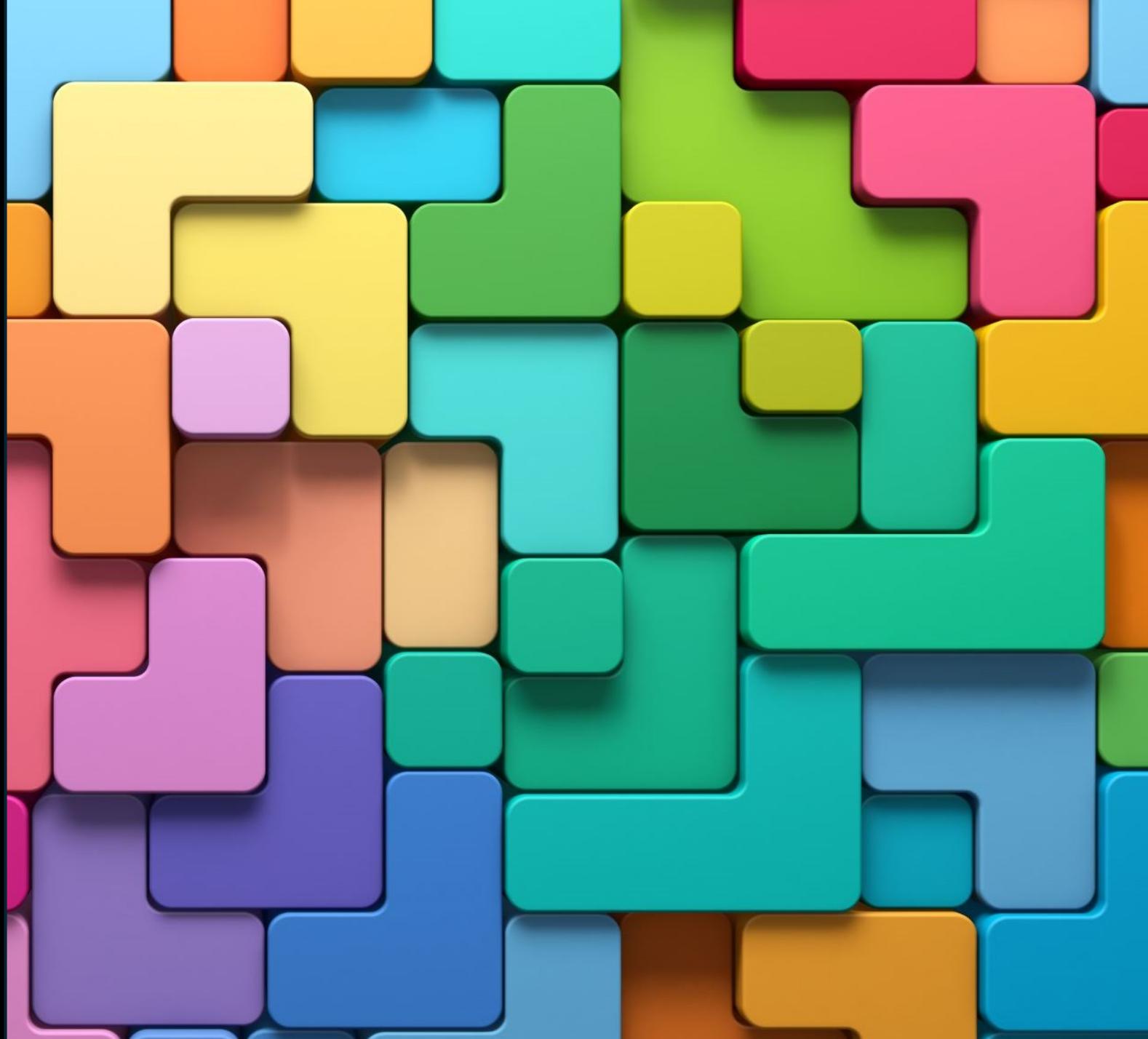


Identification des principaux minéraux cristallisés

(partie 2)



TP AVG
09/03/2024



Les noms des minéraux

Origine des noms de minéraux

70% des noms de minéraux se terminent en « ite ». Ce suffixe dérive du grec ancien « *lithos* » qui signifie « pierre ».

En général, le nom d'un minéral provient d'un des critères suivants :

- **Un minéral peut porter le nom de la personne qui l'a découvert ou qui l'a analysé la première, ou être nommé en l'honneur d'une personne**
 - la *biotite* dédiée au physicien français Jean-Baptiste Biot (1774-1862),
 - la *cordiérite* dédiée au géologue et ingénieur français Pierre-Louis-Antoine Cordier (1777-1831), le premier à l'étudier,
 - la *laumontite* dédiée au minéralogiste français Gillet de Laumont (1747-1834), qui la découvrit,
 - la *wurtzite* dédiée au chimiste français Charles Adolphe Wurtz (1817-1884).

- **Le nom du minéral peut être en rapport avec une de ses caractéristiques (composition chimique, forme cristalline ou autres propriétés)**
 - la **magnétite** pour son magnétisme (du grec *magnes*, aimant),
 - l'**anhydrite** pour sa composition (du grec *an hudôr*, sans eau),
 - l'**halite** pour sa composition (du grec *hals* et *lithos*, sel et pierre),
 - la **sodalite** pour sa composition, contient du sodium,
 - la **tétraèdrite** pour sa forme cristalline en tétraèdres,
 - la **cuprite** pour sa teneur en cuivre (de *cuprum*),
 - la **cobaltite** pour sa teneur en cobalt, qui en fait un minerai de cobalt,
 - la **fluorite** pour son utilisation (du latin *fluere* – *fluor*, s'écouler), allusion à sa propriété de fondant en métallurgie,
 - le **graphite** pour son utilisation (du grec *graphein*, écrire)...

- **Le nom du minéral peut être en rapport avec sa couleur**

- l'**albite** : (du latin *albus*) pour la couleur blanche,
- l'**aigue-marine** : (*aigue*, eau, + marine) évoquant l'eau de mer,
- l'**azurite** pour la couleur bleue,
- la **célestite** : (du latin *cælestis*) allusion à la couleur du ciel,
- l' **hématite** : allusion à la couleur rouge-sang de sa poussière,
- le **rubis** : (du latin *rubeus*) pour la couleur rouge...

- **Le minéral peut porter le nom du lieu où il a été découvert**

- l'*autunite* de Autun (Saône et Loire),
- la *métalodévite*, ville et bassin de Lodève (Hérault),
- la *montmorillonite* de la ville de Montmorillon (Vienne),
- la *trimounsite*, carrière de talc de Trimouns près de Luzenac (Ariège)...

Le trait ou trace

Le **trait** ou **trace** est la couleur d'un minéral réduit en poudre. Cette caractéristique s'obtient en frottant un morceau du minéral sur la surface dépolie d'une porcelaine non émaillée.

Vous verrez que la trace ne sera pas forcément de la même couleur que le minéral brut.

Ceci s'explique par le fait que la coloration d'un minéral est souvent due à des impuretés ou à un arrangement microcristallin particulier. La couleur du minéral brut pourra donc être différente de la réelle couleur du minéral qui la compose alors que la couleur du trait sera toujours la même pour une espèce donnée.



Trait couleur de la pyrite et de la Rhodochrosite

Par exemple, l'*hématite* qui est noire, laissera une trace brun-rougeâtre sur la plaque de porcelaine. C'est grâce à cette particularité qu'on pourra la différencier de la *goëthite* qui, elle, laissera une trace plutôt jaune ocre. La *pyrite*, autre minéral riche en fer, laissera un trait noir... mais elle cristallise dans un autre système !



Hématite



Brun rouge



Jaune ocre



Goethite

Dans le même ordre d'idée, la *fluorite* (ou *fluorine*) laissera tout le temps une trace de couleur blanche alors qu'on peut la trouver sous des couleurs très différentes dans la nature (bleue, jaune, violette ou bien verte).

L'effervescence

Les minéraux de la classe des carbonates sont décomposés chimiquement par les acides (acides chlorhydrique, acétique).

Cette réaction chimique provoque un bouillonnement par dégagement de bulles de dioxyde de carbone (ou gaz carbonique), un phénomène qu'on qualifie d'**effervescence**. Elle permet de mettre en évidence la présence de l'ion carbonate CO_3^{2-} dans le minéral.

Selon les minéraux carbonatés, cette effervescence se produit sur la masse minérale même ou sur la poussière, à froid ou à chaud.

En bijouterie, c'est un excellent moyen de vérifier l'authenticité des bijoux de rhodochrosite (MnCO_3) ou de malachite $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$!



La dureté

Échelle de Mohs

Dureté	Minéral	Composition chimique	Structure cristalline
1	Talc, friable sous l'ongle	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	triclinique
2	Gypse, rayable avec l'ongle	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	monoclinique
3	Calcite, rayable avec une pièce en cuivre	$CaCO_3$	rhomboédrique
4	Fluorine, rayable (facilement) avec un couteau	CaF_2	cubique
5	Apatite, rayable au couteau	$Ca_5(PO_4)_3(OH-, Cl-, F-)$	hexagonale
6	Orthose, rayable à la lime, par le sable	$KAlSi_3O_8$	monoclinique
7	Quartz, raye le verre	SiO_2	rhomboédrique
8	Topaze, rayable par le carbure de tungstène	$Al_2SiO_4(OH-, F-)_2$	orthorhombique
9	Corindon, rayable au carbure de silicium	Al_2O_3	rhomboédrique
10	Diamant, rayable avec un autre diamant	C	cubique

"Ta Grosse Concierge Folle d'Amour Ose Quémander Tes Caresses Divines"



Cristaux de talc

Gypse

Calcite

Fluorine

Apatite



Orthose

Quartz

Topaze

Rubis (forme de corindon)

Diamant

Créée en 1812 par Friedrich MOHS, un minéralogiste autrichien, cette échelle permet de classer les minéraux du plus tendre au plus dur en leur attribuant un indice allant de 1 à 10.

Ainsi le Diamant, qui est le minéral le plus résistant, se voit attribuer l'indice le plus élevé c'est-à-dire 10 sur l'échelle de Mohs. Au contraire le Talc, minéral que l'on utilise dans toutes sortes de poudres cosmétiques, détient l'indice le plus faible à savoir 1.

Sur cette échelle, dix minéraux assez communs et connus servent d'étalonnage.

L'évaluation de la dureté repose sur le principe de comparaison et les duretés attribuées ne sont en aucun cas proportionnelles entre elles.

L'échelle de Mohs est donc une échelle relative qui permet d'apporter un critère simple de détermination.

Forcément, tout le monde n'a pas chez soi les minéraux servant d'étalonnage dans l'échelle de Mohs. Il y a donc des objets communs et bien plus pratiques qui permettent de déterminer la dureté d'un minéral.

Ainsi votre ongle qui a une dureté de 2,25 rayera les minéraux tel que le Gypse et le Talc, respectivement d'indice de dureté 2 et 1 sur l'échelle de Mohs.

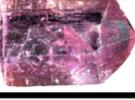
Une pièce en cuivre rayera la Calcite mais pas la Fluorite ou l'Apatite qui seront par contre rayées par une lame de canif. Et seuls les minéraux avec un indice supérieur à 6 pourront rayer le verre.

ongles=2,5.....

pièce
cuivre =3,5.....

canif=5,5.....

verre=6,5.....

Dureté	Minéral	Test
1	Talc 	Très friable sous l'ongle
2	Gypse 	Rayable avec l'ongle
3	Calcite 	Rayable par une pièce en cuivre
4	Fluorite 	Facilement rayable au couteau
5	Apatite 	Rayable au couteau
6	Orthose 	Rayable avec une lime
7	Quartz 	Raye le verre
8	Topaze 	Rayable par Carbure de tungstène
9	Corindon 	Rayable par Carbure de silicium
10	Diamant 	Rayable par un autre Diamant

Le test à la flamme

Certains minéraux, lorsqu'ils sont passés au-dessus de la flamme d'une bougie ou d'un briquet, peuvent colorer cette dernière. Ceci est dû à la composition chimique du minéral.

Le test à la flamme est un procédé utilisé en chimie pour détecter la présence de certains ions métalliques, basé sur les caractéristiques des spectres d'émission de chaque élément.

Par exemple, un minéral riche en Baryum colorera la flamme en vert. Pour le Potassium, ce sera une flamme violette et pour le Strontium une flamme rouge.

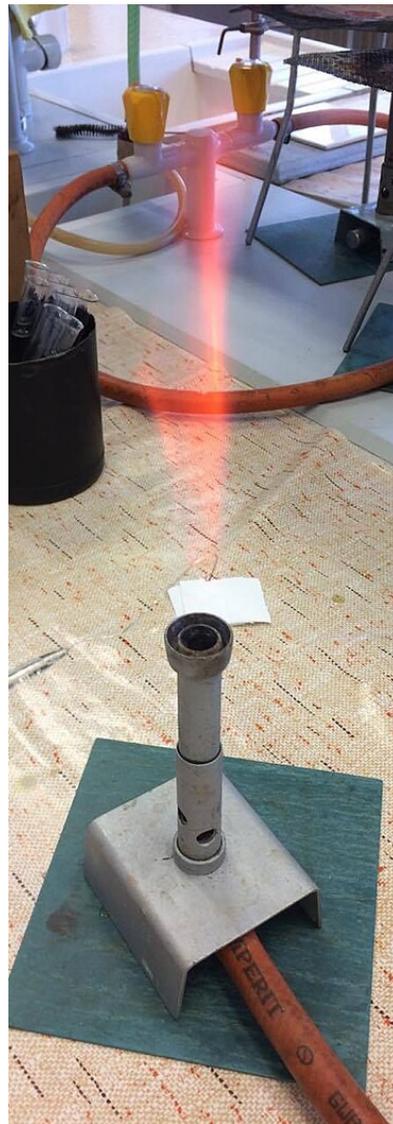
Remarque : En général, la couleur des flammes dépend également de la température.



Arsenic
Flamme bleue



Bore
Flamme vert brillant



Calcium
Flamme rouge



Sodium
Flamme jaune



Cuivre
Flamme bleu-vert

Couleur	Élément	Composés possibles
Violet	Potassium	Sous forme de nitrate (KNO_3) ou chlorate (KClO_3) ; ou bien mélange de strontium (rouge) et de cuivre (bleu)
Bleu	Cuivre	Sous forme de chlorure (CuCl) ou sulfate (CuSO_4)
Vert	Baryum	Sous forme de nitrate ($\text{Ba(NO}_3)_2$), chlorure de baryum (BaCl_2) ou chlorate ($\text{Ba(ClO}_3)_2$)
Jaune	Sodium	Sous forme d' oxalate (COONa_2), oxyde (Na_2O) ou nitrate (NaNO_3)
Orangé	Calcium	Nitrate de calcium ($\text{Ca(NO}_3)_2$)
Rouge	Strontium	Sous forme de nitrate ($\text{Sr(NO}_3)_2$), hydroxyde (Sr(OH)_2), chlorure (SrCl_2), oxyde (SrO) ou de carbonates (SrCO_3 ou Li_2CO_3)
Blanc	Magnésium, aluminium	Poudre (Mg, Al)
Doré	Fer, carbone, soufre	Limaille (Fe) et charbon (C, S)
Argenté	Titane, aluminium	Poudre (Ti, Al)
Scintillement	Antimoine	(Sb) Composé toxique dans toutes ses formes.
Étincelles	Aluminium	Granules (Al)
Fumées	Zinc	Poudre (Zn)

Composantes d'un feu d'artifice

Charge d'éclatement : Située au centre de la coque, elle allume les étoiles du feu d'artifice.

Chasse propulsive : Située au fond de la coque, elle est composée de poudre noire. Une fois allumée, elle propulse la coque hors du mortier, vers le ciel.

Coque : Souvent sous forme d'une sphère de papier, divisée en moitiés pour le remplissage. Elle est remplie d'étoiles conçues pour produire des effets spéciaux précis. Le fond de la coque contient la chasse propulsive, l'explosif qui l'éjectera hors du mortier.

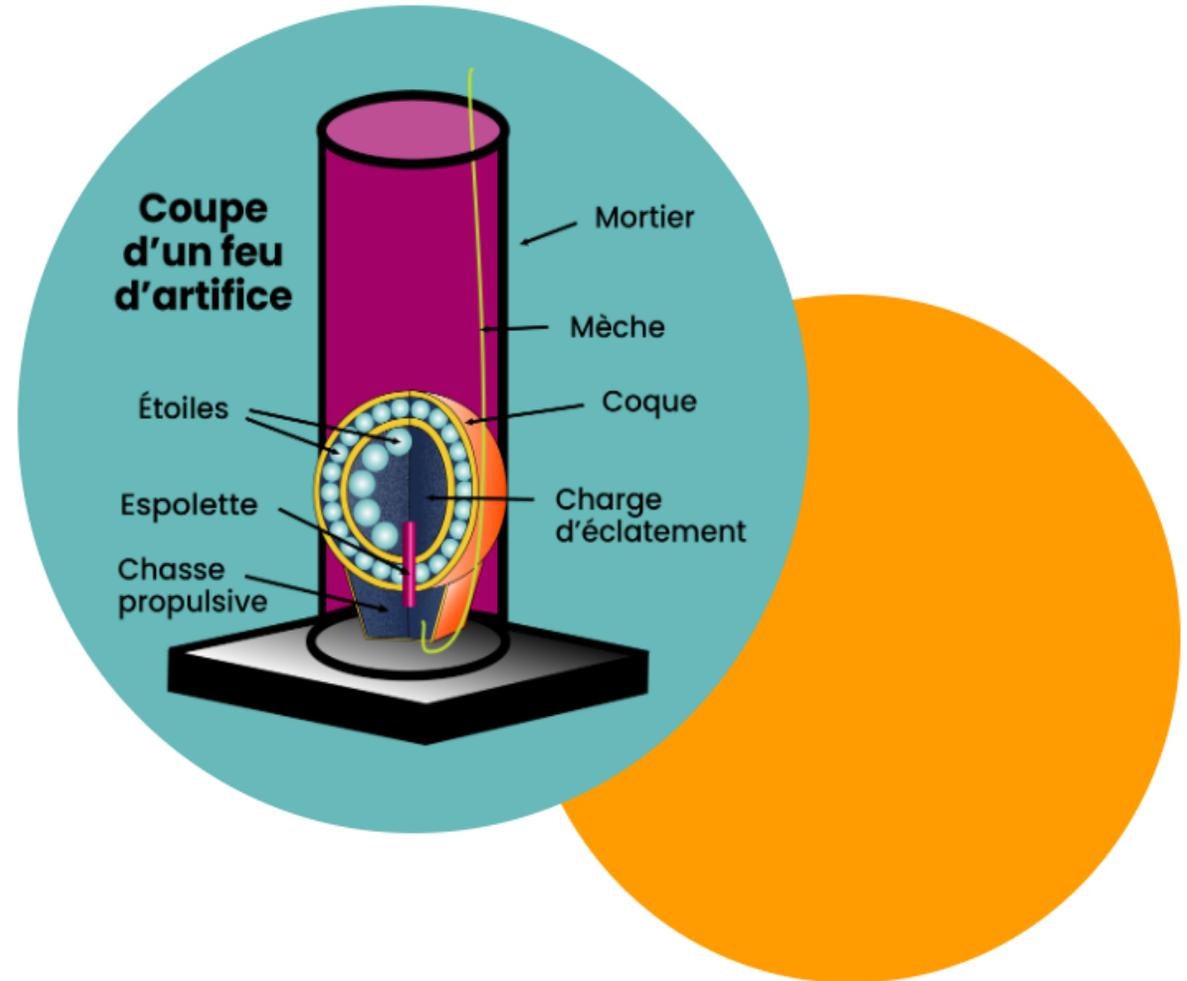
Espolette : Cette mèche retard active la charge d'éclatement du feu d'artifice.

Étoiles : Ces billes sont composées de substances chimiques telles que les sels métalliques en poudre. Une fois allumées, elles produisent les effets sonores et lumineux du feu d'artifice.

Mèche : Elle transmet la chaleur qui activera la poudre noire.

Mortier : Ce long cylindre tient la coque avant le tir.

Poudre noire : Inventée en Chine il y a plus de 1000 ans, cette sorte de poudre à canon contient 75 % de nitrate de potassium (salpêtre), 15 % charbon et 10 % de soufre.





