Du minéral à la roche

Laurie Bougeois

ST3 - Polytech' Paris UPMC

14 novembre 2014

1. Introduction

2. Les minéraux : description physico-chimique

3. Classification des principaux minéraux

4. Du minéral à la roche

5. Applications

Quelques définitions

Roche assemblage homogène ou non de minéraux.

Cristal solide dont les divers atomes sont arrangés de manière régulière selon une disposition fondamental (la maille élémentaire) dont la répétition dans l'espace dessine le réseau cristallin.

Du fait de cet arrangement, les propriétés physiques d'un cristal varient selon les orientations.

Minéral espèce chimique naturelle se présentant le plus souvent sous forme de solide cristallin.

i.e. éléments chimiques rangés dans l'espace suivant des règles géométriques précises.

Quelques définitions

Automorphe minéral se présentant sous la forme d'un cristal parfait, ou du moins délimité par des faces cristallines planes.

i.e. apparu précocement et dont la croissance n'a pas été gênée par d'autres cristaux $\rightsquigarrow$ ex. : orthose dans granite

Sub-automorphe minéral qui, bien que gêné par ses voisins lors de sa croissance, a pris des formes proches de celles d'un cristal parfait.

Xénomorphe minéral qui bien que cristallisé, présente une forme quelconque, les faces caractéristiques du système cristallin n'ayant pas pu se développer

i.e. n'a pu exprimer sa propre forme par manque de place car formé en fin de cristallisation $\rightsquigarrow$ ex. : quartz dans granite

Quelques définitions

Automorphe minéral se présentant sous la forme d'un cristal parfa
crist
i.e. ap ée
par d'

Sub-automorphe s
de sa es
d'un

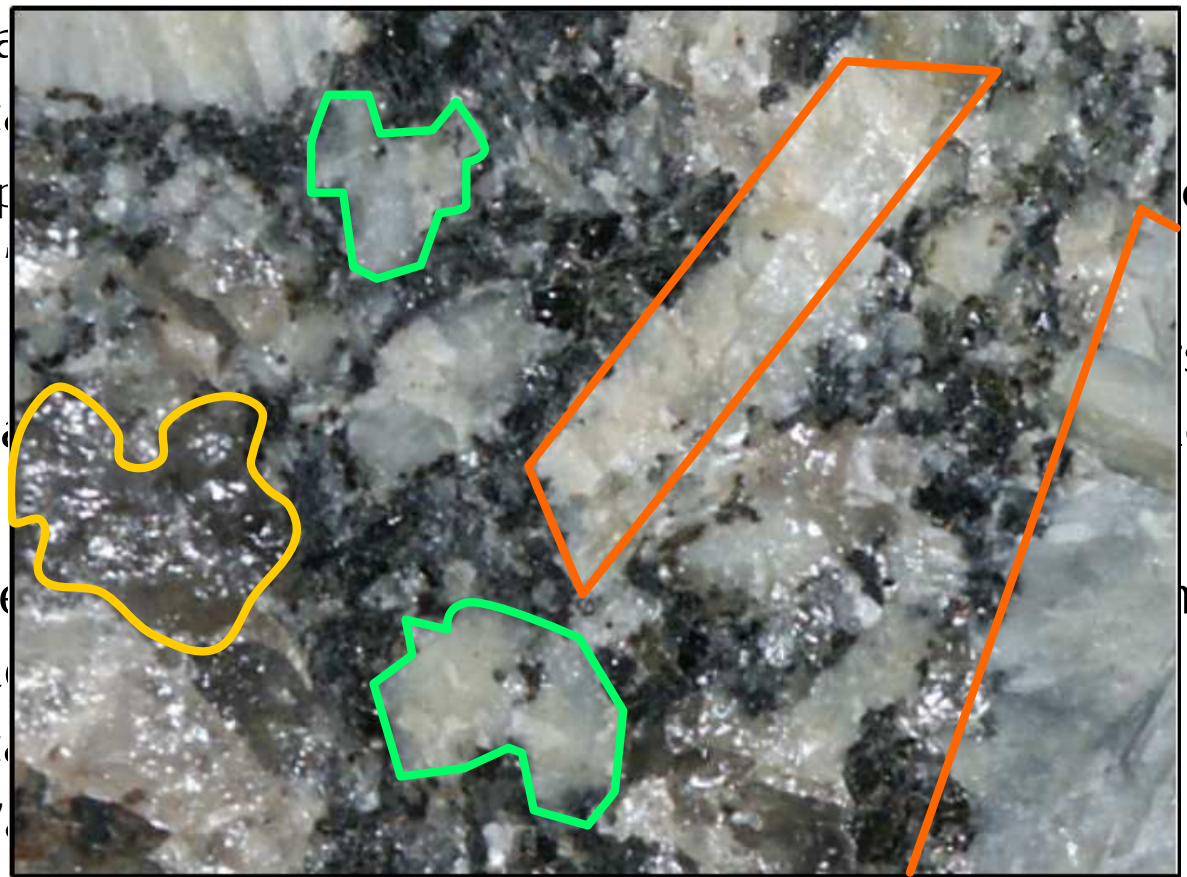
Xénomorphe mine ne
quel
crist
i.e. n'
formé en fin de cristallisation ⇝ ex. : quartz dans granite

Quelques définitions

Automorphe minéral se présentant sous la forme d'un cristal parfa
crist
i.e. ap ée
par d'

Sub-automorphe s
de s es
d'un

Xénomorphe mine ne
quel
crist
i.e. n'



formé en fin de cristallisation ⇝ ex. : quartz dans granite

1. Introduction

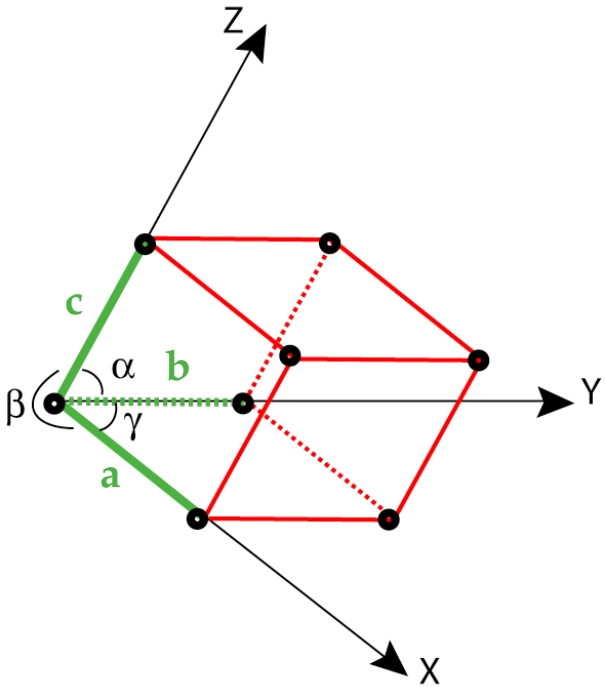
2. Les minéraux : description physico-chimique

3. Classification des principaux minéraux

4. Du minéral à la roche

5. Applications

Notion de maille cristalline



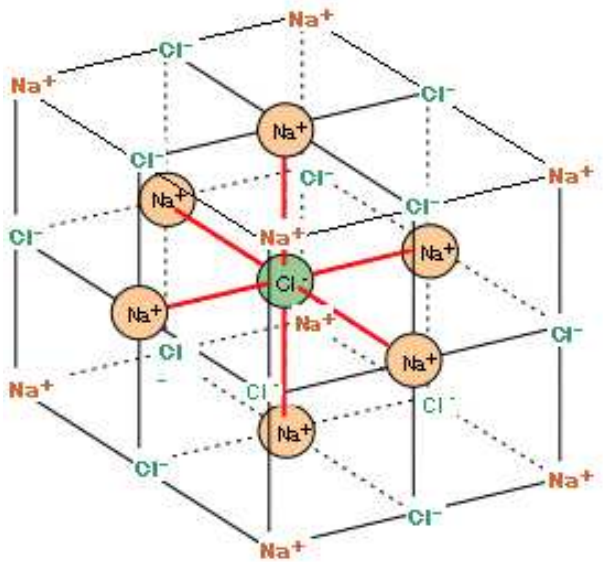
Maille : unité de base d'un cristal
⇝ plus petit parallélépipède de matière cristallisée conservant toutes les propriétés du cristal (géométrie, physique, chimie)

