

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Ibn-Khaldoun –Tiaret-  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers*



**Polycopié intitulé :**

**MINERALOGIE**

**« COURS ET TP »**

Destiné aux étudiants de 2<sup>ème</sup> année Licence, STU



Minéralogie !?



Préparé par  
Dr. OTMANE Abdelkader

2024 - 2025

## **Avant - propos**

Ce cours est destiné aussi bien aux étudiants en géologie qui abordent l'étude de la minéralogie, ainsi qu'aux amateurs de minéraux qui voudraient élargir leurs connaissances scientifiques.

La minéralogie est une discipline abstraite, dont l'étude conduit à des formulations chimiques compliquées. Dans cet ouvrage nous avons abordé quatre chapitres principaux à savoir : Définitions et généralités sur les minéraux ; Identification macroscopique des minéraux (Propriétés physiques et chimiques) ; Classification des minéraux ; Identification microscopique des minéraux.

Ainsi, le contenu de ce cours résume tout ce qu'un étudiant en géologie devrait connaître sur l'optique cristalline et de la minéralogie descriptive.

Après avoir assimilé la théorie contenue dans cet ouvrage, les lecteurs qui voudraient approfondir davantage la minéralogie pourront alors comprendre sans difficulté les notions de base, ainsi que les principes et les méthodes d'identification des minéraux.

## Table des matières

Avant-propos

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

### CHAPITRE I : GENERALITES

1. Aperçu général.....	1
2. Définitions .....	1
3. Comparaison entre « cristal » et « minéral » .....	3
4. Systèmes cristallins.....	4
5. Structure cristalline.....	5
5.1. Structure holocristalline et hémicristalline .....	7
6. Roches et minéraux à différentes échelles.....	8

### CHAPITRE II : PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES MINERAUX

1. Introduction .....	10
2. Identification des minéraux .....	10
2.1. Propriétés physiques .....	10
2.1.1. Habitus .....	10
2.1.2. Couleur.....	11
2.1.3. Transparence .....	13
2.1.4. Éclat .....	14
2.1.5. Trait.....	15
2.1.6. Le clivage.....	16
2.1.7. Les macles.....	17
2.1.8. Dureté.....	19
2.1.9. Densité .....	20
2.1.10. Forme cristalline.....	20
2.1.11. Etude microscopique .....	20
2.2. Propriétés chimiques.....	21

## **CHAPITRE III : CLASSIFICATION DES MINERAUX**

1. Introduction .....	22
2. Classification des minéraux .....	22
3. Classification à partir la composition chimique de minéraux .....	23
3.1. Éléments natifs .....	23
3.2. Sulfures .....	23
3.3. Halogénures .....	24
3.4. Oxydes .....	24
3.5. Hydroxydes .....	25
3.6. Carbonates .....	25
3.7. Sulfates .....	26
3.8. Phosphates .....	27
3.9. Silicates .....	27
3.9.1. Le quartz .....	28
3.9.2. Le groupe des feldspaths et feldspathoïdes .....	28
3.9.3. Le groupes des amphiboles et pyroxènes .....	29
3.9.4. Les silicates phylliteux .....	30
3.9.5. Les différentes structures des silicates .....	30
3.10. Minéraux organiques .....	32
4. Caractéristiques des minerais métalliques avec des exemples .....	32

## **CHAPITRE IV : IDENTIFICATION MICROSCOPIQUE DES MINERAUX**

1. Introduction .....	33
2. Rappel sur la lumière .....	33
2.1. La lumière polarisée .....	33
3. L'optique cristalline .....	34
3.1. Influence des matériaux vitreux et cristallines sur la lumière naturelle .....	34
3.2. Influence des matériaux vitreux et cristallines sur la polarisation de la lumière .....	34
3.3. Interférences lumineuses .....	36
3.4. Propriétés optiques des cristaux .....	37
3.4.1. La monoréfringence et la biréfringence .....	40
3.4.2. L'influence du paysage atomique à la propriété optique des minéraux .....	42
3.4.3. Le facteur responsable de la biréfringence .....	43
4. Identification de minéraux dans des lames minces de roches .....	44

4.1. Critères de reconnaissance en lumière naturelle (LPNA).....	44
4.2. Critères de reconnaissance en LPA .....	45
4.2.1. Estimation de biréfringence .....	45
4.2.2. La mesure de l'angle d'extinction.....	45
4.2.3. Signe d'allongement .....	46
5. Présentation de quelques minéraux en LPA et LPNA.....	48
Références .....	53