<https://www.youtube.com/watch?v=EuGmmxUhEIE>

Démarrer à 6' : Bombe

9'28 : explosion de la bombe

18'58 : les couleurs

La densité

La **densité** d'un corps est le rapport de la masse volumique de ce corps à la masse volumique d'un autre corps pris comme référence.

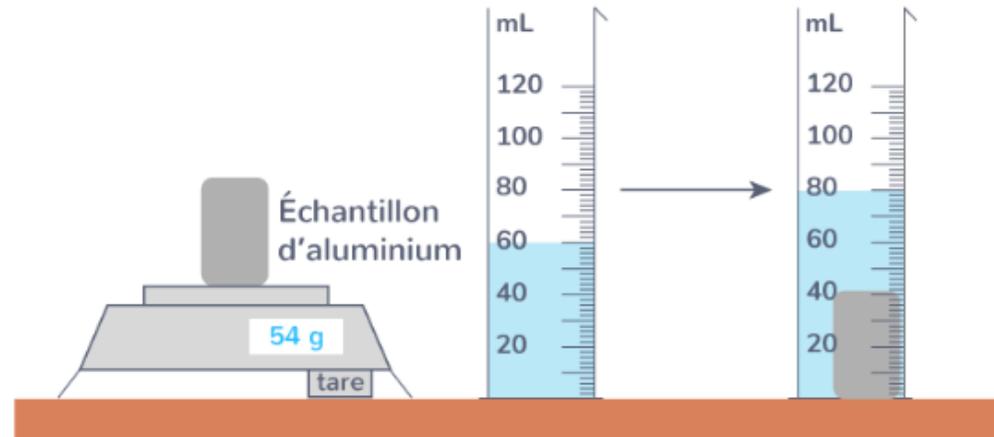
Le corps pris comme référence pour les liquides et les solides est l'eau. 1 L d'eau ou 1 dm³ ou 1000 cm³ d'eau a une masse de 1 kg ou 1000 g. La masse volumique de l'eau est donc de :

$$1000 \text{ g} / 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ g} / \text{cm}^3$$

La densité d'un minéral est donc égale à : masse volumique du minéral / 1 g / cm³

Pour avoir la masse volumique du minéral, il faut alors déterminer sa masse et son volume et on l'exprimera également en g / cm³.
Par exemple : 3 g / cm³

La densité de ce minéral sera donc : 3 g / cm³ / 1 g / cm³. Les unités peuvent s'annuler. Elle sera égale à 3. Une densité n'a pas d'unité.



Clivage et cassure

- Le **clivage** est l'aptitude de certains minéraux à se fracturer selon des surfaces planes dans des directions privilégiées lorsqu'ils sont soumis à un effort mécanique (un choc ou une pression continue).

L'existence et l'orientation des plans de clivage dépendent de la symétrie et de la structure cristalline (plans des liaisons les plus faibles du réseau) et sont donc caractéristiques des espèces.

- Lorsque les surfaces de fractures sont irrégulières, on parle **de cassure**.

Clivages et cassures sont des critères importants dans la détermination des minéraux.



Clivage rhomboédrique de la calcite



Cassure conchoïdale de l'obsidienne

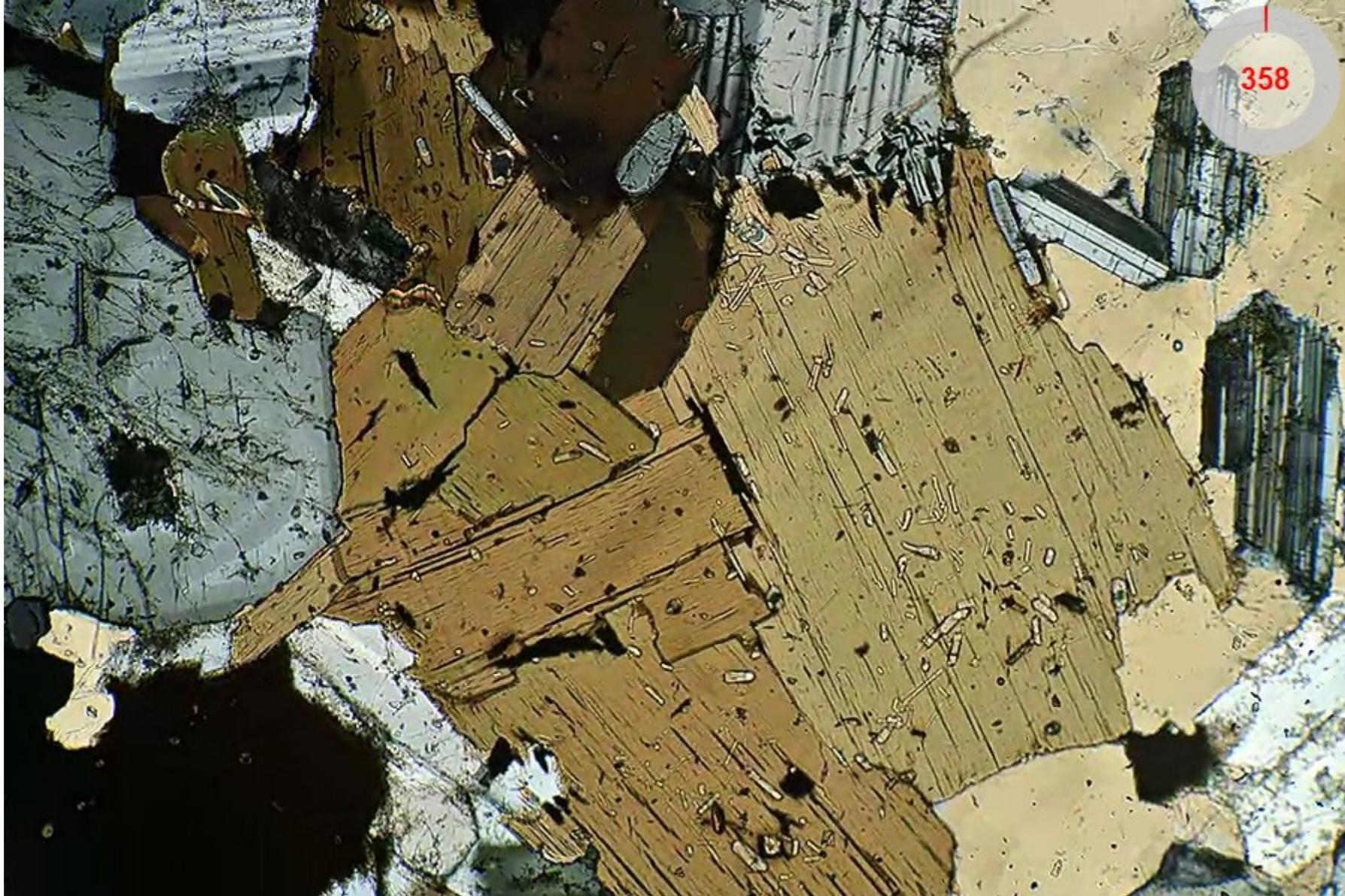


Clivage de la biotite

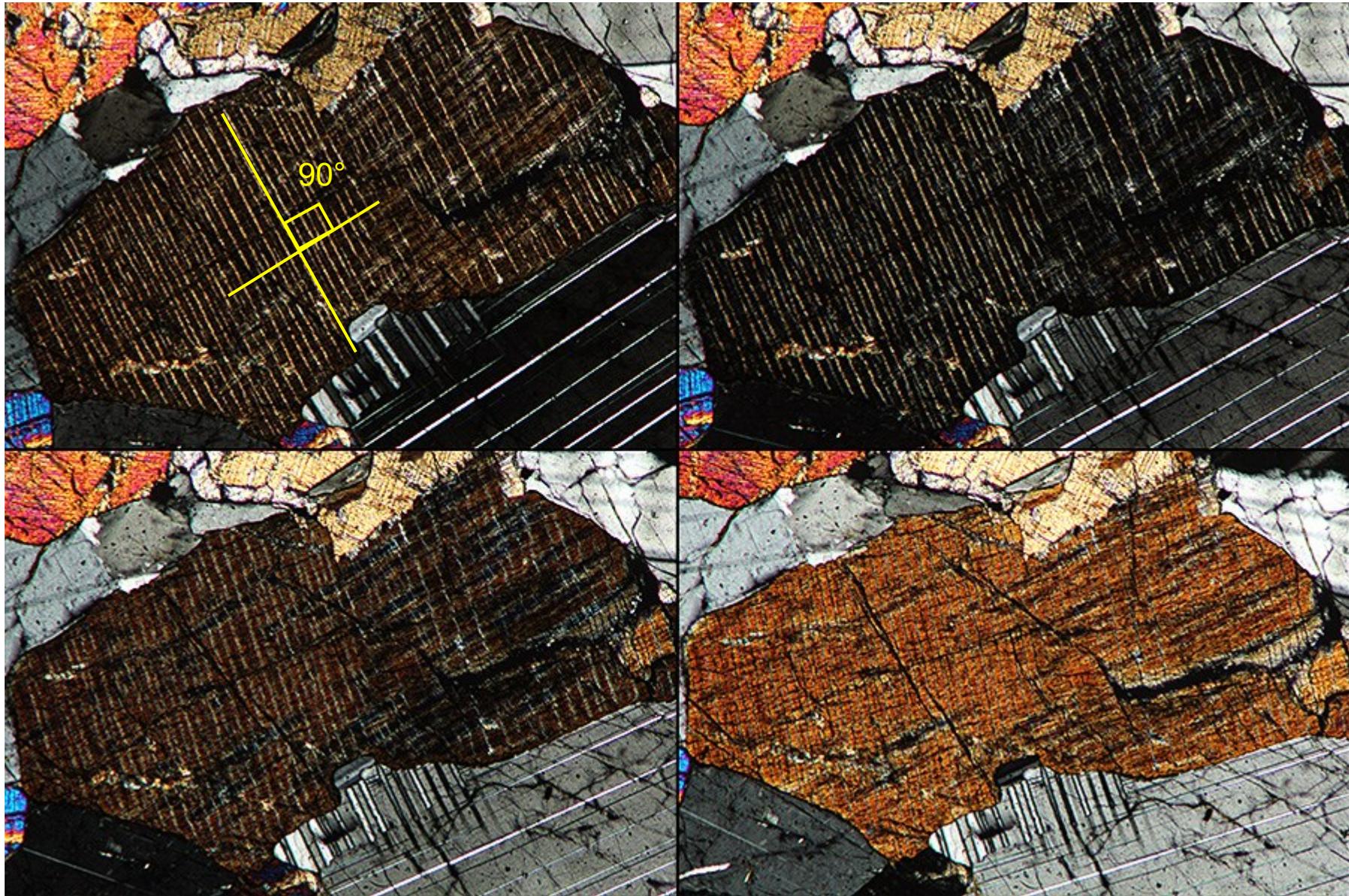


Clivage de la muscovite

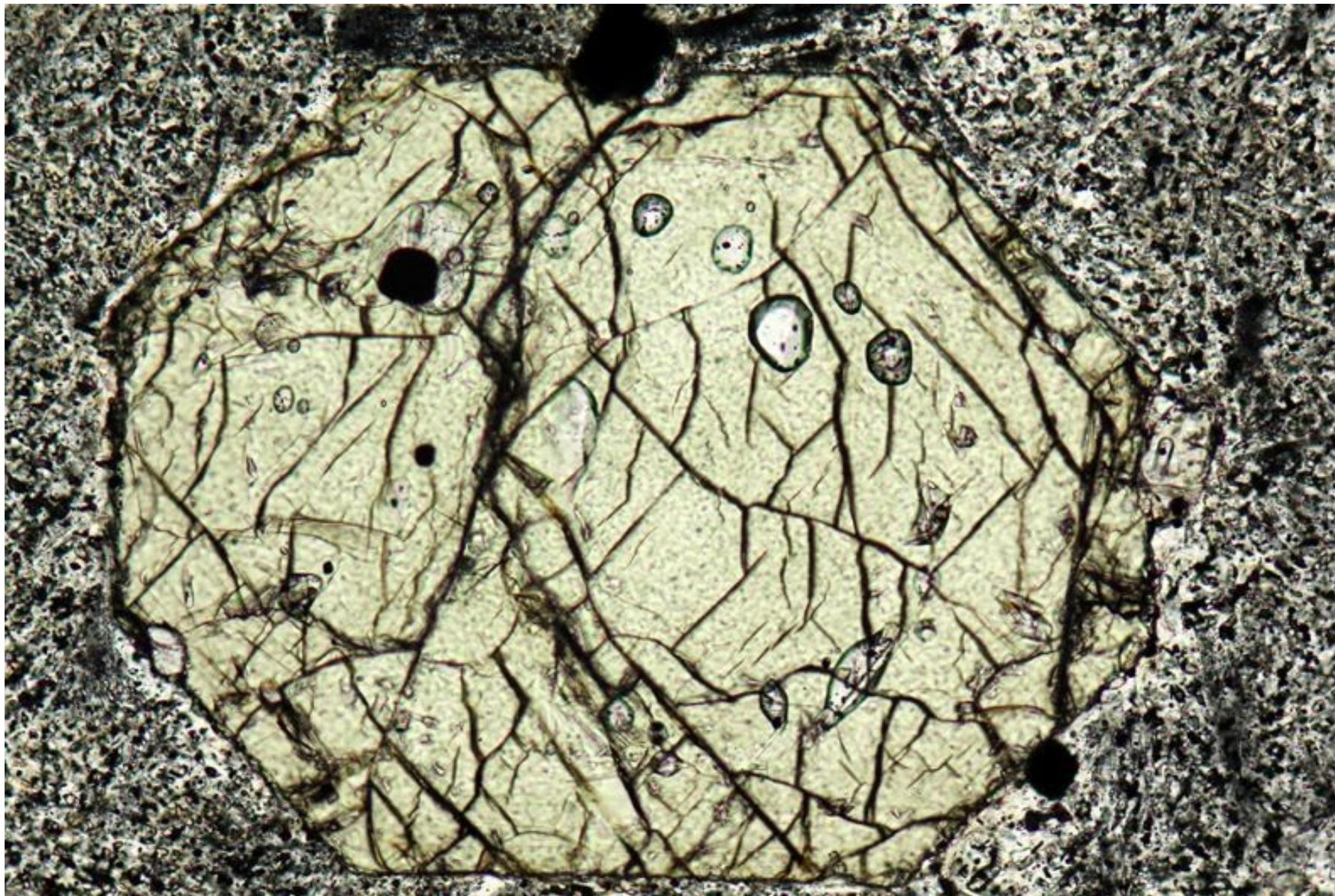
Biotite



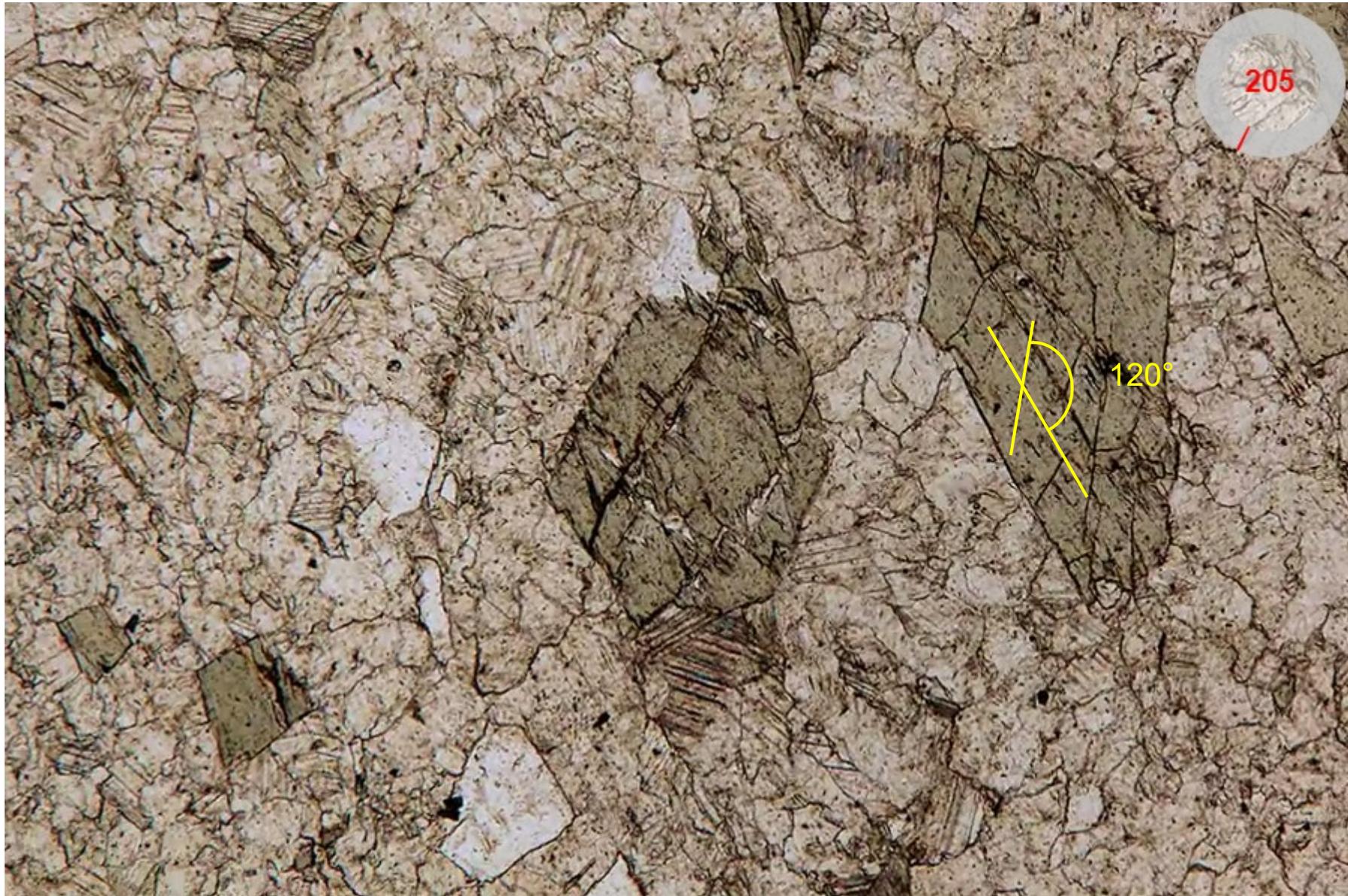
Pyroxène



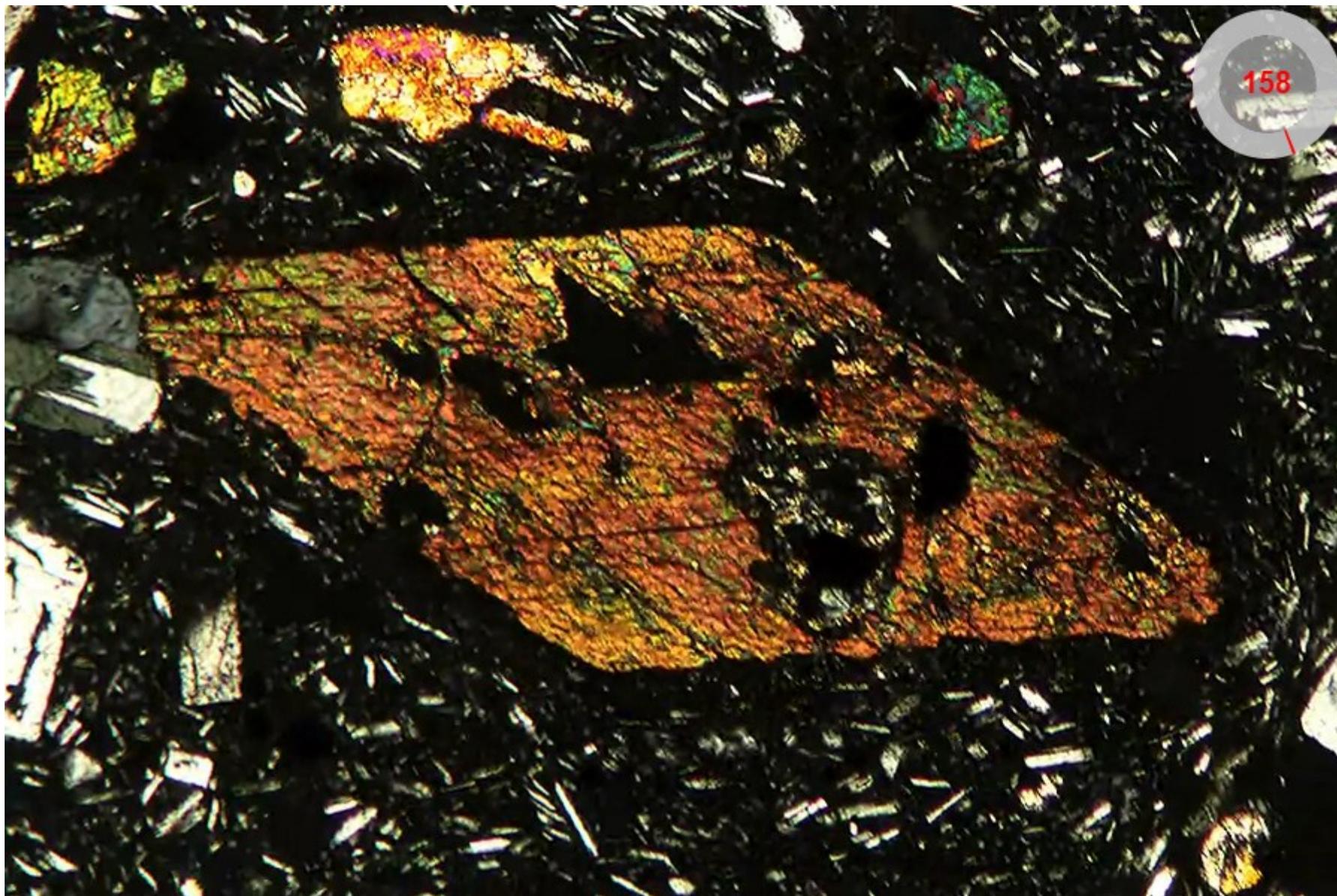
Pyroxène



**Amphibole
verte**



**Amphibole
brune**

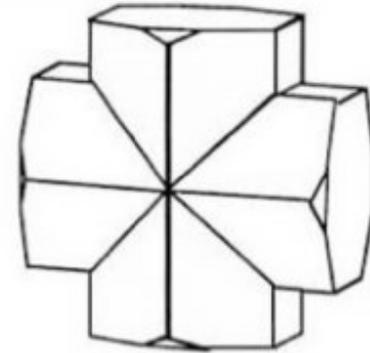
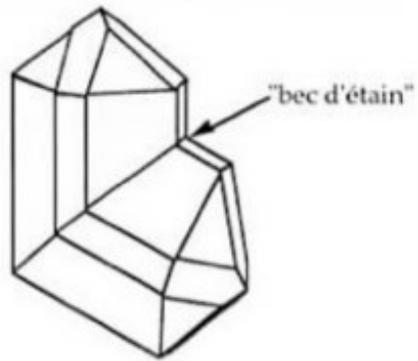