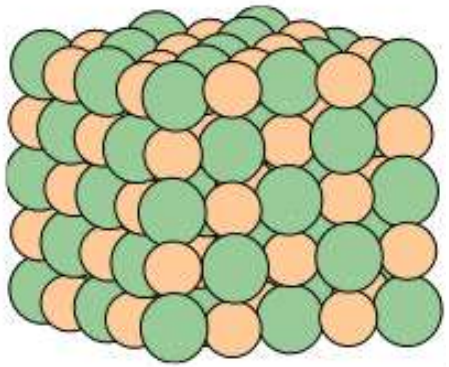
Géométrie définie par :

- ⇝ 3 vecteurs a, b, c (en Angströms) issus d'un même nœud ou sommet et de directions Ox-Oy-Oz
- ⇝ 3 angles α, β et γ (en degrés)

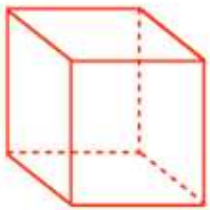
Notion de maille cristalline

Exemple de la halite (sel) : NaCl

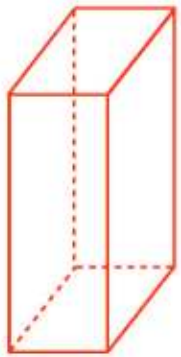




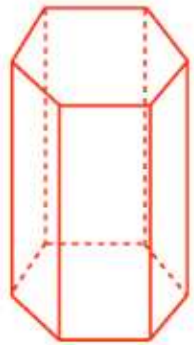
Systèmes cristallins



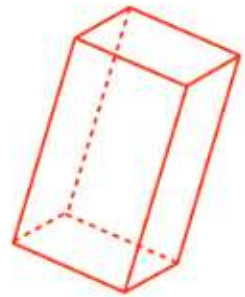
Cubique
a=b=c
α=β=γ=90°



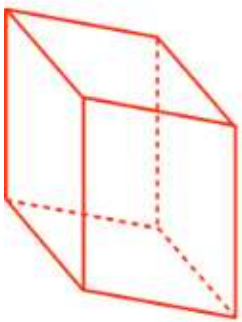
Quadratique
a=b≠c
α=β=γ=90°



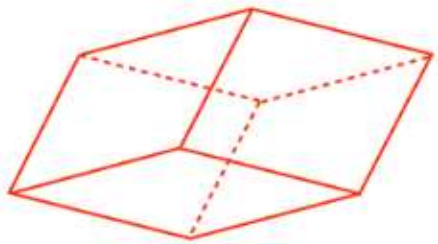
Hexagonal
a=b≠c
α=β=90°; γ=120°



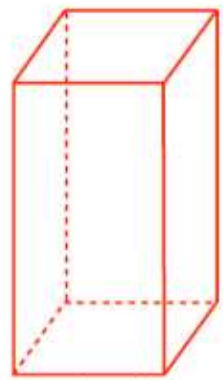
Monoclinique
a≠b≠c
α=γ=90°≠β



Triclinique
a≠b≠c
α≠β≠γ



Rhomboédrique
a=b≠c
α≠β≠γ



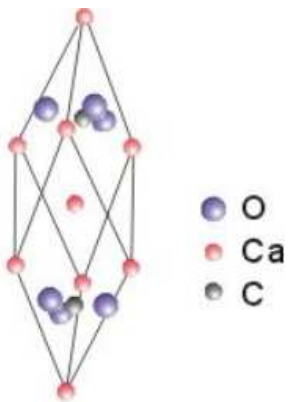
Orthorhombique
a≠b≠c
α=β=γ=90°

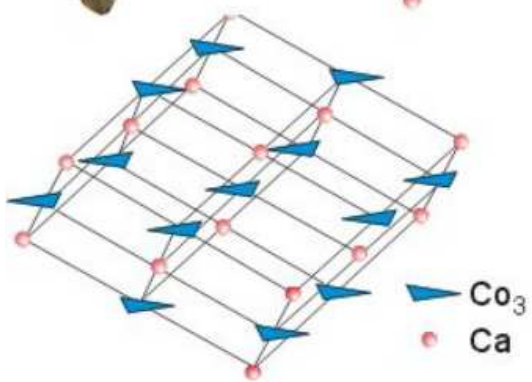
Macle simple d'un feldspath-K
(orthose, malcle dite de Carlsbad)

Exemple de polymorphes

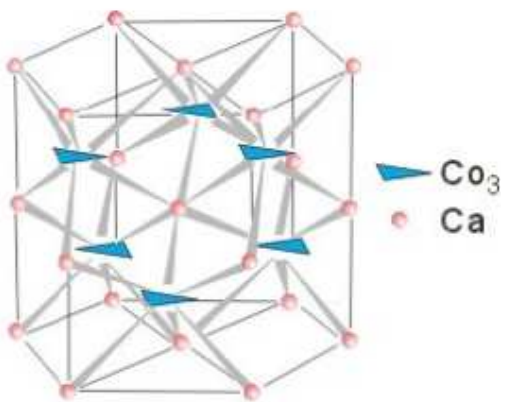
Cas du carbonate de calcium $CaCO_3$

Calcite
système rhombohédrique





Aragonite
système orthorombique



Quelques critères de reconnaissance

- **Couleur**

Noir
ferromagnésiens
ex. : biotite

Blanc
non-FeMg
ex. : muscovite

Colorés
éléments chimiques
ex. : rubis, émeraude

Quelques critères de reconnaissance

- **Transparence**

Transparent
ex. : calcite

Translucide
ex. : aigue-marine

Opaque
ex. : grenat

Quelques critères de reconnaissance

- Éclat

Vitreux
ex. : quartz

Gras
ex. : halite

Soyeux
ex. : gypse

Métalleux
ex. : pyrite

Quelques critères de reconnaissance

- **Forme réelle (= faciès)**

Prismatique
ex. : béryl

Aciculaire
ex. : aragonite

Réniforme
ex. : malachite

Dendritique
ex. : cuivre

Quelques critères de reconnaissance

- **Dureté des minéraux**

échelle de MOHS

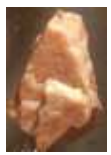
Talc
1

Gypse
2

Calcite
3

Fluorite
4

Apatite
5


Orthose
6

Quartz
7

Topaze
8

Corindon
9

Diamant
10

Ongle
2,5

Acier
5,5

Ta Grosse Concierge Follement Amoureuse Ose Quémander Tes Caresses Divines

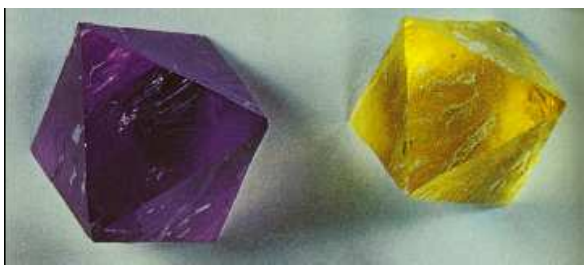
Quelques critères de reconnaissance

- **Clivages**
  - ⇝ aptitude d'un minéral à se fendre suivant des plans de faiblesse bien définis (comme les couches d'atomes)

Fluorite

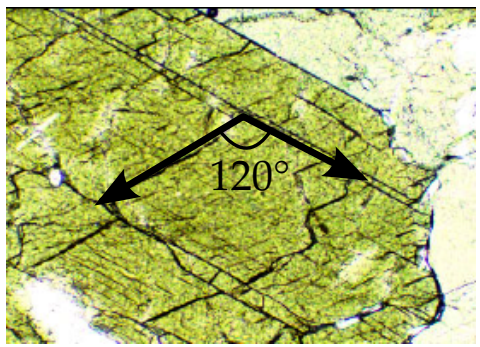
4 directions

⇝ 8 faces (72°)



