

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



La cristallographie:

Un formidable outil pour expliquer la
forme et la structure interne des minéraux

Prof. Frédéric HATERT

Les cristaux



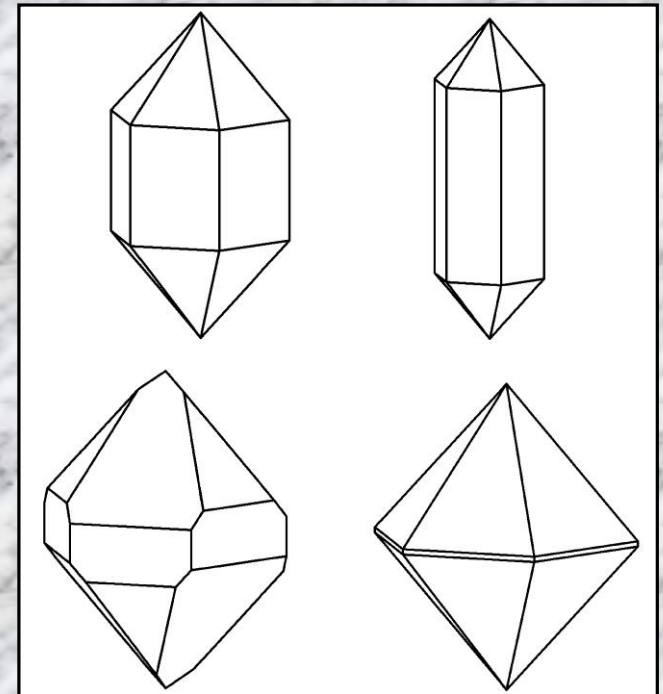
Nicolas Sténon
(1638-1686)



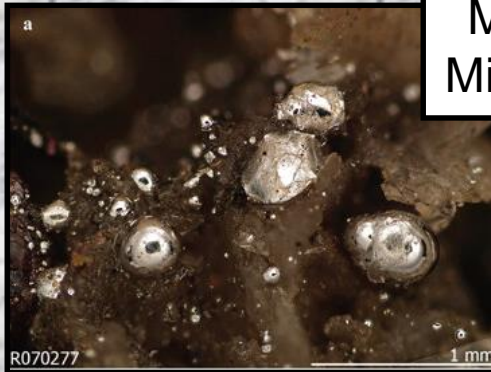
J.-B. Romé de l'Isle
(1736-1790)

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



Mercuré, Hg
Minéral liquide

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

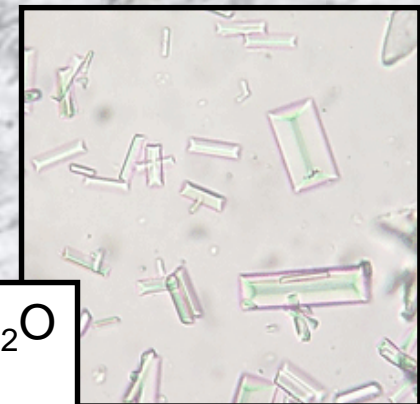


Solide inorganique cristallin de composition chimique définie, qui résulte de processus cosmologiques ou géologiques



Ambre
Minéral organique

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



La cristallographie

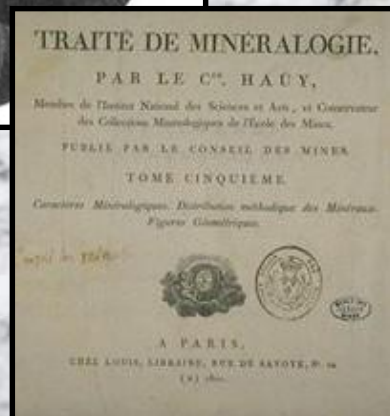
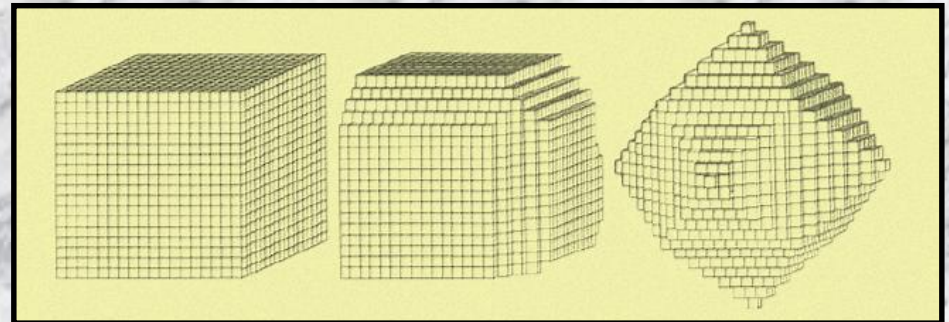
René-Just Haüy (1743-1822)



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



Première théorie descriptive de la structure
interne des cristaux.

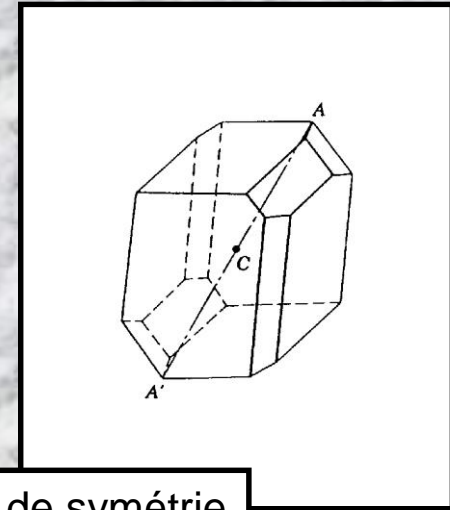


La symétrie

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

Éléments de symétrie:

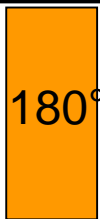
- Centre de symétrie
- Plan miroir
- Axes de rotation (ordres 2, 3, 4, 6)



Centre de symétrie

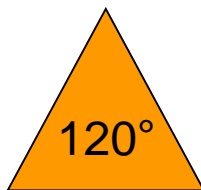
Axes de rotation

Ordre 2



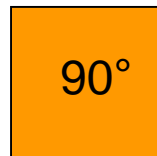
2 rotations de 180°

Ordre 3



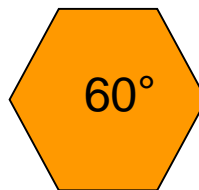
3 rotations de 120°

Ordre 4

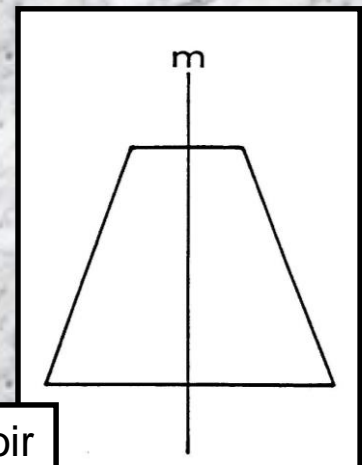


4 rotations de 90°

Ordre 6



6 rotations de 60°

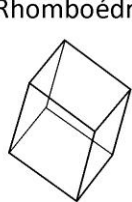
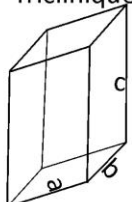
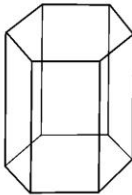
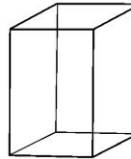
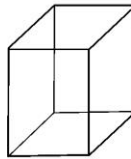
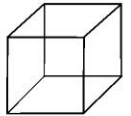


Plan miroir

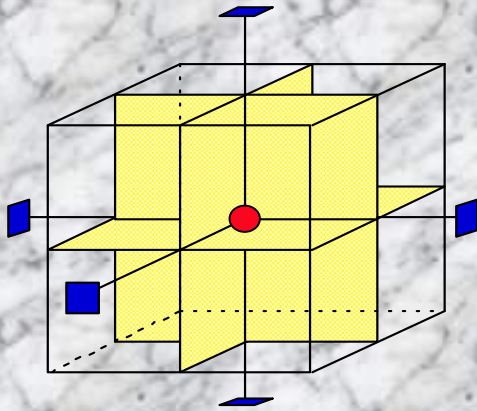
Les 7 systèmes cristallins

- 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

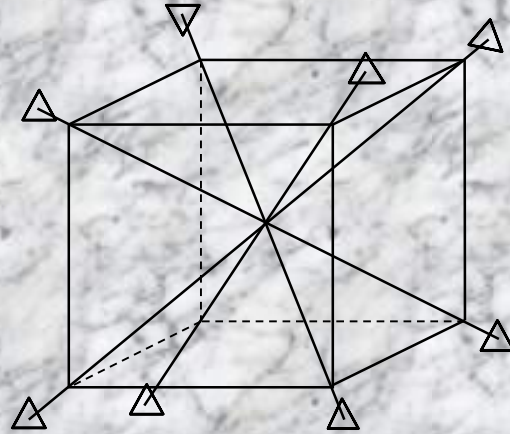
Les plans de symétrie ne sont pas mentionnés

