprimée par une formule chimique qui est idéalisée. En effet, on ne mentionne que les principaux constituants, les très petites inclusions ou impuretés, même si elles modifient la couleur ou la transparence d'un minéral, ne sont pas prises en compte.

Les éléments chimiques les plus importants

Les formules chimiques sont souvent complexes et font intervenir essentiellement O, Si, Al, Ca, Na, K, Fe et Mg. Parmi tous les éléments chimiques connus à la surface de la terre, ce sont les plus abondants (Mason, 1966).

Elément	% en poids	% en volume
O	46,6	93,8
Si	27,7	0,8
Al	8,1	0,5
Fe	5,0	0,4
Ca	3,6	1,0
Na	2,8	1,3
K	2,6	1,8
Mg	2,1	0,3

Tableau 1 : abondance des éléments chimiques principaux à la surface de la terre

Classification des minéraux :

Les minéraux sont classés en neuf classes :

- 1^{re} classe éléments natifs
- 2^e classe sulfures et sulfosels
- 3^e classe halogénures
- 4^e classe oxydes et hydroxydes
- 5^e classe nitrates, carbonates et borates
- 6^e classe sulfates, chromates, molybdates et tungstates
- 7^e classe phosphates, arsiénates et vanadates
- 8^e classe silicates
- 9^e classe composés organiques.

Les minéraux les plus fréquents sont :

- des aluminosilicates de Fe, Ca, Na et K ;
- des oxydes de Si, Mg, Fe et Al.

D'autre part, bien que pondéralement moins importants, certains éléments (C, F, P, S, Cl) ont une importance considérable car ils participent aux cycles organiques et aux espèces minérales qui en proviennent plus ou moins directement (carbonates, sulfates, chlorures et phosphates par exemple).

2.2. Le système cristallin :

L'apparence et les propriétés physiques d'un minéral sont déterminés par l'arrangement tridimensionnel périodique de ses composants internes élémentaires : atomes molécules ou ions. Certains minéraux possèdent la même formule chimique mais sont différents par leurs aspects, en raison d'un système cristallin différent.

La plupart des minéraux possèdent un système cristallin même s'il n'est pas visible à l'œil nu. Le cristal prend une forme caractéristique à l'échelle macroscopique lorsqu'il a pu croître librement dans son milieu. Certains minéraux beaucoup plus rares ne possèdent pas de réseau cristallin : on parle de minéraux amorphes.

1. Agencement atomique :

Les solides cristallins sont de la répartition périodique dans l'espace d'un motif géométrique défini fait d'ions, ou de molécules réunis par des liaisons plus ou moins résistantes. Dans les corps amorphes, par contre, les groupements d'éléments ne sont pas périodiques.

a) Liaisons interatomiques

Les atomes s'associent entre eux grâce à l'existence de quatre liaisons :

-la liaison ionique : elle est due à la force d'attraction électronique exercée par les cations chargés positivement sur les anions chargés négativement. Ce sont les liaisons les plus fréquentes (les silicates sont de ce type) et d'énergie relativement importante.

Liaison covalente : elle est due à la mise en commun de paire d'électrons entre les atomes de même nature et voisin. Cette liaison est directionnelle et de très forte énergie. Les cristaux qui en résultent sont très durs et indéformable (cas du diamant)

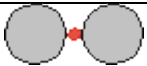

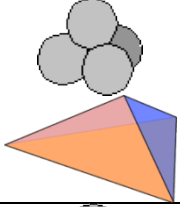
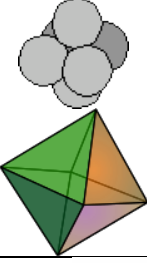
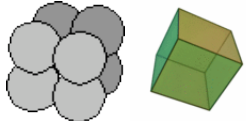
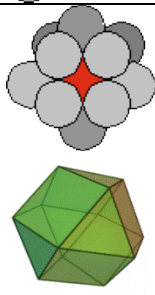
Liaison métallique : il s'agit d'une liaison se rapprochant de la liaison ionique, mais tout les atomes sont semblables. Les ions positifs sont « plongés dans une mer d'électron libre » non liés à un atome particulier. la liaison métallique est d'énergie relativement importante (cas du sodium).

