

Les Minéraux

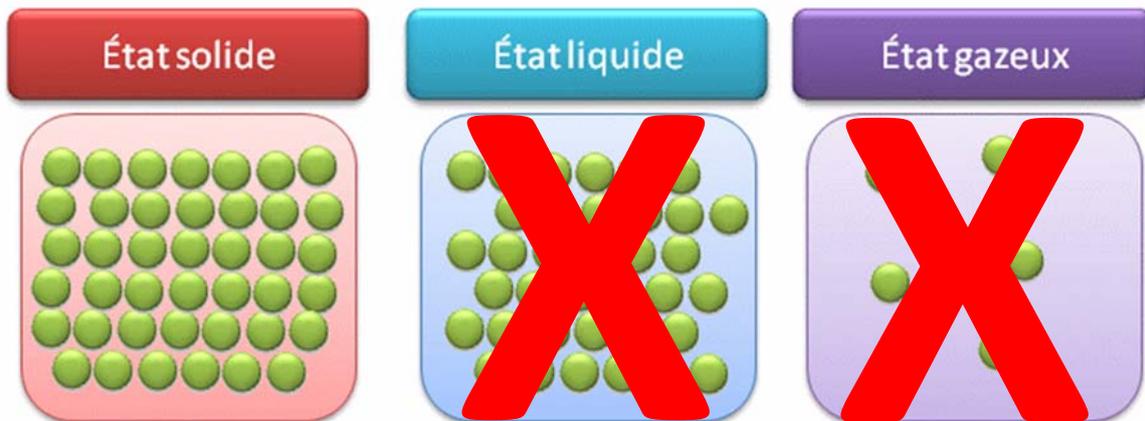
1. Qu'est-ce qu'un minéral ?

C'est un corps solide, naturel, homogène, inorganique, stable dans une température de chambre et qui se caractérise par :

- Une composition chimique bien définie ;
- Une structure cristalline (structure interne régulière).

SOLIDE

Est un état de matière qui peut garder sa forme indéfiniment et donc il ne prend pas la forme de son contenant, se caractérise par des liaisons qui maintiennent sa rigidité, les liquides et les gaz ne sont pas des minéraux.



Attention !

Le mercure (Hg) est le seul métal liquide et non pas le seul minéral liquide.



Le mercure (Hg)

NATUREL

Les minéraux se forment dans la nature et non pas dans les usines, nous devons insister sur ce point, car au cours des dernières décennies, les chimistes industriels ont appris à synthétiser des matériaux qui présentent des caractéristiques pratiquement identiques à celles de vrais minéraux. Ces matériaux ne sont pas des minéraux dans un sens géologique, même s'ils sont appelés dans le monde commercial que des minéraux synthétiques.



Un outil formé par des diamants synthétiques (industriels) –on ne peut pas le considérer comme un vrai minéral-

HOMOGENE

Un minéral est formé par des éléments dont on ne peut distinguer les différents constituants à l'œil nu.



Le Quartz

INORGANIQUE

Les produits chimiques organiques sont des molécules contenant des liaisons carbone-hydrogène. Le Sucre ($C_{12}H_{22}O_{11}$), par exemple, est un produit chimique organique. Presque tous les minéraux sont inorganiques. Ainsi, le sucre et les protéines ne sont pas des minéraux. Mais, nous devons ajouter le qualificatif «presque tous» parce les minéralogistes considèrent environ 30 substances organiques formés par "l'action des processus géologiques sur les matériaux organiques" être minéraux. Les exemples incluent les cristaux qui se développent dans les anciens gisements de guano.



Jais



Ambre



Copal

STABLE DANS UNE T° DE CHAMBRE

Tous les minéraux doivent être stable (ne change pas de caractéristiques) dans une T° de chambre qui se rapproche de 25°C sauf la glace.



La glace

Une composition chimique définie

Cela signifie simplement qu'il est possible d'écrire une formule chimique pour un minéral. Certains minéraux contiennent un seul élément, mais la plupart sont composés par deux ou plusieurs éléments. Par exemple, le diamant et le graphite ont la formule C, car ils sont constitués entièrement de carbone. Le quartz a la formule SiO_2 -il contient du silicium et de l'oxygène dans la proportion de un atome de silicium pour chaque deux atomes d'oxygène. La calcite a la formule CaCO_3 , ce qui signifie qu'elle se compose d'un calcium (Ca^{+}) et un ion de carbonate (CO_3^{-}). Certaines formules sont plus complexes : par exemple, la formule de la biotite est $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$



Diamant (C)



Graphite (C)



Calcite (CaCO_3)



Biotite $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$

UNE STRUCTURE CRISTALLINE

La structure cristalline (structure interne régulière ou ordonnée) : les atomes qui composent un minéral ne sont pas distribués au hasard et ne peuvent pas se déplacer facilement. Plutôt, ils sont fixés dans un modèle ordonné spécifique. Un matériau dans lequel sont fixés à des atomes un modèle ordonné est appelé un solide cristallin. Tous les éléments constituant les minéraux sont ordonnés dans sept systèmes cristallins.