## Liste des figures

<b>CHAPITRE I : GENERALITES</b>	
Figure I 1. Identification macroscopique des roches.....	2
Figure I 2. Roche poly-minérale (Granite).....	3
Figure I 3. Roche monominérale.....	3
Figure I 4. Les systèmes cristallins avec des exemples.....	4
Figure I 5. Graphite avec sa structure cristalline.....	5
Figure I 6. Les cristaux automorphes, xénomorphe et amorphe.....	6
Figure I 7. Les gels solidifiés.....	6
Figure I 8. Structure holocristalline et hémicristalline.....	7
Figure I 9. Echelle macroscopique et microscopique des minéraux.....	8
Figure I 10. Echelle atomique, ainsi que les réseaux cristallins des minéraux.....	9
<b>CHAPITRE II : PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES MINERAUX</b>	
Figure II 1. Les différents types d'habitats.....	11
Figure II 2. Les couleurs caractéristiques des minéraux.....	12
Figure II 3. Le niveau de transparence des minéraux.....	13
Figure II 4. Eclat.....	14
Figure II 5. Eclat métallique et non métallique.....	15
Figure II 6. Le trait des minéraux.....	16
Figure II 7. Les clivages.....	17
Figure II 8. Les différents types des macles avec des exemples.....	18
Figure II 9. Les minéraux repères de l'échelle de Mohs.....	19
Figure II 10. Etude macroscopique.....	21
<b>CHAPITRE III : CLASSIFICATION DES MINERAUX</b>	
Figure III 1. Classification basée sur l'utilisation finale de la substance.....	22
Figure III 2. Eléments natifs.....	23
Figure III 3. Les sulfures.....	24
Figure III 4. Les halogénures.....	24
Figure III 5. Les oxydes.....	25
Figure III 6. Les hydroxydes.....	25
Figure III 7. Les carbonates.....	26
Figure III 8. Les silicates.....	27

Figure III 9. Les phosphates .....	27
Figure III 10. Le groupe de quartz .....	28
Figure III 11. Le groupe des feldspaths et feldspathoïdes.....	29
Figure III 12. Le groupe des amphiboles et pyroxènes .....	29
Figure III 13. Mica blanc et mica noir .....	30
Figure III 14. Structures des silicates .....	31

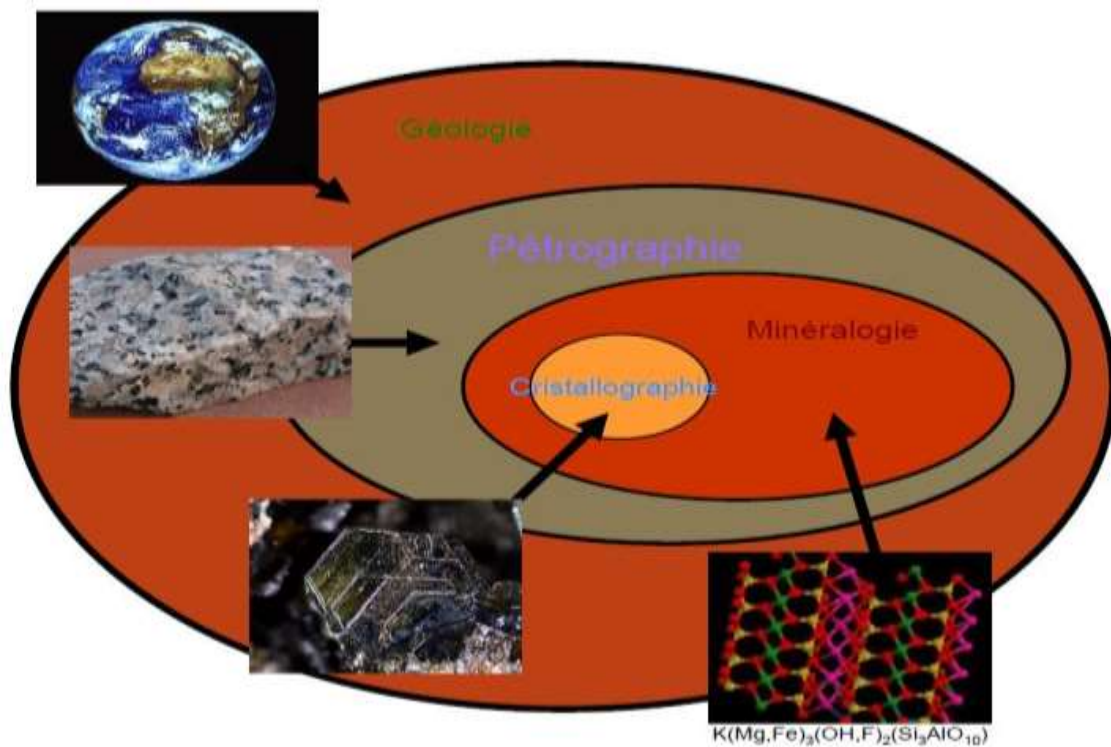
<b>CHAPITRE IV : IDENTIFICATION MICROSCOPIQUE DES MINERAUX</b>
--

