

# **Petits Rappels de Cristallographie**

**DR. ALAIN ABREAL**

## **I. Apparition d'une nouvelle science**

La renaissance est caractérisée par la redécouverte des connaissances et des écrits des Anciens, suite à une longue période d'obscurantisme. Ainsi, à partir du XII<sup>ème</sup> siècle, et surtout lors de l'avènement du XIII<sup>ème</sup>, pléthore d'érudits se sont engagés dans des recherches simultanément scientifiques et philosophiques. Ne sommes nous pas à l'époque des Descartes (1596-1650), de D'Alembert (1717-1783) et de Diderot (1713-1784) auteur d'une encyclopédie qu'il mit vingt ans à écrire.

La nature humaine bien sûr, fut l'un des sujets privilégié de ces philosophes qui ont engendrés de grands penseurs comme Voltaire (1694-1778) et Rousseau (1712-1778), mais la Nature elle-même fut également très étudiée, avec des approches parfois plus qu'empiriques, mais souvent avec un formalisme rigoureux qui a fait que ces études sont à la base de nos connaissances d'aujourd'hui ou de nos approches de la vie, de l'homme ou de la minéralogie.

A l'origine de la cristallographie, et de la minéralogie, on chercha à différencier les minerais qui avaient certaines propriétés physiques en commun. Certains minéralogistes utilisèrent la couleur ; mais un essai de classification plus rationnelle fut entrepris en 1669 par Sténon, qui s'aperçut que, malgré des différences d'aspects de cristaux d'une même substance, par suite de l'inégalité du développement des faces, certains angles demeuraient constants. Ce sont ceux qui sont formés entre les faces de même espèce. Toutefois, Sténon ne généralisa pas ses observations.

En 1783, Romé de l'Isle qui travaillait sur des cristaux artificiels, développa ce concept et énonça la loi de la constance des angles de la façon suivante : "L'inclinaison des faces entre elles est constante et invariable dans chaque espèce."

Il émet en même temps l'opinion que "les diverses formes cristallines d'un même minéral ne sont que des dérivations faciles à déduire d'une même forme appelée fondamentale."

Mais il existe encore à cette date entre les minéralogistes un profond désaccord sur le nombre et la nature des formes fondamentales. A cette époque, en effet, Buffon, la plus grande autorité scientifique du siècle affirmait encore que "La forme de la cristallisation n'est pas un caractère constant mais plus équivoque et plus variable qu'aucun autre des caractères par lesquels on doit distinguer les minéraux."

C'est en 1784 que l'abbé Haüy, s'appuyant sur des expériences de clivage, crée la cristallographie. Les ouvrages publiés par ce savant sont : en 1784, « l'Essai d'une théorie sur la structure des cristaux », en 1822, « le Traité de cristallographie », et la même année, « le traité de Minéralogie ».

L'abbé Haüy avait remarqué minutieusement l'extrême constance des formes des individus d'une espèce végétale. Il se posa ensuite cette question toute philosophique : " Pourquoi la vie, si indépendante des conditions extérieures, produit-elle des formes fixes, tandis que les minéraux, dont la composition ne change jamais, ont des formes indéfiniment variables ? "

Dans son " Essai d'une théorie de la structure des cristaux ", Haüy répond à cette question et s'exprime ainsi : " L'aspect seul de ces polyèdres (les cristaux), sur lesquels il semble qu'une main exacte ait porté la règle et le compas, pour en fixer les dimensions, indique un objet susceptible d'être soumis aux méthodes rigoureuses des sciences mathématiques : Mais il fallait trouver dans l'objet même des données suffisantes pour exclure toute

supposition arbitraire, et pour conduire à des solutions qui représentassent les vrais résultats du travail de la Nature.

« Une observation que je fis sur le spath calcaire en prisme à six pans, terminé par deux faces hexagones, me suggéra l'idée fondamentale de toute la théorie dont il s'agit. J'avais remarqué qu'un cristal de cette variété, qui s'était détaché par hasard d'un groupe, se trouvait cassé obliquement, de manière que la fracture présentait une coupe nette, et qui avait ce brillant auquel on reconnaît le poli de la Nature. J'essayai si je ne pourrais point faire, dans ce même prisme des coupes dirigées selon d'autres sens ; et, après différentes tentatives, je parvins à obtenir de chaque côté du prisme trois sections obliques : et, par de nouvelles coupes parallèles aux premières, je détachai un rhomboïde parfaitement semblable au spath d'Islande, et qui occupait le milieu du prisme.

Frappé de cette observation, je pris d'autres spaths calcaires, tel que celui qui forme un rhomboïde très obtus, celui dont la surface est formée de douze plans pentagones ; et j'y trouvai le même noyau rhomboïdal que m'avait offert le prisme dont j'ai parlé plus haut.

Des épreuves semblables, faites sur des cristaux de plusieurs autres genres, assez tendres pour être divisés nettement me donnèrent des noyaux qui avaient d'autres formes, mais dont chacune était invariable dans le même genre de crystal. Je crus alors être fondé, d'après les tentatives faites sur des cristaux mentionnés, et, d'après des raisons d'analogie, pour les cristaux que leur dureté ne permettait pas de diviser, à établir ce principe général, que toute variété d'un même crystal qui avait la forme primitive et originaire de son genre. "

Ainsi fut créée la cristallographie ; ainsi fut-il possible d'affirmer que les minéraux présentaient une organisation immuable et ne provenaient pas d'une agglomération désordonnée de substance. L'architecture géométrique de l'individu minéral n'est guère moins caractéristique et harmonieuse que celle d'un individu vivant. Dans l'édification d'un cristal, régulièrement pour une même espèce minérale, les particules élémentaires se juxtaposent toujours identiquement, et la forme cristalline caractérise le minéral avec autant de rigueur que la forme anatomique désigne un animal ou une plante. La forme, dans tous les cas, fournit le signalement de l'individu et en permet la diagnose.

Cette comparaison et les relations entre les différents règnes a fait l'objet de l'admirable livre de Dastre " La Vie et la mort ", qui fait nettement apparaître la généralité des lois de la nature au point de vue morphogénèse.

Qu'il s'agisse d'animaux, de végétaux ou de minéraux, un individu groupera toujours ses éléments constitutifs dans un ordre déterminé pour une même espèce, réalisant la seule forme d'équilibre que puisse prendre sa substance.

Dans le sel marin on assistera toujours à l'organisation des particules élémentaires sous la forme géométrique d'un cube, de même que, dans l'édification du corps humain, des myriades de cellules doivent toutes trouver leur place fixée à l'avance. Il est vrai que ces cellules diffèrent par leur structure et leur nature, tandis que toutes les portions d'un minéral sont identiques et construites de la même façon. De plus, lors qu'un organisme est le siège de transformations incessantes, dont l'évolution dirigée constitue ce que l'on appelle la vie, l'état d'un minéral demeure invariable aussi longtemps que le milieu ambiant ne subit pas de modification.

Les travaux de Haüy créèrent donc la cristallographie. Ce savant admit 6 genres de formes primitives ; mais aujourd'hui on en admet 7. Ce sont les systèmes cristallins. Le même savant énonça les lois fondamentales de la cristallographie.

En conclusion, nous dirons que la minéralogie est, avec la physique proprement dite, une des sciences physiques les mieux étudiées. Elle apporte des données tout à fait indispensables sur la structure et les propriétés de la matière solide. Elle ouvre de vastes horizons sur la constitution de la matière. Elle constitue une des bases de la chimie et de l'industrie chimique. Elle permet de comprendre bien des problèmes économiques qui apparaissent à notre époque si considérables et importants...

