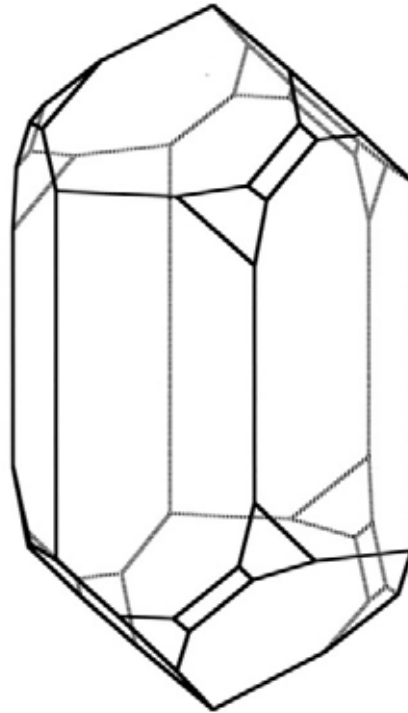


# *La classification des minéraux*

*par Jacques Deferne*



*Cette petite classification des minéraux est une version révisée de celle éditée en 1995 par le Muséum de Genève.  
Cette dernière est disponible en version imprimée à la réception du Muséum.*

## Avertissement

*Ce petit ouvrage est destiné aux amateurs de minéraux ainsi qu'aux étudiants en géologie. Il ne s'agit pas d'un ouvrage de minéralogie descriptive proprement dit, mais d'un guide qui résume les propriétés des quelques 300 espèces minérales qu'un bon amateur de minéraux ou un étudiant en géologie devrait connaître. Les minéraux les plus importants sont en caractères pleins. D'autres, moins fréquents, sont en italiques. La classification proposée ici est une version simplifiée, inspirée de celles décrites dans les ouvrages classiques de Strunz et Dana .*

*L'amateur de minéraux qui réussirait à réunir dans sa collection toutes les espèces décrites dans cet opuscule, aurait à sa disposition un éventail tout à fait représentatif de la diversité du monde minéral.*

*Pour l'étudiant en géologie, cet ouvrage peut servir d'aide-mémoire des connaissances minéralogiques pratiques qui lui sont nécessaires pour la reconnaissance des minéraux, pour la compréhension de la pétrographie et l'étude des gîtes métallifères.*

*Pour compléter ces descriptions, on peut consulter avec profit le Textbook of Mineralogy, par Dana & Ford, éd. John Wiley, New-York ainsi que l'excellente Encyclopedia of Minerals, par Roberts, Campbell & Rapp, éd. Van Nostrand, New-York, 1990.*

*Les dessins de cristaux ont été effectués avec le programme "SHAPE" d'Eric Dowty, en s'inspirant pour certains d'entre eux des données réunies par Ulrich Burchard. De nombreux sites internet dédiés aux minéraux peuvent aussi être consulté avec profit.*



## La définition de l'espèce minérale<sup>1</sup>

La notion d'espèce minérale n'est pas du tout comparable à celle d'espèce animale ou végétale. Elle repose sur deux entités complémentaires qui sont la **composition chimique** d'une part, la **structure cristalline** d'autre part.

Cette définition n'est pas rigide et, d'un gisement à l'autre, les individus d'une même espèce minérale peuvent montrer une variabilité qui se marque soit par une différence de morphologie ou de couleur, soit encore par une composition chimique légèrement différente. Il s'agit alors d'une variété. Ainsi l'améthyste est une variété violette de quartz, l'émeraude une variété transparente verte de béryl, l'adulaire une variété d'orthose caractérisée par un habitus particulier.

## Les atomes qui constituent l'écorce terrestre

On connaît bien la composition chimique moyenne de la croûte terrestre continentale, soit les trente kilomètres environ qui se trouvent sous nos pieds. Une dizaine d'éléments constituent à eux seuls 99.3 % de cette partie de notre planète. Ce sont eux qui, par leurs diverses combinaisons, constituent les minéraux des roches. Les atomes ont des poids et des volumes très différents les uns des autres. Les résultats des statistiques changent selon qu'on exprime les proportions relatives des éléments chimiques en poids, en volume ou en nombre d'atomes. Nous avons choisi dans cet ouvrage de comparer leur abondance en nombres d'atomes (voir le tableau de la page 4).

On remarque immédiatement qu'il y a plus d'atomes d'oxygène que tous les autres atomes réunis. Nous verrons plus loin le rôle important que joue cet élément dans la constitution des minéraux.

## Arrangement des atomes à l'intérieur des minéraux

Dans les minéraux, les atomes s'assemblent en remplissant le mieux possible l'espace disponible. Les atomes les plus volumineux, en particulier les anions, tendent donc à réaliser des assemblages compacts : ces gros atomes se disposent en couches dans lesquelles chaque atome est entouré de six autres, comme dans les structures dites "en nids d'abeilles", puis les couches s'empilent les unes sur les autres de telle manière que chaque atome se place au-dessus de l'interstice situé entre trois atomes de la couche inférieure. Il existe deux possibilités d'empilement qui aboutissent à deux types d'assemblage compact : l'assemblage hexagonal compact et l'assemblage cubique compact.



Assemblage compact d'oranges



Empilement A-B-A (hexagonal)



Empilement A-B-C-A (cubique)

<sup>1</sup> voir dans la même série : Au coeur des minéraux.

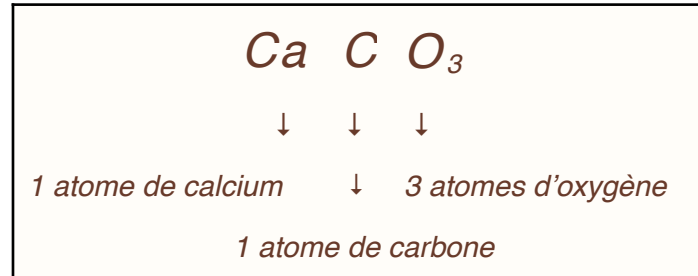
### Abondance des principaux éléments de la croûte terrestre

Élément	Symb.	% en nb. d'atomes	Caractères géochimiques
Oxygène	O	60.2	Élément le plus abondant de la croûte terrestre. C'est un atome volumineux, porteur de deux charges négatives. Associé à de petits atomes chargés positivement, il constitue les "groupes anioniques" qui caractérisent la plupart des classes chimiques.
Silicium	Si	20.3	Deuxième en abondance, le silicium apparaît toujours associé à l'oxygène avec lequel il constitue le quartz ainsi que le groupe très important des silicates.
Aluminium	Al	6.2	L'aluminium est un composant important qui joue un rôle double : il apparaît dans les minéraux comme cation indépendant d'une part et peut aussi, d'autre part, remplacer partiellement le silicium dans certaines familles de silicates.
Hydrogène	H	2.9	C'est le plus léger de tous les atomes. On le trouve lié à l'oxygène sous la forme de groupes hydroxyles [OH] ou sous forme d'eau H <sub>2</sub> O.
Sodium	Na	2.5	Abondant dans les feldspaths, il occupe une place importante dans les océans auxquels il confère leur salinité (NaCl).
Calcium	Ca	1.9	Présent dans presque toutes les classes minérales : fluorures, carbonates, sulfates, phosphates, silicates.
Fer	Fe	1.9	Omniprésent dans presque toutes les classes de minéraux.
Magnésium	Mg	1.8	Sous forme de carbonate et associé au calcium, il forme les roches dolomitiques. Mais c'est dans les silicates qu'il est abondant, comme son jumeau le fer, avec lequel il forme les silicates "ferro-magnésiens".
Potassium	K	1.3	Atome volumineux qu'on trouve surtout dans les feldspaths et les micas.
Titane	Ti	0.2	N'existe pratiquement que sous forme d'oxyde.
Autres		0.7	Ne jouent aucun rôle majeur dans la croûte terrestre.

En simplifiant à l'extrême, on peut considérer la croûte terrestre comme un immense assemblage compact de volumineux atomes d'oxygène entre les interstices desquels prennent place tous les autres atomes !

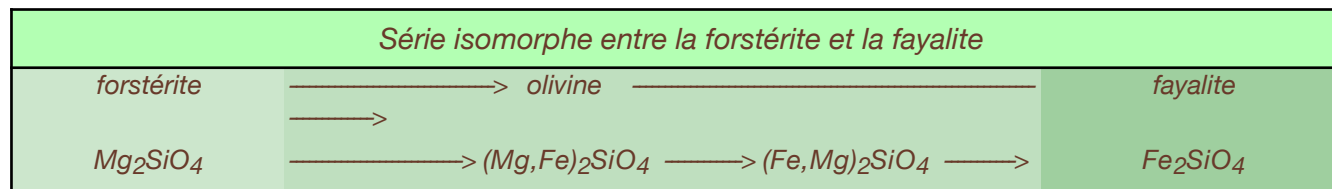
## Formule chimique des minéraux

La formule chimique a pour but de présenter, sous une forme abrégée, les proportions, en nombres d'atomes, des différents éléments qui entrent dans la composition du minéral. La convention veut qu'on aligne les symboles chimiques des éléments présents, affectés d'un nombre placé en indice qui indique les proportions relatives de chacun d'eux. L'absence de nombre correspond à 1. Dans l'exemple du quartz, la formule  $\text{SiO}_2$  indique qu'il y a deux fois plus d'atomes d'oxygène que de silicium. De même la formule de la calcite,  $\text{CaCO}_3$ , montre que pour cinq atomes, il y a un atome de calcium, un de carbone et trois d'oxygène :



Certains atomes métalliques (les cations) sont parfois inclus dans une parenthèse. Cette dernière correspond généralement à un site particulier dans la structure cristalline, site où les atomes placés dans la parenthèse peuvent se remplacer mutuellement, souvent en toutes proportions. On place conventionnellement ces atomes dans un ordre d'abondance décroissante. Le nombre total d'atomes correspond à l'indice dont est affectée la parenthèse.

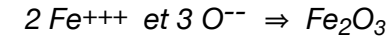
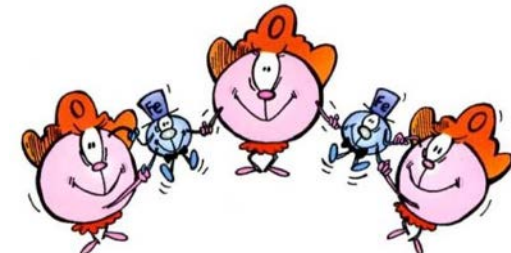
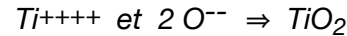
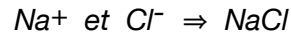
Ainsi dans la formule de l'olivine  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ , la parenthèse indique que Mg et Fe peuvent se substituer en toutes proportions dans le minéral, pour autant qu'il y ait globalement deux atomes pour chaque tétraèdre  $\text{SiO}_4$ . L'ordre des symboles dans la parenthèse indique que c'est le magnésium qui prédomine sur le fer. Si on avait écrit  $(\text{Fe,Mg})_2$ , cela aurait signifié une prédominance du fer sur le magnésium.



Le remplacement d'un élément par un autre dans un même site structural est à l'origine des cristaux mixtes, issus de la cristallisation en toutes proportions d'un mélange de deux termes extrêmes. On parle alors de série isomorphe.

## Anions et groupes anioniques

Dans la nature, les atomes sont généralement ionisés. Cela signifie qu'ils sont porteurs d'une ou plusieurs charges électriques. On les appelle cations lorsque ces charges sont positives, anions lorsqu'elles sont négatives. Il n'y a que peu d'atomes qui soient exclusivement des anions. Ce sont l'oxygène (O), le chlore (Cl), le fluor (F), le soufre (S), l'arsenic (As), l'antimoine (Sb), plus rarement l'iode (I), et le brome (Br). Parmi ces derniers, il faut noter que certains d'entre eux, notamment le soufre et l'arsenic, peuvent figurer également comme cation dans certains édifices cristallins.



Les corps composés comportent une partie anionique (négative) et une partie positive. Le bilan doit être neutre. Dans l'exemple choisi les anions sont en rose, le cations en bleu. Le nombre de bras correspond à leur charge électrique.

L'oxygène tient une place très importante. En plus de son rôle d'anion simple dans la classe des oxydes, il se lie fortement à divers atomes métalliques pour former des groupes anioniques<sup>1</sup>, sortes de "briques négatives" pourvues d'une configuration géométrique particulière.

Le groupe anionique  $[\text{CO}_3]$ , par exemple, est constitué d'un tout petit atome de carbone situé dans l'interstice laissé libre entre trois gros atomes d'oxygène. Le groupe  $[\text{SiO}_4]$  est formé d'un petit atome de silicium logé entre 4 atomes d'oxygène disposés d'une manière jointive aux 4 sommets d'un tétraèdre imaginaire. On parle alors du "tétraèdre"  $[\text{SiO}_4]$ . Le tétraèdre est un modèle fréquent et les groupes anioniques adoptent souvent cette configuration, tel le tétraèdre  $[\text{PO}_4]$  et  $[\text{SO}_4]$ . La charge électrique négative d'un groupe anionique doit être compensée par des atomes chargés positivement, les cations, afin que la charge globale du minéral soit nulle. On voit parfois les groupe anioniques affectés d'un indice négatif,  $[\text{CO}_3]^{2-}$ ,  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ,  $[\text{PO}_4]^{3-}$ . Il correspond au nombre de charges électriques négatives dont il est porteur et qui devront être compensées par les charges positives des cations avec lesquels ces anions seront associés. Les groupes anioniques, eux aussi, sont généralement placés entre parenthèses<sup>2</sup> afin que le lecteur puisse plus facilement identifier la classe chimique à laquelle appartient le minéral. Par exemple,  $[\text{PO}_4]$  indique qu'il s'agit de la classe des phosphates. Lorsque le groupe anionique est multiple, on préfère écrire  $[\text{PO}_4]_3$ , indiquant qu'il y a trois fois le groupe  $[\text{PO}_4]$ , plutôt que  $[\text{P}_3\text{O}_{12}]$ . Lorsqu'il n'y a aucune ambiguïté possible on peut supprimer la parenthèse.

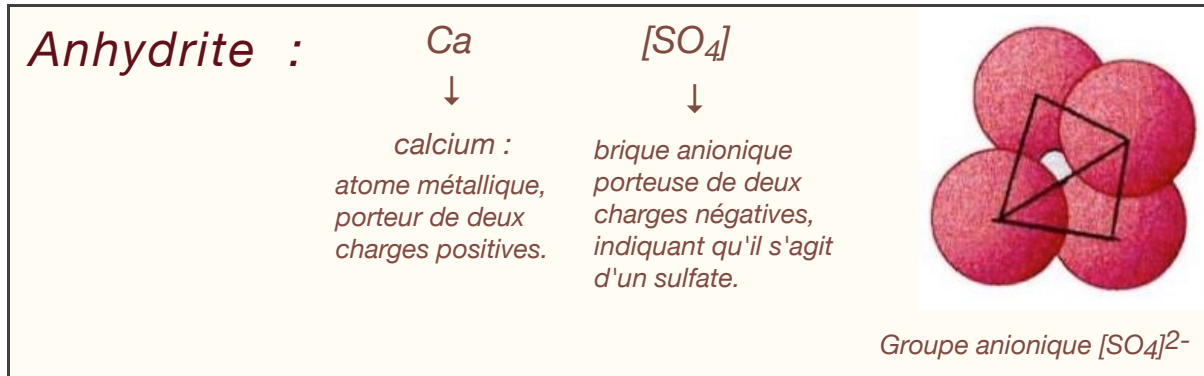
On voit souvent apparaître les anions Cl, F ainsi que le groupe hydroxyle  $[\text{OH}]$  dans une même parenthèse :  $[\text{OH}, \text{Cl}, \text{F}]$ . Ces termes peuvent se substituer les uns aux autres. Cette substitution est fréquente, car ils ont à peu près la même taille et sont tous trois porteurs d'une seule charge électrique négative. Dans le cas de l'apatite,  $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3[\text{F}, \text{Cl}, \text{OH}]$ , on distingue les variétés hydroxyle-apatite, fluor-apatite ou chlore-apatite suivant que  $[\text{OH}]$ ,  $[\text{F}]$  ou  $[\text{Cl}]$  prédomine sur les deux autres.



Groupe anionique  $[\text{SO}_4]$

<sup>1</sup> Les cristallographes préfèrent le terme "radical anionique"

<sup>2</sup> Par souci de clarté, nous plaçons les groupes anioniques entre parenthèses crochets.



Parfois, un même élément peut apparaître deux fois dans une même formule chimique. C'est le cas de la muscovite,  $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$ . Cela signifie que certains atomes d'Al se substituent aux atomes de Si à raison d'un atome sur quatre dans le groupe anionique  $[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$  alors que l'autre Al participe à l'édifice cristallin en qualité de cation dans un autre site structural.

### Les structures cristallines : point de vue du chimiste

La structure intime des cristaux est conditionnée par la façon dont les atomes se lient les uns aux autres. Les chimistes distinguent principalement trois types de liaison : ionique, covalente et métallique.