2. Comment différencier un minéral d'un autre ?

Parmi les 4900 minéraux trouvés dans la nature, différencier un d'un autre reste une tâche difficile pour les amateurs et pour les spécialistes (minéralogistes).

Afin de différencier un minéral d'un autre, on fait appel à plusieurs caractéristiques qui se regroupent sous deux catégories, la caractéristique macro et microscopiques.

a)-Les caractéristiques macroscopiques

Sont des caractéristiques qui peuvent être vues et décrites à l'œil nu et sans besoin d'un microscope :

a.1)- La couleur :

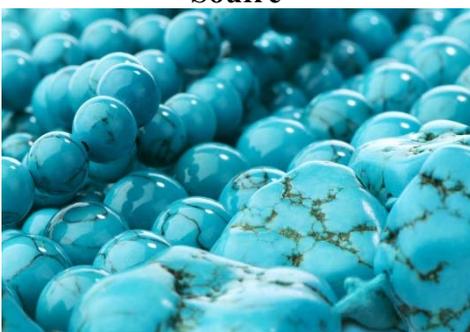
La couleur résulte de la façon dont un minéral interagit avec la lumière. La lumière du soleil contient l'ensemble du spectre de couleurs, chaque couleur a une longueur d'onde différente. Un minéral absorbe certaines longueurs d'onde, de sorte que la couleur que vous voyez quand on regarde un spécimen représente les longueurs d'onde du minéral qu'il n'a pas absorbé. Certains minéraux ont toujours la même couleur, certains présentent des couleurs uniques (jaune du soufre, vert de malachite, bleu d'azurite, bleu du turquoise), mais beaucoup montrent une gamme de couleurs différentes. Les variations de couleur dans un minéral sont dues à la présence d'impuretés. Par exemple, des traces de fer peuvent donner une couleur rougeâtre au quartz.



Soufre



Malachite



Turquoise



Azurite

a.2)- Le trait :

Le trait d'un minéral se réfère à la couleur d'une poudre produite en pulvérisant le minéral. Vous pouvez obtenir un trait en grattant le minéral contre une plaque de porcelaine non émaillée. La couleur d'une poudre minérale tend à être moins variable que la couleur de l'ensemble d'un cristal, et fournit ainsi un indice assez fiable de l'identité d'un minéral. Calcite, par exemple, donne toujours une traînée blanche, même si des morceaux de calcite peut être blanc, rose ou clair.



L'hématite laisse un trait rougeâtre



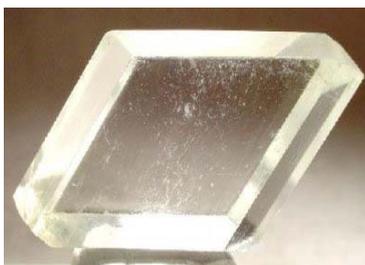
La pyrite (or des fous) laisse une trace grisâtre



Le soufre laisse un trait blanc jaunâtre

a.3)- La transparence :

C'est la propriété des minéraux de laisser passer la lumière. Il existe cinq degrés de transparence. Transparent : on peut lire à travers une couche épaisse ; Semi-transparent : lecture non nette ; Translucide : la lumière traverse le minéral ; Non transparent : le minéral ne laisse pas passer la lumière sauf en couche très mince ; Opaque : le minéral ne laisse jamais traverser la lumière.



Selenite (transparent)



Phenakite (semi-transparent)



Quartz rose (Translucide)