En nous donnant le moyen d'étudier la nature sous son aspect purement minéral, elle nous montre que les formes les plus simples de la matière présentent une organisation remarquable... L'organisation mieux connue des milieux cristallins permet d'accéder à des lois générales de grande importance scientifique et même philosophique, faisant obligatoirement partie de la culture générale d'un scientifique.

D'après M. PICON

" Eléments de Minéralogie "

Cours professé à la faculté de pharmacie de Paris

## II. L'état cristallin

### 2.1. Les trois états de la matière

La matière est constituée d'atomes ou de molécules, ou d'agglomérations d'ions. Cette matière se trouve dans la nature sous trois formes distinctes, solide, liquide et gazeuse. On négligera ici l'état plasma, constitué d'un nuage d'ions, qui n'existe que dans les laboratoires, les boules de feu lors d'orages et dans certains écrans de télévision.

On prend conscience de ces différents états en prenant par exemple, un simple morceau de glace. A l'état solide, ces propriétés mécaniques sont assez importantes, puisqu'il faut un marteau, ou un pic à glace pour le briser, ce qui revient à rompre des liaisons physiques et/ou chimiques de forte intensité.

En revanche, dès que l'on chauffe cette glace, c'est-à-dire lorsqu'on lui fournit de l'énergie sous forme calorifique, la glace se transforme alors en eau. Il est alors aisé de rompre les liaisons qui persistent au sein du liquide. Celui-ci est facilement déformé en y pénétrant ne serait-ce qu'un doigt.

Puis, si l'on chauffe encore le liquide, les molécules parviennent à se libérer des forces de liaisons qui le reliaient. On obtient alors un gaz, dont les constituants sont quasi-indépendants les uns les autres à l'échelle microscopique. Seuls subsistent des chocs entre ces molécules elles-mêmes ou avec leur contenant, ce qui se traduit par l'existence macroscopiquement de la pression du gaz

#### 2.2.1. Les verres

En minéralogie, et plus encore en cristallographie, on ne se préoccupe que de l'état solide. Néanmoins, il convient de dissocier les corps dits solides en deux sous-familles : les verres et les composés cristallisés.

Les verres sont en effet, au sens habituel du terme des solides. Toutefois, ils ne possèdent qu'un ordre à grande échelle : c'est-à-dire que les éléments de base du verre (atomes ou ions) ne sont pas organisés rigoureusement selon une géométrie précise (ou ordre à petite échelle) dans une maille élémentaire que l'on peut répéter pour décrire le solide, mais avec une organisation plus aléatoire. Il convient néanmoins de ne pas négliger que les propriétés des liaisons (énergie, longueur et angles entre elles) sont toujours respectées, ainsi dans le verre de silice ou verre à bouteille, les tétraèdres de silice  $\text{SiO}_4$  sont à la base du solide comme dans le quartz, mais certaines liaisons entre ces tétraèdres sont rompues par la présence de fondants ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) qui empêchent la formation de certaines liaisons entre ces tétraèdres, lors du refroidissement du verre lors de sa préparation.

De cette absence de certaines liaisons, provient le fait que le verre, lorsqu'on le chauffe, il ne passe pas à l'état liquide, à une température bien précise appelée température de fusion. Mais il passe progressivement d'un état «solide», à un état plus pâteux, puis plus fluide, avant de devenir liquide. On dit que le verre «fond», mais en fait cette évolution avec la température ne correspond pas à un changement d'état mais seulement à une modification de sa viscosité.

On peut, par conséquent, davantage considérer un verre, au sens cristallographique du terme, à un liquide plutôt qu'à un solide.

### 2.3. Les composés cristallisés ou cristaux

En 1784, le savant français Haüy avait déjà émis l'hypothèse que les cristaux étaient formés d'un agrégat régulier de minuscules particules élémentaires, possédant des formes géométriques, qu'il avait réduites à trois types fondamentaux, leur donnant le nom de molécules intégrantes. Il édifia à partir de celles-ci tout son système d'observations sur la cristallisation, comme un maçon construit un édifice. C'est ainsi que fut introduit, pour la première fois, le concept de structure discontinue dans les cristaux.

Les recherches poursuivies au cours du XX<sup>e</sup> siècle précisèrent cette théorie. Les trois molécules intégrantes introduites par Haüy ne suffisaient pas à justifier les structures géométriques de tous les cristaux connus : elles ne permettaient d'expliquer qu'un tout petit nombre de formes. Bravais perfectionna l'idée géniale de l'édifice cristallin, construit à partir de petits éléments, en considérant toutes les possibilités de translation d'un point dans l'espace : il en résulta 14 réseaux. Par des opérations mathématiques judicieuses, appliquées à ces 14 types

de réseaux en tenant compte de toutes les possibilités de symétrie, on obtient la démonstration, vérifiée par l'expérience, qu'il existe 32 classes, c'est-à-dire 32 degrés différents de symétrie, auxquels correspondent 230 groupes spatiaux dans lesquels rentrent tous les cristaux connus. Les 32 classes sont à leur tour regroupées en 7 systèmes cristallins.

Cette classification venait appuyer l'idée de discontinuité selon laquelle les différentes molécules ou les différents atomes n'étaient pas en contact étroit, mais séparés les uns des autres ; ainsi apparut l'idée de périodicité, la distance égale entre les molécules d'une même rangée d'un réseau étant la période. On admettait aussi que cette période était très petite, de l'ordre du dix-millième de micron. Mais rien encore ne confirmait cette hypothèse.

### III. Petit lexique et rappels des lois cristallographiques

#### 3.1 Lexique

Le **cristal** présente d'une manière macroscopique, un arrangement atomique régulier et tridimensionnel. Il est homogène, c'est-à-dire constitué d'éléments ou de composés chimiques (ions), et présente généralement des faces planes et des formes de symétries géométriques.

Cet arrangement régulier d'atomes ou d'ions dans un cristal est appelé **structure cristalline**.

Dans cette structure cristalline, il est possible de définir un motif qui se répète par simple translation selon des directions particulières, formant ainsi un tissage appelé **réseau cristallin**. Il existe 14 réseaux cristallins appelés réseaux de Bravais.

Ce motif, qui est donc la plus petite unité du réseau cristallin est la **maille élémentaire**.

La régularité de l'arrangement atomique interne est perçue macroscopiquement par les symétries des faces du cristal ; la répétition du motif des plans cristallins semblables construit la forme géométrique du cristal et est appelée **forme cristalline**.

La symétrie de la forme cristalline est habituellement décrite par des éléments de symétrie, qui sont au nombre de trois : les axes de symétrie, les plans de symétrie (symbole m comme miroir en cristallographie), et les centres de symétrie (symbole c).

Il existe cinq types de symétrie – ou d'axe de rotation -, formant ainsi au total sept éléments de symétrie, conduisant à **32 arrangements** possibles de ces sept éléments. Chaque arrangement est appelé **classe cristalline ou groupe de symétrie**. Ces 32 classes sont regroupés en **six systèmes cristallins (cubique, quadratique (ou tétragonal en anglais), orthorhombique, hexagonal, monoclinique et triclinique)**.

Ils sont définis par **trois axes cristallographiques** (4 pour le système hexagonal) ; ce sont des lignes imaginaires orthogonales deux à deux, qui passent par le centre d'un cristal. Les axes sont utilisés comme références pour décrire la structure et la symétrie du cristal.

L'orientation et les longueurs des axes cristallographiques diffèrent d'un système cristallin à l'autre, car on les définit à partir des orientations privilégiées des arrangements d'atomes ou d'ions, et leurs longueurs sont définies à partir de la taille de la maille élémentaire.

