

Université de Liège
Faculté des Sciences
Département de Géologie
Laboratoire de Minéralogie



La symétrie des minéraux

Prof. Frédéric HATERT

Les cristaux



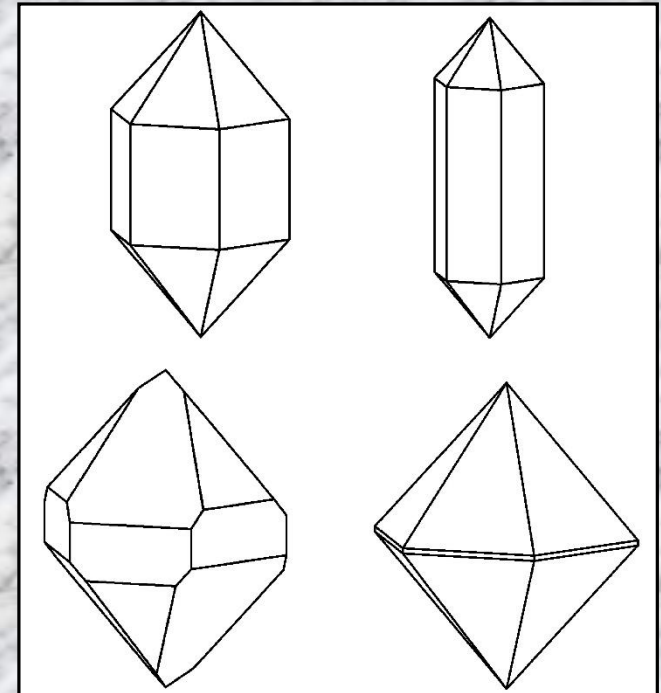
Nicolas Sténon
(1638-1686)



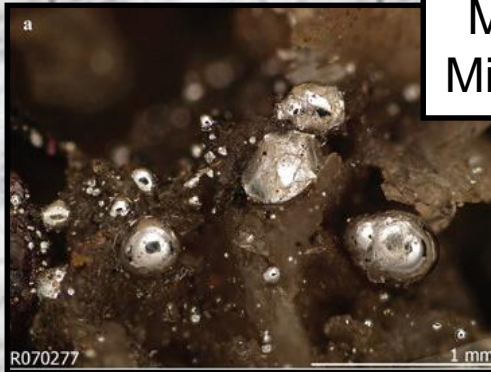
J.-B. Romé de l'Isle
(1736-1790)

J.-B. Romé de l'Isle
(1736-1790)

Solide chimiquement homogène, partiellement ou complètement délimité par des faces planes qui s'intersectent selon des angles constants



Les minéraux



Mercure, Hg
Minéral liquide

Opale, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Minéral amorphe

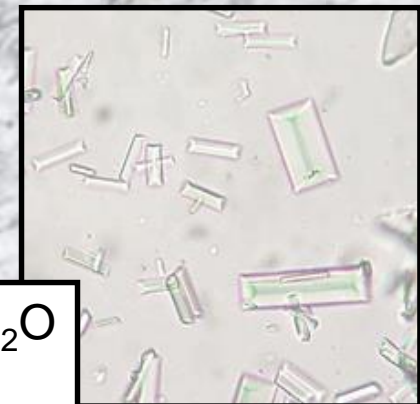


Solide inorganique cristallin de composition chimique définie, qui résulte de processus cosmologiques ou géologiques



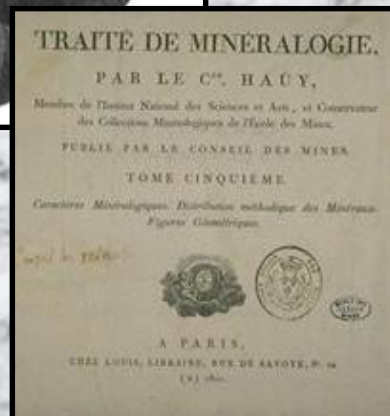
Ambre
Minéral organique

Struvite, $(\text{NH}_4)\text{Mg}(\text{PO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Bio-minéral



La cristallographie

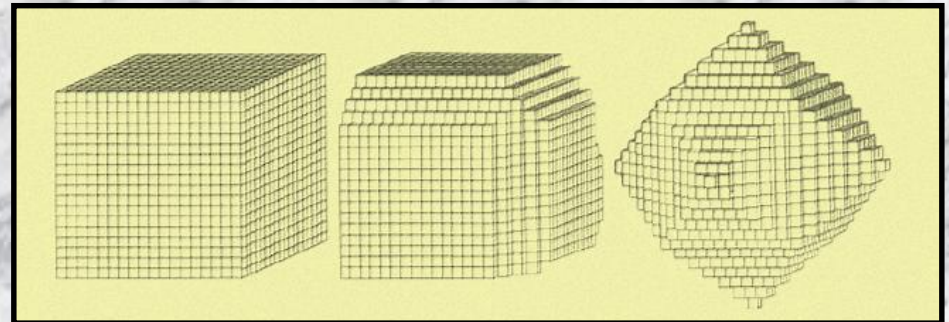
René-Just Haüy (1743-1822)



Le clivage fournit la forme élémentaire de la « molécule intégrante ».



Première théorie descriptive de la structure interne des cristaux.

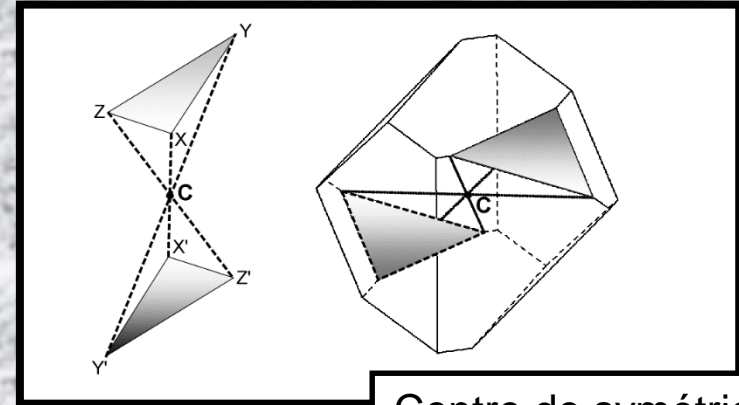


La symétrie

Les éléments de symétrie

Éléments de symétrie:

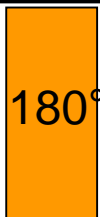
- Centre de symétrie
- Plan miroir
- Axes de rotation (ordres 2, 3, 4, 6)



Centre de symétrie

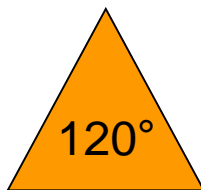
Axes de rotation

Ordre 2



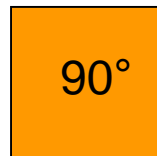
2 rotations
de 180°

Ordre 3



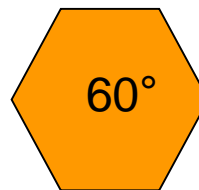
3 rotations
de 120°

Ordre 4

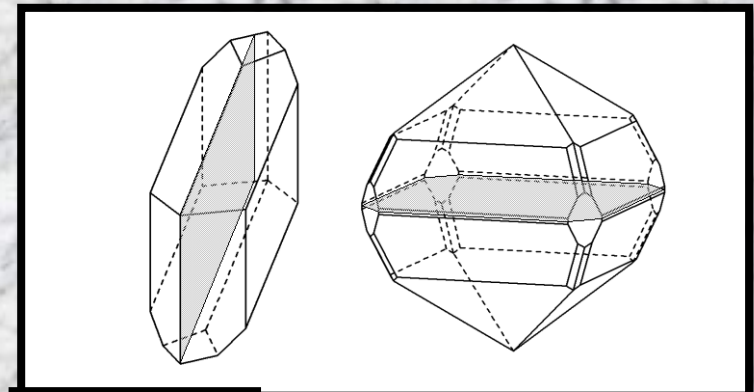


4 rotations
de 90°

Ordre 6



6 rotations
de 60°



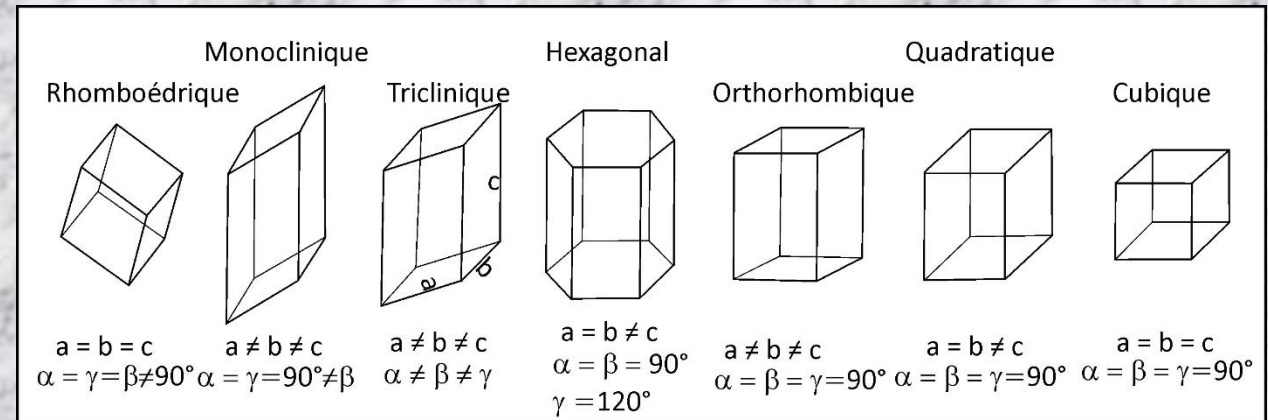
Plan miroir

Les 7 systèmes cristallins

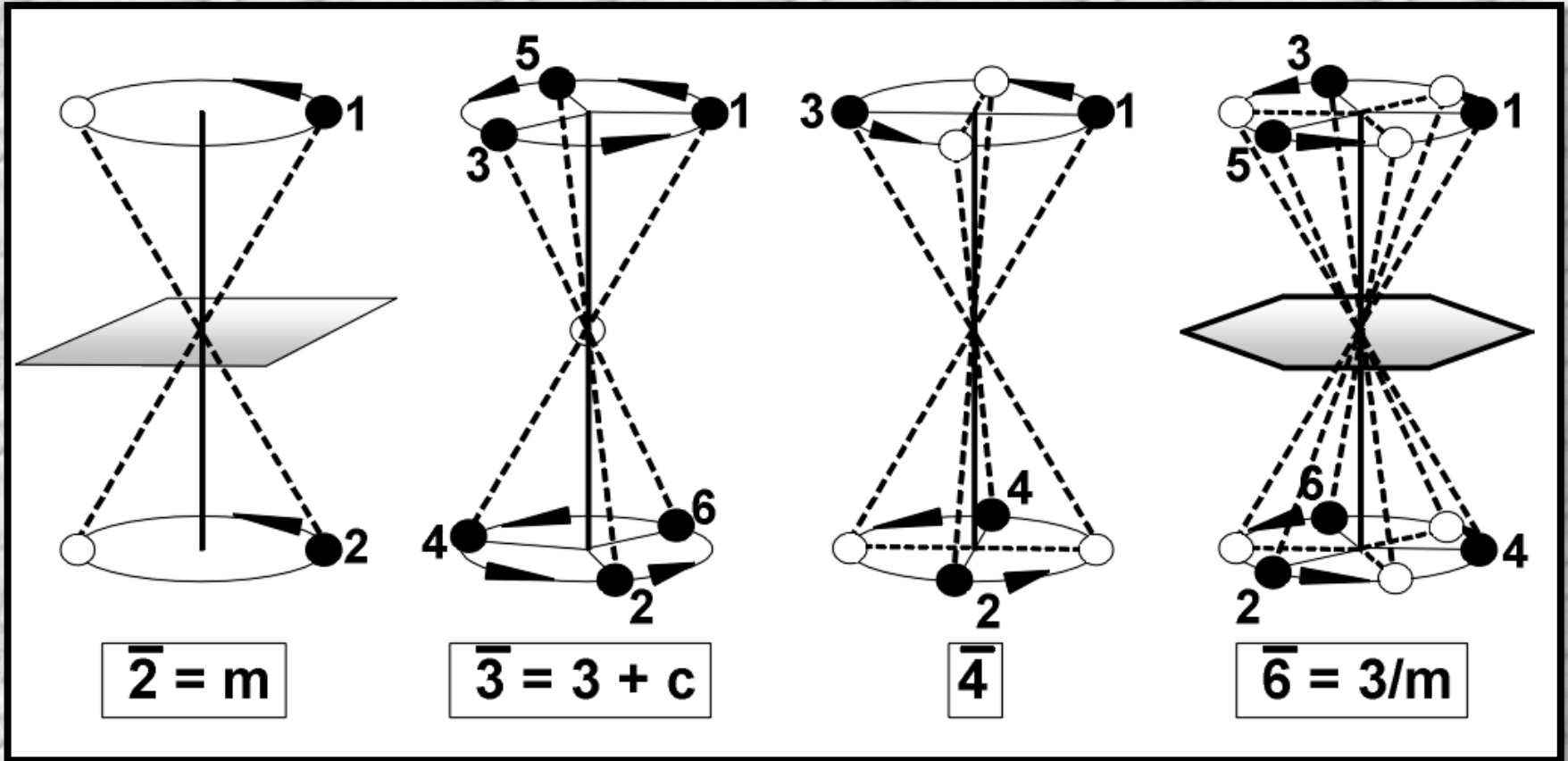
- Triclinique: 1 centre
- Monoclinique: 1 axe d'ordre 2
- Orthorhombique: 3 axes d'ordre 2 \perp
- Rhomboédrique: 1 axe d'ordre 3
- Tétragonal: 1 axe d'ordre 4
- Hexagonal: 1 axe d'ordre 6
- Cubique: 3 axes d'ordre 4,
4 axes d'ordre 3, 6 axes d'ordre 2

Les cristaux peuvent être classés en **7 systèmes cristallins**, en fonction des combinaisons d'éléments de symétrie qu'ils présentent.