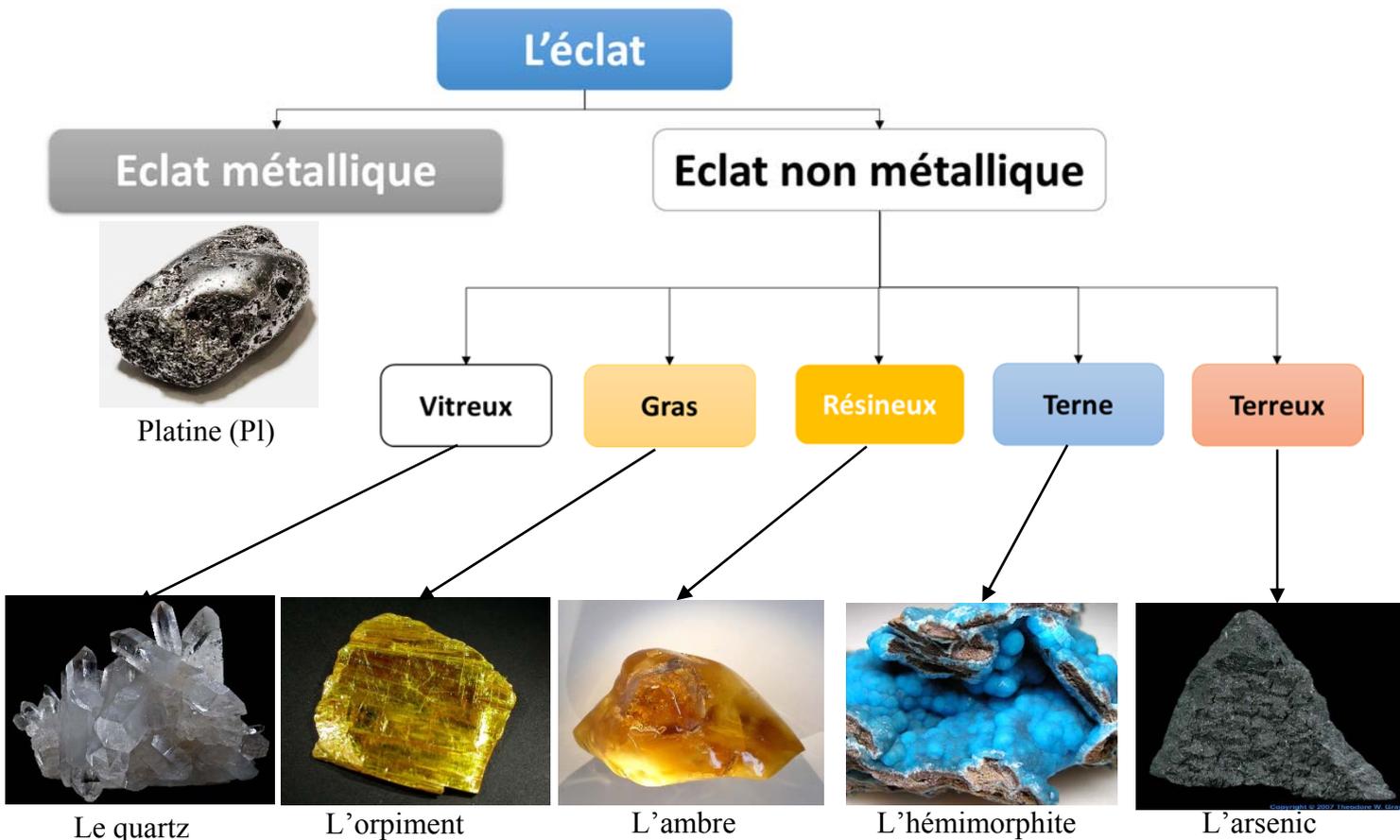
Harmotome (semi opaque)



Galène (Opaque)

a.4)- L'éclat :

L'éclat se réfère à la façon dont une surface minérale disperse la lumière. Les géologues décrivent l'éclat en comparant l'aspect de la matière minérale avec l'apparence d'une substance familière. Par exemple, les minéraux qui ressemblent aux métaux ont un éclat métallique, tandis que ceux qui possèdent un éclat non métallique les adjectifs sont explicites. Les termes utilisés pour les types d'éclat non métallique comprennent essentiellement vitreux, gras, résineux, terne ou terreux.



a.5)- Le toucher :

Le toucher d'un minéral peut parfois aider à l'identification. Certains minéraux sont rugueux au toucher, d'autres sont lisses. Le diamant qui absorbe mieux la chaleur que toute substance a une sensation de froid unique, à la température ambiante. Certains spécimens d'un minéral particulier, peuvent avoir un toucher rugueux, car ils sont composés de cristaux minuscules, tandis que d'autres spécimens du même minéral ont une texture lisse. Par conséquent, un toucher rugueux n'est pas

nécessairement un facteur d'identification. Un toucher rugueux ou lisse, cependant, ne sont pas associés nécessairement à tous les spécimens du même minéral. Par exemple, le talc minéral a toujours un toucher rugueux, les minéraux fibreux auront tous une texture distincte, le toucher soyeux.

a.6)- Le goût :

Le goût dans les minéraux est présent dans certains minéraux qui sont parfois facilement décrits, tels que salée, amère et piquant mais d'autres ont des goûts qui ne sont pas vraiment en mesure de décrire avec des mots. Un très petit nombre de minéraux, tels que l'arsenic et la chalcantite, sont toxiques. Un minéral avec un goût ne doit pas être léché à moins que le minéral est connu de ne pas être toxique.

a.7)- L'odeur :

Plusieurs minéraux dégagent une odeur particulière dans certaines conditions. Le soufre, dans des conditions ambiantes normales, dégagent une légère odeur ressemblant à l'odeur d'une allumette. Cependant s'il est chauffé, il dégagera une forte odeur d'œufs pourris comme les minéraux qui contiennent du phosphate. Beaucoup de sulfures, tels que la pyrite, dégagent également une odeur d'œuf pourri s'ils sont chauffés.