Il existe trois orientations possibles des plans cristallins par respect des axes cristallographiques, de sorte qu'il y a **7 formes de base** pour chaque classe cristalline. La forme du cristal d'un minéral, même complexe, peut donc toujours être décrite par l'une de ces sept formes de base correspondant à la classe cristalline de ce minéral.

L'orientation des faces d'un cristal est repérée par les **indices de Miller** : ce sont 3 lettres représentant des entiers h, k et l (4 pour le système hexagonal h, k, i et l avec  $i=h+k$ ) entre crochets {hkl} (ou {hkil} pour le système hexagonal), définis à partir des inverses des distances des points d'intersection des faces cristallines avec les axes cristallographiques a, b et c, à l'intersection de ces axes. Si l'intersection d'une face avec l'un des axes cristallographiques se situe du côté des valeurs négatives des ordonnées de cet axe, une petite barre est placée au-dessus de l'indice (mais ce n'est pas facile à présenter sous Word). Les formes d'un cristal peuvent ainsi être totalement définies par les indices de Miller.

Avec 7 formes de base par classes et 32 classes, il peut donc exister  $7 \times 32 = 224$  formes de cristaux. Cependant, ce nombre est réduit à 48, car plusieurs morphologies de classes différentes sont identiques.

Coordonnées des points d'intersection entre la face  $\{hkl\}$  et les axes :

$$\frac{1}{ah} \quad \frac{1}{bk} \quad \frac{1}{cl} = \frac{1}{1} \quad \frac{1}{3} \quad \frac{1}{6} = \frac{6}{6} \quad \frac{2}{6} \quad \frac{1}{6}$$

d'où les indices de Miller de la face cristalline représentée :

$$\{hkl\} = \{621\}$$

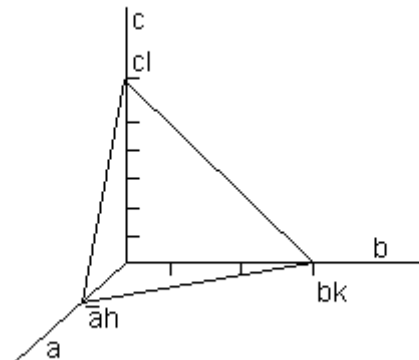


fig. 1 : Détermination des indices de Miller

### 3.2. Loi des indices rationnels

La loi de la constance des dièdres permet de rapprocher certaines formes différentes d'une même substance, par exemple de calcite. Mais il reste à comprendre quels rapports peuvent exister entre des formes cristallines présentant des apparences très différentes, par exemple, entre des échantillons de fluorine, les uns cubiques et les autres octaédriques, ou encore de pyrite, soit cubique, soit dodécaédrique.

#### 3.2.1 Le clivage

Certains cristaux présentent une curieuse propriété qu'on appelle clivage. On peut ainsi les diviser par simple choc ou par décollement au moyen d'un canif, en lames parallèles à un plan qui a toujours la même direction dans le cristal ; on dit qu'ils se clivent parallèlement à ce plan. Tout le monde connaît les plaques très minces de mica. De même, il est facile de sectionner un cristal de topaze perpendiculairement à l'allongement habituel des prismes de ce minéral, et ce clivage peut s'effectuer en un point quelconque de l'allongement.

La structure réticulaire cristalline explique cette propriété. Le plan réticulaire correspond en effet à une direction suivant laquelle les particules matérielles se sont assemblées. Ce seront donc les plans de grande densité matérielle, c'est-à-dire de grande cohésion. Suivant ces plans les cristaux se débiteront en lames parallèles dont l'épaisseur n'a souvent d'autre limite inférieure que la finesse de l'outil employé pour opérer la séparation.

Parfois, mais assez exceptionnellement, la cohésion ne se manifeste que suivant des rangées ; aussi, au lieu d'observer des plans de clivage comme dans le mica nous n'observerons plus que des séparations en rangées parallèles. C'est le cas de l'asbeste ou amiante qui fournit facilement de très longues fibres très fines parallèles entre elles.

A des directions d'inégales densités matérielles correspondent des clivages inégalement faciles. Il en est ainsi dans le gypse car les directions réticulaires de ce cristal ne sont pas identiques. Au contraire, la galène présente trois clivages perpendiculaires entre eux et également faciles, tandis que la fluorine en offre quatre et que la blende en possède six.

Dans le diamant, les cristaux ont souvent la forme de cube ou d'octaèdre et se clivent parallèlement aux quatre directions des faces de l'octaèdre.

### 3.2.2 Solide de clivage

Ainsi que l'a montré Haüy, en particulier avec la calcite, lorsqu'un minéral possède plus de deux plans de clivage, on peut évidemment tirer de chacun de ses cristaux de petits solides qui auront toujours la même forme puisque les angles des plans de clivage sont constants dans ce minéral.

Le solide de clivage de la galène sera un cube ; celui du diamant un octaèdre ; celui de la barytine un prisme droit dont la base est un rhombe (ou losange) de  $101^{\circ}54'$  ; celui de l'anhydrite, un parallélépipède rectangle.

Ces opérations de clivage ont permis à Haüy d'effectuer une véritable analyse du phénomène de la cristallisation. Nous allons maintenant constater que le même savant a réalisé ensuite la synthèse de la même action.

### 3.3 Théorie des décroissements de Haüy

Du fait qu'en clivant un cristal de galène, quelle que soit sa forme, on obtient toujours des cubes, il doit être possible en empilant à nouveau ces cubes dans un certain ordre, de reformer, ainsi que le pensait HAÜY, le cristal primitif.

A propos de la cristallisation, nous avons déjà dit que pendant tout le cours du développement d'un cristal, chaque face reste plane et garde une direction constante, il faut donc admettre que les particules matérielles se déposent par couches successives d'épaisseur uniforme dans toute l'étendue de chaque face ? Ainsi par exemple, tous les cristaux de galène peuvent être considérés comme dus à l'assemblage de petits cristaux cubiques. Si l'empilement se fait régulièrement, on obtiendra ainsi un gros cristal cubique. D'une façon générale si l'on considère une maille cristalline, elle conservera son caractère géométrique si, sur chacune des trois arêtes d'un angle trièdre, nous empilons un même nombre de couches successives de cette maille (la figure est réalisée avec des mailles cubiques).

### 3.4 Troncatures sur les arêtes

Si, pour une raison quelconque, pendant le développement du cristal, un certain nombre de mailles est régulièrement omis le long de deux arêtes (EO et EF) de l'angle trièdre, on obtiendra de la sorte un édifice scalariforme tel que ses arêtes saillantes soient dans un même plan. Mais les mailles étant excessivement petites, les anfractuosités de la surface brisée scalariforme sont invisibles à l'œil, qui ne perçoit qu'un plan. On pourra donc toujours remplacer sur la forme fondamentale une arête par un plan qui lui soit parallèle.

Théoriquement, de tels plans peuvent être en nombre infini ; mais, comme on le voit sur la figure réalisée avec des mailles cubiques, ils ne sont pas quelconques et ne peuvent varier en inclinaisons que par sauts brusques. Il y a discontinuité. Nous avons ainsi réalisé ce qu'on appelle une troncature sur une arête.

### 3.5 Troncature sur les angles

Si lors de la croissance cristalline, un certain nombre de mailles est omis le long des trois arêtes du trièdre, EO, EF, EG, on obtiendra comme résultat une sorte d'édifice dans lequel l'angle O sera remplacé par une troncature polyèdre telle que tous les sommets saillants des mailles conservées soient dans un même plan OHI. Les dimensions absolues des particules étant très petites, les anfractuosités de la surface brisées deviendront négligeables, et l'œil ne percevra qu'un plan OHI remplaçant l'angle O. C'est une troncature sur un angle.