Dans les liaisons de type ionique, il y a échange d'électrons entre les anions et les cations. Les atomes s'empilent les uns les autres formant des assemblages géométriques dans lesquels les anions grossissent en se chargeant des électrons provenant des cations qui, eux, diminuent de taille. Les gros anions s'arrangent à occuper l'espace de la façon la plus économique et les petits cations se logent dans les interstices laissés libres par les premiers. Dans les liaisons covalentes, les atomes partagent équitablement leurs électrons. On ne parle plus d'anion ni de cation. Ces arrangements sont caractérisés par des structures à l'intérieur desquelles les tétraèdres et les octaèdres jouent un rôle important.

Dans les structures à liaisons métalliques, on observe une mise en commun aléatoire de tous les électrons. Les assemblages d'atomes sont alors assimilés à des empilements de sphères. Dans les métaux, les électrons peuvent se déplacer sous l'influence d'une "pompe à électron" (batterie, dynamo ou alternateur) et constituer ainsi un courant électrique.

## Le principe de la classification des minéraux

Nous avons vu plus haut que la notion d'espèce minérale reposait sur deux entités complémentaires qui sont la composition chimique d'une part, la structure cristalline d'autre part. Toute classification doit donc prendre en considération ces deux critères.

Développée parallèlement par divers auteurs, la classification actuelle est fondée sur une première division en classes chimiques, puis sur des subdivisions basées sur la proportion cations/anions ou sur des critères moins universels, comme des structures très semblables ou de grandes similitudes dans les propriétés chimiques ou physiques.

Si le schéma des classes chimiques est à peu près universellement adopté par tous, des divergences subsistent encore au niveau des subdivisions et des groupes. Les pays germaniques utilisent habituellement la classification dite Klockmann-Ramdohr-Strunz<sup>1</sup> alors que les anglo-saxons préfèrent celle établie par D. Dana (1837-1892) et ses successeurs Charles Palache, Harry Berman et Clifford Frondel<sup>2</sup>. Comme ce petit ouvrage ne s'adresse ni à des cristallographes, ni à des minéralogistes professionnels, nous avons adopté une classification simplifiée, inspirée de celles citées plus haut.

Les grandes subdivisions sont établies à partir de la composition chimique, plus précisément sur le type d'anion ou de groupe anionique de la formule chimique. Ainsi par exemple, la calcite,  $\text{CaCO}_3$ , fait partie de la classe des carbonates caractérisée par le groupe anionique  $[\text{CO}_3]$ , alors que la barytine,  $\text{Ba}_2\text{SO}_4$ , appartient à celle des sulfates caractérisée par le groupe  $[\text{SO}_4]$ .

Le second critère de classification est moins universel. Basé en partie sur des subdivisions chimiques et sur des affinités structurales, il permet d'établir des groupes à l'intérieur des grandes classes chimiques. Par exemple, dans la classe des carbonates, on peut distinguer les carbonates rhomboédriques, les carbonates orthorhombiques ou encore les carbonates basiques, selon qu'ils cristallisent dans le système rhomboédrique, orthorhombique ou qu'ils renferment le groupe anionique supplémentaire  $[\text{OH}]$ .

Le tableau ci-dessous montre les grandes divisions de la classification universellement adoptée, avec les principaux groupes anioniques qui les caractérisent.

Quelques classes ne comptent que très peu d'espèces. On les associe habituellement à d'autres classes avec lesquelles elles présentent des affinités chimiques ou structurales. Ainsi les molybdates, les wolframates et les chromates sont habituellement classés avec les sulfates, alors que les arsénates, les vanadates sont classés avec les phosphates, les nitrates avec les carbonates etc.

### Classification systématique des minéraux

#### I. Minéraux dépourvus d'oxygène

Eléments natifs	Minéraux constitués d'un seul élément.
Halogénures	$[\text{Cl}]^{1-}$ , $[\text{F}]^{1-}$ , plus rarement $[\text{I}]^{1-}$ et $[\text{Br}]^{1-}$ .
Sulfures	$[\text{S}]^{2-}$ , comprend aussi $[\text{As}]^{3-}$ , $[\text{Sb}]^{3-}$ , $[\text{Se}]^{2-}$ , $[\text{Te}]^{2-}$ .
Sulfosels	$[\text{AsS}_3]$ , $[\text{SbS}_3]$ , $[\text{AsS}_4]$ , $[\text{SbS}_4]$ , $[\text{As}_4\text{S}_{13}]$ , etc..

<sup>1</sup> Hugo Strunz : Mineralogische Tabellen, Akad. Verlag Geest & Portig, Leipzig.

<sup>2</sup> Palache, Berman et Frondel : Dana's System of Mineralogy, John Wiley, New York



## II. Minéraux oxygénés, non silicatés

Oxydes & hydroxydes	$[O]^{2-}$ , $[OH]^{1-}$ , comprend aussi $[Nb_2O_6]^{2-}$ , $[Ta_2O_6]^{2-}$ , .
Carbonates	$[CO_3]^{2-}$ , comprend aussi $[NO_3]^{1-}$ .
Borates	$[BO_3]^{3-}$ , $[B_2O_5]^{4-}$ , $[B_7O_{13}]^{5-}$ , etc..
Sulfates	$[SO_4]^{2-}$ , comprend aussi $[CrO_4]^{2-}$ , $[TeO_3]^{2-}$ , $[SeO_3]^{2-}$ .
Tungstates *	$[WO_4]^{2-}$ , comprend aussi $[MoO_4]^{2-}$ .
Phosphates	$[PO_4]^{3-}$ , comprend aussi $[AsO_4]^{3-}$ , $[VO_4]^{3-}$ , $[SbO_4]^{3-}$ .

\* souvent classés avec les sulfates

## III. Silicates et alumino-silicates

Néosilicates	$[SiO_4]^{4-}$ .
Sorosilicates	$[Si_2O_7]^{6-}$ .
Cyclosilicates	$[Si_3O_9]^{6-}$ , $[Si_4O_{12}]^{8-}$ , $[Si_6O_{18}]^{12-}$ .
Inosilicates	$[SiO_3]^{2-}$ , $[Si_4O_{11}]^{6-}$ .
Phyllosilicates	$[Si_2O_5]^{2-}$ , $[AlSi_3O_{10}]^{5-}$ , $[Al_2Si_2O_{10}]^{6-}$ .
Tectosilicates	$[AlSi_3O_8]^{1-}$ , $[Al_2Si_2O_8]^{2-}$ , $[Al_2Si_3O_{10}]^{2-}$ , $[Al_2Si_7O_{18}]^{2-}$ .

### Le cas particulier des silicates

Les silicates sont les principaux constituants des roches éruptives et métamorphiques. A eux seuls ils constituent le 80% de la croûte terrestre. Si on ajoute encore le quartz, il faut porter ce chiffre à 92%.

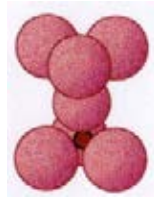
Le groupe anionique  $[SiO_4]$  est constitué d'un petit atome de silicium entouré de quatre gros atomes d'oxygène qui occupent les sommets d'un tétraèdre imaginaire. On l'appelle habituellement le tétraèdre  $SiO_4$ . Ce groupe est très difficile à dissocier. En outre, il possède la particularité de pouvoir constituer des polymères en mettant en commun certains atomes d'oxygène. En d'autres termes, ils peuvent s'associer soit en groupes de 2 tétraèdres, soit en anneaux de 3, 4 ou 6 tétraèdres, soit encore en chaînes de longueur indéfinie, en couches et même en charpentes tridimensionnelles. La classification est donc basée sur le degré de polymérisation des tétraèdres.

### Polymérisation des tétraèdres $\text{SiO}_4$

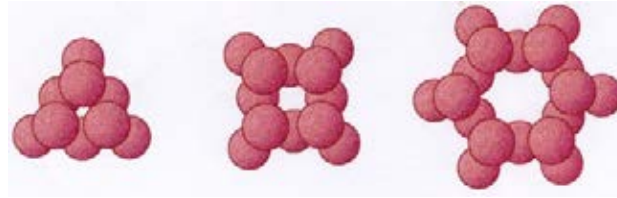
- 1 *nésosilicates* : tétraèdres isolés les uns des autres.
- 2 *sorosilicates* : groupes de 2 tétraèdres.
- 3 *cyclosilicates* : anneaux de 3, 4 ou 6 tétraèdres.
- 4 *inosilicates* : polymérisation en chaînes.
- 5 *phyllosilicates* : polymérisation en couches.
- 6 *tectosilicates* : charpente à 3 dimensions.

Dans les silicates fortement polymérisés (chaînes, couches, charpentes), les atomes de silicium sont souvent partiellement remplacés par l'aluminium. On rencontre alors une certaine proportion de tétraèdres  $[\text{AlO}_4]$  parmi les tétraèdres  $[\text{SiO}_4]$ . On parle alors d'*alumino-silicates*.

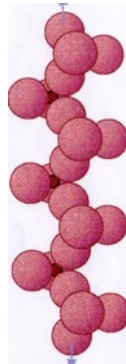
### Polymérisation des tétraèdres $\text{SiO}_4$



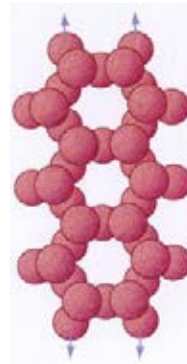
$\text{Si}_2\text{O}_7$   
Deux tétraèdres



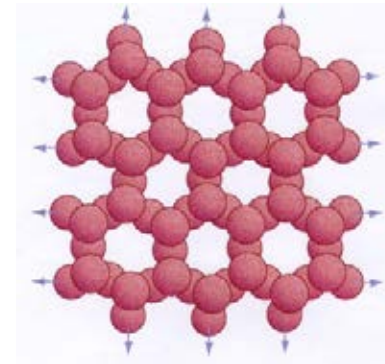
$\text{Si}_3\text{O}_9$        $\text{Si}_4\text{O}_{12}$        $\text{Si}_6\text{O}_{18}$   
Anneaux de trois, quatre ou six tétraèdres



$\text{SiO}_3$   
Chaîne simple



$\text{Si}_4\text{O}_{11}$   
Chaîne double



$\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$  ou  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$   
Tétraèdres polymérisés en couche

## Abondance des minéraux dans la croûte terrestre

Il y a environ entre 3'500 à 4'000 espèces minérales reconnues. Sur ce nombre, on peut estimer que 200 espèces sont relativement fréquentes, 500 espèces occasionnelles et que toutes les autres sont rares ou très rares. On réserve le terme de "*variété*" aux minéraux qui diffèrent de la description habituelle de l'espèce par des propriétés physiques légèrement différentes (couleur, habitus) ou par une composition chimique faiblement modifiée dans le sens d'un remplacement partiel d'un élément par un autre. Citons à nouveau comme exemples, l'améthyste, variété violette de quartz, l'émeraude, variété verte de béryl, l'adulaire, variété d'orthose montrant un habitus particulier, la chialtolite, une variété d'andalousite à inclusions charbonneuses.

Si on examine comment ce nombre d'espèces minérales se répartit dans les diverses classes chimiques, on remarque que ce sont les silicates, les phosphates, les oxydes, les sulfures et les sulfates qui dominent. Ces composés rassemblent à eux seuls près de 80% de la totalité des espèces minérales.

Nombre d'espèces minérales par classes chimiques

<i>silicates</i>	25.8 %	<i>halogénures</i>	5.8
<i>phosphates</i>	18.0	<i>carbonates</i>	4.5
<i>sulfures</i>	13.3	<i>éléments natifs</i>	4.3
<i>oxydes et hydroxydes</i>	12.7	<i>borates</i>	2.9
<i>sulfates</i>	9.4	<i>divers</i>	3.3

Abondance des minéraux dans la nature (par classes)

<i>silicates</i>	79 %	dont 55 % pour les feldspaths
<i>oxydes</i>	17	dont 12.6 % pour le quartz *
<i>carbonates</i>	1.7	
<i>phosphates</i>	0.7	
<i>chlorures et fluorures</i>	0.5	
<i>sulfures et sulfates</i>	0.4	
<i>éléments natifs</i>	0.1	

\*si on classe le quartz parmi les silicates (au lieu des oxydes), ces derniers représentent alors plus de 90% de la croûte terrestre.

Considérée du point de vue de l'abondance des diverses classes dans la nature, la répartition se présente sous un aspect très différent. On remarque que les silicates et le quartz entrent déjà pour plus de 90 % dans la composition de la croûte terrestre et constituent l'essentiel des roches, alors que les composés chimiques tels que les phosphates, les sulfures, les sulfates ou les oxydes n'en constituent qu'une faible fraction. Il faut néanmoins souligner que ce sont précisément ces derniers composés chimiques qui recèlent les richesses minérales dont l'homme a besoin pour faire fonctionner ses industries.

La liste des quelques 300 minéraux qui sont décrits dans les pages suivantes, a été établie dans le but de donner une vue générale de la classification cristallogénique généralement adoptée aujourd'hui. Le choix est évidemment arbitraire. A quelques exceptions près, ces minéraux sont tous exposés dans les galeries publiques du Muséum de Genève. Les schémas de classification, eux-aussi, ont été très simplifiés. Les minéraux les plus importants sont en caractères pleins. Ce sont ceux que tout étudiant en géologie ou tout amateur avisé devrait connaître. D'autres, moins fréquents, sont en italiques. En regard des quelques 4'000 espèces connues, la liste est incomplète et les descriptions sont sommaires. Pour une description plus détaillée, nous renvoyons le lecteur aux nombreux ouvrages de minéralogie descriptive qu'on trouve dans le commerce ainsi qu'aux divers sites qu'on peut trouver sur internet.

## I. Éléments natifs

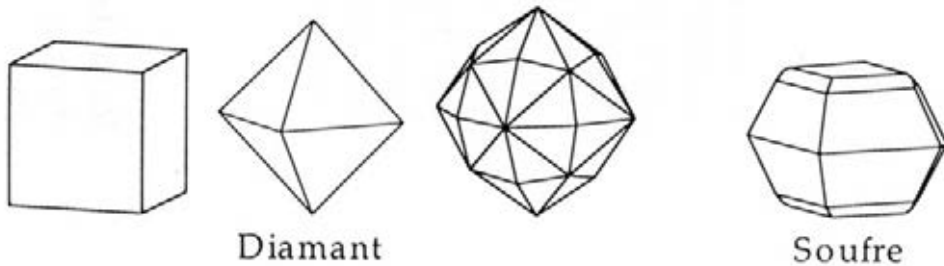
( $\approx$  1% de la croûte terrestre)

Une trentaine d'éléments ont été trouvés à l'état natif dans la croûte terrestre. En plus des gaz de l'atmosphère, on trouve le groupe des métaux nobles : Au, Ag, Pt, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, quelques métaux communs : Hg, Cu, Fe, Pb, ainsi que les semi-métaux As, Sb et Bi. Parmi les non-métaux ou métalloïdes, le carbone et le soufre occupent une place importante. Les métaux nobles ne sont presque jamais purs, mais constituent le plus souvent des cristaux mixtes (Pt-Ir) ou (Au-Ag). Les métaux sont caractérisés par des liaisons métalliques, responsables de leur conductibilité électrique et thermique. Ils sont opaques et présentent un pouvoir réflecteur élevé qui leur confère un éclat métallique. Leur poids spécifique est élevé, leur dureté plutôt faible. On réunit sous le nom de semi-métaux, As, Sb et Bi. Ils sont plutôt rares à l'état natif et ne donnent jamais lieu à des concentrations importantes. Parfois on peut trouver As et Sb en combinaison intermétallique As-Sb.

Métaux		densité	Dur.	Syst.	Description sommaire et type de gisement
Or	Au	16 à 19	2.5	C	Cristaux rares, dendrites, pépites, paillettes. Filons hydrothermaux ou gîtes secondaires dans les alluvions.
Argent	Ag	10 à 11	2.5	C	Grains informes, filaments et dendrites. Blanc métallique, recouvert d'enduit noir. Gîtes hydrothermaux de basse température ou zone d'oxydation des gîtes argentifères.
Cuivre	Cu	8.9	2.5	C	En feuillets ou dendrites brun-rouge. Malléable et ductile. Zone d'oxydation des gisements cuprifères ou inclusions dans des roches éruptives basiques.
Platine	Pt	5 à 21	4.5	C	Paillettes et pépites. Gris-blanc. Alluvions des roches ultra-basiques.
Mercure	Hg	13.6	-		En fines gouttelettes. Produit d'émanations volcaniques.
Plomb	Pb	11.4	1.5	C	Extrêmement rare. Massif, dendrites, feuillets. Gris-blanc, éclat terne.
Fer	Fe	7.3 à 7.8	4 à 5	C	Constituant des météorites. Extrêmement rare dans l'écorce terrestre. En inclusions dans certains basaltes.