Monoclinique		Triclinique	Hexagonal	Orthorhombique	Quadratique	Cubique
Rhomboédrique						
$a = b = c$ $\alpha = \gamma = \beta \neq 90^\circ$	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Le système cubique

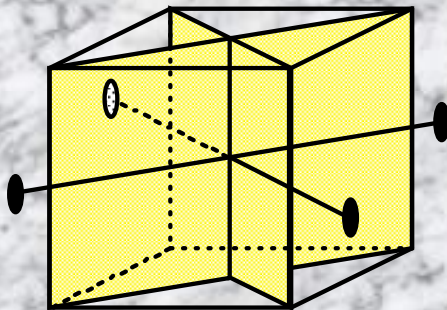


3 axes d'ordre 4
3 plans \perp

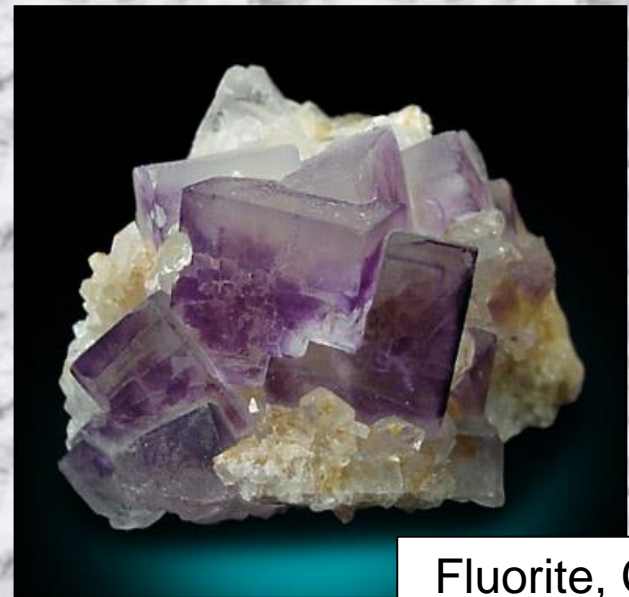


4 axes d'ordre 3

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

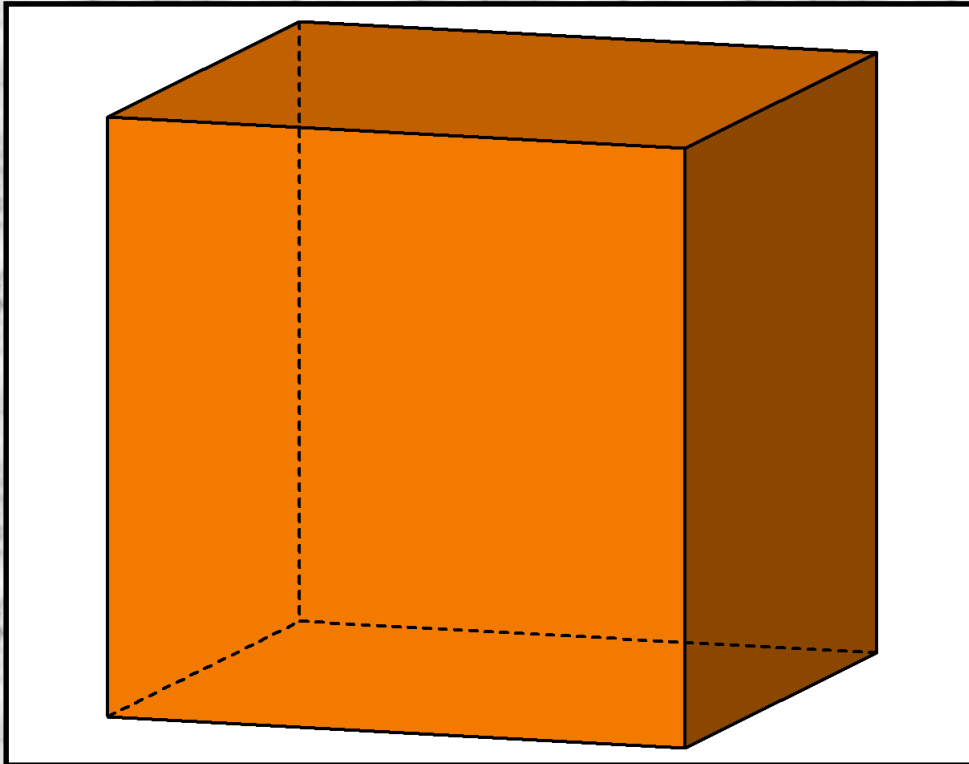


6 axes d'ordre 2
6 plans \perp



Fluorite, CaF_2

Le cube



Fluorite, CaF_2

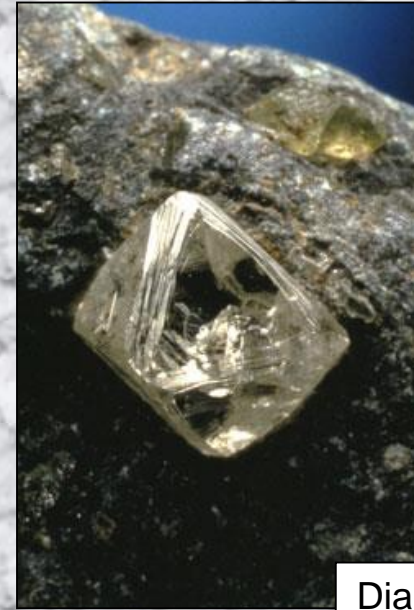
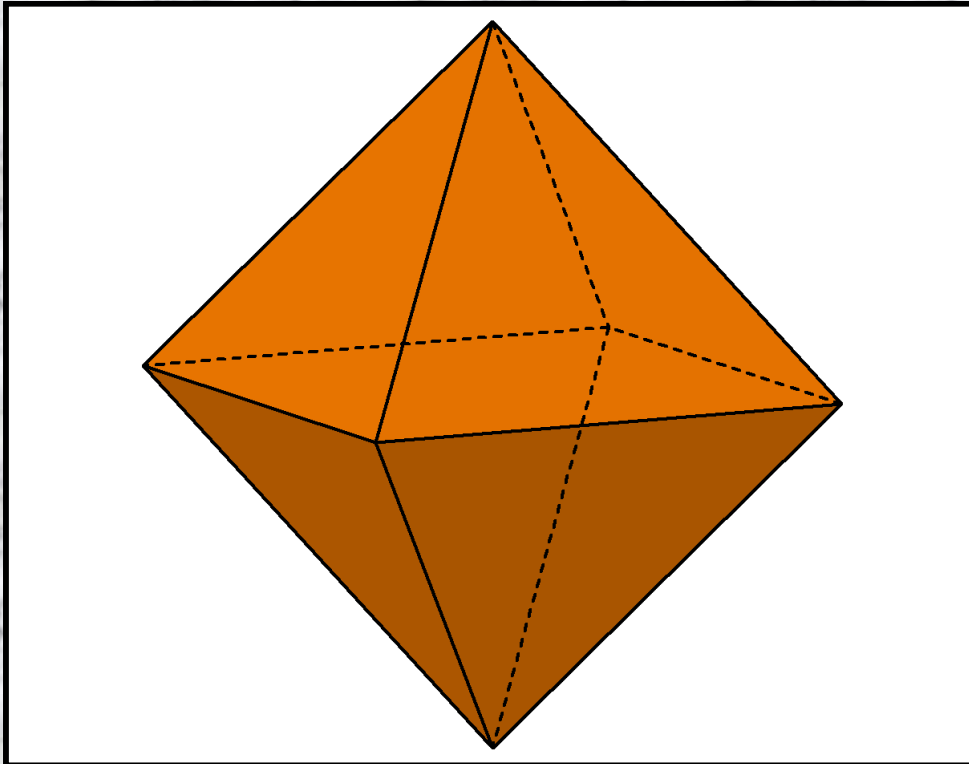