Cette opération porte le nom de Méthode des décroissements de HAÜY, parce qu'elle réalise l'édification d'un cristal par l'adjonction de couches successives et décroissantes. Le décroissement pourra s'effectuer sur un angle (dans trois directions) ou sur une arête (dans deux directions seulement).

### 3.6 Loi des indices rationnels

Les longueurs interceptées par une facette sur plusieurs arêtes de la forme primitive, divisées par les paramètres correspondent à chaque arête, ont entre elles des rapports simples. On en déduit que les longueurs interceptées par plusieurs facettes sur une même arête de la forme primitive ont entre elles des rapports simples.

L'explication de la loi des indices rationnels s'obtient en considérant la structure réticulaire cristalline et la théorie des décroissements de Haüy.

Soit deux troncatures sur un angle trièdre  $ox, oy, oz$ . Figurons au sommet de l'angle la maille cristalline dont les paramètres sont  $a, b, c$  et deux troncatures  $ABC$  et  $DEF$ . D'après la théorie des décroissements, toutes les distances  $OA, OB, OC, OD, OE, OF$  correspondront à un multiple exact des paramètres  $a, b, c$ . Ainsi,  $OA=a, OD=3a, OB=2b, OE=2c$  et  $OF=4c$ .

En prenant sur chaque arête la longueur du paramètre correspondant comme unité, on a pour la face  $ABC$ , les valeurs numériques simples :  $2, 1, 2$  et pour  $DEF$  :  $3, 3, 4$  ou  $1, 1, 4/3$ , car la face  $DEF$  peut être ramenée, d'après la loi de constance des angles, à une face qui lui est parallèle et passant par  $A$ . Ce sera la face  $AGH$  avec longueurs des arêtes égales à  $1, 1, 4/3$ .

Nous vérifions ainsi l'énoncé de la loi des indices rationnels. Sous une forme beaucoup plus mathématique la même loi s'appelle loi des caractéristiques entières.

Supposons maintenant que la longueur d'une arête de la forme primitive du cristal soit  $OR$ . D'après la théorie des décroissements, on aura toujours  $OR=na$ . On en déduit que les longueurs  $OG, OB, OE$ , interceptées par plusieurs facettes sur une même arête  $OR$  de la forme primitive, seront égales à  $a/na, 2a/na, 3a/na$ , c'est-à-dire à  $1/n, 2/n, 3/n$  ( $1/5, 2/5, 3/5$  sur la figure). Ce sont là, ainsi que l'indique la loi de rationalité, des rapports simples.

#### Remarque

La loi de rationalité permet donc de comprendre pourquoi un minéral peut se présenter sous plusieurs formes géométriques (cube et octaèdre pour la fluorine). C'est une conséquence de la théorie des décroissements de Haüy. C'est aussi un fait expérimental pour lequel il n'y a pas encore de raisons connues évidentes.

### 3.7. Notion des éléments des cristaux : Faces, arêtes et angles des formes fondamentales

La forme primitive d'un cristal peut toujours être ramenée à un prisme ou à un parallélépipède solide dont les faces se répartissent toujours par 2, de façon qu'elles soient opposées et parallèles.

Les faces sont notées par les consonnes  $p, m$  et  $t$  (premières lettres des syllabes du mot primitif). On suppose toujours les solides placés de telle sorte que la base supérieure soit inclinée d'arrière en avant, les arêtes latérales étant verticales. L'on note les faces de haut en bas et de gauche à droite. La face supérieure est donc  $p$ , la face antérieure gauche  $m$ , la face antérieure droite  $t$ . Les trois autres faces, qui correspondent à celles-ci et leur sont parallèles, ont les mêmes notations.

Les arêtes sont notées dans le même ordre, en employant les premières consonnes de l'alphabet ; on a donc six arêtes  $b, c, d, f, g, h, , ,$  ; les six autres, semblables deux à deux aux premières, prennent les mêmes notations.

Les angles seront désignés d'après le même principe à l'aide des premières voyelles :  $a, e, i, o$  et les angles inférieurs portent les mêmes lettres.

#### 3.8.1 Éléments de symétrie des cristaux

Les deux précédentes lois de la cristallographie nous ont permis de comprendre pourquoi les cristaux naturels ne présentent pas souvent une forme aussi simple que celles trouvées par Bravais et qui constituent les sept formes géométriques fondamentales des cristaux. En effet, d'après ces lois, l'aspect du cristal varie par suite

du développement différent de faces cependant semblables (d'après la loi de constance des angles) et par suite de la formation de facettes ou troncatures (loi des indices rationnels).

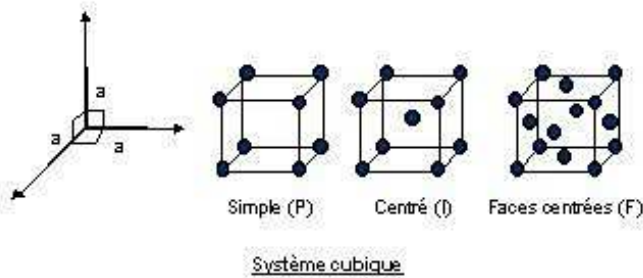
En examinant de près les cristaux naturels, on constate en outre que les facettes formées par troncature se répètent un plus ou moins grand nombre de fois et en mettant en évidence dans le cristal une certaine symétrie.

Nous allons tout d'abord définir les divers éléments de symétrie que l'on rencontre en cristallographie.

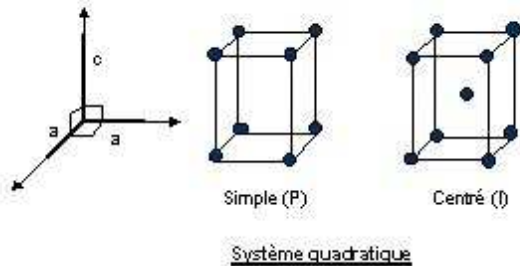
On appelle **centre de symétrie** un point tel que tous les sommets d'un polyèdre se correspondent deux à deux, sur des lignes menées par ce centre et se trouvant à égale distance de part et d'autre. Tout parallélépipède est pourvu d'un centre point de rencontre commun des quatre diagonales, qui est toujours

#### IV. Les réseaux de Bravais

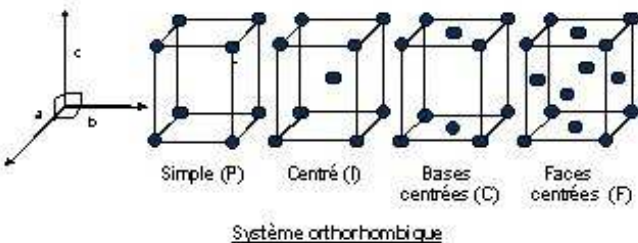
$$a=b=c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$$



$$a=b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$$



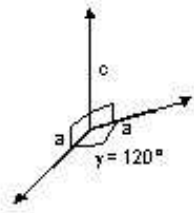
$$a \neq b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$$



$$a \neq b \neq c, \alpha=\beta=90^\circ \gamma=120^\circ$$

ou faces {hkil} avec  $i = -(h+k)$

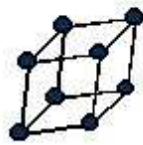
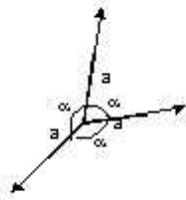




Système hexagonal

---

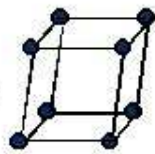
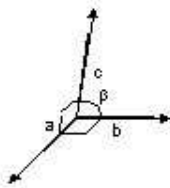

$$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



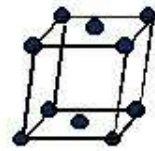
Système rhomboédrique

---


$$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



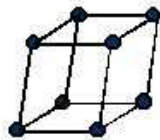
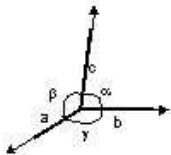
Simple (P)