Les macles

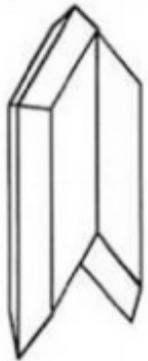
Une macle est une association orientée de plusieurs cristaux identiques appelés « individus ».

Rappels :

- macle en genou du rutile,
- macle en fer de lance du gypse,
- macle en croix de Saint-André de la staurotide, ...



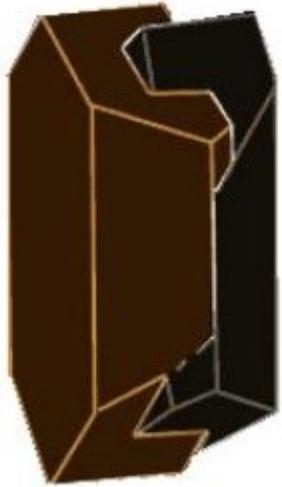
Macle en genou du rutile ou de la cassitérite



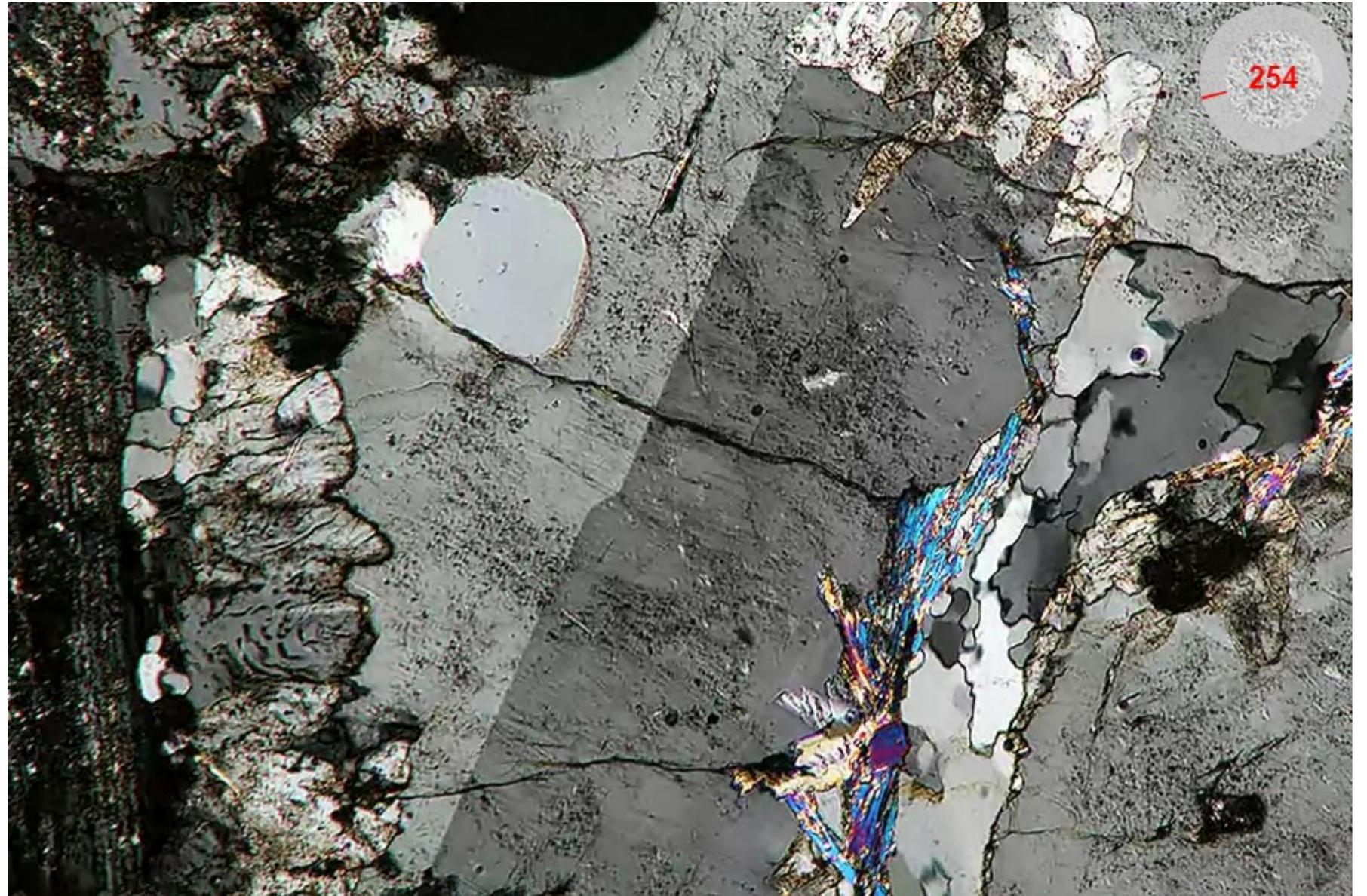
Macle en fer de lance du gypse

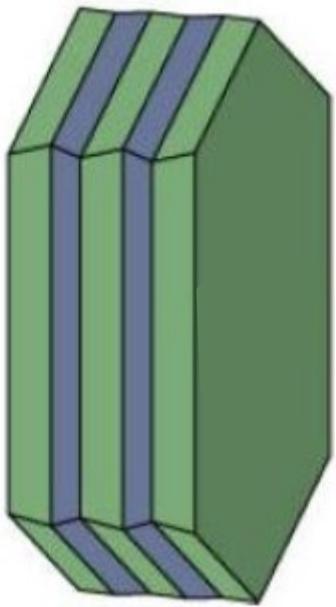


Macle en croix de Saint-André de la staurotide

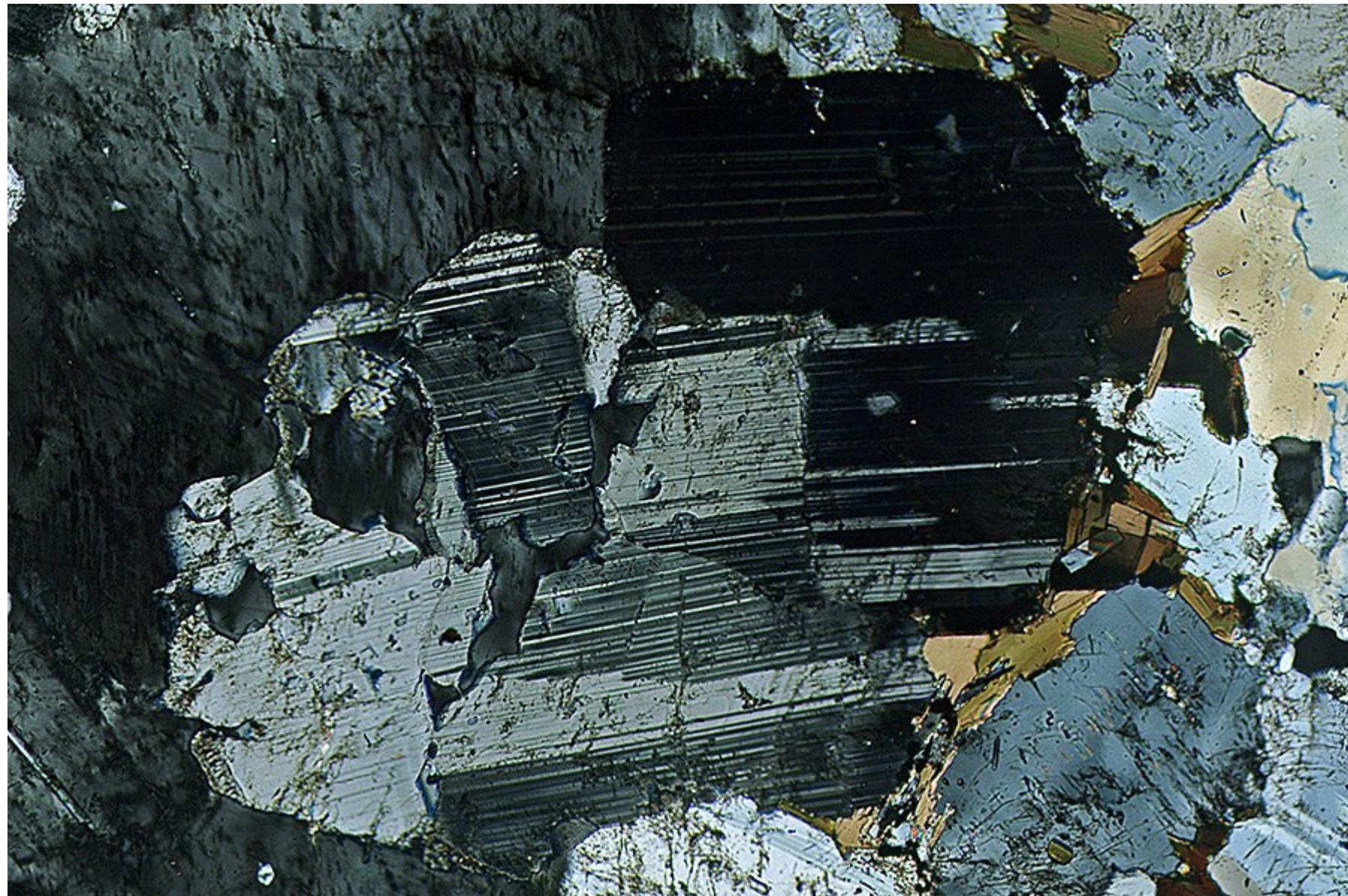


Macle de Carlsbad
du feldspath orthose



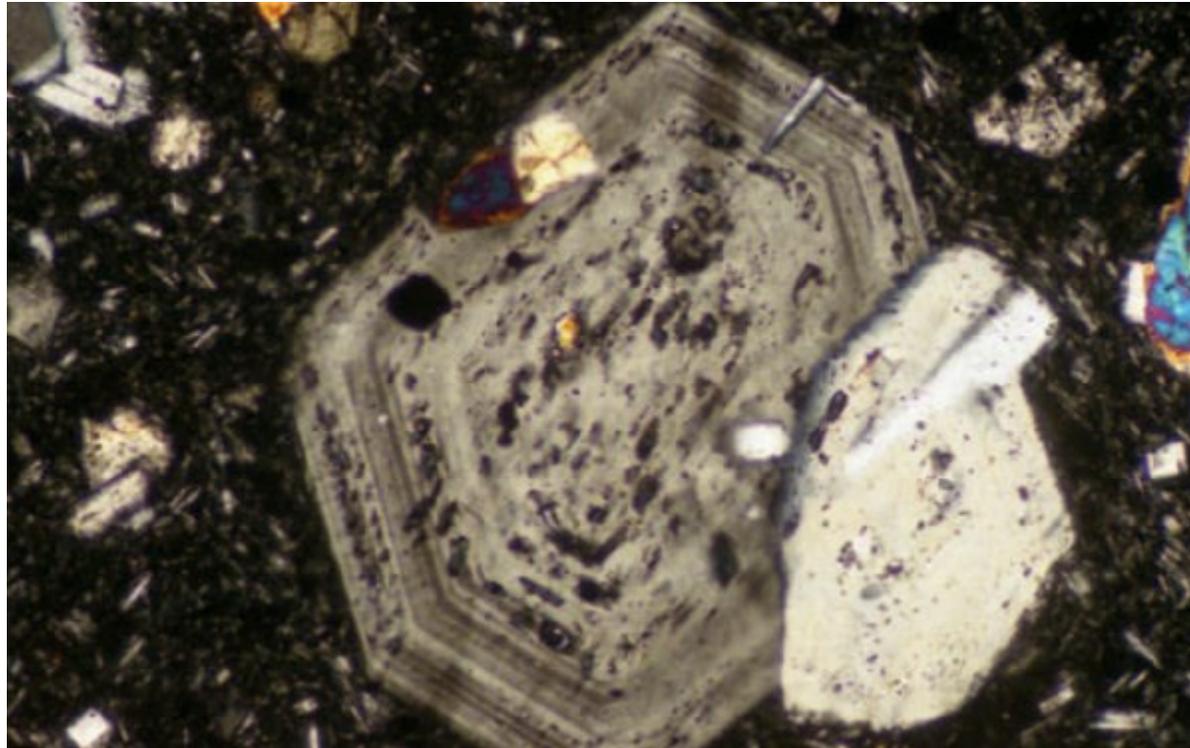


Macle polysynthétique
des plagioclases



À ne pas confondre avec la zonation de ces mêmes plagioclases.

La zonation de certains plagioclases est due au fait que lors de leur croissance dans le magma, ils grandissent en zones concentriques dont la composition chimique varie corrélativement avec celle du magma. La plupart du temps, le cœur du plagioclase est très calcique (proche du pôle anorthite) et la périphérie plus sodique (proche du pôle albite) ... sauf s'il y a eu réalimentation du réservoir magmatique.



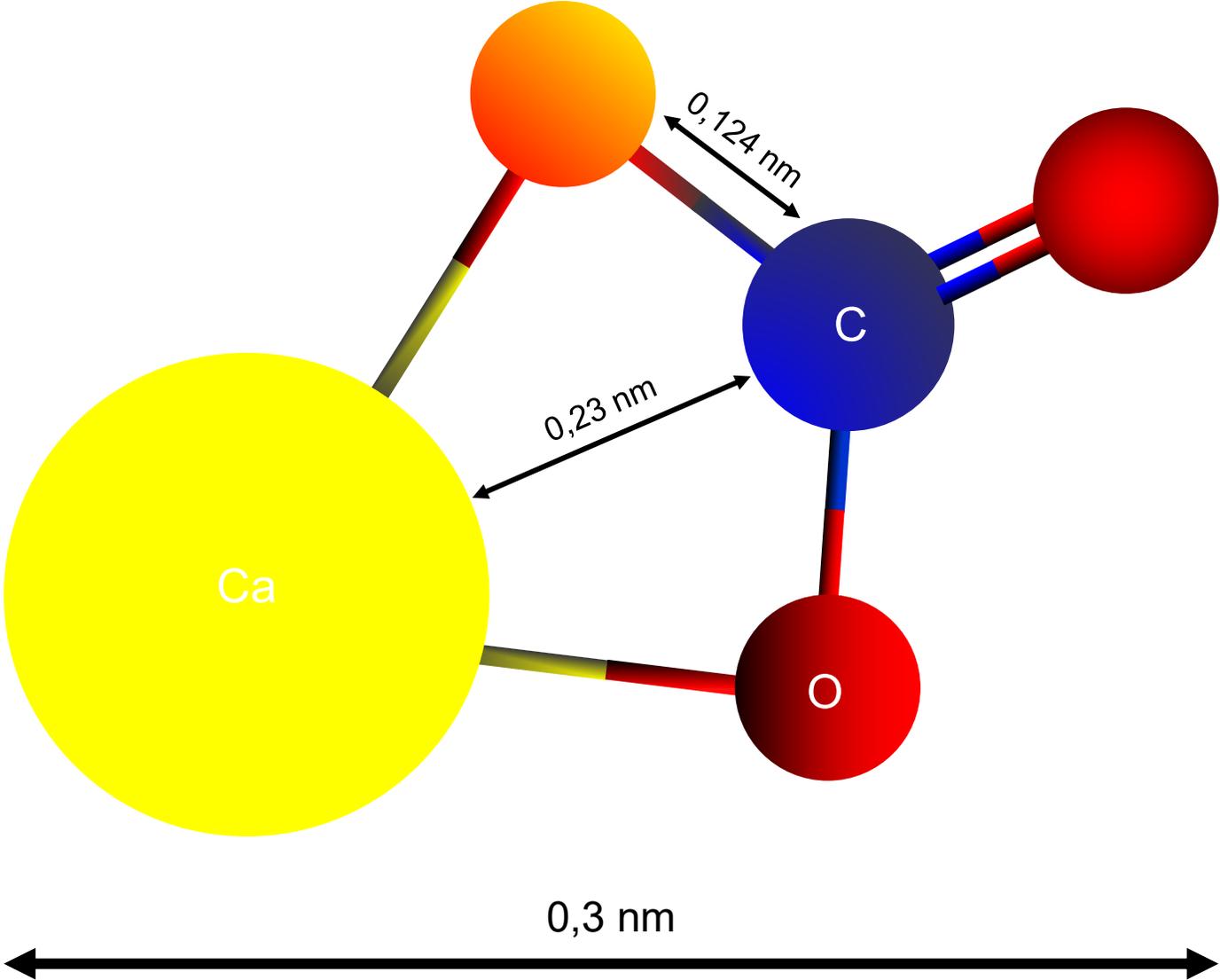
La notion de maille

C'est à partir de ses observations sur les clivages de la calcite que René Just Haüy a développé la notion de « **molécule intégrante** » qui donnera naissance à celle de maille cristalline, introduite en 1840 par l'un de ses élèves, Gabriel Delafosse. Il passe à ce titre pour l'inventeur, avec Jean-Baptiste Romé de l'Isle, de la cristallographie.