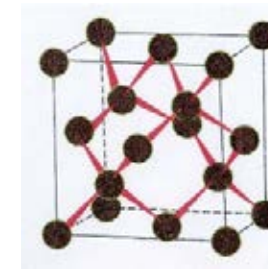
Semi-métaux		densité	Dur.	Syst.	Description sommaire et type de gisement
Arsenic	Sb	5.7	3.5	R	Masse granulaire grisâtre. Blanc métallique à la cassure. Gîtes hydrothermaux basse température.
Antimoine	Sb	6.7	3.5	H	Aspect et conditions de gisement identiques à ceux de l'arsenic.
Bismuth	Bi	9.8	3.5	R	Masse arborescente, feuilletée ou granulaire. Blanc métallique. Gîtes hydrothermaux de basse et de moyenne température.
Tellure	Te	6.2	2.5	H	Extrêmement rare. Gîtes hydrothermaux de basse température.

Non métaux		dens.	Dur.	Syst.	Description sommaire et type de gisement
Diamant	C	3.5	10	C	Octaèdres, cubes, dodécaèdres. Faces courbes. Clivage octaédrique. Minéral accessoire des kimberlites et dans les alluvions qui en dérivent.
Graphite	C	2.2	1	R	Cristaux tabulaires, masse foliacée. Gris acier. Tache les doigts. Roches éruptives et roches métamorphiques de haute température.
Soufre	S	2.1	1 à 2	O	Cristaux tabulaires épais. Masse ou enduit. Jaune, éclat résineux à adamantin. Dépôts sédimentaires.
Soufre $\beta$	S	2	-	M	Très rare. Cristaux fragiles tapissant les parois autour des fumerolles volcaniques.

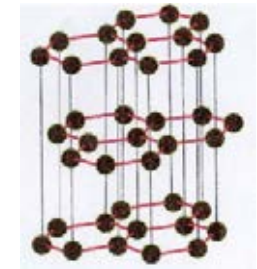


Le diamant et le graphite constituent un bon exemple de polymorphisme. Suivant les conditions régnant au moment de la formation du minéral on aura :

- le diamant dont la formation requiert une pression énorme,
- le graphite, lorsque la pression est moindre.



structure du  
diamant



structure du graphite

Diamant brut, Kimberley, Afrique du Sud  
(photo R. Lavinsky, [www.irocks.com](http://www.irocks.com))



Graphite, provenance inconnue

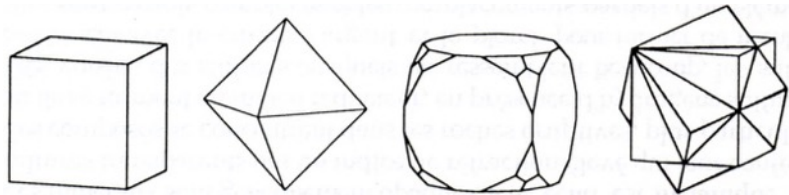
## II. Halogénures

( $\approx 0.5\%$  de la croûte terrestre)

Cette classe comprend les combinaisons de divers métaux avec le chlore ou le fluor, plus rarement avec l'iode ou le brome. A part la fluorine qu'on trouve dans les filons hydrothermaux et la cryolite qui existe dans quelques rares pegmatites, ce sont des évaporites. On les trouve donc dans les roches sédimentaires formées en milieu lagunaire sub-désertique. Ces minéraux sont caractérisés par un poids spécifique faible, une dureté peu élevée, un indice de réfraction très bas et présentent une solubilité souvent notable dans l'eau.

Chlorures	Syst.	dens.	Dur.	Réfr.	Description sommaire et type de gisement
Halite, NaCl	C	2.2	2.5	1.54	Cubes transparents ou masse à éclat terne. Gris, bleuâtre. Saveur salée. Dans les évaporites.
Sylvine, KCl	C	2	2	1.49	Masse informe souvent rubanée. Rougeâtre. Saveur piquante. Dans les évaporites.
Cérargyrite, AgCl	C	5.5	2	2.07	Encroûtements brunâtres à éclat adamantin. Zone d'altération des gîtes d'argent.
Carnallite, $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Q	1.6	2.5	1.48	Massive. Déliquescence dans l'air humide. Gisements fossiles d'évaporites.
Atacamite, $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	O	3.76	3.5	1.8-1.9	Cristaux fibro-radiés vert foncé. Zone d'oxydation des gîtes de cuivre en zone désertique.
Boléite, $\text{Pb}_9\text{Cu}_8\text{Ag}_3\text{Cl}_{21}(\text{OH})_{16} \text{H}_2\text{O}$	Q	5.1	3	2.04	Pseudo-cubes bleus, éclat vitreux. Zone d'oxydation des gîtes Pb, Cu, Ag.

Fluorures	Syst.	dens.	Dur.	Réfr.	Description sommaire et type de gisement
Fluorine, $\text{CaF}_2$	C	3.18	4	1.43	Cubes fréquents, octaèdres et dodécaèdres plus rares, remplissage massif de fissures. Dans les filons hydrothermaux et fissures des roches sédimentaires.
Villiaumite, NaF	C	2.8	2	1.33	Très rare, en cubes, ou masse informe, mauve, rougeâtre. Dans les évaporites riches en Na.
Cryolite, $\text{AlNa}_3\text{F}_6$	M	3.76	2.5	1.34	Généralement en masse blanchâtre à éclat terne, dans quelques rares pegmatites.



Diverses formes de fluorine



Fluorine violette en cubes, Maroc



Fluorine rose en octaèdre, Massif du Mont-Blanc

### III. Sulfures et sulfosels (0.15 % de la croûte terrestre)

On groupe dans cette classe les combinaisons d'éléments métalliques avec le soufre, l'arsenic, l'antimoine, plus rarement avec le sélénium ou le tellure. Les principaux métaux associés à ces anions sont Fe, Zn, Cu, Pb, Ag, Sb, Bi, Co, Ni, Mo et Hg. Bien que ne représentant que 0.15 % de l'écorce terrestre (dont 0.14 % pour la seule pyrite), ce groupe a une très grande importance économique, car c'est à partir des sulfures qu'on extrait la plupart des métaux non ferreux dont nous avons besoin pour nos industries.

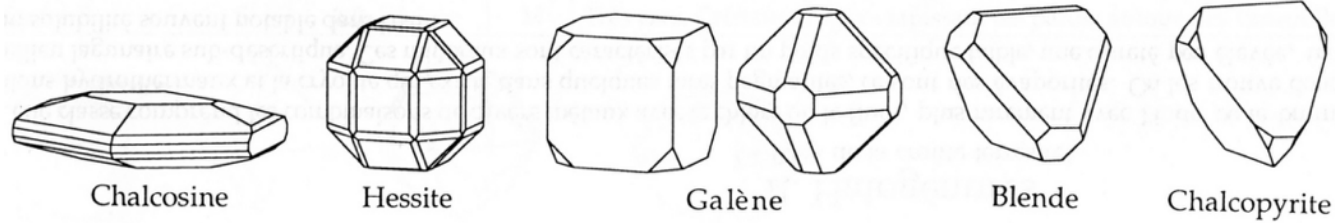
Ces minéraux sont généralement opaques, leur éclat est métallique et ils possèdent un poids spécifique élevé. Ils sont souvent conducteurs de l'électricité. Les rares sulfures transparents ont un indice de réfraction élevé qui leur confère un éclat adamantin.

Ces composés se concentrent dans les roches éruptives, plus particulièrement dans les gisements hydrothermaux. On les trouve parfois dans les roches sédimentaires où ils se forment en milieu réducteur, en présence d'hydrogène sulfuré issu de la décomposition de déchets organiques.

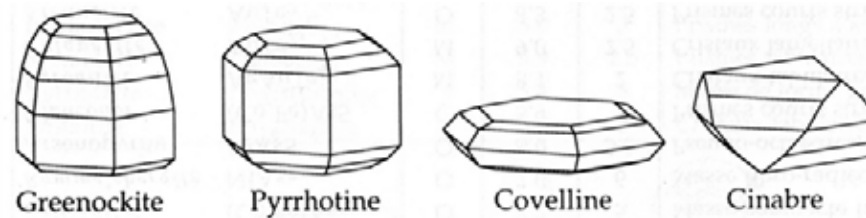
Très voisins des sulfures auxquels ils ressemblent beaucoup, les sulfosels constituent un ensemble complexe au sein duquel le soufre et un semi-métal [As ou Sb] se combinent avec le cuivre, l'argent et le plomb pour former de très nombreux sulfo-arséniures et sulfo-antimoniures. Les formules chimiques ont été idéalisées. En effet elles sont parfois complexes et les remplacements partiels d'un élément par d'autres sont fréquents. Pour les mêmes raisons, le poids spécifique peut s'écarter quelque peu des valeurs mentionnées.

<i>Monosulfures d'éléments monovalents</i>				
	<i>Syst.</i>	<i>Dens.</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire</i>
<i>Dyscrase, Ag<sub>3</sub>Sb</i>	O	9.5	4	<i>Rares cristaux pyramidaux. Masse grenue. Blanc à la cassure, éclat métallique. Se ternit en noir.</i>
<i>Argentite, Ag<sub>2</sub>S</i>	C	7.3	2.5	<i>Cubes, octaèdres, masse compacte malléable grise. Eclat métallique à la cassure. Trait noir.</i>
<i>Hessite, Ag<sub>2</sub>Te</i>	C	8.4	3	<i>Cristaux cubiques à aspect "arrondi", masse compacte ou grenue. Gris-bleu à éclat métallique.</i>
<i>Chalcosine Cu<sub>2</sub>S</i>	O	5.6	2.5	<i>Prisme aplati, masse compacte. Gris noir à reflets bleutés, éclat métallique.</i>
<i>Acanthite Ag<sub>2</sub>S</i>	O	7.2	2.5	<i>Dimorphe basse température de l'argentite. Prismes allongés, concrétions, stalactites. Noir, éclat métallique.</i>

<i>Monosulfures d'éléments divalents</i>				
<i>Galène, PbS</i>	C	7.5	2.5	<i>Cristaux cubiques gris métallique : cube fréquent, octaèdre et dodécaèdre plus rares. Clivage cubique.</i>
<i>Blende, ZnS</i>	C	4	4	<i>Masse ou cristaux tétraédriques jaune-miel à noir ± transparents. Eclat adamantin, trait brun.</i>
<i>Pentlandite, NiS</i>	C	4.8	4	<i>Masse, agrégats grenus. Jaune bronze clair à éclat métallique. Dans les roches éruptives basiques.</i>
<i>Chalcopyrite, CuFeS<sub>2</sub></i>	Q	4.2	3.5	<i>Pseudo-tétraèdres ou masse métallique jaune-verdâtre à éclat métallique. Parfois irisations.</i>



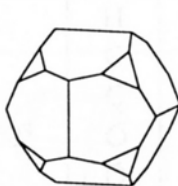
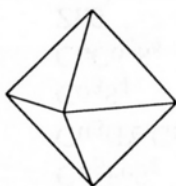
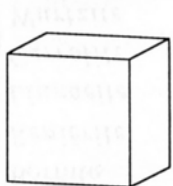
Stannite, $Cu_2FeSnS_4$	Q	4.4	4	Masse grenue compacte. Cristaux rares. Gris acier sombre à reflets verdâtres à la cassure.
Bornite, $Cu_5FeS_4$	Q	5	3	Masse brunâtre, concrétions, avec irisations bleues, rouge-cuivre à la cassure. Trait noir.
Reniérite, $Cu_3(Fe,Ge)S_4$	Q	4.3	4.5	Masse grenue à éclat métallique. Couleur bronze-rougeâtre.
Linnaeïte, $Co_3S_4$	C	4.9	5.5	Cristaux octaédriques ou masses compactes ou granulaires. Gris acier. Ternit en rouge cuivré.
Carrolite, $CuCo_2S_4$	C	4.8	5	Octaèdres, cubes ou massive dans de petits filons. Gris-blanc à éclat métallique.
Wurtzite, $ZnS$	H	4.1	4	Dimorphe de la blende. Se distingue de la blende par son anisotropie visible au microscope.
Greenockite, $CdS$	H	4.9	3-3.5	Cristaux rares. Enduit ou encroûtement pulvérulent. Jaune à brun orangé. Eclat résineux à adamantin.
Pyrrhotine, $FeS$	H	4.8	4	Massive ou cristaux trapus tabulaires, feuillets hexag. Jaune bronze à rougeâtre. Magnétique.
Nickeline, $NiAs$	H	7.2	5.5	Massive, cassure irrégulière. Rares cristaux pyramidaux. Brun-rouge pâle, éclat métallique.
Breithauptite, $NiSb$	H	7.6	5.5	Masse grenue, encroûtements. Couleur de cuivre rouge clair très pâle.
Millerite, $NiS$	H	5.5	3	Très fines aiguilles en touffes flexibles. Gris-jaune avec éclat métallique.
Covelline, $CuS$	H	4.7	1.5	Cristaux tabulaires hexagonaux, en agrégats, masse grenue ou en enduit. Bleu foncé avec irisations.
Cinabre, $HgS$	R	8.1	2.5	Masse ou rares cristaux à éclat adamantin. Très reconnaissable à sa couleur rouge sombre.



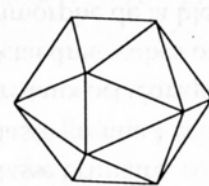
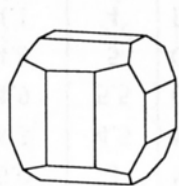


## Disulfures d'éléments divalents

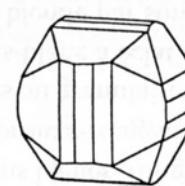
	Syst.	Dens	Dur.	Description sommaire
Pyrite, $\text{FeS}_2$	C	5	6.5	Cube à faces striées, octaèdre et dodécaèdre pentagonal fréquents. Jaune laiton, éclat métallique.
Hauerite, $\text{MnS}_2$	C	3.5	4	Cubo-octaèdre souvent bien formé. Clivage cubique. Noir brunâtre à éclat métallique.
Cobaltine, $\text{CoAsS}$	C	6.3	5.5	Dodécaèdre pentagonal, cube, octaèdre ou masse grenue. Blanc argent à reflets rosés. Eclat métallique.
Skutterudite, $(\text{Co,Ni})\text{As}_3$	C	6.7	6	Cubo-octaèdres, octaèdres ou masse grenue. Blanc d'étain, éclat métallique.
Smaltine, $(\text{Co,Ni})\text{As}_{2-3}$	C	6.5	5.5	Variété de skutterudite à déficit d'arsenic. Aspect identique.
Chloanthite, $(\text{Ni,Co})\text{As}_3$	C	6.5	5.5	Variété nickélique de skutterudite.
Gersdorffite, $\text{NiAsS}$	C	5.8	5.5	Masse lamellaire ou grenue, rares cristaux. Gris acier à blanc, altération verdâtre, éclat métallique.
Marcassite, $\text{FeS}_2$	O	4.9	6.5	Cristaux trapus tabulaires, parfois prismatiques, masse fibro-radiée. Jaune laiton pâle.
Löllingite, $\text{FeAs}_2$	O	7.2	5.5	Agrégat fibro-radié, masse grenue, cristaux rares. Gris à blanc, éclat métallique.
Safflorite, $(\text{Co,Fe})\text{As}_2$	O	7.2	5	Masse compacte fibreuse ou lamellaire. Cristaux prismatiques rares. Blanc d'étain, éclat métallique.
Rammelsbergite, $\text{NiAs}_2$	O	7	6	Masse fibro-radiée ou grenue. Blanc d'étain à reflets roses, éclat métallique.
Arsenopyrite, $\text{FeAsS}$	O	6	5.5	Pseudo-octaèdres, prismes à sections losangiques. Faces courbes. Gris acier, éclat métallique
Glaucodot, $(\text{Co,Fe})\text{AsS}$	C	5.9	5	Prismes courts striés, masse compacte. Gris-blanc à rougeâtre. Eclat métallique.
Sylvanite, $\text{AgAuTe}_4$	M	8.1	2	Cristaux tabulaires épais. Masse grenue ou lamellaire. Blanc argent à jaunâtre. Eclat métallique.
Calavérite, $\text{AuTe}_2$	M	9	2.5	Cristaux lamellaires ou prismes striés, masse granulaire. Jaune bronze à blanc. Eclat métallique.
Krennérite, $\text{AuTe}_2$	O	8.3	2.5	Prismes courts striés verticalement. Blanc argent à jaunâtre.
Molybdénite, $\text{MoS}_2$	H	4.8	1	Cristaux tabulaires hexagonaux, lamelles flexibles. Clivage parfait. Gris de plomb. Trait gris sur papier.