Les plans de symétrie ne sont pas mentionnés



Les axes d'inversion

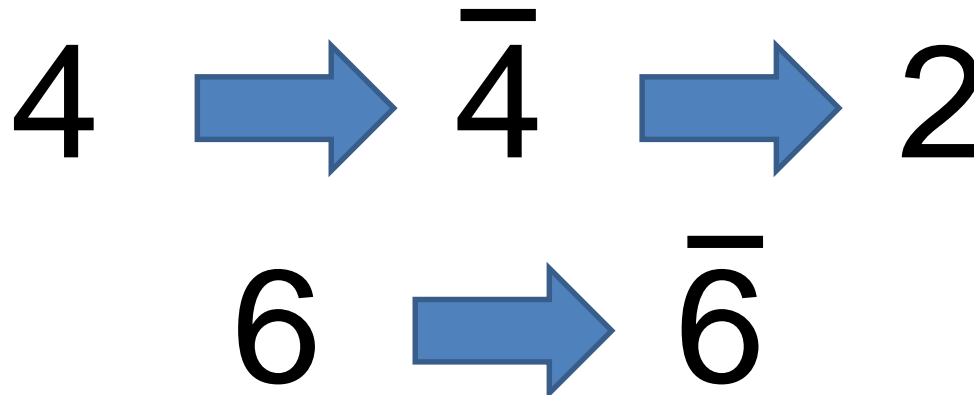


Les 32 classes cristallines

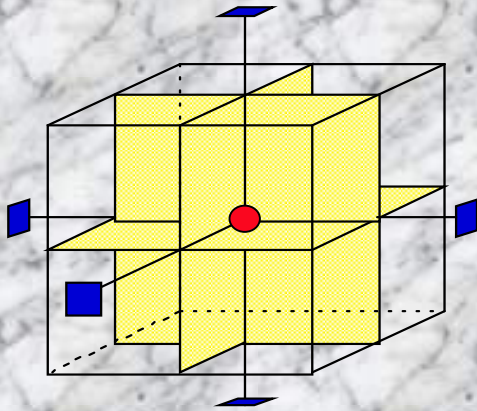


- Holoèdres: Tous les éléments de symétrie du système cristallins sont présents
- Holoaxes: Seuls les axes de symétrie sont présents
- Antihémiédriques: Pas de centre
- Parahémiédriques: Présence d'un centre
- Tétartoédriques: Plusieurs éléments de symétrie indépendants sont absents

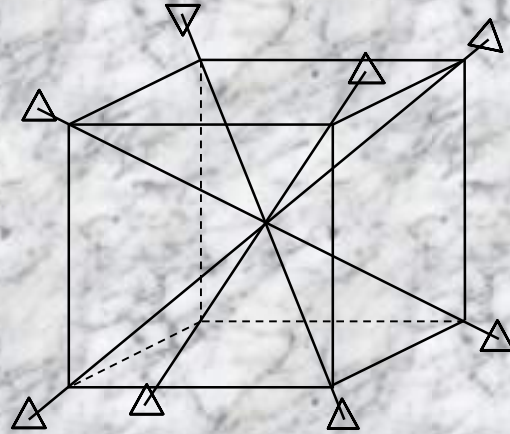
Dégénérescence des axes de symétrie



Le système cubique

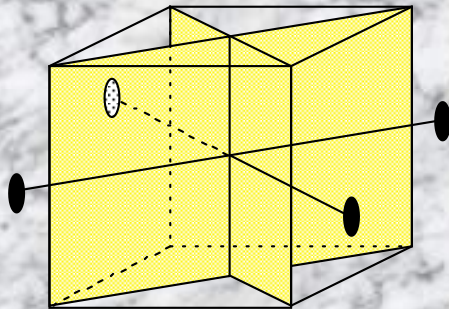


3 axes d'ordre 4
3 plans \perp



4 axes d'ordre 3

- 3 axes d'ordre 4 + 3 plans \perp
- 4 axes d'ordre 3
- 6 axes d'ordre 2 + 6 plans \perp



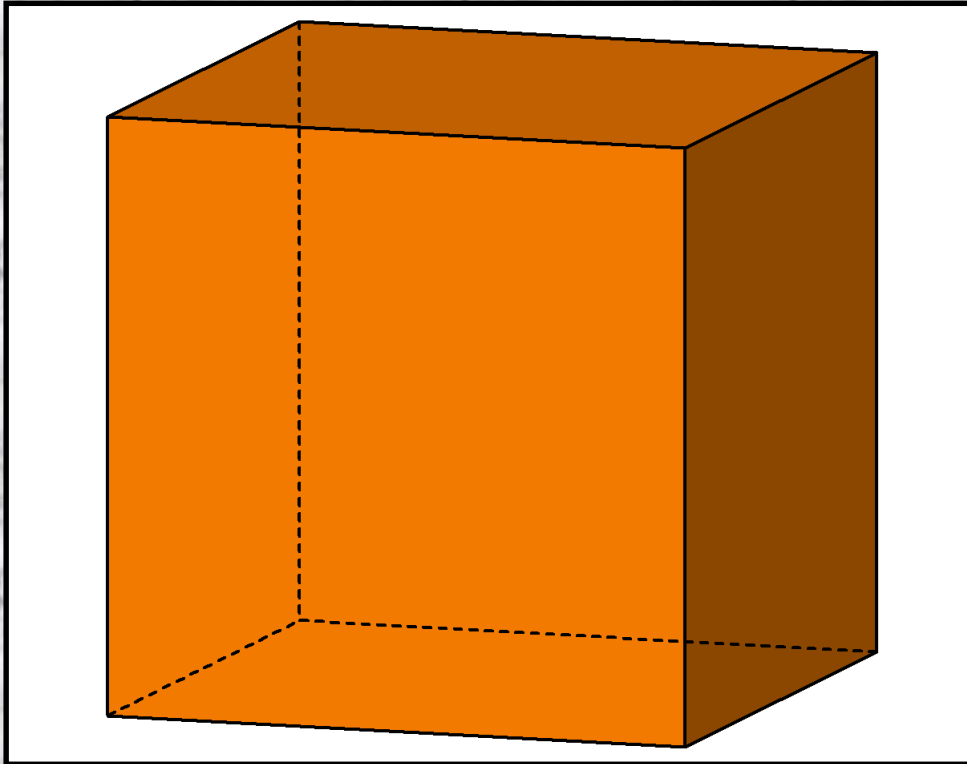
6 axes d'ordre 2
6 plans \perp



Fluorite, CaF_2

Le cube

Classe cubique holoèdre



6 faces carrées parallèles 2 à 2

Fluorite, CaF_2

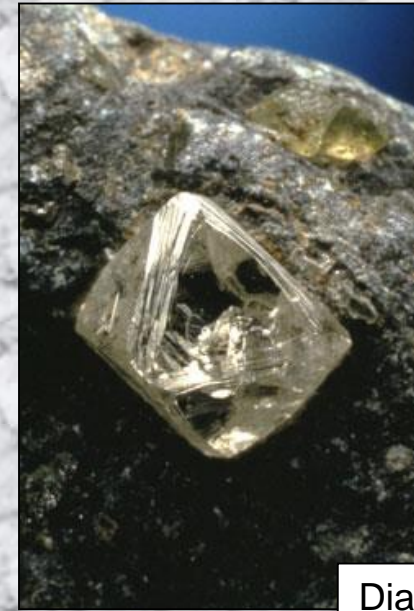
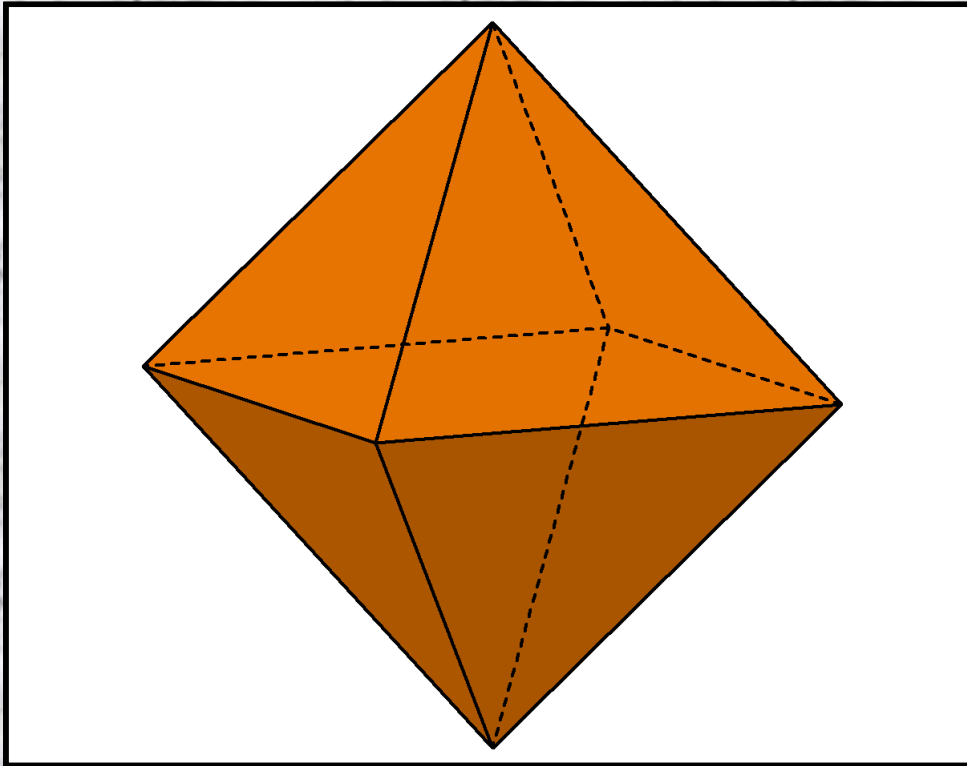