Hornblende

2 directions : 60° et 120°



Calcite

3 directions du rhomboèdre

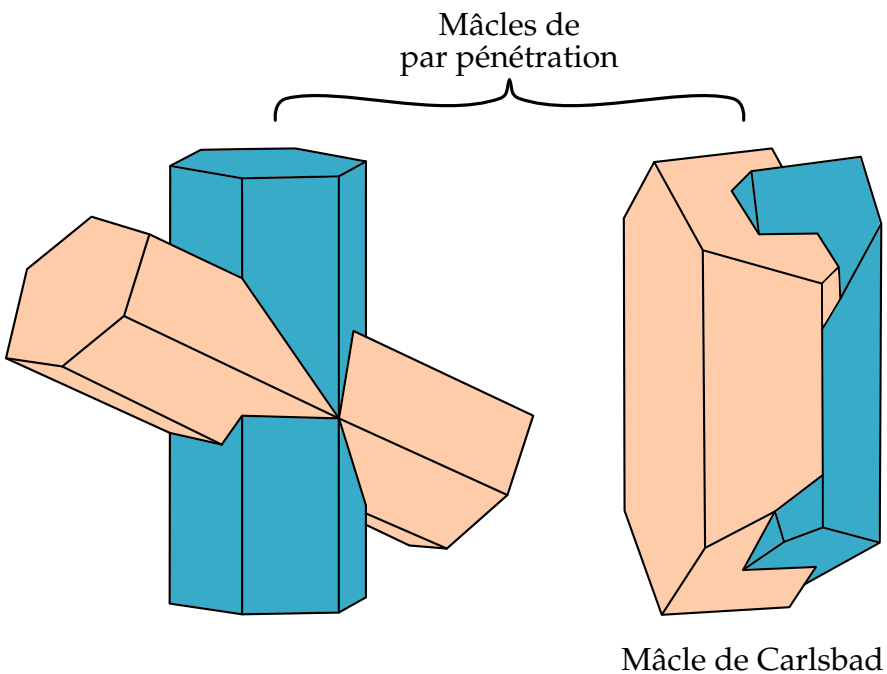
Quelques critères de reconnaissance

- Mâcles

  ⇝ association de cristaux de même chimie dans le même plan ou dans des plans différents

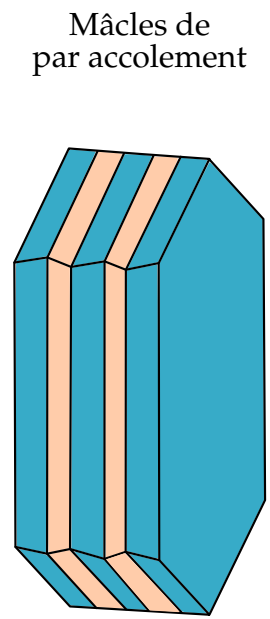
Par pénétration

ex. mâcle de Carlsbad (orthose, pyroxène)



Par accolement

ex. mâcle polysyntéthique (plagioclase)

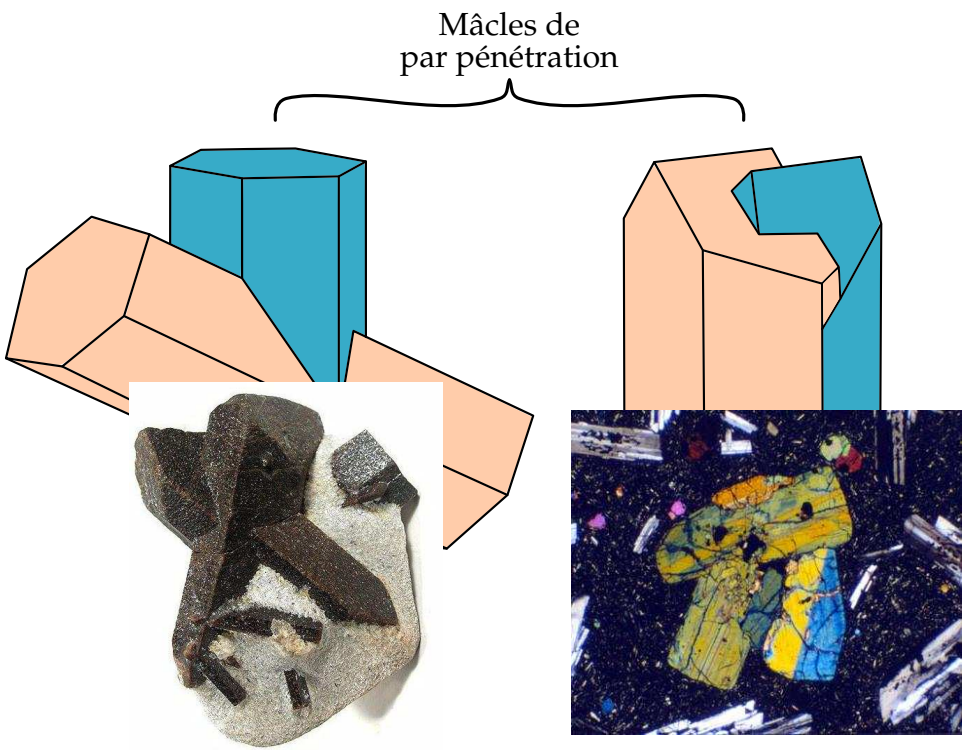


Quelques critères de reconnaissance

- Mâcles
  - ⇝ association de cristaux de même chimie dans le même plan ou dans des plans différents

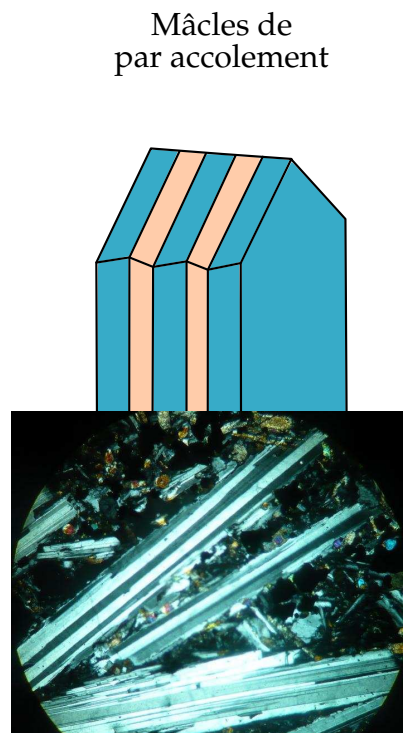
Par pénétration

ex. mâcle de Carlsbad (orthose, pyroxène)



Par accolement

ex. mâcle polysyntéthique (plagioclase)



1. Introduction

2. Les minéraux : description physico-chimique

3. Classification des principaux minéraux

4. Du minéral à la roche

5. Applications

Classification de Dana (1837)

- regroupe les minéraux en fonction de **l'anion** ou du **complexe anionique** dominant
  - ⇝ les groupes de minéraux définis portent ainsi un nom témoignant directement du complexe anionique
- exception faite des **éléments natifs** qui ne possèdent pas de complexe anioniques
  - ⇝ les **métaux** : or (Au), cuivre (Cu), argent (Ag), platine (Pt) etc.
  - ⇝ les **non-métaux** : graphite (C), diamant (C), soufre (S)

Classification de Dana (1837)

- **Les sulfures**

  $\rightsquigarrow$ anion S^* (* pas de charge indiquée car liaisons métalliques)

Galène	**Chalcopyrite**	**Pyrite**
PbS	$CuFeS_2$	FeS_2
syst. cubique	syst. tétragonal	syst. cubique

Classification de Dana (1837)

- **Les halogénures**
  - $\rightsquigarrow$ anion Cl^-, F^-, Br^-, I^-

Halite	**Fluorite**	**Sylvite**
NaCl	CaF_2	KCl
syst. cubique	syst. cubique	syst. cubique

Classification de Dana (1837)

- **Les oxydes**
  - $\rightsquigarrow$ anion O^{2-}

Magnétite
Fe_3O_4
syst. cubique

Spinelle
$MgAl_2O_4$
syst. cubique

Pyrolusite
MnO_2
syst. tetragonal

Classification de Dana (1837)

- **Les hydroxydes**
  - $\rightsquigarrow$ anion OH^-

Goethite
$FeO(OH)$
syst. orthorombique

Brucite
$Mg(OH)_2$
syst. hexagonal

Classification de Dana (1837)

- **Les sulfates, phosphates**
  - $\rightsquigarrow$ complexe anionique SO_4^{2-}, PO_4^{3-}

Barite
$BaSO_4$
syst. orthorombique

Apatite
$CaPO_4(F,Cl,OH)$
syst. hexagonal

Classification de Dana (1837)