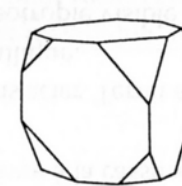
Pyrite



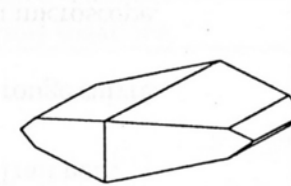
Hauerite



Cobaltine



Skutterudite



marcassite

<i>Sulfures de semi-métaux</i>	<i>Syst.</i>	<i>Dens.</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire</i>
<i>Stibine, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub></i>	O	4.6	2	<i>Prismes allongés à aciculaires, souvent striés. Gris à éclat métallique, brillant.</i>
<i>Berthierite, FeSb<sub>3</sub>S<sub>4</sub></i>	O	4	2.5	<i>Prismes striés verticalement, mouchets fibro-radiés, masse fibreuse. Gris foncé, éclat métallique.</i>
<i>Bismuthinite, Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub></i>	O	6.5	2	<i>Agrégats lamellaires, masse clivable. Gris de plomb à blanc, éclat métallique, reflets jaunâtres.</i>
<i>Orpiment, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub></i>	M	3.5	2	<i>Prismes courts ou masse foliacée. Jaune orangé vif. Eclat résineux.</i>
<i>Réalgar, AsS</i>	M	3.5	2	<i>Prismes courts ou masse compacte. Rouge foncé à orangé. Eclat résineux à adamantin. S'altère à la lumière.</i>

### *Sulfosels : sulfoarséniures et sulfoantimoniures*

<i>Cuivres gris</i>	<i>Syst.</i>	<i>Dens.</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire</i>
<i>Tennantite, Cu<sub>12</sub>As<sub>4</sub>S<sub>13</sub></i>	C	4.5	3-4	<i>Isomorphe de la tétraédrite. Tétraèdre ou masse compacte. Gris acier à éclat métallique.</i>
<i>Tétraédrite, Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub></i>	C	5.1	3-4	<i>Isomorphe de la tennantite. Caractères identiques.</i>
<i>Enargite, Cu<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub></i>	O	4.4	3	<i>Masse lamellaire ou cristaux pyramidaux striés. Noir à gris acier. Eclat métallique à la cassure.</i>

<i>Argents rouges et noirs</i>	<i>Syst.</i>	<i>Dens.</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire</i>
<i>Proustite, Ag<sub>3</sub>AsS<sub>3</sub></i>	R	5.6	2	<i>Prismes, scalénoèdre ou masse compacte. Rouge sombre, éclat adamantin. Ternit en surface.</i>
<i>Pyrargyrite, Ag<sub>3</sub>SbS<sub>3</sub></i>	R	5.8	2	<i>Cristaux prismatiques, scalénoèdre, masse compacte. Rouge sombre, éclat adamantin.</i>
<i>Stéphanite, Ag<sub>5</sub>SbS<sub>4</sub></i>	R	6	2	<i>Prismes courts à tabulaires, avec stries obliques. Noir acier, éclat métallique.</i>
<i>Polybasite, Ag<sub>16</sub>Sb<sub>2</sub>S<sub>11</sub></i>	M	6.2	2	<i>Cristaux tabulaires pseudo-hexagonaux avec stries entrecroisées, masse compacte. Noir acier à rougeâtre.</i>



*Stibine, Chine*



*Orpiment, Chine*

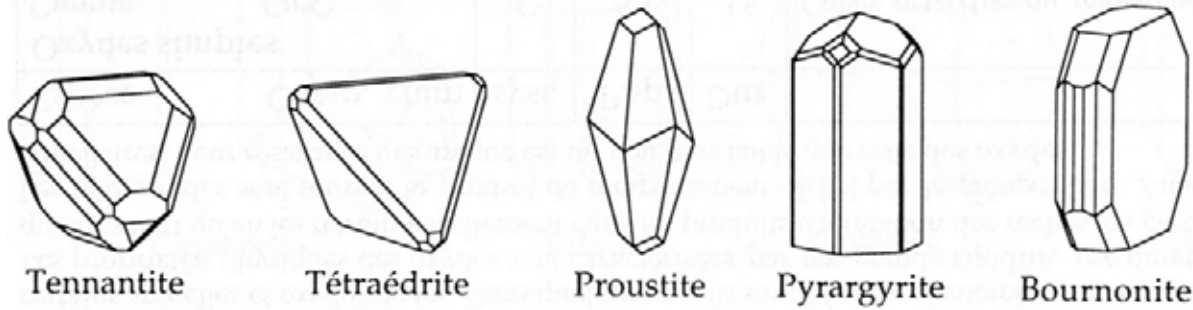


*Réalgar, Chine*



*Tétraédrite, La Mure, Isère - France*

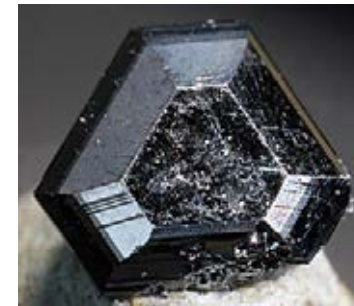
<i>Plombs complexes</i>	<i>Syst.</i>	<i>Dens.</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire et type de gisement</i>
<i>Bournonite, <math>CuPbSbS_3</math></i>	<i>O</i>	<i>5.8</i>	<i>2.5</i>	<i>Prismes trapus ou tabulaires, striés, masse granulaire. Gris acier à noir, éclat métallique.</i>
<i>Jamesonite, <math>Pb_4FeSb_6S_{14}</math></i>	<i>M</i>	<i>5.7</i>	<i>2.5</i>	<i>Cristaux aciculaires striés verticalement, agrégat massif ou fibreux. Gris-noir, éclat métallique.</i>
<i>Boulangérite, <math>Pb_5Sb_4S_{11}</math></i>	<i>M</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>Prismes longs à aciculaires striés vertical., masse fibreuse. Gris de plomb à bleuâtre, éclat métallique.</i>
<i>Semseyite, <math>Pb_9Sb_8S_{21}</math></i>	<i>M</i>	<i>5.9</i>	<i>2.5</i>	<i>Prismes tabulaires parfois tordus. Gris de plomb à noir, éclat métallique.</i>
<i>Cylindrite, <math>Pb_3Sn_4Sb_2S_{14}</math></i>	<i>T</i>	<i>5.4</i>	<i>3</i>	<i>Masse de forme grossièrement cylindrique, rognons ou agrégats. Gris-noir, éclat métallique.</i>
<i>Jordanite, <math>Pb_{14}As_6S_{23}</math></i>	<i>M</i>	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>Cristaux tabulaires pseudo-hexagonaux. Gris de plomb avec irisations. Eclat métallique.</i>



*Bournonite, Bolivie*



*Boulangérite, La Mure, France*



*Jordanite, Legenbach, suisse (photo J.Burow)*

## IV. Oxydes et hydroxydes

( $\approx 17\%$  de la croûte terrestre, dont  $12.5\%$  pour le quartz)

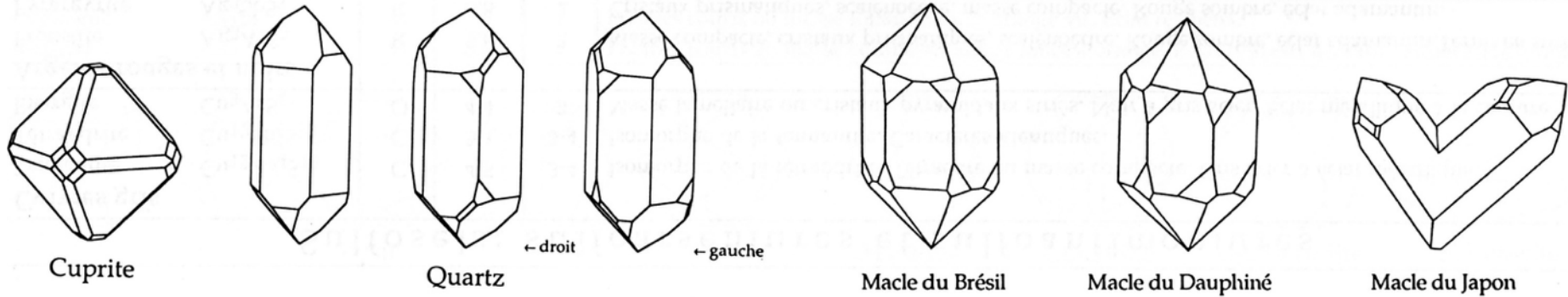
Cette classe comprend les composés des métaux - et de quelques métalloïdes - avec l'oxygène ou avec le groupe hydroxyle [OH]. Une quarantaine d'éléments peuvent former avec l'oxygène des composés simples. Les principaux composés naturels décrits ici concernent les éléments H, Be, Mg, Al, Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Sn, Nb, Ta, Th et U. La majeure partie des oxydes et hydroxydes se forme dans la partie superficielle de l'écorce terrestre, dans la zone d'influence de l'atmosphère et des eaux de circulation. Certains trouvent leur origine dans les processus endogènes (magmatiques, pegmatitiques et hydrothermaux) comme le quartz, la cassitérite, le rutile, certains spinelles et oxydes de fer. Dans quelques cas ils sont liés aux phénomènes de métamorphisme : corindon, spinelle.

Les propriétés physiques des oxydes sont caractérisées par une grande rigidité, une dureté élevée, une grande stabilité chimique et un point de fusion élevé. Ces qualités font qu'on les retrouve facilement dans les produits d'altération des roches, en particulier comme minéraux lourds dans les alluvions.

Les hydroxydes sont souvent le produit du remplacement de l'oxygène par le groupe [OH]. Ainsi  $MgO \Rightarrow Mg(OH)_2$  et  $Al_2O_3 \Rightarrow 2Al(OH)_3$ . Ces minéraux sont souvent lamellaires. Leur résistance mécanique est un peu plus faible que celle des oxydes.

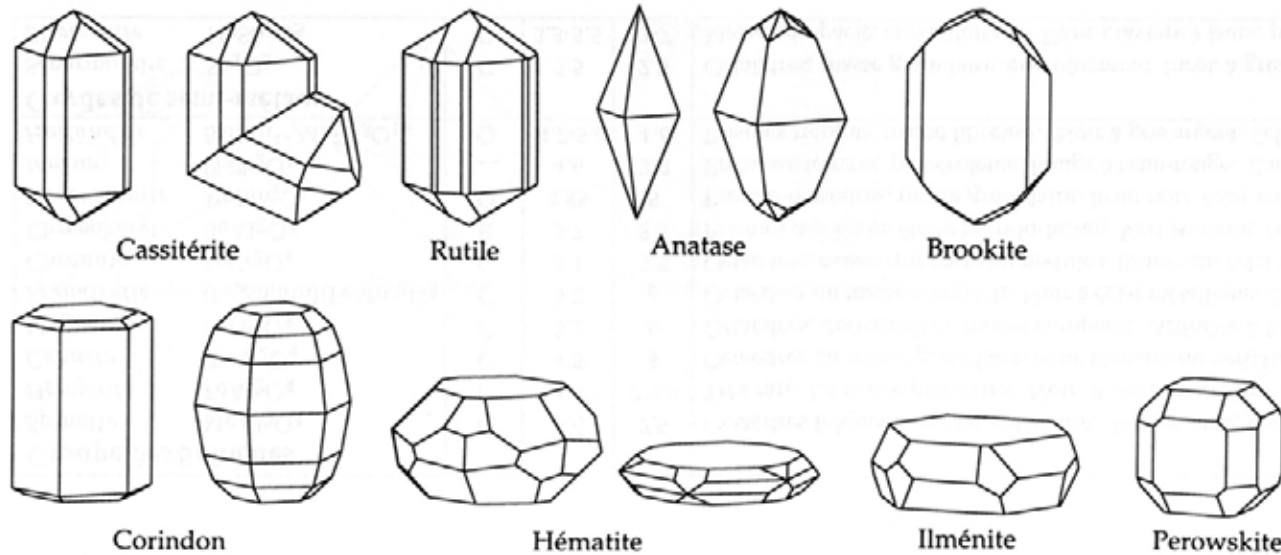
Oxydes	Syst.	Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Cuprite, $Cu_2O$	C	5.9	3.5	Cubes, octaèdres ou masse compacte. Rouge à brun, éclat adamantin. Zone d'altération des gîtes de cuivre.
Chalcotrichite, $Cu_2O$	-	-	-	Variété capillaire de cuprite.
Glace, $H_2O$	H	0.92	1.5	Constituant de la neige et des glaciers.
Périclase, $MgO$	C	3.58	5.5	Octaèdres, cubes ou grains arrondis. Transparent, incolore, éclat vitreux. Dans certains marbres.
Zincite, $ZnO$	H	5.7	4.5	Pyramides souvent corrodées, masse aplatie. Rouge orangé, éclat adamantin. Zone d'oxydation des gîtes de zinc.
Ténorite, $CuO$	T	6.5	3-4	Cristaux minces striés ou masse compacte. Gris à noir, éclat métallique. Zones d'oxydation des gîtes de cuivre.

Groupe du quartz	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Quartz, $SiO_2$	R	2.65	7	Prismes et rhomboèdres caractéristiques. Massif dans filons. Transparent, incolore, éclat vitreux.
Tridymite, $SiO_2$	R	2.3	6.5	Cristaux hexagonaux tabulaires très petits dans les cavités de certaines laves riches en silice.
Cristobalite, $SiO_2$	Q	2.27	6.5	Cristaux octaédriques très petits, sphérules. Dans les cavités de certaines laves riches en silice.



Oxydes tétravalents	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Cassitérite, $\text{SnO}_2$	Q	6.9	7	Prismes courts et pyramides, grains informés. Macle en bec d'étain. Brun à noir. Éclat adamantin.
Rutile, $\text{TiO}_2$	Q	4.2	6.5	Prismes courts maclés. Réseau hexagonal d'aiguilles. Noir à rouge, éclat "rutilant".
Pyrolusite, $\text{MnO}_2$	Q	8.5	2	Prismes rares. Concrétions, stalactites, dendrites. Noir opaque, éclat terne. Tache les doigts.
Anatase, $\text{TiO}_2$	R	3.9	5-6	Prismes et pyramides pseudo-quadratiques. Gris-bleu, brun-jaunâtre. Éclat adamantin. Roches métamorphiques.
Brookite, $\text{TiO}_2$	R	4.9	5-6	Cristaux tabulaires striés. Brun clair, éclat adamantin. Roches métamorphiques.
Uraninite, $\text{UO}_2$	C	10.9	5.5	Cubes, octaèdres, masse informe. Gris à noir. Opaque, éclat métallique. Pegmatites et filons hydrothermaux.
Thorianite, $\text{ThO}_2$	C	5.3	5	Cubes et octaèdres, grains informés. Gris à noir, éclat métallique. Pegmatites.

Sesquioxydes	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Corindon, $\text{Al}_2\text{O}_3$	R	4	9	Prismes à faces rugueuses. Incolore, bleu (saphir), rouge (rubis). Dureté très élevée. Dans les roches métamorphiques.
Hématite, $\text{Fe}_2\text{O}_3$	R	5.2	6	Cristaux tabulaires (roses de fer), rognons, masse. Gris à brun. Éclat métallique. Trait rouge-brun.
Ilménite, $\text{FeTiO}_3$	R	4.5	5.5	Cristaux tabulaires épais. Masse lamellaire. Noir, éclat métallique. Roches éruptives et métamorphiques.
Braunite, $(\text{Mn},\text{Si})_2\text{O}_2$	Q	4.8	6	Cristaux pyramidaux striés, masse granulaire. Gris acier à noir. Zone d'oxydation des gîtes de Mn.
Bixbyite, $(\text{Mn},\text{Fe})_2\text{O}_3$	C	4.95	6.5	Cubes. Noir, éclat métallique. Dans certaines roches éruptives riches en silice.
Perovskite, $\text{CaTiO}_3$	R	4	5.5	Pseudo-cubes striés. Brun foncé à noir. Éclat métallique. Roches éruptives et métamorphiques.