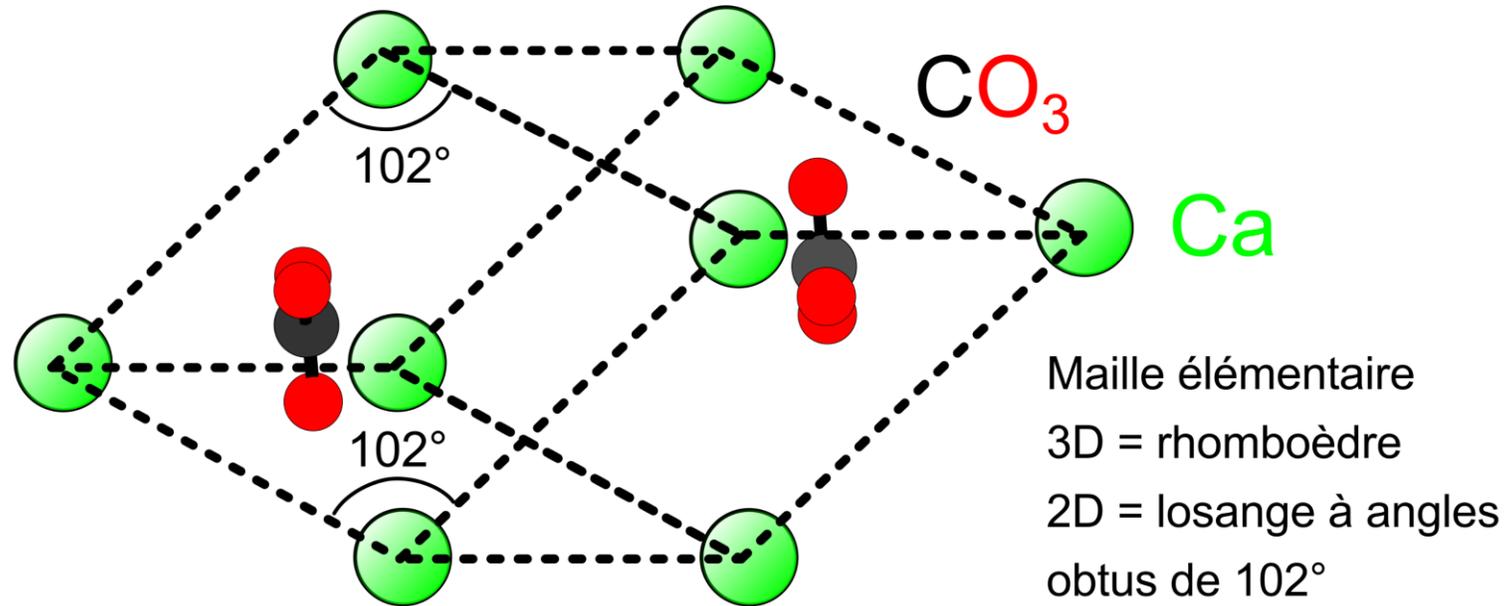
René Just Haüy : prononcer « A-U-I » ou « ah oui ! »



CaCO₃

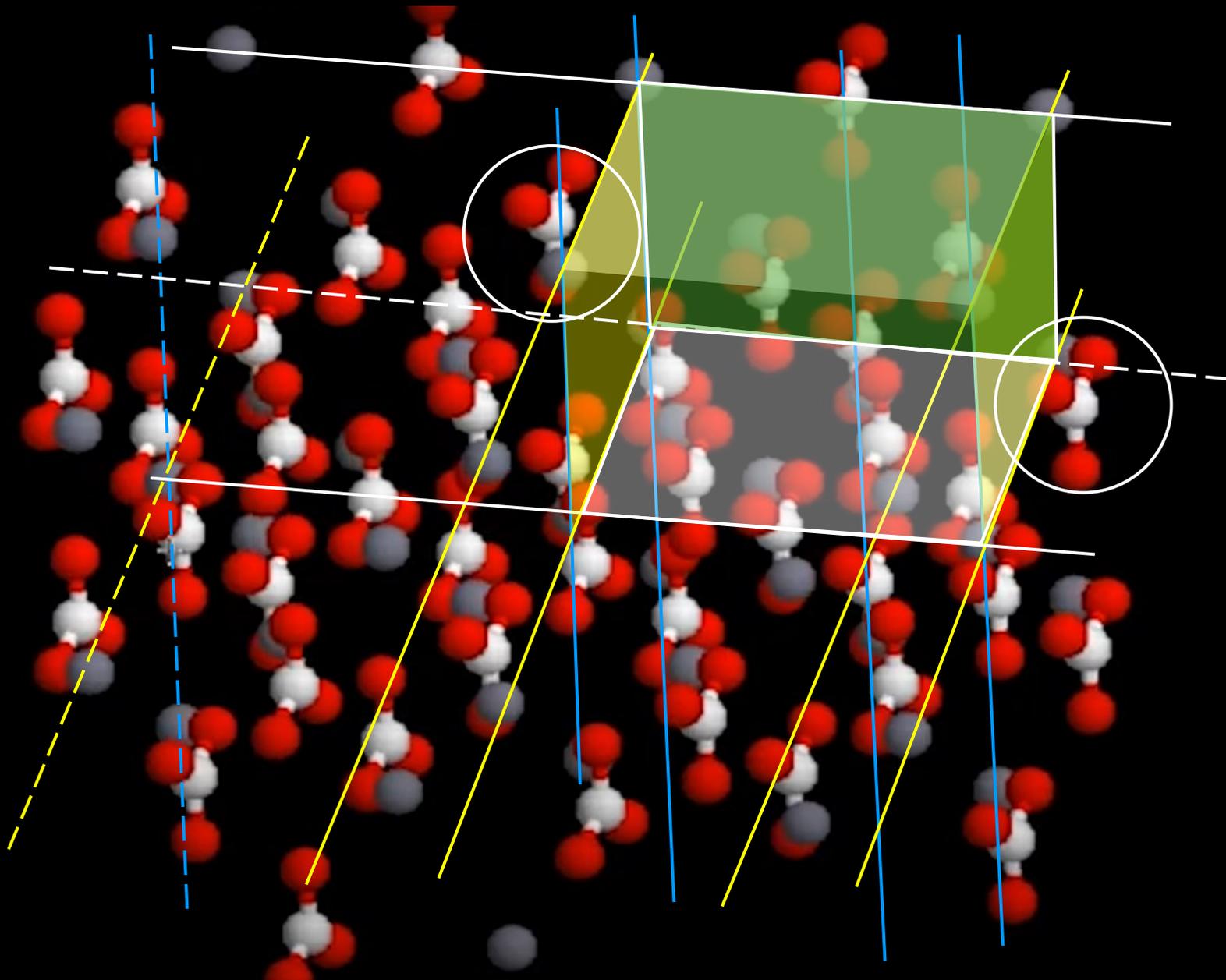


MAILLE ELEMENTAIRE DE LA CALCITE



La maille élémentaire d'un minéral est le plus petit volume de matière cristallisée qui respecte sa composition chimique et conserve toutes ses propriétés physiques et chimiques. On obtient le réseau cristallin par répétition et translation de la maille en 3D.

La maille élémentaire de calcite contient 2 motifs de CaCO_3



Les 7 systèmes cristallins

Classification des minéraux

①

Les minéraux sont regroupés en fonction de leur composition chimique

- ① Éléments natifs ex: Or
Cuiore : Graphite.
diamant : Soufre.
- ② Sulfures et Sulfosel ex:
pyrite.
Stibine.
- ③ Alcoénures ex: fluorite.
- ④ Oxydes et Hydroxydes ex:
Hématite.
Maugéite.
- ⑤ Carbonates, Nitrates, Borates ex:
Aragonite : Malachite.
Azurite : Rhodochrosite.
Calcite.
- ⑥ Sulfates - chromites
Molybdates - Tungstates ex: Sulfates. Barytine.
gypse.
Molybdate. Wulfénite.
chromate. crocoite.
Tungstate. Ferberite.
steeelite.
- ⑦ phosphates - Arseniates ex: phosphate pyromorphite.
Vanadates erythrite.
turquoise.
vanadinite.

⑧ Silicates Ex: Gro

2

Sorosilicates Ex:

- Grenat
- Kyanite (dystène)

Cyclosilicates:

- Axinite
- Epidote
- Beryl
- Diopase
- Tourmaline

Inosilicates

- Aegirine
- Rhodonite

Phyllosilicates

- Cavansite
- mica
- phrenite

Tectosilicates

- Calcedoine
- Feldspath
- Quartz

Zéolites

- Haucaudite
- Stilbite

les 7 systèmes cristallins

- 1 Cubique :
 - Pyrite
 - Fluorite
- 2 Hexagonale :
 - aigue marine
 - émeraude
- 3 monoclinique :
 - Malachite
 - microcline
 - Muscovite
- 4 orthorombique :
 - Aragonite
 - célestine
- 5 Triclinique :
 - Axinite
 - burlingtonite
 - oekénite
- 6 Rhomboédrique :
 - Améthyste
 - Dolomite
- 7 Quadratique :
 - wulfenite
 - vesuvianite

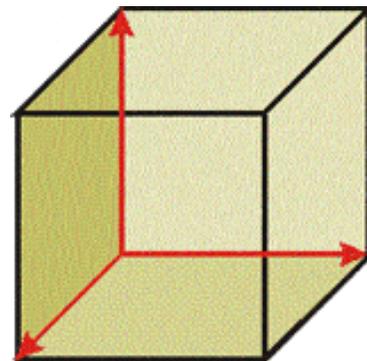
Géométrie des mailles cristallines

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

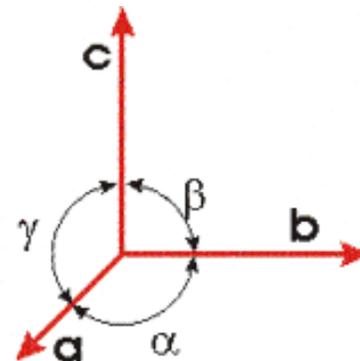
Elle contient divers atomes arrangés de manière régulière selon une disposition fondamentale.

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

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



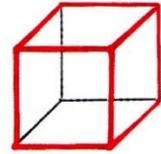
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



$$a = b = c$$

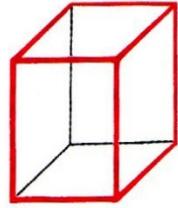
Il existe **7 systèmes cristallins de base** définis par les valeurs des 3 vecteurs portés par les directions Ox, Oy et Oz, et caractérisés par 3 longueurs, a, b, c, et 3 angles α , β , γ .

Ces systèmes possèdent des plans, des axes, des centres de symétrie singuliers.



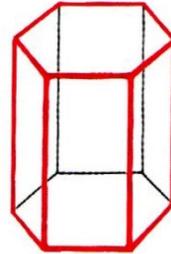
$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



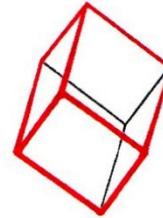
$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



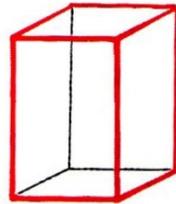
$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$$



$$a = b \neq c$$

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma$$



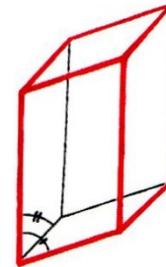
$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$$



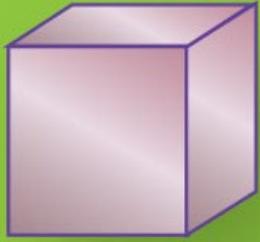
$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma$$

Les 7 systèmes cristallins de base

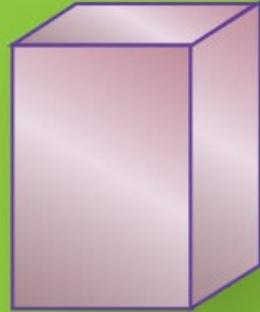
Cubique

Bases : 2 carrés,
Faces : 2 carrés



Quadratique

Bases : 2 carrés,
Faces : 4 rectangles



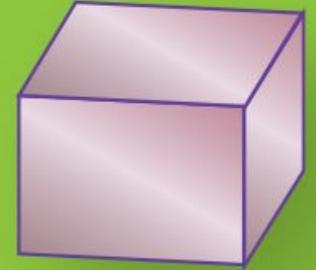
Orthorhombique

Bases : 2 rectangles
Faces : 4 rectangles



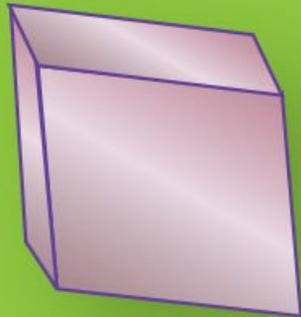
Monoclinique

Bases : 2 rectangles
Faces : 2 rectangles,
2 parallélogrammes



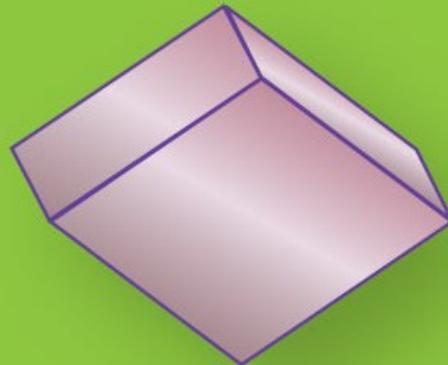
Triclinique

Bases : 2 parallélogrammes
Faces : 4 parallélogrammes



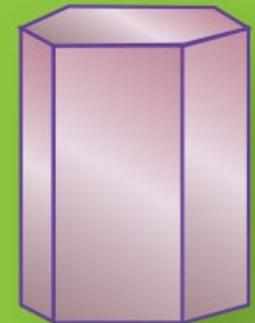
Rhomboédrique

Bases : 2 losanges
Faces : 4 losanges

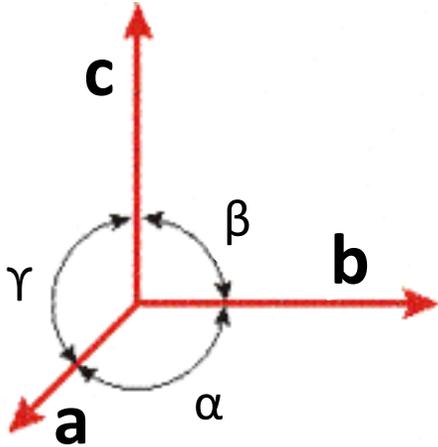
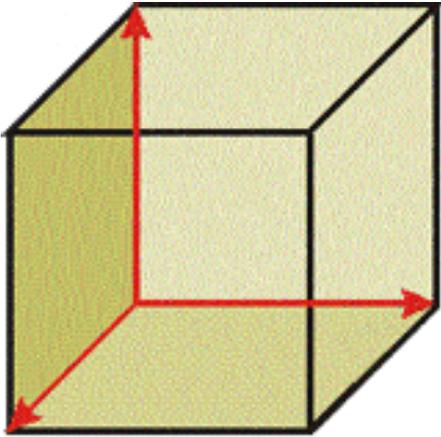


Hexagonal

Bases : 2 hexagones
Faces : 6 rectangles



Le système cubique



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



Fluorine
(fluorure de calcium)

Halogénure



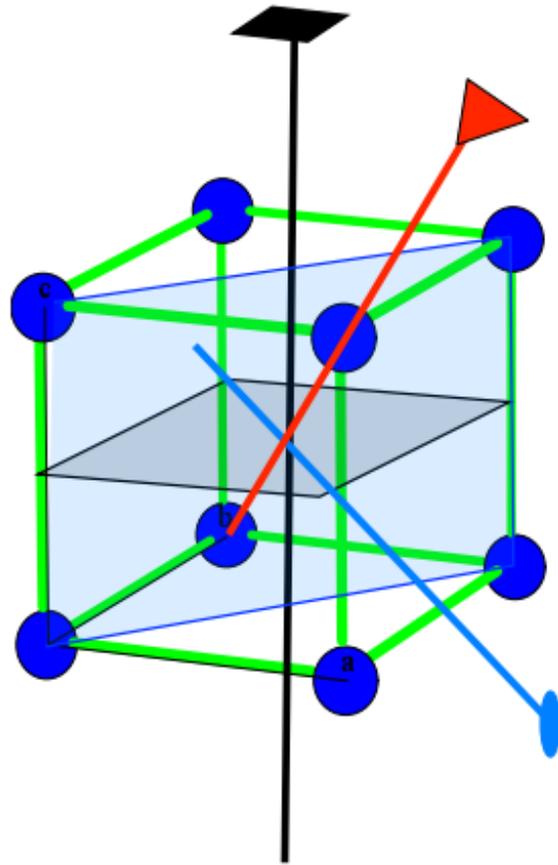
Pyrite
(sulfure de fer)

Sulfure



Grenat
Nésosilicate

Classification des réseaux

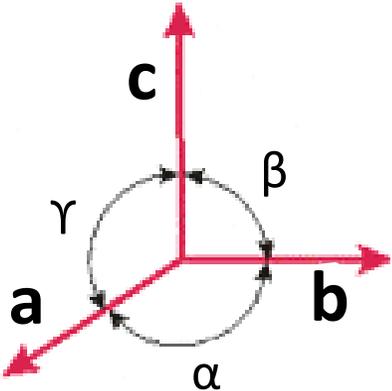
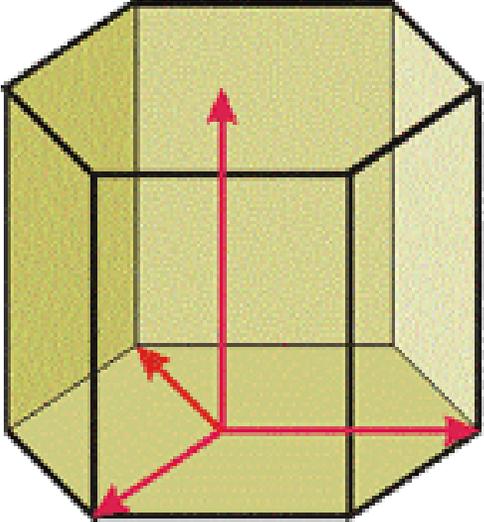


- Cubique :
 $a = b = c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Symétries :

3A4 / 3M, 4A3, 6A2 / 6M, C

Le système hexagonal



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



Béryll (= émeraude)

Cyclosilicate

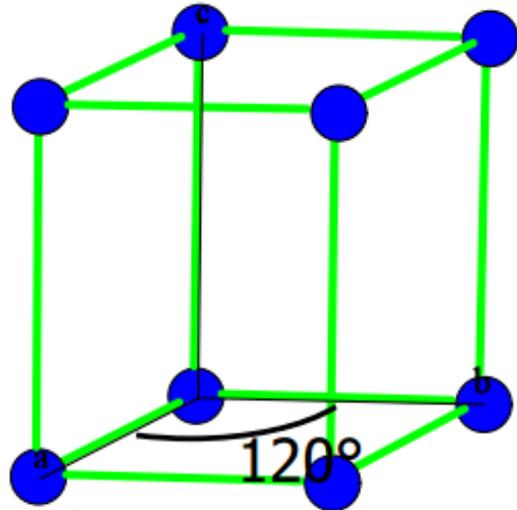


Aigue-marine

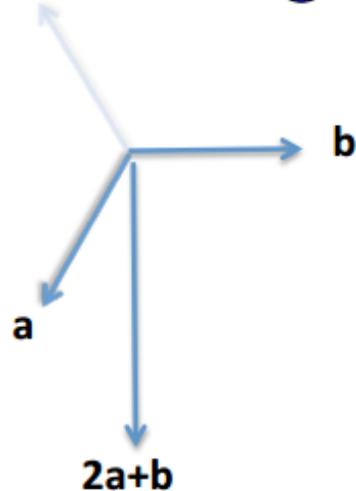
(variété de Béryll)

Cyclosilicate

Classification des réseaux

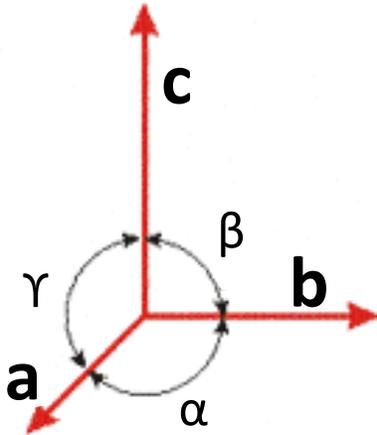
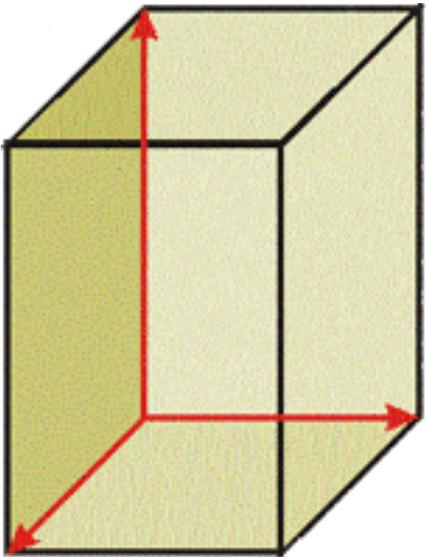