Bases centrées (C)

Système monoclinique

$$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma$$



Système triclinique

## V. Les groupes de symétrie

Système		Forme des cristaux		Classes cristallines	
Cubique		Hexaoctaédrique	m3m	4/m $\bar{3}$ 2/m	
		Hexatétraédrique	-43m	-43m	
		Gyroïdal	43	432	
		Diploïdal	m3	2/m $\bar{3}$	
		Tetardoïdal	23	23	
Hexagonal	Division hexagonale	Dihexagonal-dipyramidal	6/mmm	6/m 2 /m 2/m	
		Ditrigonal-dipyramidal	-62m	-62m	
		Dihexagonal-pyramidal	6mm	6mm	
		Hexagonal-trapézoédrique	62	622	
		Hexagonal-dipyramidal	6/m	6/m x 6/mmm, -62m, 62, -3m	
		Trigonal-dipyramidal	-6	-6 x -62m, 32	
		Hexagonal-pyramidal	6	6 x 6mm, 3m	
	Division rhomboédrique	Ditrigonal-scalénoédrique	-3m	-3 2/m	
		Ditrigonal-pyramidal	3m	3m	
		Trigonal-trapézoédrique	32	32	
		Rhomboédrique	-3	-3 x -3m, 32	
		Trigonal-pyramidal	3	3 x 3m	
	Quadratique		Diquadratique-dipyramidal	4/mmm	4/m 2/m 2/m
			Quadratique-scalénoédrique	-42m	-42m
		Diquadratique-pyramidal	4mm	4mm	
		Quadratique-trapézoédrique	42	422	
		Quadratique-dipyramidal	4/m	4/m x 4/mmm, -42m, 42	
		Quadratique-disphénoïdal	-4	-4 x -42m	
		Quadratique-pyramidal	4	4 x 4mm	
Orthorhombique		Rhombique-dipyramidal	mmm	2/m 2/m 2/m	
		Rhombique-pyramidal	mm	mm2	
		Rhombique-disphénoïdal	222	222	
Monoclinique		Prismatique	2/m	2/m x mmm, mm , 222	
		Domatique	m	m x mm	
		Sphénoïdal	2	2	
Triclinique		Pinacoïdal	-1	-1 x m3m, -43m, 43, m3, 23, 6mm, 6, 3m, 3, 4mm, 4, 1	
		Pédial	1	1 x 6mm, 6, 3m, 4mm, 4, mm, m, 2	

# classe $m\bar{3}m : 4/m -3 2/m$

## classe cubique holoèdre (ou de l'hexoctaèdre)

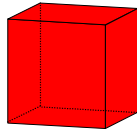
### Propriétés de symétrie :

trois axes de symétrie ternaires, quatre axes de symétrie quaternaires, six axes de symétrie binaires et neuf plans de symétrie passant tous par un centre de symétrie [3A4, 4-A3, 6A2, 9m ou c, 3A4, 4A3, 6A2, 9m] holoédrie du système cubique.

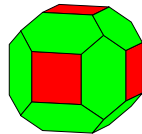
### Minéraux appartenant à cette classe :

Alabandite Almandin Altaïte Andradite Argent Bétafite Bindheimite Boléite Cérargyrite Chromite Clausthalite Cuivre Cuprite Démantoïde Diamant Digénite Fer Fluorine Franklinite Gahnite Galaxite Galène Grenat Grossulaire Halite Hercynite Linnéite Magnésiochromite Magnétite Microlite Or Pechblende Pentlandite Périclase Platine Pollucite Pyrochlore Pyrope Spessartite Spinelle Stibiconite Sylvite Thorianite Uraninite Uvarovite Villiaumite

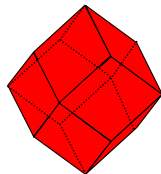
### FORMES DE BASE



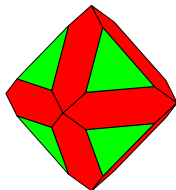
cube {100} ou hexaèdre



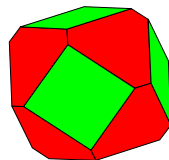
{100} combiné à {110}



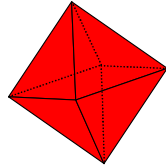
rhombododécaèdre {110} dit grenatoèdre



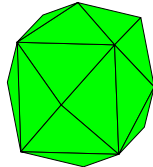
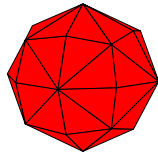
{110} combiné à {111}



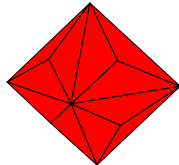
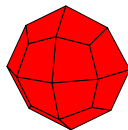
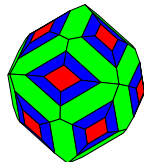
{100} combiné à {111}



octaèdre {111}

FORMES INDUITES OU  
SECONDAIREScube pyramidé {hk0}  
ou Tétrahexaèdre

hexa-octaèdre {321}

trigono-trioctaèdre ou octaèdre  
pyramidé {hhl}  
 $h > 1$ tétragono-trioctaèdre {hhl}  
 $h < 1$ combinaison rhomboèdre  
{110}, du tétragono-trioctaèdre  
{211} et de l'hexo-octaèdre  
{321}

# classe $-4 3 m$

## classe cubique hémicêtre hémimorphe (ou de l'hexatétraèdre)

---

**Propriétés de symétrie :**

trois axes de symétrie inverse quaternaires, quatre axes de symétrie ternaires, six plans de symétrie [3-A4, 4A3, 6m ou 3A4+c, 4A3, 6m] hémicétrie tétraédrique du système cubique.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Cuivre gris Domeykite Häüyne Lapis-lazuli Noséane Pharmacosidérite Rhodizite Sodalite Sphalérite Tennantite Tétraédrite

**FORMES DE BASE**

cube {100}



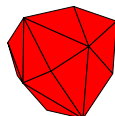
Rhombododécaèdre {110} dit grenatoèdre



tétraèdre positif {111}



tétraèdre négatif {1-11}



hexatétraèdre {321}

# classe 4 3 2

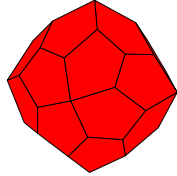
---

**Propriétés de symétrie :**

trois axes de symétrie quaternaires, quatre axes de symétrie ternaires, six axes de symétrie binaires [3A4, 4A3, 6A2] hémiedrie énantiomorphe du système cubique.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Maghémite Petzite

**FORMES DE BASE**

gyroèdre ou  
pentagonotrioctaèdre droit  
{123}

# classe $2/m -3$

## classe cubique hémicèdre centrée (paramorphe) (ou du didodécacèdre)

---

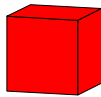
**Propriétés de symétrie :**

un axe inverse de symétrie ternaire par lequel passent trois plans de symétrie, trois axes de symétrie binaires, un centre de symétrie [ $1-A_3, 3A_2, 3m$  ou  $c+1A_3, 3A_2, 3m$ ] holoédrie du système rhomboédrique.