- **Les carbonates**
  - $\rightsquigarrow$ complexe anionique CO_3^{2-}

Calcite	**Dolomite**	**Ankérite**
$CaCO_3$	$CaMg(CO_3)_2$	$CaFe(CO_3)_2$
syst. rhomboédrique	syst. hexagonal	syst. hexagonal

Classification de Dana (1837)

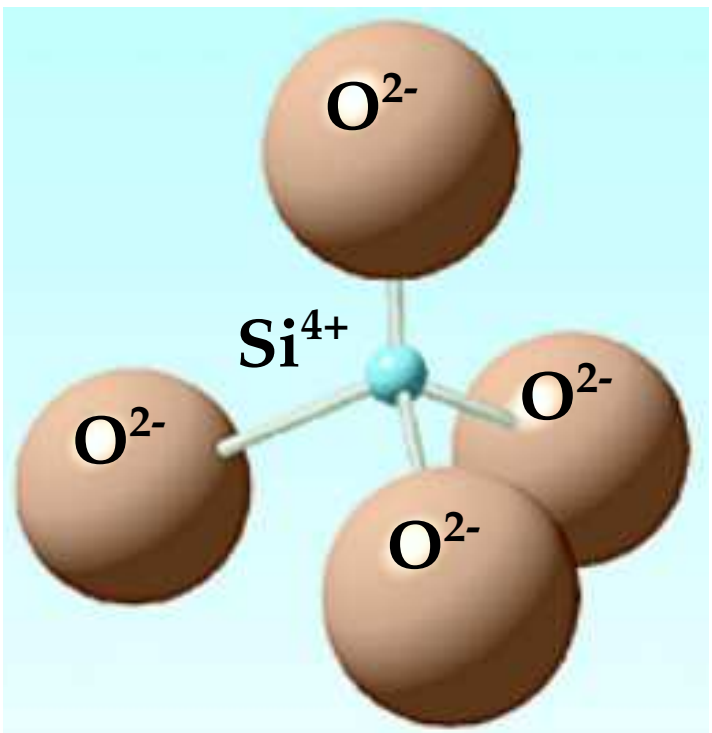
- **Les nitrates, borates**
  - $\rightsquigarrow$ complexe anionique NO_3^-, BO_3^{2-}, BO_4^{5-}

Nitrate de cuivre
$Cu(NO_3)_2$

Borax
$Na_2B_4O_7,10H_2O$

Classification de Dana (1837)

- **Les silicates**
  - ⇝ complexe anionique SiO_4^{4-}
  - ⇝ les sous-classes de silicates sont définis sur le mode d'enchaînement des tétraèdres silicatés par leurs sommets, donc par le nombre d'oxygène partagé avec les voisins



Principales familles de silicates

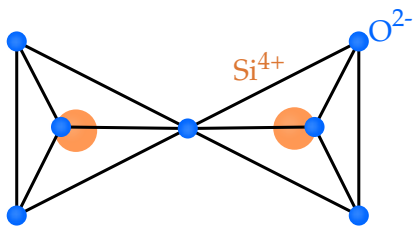
- Nésosilicates
- Sorosilicates
- Inosilicates
- Cyclosilicates
- Phyllosilicates
- Tectosilicates

Bases de minéralogie des silicates

Règles de Pauling

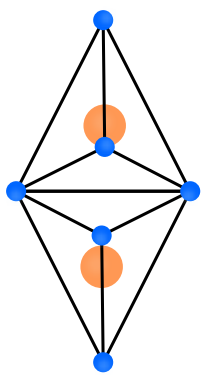
- la somme des valeurs électrostatiques des cations = à celle des anions qui l'entourent ⇒ **édifice neutre**
- dans un cristal, les polyèdres de coordination mettent en commun des **sommets** plutôt que des arêtes ou des faces
- le **nombre d'ions** de nature différente s'assemblant dans un polyèdre est toujours **faible**

association par les sommets



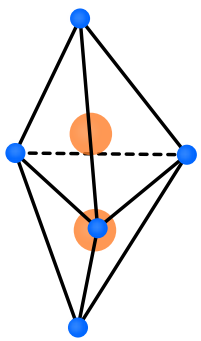
FREQUENT

association par les arrêtes



RARE

association par les faces



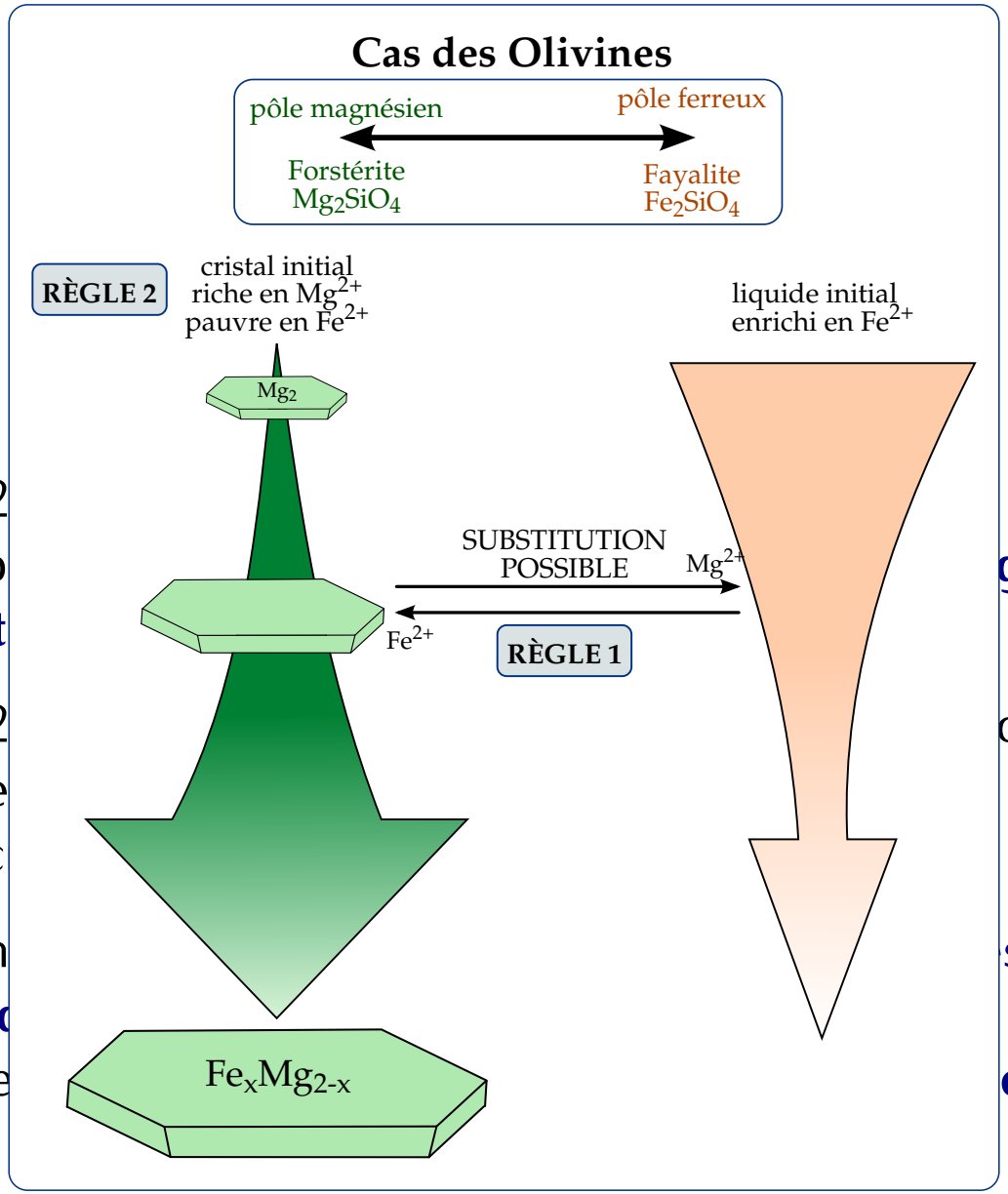
IMPOSSIBLE

Bases de minéralogie des silicates

Règles de diadochie

1. pour que 2 ions puissent se substituer l'un à l'autre, leur **rayons ioniques** ne doivent pas différer de plus de **15 %**.
2. lorsque 2 ions possèdent la **même charge** électrique mais des rayons ioniques différents, l'ion le **plus petit** est **intégré de façon préférentielle** dans le cristal qui se construit.
3. lorsque 2 ions ont le **même rayon ionique** mais des charges différentes, l'ion le **plus chargé** est **intégré de façon préférentielle** dans le cristal qui se construit.
4. quand un magma cristallise, les **complexes atomiques**, **titanes**, ou **tétraédriques** ayant un ion dont la **charge excède 4** vont se concentrer dans le liquide résiduel et se **cristalliser en dernier**.