Pyrite, FeS_2

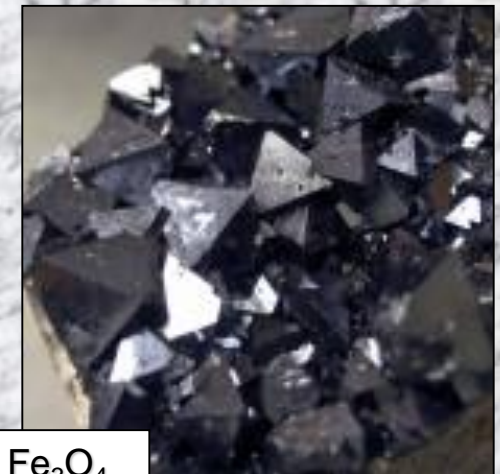


L'octaèdre

Classe cubique holoèdre



Diamant, C

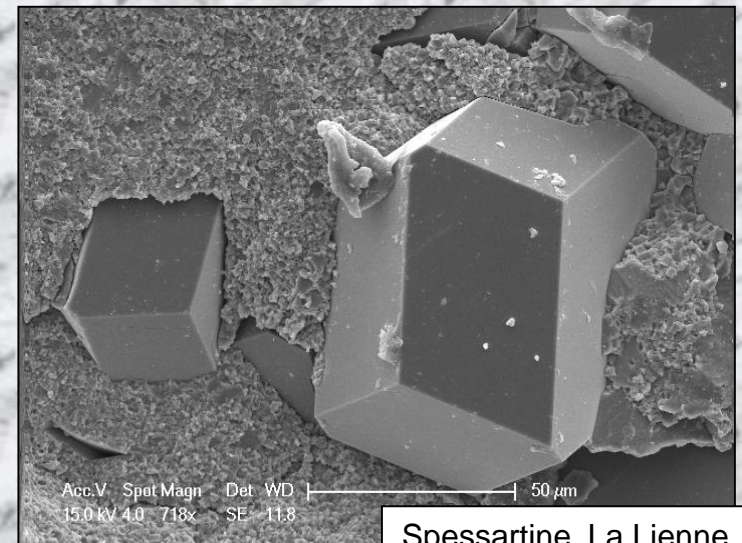
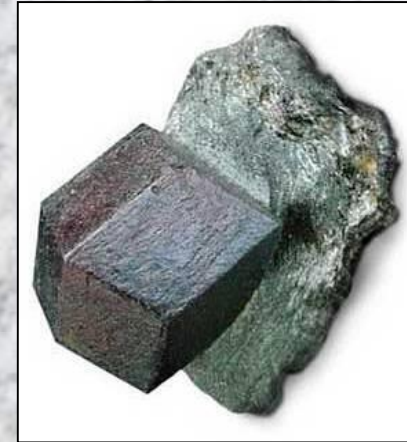
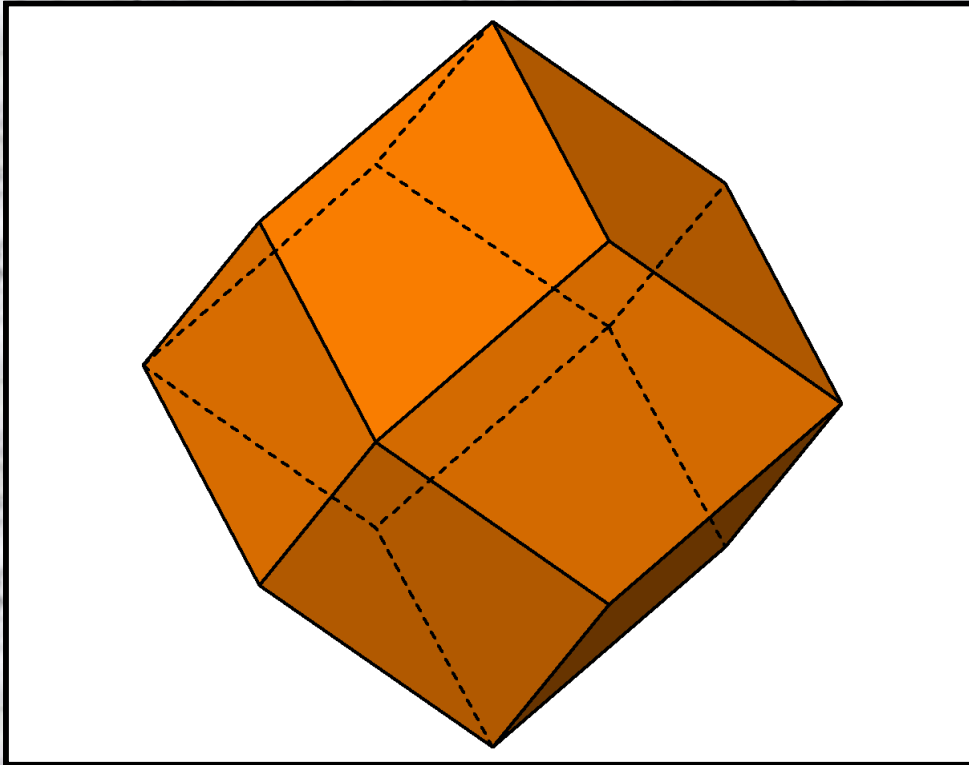


Magnétite, Fe_3O_4

Troncatures des sommets du cube
(\perp aux axes d'ordre 3)
8 faces triangulaires équilatérales

Le rhombododécaèdre

Classe cubique holoèdre

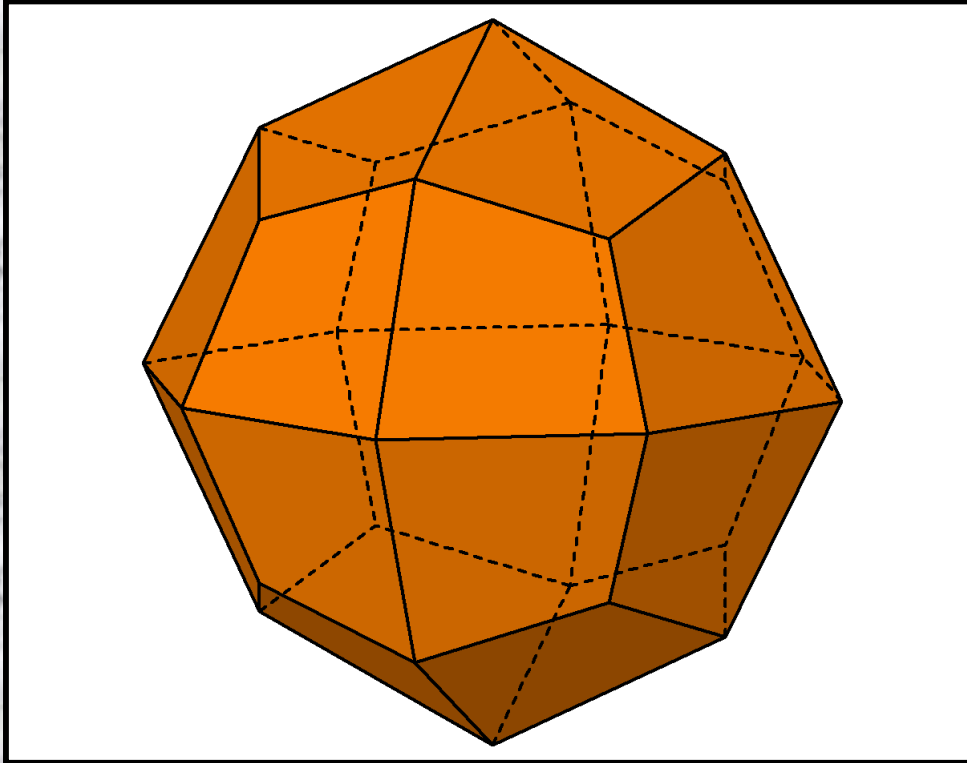


Troncatures des arêtes du cube
(\perp aux axes d'ordre 2)
12 faces losangiques

Spessartine, La Lienne

Le trapézoèdre

Classe cubique holoèdre



Spessartine,
 $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$



Troncatures obliques des sommets du cube
(oblique sur les axes d'ordre 3)
24 faces en forme de quadrilatères irréguliers