Figure IV 1. La lumière polarisée et non polarisée .....	33
Figure IV 2. Le phénomène d'interférence lumineuse .....	36
Figure IV 3. Les propriétés optiques des minéraux .....	40
Figure IV 4. Représentation de la loi de SNELL-DESCARTES .....	41
Figure IV 5. Représentation de la biréfringence .....	41
Figure IV 6. La structure atomique des minéraux isotropes .....	42
Figure IV 7. La structure atomique des minéraux anisotropes (Jadéite).....	43
Figure IV 8. L'orientation des molécules dans le cristal .....	44
Figure IV 9. L'angle d'extinction.....	45

## *Liste des tableaux*

Tableau I 1. Proportion des éléments chimiques les plus abondants dans la croûte terrestre ....	1
Tableau III 1. Classification des carbonates.....	26
Tableau IV 1. Les expériences montrant le comportement des rayons lumineux dans des matériaux vitreux et cristallins .....	34
Tableau IV 2. Les expériences montrant le comportement de la lumière polarisée dans des matériaux vitreux et cristallins .....	35
Tableau IV 3. Les différentes expériences de l'optique cristalline.....	38
Tableau IV 4. Les étapes adoptées pour déterminer le signe d'allongement.....	46

## Généralités



*A la fin de ce chapitre l'étudiant sera capable de :*

- *Distinguer entre cristal, minéral et roche ;*
- *Identifier les différents systèmes cristallins ;*
- *Déterminer les différentes structures cristallines ;*
- *Maitriser les étapes de l'étude géologique à différentes échelles.*

## 1. Aperçu général

La proportion des éléments chimiques les plus abondants dans la croûte terrestre montre que deux éléments seulement, Silicium et Oxygène, comptent pour près des trois quarts (74,3 %) de l'ensemble des matériaux (*Daubrée, 1886*). Il n'est donc pas surprenant qu'un groupe de minéraux composés fondamentalement de Silicium et Oxygène avec un certain nombre d'autres ions et nommés silicates, compose à lui seul 95 % du volume de la croûte terrestre (Tabl. I 1).

Tableau I 1. Proportion des éléments chimiques les plus abondants dans la croûte terrestre

<b>Oxygène (O)</b>	<b>46.6%</b>	<b>-75 %</b>
<b>Silicium (Si)</b>	<b>27.7</b>	
<b>Aluminium (Al)</b>	8.1	
<b>Fer (Fe)</b>	5.0	
<b>Calcium (Ca)</b>	3.6	
<b>Sodium (Na)</b>	2.8	
<b>Potassium (K)</b>	2.6	
<b>Magnésium (Mg)</b>	2.1	
<b>.... Les autres</b>	1.5	

On considère que le noyau est composé presque uniquement de fer et de nickel, ce qui est bien différent de ce qu'on présente ici. Lors de la formation de la terre, les éléments légers, comme l'oxygène et le silicium ont migré vers l'extérieur, alors que les éléments plus lourds, comme le fer, se sont concentrés au centre de la terre (*Sudre, 1960*).

## 2. Définitions

### - Un minéral

Est une substance inorganique solide qui se présente sous forme d'un cristal ou d'un solide cristallin, est caractérisé par une structure atomique ordonnée et une composition chimique précise, et constituant les roches de la croûte terrestre (*Foucault et al., 2014*).