Bases de minéralogie des silicates



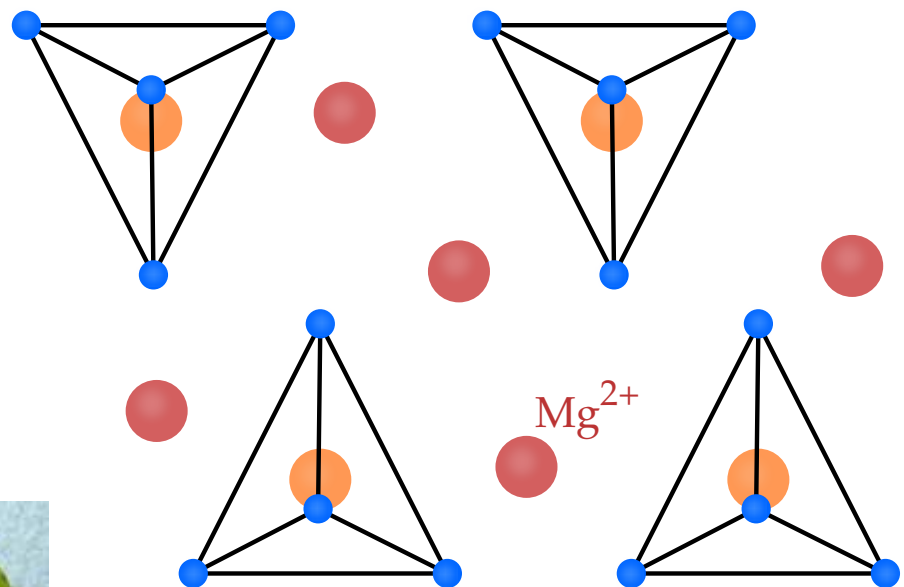
1. pour que leur **rayons ioniques**
2. lorsque 2 mais des rayons io **gré de façon préférent**
3. lorsque 2 charges différente **préférentielle** dans le c
4. quand un **s**, **titanes**, ou **tétraédric** vont se concentre **en dernier**.

Classification de Dana (1837)

- Les silicates

Nésosilicates

motif : $[SiO_4]^{4-}$



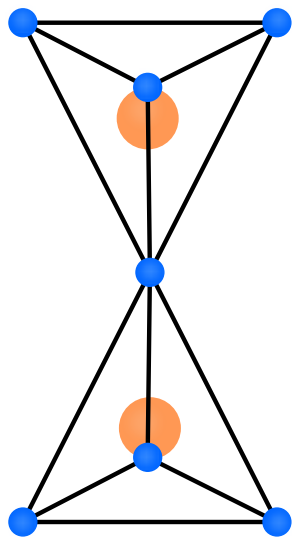
Olivines

Classification de Dana (1837)

- Les silicates

Sorosilicates

motif : $[Si_2O_7]^{6-}$

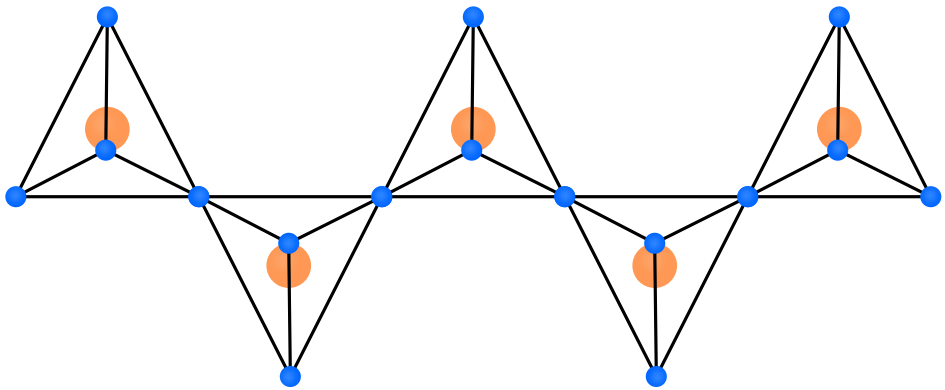


Épidote

Classification de Dana (1837)

- Les silicates

Inosilicates

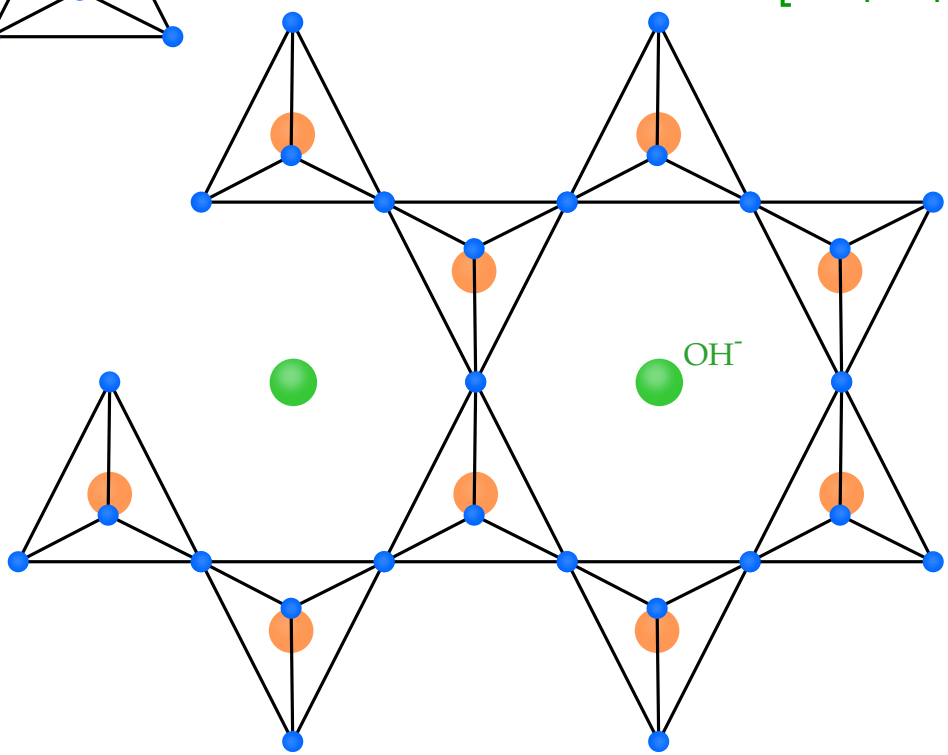


Chaînes doubles

motif : $[Si_4O_{11}]^{6-}$

Chaînes simples

motif : $[Si_2O_6]^{4-}$



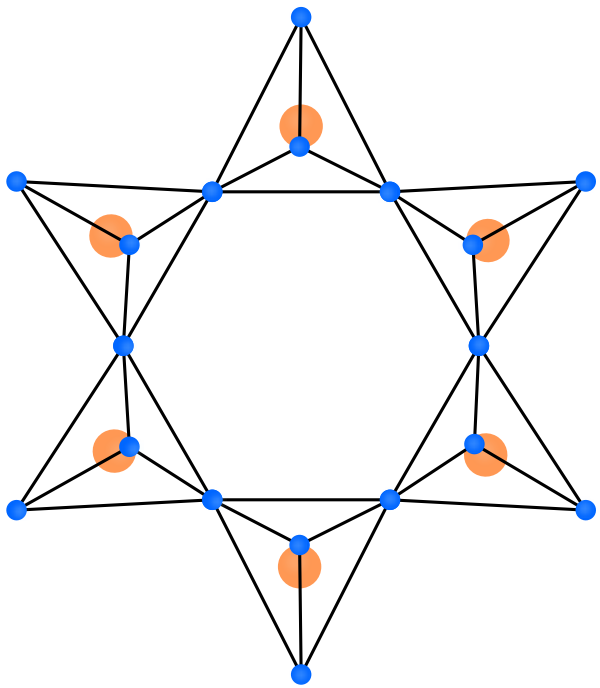
Pyroxènes (jadéite) – **Amphiboles** (glaucophane)