Pyrite, FeS_2



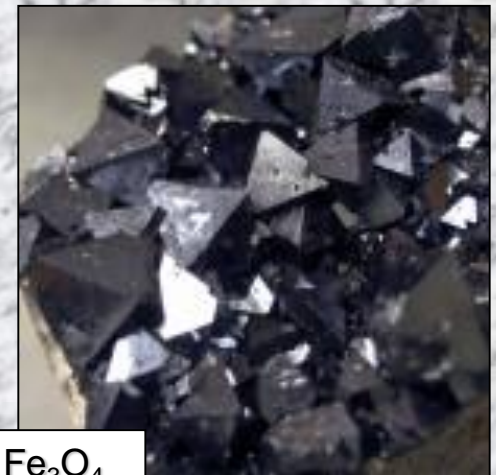
6 faces carrées parallèles 2 à 2

L'octaèdre



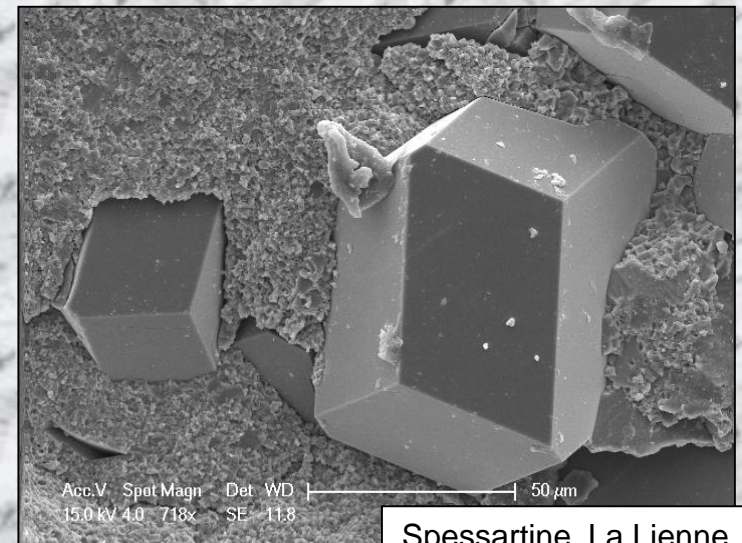
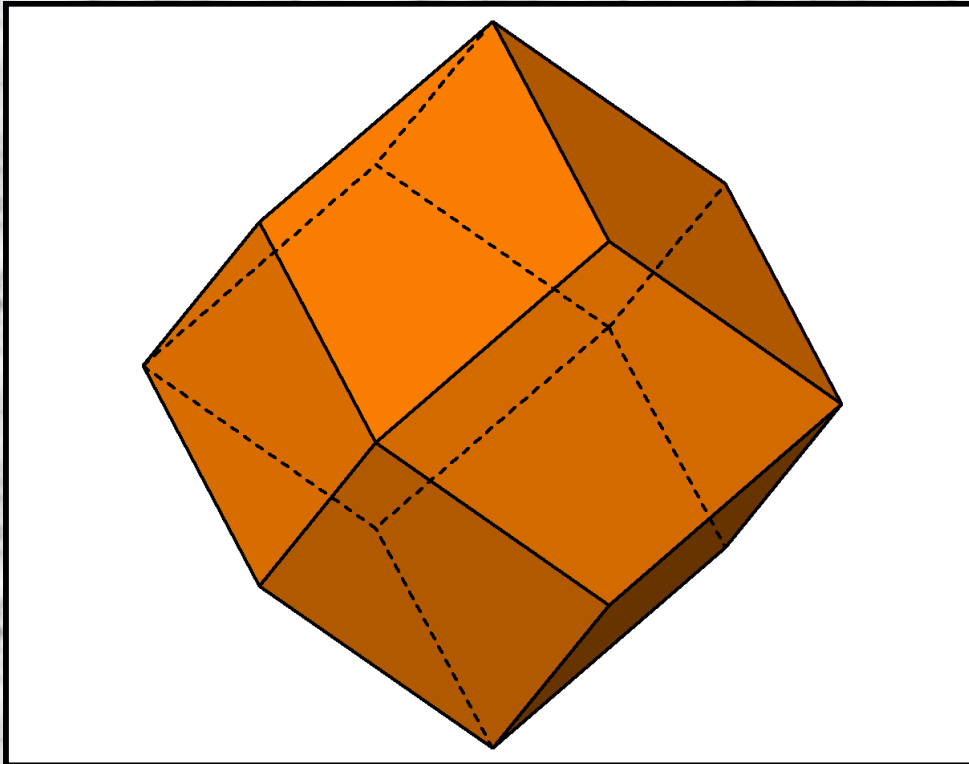
Diamant, C