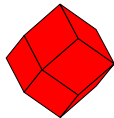
**Minéraux appartenant à cette classe :**

**PYRITE, Antimoine Arsenic Beudantite Bismuth Brucite Calcite Coquimbite Corindon Hématite Magnésite Melonite Mercure Plumbojarosite Rhodochrosite Rubis Saphir Sidérite Smithsonianite Valleriite**

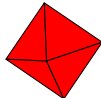
FORMES DE BASE



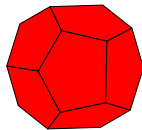
cube  $\{100\}$



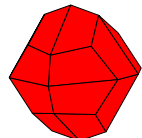
rhombododécacèdre  $\{110\}$  dit grenatoèdre



octaèdre  $\{111\}$



pentagonododécacèdre  $\{210\}$  dit pyritoèdre



didodécacèdre  $\{321\}$

# classe 23

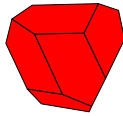
---

**Propriétés de symétrie :**

trois axes de symétrie binaires et quatre axes de symétrie ternaires [3A2, 4A3] tétrartoédrie énantiomorphe du système cubique.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Ullmannite

**FORMES DE BASE**

tétrartoèdre ou  
pentagonotétraèdre gauche



# classe $4/m\ 2/m\ 2/m$ classe quadratique holoèdre (ou de la dipyramide ditétragonale)

---

**Propriétés de symétrie :**

un centre de symétrie par lequel passent un axe de symétrie quaternaire ordre 4, quatre axes de symétrie binaires ordre 2 et cinq plans de symétrie [i, 1A4, 4A2, 5m] holoédrie du système quadratique.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Anatase Apophyllite Autunite Braunité Cassitérite Gummite Hausmannite Mackinawite Mellite Minium Phosgénite Plattnérite Pyrolusite Rutile Sellaïte Thorite Torbernite Vésuvianite Xénotime Zeunérite Zircon

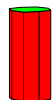
FORMES DE BASE



prisme tétragonal pinacoïde  
{001} combiné au prisme  
tétragonal en position 2 {100}



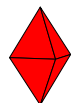
prisme tétragonal pinacoïde  
{001} combiné au prisme  
tétragonal en position 1 {100}



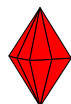
prisme ditétragonal {210} et  
pinacoïde {001}



dipyramide tétragonale en  
position 1 {hhl}

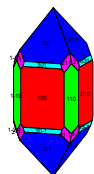


dipyramide tétragonale en  
position 2 {h0l}



dipyramide ditétragonale {hkl}

FORME INDUITE



exemple : zircon avec prismes  
{100} et {110} avec  
dipyramides tétragonales  
{101} et {321} et dipyramide  
ditétragonale {211}

# classe -4 2 m

## classe quadratique hémicèdre tétraédrique (ou du scalénoèdre tétragonal)

---

**Propriétés de symétrie :**

un axe inverse de symétrie quaternaire, deux axes d'ordre 2 et deux plans de symétrie [1-A4, 2A2, 2m ou c+1A4, 2A2, 2m] hémicèdre sphéroédrique du système quadratique

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Chalcopyrite Gallite Kèstérite Luzonite Mawsonite Réniérite Stannite Umangite

**FORMES DE BASE**

tétraèdre tétragonal {hhl}



scalénoèdre tétragonal {hkl}



dipyramide tétragonal {hhl}



prisme ditétragonal {hk0}

prisme tétragonal {100} ou  
{110}

# classe 4 m m

---

**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie quaternaire par lequel passent quatre plans de symétrie [1A4, 4m] hémiedrie pyramidale du système quadratique.

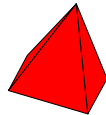
**Minéraux appartenant à cette classe :**

Nadorite

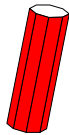
## FORMES DE BASE



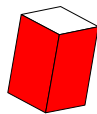
pyramide ditéragonale {hkl}



pyramide tétragonale {h0l}



prisme ditétronal {hk0}



prisme tétragonal {100} ou  
{110}

monoèdre {001}

## classe 4 2 2

---

**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie quaternaire et quatre axes de symétrie binaires situés dans un plan qui lui est perpendiculaire [1A4, 4A2] hémiedrie énantiomorphe du système quadratique.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Cristobalite

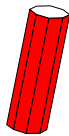
FORMES DE BASE



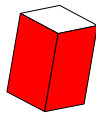
trapézoèdre tétragonal {hkl}



dipyramide tétragonale {h0l}  
ou {hhl}



prisme ditétragonale {hk0}



prisme tétragonal {110} ou  
{110}

pinacoïde {001}

# classe 4/m

## classe quadratique hémicêtre (ou de la dipyramide tétragonale)

---

**Propriétés de symétrie :**

un centre de symétrie par lequel passent un axe de symétrie quaternaire et un plan de symétrie qui lui est perpendiculaire [c, 1A4, m] hémicêtre centrée du système quadratique.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

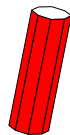
Cryptomélane Feldspathoïde Fergusonite Leucite Marialite Meïonite Powellite Scapolite Scheelite Stolzite Wulfénite

FORMES DE BASE

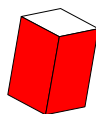


dipyramide tétragonale {hkl}

dipyramide tétragonale {h0l}  
ou {hhl}



prisme tétragonal {hk0}



prisme tétragonal {100} ou  
{110}

pinacoïde {001}

# classe -4

---

**Propriétés de symétrie :**

un axe inverse de symétrie quaternaire [1-A4 ou c+1A4] tétrartoédrie sphénoédrique du système quadratique.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

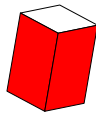
FORMES DE BASE



tétraèdre tétragonal {hkl}

tétraèdre tétragonal {h0l} ou {hhl}

prisme tétragonal {hk0}



prisme tétragonal {100} ou {110}

pinacoïde {001}

# classe 4

---

**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie quaternaire [1A4] tétrartoédrie énantiomorphe du système quadratique.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

## FORMES DE BASE



pyramide tétragonale {hkl}

pyramide tétragonale {h0l} ou  
{hhl}



prisme tétragonal {hk0}

prisme tétragonal {100} ou  
{110}

monoèdre {001}

# classe $6/m\ 2/m\ 2/m$

## classe hexagonale holoèdre (ou de la dipyramide dihexagonale)

---

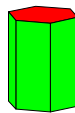
**Propriétés de symétrie :**

un centre de symétrie, un axe de symétrie sénaire, six axes de symétrie binaires et sept plans de symétrie [c, 1A6, 6A2, 7m] holoédrie du système hexagonal.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Aigue-marine Algodonite Béryl Breithauptite Covellite Émeraude Graphite Héliodore Molybdénite Morganite Nickeline

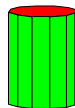
### FORMES DE BASE



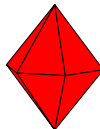
pinacoïde {0001} combiné à un prisme hexagonal en position 1 {10-10}



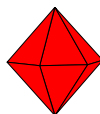
pinacoïde {0001} combiné à un prisme hexagonal en position 2 {11-20}



pinacoïde {0001} combiné à un prisme dihexagonal {hki0}



dipyramide hexagonale en position 1 {h0-hl}



dipyramide hexagonale position 2 {hh-2hl}



dipyramide dihexagonale {hk-1}

pinacoïde {000-1}



# classe -6 2 m

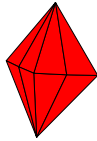
**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie inverse sénaire ou un axe de symétrie sénaire plus un centre de symétrie, trois axes de symétrie binaires et trois plans de symétrie [1-A6, 3A2, 3m ou 1A3+m, 3A2, 3m] hémiedrie triangulaire du système hexagonal.