Classification de Dana (1837)

- Les silicates

Cyclosilicates

motif : $[Si_6O_{18}]^{12-}$



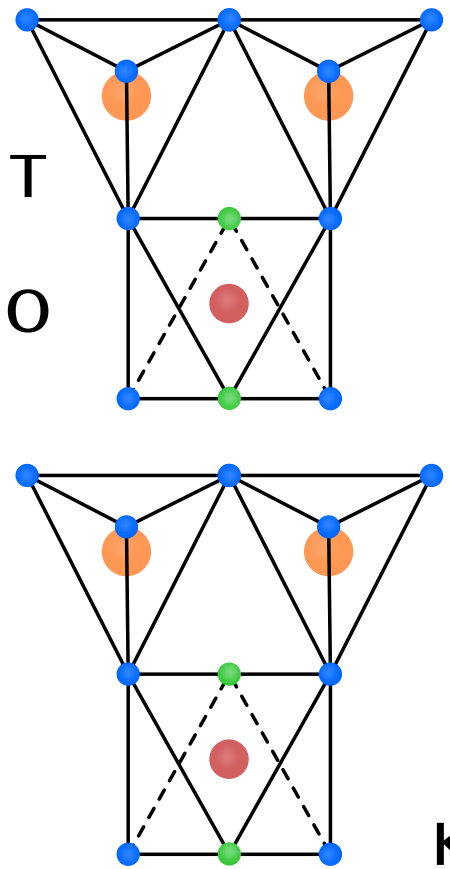
Tourmaline

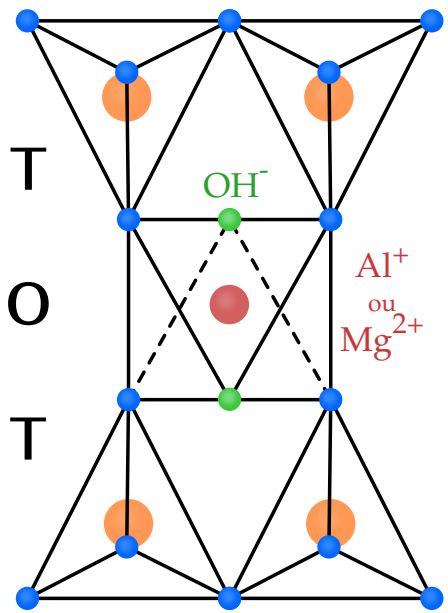
Classification de Dana (1837)

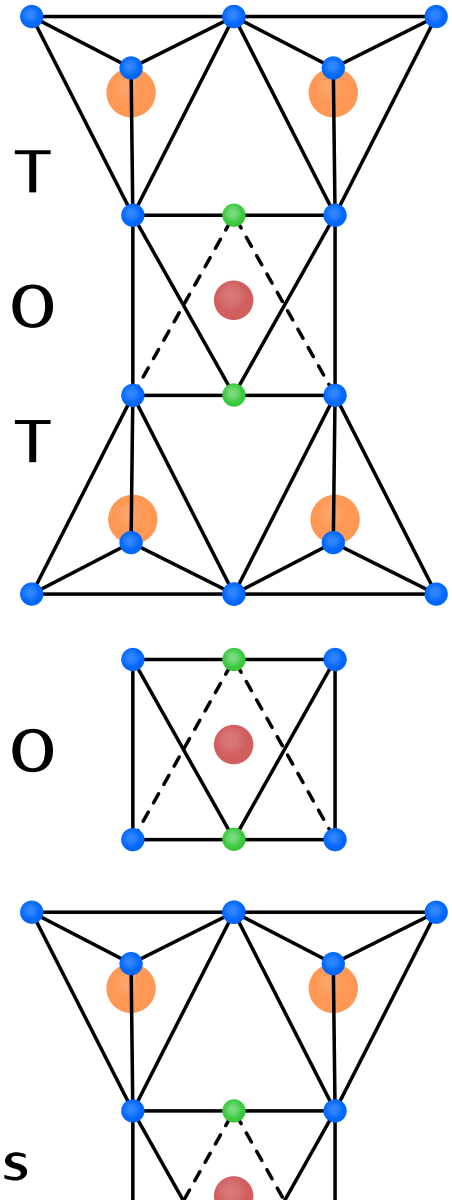
- Les silicates

motif : $[Si_4O_{10}]^{4-}$

PHYLLOSILICATES







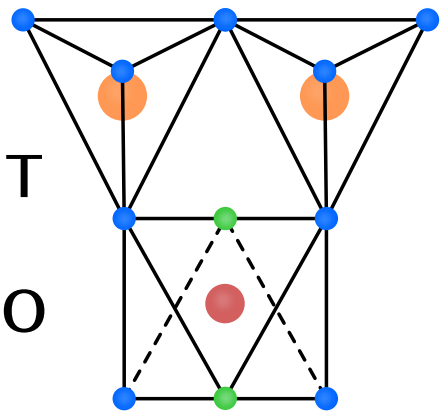
Kaolinites - Micas - Chlorites

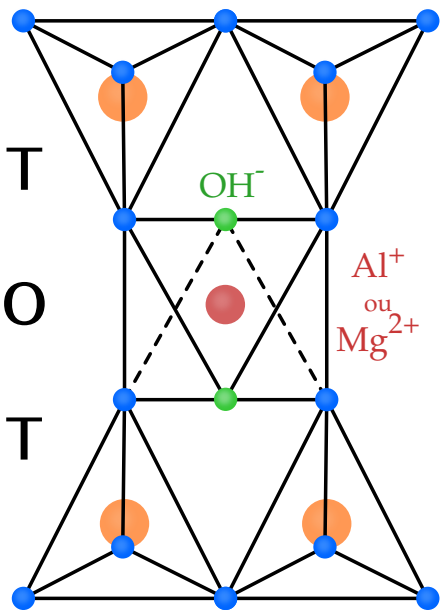
Classification de Dana (1837)

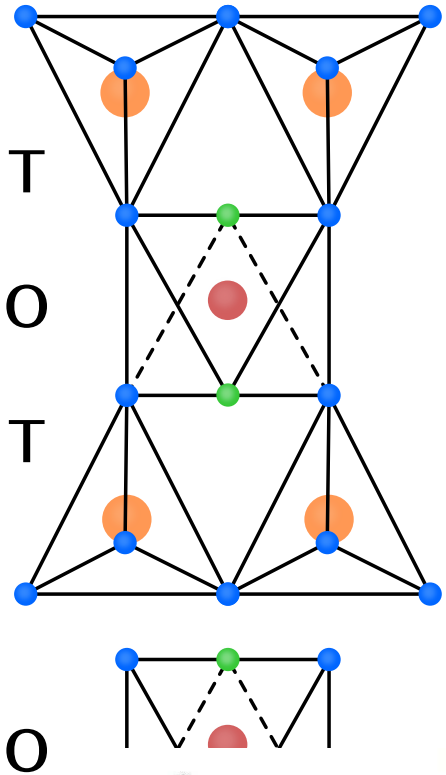
- Les silicates

motif : $[Si_4O_{10}]^{4-}$

PHYLLOSILICATES







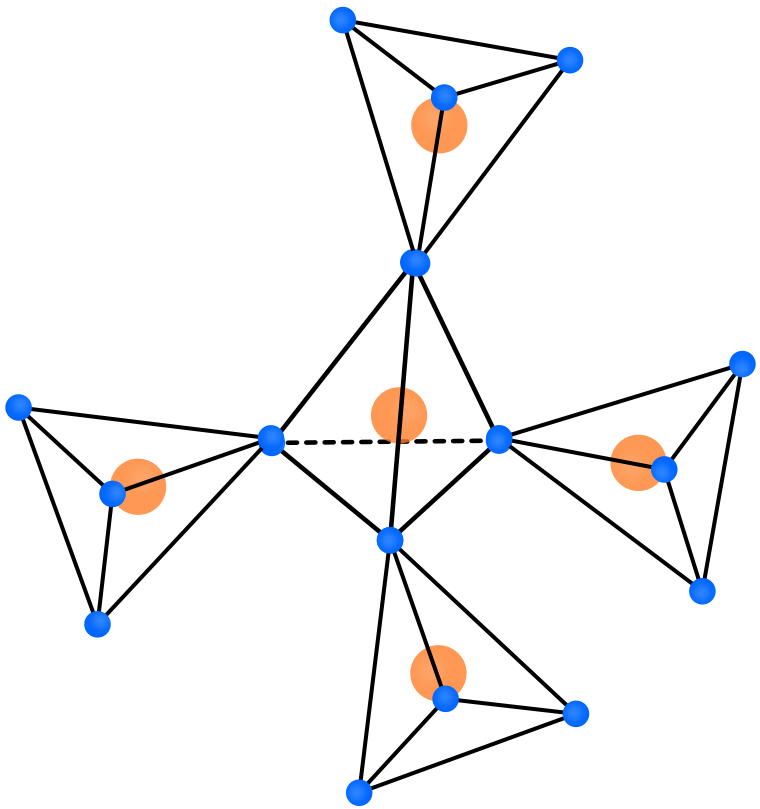
Kaolinites - Micas - Chlorites

Classification de Dana (1837)