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



Magnétite, Fe_3O_4

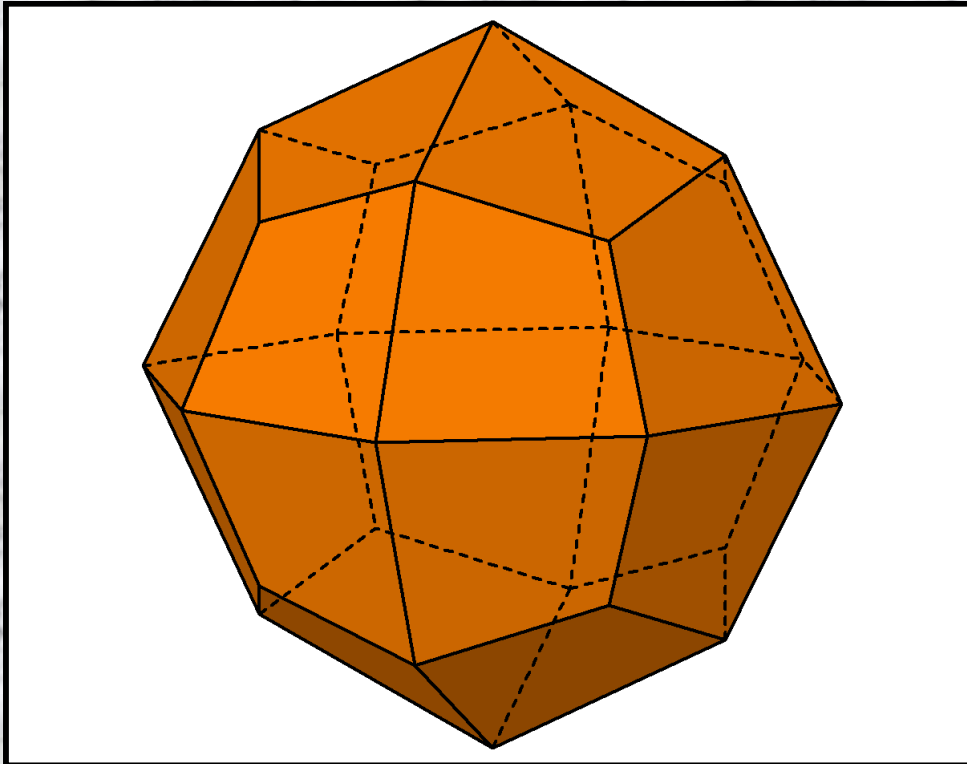
Le rhombododécaèdre



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

Spessartine, La Lienne

Le trapézoèdre



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



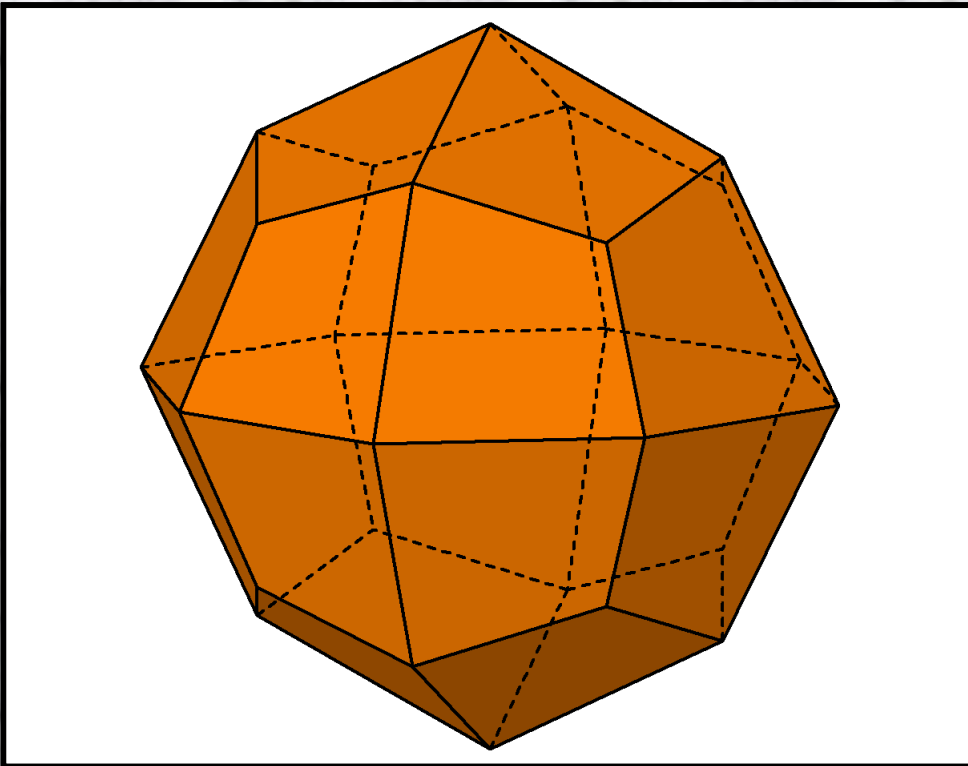
Leucite, $KAlSi_2O_6$

Rhombododécaèdre et trapézoèdre

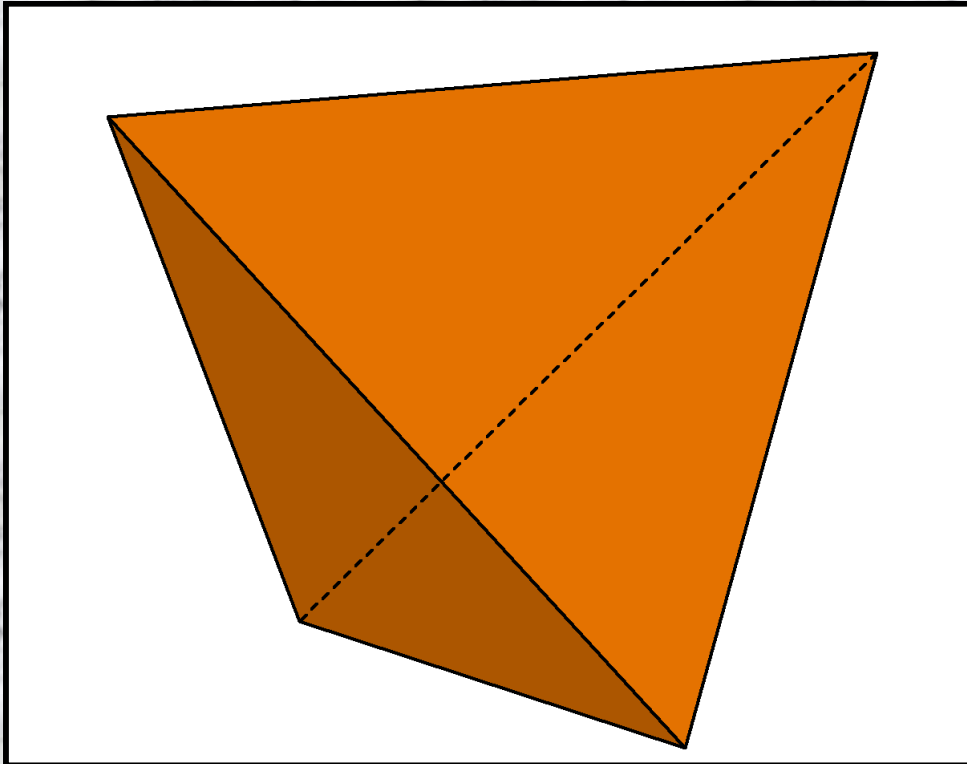
Pyrope,
 $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$



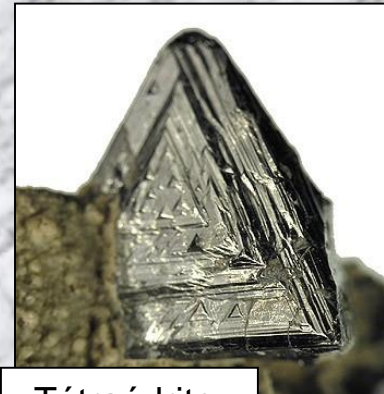
Grossulaire,
 $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$



Le tétraèdre



Boracite,
 $\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$



Tétrahédrite,
 $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$

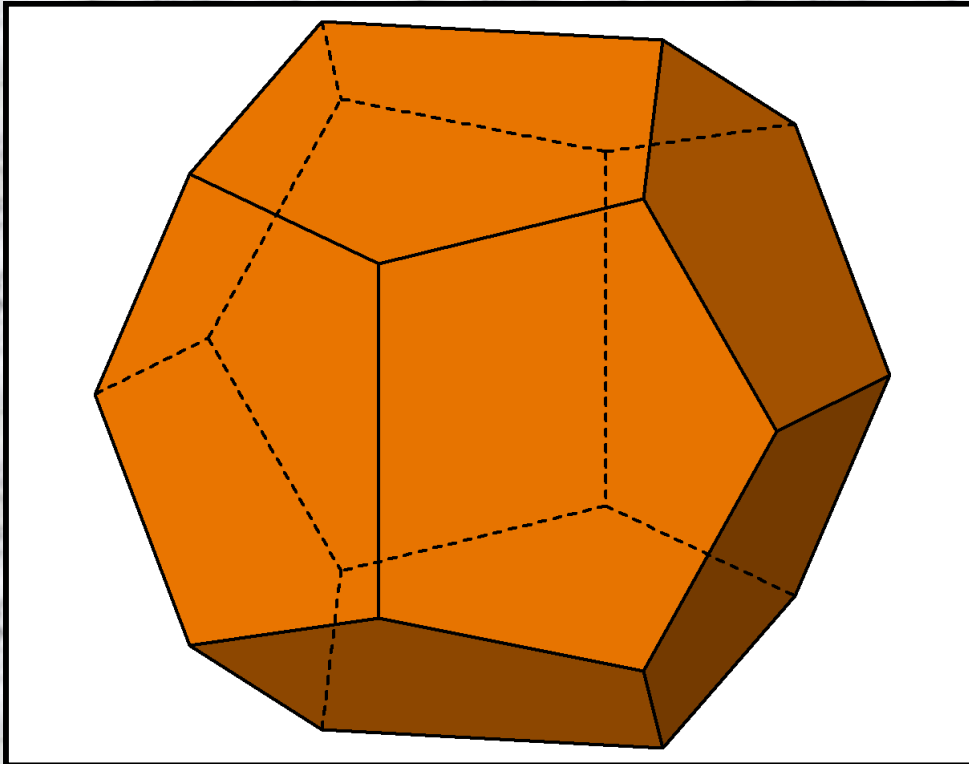
Tennantite,
 $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$



Pas de centre de symétrie

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

Le pyritoèdre



Pyrite, FeS_2



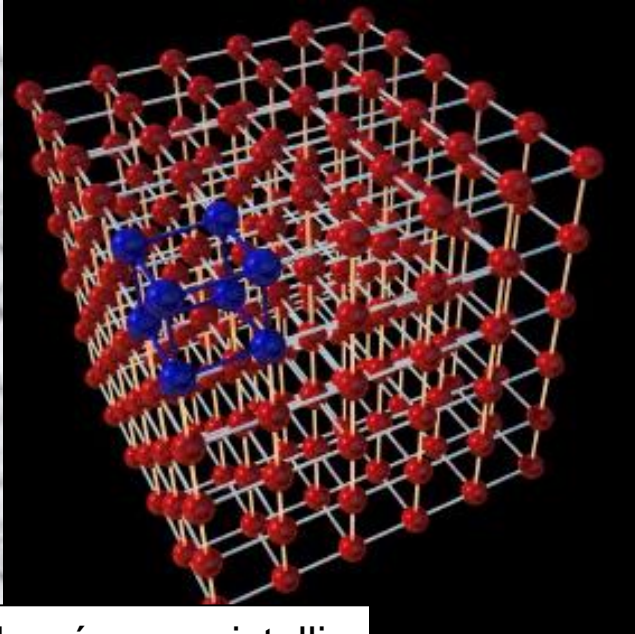
Axes d'ordre 4 dégénérés en axes d'ordre 2

Troncatures obliques des arêtes du cube
12 faces pentagonales irrégulières



Cobaltite, CoAsS

Le réseau cristallin

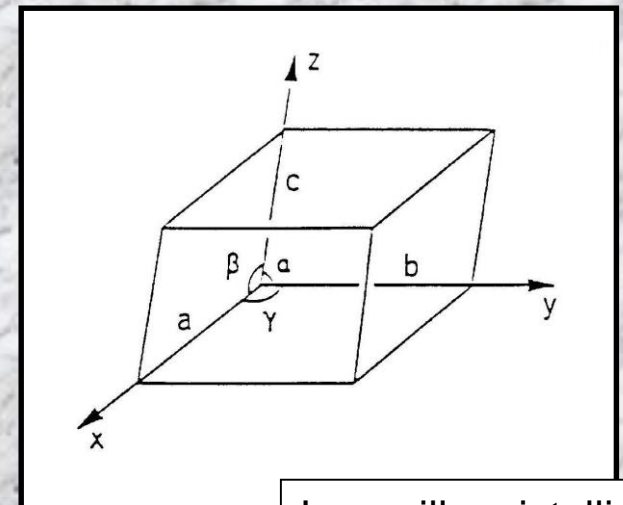


Le réseau cristallin



Auguste Bravais (1811-1863)