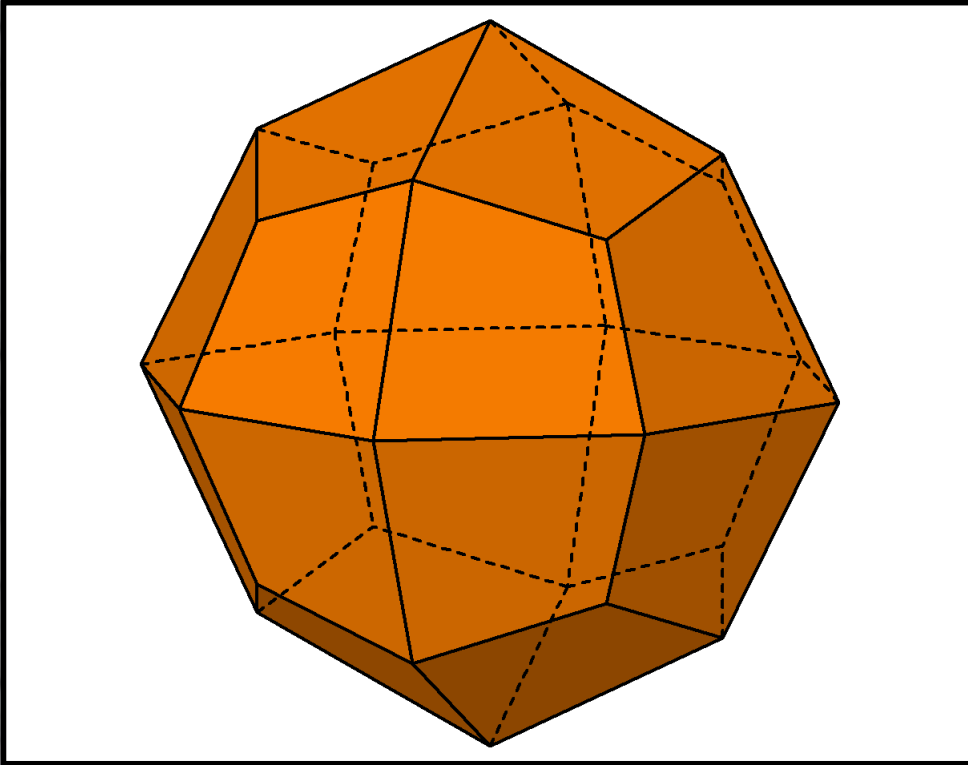
Leucite, $KAlSi_2O_6$

Rhombododécaèdre et trapézoèdre Classe cubique holoèdre

Pyrope,
 $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

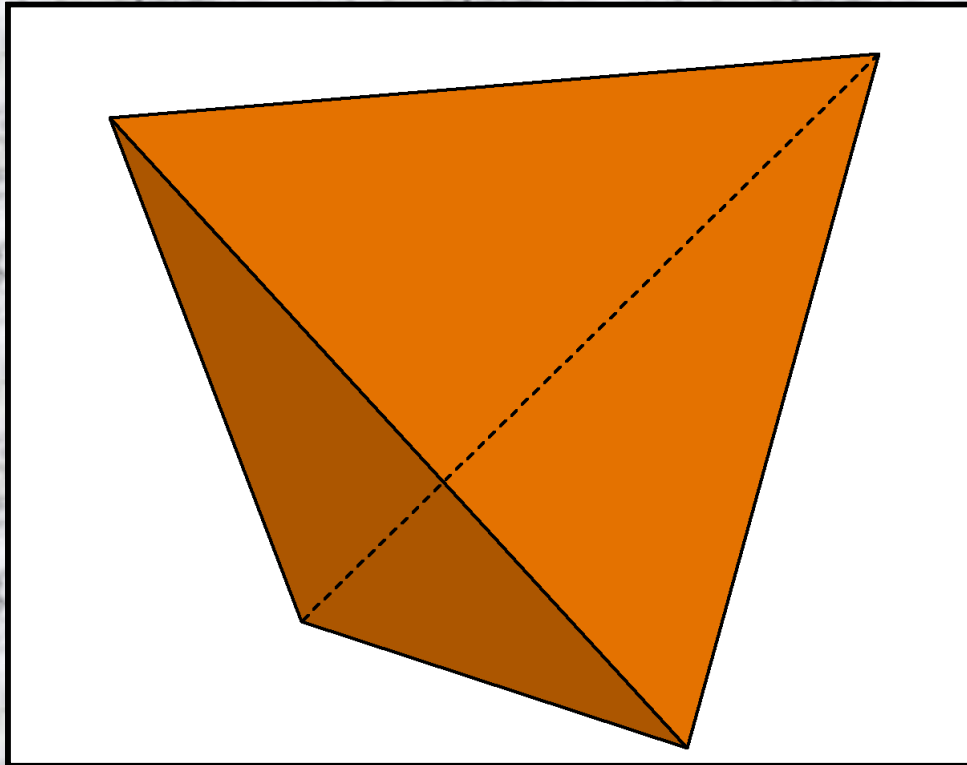


Grossulaire,
 $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

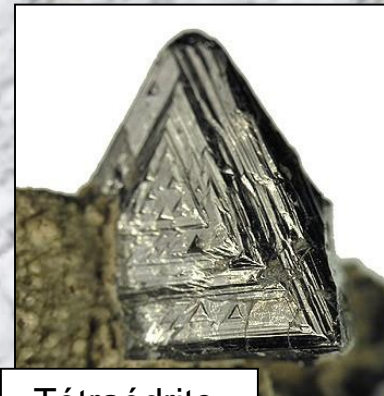


Le tétraèdre

Classe cubique antihémiédrique



Boracite,
 $Mg_3B_7O_{13}Cl$



Tétraédrite,
 $Cu_{12}Sb_4S_{13}$

Tennantite,
 $Cu_{12}As_4S_{13}$

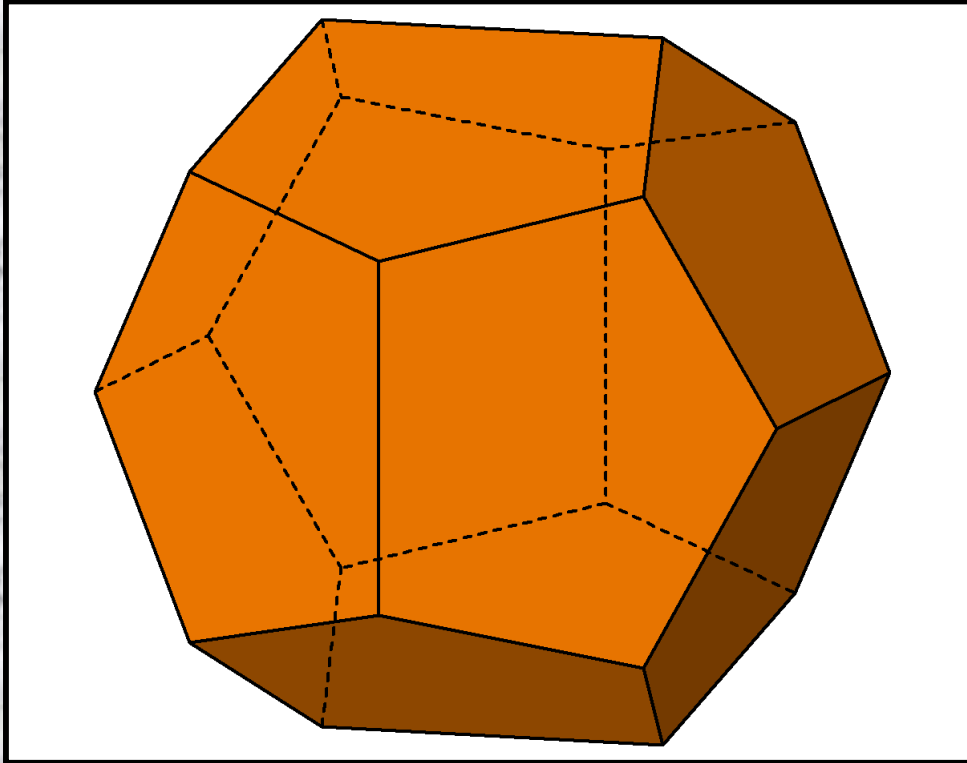


Pas de centre de symétrie

**Troncatures \perp aux axes d'ordre 3
4 faces triangulaires équilatérales**

Le pyritoèdre

Classe cubique parahémiédrique



Pyrite, FeS_2



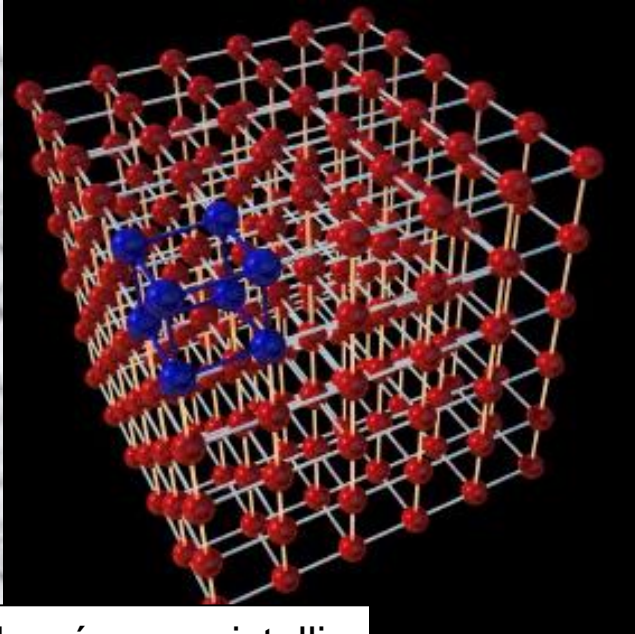
Axes d'ordre 4 dégénérés en axes d'ordre 2

Troncatures obliques des arêtes du cube
12 faces pentagonales irrégulières



Cobaltite, CoAsS

Le réseau cristallin

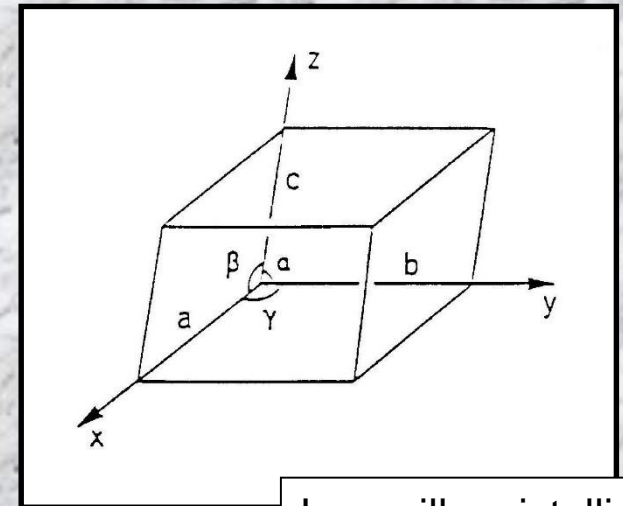


Le réseau cristallin



Auguste Bravais (1811-1863)

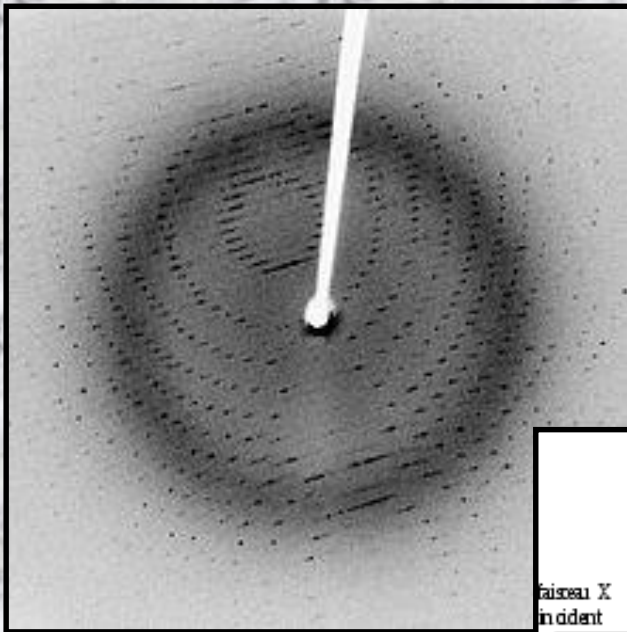
Le réseau cristallin est défini par l'empilement périodique et infini de **mailles cristallines**, selon les 3 directions de l'espace.



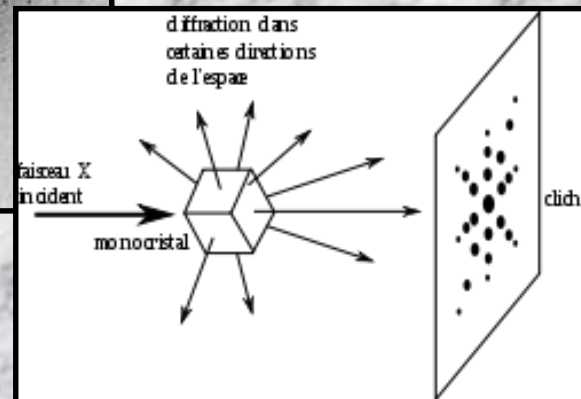
La maille cristalline

La diffraction des rayons X

Max Von Laue a montré, en 1912, que les cristaux **diffractent les rayons X**. Cela signifie qu'ils présentent une périodicité à l'échelle de l'Ångström ($= 10^{-10}$ m).



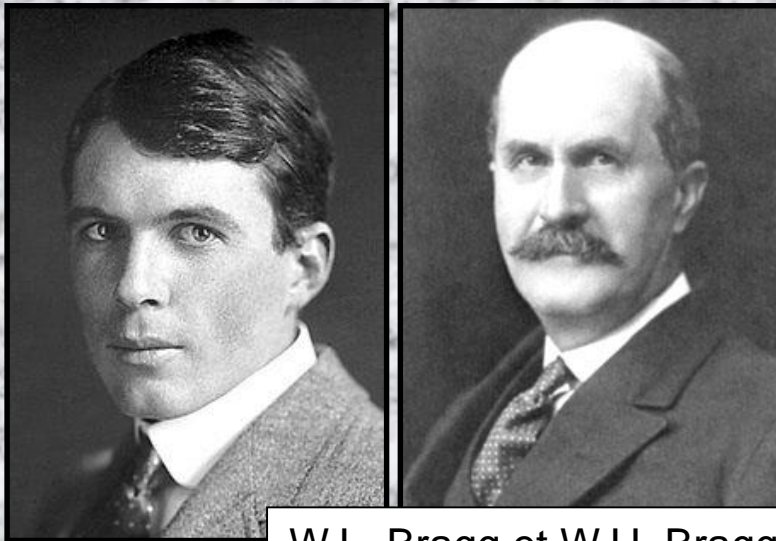
Max Von Laue (1879-1960)



Cette périodicité est engendrée par le **réseau cristallin**.

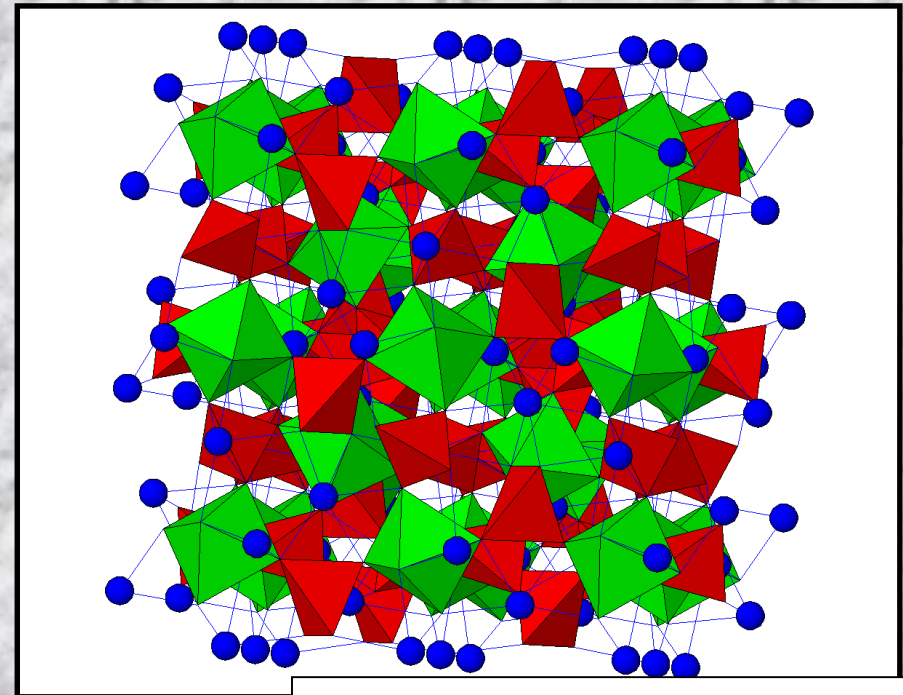
La structure cristalline

Le contenu atomique de la maille est appelé **motif**. La manière dont les atomes sont arrangés dans la maille définit la **structure cristalline** d'un minéral.