- Les silicates

TECTOSILICATES

motif : $[SiO_2]$
$[Si_3AlO_8]^-$



Quartz - Feldspaths - Feldspathoïdes

1. Introduction

2. Les minéraux : description physico-chimique

3. Classification des principaux minéraux

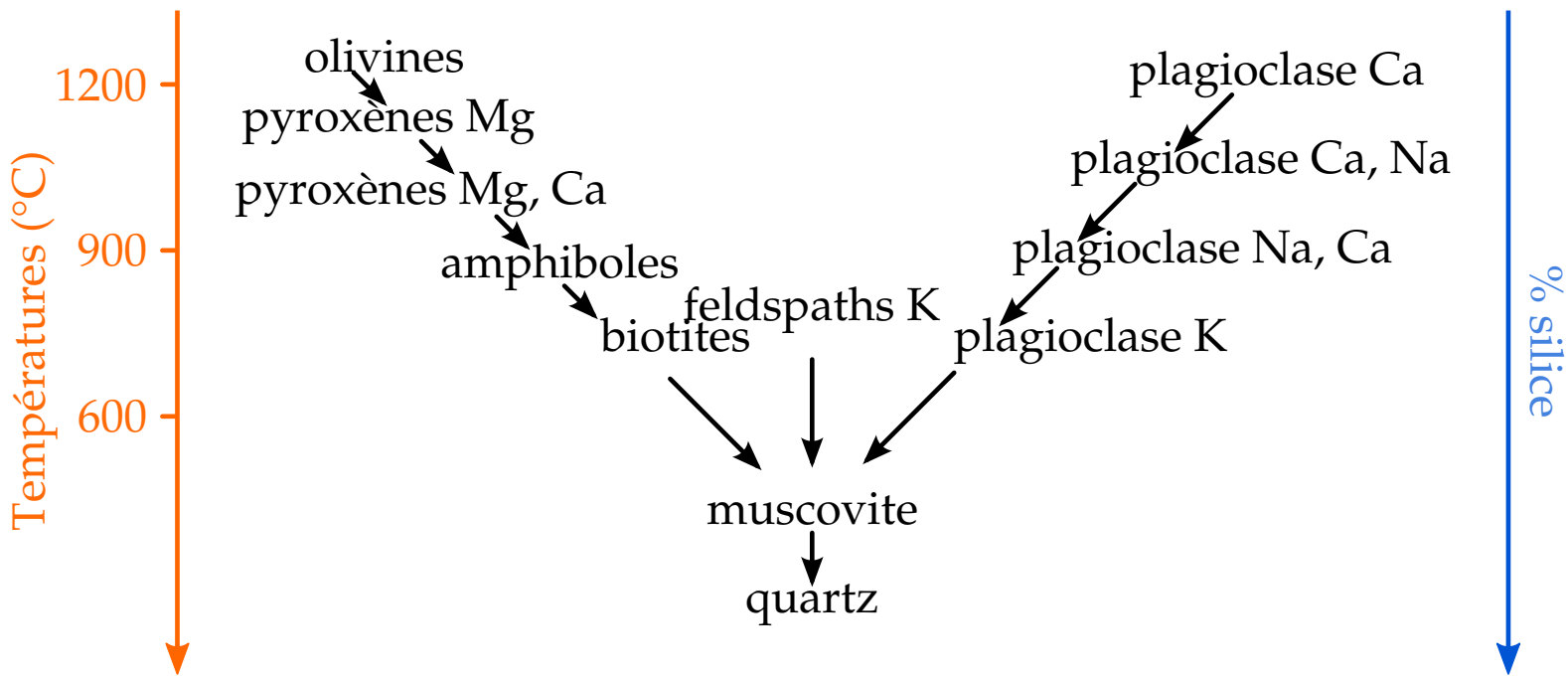
4. Du minéral à la roche

5. Applications

Formation des minéraux :

influence de la température

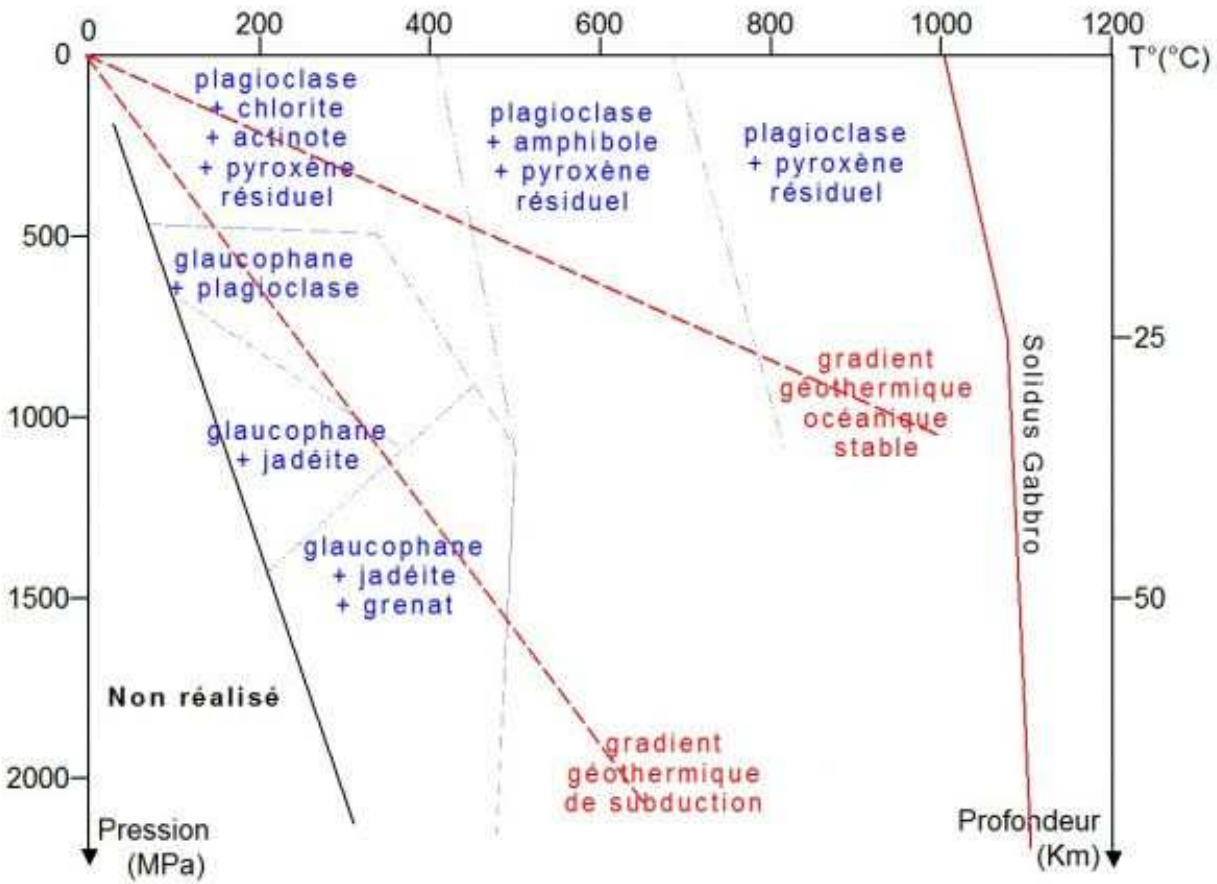
Séries réactionnelles de Bowen



Formation des minéraux :

influence de la pression

Stabilité P-T des roches basiques



Taille des cristaux

Phénocristal de grande taille (cm ou mm) généralement automorphe

Macrocristal visible aisément à l'œil nu (mm)