L'arsenic dégage une odeur d'ail très doux dans des conditions ambiantes normales. Cependant, s'il est chauffé, il dégage une odeur d'ail puissant. Certains minéraux contenant de l'arsenic dans leur formule chimique, tels que l'arsénopyrite, dégagent également une odeur d'ail quand ils sont chauffés. (Il ne faut jamais chauffer un minéral qui contient éventuellement l'arsenic depuis ses vapeurs sont toxiques).

Bien que seulement quelques minéraux aient une odeur caractéristique, l'odeur peut être une clé d'identification utile où elle est applicable.



L'arsénopyrite

a.8)- La dureté :

La dureté est la mesure de la capacité relative d'un minéral à résister aux rayures, et il représente par conséquent la résistance des liaisons dans la structure cristalline à être brisées. Les atomes ou les ions dans les cristaux d'un minéral dur sont plus fortement liés que ceux dans un minéral tendre. Les minéraux durs peuvent rayer les minéraux mous, mais les minéraux mous ne peuvent pas rayer ceux qui sont durs. Le diamant est le minéral le plus dur, peut gratter presque tous, ce qui est pourquoi il est utilisé pour couper le verre. Dans les années 1800, un minéralogiste nommé Friedrich Mohs listé certains minéraux dans l'ordre de dureté relative ; un minéral ayant une dureté de 5 peut rayer tous les minéraux d'une dureté de moins de 5. Cette liste nommée l'échelle de dureté de Mohs, aide à l'identification des minéraux. Pour rendre l'échelle facile à utiliser, les éléments communs tels que votre ongle, un couteau, ou une plaque de verre ont été ajoutées



Dureté	Minéral	Test
1	Talc	Friable sous l'ongle
2	Gypse	Rayé par l'ongle
3	Calcite	Rayé par une pièce de monnaie
4	Fluorite	Facilement rayable avec un couteau
5	Apatite	Rayé au couteau
6	Orthose	Rayé avec une lime
7	Quartz	Raye une vitre
8	Topaze	Rayé par des outils au tungstène
9	Corindon	Rayé par le carbure de silicium
10	Diamant	Rayé par un autre diamant

L'échelle de Mohs

a.9)- La ténacité :

Un minéral est tenace s'il résiste bien au choc ; s'il casse facilement, il est fragile ou friable. Cette propriété n'est pas directement en rapport avec la dureté. Par exemple, le diamant est le minéral le plus dur et par contre il est fragile parce qu'il se casse facilement.

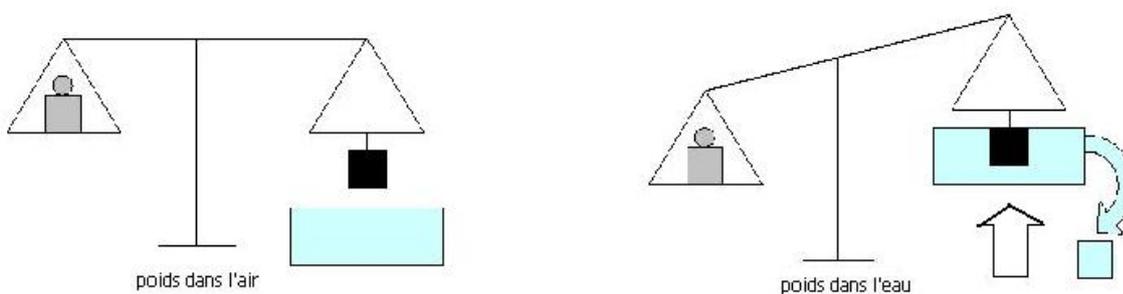
a.10)- Le clivage et la cassure :

Les minéraux se brisent de différentes manières, en fonction de l'agencement interne des atomes. Si un minéral se brise pour former des surfaces planes distinctes qui ont une orientation spécifique par rapport à la structure cristalline, on peut dire que le minéral a un **clivage** et on appelle ces surfaces des plans de clivage. Les plans de clivage se forment dans des directions où les liaisons entre les atomes du cristal sont les plus faibles. Certains minéraux ont une direction de clivage. Par exemple, le mica a des liens très faibles dans une direction mais des liens forts dans les deux autres directions et par conséquent il se clive facilement en feuilles parallèles ; la surface de chaque feuille est un plan de clivage. D'autres minéraux ont deux ou trois directions de clivage qui se croisent à un angle spécifique. Par exemple, l'halite (sel gemme) a trois ensembles de plans de clivage qui se croisent à angle droit, de sorte que les cristaux de l'halite brisent en petits cubes.