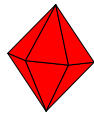
**Minéraux appartenant à cette classe :**

Bastnaésite Bénétoïte Connellite

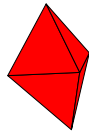
FORMES DE BASE



dipyramide ditrigonale {hk-1}



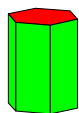
dipyramide hexagonale {h0-1}



dipyramide trigonale {hh-1}



prisme ditrigonal {hk0}



prisme hexagonal {100}



prisme trigonal {110}

pinacoïde {00-1}

# classe 6 m m

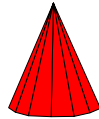
---

**Propriétés de symétrie :**

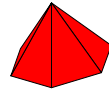
un axe de symétrie sénaire et six plans de symétrie [1A6, 6m] hémipédie pyramidale du système hexagonal.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

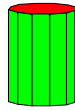
Greenockite Wurtzite Zincite

**FORMES DE BASE**

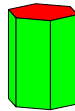
pyramide dihexagonale {hk-l}



pyramide hexagonale {h0-l}



prisme dihexagonal {hk0}



prisme hexagonal {100} ou  
{110}

pinacoïde {00-1}

# classe 6 2 2

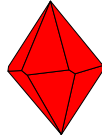
---

**Propriétés de symétrie :**

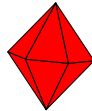
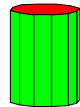
un axe de symétrie sénaire et six axes de symétrie binaire situés dans un plan qui lui est perpendiculaire  
[1A6, 6A2] hémiedrie énantiomorphe du système hexagonal.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

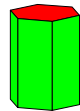
## FORMES DE BASE



trapézoèdre hexagonal {hk-l}

dipyramide hexagonale {h0-l}  
ou hh-l}

prisme dihexagonal {hk0}

prisme hexagonal {100} ou  
{110}

pinacoïde {00-1}

# classe 6/m

## classe hexagonale hémicêtre centrée (ou de la dipyramide hexagonale)

---

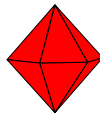
**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie sénaire, un plan et un centre de symétrie [c, 1A6, 1m] hémicêtre centrée du système hexagonal.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Apatite Hanksite Mimétite Mixite Pyromorphite Vanadinite

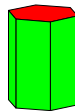
FORMES DE BASE



Dipyramide hexagonale {hk-1}

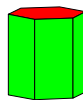
dipyramide hexagonale {h0-1}  
ou {hh-1}

prisme hexagonal {h0-1} ou  
{hh-1}



prisme hexagonal {hk0}

prisme hexagonal en position 1  
{10-10}



prisme hexagonal en position 2  
{11-20}

pinacoïde {00-1}

# classe -6

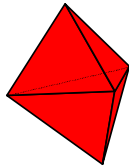
---

**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie inverse sénaire ou un axe de symétrie sénaire et un centre de symétrie [1-A6 ou 1A3+m]  
tétartoédrie triangulaire du système hexagonal.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

FORMES DE BASE



dipyramide trigonale {hk-1}

dipyramide trigonale {h0-1} ou  
{h0-1}



prisme trigonal {hk0}

prisme trigonal {100} ou {110}

pinacoïde {00-1}

# classe 6

## classe hexagonale tétrartoèdre énantiomorphe (ou de la pyramide hexagonale)

---

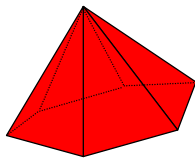
**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie sénaire [1A6] tétrartoédrie énantiomorphe du système hexagonal.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

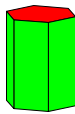
Cancrinite Gaufreyite Zinkénite

## FORMES DE BASE



pyramide hexagonale {hk-1}

pyramide hexagonale {h0-1} ou  
{hh-1}



prisme hexagonal {hk0}

prisme hexagonal {100} ou  
{110}

Monoèdre {00-1}

## classe -3 2/m

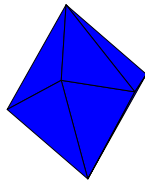
### Propriétés de symétrie :

un axe inverse de symétrie ternaire par lequel passent trois plans de symétrie, trois axes de symétrie binaires, un centre de symétrie [1-A3, 3A2, 3m ou c+1A3, 3A2, 3m] holoédrie du système rhomboédrique.

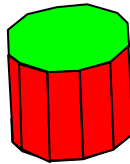
### Minéraux appartenant à cette classe :

Antimoine Arsenic Beudantite Bismuth Brucite Calcite Coquimbite Corindon Hématite Magnésite Melonite Mercure Plumbojarosite Rhodochrosite Rubis Saphir Sidérite Smithsonite Valleriite

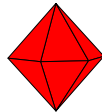
### FORMES DE BASE



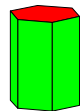
Scalénoèdre trigonal {hkl}



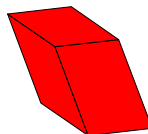
prisme dihexagonal {hkl}  
 $h+k+l=0$



Dipyramide hexagonale {hkl}  
 $h+l=2k$



prisme hexagonal {11-2} ou  
 {10-1}



rhomboèdre {hhl}

pinacoïde {111}

## classe 3 2

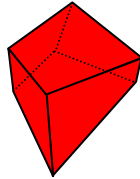
**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie ternaire et trois axes de symétrie binaires [1A3, 3A2] hémiédrie énantiomorphe du système rhomboédrique.

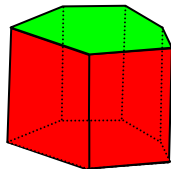
**Minéraux appartenant à cette classe :**

Améthyste Aventurine Calcédoine Cinabre Citrine Cornaline Quartz

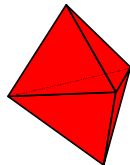
FORMES DE BASE



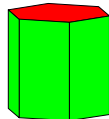
Trapézoèdre trigonal {hkl}



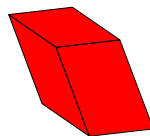
prisme ditrigonal {hkl}  
 $h+k+l=0$



dipyramide trigonale {hkl}  
 $h+l=2k$



prisme hexagonal {11-2}



rhomboèdre {hhl}

pinacoïde {111}



# classe 3 m

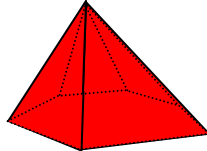
**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie ternaire et trois plans de symétrie [1A3, 3m] hémiedrie pyramidale du système rhomboédrique

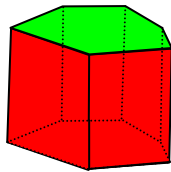
**Minéraux appartenant à cette classe :**

Alunite Dravite Elbaïte Eudialyte Millerite Proustite Pyrargyrite Rubellite Schorl Tourmaline Uvite Verdélite

FORMES DE BASE

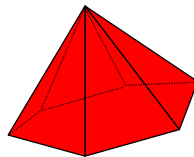


Trapézoèdre trigonal {hkl}



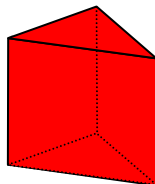
prisme ditrigonal {hkl}

$h+k+l=0$

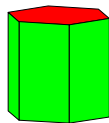


pyramide hexagonale {hkl}

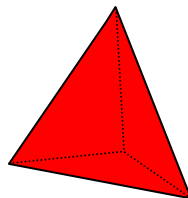
$h+l=2k$



prisme trigonal {11-2}



prisme hexagonal {10-1}



pyramide trigonale {hhl}

monoèdre {111}

## classe -3

---

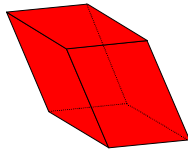
### Propriétés de symétrie :

un axe inverse de symétrie ternaire ou un axe ternaire et un plan de symétrie [1-A3 ou c+1A3] hémédrie centrée du système rhomboédrique.