- Hexagonal :
 $a=b$
 c quelconque
 $\alpha = \beta = 90^\circ$
 $\gamma = 120^\circ$
Symétries :



A6 / M, 6A2 / 6M, C

Le système quadratique ou tétragonal



$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

$$a = b \neq c$$



Wulfénite
(Molybdate de plomb)

Sulfates, sélénates,
tellurates, chromates,
molybdates, tungstates

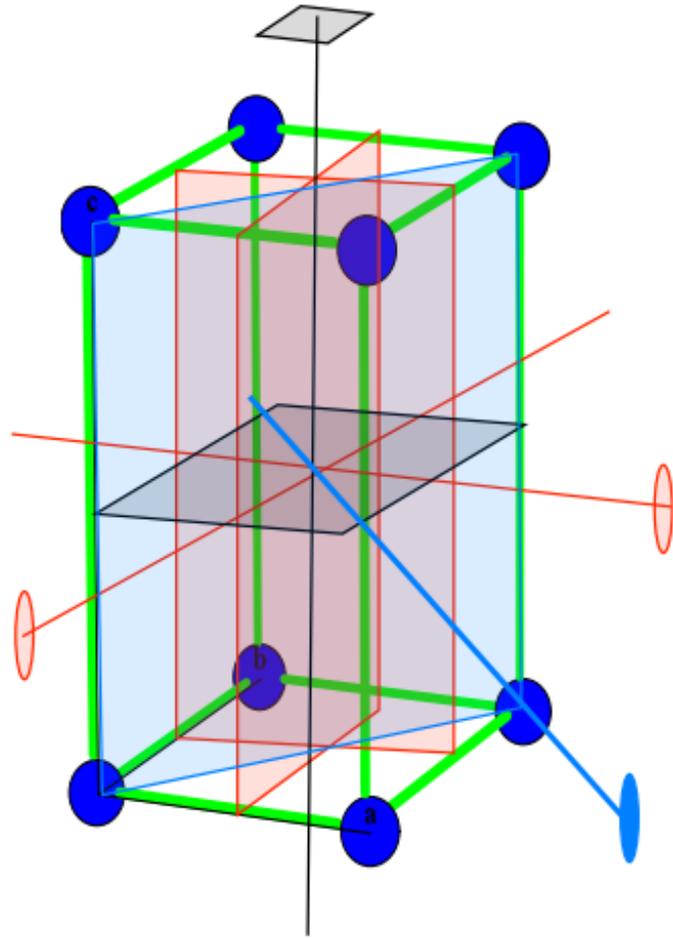


Zircon
($ZrSiO_4$)
Nésosilicate



Vésuvianite
Sorosilicate
 $Ca_{10}(Mg,Fe)_2Al_4(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH,F)_4$

Classification des réseaux



- Tétragonal ou
Quadratique :

$$a=b$$

c quelconque

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Symétries :

A4 / M, 4A2 / 4M, C

Le système rhomboédrique

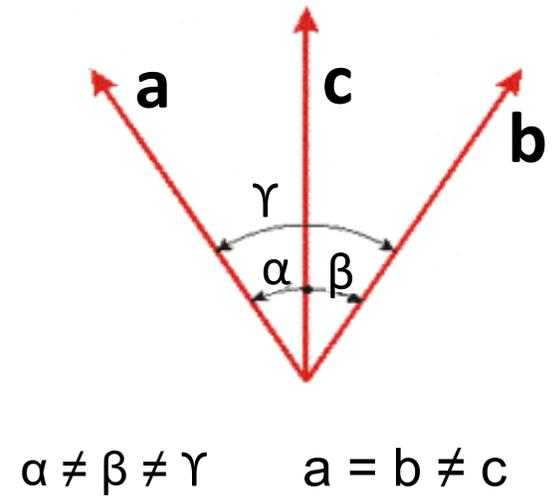
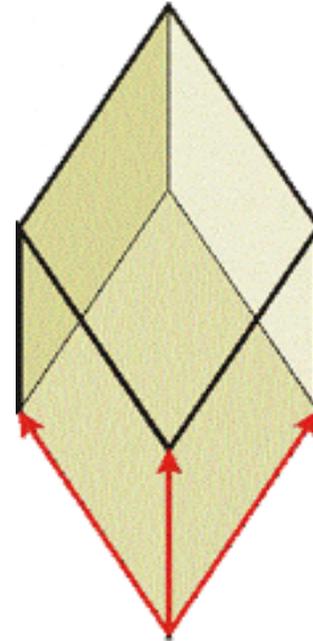
- possède six faces identiques (comme le cube) mais en forme de losange,
- on peut le comparer à un cube que l'on aurait écrasé (rhomboèdre obtus) ou au contraire étiré (rhomboèdre aigu) par deux de ses sommets opposés.



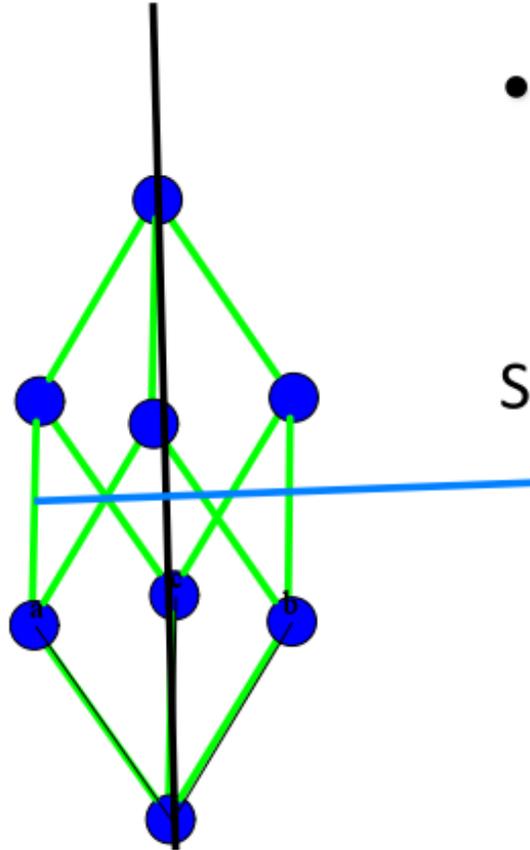
Améthiste



Dolomite



Classification des réseaux



- Rhomboédrique :

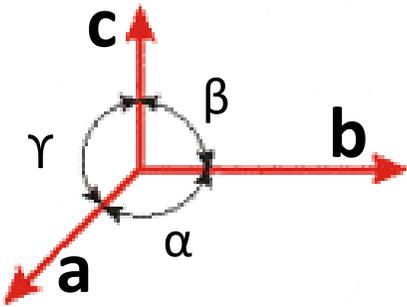
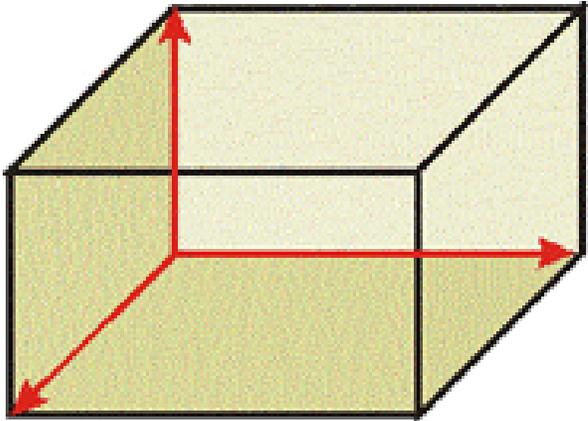
$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$

Symétries :

A3 , **3A2 / 3M**, **C**

Le système orthorhombique



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



Olivine
Nésosilicate

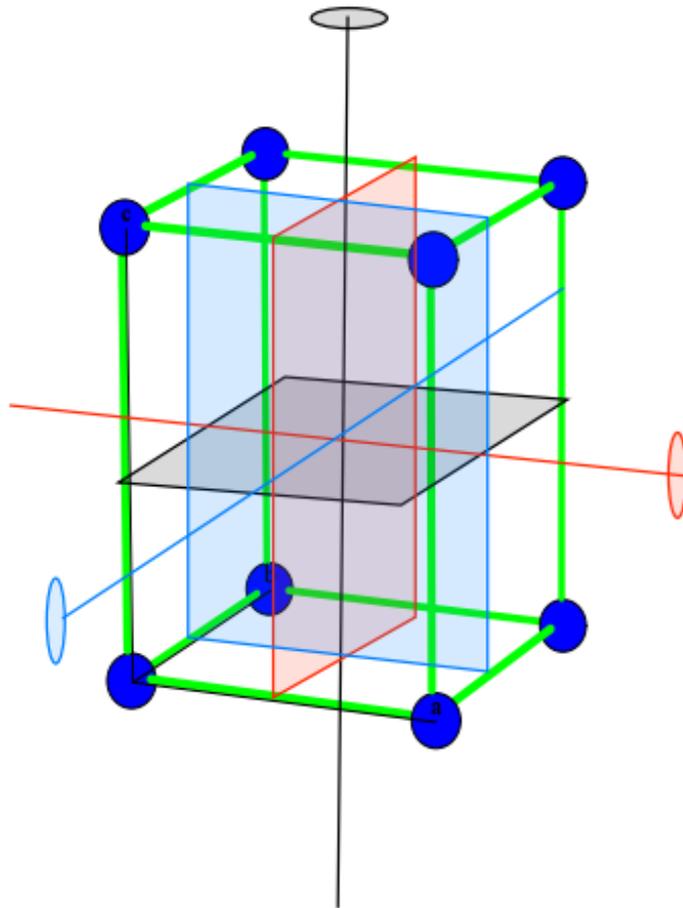


Aragonite
Carbonate



Célestine
 SrSO_4
Sulfates, sélénates,
tellurates, chromates,
molybdates, tungstates

Classification des réseaux

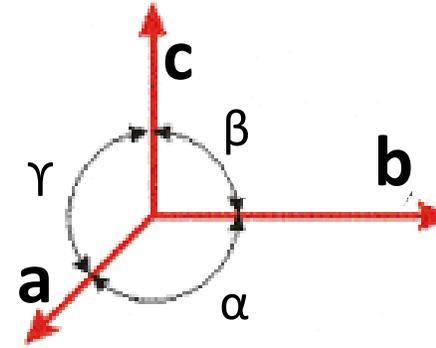
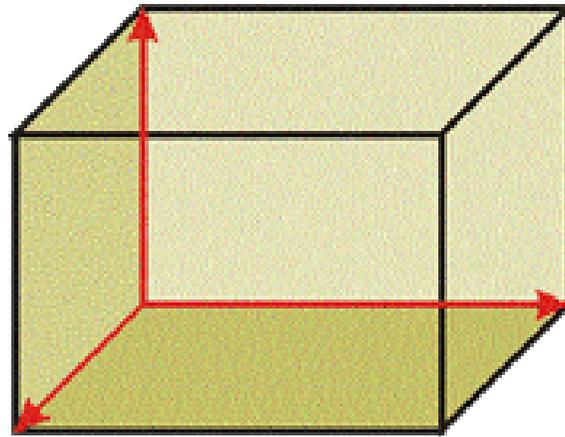


- Orthorhombique :
(a, b, c) quelconques
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Symétries :

3A₂ / 3M, C

Le système monoclinique



$$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$$

$$a \neq b \neq c$$

Microcline

Muscovite

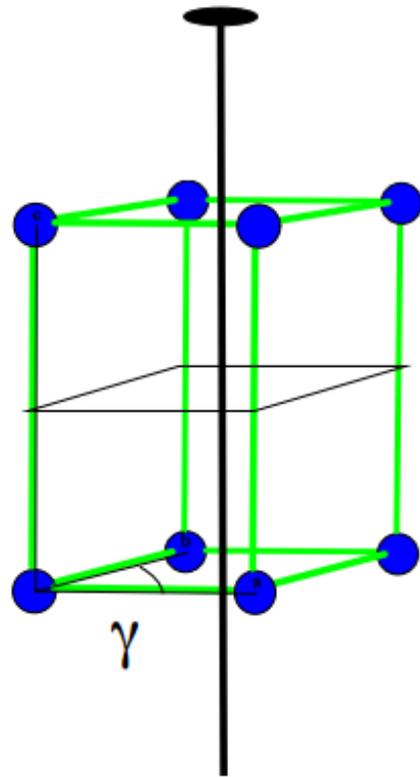


Orthose
Tectosilicate



Malachite
 $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$
Carbonates et Nitrates

Classification des réseaux

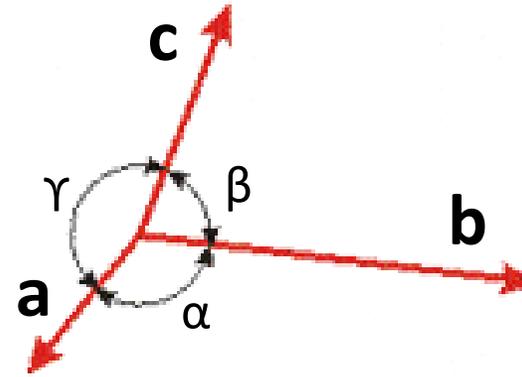
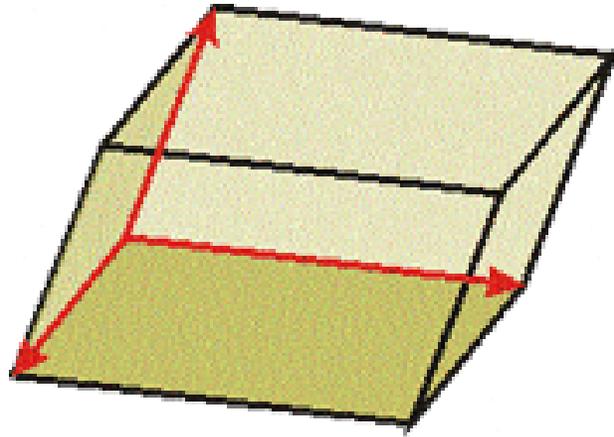


- Monoclinique :
(a, b, c, γ) quelconques
 $\alpha = \beta = 90^\circ$

Symétries :

$A_2 / M, C$

Le système triclinique



$$\alpha \neq \beta \neq \gamma$$

$$a \neq b \neq c$$



Disthène

Silicate
d'alumine

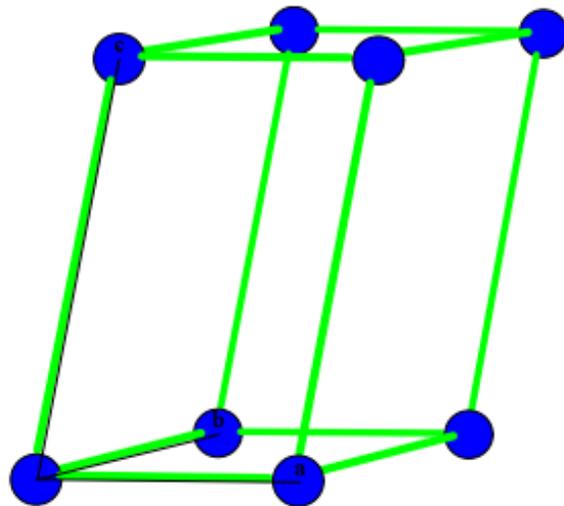
Axinite (Sorosilicate) $\text{Ca}_2(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})\text{Al}_2[\text{BO}_3\text{OH}, \text{Si}_4\text{O}_{12}]$

Babingtonite (Inosilicate) $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})\text{Fe}^{3+}\text{Si}_5\text{O}_{14}(\text{OH})$

Okénite (Phyllosilicate) $\text{Ca}_3[\text{Si}_6\text{O}_{15}] \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

Classification des réseaux

- Triclinique :
($a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$) quelconques



Symétrie :

C

Classification chimique des minéraux

Classification des minéraux

①

Les minéraux sont regroupés en fonction de leur composition chimique

② Éléments natifs ex: Or
Cuivre : Graphite.
Diamant : Soufre.

③ Sulfures et Sulfosels ex:
pyrite.
Stibine.

④ Halogénures ex: fluorite.

⑤ Oxydes et Hydroxydes ex:
Hématite.
Magnetite.

⑥ Carbonates, Nitrates, Borates ex:
Aragonite : Malachite.
Azurite : Rhodochrosite.
Calcite :

⑦ Sulfates - chromites
Molybdates - Tungstates ex: Sulfates. Barytine.
gypse.
Molybdate. Wulfenite.
chromate. crocoite.
Tungstate. Ferberite.
scheelite.

⑧ phosphates - Arseniates ex: phosphate
Vanadates pyromorphite.
erythrite.
turquoise.
vanadinite.

⑧ Silicates Ex: Gro

2

- Grenat
- Kyanite (dystène)

Sorosilicates Ex:

- Axinite
- Epidote

Cyclosilicates:

- Beryl
- Diopase
- Tourmaline

Inosilicates

- Asgirine
- Rhodonite

Phyllosilicates

- Cavansite
- mica
- phrenite

Tectosilicates

- Calcedoine
- Feldspath
- Quartz

Zéolites

- Haucaudite
- Stilbite

les 7 systèmes cristallins

- 1 Cubique :
 - Pyrite
 - Fluorite
- 2 Hexagonale :
 - aigue marine
 - émeraude
- 3 monoclinique :
 - Malachite
 - microcline
 - Muscovite
- 4 orthorombique :
 - Aragonite
 - célestine
- 5 Triclinique :
 - Axinite
 - burlingtonite
 - oekénite
- 6 Rhomboédrique :
 - Améthyste
 - Dolomite
- 7 Quadratique :
 - wulfenite
 - vesuvianite

1- Éléments natifs (et carbures, nitrures, phosphures, siliciures)

Les éléments natifs sont des corps chimiques qui ne peuvent se décomposer en corps plus simples. Ils représentent 3 à 4 % des espèces minérales. Les métaux existent sous forme d'éléments natifs (constituant pur) ou, plus généralement, d'alliages.

Les carbures, nitrures, phosphures et siliciures, rajoutés tardivement à la 1^{re} classe, sont des minéraux rares dans lesquels un ou plusieurs métaux sont combinés au carbone, à l'azote, au phosphore ou au silicium.

Seuls 22 éléments du tableau de Mendéléef se rencontrent à l'état natif.

Ce sont :

- **des métaux natifs** : or (Au), argent (Ag), cuivre (Cu), platine (Pt), fer (Fe)... **Tous sont cubiques et ils possèdent les caractéristiques des corps à liaison métallique.**
- **des semi-métaux** : le bismuth (Bi), l'antimoine (Sb), l'arsenic (As), ... Ce sont des **corps à liaisons métalliques et covalentes.**
- **des métalloïdes** : carbone (C), soufre (S), ...



Soufre - Mine de Floristella, Sicile, Italie



Cuivre natif



Diamant dans kimberlite



Graphite

Le carbone présente un dimorphisme avec **le diamant, cubique**, et **le graphite, hexagonal**.

- **Le diamant**, dont le poids s'exprime en *carat* (1 carat vaut 200 mg) est un gemme qui se trouve en inclusions dans les cheminées cylindriques verticales, les *pipes*, faites de péridotites micacées ou kimberlites.