Les minéraux qui n'ont aucun clivage (car les liaisons sont assez fortes dans toutes les directions) se cassent soit en formant des **cassures** irrégulières ou en formant des cassures conchoïdales. Les plans de clivage sont parfois difficiles à distinguer des faces cristallines.

a.11)- Le poids spécifique :

Le poids spécifique représente la densité d'un minéral, représenté par le rapport entre le poids d'un volume de la matière minérale et le poids d'un volume égal d'eau à 4 ° C. Par exemple, un centimètre cube de quartz a un poids de 2,65 g, tandis que d'un centimètre cube d'eau a un poids de 1,00 gramme. Ainsi, la densité de quartz est 2,65. Dans la pratique, vous pouvez développer une "sensation" de densité par soulevant minéraux dans vos mains. Un morceau de galène se sent plus lourd qu'un morceau de quartz de taille similaire. Pour calculer la densité d'un minéral, on mesure sa masse (son " poids ") dans l'air (Mair); On mesure sa masse (son " poids ") lorsqu'il est immergé dans une colonne d'eau distillée (Meau) $D = M_{air} / (M_{air} - M_{eau})$



Pour calculer soi-même la densité : Poids dans l'air moins Poids dans l'eau = volume Poids dans l'air divisé par le volume = densité

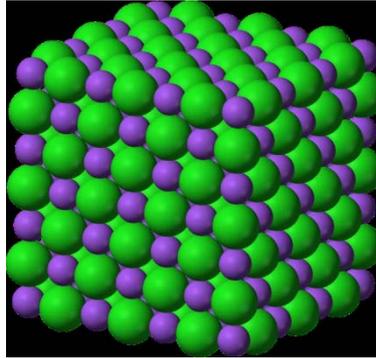
a.12)- La solubilité :

Certains minéraux ont des propriétés uniques qui les distinguent facilement des autres minéraux. Par exemple, la calcite (CaCO_3) réagit avec l'acide chlorhydrique dilué (HCl) pour produire du dioxyde de carbone (CO_2) de gaz. Dolomite ($\text{CaMg} [\text{CO}_3]_2$) réagit également avec de l'acide, mais pas aussi fortement.

3. Les différents systèmes de cristallisation

Géométrie des mailles cristallines

Maille de NaCl



La maille cristalline élémentaire est l'enveloppe du plus petit parallélépipède qui conserve les propriétés géométrique, physiques et chimique d'un cristal. Les sommets de la maille sont appelés les nœuds.

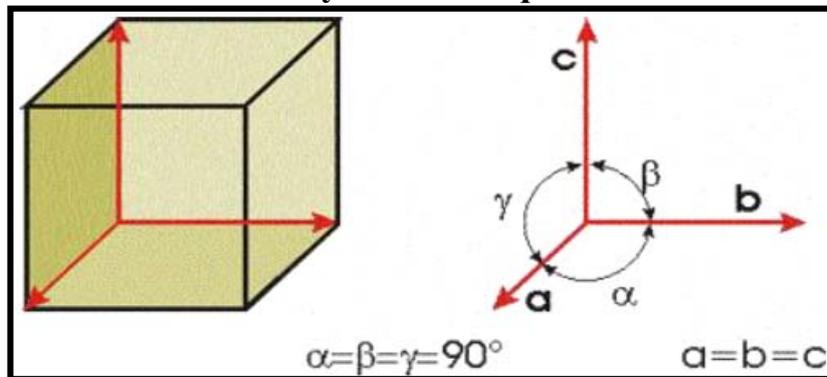
Elle contient divers atomes arrangés de manière régulière selon une disposition fondamentale.

La répétition dans l'espace de la maille élémentaire constitue le réseau cristallin.

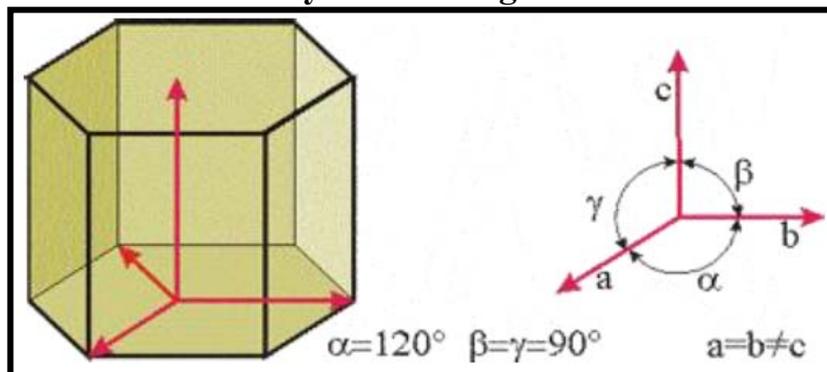
La géométrie de la maille est définie par 3 vecteurs portés par les directions Ox, Oy et Oz, et caractérisés par 3 longueurs, a, b, c, et 3 angles α , β , γ .

Il existe 7 systèmes cristallins de base. Ces systèmes possèdent des plans, des axes, des centres de symétrie singuliers.