Microcristal à peine discernable à l'œil nu

Microlithe visible exclusivement au microscope

Les grandes familles de roches

Roches magmatiques résultent de la solidification d'un magma

- ⇝ roches volcaniques
- ⇝ roches plutoniques

Roches sédimentaires résultent de l'accumulation d'éléments et/ou de précipitations à partir de solution

- ⇝ roches détritiques
- ⇝ roches biogènes
- ⇝ roches physico-chimiques

Roches métamorphiques formées sans fusion à partir de roches pré-existantes au cours d'une modification des conditions de pression et de température

Les grandes familles de roches

Roches magmatiques rés…lidification d…

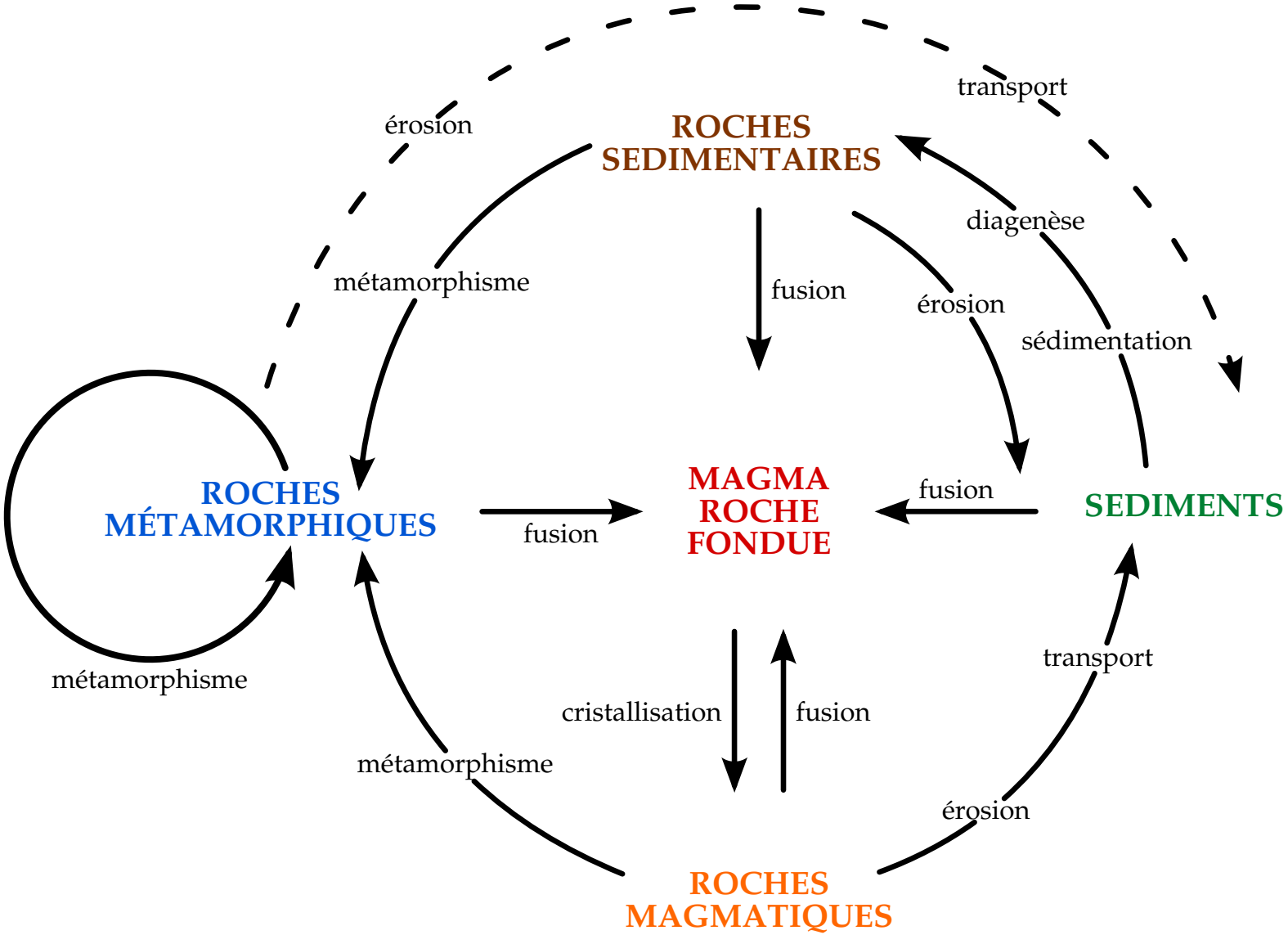
- ⇝ roches v…
- ⇝ roches p…

Roches sédimentaires résultent de l'accumulation d'éléments et/ou de pré…artir de solut…

- ⇝ roches d…
- ⇝ roches b…
- ⇝ roches p…s

Roches métamorphiques formées sans fusion à partir de roches pré-existan… e modificati… conditions d… températur…

Cycle de la matière



1. Introduction

2. Les minéraux : description physico-chimique

3. Classification des principaux minéraux

4. Du minéral à la roche

5. Applications

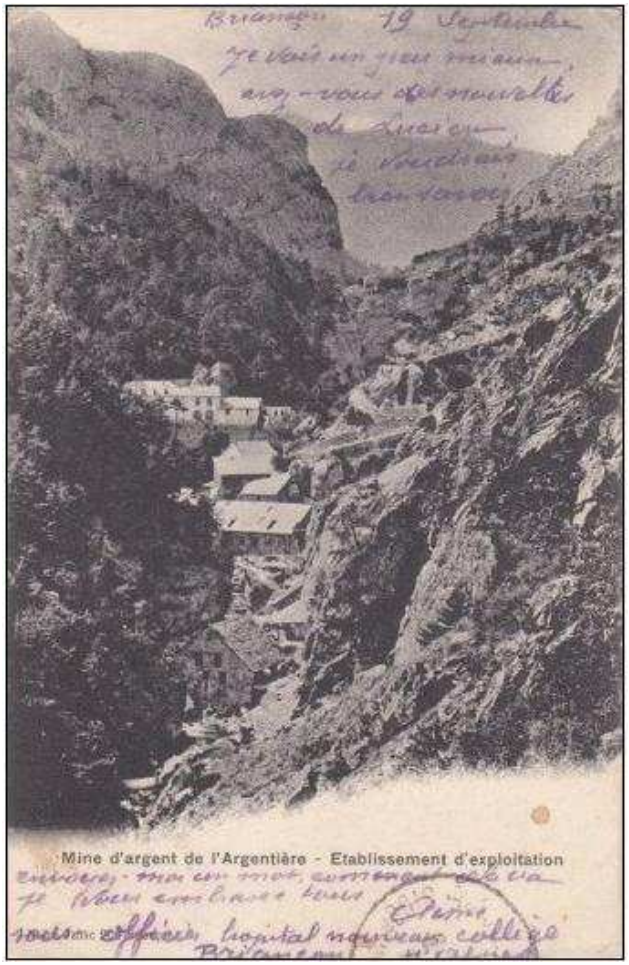
Or et Gemmologie

Construction

Minerais

- Or, Cuivre, Argent (Natifs)
- Galène - PbS => Plomb
- Chalcopyrite - $CuFeS_2$ $\Rightarrow$ Cuivre
- Hématite - Fe_2O_3 $\Rightarrow$ Fer
- Bauxite - $Al(OH)_3$ $\Rightarrow$ Aluminium

Mine de cuivre à ciel ouvert (Chuquicamata, Chili)



Mine d'argent (Argentière-la-Bessée, 05)

Ressources énergétiques

Briquettes de tourbes pour le chauffage (Irlande)

Pétrole et Gaz (puits de pétrole, Seine et Marne)

Carrière de charbon (Wyoming, USA)

Bitume (sable bitumineux, Canada)

Alimentation, cosmétiques, industrie pharmaceutique...