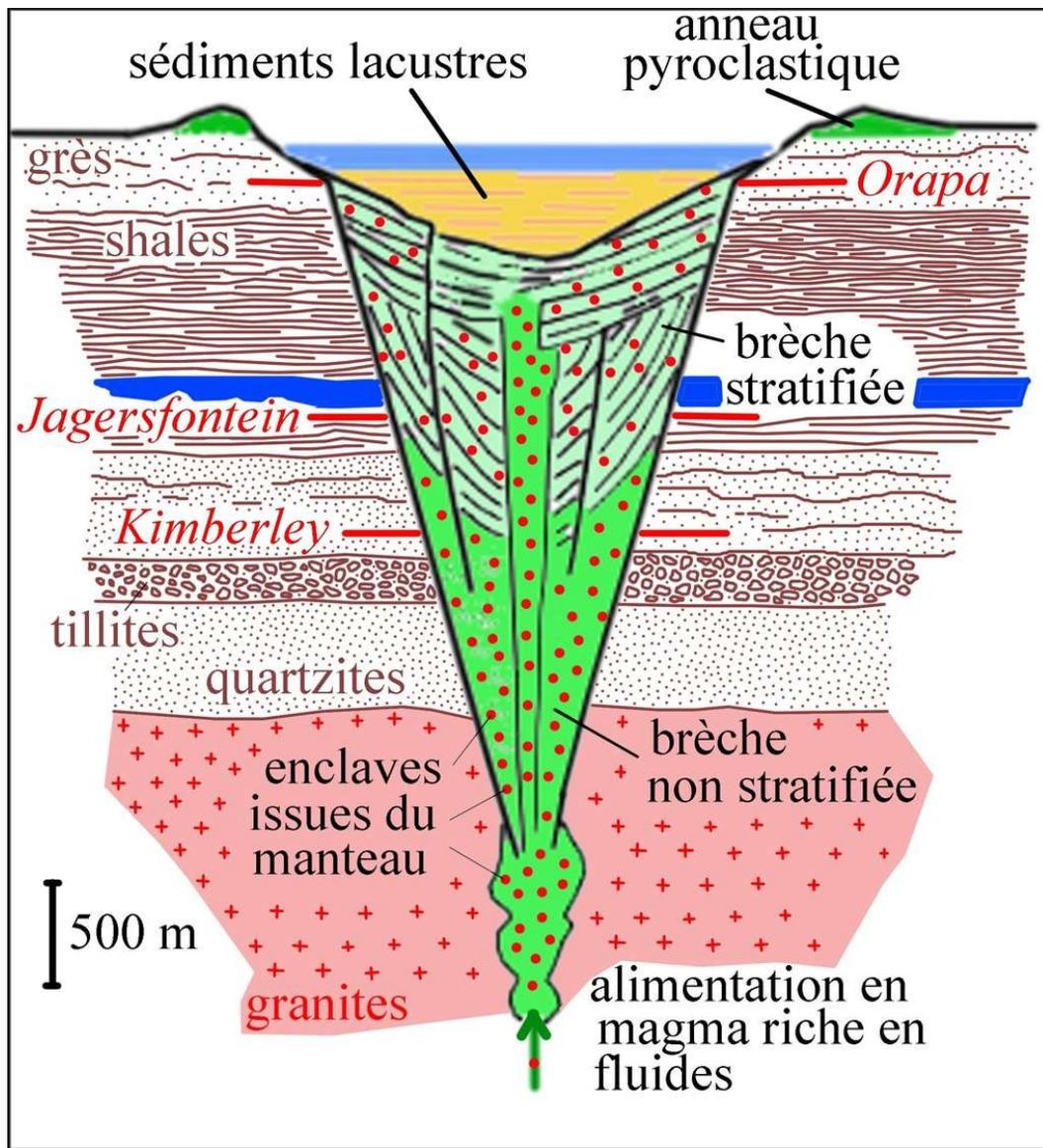
Ces cheminées sont localisées au niveau des vieilles plateformes peu plissées, en Afrique, Inde, Brésil et Sibérie.

- **Le graphite** est communément rencontré dans les roches métamorphiques telles que les calcaires cristallins, micaschistes et gneiss. Il dérive probablement de matériel organique, converti en graphite lors du métamorphisme.

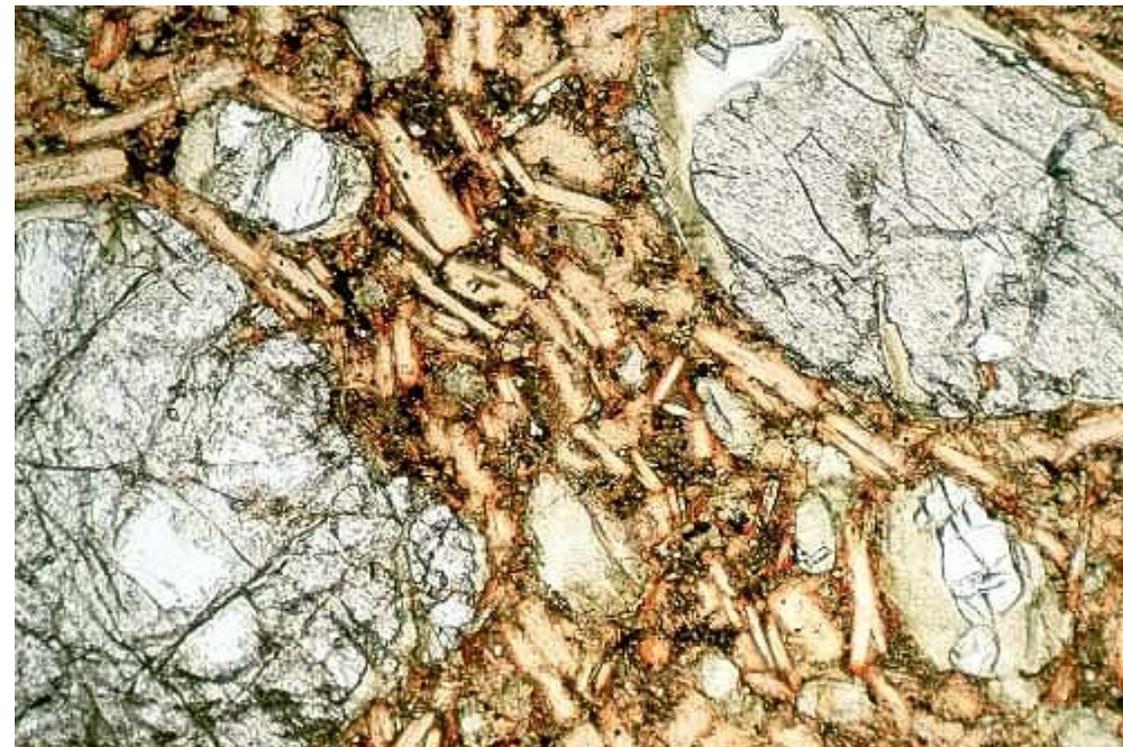
Dans le diamant, toutes les liaisons sont covalentes donc relativement fortes. Le diamant est dit **homodesmique**.

En revanche, dans le graphite, il existe deux types de liaisons : des liaisons covalentes fortes et des liaisons faibles dites de Van der Waals. Le graphite est dit **hétérodesmique**.

De plus, le graphite est un minéral feuilleté. Cela s'explique par la répartition même de ses liaisons. Dans les feuillets, les liaisons sont surtout covalentes. Ces feuillets sont reliés entre eux par des liaisons faibles de Van der Waals ce qui explique que les feuillets peuvent être facilement séparables.



Un pipe : du manteau éjecté par un cratère !



Lame mince de kimberlite

Des cristaux d'olivine sont entourés de lamelles de phlogopite (mica).

2- Sulfures et sulfosels

Ils représentent 15 à 20 % des minéraux, soit 350 espèces. De nombreux minerais sont des sulfures.

Ils sont répartis en deux groupes :

- ceux dont le groupe anionique (c'est-à-dire le groupe attiré par l'anode et donc chargé négativement) ne contient qu'un métalloïde : le soufre pour les sulfures, le sélénium pour les séléniures, le tellure pour les tellurures, l'arsenic pour les arséniures, l'antimoine pour les antimoniures.

Les plus courants sont la **pyrite** et la **marcasite** (FeS_2), la **galène** (PbS), la blende (ZnS), la chalcopyrite (CuFeS_2).

- les sulfosels : le groupe anionique est composé de soufre et d'un autre métalloïde. Exemples : la zinkénite $\text{Pb}_6\text{Sb}_{14}\text{S}_{27}$, la tennantite $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$.

La pyrite est cubique, la marcasite orthorhombique, la chalcopyrite quadratique et la blende cubique.

- **La pyrite** (FeS_2), est le sulfure le plus largement répandu. Elle forme de larges masses, des veines ou simplement des imprégnations dans les roches ignées comme dans les roches sédimentaires. Les roches métamorphiques en contiennent souvent (Schistes pyriteux de la carrière de la Boissière près de Mouchamps). On peut signaler que le rapport isotopique $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ est plus élevé dans les pyrites sédimentaires formées à basse température que dans les pyrites magmatiques (granophyres, phonolites), hydrothermales (dépôts volcaniques) ou d'origine métasomatique (roches métamorphiques, skarns).
- **La marcasite** (FeS_2), n'est pas un minéral d'origine profonde et il ne se forme, dans les conditions de basse température, que dans les sédiments ou les veines métallifères.
- **La chalcopyrite** (CuFeS_2) est le minerai le plus répandu et le plus important du cuivre. Il est d'origine magmatique dans les roches basiques et se trouve aussi en veines dans les aplites et les pegmatites. On le rencontre également dans les gîtes de métamorphisme de contact et dans les terrains sédimentaires où il aurait été concentré par lessivage.
- **La blende** (ZnS) possède une forme de haute température (de 960 à 1020°C), la **wurzite**, qui est hexagonale et, de plus, le zinc qu'elle contient est souvent substitué par du fer (Fe^{2+} et Zn^{2+} ont le même rayon ionique : 0,74 Å). L'importance de la substitution dépend d'ailleurs de la température de formation du minéral et donc la blende peut être considéré comme un bon thermomètre géologique.

3- Halogénures

Cette classe représente 5 à 6 % des espèces minérales.

Les minéraux les plus connus sont sans doute la **halite** (NaCl) ou sel gemme, la **fluorine** (CaF₂) et la **sylvine** (KCl).

Les halogénures sont fragiles, légers et souvent solubles dans l'eau.

Quand l'anion s'unit à un cation de taille moyenne (Na⁺), (Ca²⁺) ou grande (K⁺) comme c'est le cas dans les trois exemples cités : **halite**, **fluorine** et **sylvine**, cela conduit à une structure de la plus haute symétrie possible c'est-à-dire cubique.

Les liaisons sont alors typiquement ioniques.

Par contre, lorsque le cation est de petite taille (Mg²⁺, Cu²⁺), l'assemblage est plus lâche et, communément, de l'eau et des hydroxydes entrent dans une structure moins haute, comme dans la **carnallite** KMgCl₃, 6 H₂O et l'**atacamite** CuCl₂, 3 Cu(OH)₂, toutes deux orthorhombiques.

- **Le sel gemme ou halite NaCl** cristallise en cubes parfaits mais lors de l'évaporation rapide d'une solution saturée, il apparaît préférentiellement des *trémies*. Celles-ci sont des sortes de cubes à faces creuses qui, disposés en gradins décroissants, limitent une cavité pyramidale à base carrée.

La couleur du matériel pur est blanche mais le sel gemme naturel présente une large gamme de teintes : grise (inclusions d'argile), brune (bitume), bleue (or colloïdal), jaune (He), rose et rouge (oxydes et hydroxydes de fer).

Le sel gemme est un minéral des roches sédimentaires de type **évaporites**.

- **La fluorine ou fluorite CaF₂** est soit en cubes simples ou maclés soit en masses clivables

Ce minéral se forme à des températures relativement basses (450 à 550°C) dans des roches alcalines (granites, syénites) et dans leur cortège filonien pegmatitique. Il constitue aussi des veines dans lesquelles il est le principal minerai à moins qu'il ne joue le rôle de gangue vis-à-vis de la barytine, de la blende, de la galène, de la calcite et du quartz.



Vue de dessous



Vue de profil

Trémie de halite

4- Oxydes et hydroxydes

La quatrième classe regroupe les minéraux dont le groupe anionique est constitué d'oxygène ou d'hydroxyle (OH)⁻.
14 % des minéraux sont des oxydes.

On les divise en trois sous-classes :

- les oxydes simples : l'**hématite** (Fe_2O_3), la **magnétite** (Fe_3O_4), la **cuprite** (Cu_2O), la **cassitérite** (SnO_2), le **corindon** (Al_2O_3), le rutil (TiO_2)...
- les oxydes multiples : l'**ilménite** (FeTiO_3), le **spinelle** (MgAl_2O_4) utilisé en joaillerie en substitution du rubis ...
- les hydroxydes : la **gibbsite** $\text{Al}(\text{OH})_3$, la **limonite** $\text{FeO}(\text{OH})$, $n \text{H}_2\text{O}$, la **brucite** $\text{Mg}(\text{OH})_2$, ...

5- Carbonates, nitrates et borates

Ces minéraux se caractérisent par leur fragilité et une faible dureté.

- **Les carbonates** : le groupe anionique est le groupe carbonate $(\text{CO}_3)^{2-}$. Ils représentent 9 % des espèces connues, soit 200 espèces environ. Parmi elles, des espèces importantes, comme la **calcite** (CaCO_3), qui est le constituant principal du calcaire, l'**aragonite** de même formule chimique, la **dolomite** $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, la **malachite** $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$, l'**azurite** $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, la rhodochrosite MnCO_3
- **Les nitrates** : le groupe anionique est l'ion nitrate $(\text{NO}_3)^-$. Exemple : la **nitronatrite** NaNO_3 .
- **Les borates** : le groupe anionique est, soit l'ion borate $(\text{BO}_3)^{3-}$, soit l'ion $(\text{BO}_4)^{5-}$. Cette petite famille représente 2 % des minéraux. Formule moyenne d'un borate $\text{Ca}_2\text{Al}_2[\text{BO}_3\text{OH}, \text{Si}_4\text{O}_{12}]$.

6- Sulfates, chromates, molybdates, tungstates

Cette classe regroupe environ 230 espèces soit 10 % du total et se définit par le groupe anionique de forme $(XO_4)^{2-}$.

- **Les sulfates** $(SO_4)^{2-}$: les sulfates les plus connus sont sans aucun doute le **gypse**, la pierre à plâtre $CaSO_4$, $2 H_2O$ et la **barytine** $BaSO_4$.
- **Les chromates** $(CrO_4)^{2-}$: la **crocoïte** $PbCrO_4$
- **Les molybdates** $(MoO_4)^{2-}$: la **wulfénite** $PbMoO_4$
- **Les tungstates** $(WO_4)^{2-}$: la **ferbélite** $Fe^{2+}WO_4$ et la **scheelite** $CaWO_4$

7- Phosphates, arséniates et Vanadates

Cette classe regroupe environ 250 espèces, soit 16 % du total mais beaucoup ne sont observables qu'en petits cristaux. Le groupe anionique est de forme $(XO_4)^{3-}$.

- **Les phosphates** $(PO_4)^{3-}$: la **pyromorphite** $Pb_5(PO_4)_3Cl$, la **turquoise** $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8$, $4H_2O$, l'**apatite** $Ca_5(PO_4)_3$ et la **monazite** $(Ce,La,Nd,Th) PO_4$

C'est la monazite, qui renferme du thorium radioactif, qui a permis à Gaston de dater le métamorphisme de HP-BT des orthogneiss et paragneiss de l'Unité des Essarts à 395 ± 6 Ma (Eifelien - Dévonien moyen).

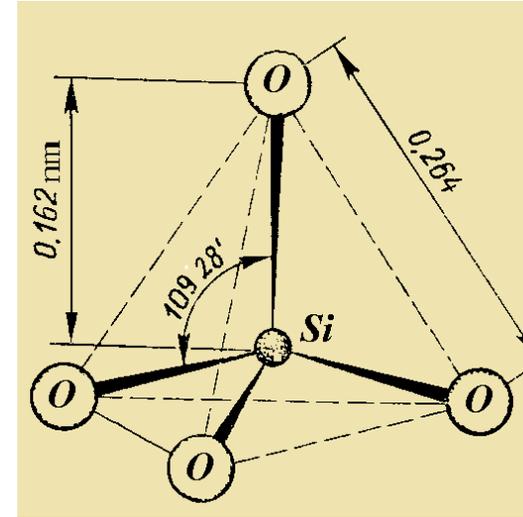
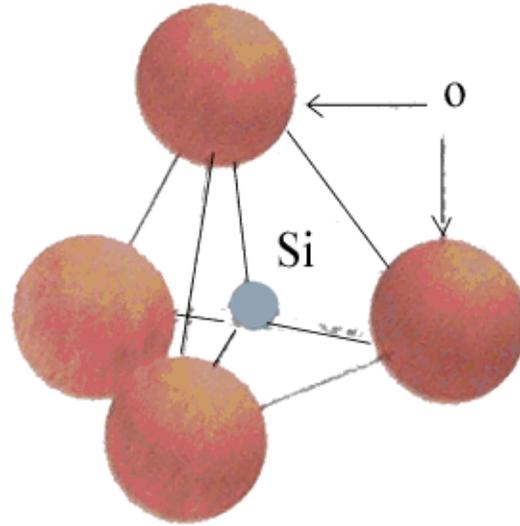
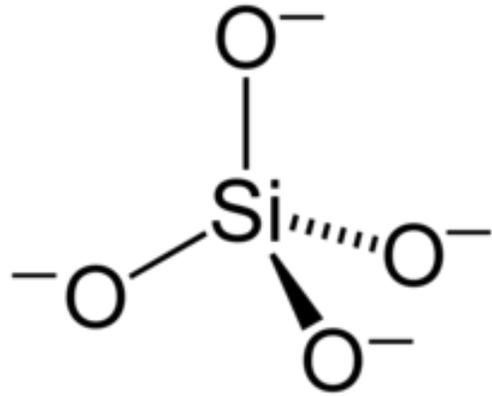
- **Les arséniates** $(AsO_4)^{3-}$: l'**érythrite** $Co_3(AsO_4)_2$, $8H_2O$
- **Les vanadates** $(VO_4)^{3-}$: la **vanadinite**

8- Silicates

L'unité de base du minéral est l'ion silicate $(\text{SiO}_4)^{4-}$. L'atome silicium est au centre d'une pyramide à base triangulaire. Ce volume géométrique formé par 4 triangles équilatéraux est un tétraèdre.

Les silicates représentent plus d'un quart des minéraux à la surface du globe. Cette abondance a amené à une classification spécifique. Celle-ci fait intervenir des notions structurales, c'est-à-dire fonction de l'enchaînement des tétraèdres $(\text{SiO}_4)^{4-}$. L'arrangement des liaisons entre les tétraèdres est modifié par la présence d'autres ions.

Ce tétraèdre élémentaire a par conséquent pour formule chimique globale : $(\text{SiO}_4)^{4-}$



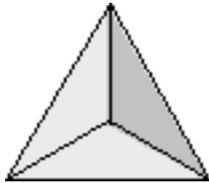
Il est porteur de 4 charges, de 4 valences négatives qui seront neutralisées par des cations métalliques ou seront mises en commun avec d'autres tétraèdres.

C'est le *motif ionique* à partir duquel seront fabriqués tous les silicates.

Les silicates sont divisés en 7 sous-classes :

- les néosilicates :

Le préfixe « néso » vient du grec *nésos* signifiant « île ». Les tétraèdres n'ont aucune liaison entre eux. Un atome au moins les isole et la formule le traduit : le groupement (SiO_4) y apparaît. Les néosilicates représentent 5 % environ des espèces minérales. On y retrouve l'**olivine** $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, les **grenats** et les **topazes**.



FAMILLE DES NESOSILICATES

Tétraèdres isolés

Exemple : famille des péridots (olivine),
grenats, zircon, silicates d'alumine

Grenats importants :

Les grenats alumineux comme :

- le **pyrope** $(\text{SiO}_4)_3\text{Al}_2\text{Mg}_3$ rouge-grenat
- l'**almandin** $(\text{SiO}_4)_3\text{Al}_2\text{Fe}_3$ rose clair
- la **spessartine** $(\text{SiO}_4)_3\text{Al}_2\text{Mn}_3$ rouge ou brun-jaune
- l'**ouvarovite** $(\text{SiO}_4)_3(\text{Al,Cr})_2(\text{Mg,Ca})_3$ vert vif

Les grenats calciques comme :

- le **grossulaire** $(\text{SiO}_4)_3\text{Al}_2\text{Ca}_3$ brun-rougeâtre
- l'**andradite** $(\text{SiO}_4)_3\text{Ca}_3\text{Fe}_3$ sombre

Tous les grenats sont cubiques.