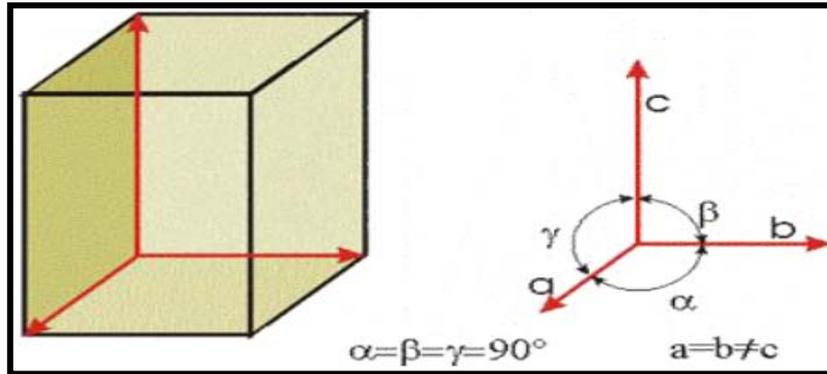
Le système cubique :



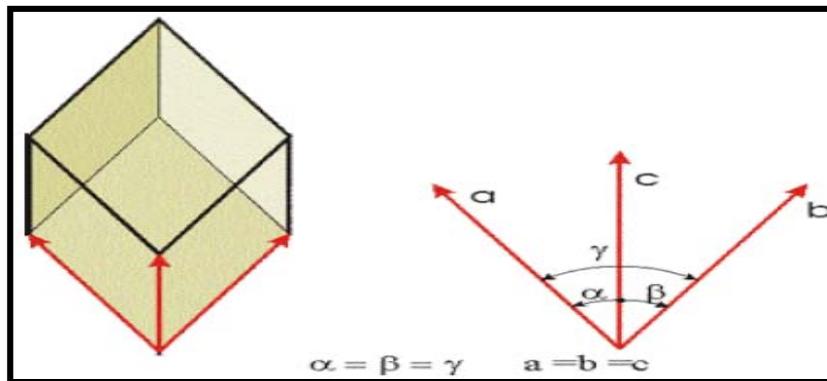
Le système hexagonal :



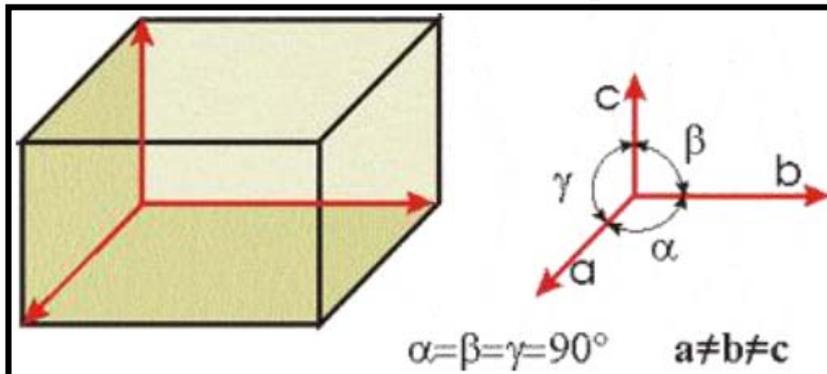
Le système quadratique ou tétragonal :



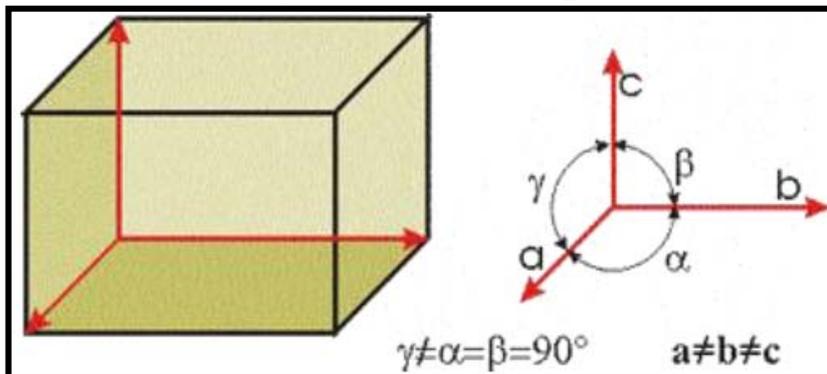
Le système rhomboédrique :



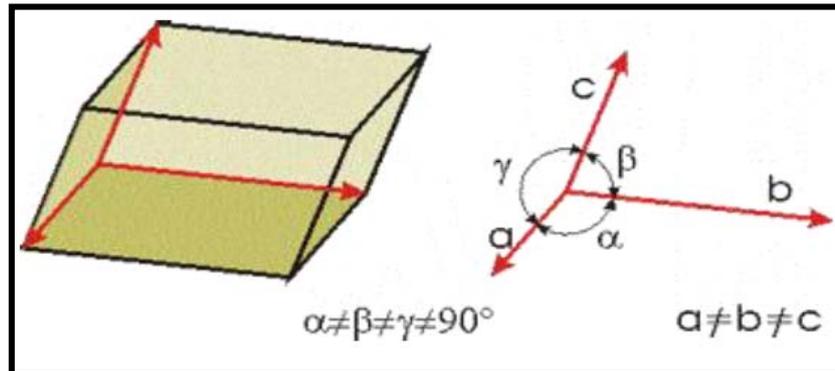
Le système orthorhombique :