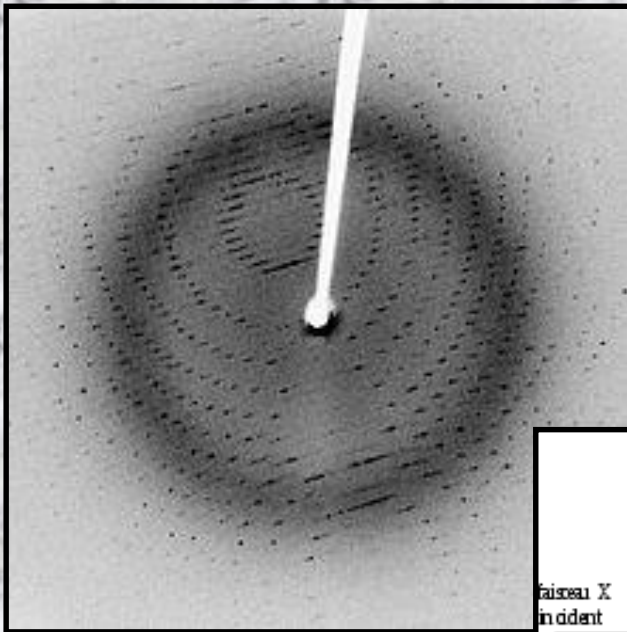
Le réseau cristallin est défini par l'empilement périodique et infini de **mailles cristallines**, selon les 3 directions de l'espace.



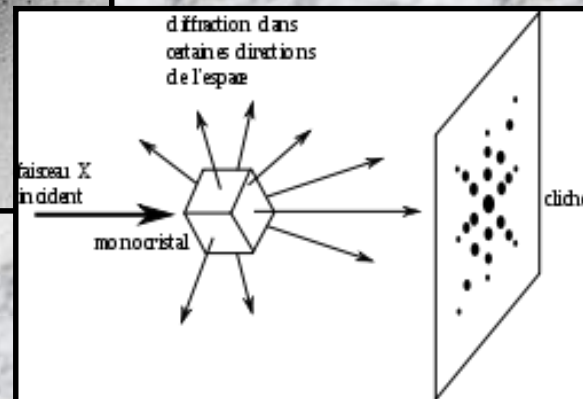
La maille cristalline

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).



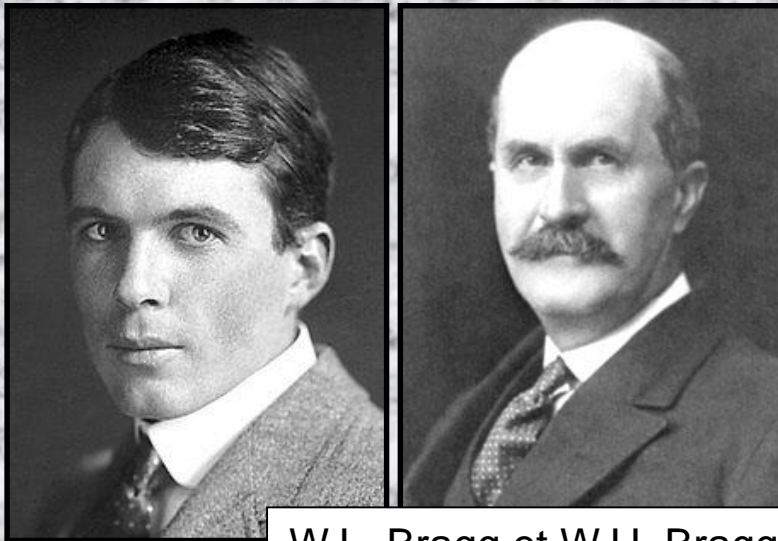
Max Von Laue (1879-1960)



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

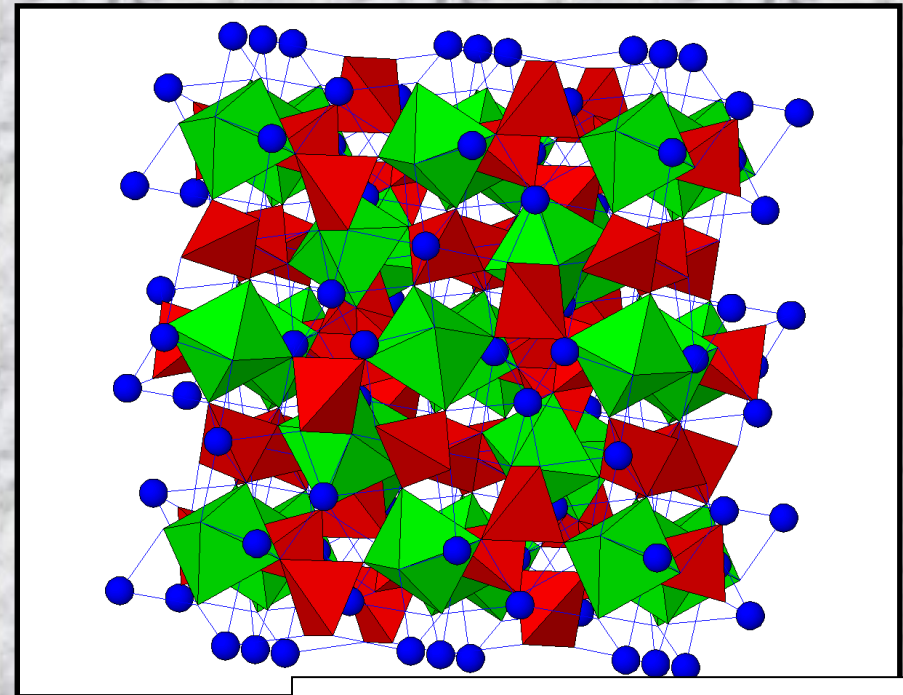
La structure cristalline

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

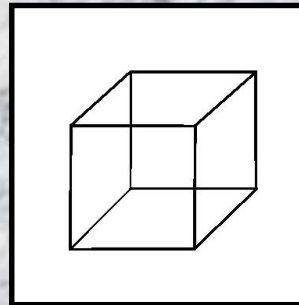
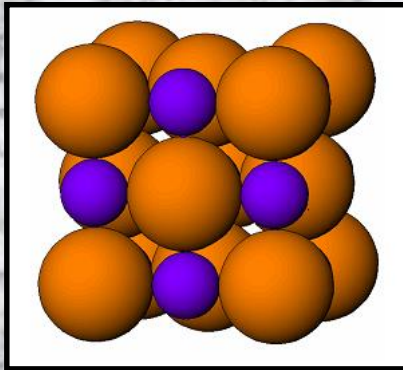
IYCr2014



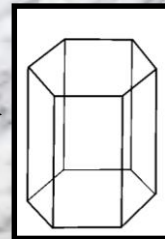
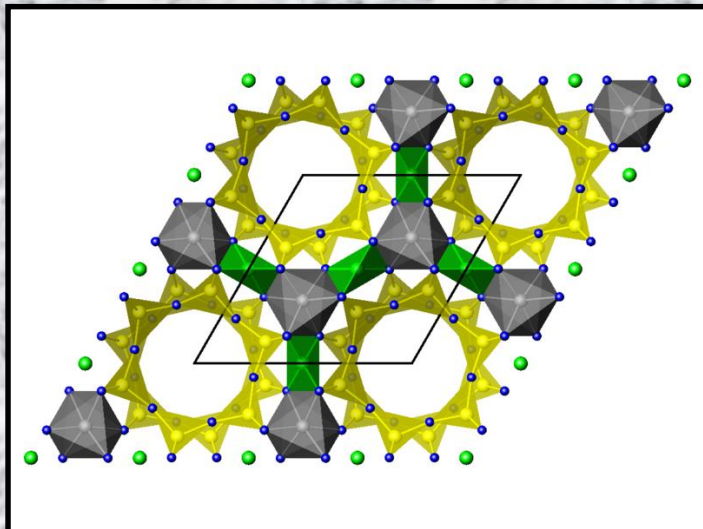
Structure cristalline des grenats