Liaison de van der waals : résultant de l'influence magnétique réciproque d'atomes neutres ou de groupes d'atomes globalement neutres, la liaison de Van Der Waals est une liaison qui pourrait être comparée à la force qui maintient parfois deux feuilles de papier d'une rame . Cette liaison ne se rencontre que dans très peu de minéraux dont les plus connus sont le soufre et le graphite.

b) Coordination ou nombre de coordination isomorphisme et polymorphisme :

- Coordination :

La formation des cristaux à partir d'ions simples répond à des règles empiriques simples dites règles de Pauling. Autour de chaque cation sont disposés des anions qui occupent les sommets d'un polyèdre. La nature du polyèdre (dit polyèdre de coordination) est définie par le rapport du rayon du cation par le rayon de l'anion (**R_c/R_a**). Les formes sont les plus compactes possibles. Les liaisons entre les polyèdres sont moins stables lorsqu'elles se font par les arêtes ou les côtés; les polyèdres sont donc généralement associés par les sommets. La forme d'un polyèdre dépend du rapport entre le rayon ionique du cation (R_c) et le rayon ionique de l'anion. Les différentes formes possibles en fonction du rapport des rayons ioniques sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Rapport R_c/R_a	Nombre de coordination	Géométrie	Aspect du polyèdre
<0,155	2	ligne	
0,155- 0,255	3	Triangle	
0,255- 0,414	4	tétraèdre	
0,414- 0,732	6	octaèdre	
0,732- 1.0	8	Cubique	
>1,0	12	Cubo octaédraèdre	

- Isomorphisme

Deux espèces minérales sont isomorphes, si elles sont isotypes, constituées de cations et d'anions de rayons ioniques voisins pour envisager leur syn cristallisation en cristaux mixtes.

Les deux espèces forment des solutions solides.

Ex : les péridots dont la composition varie depuis un terme magnésien (Mg_2SiO_4) la forstérite à un terme ferrique (Fe_2SiO_4) la fayalite. Le terme intermédiaire étant l'olivine.

- Le polymorphisme

Deux espèces minérales ou plus sont dites polymorphes si elles ont la même composition chimique mais des structures cristallines différentes. Ce changement de forme est lié aux variations de la température et de la pression.

Ex : CaCO₃

s'il cristallise dans le système rhomboédrique, il s'agit de la calcite

s'il cristallise dans le système orthorhombique, il s'agit de l'aragonite

Ex : SiO₂

Si elle cristallise dans le système rhomboédrique, il s'agit du quartz α

Si elle cristallise dans le système hexagonal, il s'agit de la tridymite

Si elle cristallise dans le système quadratique, il s'agit de la cristobalite

Si elle cristallise dans le système monoclinique, il s'agit de la coesite

Ex : SiAl₂O₅ (silicates d'alumine)

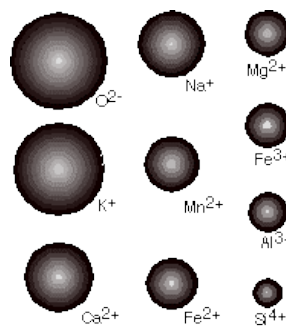
Triclinique : disthène, orthorhombique : andalousite, q

C) rayon atomique et ionique

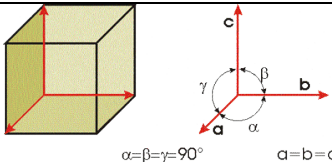
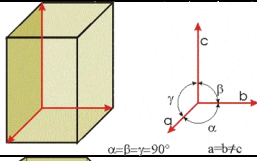
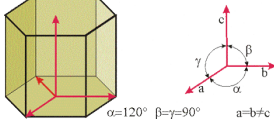
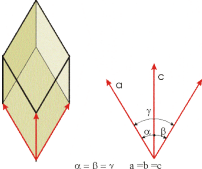
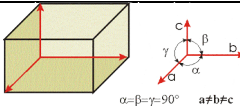
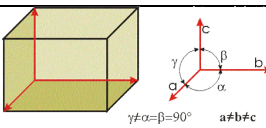
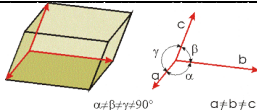
Chaque ion d'un édifice cristallin possède en raison des forces électrostatiques qui le lie aux autres ions une certaine taille défini : par un rayon. Cette taille varie en fonction de la nature des liaisons : plus le nombre de coordination d'un ion est grand plus son rayon ionique est grand.