W.L. Bragg et W.H. Bragg

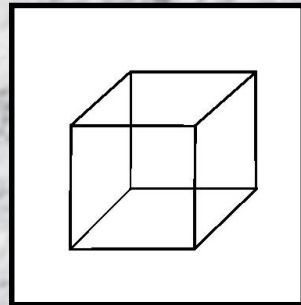
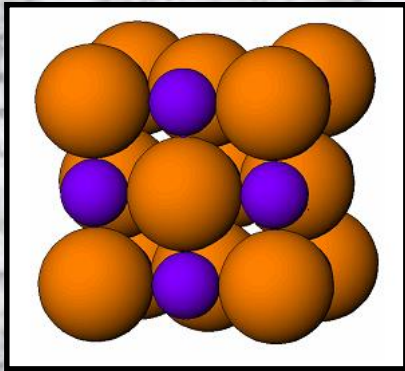
IYCr2014



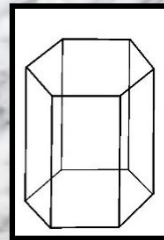
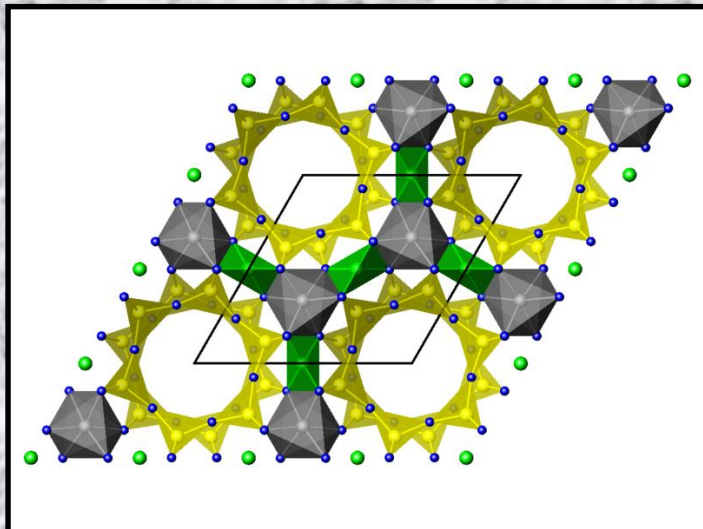
Structure cristalline des grenats

Cristal = réseau + motif

Les faces du cristal sont le reflet de l'arrangement périodique tridimensionnel des atomes dont il est constitué.



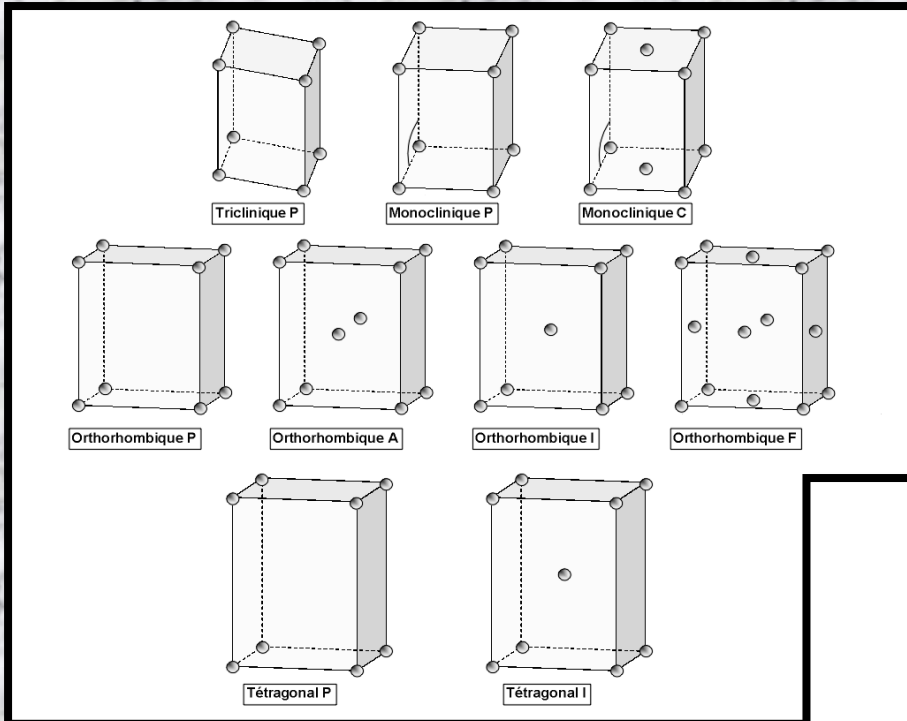
Halite, NaCl, Système cubique



Béryl, $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, syst. hexagonal

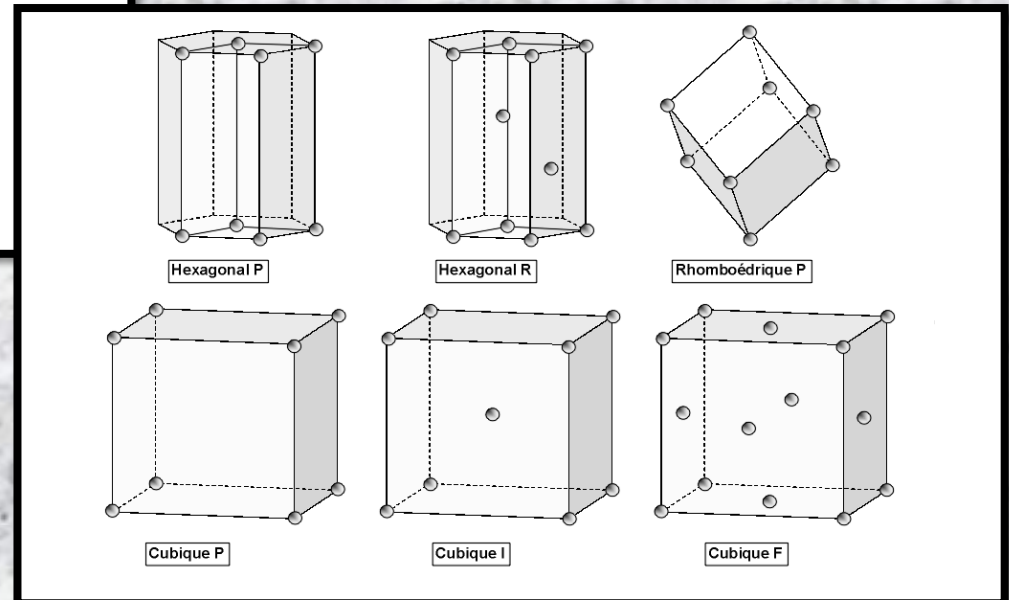
Symétrie interne

Les 14 modes de réseau de Bravais



Ordre de grandeur de l'Ångström

Cristal = édifice infini



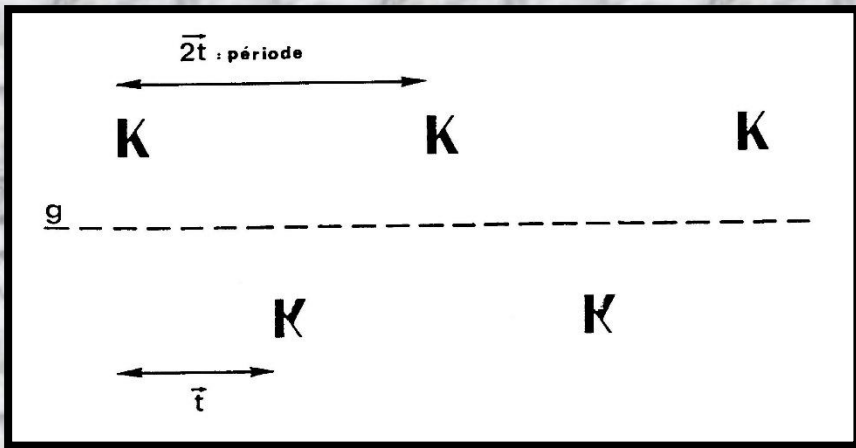
Présence de TRANSLATIONS



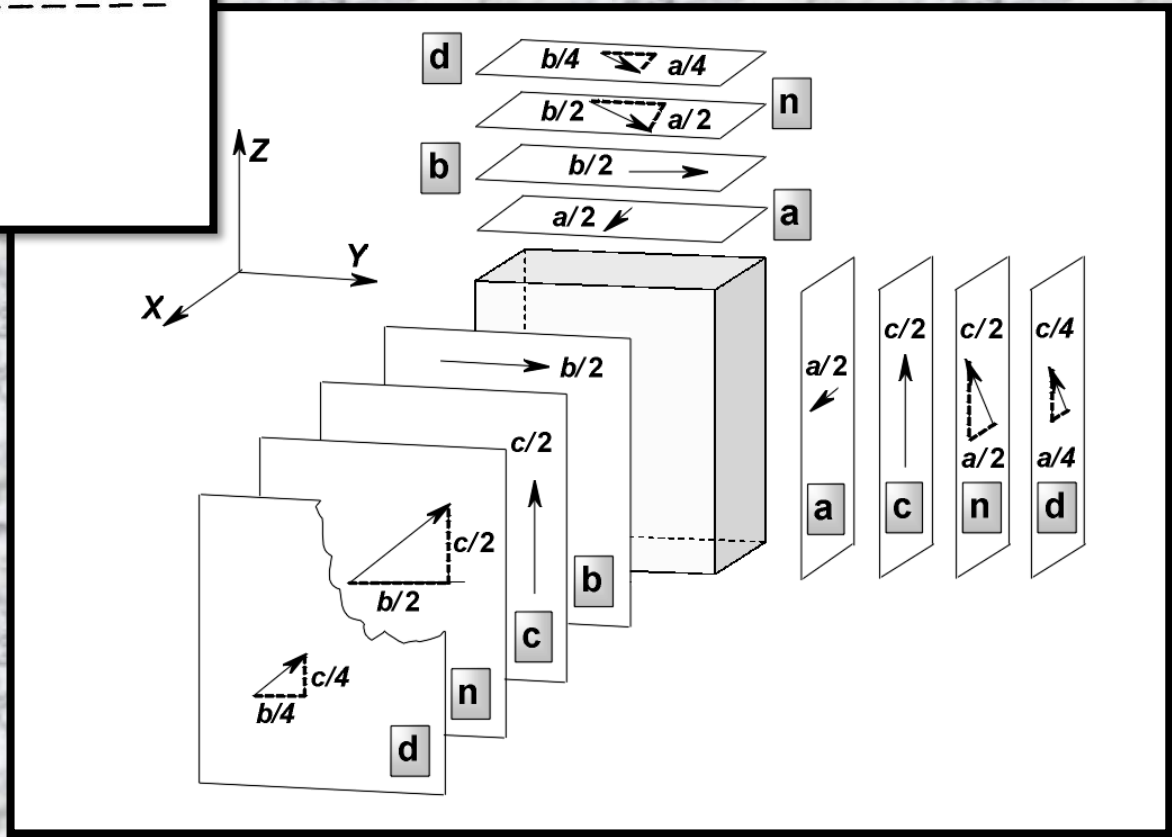
Mailles multiples

Symétrie interne

Les plans de glissement

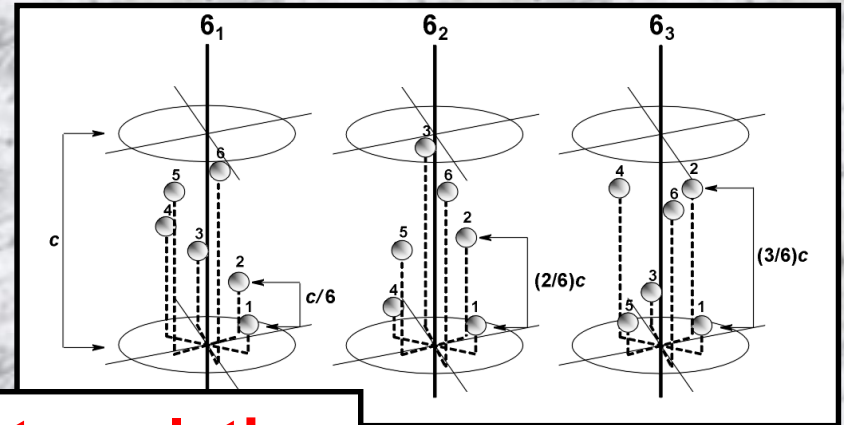
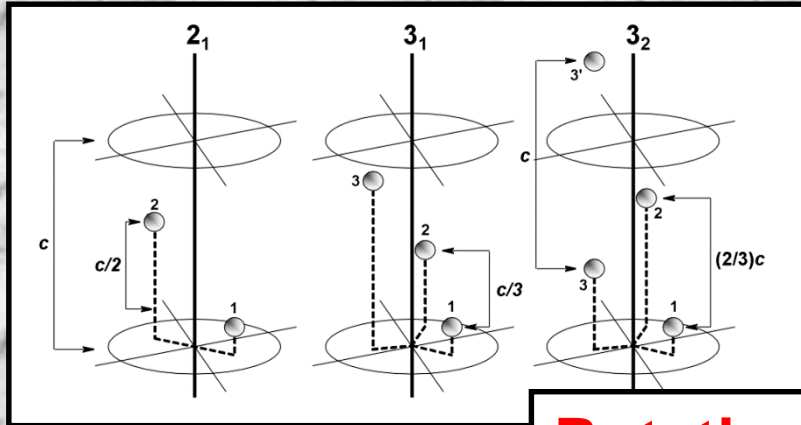