Le système monoclinique :



Le système triclinique :



4. Classification des minéraux :

La composition chimique des minéraux permet de les grouper en dix classes principales

(classification de Strunz, 9^e édition, 2001) :

4.1. Les éléments natifs :

Sont des éléments chimiques qui se rencontrent dans la nature non combinés avec d'autres éléments, c'est-à-dire ils ont la capacité de former des minéraux sans besoin d'un autre élément

On les divise d'ordinaire en trois groupes :

- Les métaux (cuivre, platine, or, fer et argent)
- Les semi métaux (arsenic)
- Les non métaux (soufre et carbone (diamant et graphite))

2. Les sulfures (S²⁻):

Les sulfures sont des minéraux dans lesquels le soufre est combiné avec un ou plusieurs métaux. Ils tendent à présenter des structures simples, des formes cristallines très symétriques et de nombreuses propriétés de métaux, dont l'éclat métallique et la conductivité de l'électricité. Beaucoup de sulfures sont très colorés, tendres avec une forte densité.

Ex : La galène PbS, le cinabre HgS, la pyrite FeS₂ (Cubique), la marcasite FeS₂ (Orthorhombique)



Le cinabre (HgS)

4.3. Les halogénures :

Les halogénures sont des minéraux combinés avec l'un des éléments halogènes : Fluor, chlore, brome et iode. Par leur composition et leur structure, on les classe en trois catégories : les halogénures simples, les complexes et les oxy-hydroxy-halogénures.

Un halogénure simple se forme quand un métal est combiné avec un seul halogène. L'halite (NaCl) -sodium et chlore- et la fluorite –calcium et fluor- en sont des exemples. Beaucoup d'halogénures simples sont solubles dans l'eau.

Un halogénure complexe est généralement liée à l'aluminium, il forme une molécule qui se comporte en une seule unité et qui à son tour se relie à un métal comme la cryolite (Na₃AlF₆), les halogénures complexes sont assez rares et généralement non-solubles dans l'eau.

Les oxyhydroxyhalogénures sont rares, ils se forment souvent par l'action d'eaux contenant des halogénures sur les produits de l'oxydation de sulfures préexistants. L'atacamite Cu₂Cl(OH)₃ en est un exemple.

4.4. Les oxydes (O) et les hydroxydes (OH):

Les oxydes constituent une famille des minéraux formés d'atomes d'oxygène étroitement compactés, avec des atomes de métal ou semi métal qui occupent des espaces interstitiels.

On distingue les oxydes simples : comme la cuprite (Cu₂O), sont la combinaison d'un seul métal et d'oxygène et les oxydes multiples : ont deux emplacements métalliques pouvant être occupés par plusieurs métaux comme les spinelles.

L'hématite Fe₂O₃, Corindon saphir et rubis Al₂O₃, La glace H₂O, spinelle MgAl₂O₄

Les hydroxydes se forment quand des éléments métalliques sont combinés avec le radical OH. Tous les hydroxydes se forment à basse température et se rencontrent comme produits d'altération de d'autres minéraux. Gibbsite Al (OH)₃, Goethite FeO(OH), Manganite MnO(OH)

4.5. Les carbonates :

Les carbonates constituent un important groupe de minéraux de la croûte terrestre. Calcite et dolomite sont des carbonates présents dans les sédiments, comme la craie et le calcaire.

Tous les minéraux carbonatés contiennent du CO₃. Ce groupe a un atome de carbone au centre d'un triangle équilatéral d'atomes d'oxygène, ce qui est à l'origine de la symétrie trigonale de nombreux minéraux du carbone. Ce maillon de base est relié à un ou plusieurs cations pour former un minéral carbonaté.

Calcite CaCO₃ (Rhomboédrique), Sidérite FeCO₃, Aragonite CaCO₃ (Orthorhombique), Dolomite CaMg(CO₃)₂.

4.6. borates (BO₃)³⁻ :

Les borates sont des composés contenant du bore et de l'oxygène. La plupart sont rares, mais quelques-uns, comme le borax (Na₂B₄O₇·10H₂O), l'ulexite (NaCa[B₅O₆(OH)₆].5 H₂O), la colémanite (Ca₂B₆O₁₁·5H₂O) constituent de vastes gîtes exploités commercialement.

Structurellement, le bore et l'oxygène peuvent former un triangle (BO_3) ou un tétraèdre (BO_4), chacun avec un atome central de bore.