Cristal = réseau + motif

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

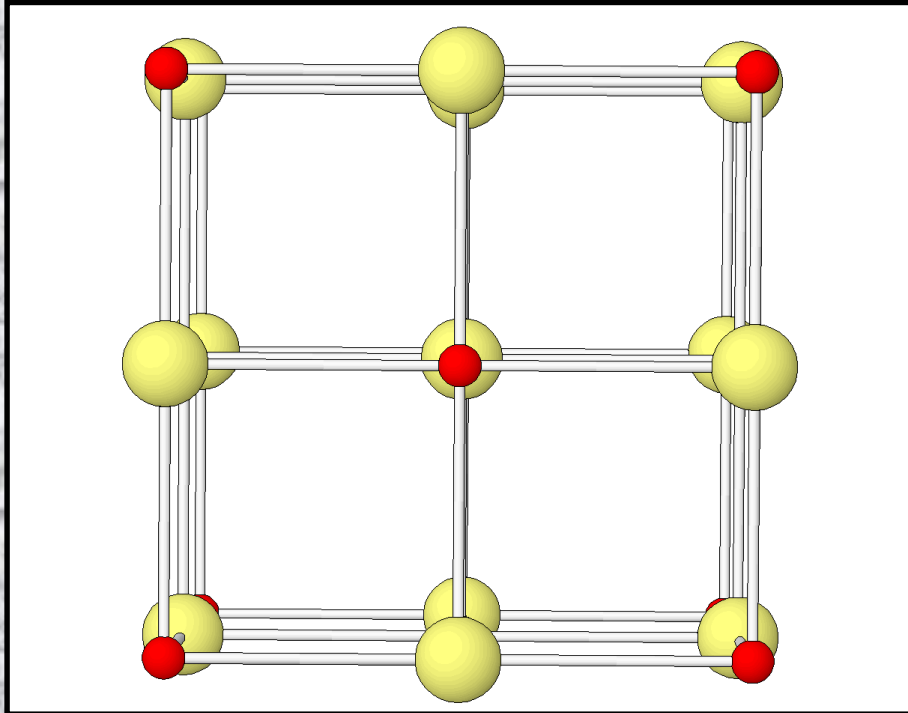


Halite, NaCl, Système cubique

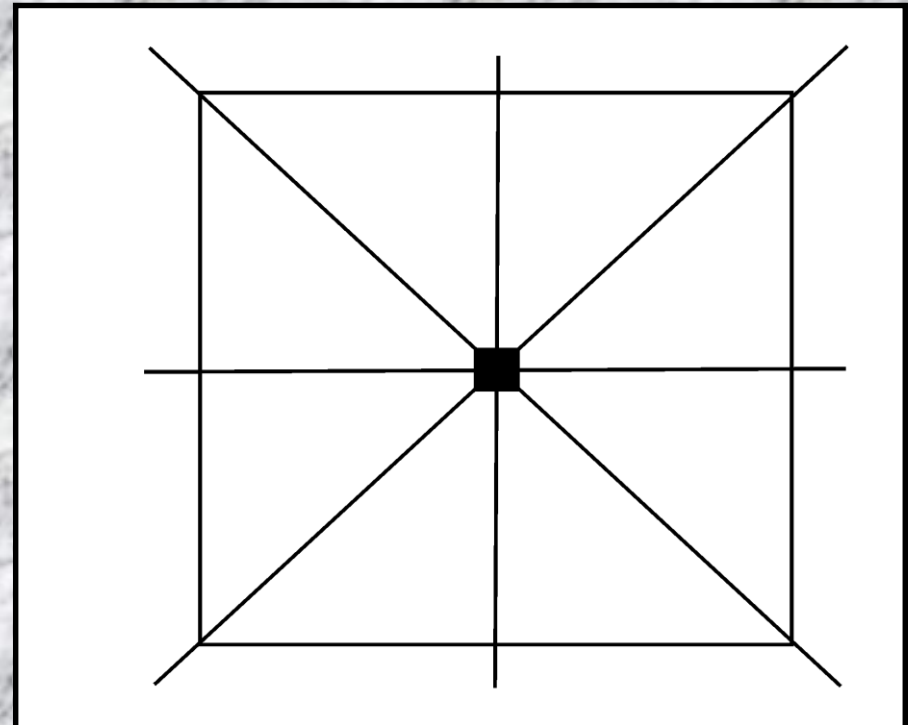


Béryl, $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, syst. hexagonal

Structure halite



Axe d'ordre 4 et plans miroir

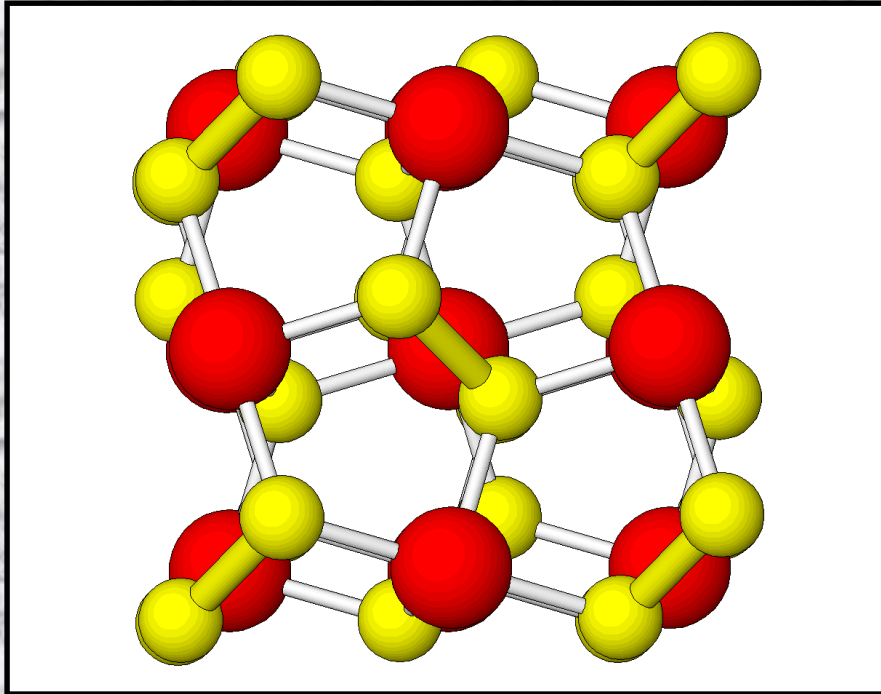