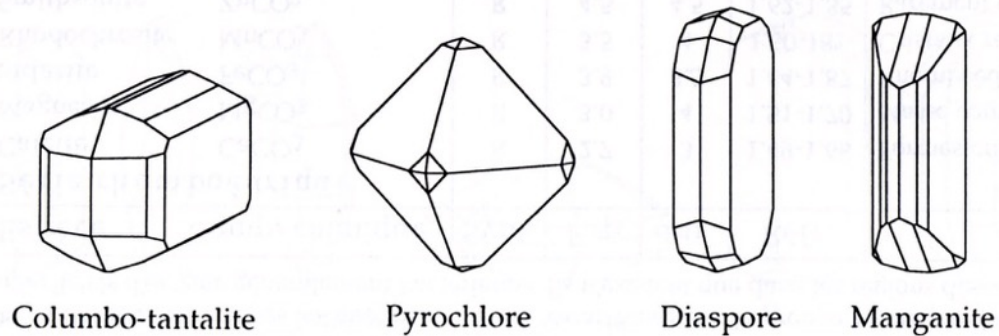


Groupe des Spinelles	Syst.	Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Spinnelle, $MgAl_2O_4$	C	3.6	8	Octaèdres fréquents, masse granulaire. Rouge, bleu, vert. Transparent, éclat vitreux. Dans les roches métamorphiques.
Hercynite, $FeAl_2O_4$	C	4.3	7.5-8	Très rare. En masse granulaire. Noir. Avec le corindon dans les roches de métamorphisme intense.
Gahnite, $ZnAl_2O_4$	C	4.5	8	Octaèdres ou masse granulaire. Noir bleuâtre ou verdâtre. Eclat vitreux à gras. Pegmatites et roches métamorphiques.
Magnétite, $FeFe_2O_4$	C	5.2	6	Octaèdres, dodécaèdres, masse compacte. Attirable à l'aimant. Noir à éclat métallique. Roches éruptives.
Franklinite, $(Fe,Zn,Mn)(Fe,Mn)_2O_4$	C	5.2	6	Octaèdres ou masse compacte. Noir à éclat métallique. Zone d'oxydation des gîtes de Zn et Mn.
Chromite, $FeCr_2O_4$	C	5.1	5.5	Octaèdres, masse compacte ou nodules. Brun-noir, éclat métallique. Dans les roches éruptives basiques.
Chrysobéryl, $BeAl_2O_4$	O	3.7	8.5	Prismes maclés en étoile pseudo-hexagonale. Vert jaunâtre, éclat vitreux. Pegmatites et roches métamorphiques.
Hausmannite, $MnMn_2O_4$	Q	4.85	5	Pseudo-octaèdres, masse granulaire. Brun-noir, éclat sub-métallique. Filons hydrothermaux de haute température.
Minium, $PbPb_2O_4$	-	4.6	2-3	En masse terreuse pulvérulente. Rouge à brun-rouge. Zone d'oxydation des gîtes de plomb.
Hollandite, $Ba(Mn^{4+},Mn^{2+})_8O_{16}$	Q	4.7-5.0	4-6	Prismes trapus, masse fibreuse. Noir à gris argent, éclat métallique. Zone d'altération des gîtes de Mn.



<i>Oxydes de semi-métaux</i>	Syst.	Dens.	Dur.	<i>Description sommaire et type de gisement</i>
Sénarmontite, $Sb_2O_3$	C	5.5	2.5	Octaèdres, masse granulaire, encroûtement. Incolore à gris blanc. Éclat résineux. Produit d'altération de la stibine.
Stibiconite, $H_2Sb_2O_5$	C	3.3-5.5	3-7	Masse compacte, encroûtement. Blanc à jaune pâle. Produit d'altération de la stibine.

<i>Groupe de la Columbo-tantalite</i>				
Columbite, $(Fe,Mn)Nb_2O_6$	R	5.2	6	Constituent des cristaux mixtes. Cristaux tabulaires épais. Brun à noir, opaque, éclat submétallique. La densité augmente proportionnellement avec la teneur en $Ta_2O_6$ . Dans les pegmatites et les filons hydrothermaux de haute température.
Tantalite, $(Fe,Mn)Ta_2O_6$	R	8.2	6.5	
Pyrochlore, $(Na,Ca)_2Nb_2O_6(OH,F)$	C	4.4	5.5	Octaèdres ou grains informes. Jaune-brun, éclat résineux. Carbonatites et pegmatites.
Microlite, $(Ca,Na,Fe)_2(Nb,Ta)_2O_6(OH,F)$	C	5.5	5.5	Octaèdres ou grains informes. Jaune pâle à brun, éclat résineux. Dans les pegmatites.
Samarskite, $(Fe,Y,U)_2(Nb,Ta)_2O_6(OH,F)$	R	5.7	5-6	Prismes à section rectangulaire, masse compacte. Noir brunâtre, éclat résineux. Pegmatites.



<i>Hydroxydes</i>	<i>Syst.</i>	<i>Dens.</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire et type de gisement</i>
<i>Diaspore, AlO(OH)</i>	<i>R</i>	<i>3.5</i>	<i>6.5</i>	<i>Rares prismes transparents, striés. Masse feuilletée. Jaune verdâtre. Eclat vitreux à résineux.</i>
<i>Goethite, FeO(OH)</i>	<i>R</i>	<i>4.4</i>	<i>5</i>	<i>Prismes striés, masse fibroradiée, concrétions. Brun-noir, éclat adamantin à terreux. Zone d'altération superficielle.</i>
<i>Manganite, MnO(OH)</i>	<i>R</i>	<i>4.3</i>	<i>4</i>	<i>Prismes striés verticalement, concrétions. Noir, éclat métallique à terreux. Filons hydrothermaux de basses température.</i>
<i>Limonite, hydroxydes de fer</i>	<i>-</i>	<i>3.8</i>	<i>5</i>	<i>Mélange de divers hydroxydes de fer. Brun jaune, pulvérulent. Produit d'altération.</i>
<i>Brucite, Mg(OH)<sub>2</sub></i>	<i>R</i>	<i>2.3</i>	<i>2.5</i>	<i>Cristaux tabulaires, en feuillets. Blanc à vert pâle. Transparent à éclat résineux. Roches de faible métamorphisme.</i>
<i>Gibbsite, Al(OH)<sub>3</sub></i>	<i>M</i>	<i>2.5</i>	<i>3</i>	<i>Cristaux tabulaires pseudo hexagonaux. Masse à aspect opalin, encroûtement. Blanc à verdâtre, éclat vitreux.</i>
<i>Romanéchite, BaMn<sup>2+</sup>Mn<sup>4+</sup><sub>8</sub>O<sub>16</sub>(OH)</i>	<i>M</i>	<i>6.4</i>	<i>5-6</i>	<i>Masse compacte, concrétions, stalactites. Noir, éclat submétallique à terreux. Zone d'altération des gîtes de Mn.</i>
<i>Psilomélane</i>	<i>Terme général qui désigne les oxydes de manganèse massifs : romanéchite, cryptomélane.</i>			



*Diaspore, Turquie*



*Goethite (photo Barry Marsh)*



*Manganite, Harz, Allemagne*

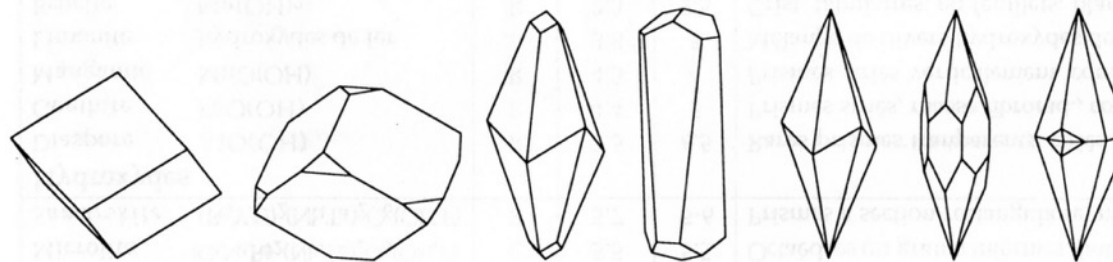


## V. Carbonates

( $\approx 1.7\%$  de la croûte terrestre)

Cette classe comporte les combinaisons d'un petit nombre d'éléments métalliques avec le groupe anionique  $[\text{CO}_3]^{2-}$ . Ce sont des cations bivalents de moyens et grands rayons ioniques : Mg, Fe, Zn, Ca, Mn, Sr, Pb, et Ba. Le cuivre participe également à cette classe, mais toujours accompagné de l'anion  $[\text{OH}]^{-1}$ . Le zinc apparaît dans les mêmes conditions. On trouve les carbonates dans les roches sédimentaires, dans les roches métamorphiques qui en dérivent et dans les filons hydrothermaux où ils constituent souvent la gangue des minerais métalliques. Ces minéraux sont caractérisés par une dureté assez faible, une solubilité notable vis à vis de l'eau et une très forte biréfringence. Ils sont assez facilement solubles dans les acides avec un dégagement gazeux effervescent de  $\text{CO}_2$ . On associe aux carbonates les quelques nitrates, caractérisés par le groupe anionique  $[\text{NO}_3]^{-1}$ . L'azote est d'origine atmosphérique. Les nitrates sont donc des dépôts superficiels d'origine généralement bactérienne. Ils n'existent que dans les régions désertiques chaudes.

Série rhomboédrique	Syst.	dens.	Dur.	Réfr.	Description sommaire et type de gisement
Calcite, $\text{CaCO}_3$	R	2.7	3	1.49-1.66	Formes cristallines très variées, clivage rhomboédrique. Effervescence à froid avec HCl.
Magnésite, $\text{MgCO}_3$	R	3	4	1.51-1.70	Masse compacte blanche. Effervescence à chaud avec HCl.
Sidérite, $\text{FeCO}_3$	R	3.9	3.5	1.64-1.87	Rhomboèdres gris à brun foncé. Dans les filons hydrothermaux.
Rhodochrosite, $\text{MnCO}_3$	R	3.5	4	1.60-1.81	Cristaux rares, encroûtements. Rose à violet. Filons hydrothermaux et zone d'altération superficielle.
Smithsonite, $\text{ZnCO}_3$	R	4.5	4.5	1.62-1.85	Rarement cristallisée, en croûtes jaune-brunâtre. Zone d'altération des gîtes de zinc.
Sphérocobaltine, $\text{CoCO}_3$	R	4.1	4	1.60-1.85	Très rare. En rognons rose vif à bleu-noir. Zone d'oxydation des gîtes de cobalt.
Dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	R	2.9	4	1.50-1.68	Rhomboèdres fréquents. Incolore à gris. Effervescence à chaud avec HCl.
Ankérinite, $\text{Ca}(\text{Fe,Mg})(\text{CO}_3)_2$	R	3	4	1.53-1.72	Ressemble à la dolomite. Conditions de gisement identiques, dans les zones riches en fer.



Formes générales des carbonates rhomboédriques

Série orthorhombique	Syst.	dens	Dur.	Réfr.	Description sommaire et type de gisement
Aragonite, $\text{CaCO}_3$	O	2.9	3.5	1.53-1.68	Souvent en prismes rhombiques mâclés en pseudo-prisme hexagonal. Blanc à brunâtre.
Strontianite, $\text{SrCO}_3$	O	3.7	5	1.52-1.67	Cristaux aciculaires rares, teinte variable. En concrétions dans des géodes et dans des roches sédimentaires.
Whitérinite, $\text{BaCO}_3$	O	4.3	3.5	1.53-1.68	Cristaux pseudo-hexagonaux, faces rugueuses. Filons hydrothermaux de basse température.
Cérusite, $\text{PbCO}_3$	O	6.5	3	1.87-2.08	Cristaux blancs ou incolores, éclat adamantin. Macles fréquentes en réseau triangulaire.
Phosgénite, $\text{Pb}_2\text{CO}_3\text{Cl}_2$	Q	6.1	2-3	2.12-2.14	Prismes courts. Blanc à brunâtre, éclat adamantin. Zone d'altération des gîtes de plomb.

Nitrates	Syst.	dens	Dur.	Réfr.	Description sommaire et type de gisement
Nitratine, $\text{NaNO}_3$	R	2.2	1.5	1.34-1.58	Cristaux rares. Masse blanchâtre ou efflorescences. Soluble dans l'eau. Régions arides.
Salpêtre, $\text{KNO}_3$	O	2	2	1.33-1.50	Efflorescences blanchâtres dans les régions arides. En relation avec une activité bactérienne.

Carbonates basiques	Syst.	dens	Dur.	Réfr.	Description sommaire et type de gisement
Malachite, $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	M	4	4	1.65-1.91	Cristaux rares. Encroûtements mamelonnés verts. Zone d'oxydation des gîtes de cuivre.
Azurite, $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	M	3.9	3.5	1.73-1.83	Cristaux prismatiques aplatis, bleu foncé brillant. Zone d'altération des gîtes de cuivre.
Hydrozincite, $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$	M	3.7	2.5	1.64-1.75	Masse concrétionnée incolore à éclat terreux ou nacré. Zone d'altération des gîtes de zinc.
Aurichalcite, $(\text{Cu,Zn})_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})$	M	3.6	2	1.66-1.75	Prismes aciculaires en touffes bleu-clair. Zone d'altération des gîtes de cuivre et de zinc.
Natron, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	M	1.4	1.5	1.41-1.44	Dans les évaporites, autour de lacs riches en Na. Efflorescences. Soluble dans l'eau.



Aragonite, Maroc



Strontianite, Illinois USA



Cérusite, Vicentin, Italie



Malachite, Shaba, Congo

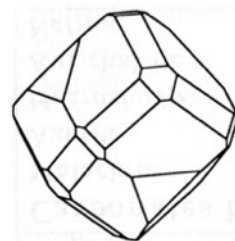


Azurite, Chine

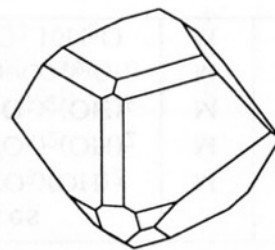
## VI. Borates

Ils ne constituent qu'une infime partie de la croûte terrestre. On les rencontre dans les dépôts dus à l'évaporation de lacs salés, auprès de certaines sources chaudes et autour des dépôts fumeroliens des volcans. Ils sont caractérisés par les groupes anioniques  $[BO_3]^{3-}$  ou  $[BO_4]^{5-}$ , souvent liés entre eux, formant des structures en chaînes ou en feuillets. Ils forment des minéraux généralement blancs. Leur indice de réfraction peu élevé leur confère un éclat vitreux et leur dureté est faible.

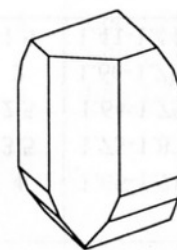
	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire
Boracite, $Mg_3B_7O_{13}Cl$	O	2.9	7	Pseudo-odécaèdres. Incolore à grisâtre. Eclat vitreux.
Colemanite, $Ca_2B_6O_{11}15H_2O$	M	2.4	4.5	Beaux cristaux lenticulaires. Incolore à blanc. Translucide à transparent, éclat vitreux.
Tincalconite, $Na_2B_4O_5(OH)_4.3H_2O$	H	1.9	--	Produit d'hydratation ou de déshydratation sous forme d'enduits blancs sur d'autre borates.
Borax, $Na_2B_4O_6(OH)_2.3H_2O$	M	1.7	2.5	Cristaux massifs, tabulaires, lits massifs ou efflorescences autour des sources chaudes.
Kernite, $Na_2B_4O_6(OH)_2.3H_2O$	M	1.91	2.5	Masse clivable avec structure fibreuse. Incolore et transparent à aspect soyeux. Souvent recouvert d'un enduit blanc opaque de tincalconite.
Ulexite, $NaCaB_5O_6(OH)_6.5H_2O$	M	1.65	1	Masse noduleuse, cotonneuse ou veines avec cristaux aciculaires très fins. Aspect parfois soyeux.
Inderite, $Mg_2B_6O_{11}(OH)_5.5H_2O$	M	1.77	2.5	Longs cristaux prismatiques à section rectangulaire. Incolore à blanc. Eclat vitreux.
Kurnakovite, $Mg_2B_6O_{11}(OH)_5.5H_2O$	T	1.77	3	Grands cristaux ou masse clivable. Incolore mais recouvert d'un enduit blanc.



Boracite



Colemanite



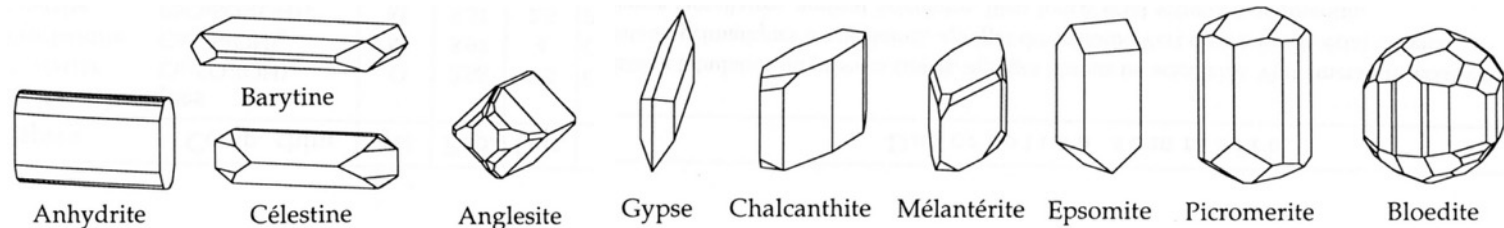
Borax

## VII. Sulfates

( $\approx 0.2\%$  de la croûte terrestre)

Ici le soufre ne se trouve plus comme anion, mais il constitue, en qualité de cation  $S^{6+}$ , un groupe anionique avec 4 atomes d'oxygène :  $[SO_4]^{2-}$ . Cette combinaison n'existe qu'en milieu oxydant et c'est donc près de la surface de la croûte terrestre qu'on trouve les sulfates, dans la zone oxydée des gisements métalliques ou dans les filons hydrothermaux. Ce groupe anionique est de grande taille et ne peut former de composés stables qu'avec des cations eux aussi de grande taille : Ba, Sr, Pb, par exemple. Les cations plus petits ne peuvent entrer dans des combinaisons sulfatées que si elles sont hydratées. On place aussi dans cette classe les quelques rares tellurates  $[TeO_3]^{2-}$  et sélénates  $[SeO_3]^{2-}$ . Les propriétés physiques des minéraux sont marquées par une dureté faible, une biréfringence beaucoup moins élevée que celle des carbonates. Certains sont facilement solubles dans l'eau. A l'exception de la barytine et de la célestine qui forment souvent la gangue de certains filons hydrothermaux, on rencontre les sulfates dans les roches sédimentaires d'origine lagunaire et dans la zone d'oxydation des gisements métallifères.