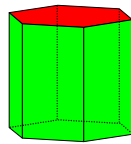
### Minéraux appartenant à cette classe :

Ankérite Chalcophanite Chalcophyllite Dioptase Dolomite Geikiélite Hydrocérusite Ilménite Kutnahorite Phénacite Tétradymite Willémité

### FORMES DE BASE



rhomboèdre {hhl}



prisme hexagonal {hkl}  
h+k+l=0

rhomboèdre {hkl}  
h+l=2k

prisme hexagonal {11-2} ou  
{10-1}

rhomboèdre {hhl}

Pinacoïde {111}

# classe 3

---

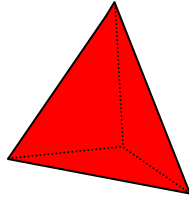
**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie ternaire [1A3] tétrartoédrie énantiomorphe du système rhomboédrique.

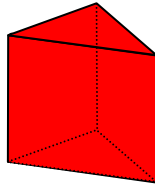
Minéraux appartenant à cette classe :

Parisite

FORMES DE BASE



pyramide trigonale {hkl}



prisme trigonal {hkl}  
 $h+k+l=0$

pyramide trigonale {hkl}  
 $h+l=2k$

prisme trigonal {11-2} ou  
 {10-1}

pyramide trigonale {hhl}

monoèdre {111}

# classe -1

---

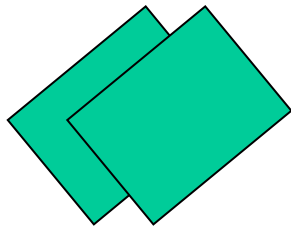
**Propriétés de symétrie :**

un centre de symétrie [c] holoédrie du système triclinique.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Albite Amazonite Amblygonite Andésine Anorthite Astrophyllite Axinite Bytownite Chabazite  
Chalcanthite Copiapite Cylindrite Disthène Franckéite Idaïte Jarosite Kermésite Labradorite Microcline  
Okénite Oligoclase Opale Parsonsite Pectolite Picroparmacolite Plagioclase Pyroxmangite Rhodonite  
Stilpnomélane Talc Turquoise Ulexite Wollastonite Zéolite

FORMES DE BASE



pinacoïde {hkl}

# classe 1

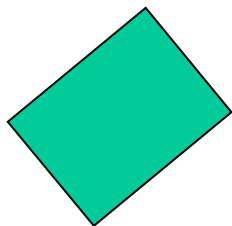
---

**Propriétés de symétrie :**

néant

**Minéraux appartenant à cette classe :**

FORMES DE BASE



monoèdre {hkl}

## classe 2/m

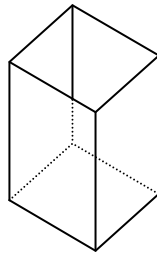
### Propriétés de symétrie :

un centre de symétrie, un axe de symétrie binaire ordre 2 et un plan de symétrie perpendiculaire à cet axe [c, 1A2, 1m] holoédrie du système monoclinique.

### Minéraux appartenant à cette classe :

Acanthite Actinote Adulaire Aegyrine Allanite Amphibole Analcime Annabergite Arfvedsonite  
 Arsénopyrite Artinite Augite Aurichalcite Azurite Bayldonite Biotite Borax Brazilianite Brochantite  
 Calavérite Carnotite Celsian Chalcocite Chlorite Chloritoïde Chondrodite Chrysocolle Clinoclase  
 Clinozoïsite Colemanite Crocidolite Crocoïte Crossite Cryolite Cummingtonite Datolite Diaphorite  
 Diopside Epidote Erythrite Euclase Feldspath Ferbérîte Fizélyite Fuchsite Gadolinite Gaylussite  
 Géocronite Gibbsite Gismondite Glaubérîte Glauco-dot Glauconite Glauco-phane Greenalite Grunérite  
 Gudmundite Gypse Harmotome Hastingsite Hédenbergite Herdérîte Hessite Heulandite Hollandite  
 Hornblende Hübnérîte Hyalophane Hydroboracite Hydrozincite Illite Ivaïte Jadéite Jamesonite Jordanite  
 Kaersutite Kernite Laumontite Lazulite Leadhillite Legrandite Lépidolite Linarite Liroconite Ludlamite  
 Malachite Manganite Mélanterîte Mica Mirabilite Monazite Montmorillonite Muscovite Néphrite  
 Olivénite Omphacite Orpiment Orthose Palygorskite Paragonite Pargasite Pearcéite Pétalite Phlogopite  
 Piémontite Pigeonite Pistachite Polybasite Pseudomalachite Psilomélane Pyrophyllite Pyroxène Pyrrhotite  
 Réalgar Riébeckite Romanéchite Rosérite Sabugalite Safflorite Sanidine Sapphirine Semseyite Serpentine  
 Smectite Spencerite Staurotide Stilbite Sylvanite Titanite Todorokite Trémolite Triplite Trona  
 Tschermakite Uranopilite Uranotile Vermiculite Vivianite Wolframite

### FORMES DE BASE



Prisme monoclinique {hkl}



pinacoïde {h0l}



pinacoïde {010}

## classe 2

---

**Propriétés de symétrie :**

un axe de symétrie binaire ordre 2 [1A2] hémiédrie énantiomorphe du système monoclinique

**Minéraux appartenant à cette classe :**

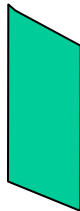
Alloclasite Epistilbite Halotrichite Hiddénite Kunzite Spodumène Zinnwaldite

### FORMES DE BASE



dièdre {hkl}

pinacoïde {h0l}



monoèdre {010}

# classe m

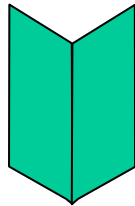
---

**Propriétés de symétrie :**

un plan de symétrie [1m] hémiedrie superposable du système monoclinique

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Antigorite Chrysotile Dickite Garniérite Halloysite Langite Margarite Miargyrite Nacrite Natron  
Neptunite Scolécite Ténorite

**FORMES DE BASE**

dièdre {hkl}

pinacoïde {010}

monoèdre {h0l}

## classe $2/m\ 2/m\ 2/m$

---

### Propriétés de symétrie :

un centre de symétrie, trois axes de symétrie binaires orthogonaux et trois plans de symétrie respectivement perpendiculaires à ces axes [c, 3A<sub>2</sub>, 3m] holoédrie du système orthorhombique.

### Minéraux appartenant à cette classe :

Adamite Aikinite Alexandrite Andalousite Anglésite Anhydrite Anthophyllite Antlérine Aragonite  
Argentopyrite Atacamite Barytine Berthiérine Bismuthinite Boehmite Bornite Boulangérite Bronzite  
Brookite Carnallite Célestite Cérusite Chalcostibite Chialstolite Chrysobéryl Columbite Cordiérite Cosalite  
Cubanite Curite Cyanotrichite Danburite Descloizite Diaspore Dumortière Emplectite Enstatite  
Eosphorite Euxénite Fayalite Forstérite Francevillite Gédrite Goéthite Grandidiérite Hambergite  
Hétérosite Humite Hutchinsonite Hypersthène Lawsonite Libéthénite Limonite Lithiophyllite Löllingite  
Massicot Mottramite Néphéline Nitre Olivine Pérovskite Planchéite Rammelsbergite Ramsdellite  
Scorodite Sépiolite Sillimanite Soufre Stibine Stromeyérite Strontianite Tantalite Tanzanite Teallite  
Téphroïte Thénardite Thomsonite Topaze Triphylite Tyrolite Valentinite Variscite Withérite Zoïsité



# classe $m m 2$

---

**Propriétés de symétrie :**

**Minéraux appartenant à cette classe :**

# classe 2 2 2

---

**Propriétés de symétrie :**

trois axes de symétrie binaires orthogonaux [3A2] hémiedrie énantiomorphe du système orthorhombique.

**Minéraux appartenant à cette classe :**

Epsomite Wittichénite