Halite, NaCl

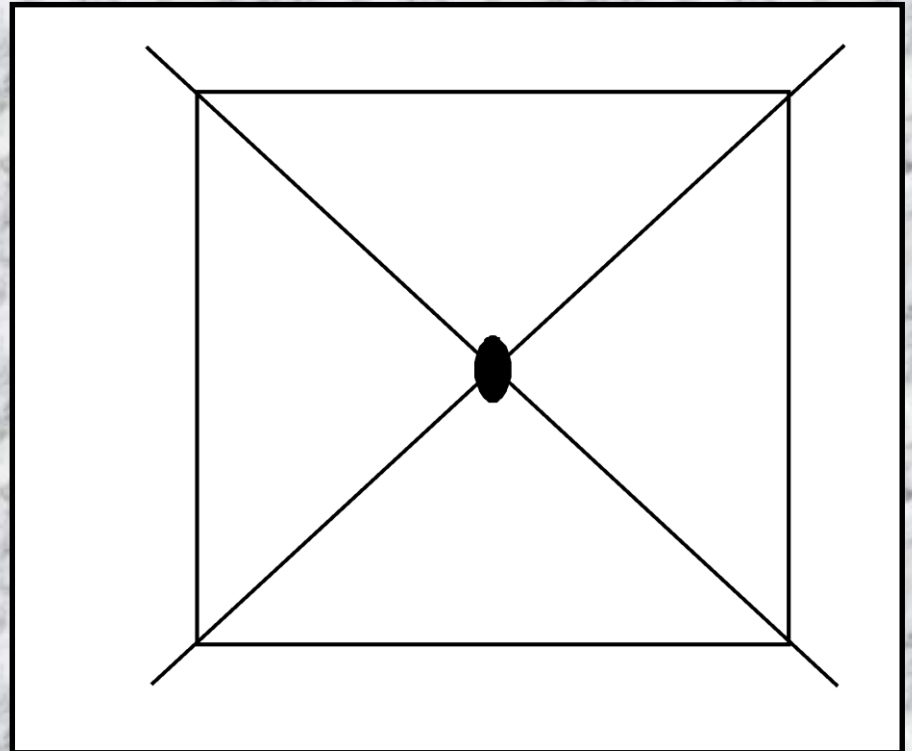
Structure pyrite



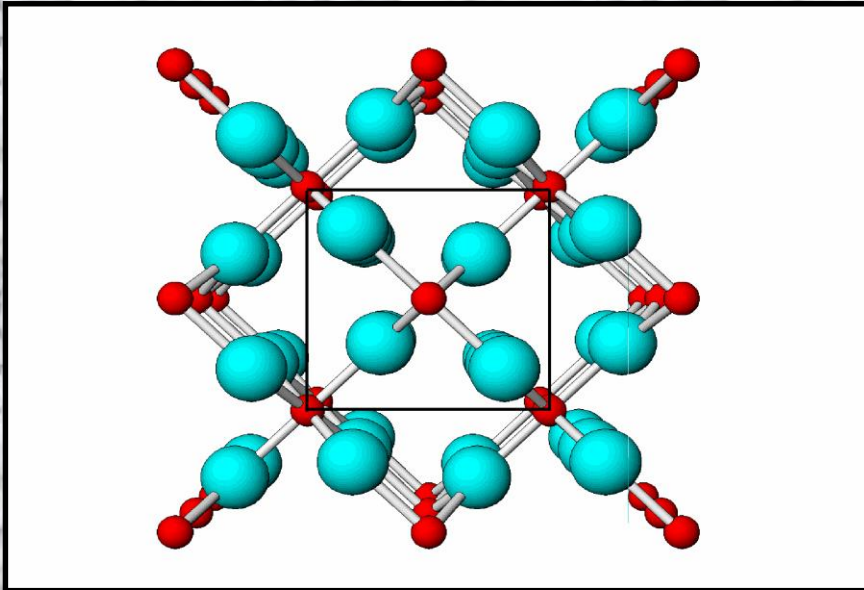
Pyrite, FeS_2



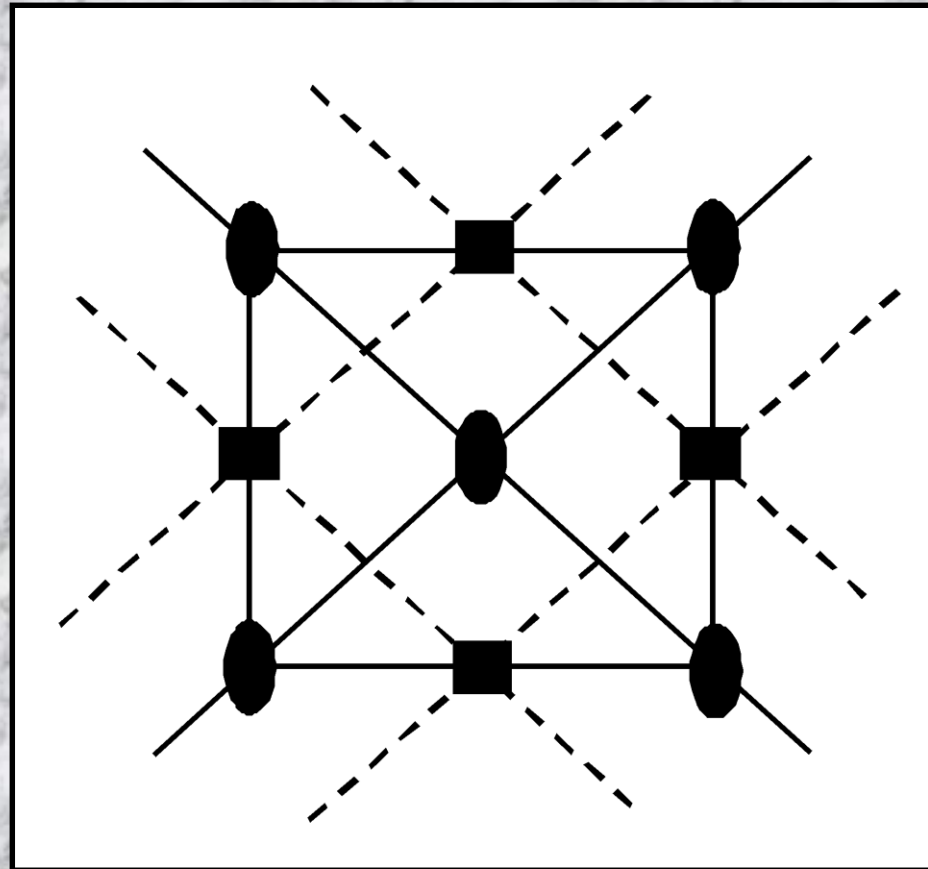
Axe d'ordre 4 dégénéré
en axe d'ordre 2



Structure rutile



Axes d'ordre 4 et axes d'ordre 2

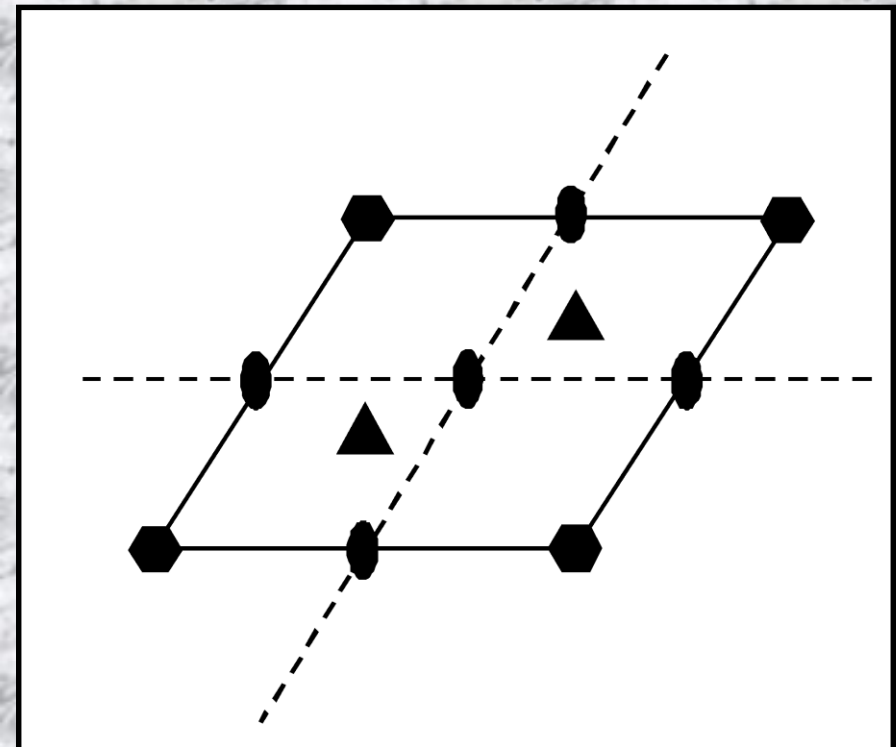
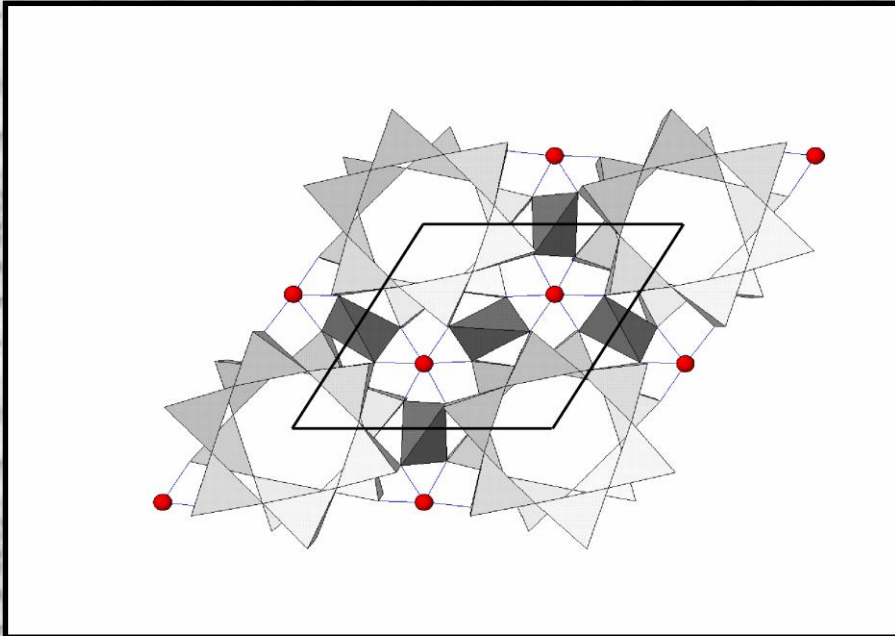