Sulfates anhydres	Syst.	Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Anhydrite, $CaSO_4$	O	2.9	3	Généralement massive. Cristaux tabulaires rares. Incolore, blanc, rose, mauve.
Barytine, $BaSO_4$	O	4.5	3	Prismes aplatis, souvent associés en feuillets épais. Incolore, blanc ou brunâtre. Eclat vitreux.
Célestine, $SrSO_4$	O	3.9	3.5	Cristaux prismatiques ou tabulaires. Incolore à blanc. Eclat vitreux. Parfois en veines fibreuses.
Anglésite, $PbSO_4$	O	6.3	3	Prismes tabulaires. Incolore à blanc ou jaunâtre. Eclat résineux à adamantin. Zone d'oxydation des gîtes de Pb.



Barytine Saint Laurent le Minier, France



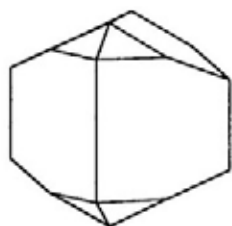
Célestine, Madagascar



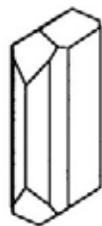
Anglésite, Touissit, Maroc

<i>Sulfates hydratés</i>	<i>Syst.</i>	<i>Dens</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire et type de gisement</i>
Gypse, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	M	2.3	1.5	<i>Cristaux tabulaires incolores, transparents. Macle en "fer de lance". Aussi en masse blanche, parfois habitus fibreux à éclat nacré. En feuillets jaune-brun dits "rose des sables".</i>
Chalcanthite, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	T	2.2	2.5	<i>Beaux cristaux bleus foncés, solubles dans l'eau. Zone d'altération des gîtes de cuivre en régions désertiques.</i>
Mélanterite, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	M	1.9	2	<i>Croûtes, efflorescences, cristaux rares. Vert pâle à vert-bleu. Translucide. Produit d'altération de la pyrite.</i>
Epsomite, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	O	1.75	2.5	<i>Croûtes, efflorescences, stalactites. Blanc à rose. Translucide, éclat vitreux. Autour des sources thermales.</i>
Picromerite, $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	M	2	2.5	<i>Croûte ou masse blanchâtre, rares cristaux trapus. Incolore, éclat vitreux. Goût amer.</i>
Leonite, $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	M	2.2	2.5	<i>Cristaux tabulaires allongés. Incolore à jaunâtre, transparent à éclat vitreux. Saveur amère.</i>
Bloedite, $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	M	2.3	2.5	<i>Cristaux prismatiques courts, riches en formes variées, masse compacte. Transparent. Saveur salée.</i>

	<i>Syst.</i>	<i>Dens.</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire</i>
Antlérite, $\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$	O	3.88	3.5	<i>Cristaux tabulaires ou prismes courts, agrégats fibreux ou aciculaires. Vert émeraude, éclat vitreux.</i>
Brochantite, $\text{CuSO}_4(\text{OH})_6$	M	3.97	4	<i>Cristaux prismatiques à aciculaires, agrégat de cristaux. Vert clair à foncé, éclat vitreux.</i>
Linarite, $\text{PbCuSO}_4(\text{OH})_2$	M	5.31	2.5	<i>Prismes lamellaires, agrégat aciculaire. Bleu foncé, éclat vitreux à adamantin.</i>
Jarosite, $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	R	3.1	3	<i>Cristaux très petits, tabulaires ou pseudo-cubiques, masse fibreuse. Jaunâtre à brun. Eclat résineux.</i>
Alunite, $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	R	2.7	3.5	<i>Cristaux pseudo-cubiques, parfois tabulaires, masses compactes ou fibreuses. Incolore à jaunâtre. Eclat vitreux.</i>



Antlerite



Brochantite



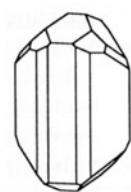
Cristaux de gypse

## VIII. Wolframates, molybdates, chromates

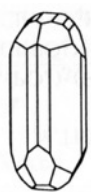
(< 0.01 % de la croûte terrestre)

Parfois associés aux sulfates, les wolframates, caractérisés par le groupe  $[WO_4]^{2-}$ , ne forment de composés stables qu'avec le fer, le manganèse et le calcium. Ce sont des minéraux qui cristallisent à haute température, à la périphérie des massifs granitiques, dans les pegmatites et les filons hydrothermaux. Par analogie structurale on joint à cette classe les molybdates qui ne constituent que quelques rares espèces qu'on peut rencontrer dans la zone d'oxydation des gîtes de molybdène, et un rare chromate : la crocoïse.

	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Hubnerite, $MnWO_4$	M	4.8	4	Mêmes formes que la wolframite. Brun à rougeâtre, parfois irisations, translucide. Trait rouge-brun.
Wolframite, $(Fe, Mn)WO_4$	M	7.3	4.5	Prismes trapus ou tabulaires. Stries dans la direction d'allongement. Gris noir, opaque, éclat submétallique.
Ferberite, $FeWO_4$	M	7.2	5.5	Comme la wolframite.
Crocoïse, $PbCrO_4$	M	6	2.5	Prismes allongés. Orange, éclat adamantin. Zone d'altération des gîtes de chrome.
Scheelite, $CaWO_4$	Q	6.1	5	Bipyramides avec parfois des stries obliques. Blanc à jaune-orange, éclat résineux. Fluorescence bleue aux UV.
Wulfénite, $PbMoO_4$	Q	7	2.5	Tables à section carrée. Jaune-orange à brun. Eclat résineux à adamantin.
Powellite, $CaMoO_4$	Q	4.35	3.5	Bipyramides quadratiques. Faces parfois striées. Gris jaunâtre, ou bleuâtre. Transparent, éclat adamantin.



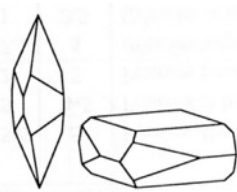
Wolframite



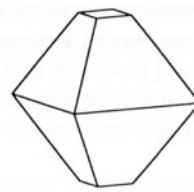
Crocoïse



Scheelite



Wulfénite



Powellite



Wolframite, Portugal



Crocoïse, Australie



Scheelite, Chine

## IX. Phosphates, arséniates et vanadates

( $\approx 0.7$  % de la croûte terrestre)

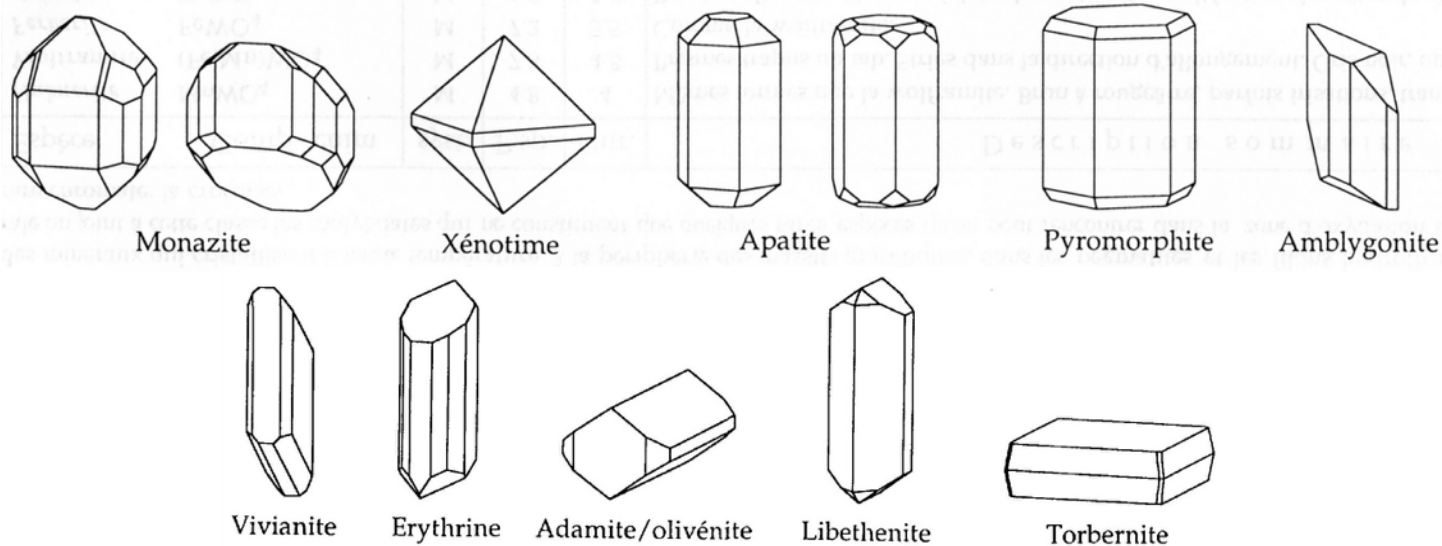
Cette classe est caractérisée par la présence des groupes anioniques volumineux  $[\text{PO}_4]^{3-}$ ,  $[\text{AsO}_4]^{3-}$  ou  $[\text{VO}_4]^{3-}$ . Les minéraux phosphatés sont nombreux mais globalement ils ne représentent qu'une faible part de la croûte terrestre. La grande taille du groupe  $[\text{PO}_4]$  ne permet des combinaisons stables anhydres qu'en présence de gros cations  $[\text{Pb}, \text{Y}]$ . Les cations plus petits impliquent un complément de remplissage de la structure par des molécules  $\text{H}_2\text{O}$ . Les propriétés physiques de ces minéraux sont assez diverses et il est difficile de leur trouver des points communs.

A part l'apatite qu'on trouve dans les roches magmatiques, la plupart des phosphates, arséniates et vanadates, se trouvent dans la zone d'oxydation de la croûte terrestre et dans les stades terminaux des processus magmatiques (pegmatites, filons hydrothermaux).

Phosphates anhydres	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire
Monazite, $(\text{Ca}, \text{La}, \text{Y}, \text{Th})\text{PO}_4$	M	4.9-5-5	5	Formes diverses. Habitus tabulaire ou prismatique. Brun-rouge. Eclat résineux à adamantin.
Xénotime, $\text{YPO}_4$	Q	4.5	4-5	Prismes et bipyramides. Jaune-brun à brun-rouge. Opaque à translucide, éclat résineux.
Apatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$	H	3.2	5	Prismes hexagonaux. Incolore à bleu-vert. Transparent à opaque, éclat vitreux à résineux.
Pyromorphite, $\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$	H	6.7-7.1	4	Prismes trapus en forme de tonneau. Brun-orange à jaunâtre. Eclat résineux à subadamantin.
Mimétite, $\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{AsO}_4)_3$	H	7.1	3.5	Cristaux aciculaires, masses globulaires. Jaune à brun-orange. Eclat résineux à subadamantin.
Vanadinite, $\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{VO}_4)_3$	H	6.7-7.1	3	Prismes $\pm$ allongés. Formes parfois squelettiques. Orange brillant à brun-rouge, éclat adamantin.
Amblygonite, $\text{LiAlF}(\text{PO}_4)$	T	3	6	Prismes courts à faces rugueuses. Blanc à jaunâtre. Eclat vitreux à gras.
Purpurite, $(\text{Mn}, \text{Fe})(\text{PO}_4)$	O	3.7	4.5	Généralement massive. Rose à rouge pourpre. Opaque, éclat satiné.

Phosphates hydratés	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire
Vivianite, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	M	2.6	2	Prismes aplatis avec clivage $\{010\}$ parfait. Vert-bleuâtre à vert foncé. Transparent, éclat vitreux.
Erythrine, $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	M	2.95	2	Prismatique à aciculaire. Transparent à translucide. Rose à violet foncé. Eclat vitreux à subadamantin.
Annabergite, $\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	M	3	3	Prismes souvent striés. Gris-blanc à vert. Transparent à translucide. Eclat gras à subadamantin.
Variscite, $\text{Al}(\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	O	2.5	4	Généralement massive, ressemblant à la turquoise. Vert pâle à vert émeraude.

<i>Phosphates basiques [OH]</i>	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire
Adamite, $Zn_2AsO_4(OH)$	O	4.3	3.5	Cristaux souvent allongés, agrégats fibroradiés. Jaune verdâtre. Transparent, éclat vitreux.
Olivénite, $Cu_2AsO_4(OH)$	O	4.1-4.1	3	Prismes courts à aciculaires. Vert olive à vert-brun. Transparent à translucide. Eclat vitreux à adamantin.
Wavellite, $Al_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$	O	2.3	3.5-4	Agrégats sphérolitiques fibroradiés, encroûtements, stalactites. Jaune pâle à verdâtre, Eclat résineux.
Libéthénite, $Cu_2PO_4(OH)$	O	3.7	4	Cristaux trapus transparents à translucide. Vert foncé à vert pâle. Eclat vitreux.
Lazulite, $(Mg,Fe)Al_2(PO_4)_2(OH)_2$	M	3.1	5-6	Pyramides aiguës, masse compacte ou granulaire. Bleu clair à foncé. Eclat vitreux.
Brazilianite, $NaAl_3(PO_4)_2(OH)_4$	M	3	5.5	Prismes courts, faces striées. Jaune pâle à vert-jaune. Transparent. Eclat vitreux.
Turquoise, $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 5H_2O$	T	2.7	5.5	Masses cryptocristallines, concrétions. Bleu-vert pâle à foncé. Eclat terreux à gras.



<i>Uranophosphates</i>	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire
Torbernite, $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 12H_2O$	Q	3-6	2	Plaquettes rectangulaires fines. Vert émeraude. Eclat vitreux à adamantin. Radioactif.
Autunite, $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$	Q	3.1	2	Plaquettes fines, agrégats feuilletés. Jaune à jaune verdâtre. Transparent, éclat cireux. Radioactif.
Carnotite, $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$	M	4.5	2	Agrégats microcristallins, encroûtements. Jaune vif à jaune verdâtre. Aspect terreux. Radioactif.



## X. Nésosilicates ou silicates en îlots

(Environ 2 % de la croûte terrestre)



La structure des minéraux de cette classe est caractérisée par des tétraèdres  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  toujours isolés les uns des autres. Les minéraux sont généralement compacts, durs et transparents comme la plupart des silicates. Les représentant les plus abondants, sont l'olivine, un des constituants des basaltes, les silicates d'alumine et les grenats qu'on trouve dans les roches métamorphiques riches en alumine et en calcium.

Groupe du zircon	Syst.	Dens	Dur.	Description sommaire
Zircon, $\text{ZrSiO}_4$	Q	4.5	7.5	Prismes quadratiques terminés par des pyramides. Incolore à brun. Eclat résineux à adamantin.
Thorite, $\text{ThSiO}_4$	Q	5.2	5	Prismes terminés par des pyramides. Parfois massive. Brun jaune à orangé. Eclat résineux.

Groupe de l'olivine	Syst.	Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Forstérite, $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$	O	3.3	6.5	Cristaux tabulaires épais, grains irréguliers. Jaune-vert, éclat vitreux. Dans les roches éruptives basiques.
Olivine, $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	O	3.5	6.5	Cristaux très rares. Grains informes, vert-jaunâtre, éclat vitreux. Dans les roches basiques.
Fayalite, $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	O	4.3	6.5	Cristaux tabulaires épais, grains irréguliers. Vert jaune à brun, éclat vitreux. Dans les roches éruptives.
Téphroïte, $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$	O	4.1	6	Cristaux tabulaires épais, grains irréguliers. Vert olive à brun. Eclat vitreux. Dans les gîtes de Mn.

Groupe de la phénacite	Syst.	Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Phénacite, $\text{Be}_2\text{SiO}_4$	R	3	8	Prismes courts à allongés. Incolore à jaune, brun. Transparent, éclat vitreux. Dans les pegmatites. et les filons hydrothermaux.
Willémite, $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$	R	4.1	5.5	Cristaux prismatiques, masse compacte ou fibreuse. Incolore à brun. Fluorescent aux rayons UV. Gîtes de Zn.