Silicates d'alumine importants :

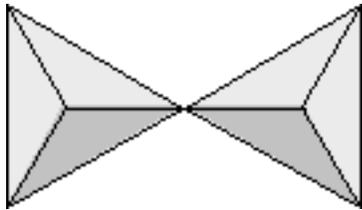
- le **disthène** $(\text{SiO}_4)\text{Al}_2\text{O}$ triclinique, de densité 3,6
- la **sillimanite** $(\text{SiO}_4)\text{Al}_2\text{O}$ orthorhombique, de densité 3,25
- l' **andalousite** $(\text{SiO}_4)\text{Al}_2\text{O}$ orthorhombique, de densité 3,15

Disthène , sillimanite et andalousite sont 3 polymorphes. Ils ont même formule chimique.

- la **staurotide** de formule compliquée qui contient du fer, du magnésium et le groupement OH
 $(\text{Fe,Mg,Zn,Co})_{1,5-2}\text{Al}_9(\text{SiO}_4)_4\text{O}_6(\text{O,OH})_2(\text{SiO}_4)_3\text{Al}_2\text{Ca}_3$

- **les sorosilicates :**

Le préfixe « soro » dérive du grec *soros* qui signifie « amas ». Les tétraèdres SiO_4 se lient par deux par un sommet, formant un groupe Si_2O_7 . par mise en commun d'un atome d'oxygène. Chaque unité de deux tétraèdres est séparée des autres par des anions intermédiaires. Les sorosilicates représentent 3 % environ des espèces minérales. Parmi elles, on y retrouve l'**épidote** $\text{Ca}_2(\text{Fe,Al})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$.



FAMILLE DES SOROSILICATES

Paire de tétraèdres

Exemple : **épidote**

La famille des épidotes :

Pratiquement seule est importante la série isomorphe :

- **épidote ou pistac(h)ite** $(\text{SiO}_4)_3\text{Ca}_2\text{Fe}_3(\text{OH})$ de couleur vert-pistache
- **zoïsite** $(\text{SiO}_4)_3\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{OH})$ de couleur blanche

Ce sont des minéraux de remplacement (**saussurisation des plagioclases**) qui se forment par voie hydrothermale (présence de OH). On les rencontre aussi dans le métamorphisme de faciès schistes verts (pistacite, clinozoïsite monocliniques) et le métamorphisme de faciès amphibolite (zoïsite orthorhombique) à partir de roches calciques.

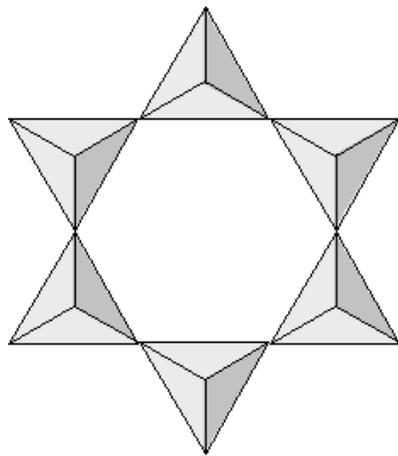
- **les cyclosilicates.**

de « cyclo » signifiant en grec « anneaux ». Les tétraèdres se réunissent par groupes cycliques, contenant 3, 4 ou 6 tétraèdres, voire plus. Des formules chimiques indiquant (Si_3O_9) , $(\text{Si}_4\text{O}_{12})$ ou $(\text{Si}_6\text{O}_{18})$ concernent des cyclosilicates. S'ils ne représentent que 2 % des espèces minérales, celles-ci sont très connues comme pierres gemmes.

Il y a :

- tous les **béryls** (aigue-marine, émeraude) $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$
- et toutes les **tourmalines**, de formule chimique plus complexe,

On peut encore citer, outre le (ou la) **diopase** $\text{Cu}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}, 6\text{H}_2\text{O}$, la **cordiélite** $(\text{Si}_5\text{AlO}_{18})\text{Al}_3(\text{Mg,Fe})_2$



FAMILLE DES CYCLOSILICATES

Tétraèdres en anneaux

Exemple : **tourmaline, béryl, cordiélite**

- les inosilicates :

Le préfixe « ino » signifie « fibres » en grec. Les tétraèdres forment des chaînes SiO_3 . Les rubans peuvent aussi être la condensation de plusieurs chaînes, la plus fréquente étant Si_4O_{11} . Les inosilicates représentent 4,5 % environ des espèces minérales.

Les deux grandes familles sont les **pyroxènes** (chaînes simples) et les **amphiboles** (chaînes doubles). Les amphiboles cristallisées de façon fibreuse sont des amiantes.

L'**aegyrine** $\text{NaFe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ est un clinopyroxène.

La **rhodonite** $(\text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Ca})\text{SiO}_3$

Pyroxènes importants :

- la série **enstatite** $(\text{Si}_2\text{O}_6)\text{Mg}_2$ - **hypersthène** $(\text{Si}_2\text{O}_6)\text{Fe}_2$
- la série **diopside** $(\text{Si}_2\text{O}_6)\text{CaMg}$ - **hédénbergite** $(\text{Si}_2\text{O}_6)\text{CaFe}$
- la série **jadéite** $\text{NaAl}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ - **aegyrine** $\text{NaFe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
- la série de l'**augite** formule simplifiée $(\text{Ca},\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Ti},\text{Al})_2 [(\text{Si},\text{Al},\text{Ti})_2\text{O}_6]$

Amphiboles importantes :

- la série **anthophyllite** - **gédrite** formule de l'anthophyllite $(\text{Mg},\text{Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- la série **trémolite** $(\text{Ca}_2\text{Mg}_5)\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - **actinote** $\text{Ca}_2(\text{Fe},\text{Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- la série **glaucophane** $(\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Mg}_3)\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - **riebeckite** $(\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{Fe}_3)\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- la série de la **hornblende** formule simplifiée $[\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Al},\text{Fe},\text{Ti})_2] [(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}] (\text{OH})_2$

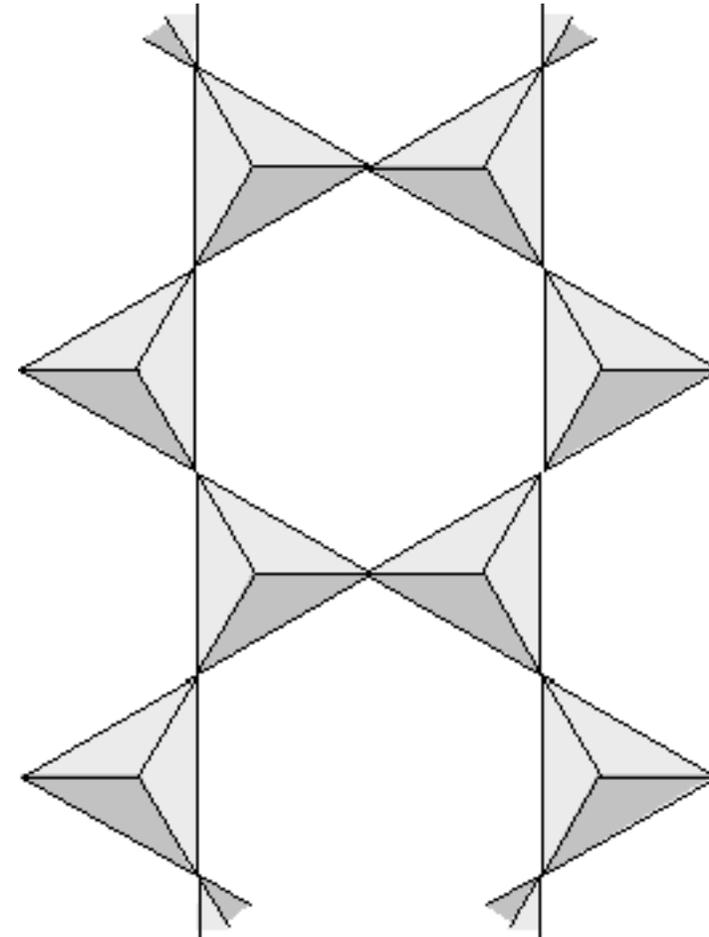
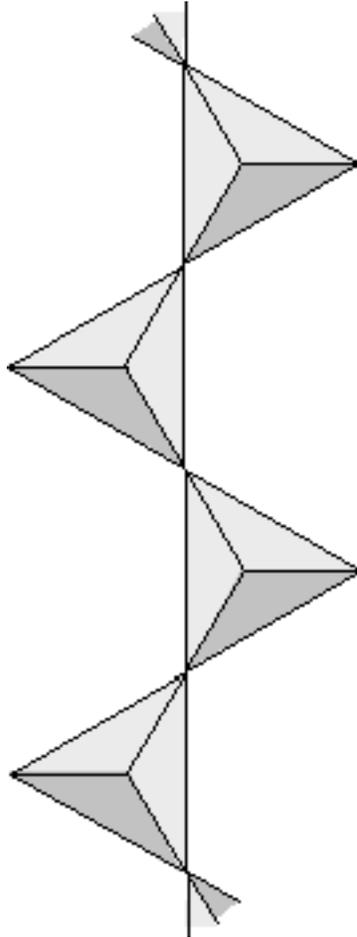
La gédrite, vous connaissez ! On l'a trouvée à l'Île d'Yeu !



FAMILLE DES INOSILICATES EN CHAÎNE SIMPLE

Chaîne de tétraèdres

Exemple : famille des pyroxènes



FAMILLE DES INOSILICATES EN CHAÎNE DOUBLE ou RUBANS

Exemple : famille des amphiboles

- les phyllosilicates :

Le préfixe grec « phyllo » veut dire « feuille ». Le groupe anionique de cette famille est $(\text{Si}_4\text{O}_{10})$. Les tétraèdres s'arrangent en feuillets épais d'une ou de deux épaisseurs de tétraèdres. On distingue donc plusieurs familles : les **micas**, les **argiles** et les **serpentes**. Les phyllosilicates représentent 6,5 % environ des espèces.

Le talc $(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{Mg}_3(\text{OH})_2$: on le trouve dans les roches métamorphiques.

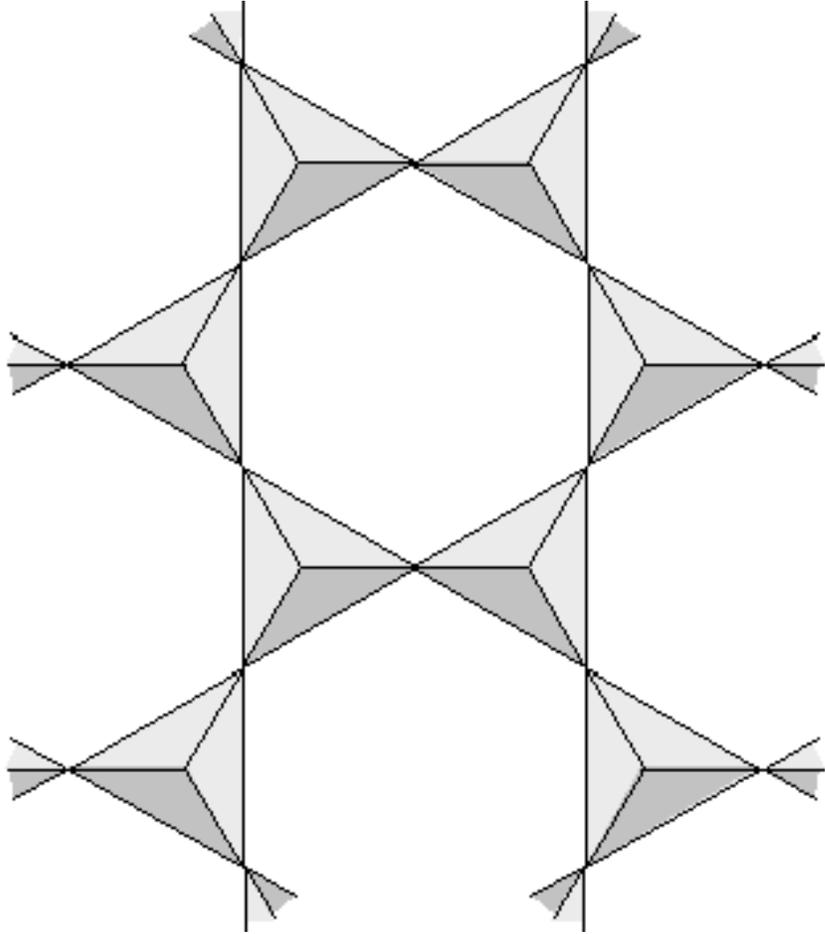
La **cavansite** $\text{CaSi}_4\text{O}_{10}$, $4 \text{H}_2\text{O}$: on la trouve dans les vacuoles des basaltes et des tufs, accompagnée de toutes sortes de zéolites dont la heulandite et la stilbite.

Le mica blanc ou **muscovite** $(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20})\text{Al}_4(\text{OH})_4\text{K}_2$

Le mica noir ou **biotite** $(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20})(\text{Mg,Fe})_6(\text{OH})_4\text{K}_2$

La **phrénite** $[(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}]\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{OH})_4$: la phrénite est un minéral hydrothermal secondaire qui se forme généralement dans des fissures et autres cavités des roches éruptives basiques et dans les schistes cristallins.

Autres phyllosilicates : l'importante famille des **chlorites**.



FAMILLE DES PHYLLOSILICATES

Tétraèdres en feuillets

Exemple : famille des micas, famille des argiles, chlorite, serpentine

- les tectosilicates :

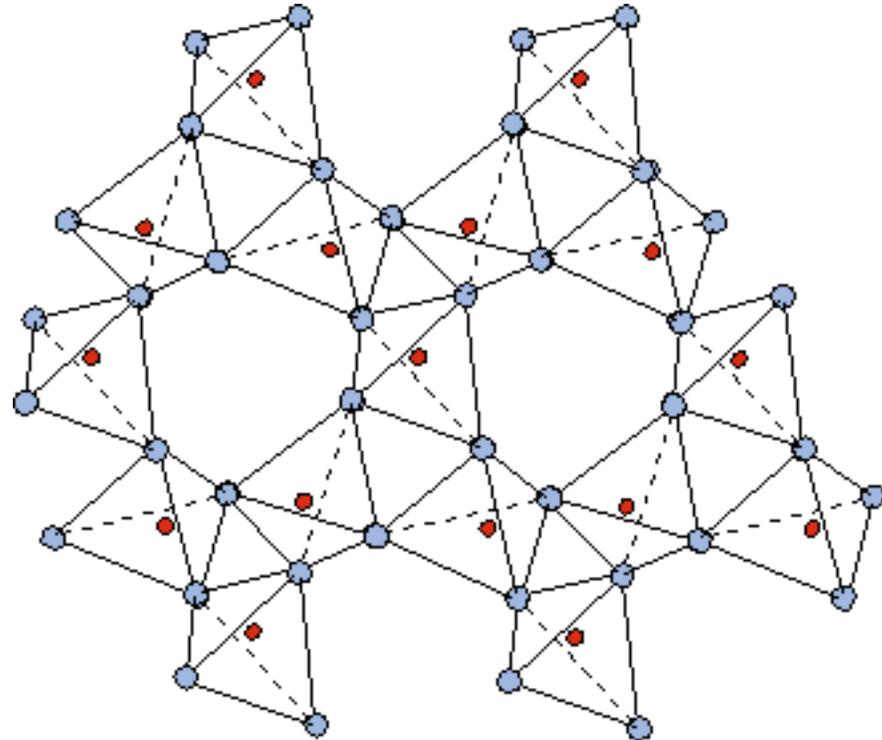
Le préfixe « tecto » vient du grec « charpente ». Tous les tétraèdres sont reliés entre eux par un oxygène commun et constituent une charpente silicatée. La formule chimique de base est donc SiO_2 comme pour le quartz. Dans certains tétraèdres, le silicium peut être remplacé par un atome d'aluminium. La silice SiO_2 devient donc $(\text{Si},\text{Al})\text{O}_2$. Le nombre et la nature des substitutions déterminent les familles des **feldspaths**, des **feldspathoïdes** et des **zéolites**. Les tectosilicates représentent 4 % des minéraux. On y trouve le lapis lazuli (ou lazurite pour les minéralogistes) et l'amazonite.



FAMILLE DES TECTOSILICATES

Association des tétraèdres par tous les sommets dans les 3 dimensions de l'espace = charpente tridimensionnelle.

Exemple : quartz, famille des feldspaths alcalins et plagioclases, famille des feldspathoïdes



❖ La silice

Le quartz (SiO_2) : c'est **un** constituant essentiel des roches éruptives acides, des roches métamorphiques et sédimentaires où son origine est surtout détritique.

La **calcédoine** est une variété fibreuse de quartz, finement cristallisée. Les fibres s'accolent pour former des bouquets en éventails ou des sphérolites. Ces fibres sont souvent tordues.

L'**opale** est une silice apparemment amorphe, formée par des fibres de quartz si petites que leur présence ne peut être décelée qu'aux rayons X. Entre ces fibres, de l'eau d'absorption se fixe.

❖ Les feldspaths

Il y a deux séries essentielles : les **feldspaths alcalins** et les **feldspaths sodi-calciques ou plagioclases**.

Les feldspaths alcalins : **orthose** $\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{K}$ (pôle potassique) **et albite** $\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Na}$ (pôle sodique)

Série des plagioclases : elle va d'un pôle sodique, **l'albite** $\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Na}$ à un pôle calcique $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8\text{Ca}$.

❖ Les feldspathoïdes

Ils ont un réseau comparable à celui des feldspaths mais ils sont moins riches en silice que les feldspaths.

Deux espèces essentielles : la **néphéline** sodique $(\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8)\text{Na}_2$ et la **leucite** potassique $(\text{Si}_2\text{AlO}_6)\text{K}$.

La néphéline se rencontre dans les roches éruptives pauvres en silice comme les phonolites.

La leucite se trouve relativement abondante dans certaines laves récentes pauvres en silice mais elle est relativement rare car à basse température, elle peut réagir avec l'albite selon la réaction :



Et cela explique que l'on peut trouver de la néphéline dans une roche riche en potassium (K_2O).

❖ Les zéolites

Elles se présentent en agrégats fibreux, lamellaires, transparents ou decouleur blanche, tapissant les cavités des roches volcaniques. Elles cristallisent en effet dans le dernier stade à partir de circulations tardives.

L'**heulandite** $(Ca,Na)_{2-3} Al_3 (Al,Si)_2 Si_{13} O_{36} \cdot 12 H_2O$: on la trouve dans les amygdales basaltiques où elle s'associe à l'apophyllite, la calcite, la datolite, la stilbite et autres zéolites.

La **stilbite** : on la trouve dans les cavités des basaltes et des andésites, et dans certains gneiss, dans les veines hydrothermales de basse température et dans les roches métamorphiques et sédimentaires.

Les liaisons chimiques

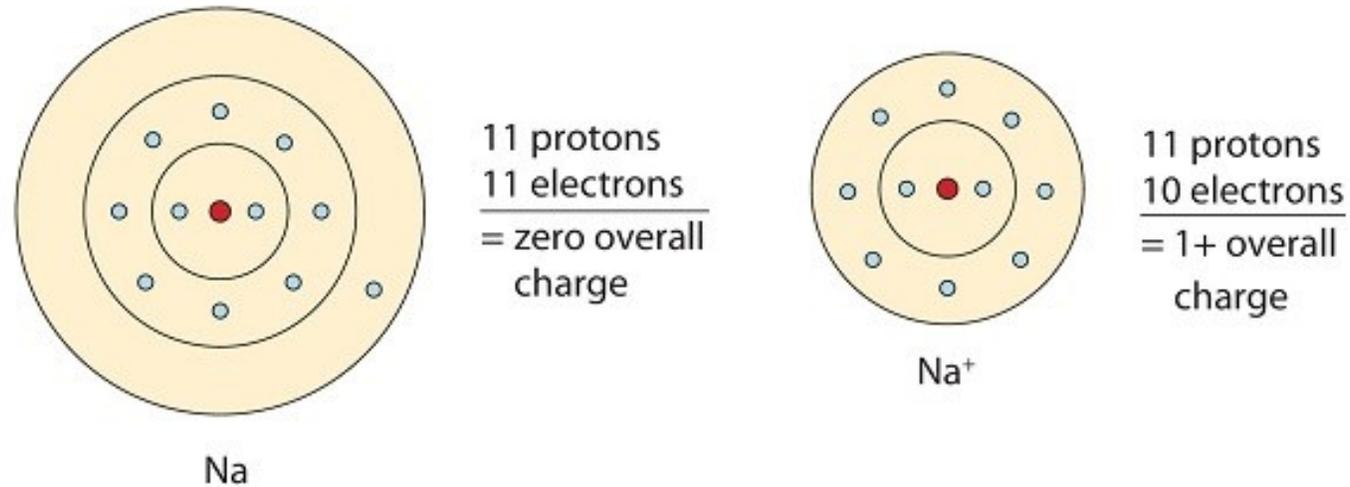
La liaison ionique

Les liaisons ioniques nécessitent un donneur d'électrons, souvent un alcalin, et un accepteur d'électrons, souvent un halogène.