Rutile, TiO_2

Structure béryl

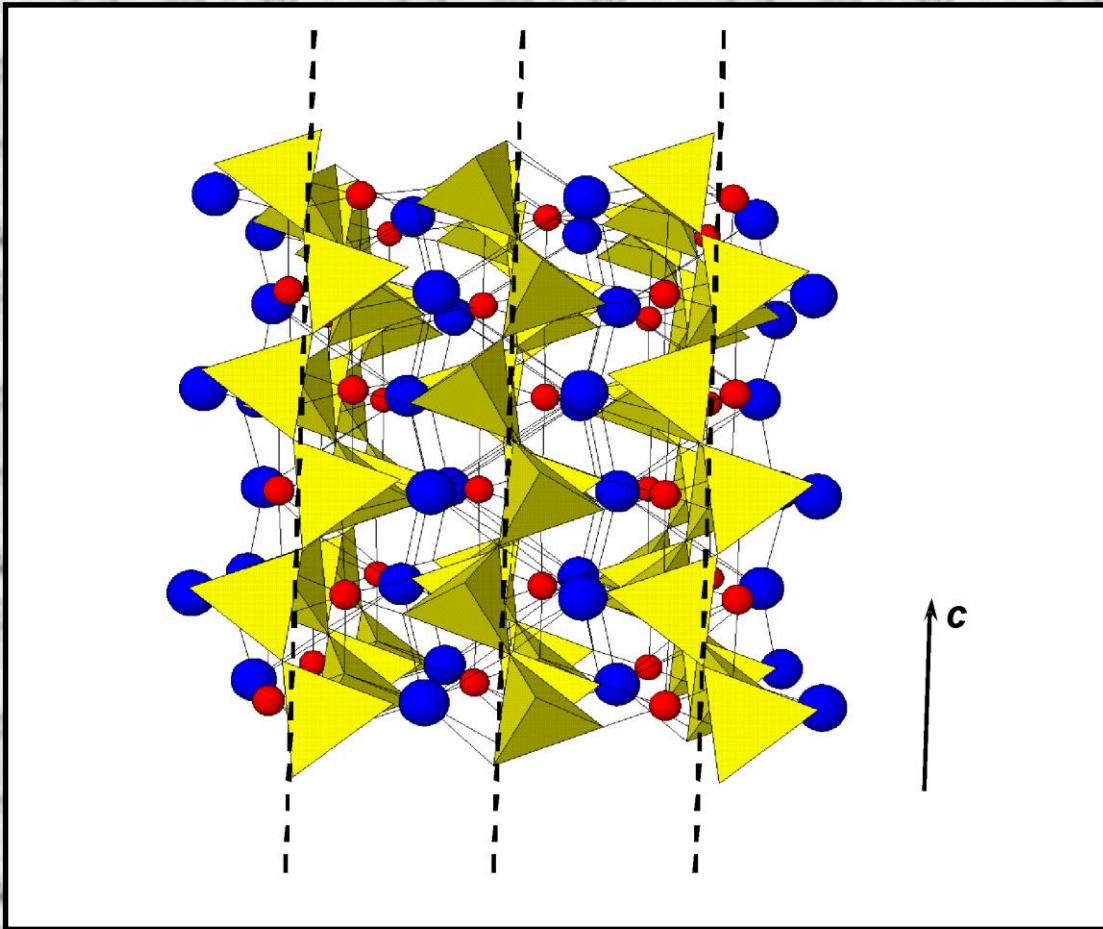


Béryl,
 $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$



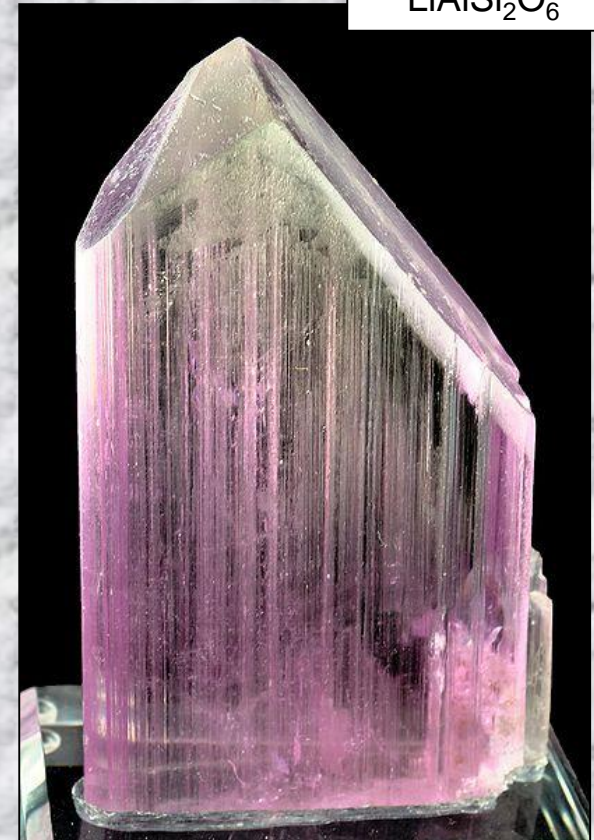
Axes d'ordre 6 et axes d'ordre 3

Structure des pyroxènes

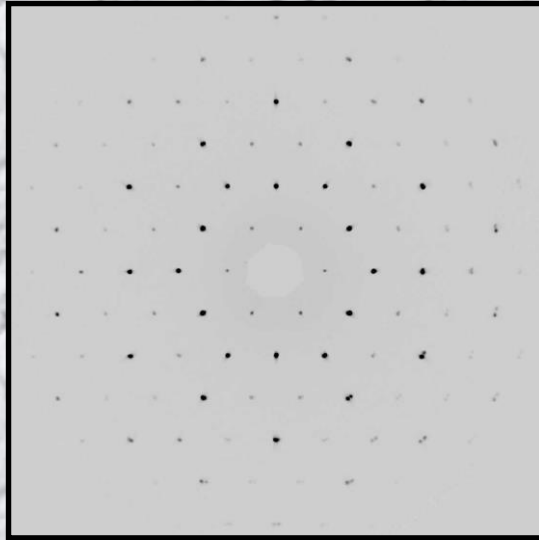


Plans de glissement

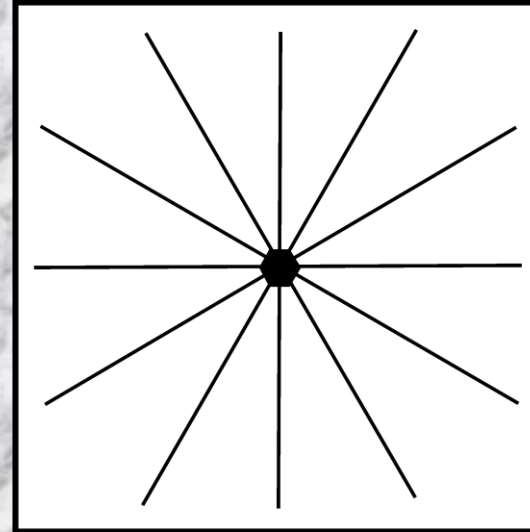
Spodumène,
 $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$



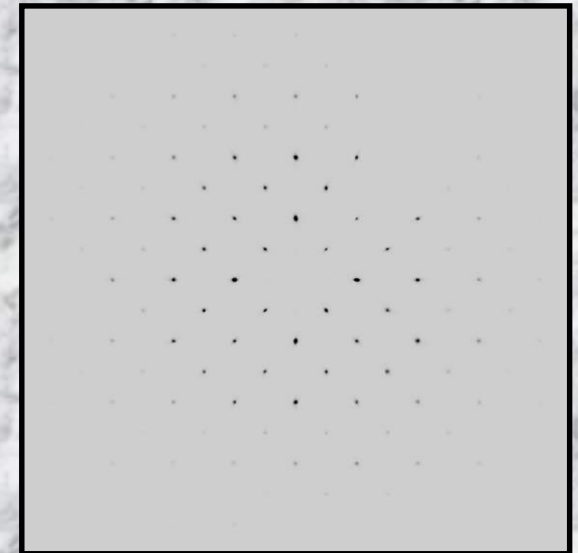
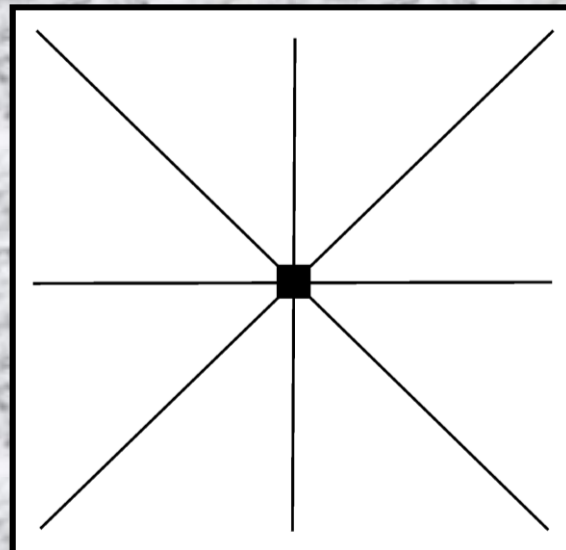
Symétrie et diffraction



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



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



Conclusions



- La cristallographie est un outil capable de nous aider à comprendre la forme des minéraux et leur structure à l'échelle atomique.
- Les cristaux sont classés en 7 systèmes cristallins, sur base des combinaisons d'éléments de symétrie qu'ils présentent.
- Les éléments de symétrie des cristaux influencent leur forme, mais se retrouvent également au niveau de leur structure cristalline.
- Pour plus d'informations: www.minera.ulg.ac.be