Zircon



Péridot



Phénacite



Zircon, Madagascar

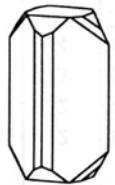


Péridot, Pakistan

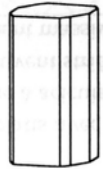


Phénacite, Sao Mihguel, Brésil

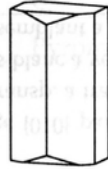
Groupe des silicates d'alumine		Syst.	Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Andalousite, $Al_2OSiO_4$		O	3.15	7.5	Prismes allongés. Gris à brun-rose. Eclat vitreux. Dans roches les métamorphiques riches en alumine.
Sillimanite, $Al_2OSiO_4$		O	3.3	6-7	Prismes allongés striés verticalement. Massive ou fibreuse. Incolore, éclat soyeux. Roches métamorphiques
Disthène, $Al_2OSiO_4$		T	3.6	4.5-7	Prismes lamellaires. Clivage {100} parfait. Bleu pâle, éclat nacré. Transparent à translucide. Dans les roches métamorphiques de haute pression riches en alumine.
Staurotide, $Fe_2Al_9O_7(SiO_4)_4(OH)_4$		O	3.7	7	Prismes courts. Macle "en croix". Brun foncé, opaque, éclat résineux. Dans les schistes métamorphiques.
Topaze, $Al_2SiO_4(F,OH)_2$		O	3.6	8	Cristaux prismatiques. Clivage {001}. Transparent, incolore, bleu, jaune, brun. Eclat vitreux. Dans les pegmatites.



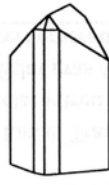
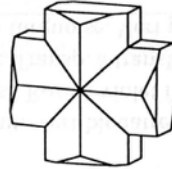
Andalousite



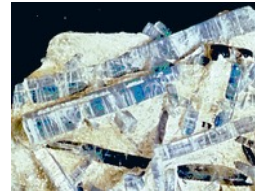
Disthène



Staurotide



Topaze



Disthène, Suisse

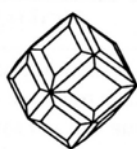
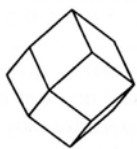


Staurotide (macle en croix)

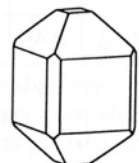


Topaze, Brésil

Groupe des grenats		Syst.	Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Pyrope	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	C	3.51	7	Les formes usuelles des grenats sont le dodécaèdre rhomboïdal, le trapézoèdre, plus rarement l'hexakisocétaèdre. On observe souvent diverses combinaisons de ces formes simples. Le <b>pyrope</b> est généralement rouge foncé à noir, l' <b>almandin</b> brun-rouge, la <b>spessartine</b> rouge foncé à brun, le <b>grossulaire</b> rose orange à brun-rose, l' <b>ouvarovite</b> vert, et l' <b>andradite</b> jaune-vert à brun. Ce sont des minéraux des roches métamorphiques. Les grenats calciques apparaissent plus particulièrement dans les calcaires métamorphiques. Certains apparaissent aussi dans les roches éruptives.
Almandin	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	C	4.25	7	
Spessartine	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	C	4.18	7	
Grossulaire	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	C	3.53	6.5	
Ouvarovite	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$	C	3.76	7	
Andradite	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$	C	3.75	7	
Vésuvianite	$Ca_3Al_2(SiO_4)_2(OH)_4$	Q	3.4	6.5	Prismes courts à section carrée, avec pyramides. Vert-brun à noir. Eclat vitreux à résineux.



Grenats



Vésuvianite

Grenat almandin



Grenat spessartine



<i>Groupe des titano-silicates</i>	<i>Syst.</i>	<i>Dens</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire et type de gisement</i>
<i>Sphène, CaTiSiO<sub>5</sub></i>	<i>M</i>	<i>3.4</i>	<i>5.5</i>	<i>Prismes aplatis. Incolore à jaune-vert ou brun. Macle sur {100}. Éclat résineux à adamantin. Dans les syénites et les pegmatites liées aux syénites. Dans les roches métamorphiques alpines</i>
<i>Astrophyllite, (Na,K)<sub>4</sub>(Fe,Mn)<sub>4</sub> Ti(SiO<sub>4</sub>)<sub>4</sub></i>	<i>O</i>	<i>3.3</i>	<i>3</i>	<i>Longs prismes aplatis en assemblages rayonnant. Brun doré. Éclat submétallique. Dans les roches éruptives basiques.</i>

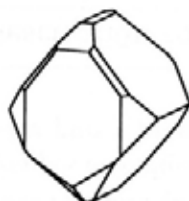
<i>Groupe de la datolite</i>				
<i>Datolite, CaBSiO<sub>4</sub>(OH)</i>	<i>M</i>	<i>2.9</i>	<i>5.5</i>	<i>Prismes courts, masse granulaire. Incolore à jaune pâle. Transparent à translucide, éclat vitreux.</i>
<i>Euclase, AlBeSiO<sub>4</sub>(OH)</i>	<i>M</i>	<i>3.1</i>	<i>7.5</i>	<i>Prismes ± allongés. Incolore à vert pâle. Transparent, éclat vitreux.</i>
<i>Chloritoïde<sup>1</sup>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>(Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>4</sub></i>	<i>M</i>	<i>3.6</i>	<i>6.5</i>	<i>Cristaux tabulaires à clivage basal parfait (comme les micas). Vert foncé. Dans les schistes cristallins et dans certaines roches de métamorphisme de contact.</i>

<sup>1</sup> parfois classé parmi les phyllosilicates auxquels il ressemble beaucoup.

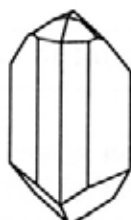
<i>Groupe de la chondrodite</i>				
<i>Chondrodite, Mg<sub>5</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH,F)<sub>2</sub></i>	<i>M</i>	<i>3.2</i>	<i>6.5</i>	<i>Formes variées, massives, lamellaires. Macle sur {001}. Jaune-brun. Éclat vitreux. Roches métamorphiques de contact. ans les roches métamorphiques de contact avec Mg.</i>
<i>Humite, Mg<sub>7</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH,F)<sub>2</sub></i>	<i>M</i>	<i>3.2</i>	<i>6</i>	<i>Comme la chondrodite. Dans les roches métamorphiques de contact avec Mg.</i>



Sphène



Datolite



Euclase



Sphène, Val Russein, Suisse



Euclase, Colombie

## XI. Sorosilicates et cyclosilicates

(Environ 1 % de la croûte terrestre)

Les sorosilicates sont caractérisés par la présence, dans leur structure, de l'association de deux tétraèdres  $\text{SiO}_4$ , formant le groupe anioniques  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ . Il n'y a que peu d'espèces minérales qui présentent ce type de structure. Mentionnons l'importante famille des épidotes qu'on rencontre dans les roches métamorphiques.

Les cyclosilicates sont caractérisés par des anneaux de 3, 4 ou 6 tétraèdres  $\text{SiO}_4$  composant les groupes anioniques  $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ ,  $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$  ou  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ . Les minéraux sont généralement prismatiques avec une symétrie rhomboédrique ou hexagonale. Les exemples les plus représentatifs sont la tourmaline et le béryl. Ce sont des minéraux occasionnels des roches éruptives et métamorphiques.

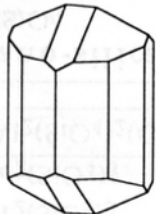
### Sorosilicates, $[\text{Si}_2\text{O}_7]$

Groupe de l'hémimorphite		Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Hémimorphite	$\text{Zn}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	O	3.4	4.5	Cristaux tabulaires striés verticalement. Incolore, transparent, éclat soyeux. Zone d'oxydation des gîtes de Zn.
Lawsonite	$\text{CaAl}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	O	3.1	8	Prismes aplatis. Incolore à gris. Translucide. Eclat gras. Roches de faible métamorphisme.
Ilvaïte	$\text{CaFe}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$	O	3.8-4.1	5.5	Prismes striés verticalement. Opaque, noir. Métamorphisme de contact, zone d'altération des gîtes de Fe.

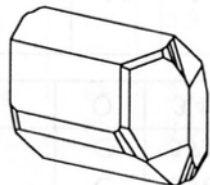
Groupe de l'épidote		Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Epidote	$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$	O	3.4	6.5	Prismes longs. Vert jaune à vert foncé, noir. Eclat vitreux, brillant. Dans les roches métamorphiques.
Piémontite	$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe,Mn})\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$	O	3.4	6	Comme l'épidote. Brun rouge à violet.
Zoïsite	$\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$	O	3.4	6.5	Prismes striés. Gris à vert, rose, rarement bleu (var. tanzanite). Eclat vitreux.
Clinozoïsite	$\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$	M	3.3	6.5	Prismes striés. Incolore à vert, rose. Eclat vitreux. Dans roches métamorphiques.



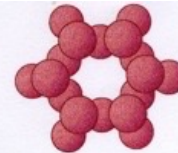
Hémimorphite



Ilvaïte



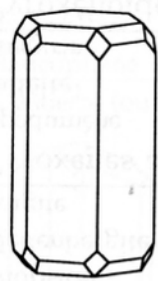
Epidote

 $\text{Si}_2\text{O}_7$  $\text{Si}_3\text{O}_9$  $\text{Si}_4\text{O}_{12}$  $\text{Si}_6\text{O}_{18}$

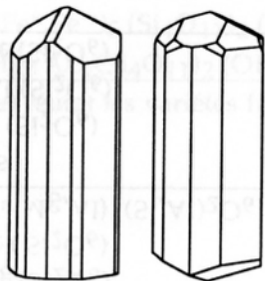
Cyclosilicates,  $[Si_3O_9]$ ,  $[Si_4O_{12}]$ ,  $[Si_6O_{18}]$ 

		Syst.	Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Bénoïde	$BaTiSi_3O_9$	H	3.7	6.5	Prismes aplatis d'apparence triangulaire . Bleu à incolore. Eclat vitreux
Axinite	$Ca_2(Fe,Mn)Al_2O(BO_3)(Si_4O_{12})(OH)$	T	3.3	6.5-7	Cristaux tabulaires avec arêtes aiguës. Incolore à brun-violet. Métamorphisme de contact.
Béryl	$Be_3Al_2OSi_6O_{18}$	H	2.7	7.5-8	Prismes hexagonaux, incolore, vert (émeraude), rose (morganite). bleu (aigue-marine). Dans les pegmatites.
Tourmaline *	$(Ca,Na)_2(Al,Fe,Li,Mg)_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$	R	3-3.2	7	Prismes striés à section ditrigonale. Couleurs variées. Dans les pegmatites et les roches métamorphiques.
Cordiérite	$Mg_2Al_3(AlSi_5O_{18})$	O	2.6	7-7.5	Prismes courts, massive. Bleu-violet à jaune, fort dichroïsme. Vitreux. Dans les roches métamorphiques.
Dioptase	$Cu_6(Si_6O_{18}).6H_2O$	R	3.3	5	Prismes courts terminés par un rhomboèdre. Vert intense. Zone oxydation des gîtes de Cu.
Chrysocolle	$CuSiO_3.nH_2O$	-	2-2.4	2-4	Encroûtements, agrégats. Aspect botryoïdal. Bleu-vert. Zone d'oxydation des gîtes de Cu.

\* La tourmaline a une composition chimique très variable. On peut la considérer comme un groupe réunissant le schorl noir, l'elbaïte rose, l'indicolite vert-bleu, etc..



Béryl



Tourmaline



Section tourmaline



Dioptase



Béryl, var. émeraude



Tourmaline noire



Dioptase, Namibie

## XII. Inosilicates ou silicates en chaînes

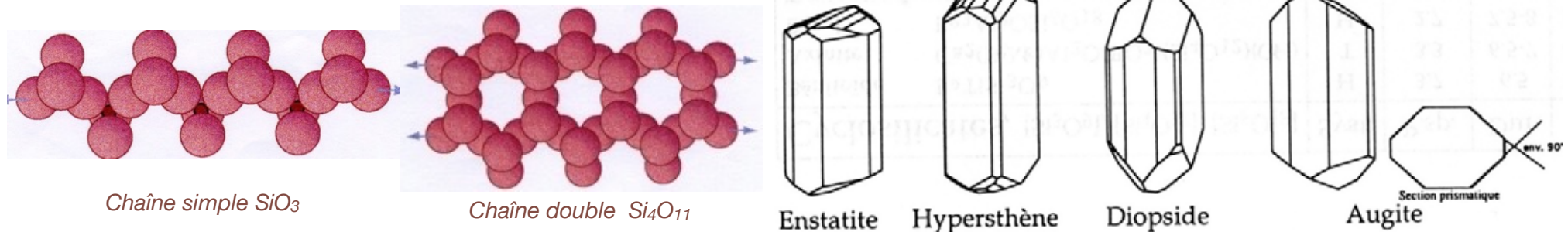
( $\approx 12\%$  de la croûte terrestre)

Les tétraèdres  $\text{SiO}_4$  se lient entre eux pour former des chaînes simples ou doubles. Les proportions d'atomes d'oxygène et de silicium deviennent  $[\text{SiO}_3]^{2-}$  pour les premières,  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$  pour les secondes. Ces deux types de chaîne correspondent à deux grandes familles : les pyroxènes et les amphiboles. Les minéraux sont caractérisés par un poids spécifique plutôt faible, une dureté moyenne, une tendance aux formes prismatiques avec deux directions de clivages parallèles à l'axe du prisme  $\{110\}$ . L'angle entre ces deux directions de clivage est d'environ  $90^\circ$  pour les pyroxènes,  $120^\circ$  pour les amphiboles.

Les pyroxènes sont communs dans les roches éruptives basiques et diverses roches métamorphiques. On les trouve aussi dans les météorites pierreuses. Un peu plus riches en silice que les pyroxènes, les amphiboles apparaissent dans les roches moyennement basiques, dans les syénites et parfois même dans les granites.

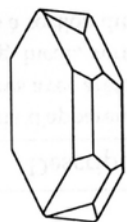
### Groupe des pyroxènes

Orthopyroxènes	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Enstatite, $\text{Mg}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$	O	3.1-3.5	5-6	Série isomorphe donnant des minéraux massifs, fibreux, parfois prismatiques. Vert foncé à noir, éclat vitreux à résineux. Minéraux fréquents dans les météorites pierreuses.
Hypersthène, $(\text{Mg,Fe})_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$	O	3.3-3.6	5-6	
Clinopyroxènes	Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Diopside, $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	M	3,3	6	Prismes courts avec clivages $\{110\}$ à $90^\circ$ l'un de l'autre. Le diopside est incolore à vert-brun, l'augite brun-foncé à noir, l'hédenbergite brun-vert à noir. L'augite est un des principaux constituants des roches éruptives basiques. Le diopside et l'hédenbergite apparaissent dans les roches métamorphiques.
Hédenbergite, $\text{CaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	M	3.6	6	
Augite, $\text{Ca}(\text{Fe,Mg,Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$	M	3.3-3.5	5.5	



<i>Pyroxènes alcalins</i>	<i>Syst.</i>	<i>Dens.</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire et type de gisement</i>
<i>Spodumène, LiAl(Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)</i>	<i>M</i>	<i>3.0-3.2</i>	<i>7</i>	<i>Prisme avec clivage {110} parfait. Incolore, rose (kunzite), vert (hiddenite). Dans les pegmatites.</i>
<i>Jadéite<sup>1</sup>, NaAl(Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)</i>	<i>M</i>	<i>3.2</i>	<i>6.5</i>	<i>Masses cryptocristallines (jade). Vert à brun. Dans quelques rares serpentines.</i>
<i>Aegyrine, NaFe(Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)</i>	<i>M</i>	<i>3.6</i>	<i>6</i>	<i>Prismes allongés. Clivage{110} parfait. Vert foncé à noir. Dans les syénites riches en Na.</i>

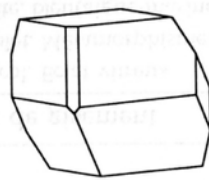
<sup>1</sup> On réserve le terme de jade est une roche faite d'un agrégat extrêmement tenace de cristaux de jadéite ou de néphrite, une variété de trémolite.