Réflexion + translation

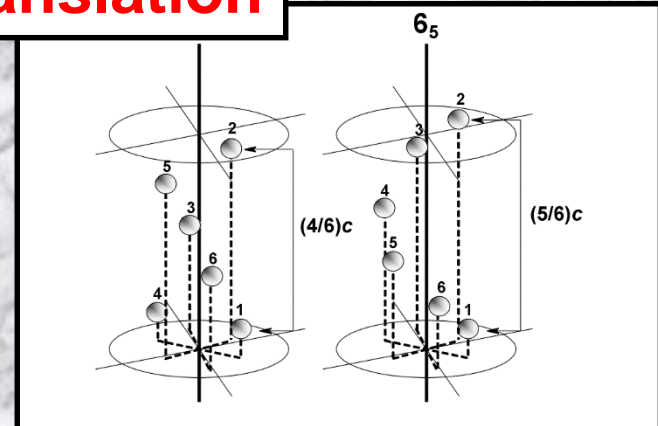
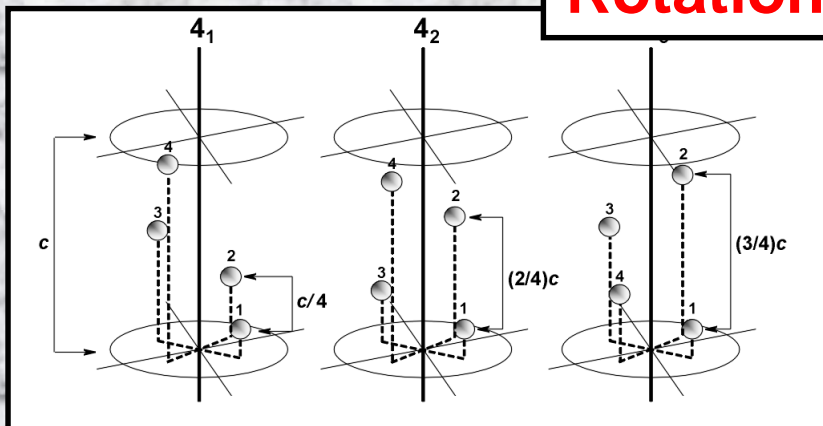


Symétrie interne

Les axes hélicoïdaux

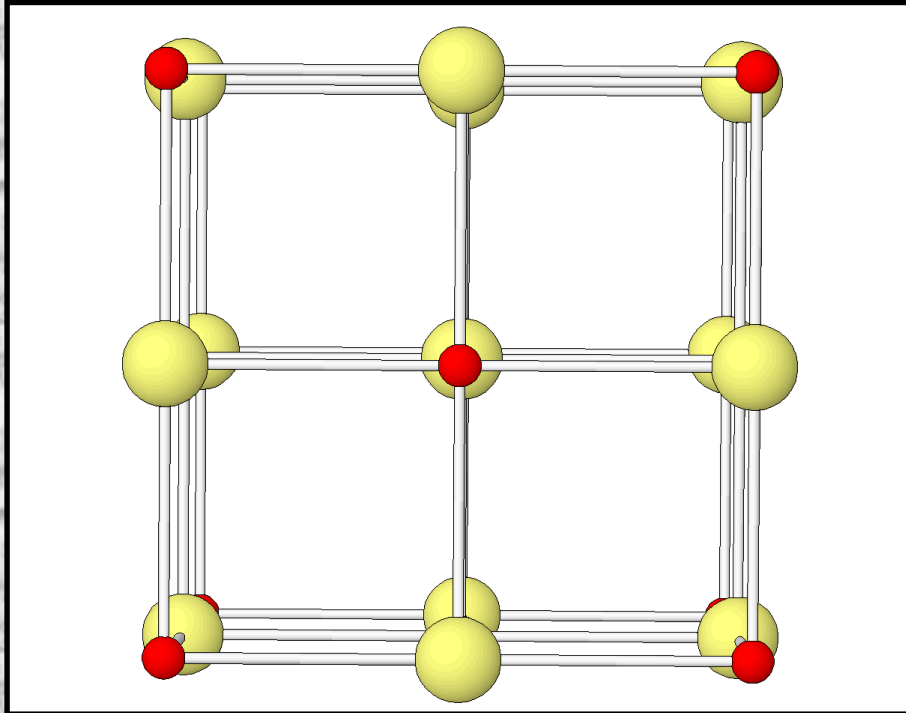


Rotation + translation



A l'échelle atomique, les structures cristallines peuvent être classées en 230 groupes spatiaux