Le rayon atomique est en général faible pour les cations et élevé pour les anions : le silicium a un rayon ionique de 0,39 **Angström (10⁻¹⁰m)** tandis que l'oxygène a un rayon de 1,40 **Angström**.

De cette notion de taille, il faut retenir que les éléments dont le rayon ionique est semblable peuvent aisément se substituer au sein d'un édifice cristallin. La figure 1 montre schématiquement les rayons des principaux éléments de la croûte terrestre.

**2. Les sept systèmes cristallins :**

Les formes cristallines présentées dans la nature sont groupées en sept systèmes qui sont basés sur les axes de symétrie et les angles du polyèdre fondamental

- Le système Cubique	 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ $a=b=c$
Le système Quadratique	 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ $a=b \neq c$
- Le système Hexagonal	 $\alpha=120^\circ$ $\beta=\gamma=90^\circ$ $a=b \neq c$
Le système Rhomboédrique ou trigonal	 $\alpha=\beta=\gamma$ $a=b=c$
Le système Orthorhombique	 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ $a \neq b \neq c$
Le système monoclinique	 $\gamma \neq \alpha=\beta=90^\circ$ $a \neq b \neq c$
Le système Triclinique	 $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ $a \neq b \neq c$

2.3.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.

2.4 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.

2.5 La transparence

Cette propriété, liée à la précédente, est la faculté d'un milieu à laisser passer la lumière. Il existe des minéraux transparents, des minéraux translucides (qui laissent passer une lumière affaiblie) et des minéraux opaques. Tous les métaux sont opaques, quelle que soit la taille de l'échantillon

2.6.Trait sur porcelaine

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 - voir dureté). 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. La pyrite, de couleur jaune or, laisse un trait noir.

2.7.Dureté

La dureté d'un minéral 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, un des principaux constituants de la fameuse "pierre de savon". 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

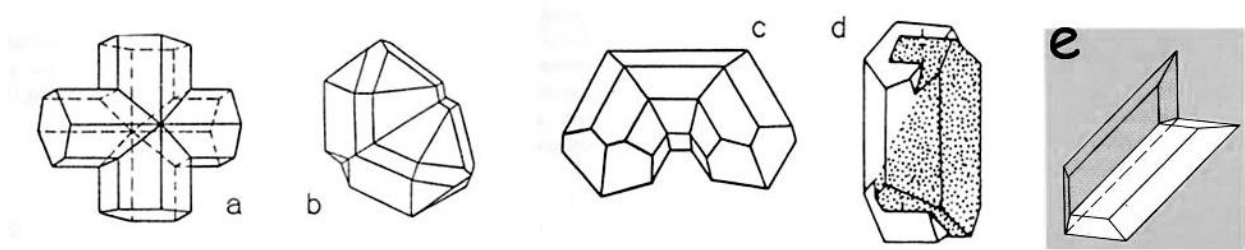
Sur cette échelle, on a quelques points de repères. Des minéraux comme le talc et le gypse sont si tendres qu'ils sont rayés par l'ongle. Pas étonnant qu'on utilise le talc dans les poudres pour la peau. La calcite est rayée par une pièce de cuivre de un cent, alors qu'une lame de canif, en acier, saura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

2.8 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.

2.9 La macle

Occasionnellement, des cristaux de même espèce et de même forme peuvent croître groupés selon des lois de symétrie définies, formant alors des macles, constituées de 2 ou plusieurs individus. Selon la disposition des minéraux, on distingue les macles par accolement et par pénétration. Ces associations aboutissent à la formation d'angles rentrants, formant une encoche dans le cristal.



macles courantes des minéraux (Pomerol, 1997 et Schumann, 1989). a) macle en croix (stauroedite), b) bec de l'étain (cassitérite), c) double macle en genou (rutile), d) macle de Carlsbad (feldspath orthose), e) macle en fer de lance (gypse) .

D'autres propriétés peuvent être décrites comme la double réfraction de la calcite (spath d'Islande), le goût, l'odeur et la réaction à l'

2.10. La forme des cassures

Lorsqu'un minéral, suite à une contrainte (pression, choc), se brise en présentant des surfaces irrégulières, on parle alors de cassure. C'est le cas si les composants du réseau cristallin sont disposés de telle sorte qu'on ne puisse pas faire coulisser une surface plane à travers ce dernier.

La cassure peut être conchoïdale (ressemblant à une empreinte de coquillage), ou bien régulière lorsque le minéral présente un ou plusieurs plan de clivage.