Les borates apparaissent dans deux environnements géologiques. Dans les solutions enrichies en borate résultant de l'écoulement volcanique confiné. Avec le temps, des dépôts stratifiés de borates s'accumulent. Des bassins d'accumulation se rencontrent généralement dans les régions désertiques, comme le désert Mojave et la vallée de la mort (Californie). Du fait qu'ils sont solubles dans l'eau, ils sont mieux conservés en environnement sec. Borax, colémanite et hernite se rencontrent dans ces gisements d'évaporation. Dans le second environnement, les borates se forment par altération des roches sous l'action de la chaleur et la pression à des températures relativement hautes. Ces borates sont formés de triangle BO_3 étroitement associé à des ions métalliques de magnésium, manganèse, aluminium ou fer.

4.7. Sulfates (SO_4)²⁻, chromates (CrO_4)²⁻, molybdates (MoO_4)²⁻, tungstates (WO_4)³⁻ ;

Sulfates, chromates, molybdates et tungstates sont regroupés car ils partagent la même structure. On recense quelques 200 sulfates. Gypse (CaSO_4) et baryte (BaSO_4) sont très communs, mais la plupart sont rares.

Les chromates, molybdates sont assez rares, mais constituent en concentrations des minerais importants des métaux qu'ils contiennent.

Structure des cristaux :

Les sulfates ont une structure cristalline dans laquelle quatre atomes d'oxygène sont situés aux angles d'un tétraèdre, avec un atome de soufre au centre. Le tétraèdre de sulfate se comporte comme une molécule chargée négativement. Les formules chimiques des sulfates comportent le groupe SO_4 . L'unité structurale de base des chromates est également un tétraèdre formé de quatre atomes d'oxygène et un atome de chrome. Les chromates comportent toutes le radical CrO_4 . Le même type de tétraèdre se forme chez les molybdates et les tungstates, mais respectivement avec un atome de molybdène (Mo) ou de tungstène (W).

4.8. Phosphates (PO_4)³⁻, arséniates (AsO_4)³⁻, vanadates (VO_4)³⁻ ;

On regroupe les phosphates, arséniates et vanadates en raison de la similarité de leurs structures cristallines. Avec plus de 200 espèces recensées, les phosphates sont les plus nombreux, incluant la turquoise et la lazulite.

Les phosphates contiennent du phosphore et de l'oxygène combinés dans le rapport de 1 pour 4, ce qui s'écrit PO_4 . Ceci agit comme une seule unité qui se combine avec d'autres éléments pour former les minéraux phosphatés.

On distingue trois groupes de phosphates. Les primaires cristallisent à partir de fluides dérivés des derniers stades de la cristallisation, et qui abondent dans les pegmatites granitiques. Les secondaires proviennent de phosphates primaires altérés en présence d'eau. Les phosphates à grains fins se forment à partir de matériaux organiques contenant du phosphore surtout sous l'eau.

Les arsénates: La structure des arsénates est d'arsenic et d'oxygène: AsO_4 . Cette unité se combine avec d'autres éléments pour former les arsénates. La plupart sont rares, beaucoup sont brillamment colorés. Leurs produits d'oxydation constituent des indices utilisés pour les prospecteurs.

Les vanadates: contiennent essentiellement le même type de structure tétraédrique que les phosphates et arsénates, soit VO_4 . Leurs structures complexes et leur localisation les rendent assez rares. La plupart des vanadates n'ont aucune importance économique. Mais les collectionneurs de minerais apprécient leurs belles couleurs.

4.9. Les silicates (SiO_2) :

Le groupe le plus important de minéraux, les silicates constituent environ 25% des minéraux recensés et 40% des plus communs. Constituants terrestres de premier plan, on les retrouve également dans les pierres lunaires et les météorites.

Quartz, feldspath et mica, composants essentiels du granite sont des silicates. Tous contiennent du silicium et de l'oxygène. Le silicium est un métal clair luisant. Chez les silicates, ces deux éléments se combinent pour former une structure tétraédrique. Chaque tétraèdre a un atome de silicium au centre et des atomes d'oxygène dans les coins.

Le tétraèdre de silicate peut se présenter en unités isolées et qui ne se relie qu'avec d'autres tétraèdres de silicates ou avec d'autres éléments chimiques comme le fer, le magnésium, l'aluminium, etc.

Les silicates sont subdivisées en six groupes :

- Nesosilicates [SiO_4]₄ (**Olivine**)
- Sorosilicates [Si_2O_7]₆ (Hémimorphite)
- Cyclosilicates [Si_nO_{3n}]_{2n} (DIOPTASE)
- Inosilicates (Pigeonite)
- Phyllosilicates** [$Si_{2n}O_{5n}$]_{2n} (serpentine, **argiles**)
- Tectosilicates (**Quartz**)

4.10. Les minéraux organiques:

Sont des minéraux produits par des processus **biologiques**, les minéraux organiques peuvent être cristallisés et contiennent le plus souvent les mêmes matières minérales telles que la calcite ou l'aragonite que celles produites par des processus non organiques. (Ambre, Jais Copal...etc)