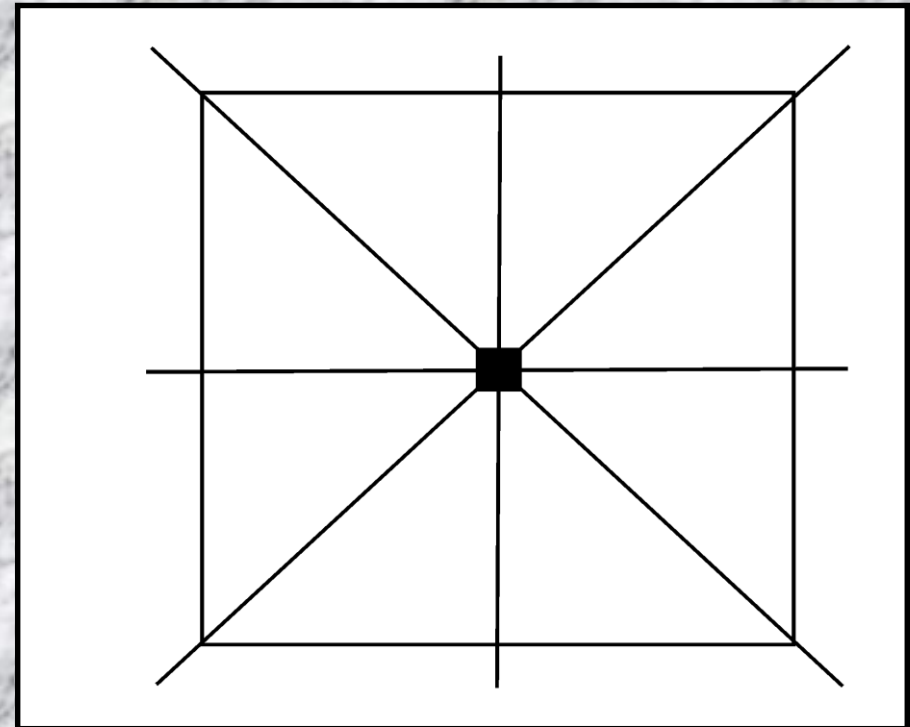
Structure halite



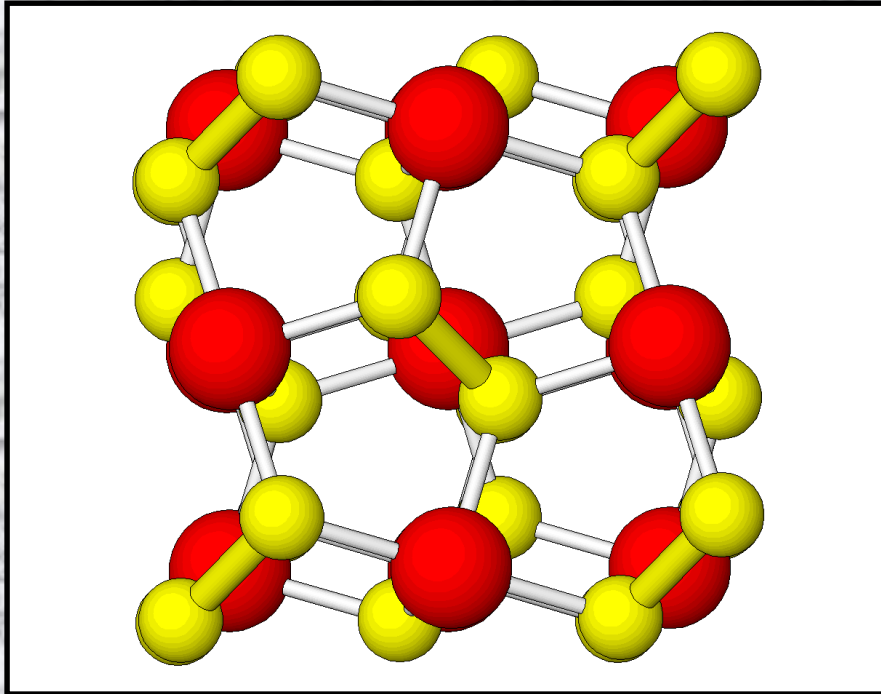
Axe d'ordre 4 et plans miroir



Halite, NaCl

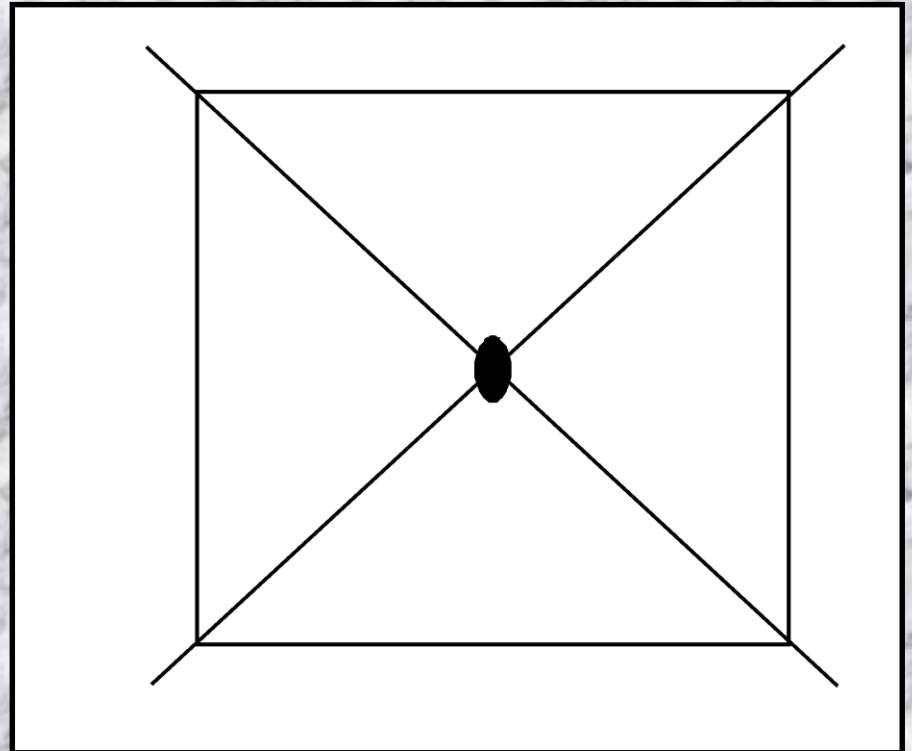


Structure pyrite

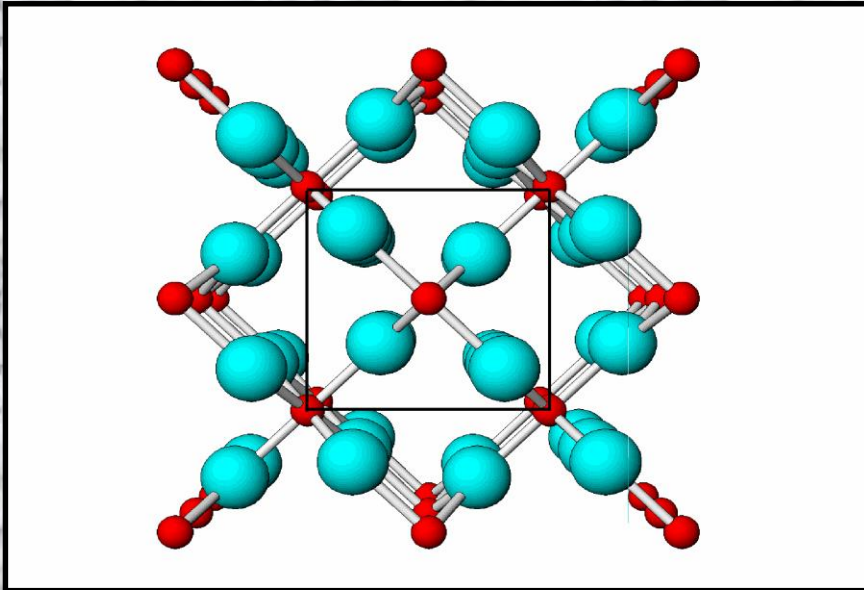


Pyrite, FeS_2

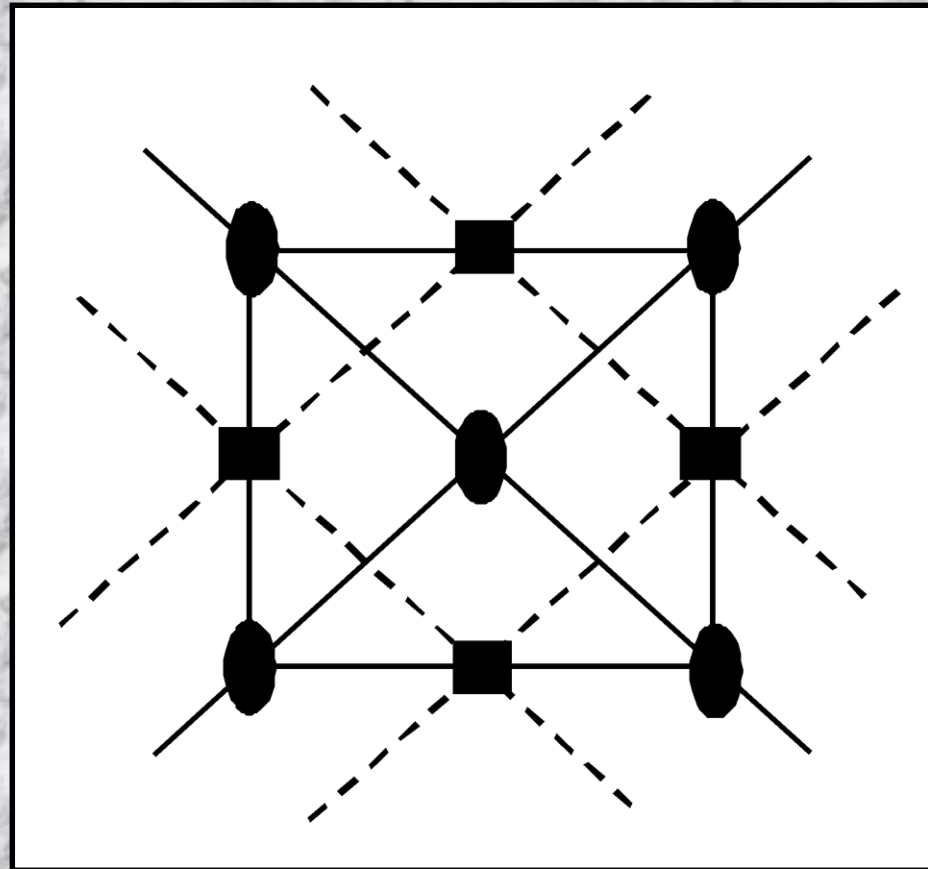
Axe d'ordre 4 dégénéré
en axe d'ordre 2



Structure rutile



Axes d'ordre 4 et axes d'ordre 2

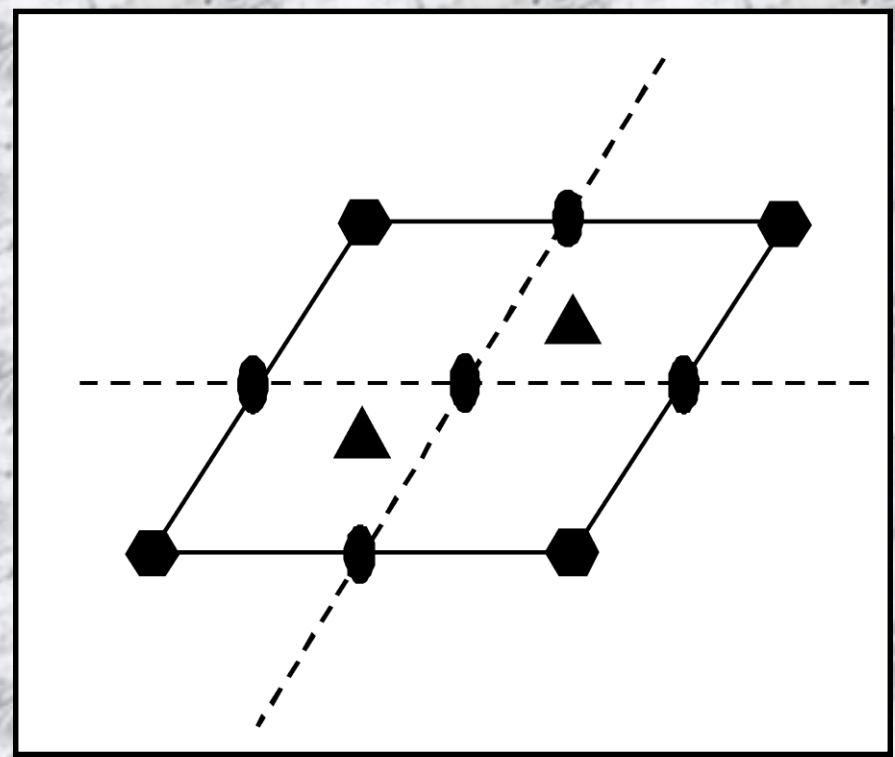
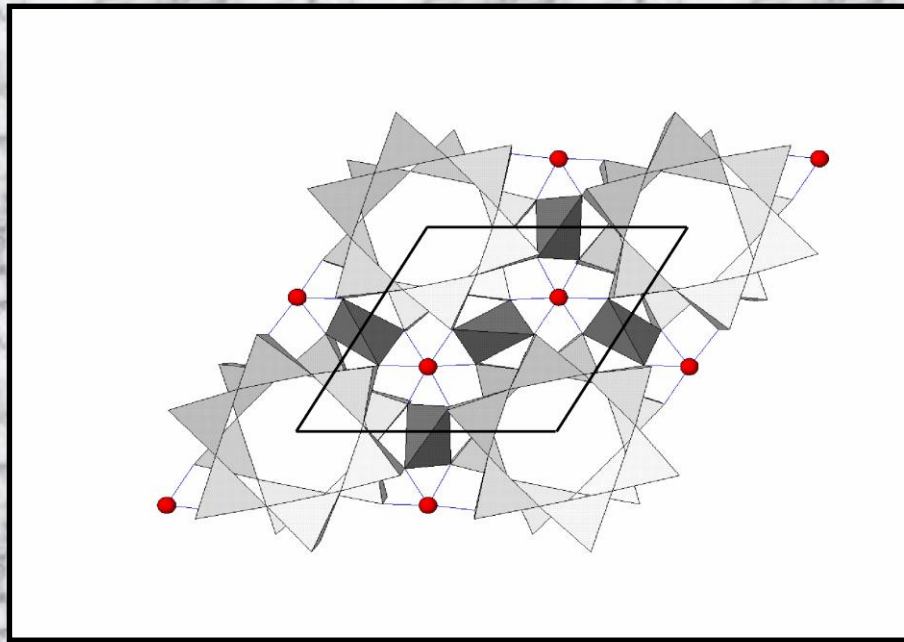