L'alcalin perd un électron pour devenir un cation chargé positivement, alors que l'halogène les accepte pour devenir un anion chargé négativement.

La liaison ionique est observée parce que les alcalins ou les alcalino-terreux ont peu d'électrons dans leurs orbites les plus extérieures, respectivement 1 ou 2. En perdant ces électrons, ces éléments peuvent obtenir une configuration de gaz noble et satisfaire à la règle de l'octet. De même, les halogènes qui ont 8 électrons dans leur couche de valence ont tendance à accepter facilement des électrons pour obtenir une configuration de gaz noble.

En liaison ionique, plus d'un électron peut être donné ou reçu pour satisfaire à la règle de l'octet. Les charges sur l'anion et le cation correspondent au nombre d'électrons donnés ou reçus. Dans les liaisons ioniques, la charge nette du composé doit être zéro.



L'atome de sodium à gauche donne l'électron seul dans son orbite de valence afin d'obtenir une configuration octet. Cela crée un cation chargé positivement en raison de la perte d'électrons.

Tableau périodique des éléments chimiques

Groupe → I A Période ↓ 1	Tableau périodique des éléments chimiques																VIII A 18		
1	Hydrogène 1 H 1,007975											III B 13	IV B 14	V B 15	VI B 16	VII B 17	Hélium 2 He 4,002602		
2	Lithium 3 Li 6,9395	Béryllium 4 Be 9,0121831	← nom de l'élément (gaz, liquide ou solide à 0°C et 101,3 kPa) ← numéro atomique ← symbole chimique ← masse atomique relative [ou celle de l'isotope le plus stable] [CIAAW "Atomic Weights 2013" + rev. 2015]										Bore 5 B 10,8135	Carbone 6 C 12,0106	Azote 7 N 14,006855	Oxygène 8 O 15,99940	Fluor 9 F 18,99840316	Néon 10 Ne 20,1797 (6)	
3	Sodium 11 Na 22,98976928	Magnésium 12 Mg 24,3055	III A 3	IV A 4	V A 5	VI A 6	VII A 7	VIII 8 9 10			IB 11	II B 12	Aluminium 13 Al 26,9815385	Silicium 14 Si 28,085 (1)	Phosphore 15 P 30,97376200	Soufre 16 S 32,0675	Chlore 17 Cl 35,4515	Argon 18 Ar 39,948 (1)	
4	Potassium 19 K 39,0983 (1)	Calcium 20 Ca 40,078 (4)	Scandium 21 Sc 44,955908 (5)	Titane 22 Ti 47,867 (1)	Vanadium 23 V 50,9415 (1)	Chrome 24 Cr 51,9961 (6)	Manganèse 25 Mn 54,938044	Fer 26 Fe 55,845 (2)	Cobalt 27 Co 58,933194	Nickel 28 Ni 58,6934 (4)	Cuivre 29 Cu 63,546 (3)	Zinc 30 Zn 65,38 (2)	Gallium 31 Ga 69,723 (1)	Germanium 32 Ge 72,630 (8)	Arsenic 33 As 74,921595	Sélénium 34 Se 78,971 (8)	Brome 35 Br 79,904	Krypton 36 Kr 83,798 (2)	
5	Rubidium 37 Rb 85,4678 (3)	Strontium 38 Sr 87,62 (1)	Yttrium 39 Y 88,90584	Zirconium 40 Zr 91,224 (2)	Niobium 41 Nb 92,90637	Molybdène 42 Mo 95,95 (1)	Technétium 43 Tc [98]	Ruthénium 44 Ru 101,07 (2)	Rhodium 45 Rh 102,90550	Palladium 46 Pd 106,42 (1)	Argent 47 Ag 107,8682 (2)	Cadmium 48 Cd 112,414 (4)	Indium 49 In 114,818 (1)	Étain 50 Sn 118,710 (7)	Antimoine 51 Sb 121,760 (1)	Tellure 52 Te 127,60 (3)	Iode 53 I 126,90447	Xénon 54 Xe 131,293 (6)	
6	Césium 55 Cs 132,905452	Baryum 56 Ba 137,327 (7)	Lanthanides 57-71		Hafnium 72 Hf 178,49 (2)	Tantale 73 Ta 180,94788	Tungstène 74 W 183,84 (1)	Rhénium 75 Re 186,207 (1)	Osmium 76 Os 190,23 (3)	Iridium 77 Ir 192,217 (3)	Platine 78 Pt 195,084 (9)	Or 79 Au 196,966569	Mercur 80 Hg 200,592 (3)	Thallium 81 Tl 204,3835	Plomb 82 Pb 207,2 (1)	Bismuth 83 Bi 208,98040	Polonium 84 Po [209]	Astate 85 At [210]	Radon 86 Rn [222]
7	Francium 87 Fr [223]	Radium 88 Ra [226]	Actinides 89-103		Rutherfordium 104 Rf [267]	Dubnium 105 Db [268]	Seaborgium 106 Sg [269]	Bohrium 107 Bh [270]	Hassium 108 Hs [277]	Meitnérium 109 Mt [278]	Darmstadtium 110 Ds [281]	Roentgenium 111 Rg [282]	Copernicium 112 Cn [285]	Nihonium 113 Nh [286]	Flérovium 114 Fl [289]	Moscovium 115 Mc [289]	Livermorium 116 Lv [293]	Tennessee 117 Ts [294]	Oganesson 118 Og [294]
			Lanthane 57 La 138,90547	Cérium 58 Ce 140,116 (1)	Praséodyme 59 Pr 140,90766	Néodyme 60 Nd 144,242 (3)	Prométhium 61 Pm [145]	Samarium 62 Sm 150,36 (2)	Europium 63 Eu 151,964 (1)	Gadolinium 64 Gd 157,25 (3)	Terbium 65 Tb 158,92535	Dysprosium 66 Dy 162,500 (1)	Holmium 67 Ho 164,93033	Erbium 68 Er 167,259 (3)	Thulium 69 Tm 168,93422	Ytterbium 70 Yb 173,045	Lutécium 71 Lu 174,9668		
			Actinium 89 Ac [227]	Thorium 90 Th 232,0377	Protactinium 91 Pa 231,03588	Uranium 92 U 238,02891	Neptunium 93 Np [237]	Plutonium 94 Pu [244]	Américium 95 Am [243]	Curium 96 Cm [247]	Berkélium 97 Bk [247]	Californium 98 Cf [251]	Einsteinium 99 Es [252]	Fermium 100 Fm [257]	Mendélévium 101 Md [258]	Nobélium 102 No [259]	Lawrencium 103 Lr [266]		

non métaux

métaux

1s²2s²2p⁶3s¹

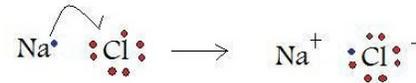
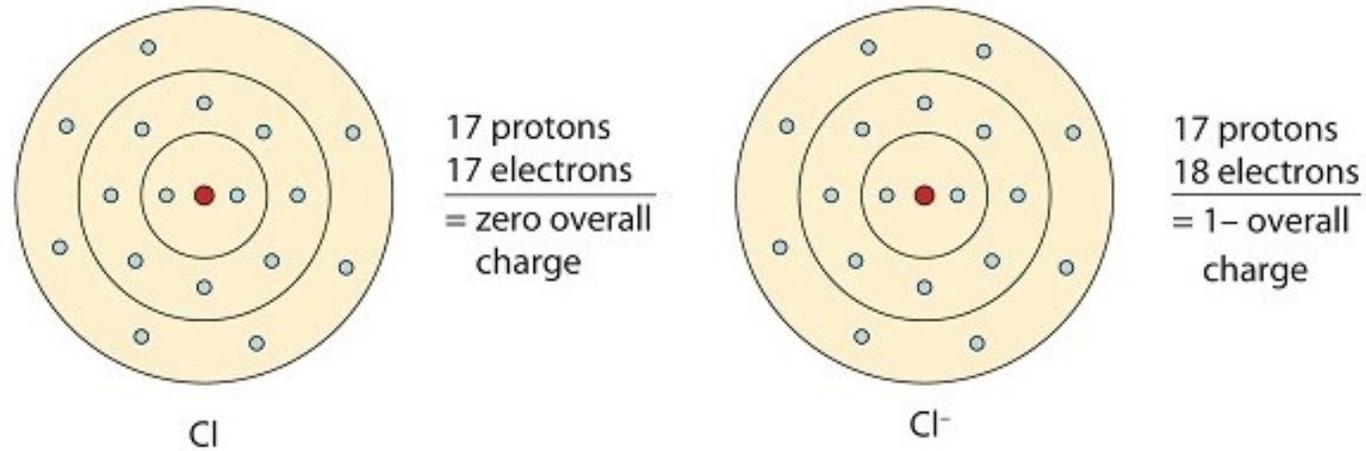
1s²2s²2p⁶3s²3p⁵

Métaux						Non métaux							
Alcalins	Alcalino-terreux	Lanthanides	Actinides	Métaux de transition	Métaux pauvres	Métalloïdes	Autres non-métaux	Halogènes	Gaz nobles	Non classés	primordial	désintégration d'autres éléments	synthétique

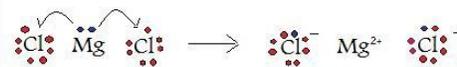
Cet atome de chlore reçoit un électron pour atteindre sa configuration octet, ce qui crée un anion chargé négativement.

Cette réaction est très favorable en raison de l'attraction électrostatique entre les particules à la distance interatomique.

La plupart des composés ioniques ont tendance à se dissocier dans les solvants polaires comme l'eau parce qu'ils sont souvent polaires. Ce phénomène est dû aux charges opposées sur chaque ion.



Dans cet exemple, l'atome de sodium donne son électron de 1 valence à l'atome de chlore. Cela crée un cation sodium et un anion chlore. Notez que la charge nette du composé résultant est de 0.



Dans cet exemple, l'atome de magnésium donne ses deux électrons de valence à des atomes de chlore. Chaque atome de chlore ne peut accepter qu'un seul électron avant d'atteindre sa configuration de gaz noble ; donc, 2 atomes de chlore sont nécessaires pour accepter les 2 électrons donnés par le magnésium. Notez que la charge nette du composé est de 0.

Liaison covalente

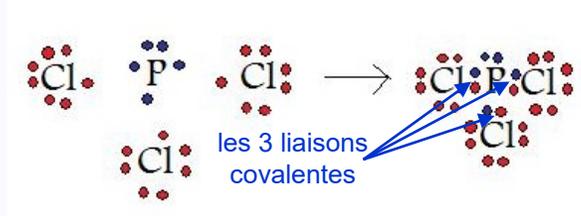
La liaison covalente est le partage des électrons entre les atomes. Ce type de liaison se produit entre deux atomes du même élément ou d'éléments proches l'un de l'autre dans le tableau périodique. Cette liaison se produit principalement entre les non-métaux, mais on peut aussi l'observer entre les non-métaux et les métaux.

Si les atomes ont la même affinité pour les électrons, la probabilité pour que des liaisons covalentes se forment est grande. En effet, parce que les deux atomes ont la même affinité pour les électrons et qu'ils n'ont pas tendance à en donner, ils partagent des électrons afin d'obtenir une configuration octet et de devenir plus stables.

Dans la liaison covalente, 2 atomes (ou plus) mettent en commun leurs électrons périphériques et ainsi se complètent de façon à ce que chacun d'eux ait la structure d'un gaz noble.

De plus, l'énergie d'ionisation de l'atome est trop grande et l'affinité électronique de l'atome est trop faible pour que la liaison ionique se produise. Par exemple : le phosphore ne forme pas de liaisons ioniques car il a 5 électrons de valence. Pour former des liaisons ioniques, les atomes de phosphore doivent soit gagner 3 électrons, soit en perdre 5 électrons ce qui est défavorable. Par conséquent, les atomes de phosphore partagent leurs électrons de valence 5 à travers des liaisons simples, doubles et triples afin que chaque atome puisse obtenir des configurations de gaz noble.

ExEmple: trichlorure de phosphore



Dans cet exemple, un atome de phosphore partage ses trois électrons non appariés avec trois atomes de chlore. Dans le produit final, ces quatre molécules possèdent toutes quatre 8 électrons de valence et satisfont à la règle de l'octet.

La liaison métallique

On suppose que les atomes de métal se trouvent dans le cristal sous forme d'ions positifs et qu'entre eux existe un nuage d'électrons, dans lequel chaque électron n'a aucune allégeance pour tel ou tel noyau.

La nature électronique particulière des liaisons métalliques est responsable de plusieurs propriétés macroscopiques des métaux :

- le fluide d'électrons libres assure à la fois une conductivité électrique et une conductivité thermique élevées en permettant la circulation du courant électrique et en favorisant la propagation des phonons dans le matériau ;
- elle rend compte de la ductilité, de la malléabilité et de la plasticité des métaux en maintenant leur cohésion en cas de déformation brisant les autres liaisons interatomiques ;
- elle confère aux métaux leur absorbance et leur éclat particulier par son interaction avec les ondes électromagnétiques, ainsi que leur point de fusion et leur point d'ébullition plus élevés que les non-métaux en renforçant les autres types de liaisons interatomiques.

Ces dernières, notamment les liaisons covalentes de coordination, sont responsables des différentes structures cristallines formées par les métaux solides : la plus fréquente est la structure cubique centrée, suivie de la structure hexagonale compacte et de la structure cubique à faces centrées. La force d'une liaison métallique dépend notamment du nombre d'électrons libres par atome métallique, et est la plus élevée parmi les métaux de transition : cette liaison subsiste dans un métal liquide, alors que les autres liaisons interatomiques sont rompues, de sorte que la température d'ébullition d'un métal est un meilleur indicateur de la force de sa liaison métallique que sa température de fusion.

Liaison de Van der Waals

Il s'agit d'une liaison de type intermoléculaire qui s'exerce entre les molécules d'une substance (contrairement aux liaisons de covalence qui sont des liaisons intramoléculaires car elles s'établissent entre les atomes d'une même molécule).

Cette liaison est plus précisément une interaction électrique de faible intensité qui s'exerce entre les molécules présentant un moment dipolaire.

Par définition ces molécules sont globalement neutres mais présentent un pôle positif (centre des charges partielles positives localisées sur les atomes les moins électronégatifs) et un pôle négatif (centre des charges partielles négatives). Il s'exerce ainsi une force électrique globalement attractive entre les pôles de signes opposés des différentes molécules.

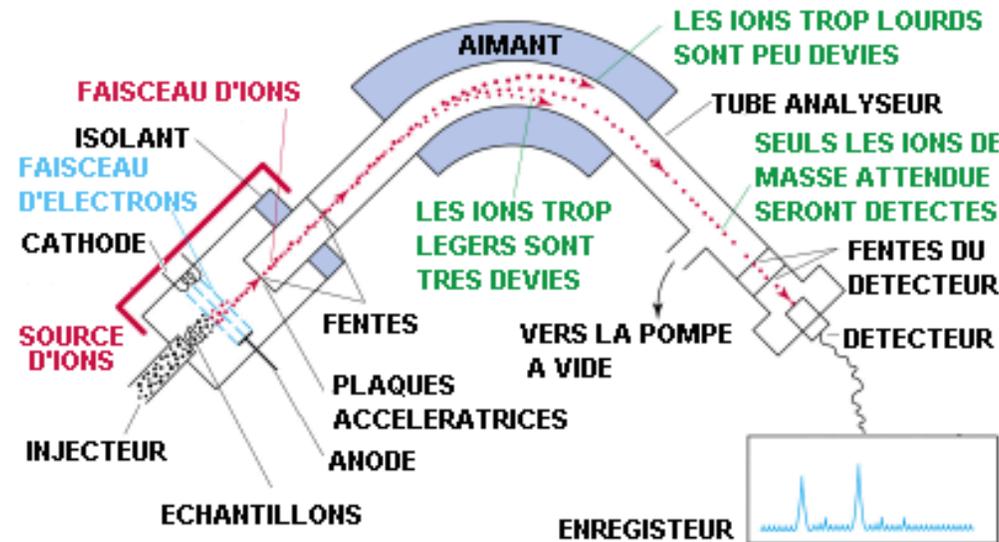
Le système de déviation

3. Le champ magnétique créé par l'aimant exerce sur le « courant ionique » une force perpendiculaire au jet d'ions et le dévie, le courbe. Cette déviation, d'autant plus forte que l'ion est plus léger, trie les ions suivant leurs masses.

Le système d'ionisation et d'accélération

1. Les atomes de l'échantillon dont on veut mesurer la composition isotopique sont ionisés dans une chambre à vide.
2. Les ions ainsi produits sont accélérés grâce à une ddp de 3 à 20 kilovolts.

On obtient donc des faisceaux d'ions constituant ainsi un courant électrique qu'on va faire passer dans un champ magnétique.



Le système de collection

4. En mesurant la valeur relative des courants électroniques créés par chaque faisceau d'ions ainsi isolé, on mesure l'abondance relative de chaque isotope.

Principe du spectromètre de masse

Remarque : on mesure en réalité des rapports de masses en se référant à un isotope stable de masse voisine, par exemple ^{40}Ar radiogénique par rapport à ^{36}Ar stable.

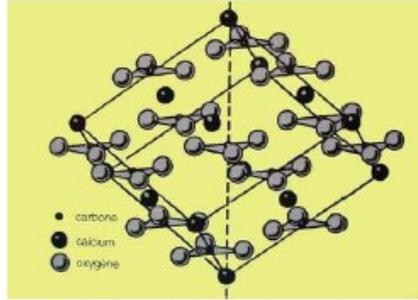
L'organisation de la matière solide : de la maille à la roche

Maille

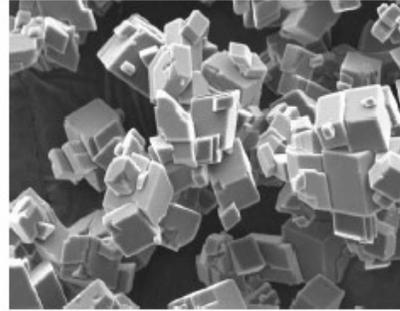
Cristal

Minéral

Roche



Rhomboédrique
pour la **Calcite**



Polymorphes



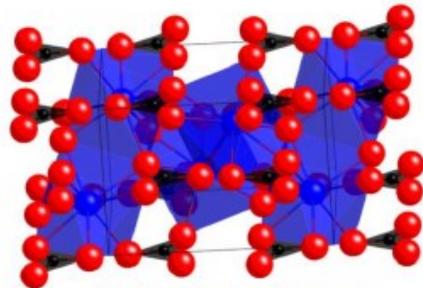
Temps (Diagenèse)

Pression

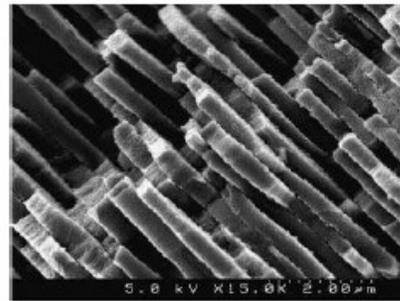
Température

Macles, clivages

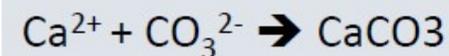
*Biologie (séance 4)
+ diagenèse
(cimentation)*



Orthorhombique
pour l'**Aragonite**



Une même formule chimique pour une même organisation de la matière?



Spath d'Islande et biréfringence, SVT, Hervé Kempf, lycée
de l'Elorn (youtube.com)

https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_Ottawa/OU%3A_CHM1721B_-_Chimie_Organique_I/Partie_I%3A_Structures_chimiques/Module_1_%3A_Structures_mol%C3%A9culaires

FIN