Spodumène

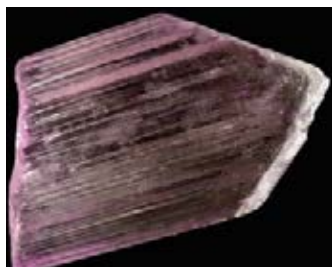


Aegyrine



Rhodonite

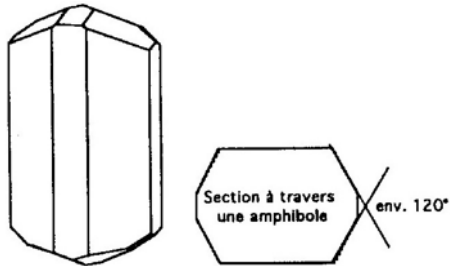
<i>Pyroxénoïdes</i>	<i>Syst.</i>	<i>Dens.</i>	<i>Dur.</i>	<i>Description sommaire et type de gisement</i>
<i>Wollastonite, Ca<sub>3</sub>(Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>)</i>	<i>T</i>	<i>2.9</i>	<i>5</i>	<i>Masse fibreuse ou compacte. Blanc à gris, éclat soyeux. Dans calcaires métamorphisés.</i>
<i>Pectolite, Ca<sub>2</sub>NaH(Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>)</i>	<i>T</i>	<i>2.8</i>	<i>5</i>	<i>Cristaux aciculaires. Blanc, éclat soyeux. Gîtes hydrothermaux dans cavités des basaltes.</i>
<i>Rhodonite, Mn<sub>3</sub>(Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>)</i>	<i>T</i>	<i>3.6-3.7</i>	<i>6</i>	<i>Cristaux rares, encroûtements. Rose à mauve. Dépôts hydrothermaux. roches métamorphiques liées à des gîtes de Mn.</i>

*Diopside chromifère**Spodumène, var. kunzite, Afghanistan**Wollastonite, Crestmore, USA**Rhodonite, Franklin Furnace, USA*

## Groupe des amphiboles

Série de l'antophyllite		Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Anthophyllite	$(\text{Fe}, \text{Mg})_7(\text{Si}_4\text{O}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$	O	3.1-3.5	6	Minéraux très semblables. Cristaux rares. Agrégats de prismes, lamelles. Aspect fibro-radié. Brun-gris à vert. Eclat vitreux à nacré.
Gedrite	$(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Al})_7[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$	O	3.2-3.5	6	
Série trémolite-actinote		Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Trémolite	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$	M	2.9-3.2	5-6	Cristaux lamellaires aciculaires ou columnaires, blanchâtres. Eclat nacré.
Actinote <sup>2</sup>	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$	M	3.1-3.4	5-6	Longs prismes vert-foncé en agrégats parallèles ou rayonnants.
Série de la hornblende		Syst.	Dens.	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Hornblende	$\text{NaCa}_2(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$	M	3.0-3.5	5-6	Prismes courts. Vert foncé à noir, éclat vitreux à résineux.
Riébeckite <sup>2</sup>	$\text{Na}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$	M	3.4-3.8	5	Forme le plus souvent une asbeste bleue, connue sous le nom de crocidolite.
Glaucofane	$\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$	M	3.1	6	Grains allongés, agrégat bacillaire. Bleu vif à grisâtre. Dans les schistes de faible métamorphisme

<sup>2</sup> L'asbeste (ou amiante) réunit les variétés fibreuses d'actinote, de chrysotile et de riébeckite



Hornblende



Trémolite fibreuse, Asbestos, Canada



Actinote, San Bernardino, USA



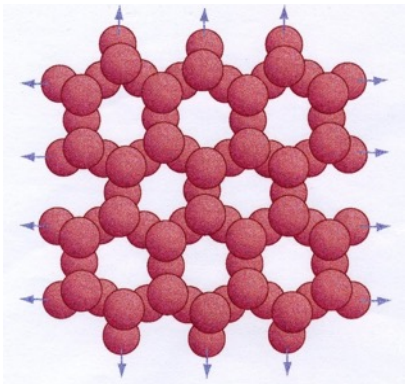
Hornblende, Edenville, NY, USA



### XIII. Phyllosilicates ou silicates en couches

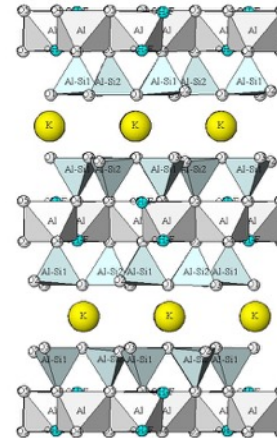
(≈ 5 % de la croûte terrestre)

Les tétraèdres  $\text{SiO}_4$  sont polymérisés dans deux directions d'extension, formant des couches chargées négativement. La proportion d'atomes d'oxygène et de silicium est  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$ . Toutefois la substitution d'une partie des atomes de silicium par de l'aluminium au sein du tétraèdre  $\text{SiO}_4^{2-}$ , détermine, pour certains, un groupe anionique  $[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]^{5-}$ . La disposition structurale en couches se répercute sur les propriétés physiques des minéraux : habitus en feuillets, clivage basal parfait, cohésion et dureté faibles, poids spécifique peu élevé. Presque tous sont monocliniques (pseudo-hexagonaux).



$\text{Si}_2\text{O}_5$

Les phyllosilicates sont caractérisés par une faible cohésion des couches entre elles, favorisant la présence d'un clivage très facile.



structure de la muscovite



clivage de la muscovite

Groupe de la kaolinite		Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Kaolinite	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_2$	2-2.5	2.5	La structure est caractérisée par des couches liées entre elles par des forces très faibles. Les rares cristaux visibles forment des lamelles ou des écailles incolores à éclat nacré. Ce sont des masses plus ou moins terreuses. La kaolinite est la plus fréquente. Elle se présente le plus souvent en masse blanchâtre qui s'effrite sous les doigts. Elle absorbe l'eau en donnant une pâte plastique. Provient de l'altération des feldspaths.
Halloysite	$\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2-2.2	2.5	
Nontronite	$\text{Fe}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2-3	1 - 2	
Montmorillonite	$\text{Al}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2-3	1 - 2	

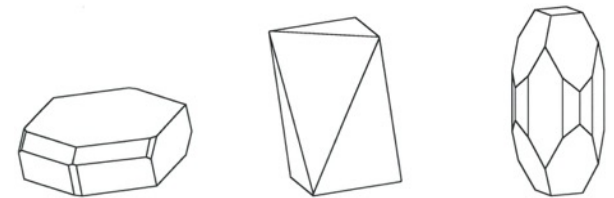
Groupe de la serpentine		Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Antigorite	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	2.6	3	Minéraux indiscernables l'un de l'autre. Masse verdâtre compacte ou feuilletée, parfois fibreuse (chrysotile/asbeste). Vert foncé à brun. Toucher onctueux. Produit d'altération de l'olivine.
Chrysotile	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	2.6	3	

Groupe du talc		Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Talc,	$Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$	2.7-2.8	1	Minéraux très voisins, indiscernables l'un de l'autre. Masse compacte (saponite) ou feuilletée. Vert pâle. Toucher onctueux. Produit d'altération par hydratation des roches ultra-basiques.
Pyrophyllite,	$Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2$	2.7-2.9	1-2	
Groupe des micas		Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Muscovite	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	2.8	2.5	Les micas forment des cristaux tabulaires aplatis, caractérisés par un clivage basal très facile qui permet un débit en feuillets extrêmement minces. On trouve plus rarement des cristaux à faces prismatiques bien développées. <b>Muscovite</b> et <b>phlogopite</b> sont incolores, la <b>biotite</b> est noire, la <b>lépidolite</b> mauve. Ce sont tous des minéraux des roches éruptives et métamorphiques.
Phlogopite	$KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	2.8-2.9	2 - 2.5	
Biotite	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	2.8-3.2	2.5 - 3	
Lépidolite	$K(Li,Al)_3(AlSi_3O_{10})(OH, F)_2$	2.8-3.2	2.5 - 3	
Groupe des hydromicas		Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Vermiculite	$(Mg,Fe,Al)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2 \cdot 4H_2O$	2.4	1.5	Même aspect que les micas. Jaune à brun. Produit d'altération de la biotite et de la muscovite.
Chloritoïde	$(Fe,Mg,Mn)_2Al_2(Al_2Si_2O_{10})(OH)_4$	3.6	6.5	Masses feuilletées à lamelles cassantes. Plus dure que les micas et la chlorite .
Groupe des chlorites		Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Clinochlore	$(Mg,Fe^{2+},Al)_5(AlSi_3O_{10})(OH)_8$	2.6-3.0	2 - 2.5	Les chlorites diffèrent des micas par leur structure. Lamelles flexibles non élastiques. Vert bouteille. La <b>pennine</b> forme souvent des empilements de lamelles vert-foncé. Le <b>clinochlore</b> est vert plus clair, formant des tablettes avec macles polysynthétiques. La <b>kämmererite</b> est mauve.
Pennine	var. magnésienne de clinochlore	2.6-2.8	2 - 2.5	
Kämmererite	$(MgCr)_6(AlSi_3O_{10})(OH)_8$	2.6	2 - 2.5	
Autres phyllosilicates		Dens	Dur.	Description sommaire et type de gisement
Apophyllite <sup>1</sup>	$KCa_4(Si_4O_{10})_2 F \cdot 8 H_2O$	2.35	5	Prismes et pyramides quadratiques striés verticalement. Clivage basal parfait. Incolore à vert. Origine hydrothermale
Prehnite <sup>2</sup>	$Ca_2Al(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	2.8-3.0	6.5	Cristaux prismatiques ou tabulaires, concrétions. Jaune-vert pâle, éclat vitreux. Filons hydrothermaux et roches métamorphiques.

<sup>1</sup> souvent appelée "fausse zéolite" à cause de son comportement vis à vis de l'eau et de son affinité avec les zéolites.

<sup>2</sup> structure encore mal connue, probablement intermédiaire entre les phyllosilicates et les inosilicates.

de g. à dr : Biotite, Pennine, Apophyllite



## XIV. Tectosilicates ou silicates en charpente

(Plus de 60 % de la croûte terrestre)

Les tétraèdres  $\text{SiO}_4$  se lient entre eux dans toutes les directions constituant une charpente tridimensionnelle. On observe toujours une substitution partielle du silicium par l'aluminium pouvant atteindre 50 %. Dans le cas des feldspaths, les groupes anioniques deviennent alors  $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^{1-}$  ou  $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]^{2-}$ .

Les charges négatives sont compensées par le potassium  $\text{K}^{1+}$ , le sodium  $\text{Na}^{1+}$  ou le calcium  $\text{Ca}^{2+}$  qui prennent place à l'intérieur de la charpente, constituant ainsi les importantes familles des feldspaths, des feldspathoïdes et des zéolites.

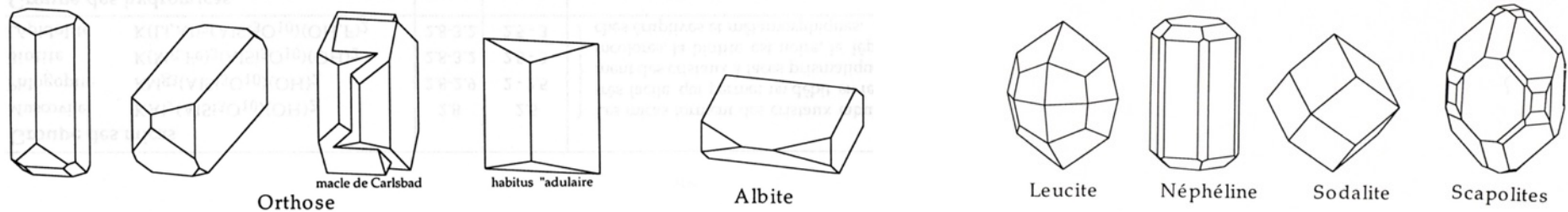
Ces minéraux présentent des caractères communs : couleur blanc à gris, parfois rose à brun clair, un poids spécifique faible, compris entre 2.2 et 2.7, une dureté constante de 6 pour les feldspaths et les feldspathoïdes, un peu plus faible pour les zéolites (4 à 5.5). Les tectosilicates constituent des familles bien individualisées, en particulier les feldspaths qui sont les principaux constituants des roches éruptives. Les feldspathoïdes sont beaucoup plus rares et n'apparaissent que dans les roches alcalines à déficit de silice. Les zéolites sont formées par circulation de solutions hydrothermales de basse température dans les anfractuosités des roches.

Feldspaths alcalins		Syst.	Dens.	Description sommaire et type de gisement
Orthose	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	M	2.57	L'orthose se présente souvent en prismes trapus à section carrée, blanc laiteux. Macles simples et clivages visibles. L'adulaire est une variété d'orthose d'origine hydrothermale, aux faces losangiques bien développées, parfois transparentes. Le <b>microcline</b> est indiscernable à vue de l'orthose. L' <b>amazonite</b> est une variété de microcline de couleur bleu-vert. La sanidine est la forme haute température du feldspath potassique. Elle apparaît dans les roches volcaniques riches en silice. Cristaux tabulaires blancs. La <b>cleavelandite</b> est une variété d'albite à habitus lamellaire.
Microcline	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	T	2.57	
Sanidine	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	M	2.57	
Albite	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	T	2.62	

### Feldspaths calco-sodiques ou plagioclases

Ce sont des minéraux isomorphes tricliniques qui peuvent cristalliser dans n'importe quelle proportion d'un mélange d'albite,  $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ , et d'anorthite,  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ , symbolisées ci-dessous par Ab et An. L'identification précise d'un plagioclase est importante pour la classification des roches éruptives.

Albite (Ab)	An 0-10	Ab90-100	T	2.62	Les plagioclases sont des minéraux constitutifs des roches éruptives. La classification de ces dernières est basée sur leur composition chimique. Les plagioclases proches de l'albite se rencontrent dans les roches riches en silice (granites, diorites, gneiss); les termes proches de l'anorthite sont dans les roches pauvres en Si et riches en Ca, Fe et Mg (gabbros, basaltes, péridotites). Ce sont des cristaux rarement bien formés. On rencontre parfois des prismes tabulaires, blanc laiteux à gris. On les trouve aussi dans les roches métamorphiques, en particulier l'albite dont les cristaux sont parfois bien développés dans les fissures des roches. Le labrador forme parfois des masses lamellaires à reflets internes multicolores.
Oligoclase	-	Ab70-90	T	2.65	
Andésine	An10-30	Ab50-70	T	2.68	
Labrador	-	Ab30-50	T	2.71	
Bytownite	An30-50	Ab10-30	T	2.73	
Anorthite (An)	An50-70	Ab0-10	T	2.76	



Orthose, Brésil



Orthose, var. adulaire, Suisse



Albite, Valais, Suisse



Leucite, Vésuve, Italie

<b>Feldspathoïdes</b>		Syst	Dens	Description sommaire et type de gisement
Leucite	$K(AlSi_2O_6)$	Q	2.4	Beaux trapézoèdres blanc laiteux. Eclat terne. Dans certaines laves pauvres en silice et riches en potassium.
Néphéline	$KNa_3(AlSiO_4)_4$	H	2.6	Rares cristaux hexagonaux, masses grenues. Incolore, transparent, éclat vitreux. Ressemble au quartz.
Sodalite	$Na_4(AlSiO_4)_3Cl$	C	2.2	Rares cristaux dodécaédriques, masses grenues. Incolore, éclat vitreux.
Lazurite*	$Na_3Ca(AlSiO_4)_3(S,SO_4)$	C	2.4	Cristaux dodécaédriques rares, massif, grenu. Bleu profond à bleu clair.

\* On réserve le terme de Lapis-Lazuli à un agrégat massif constitué essentiellement de lazurite associée à divers minéraux, en particulier la pyrite.

<b>Scapolites</b>		Syst	Dens	Description sommaire et type de gisement
Marialite	$Na_3(AlSi_3O_8)_3 NaCl$	Q	2.6	Prismes quadratiques, agrégats grenus. Incolore, blanc à gris. Eclat vitreux à résineux. Roches métamorphiques de contact.
Meionite	$Ca(Al_2Si_{22}O_8)_3 CaCO_3$	Q	2.7	Identique à la marialite avec laquelle elle forme une série isomorphe.

Zéolites	Syst.	Dens.	Dureté	Description sommaire et type de gisement
Analcime, $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6)\cdot\text{H}_2\text{O}$	C	2.7	3-4	Trapézoèdres blancs. Transparent à translucide, éclat vitreux. Dans certaines laves riches en Na.
Chabasie, $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12})\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	R	2.1	4-5	Rhomboèdres proches du cube. Macles fréquentes. Incolore à blanc, jaunâtre, verdâtre. Eclat vitreux.
Natrolite, $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	O	2.25	5.5	Prismes aciculaires striés verticalement, fibro-radiés. Incolore à blanc, éclat vitreux.
Mésolite, $\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})_3\cdot 8\text{H}_2\text{O}$	M	2.25	5	Cristaux aciculaires en touffes fibro-radiées. Incolore à blanc, éclat vitreux, parfois soyeux.
Scolecite, $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})\cdot 3\text{H}_2\text{O}$	M	2.3	5.5	Prismes aciculaires striés verticalement, en masses radiées. Blanc à incolore, éclat vitreux à soyeux.
Heulandite, $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18})\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	M	2.2	4	Cristaux trapézoïdaux, souvent tabulaires, agrégats parallèles. Incolores à blanc, éclat vitreux à soyeux.
Harmotome, $(\text{Ba},\text{K})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	M	2.4	4.5	Cristaux complexes d'aspect orthorombique avec macles par pénétration. Incolore à blanc.
Stilbite, $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18})\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	M	2.25	4	Cristaux prismatiques de section rhombique disposés en gerbes. Blanc, jaunâtre, éclat vitreux.
Laumontite, $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12})\cdot 4\text{H}_2\text{O}$	M	2.4	3-4	Prismes à base carrée, masses colonnaires fibro-radiées. Eclat vitreux. Recouvrement poudreux.



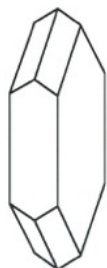
Analcime



Heulandite



Harmotome



Stilbite



Laumontite



Analcime, U.S.A.



Chabasie, Inde



Natrolite. Inde