Rutile, TiO_2

Structure béryl

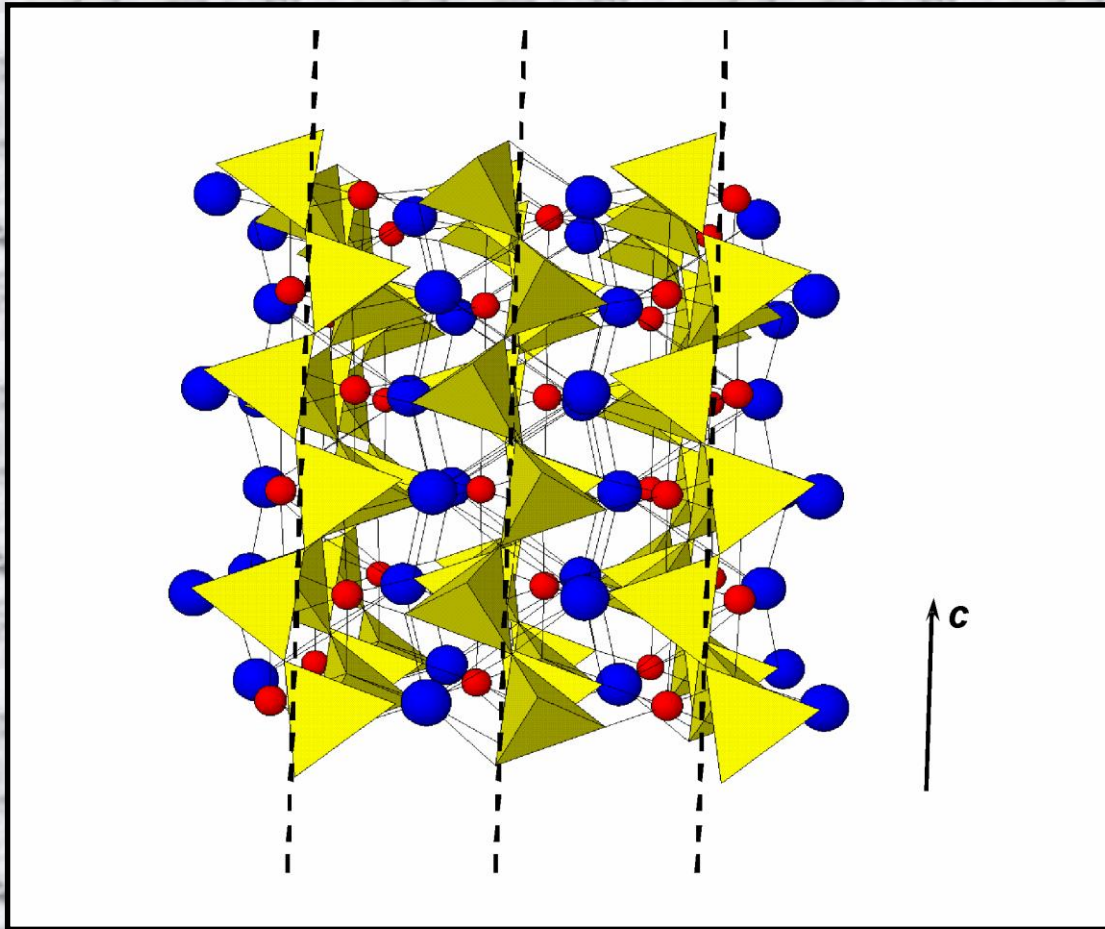


Béryl,
 $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$



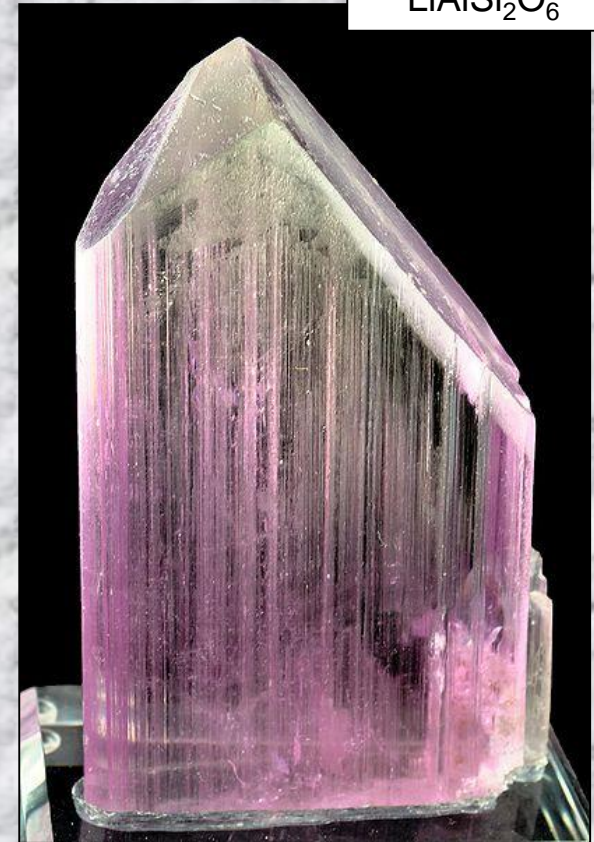
Axes d'ordre 6 et axes d'ordre 3

Structure des pyroxènes

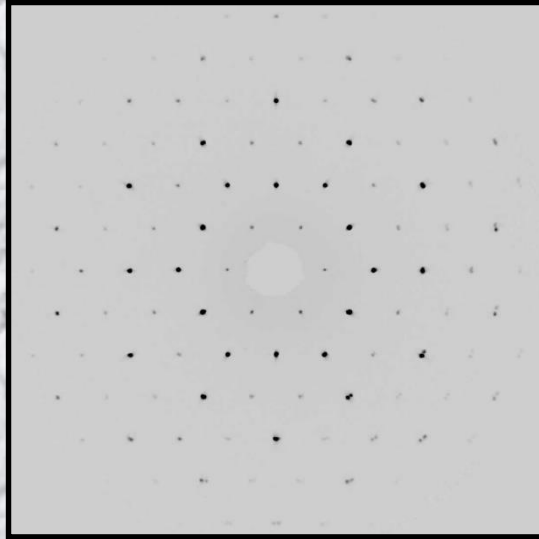


Plans de glissement

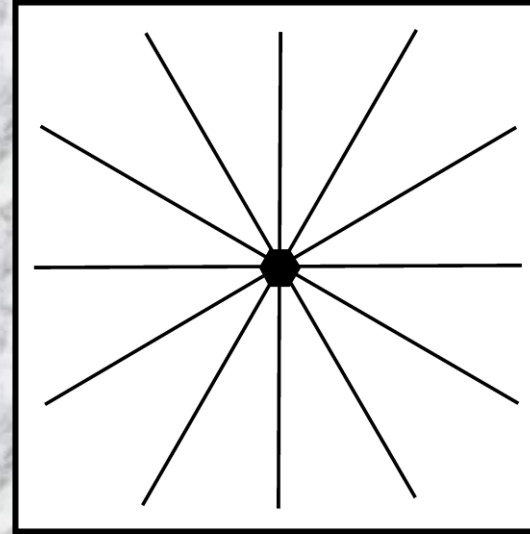
Spodumène,
 $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$



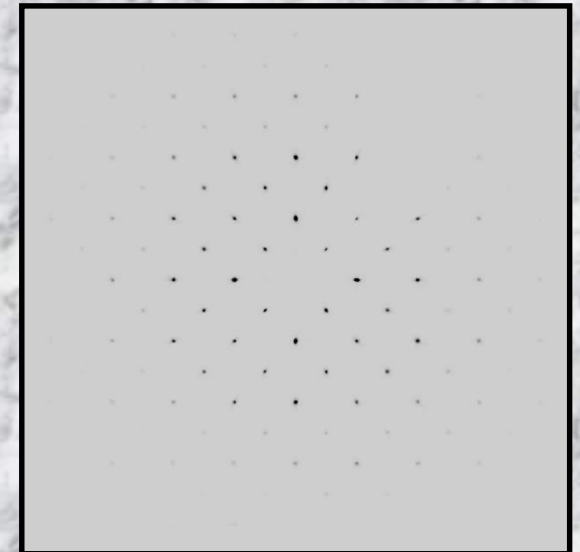
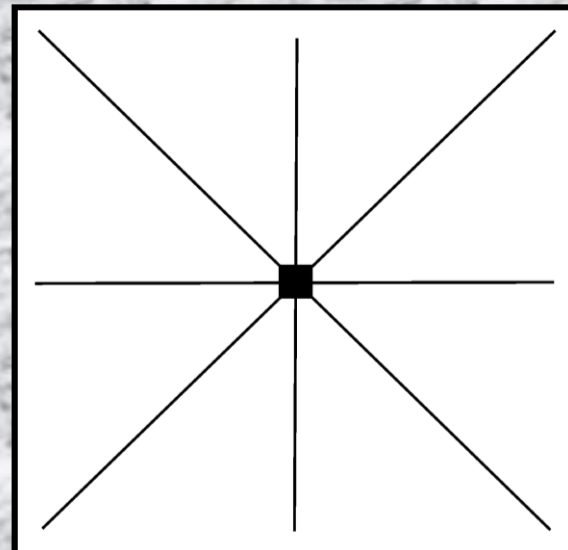
Symétrie et diffraction



Minjiangite,
 $\text{BeBe}_2(\text{PO}_4)_2$

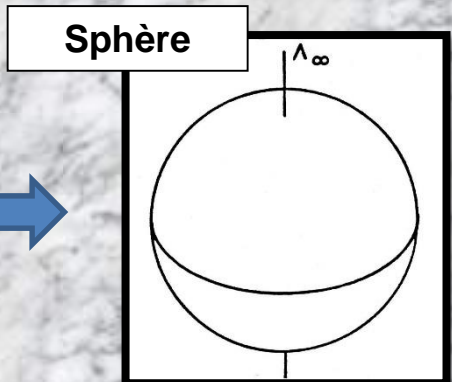
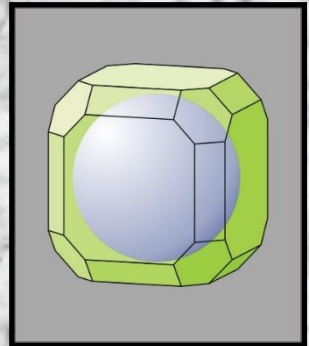


Torbernite,
 $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

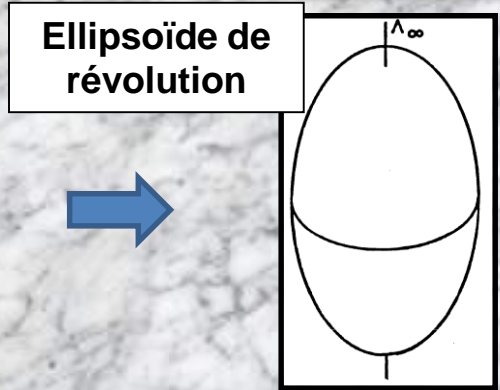
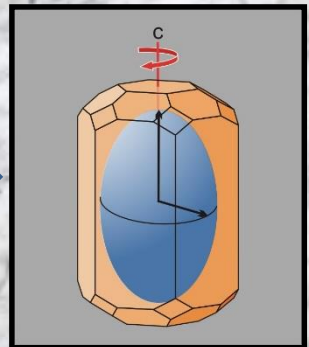


Symétrie optique

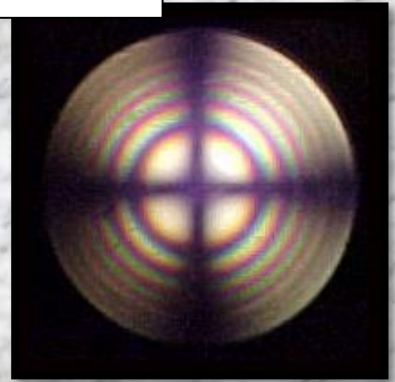
CUBIQUE



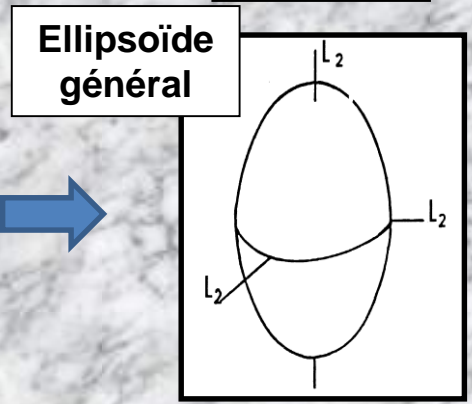
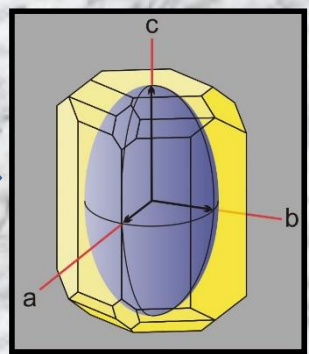
**RHOMBOEDRIQUE
TETRAGONAL
HEXAGONAL**



Uniaxe



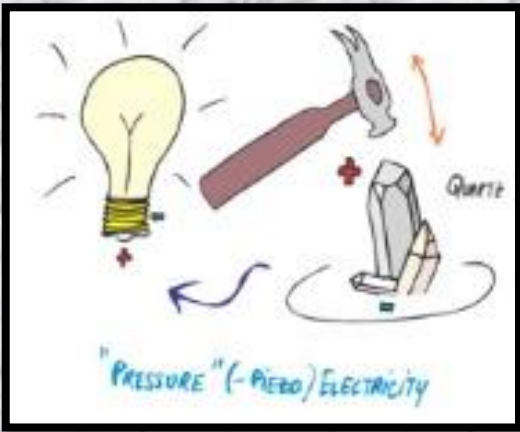
**ORTHORHOMBIQUE
MONOCLINIQUE
TRICLINIQUE**



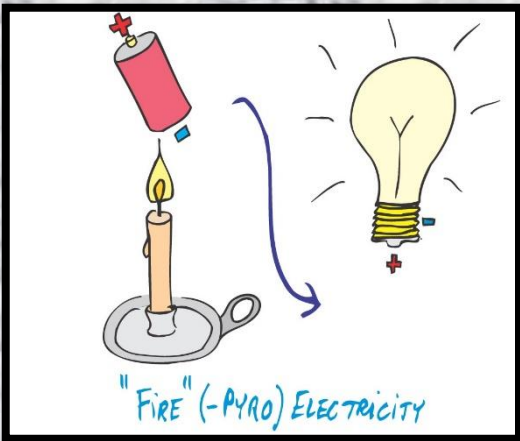
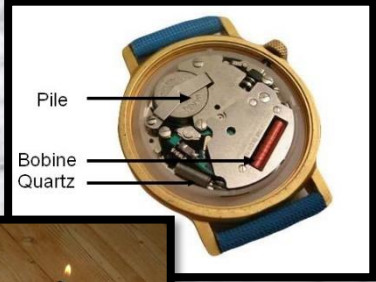
Biaxe



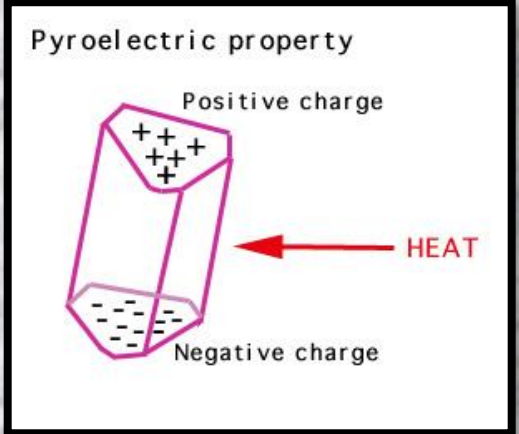
Piézoélectricité et pyroélectricité



Quartz
Rhomboédrique **holoaxe**



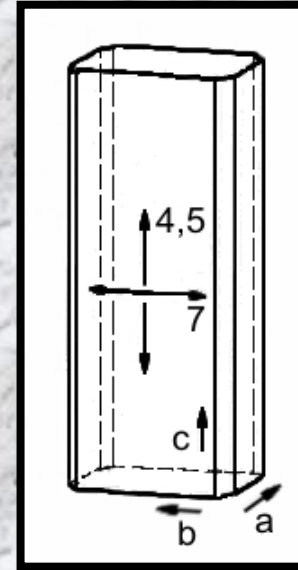
Tourmaline
Rhomboédrique **antihémiédrique**



Anisotropie de dureté



Cyanite (« Disthène »)
 $\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$, Triclinique



Muscovite
 $\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$,
Monoclinique



Conclusions



- La cristallographie est un outil capable de nous aider à comprendre la forme des minéraux et leur structure cristalline à l'échelle atomique.
- Les cristaux sont classés en 32 classes cristallines, sur base de leur symétrie externe, et en 230 groupes spatiaux, sur base de leur symétrie à l'échelle atomique.
- Les éléments de symétrie des minéraux influencent leur forme, mais se retrouvent également au niveau de leur structure cristalline et de leurs propriétés physiques.
- Pour plus d'informations: www.minera.ulg.ac.be