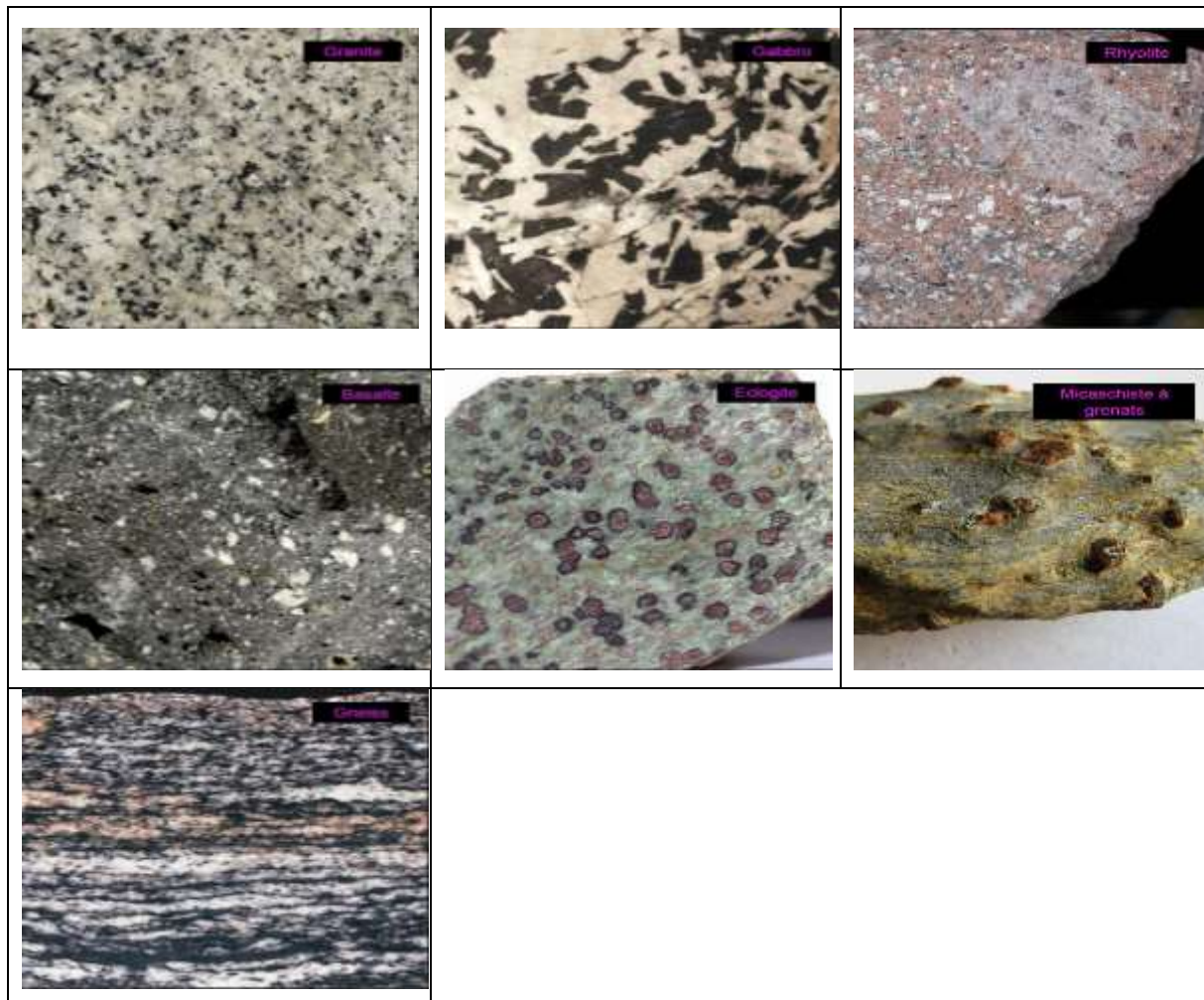
### - Un cristal

Est un corps solide (minéral naturel homogène) de forme polyédrique (une forme géométrique bien définie), à structure régulière et formé d'un assemblage ordonné d'un grand nombre d'atomes de molécules ou d'ions (*Foucault et al., 2014*).

### - Une roche

Est un matériau solide formé en général d'un assemblage de minéraux. C'est un matériau qui entre dans la constitution de l'écorce terrestre quel que soit ses propriétés et son aspect physique. Les roches sont constituées de minéraux tandis que les minéraux sont constitués d'éléments chimiques (*Pajaud and Lorenz, 2000*).

**Remarque :** Chaque roche a une **architecture**, une **forme**, les **dimensions** et une disposition particulière (Fig. I 1).



*Figure I 1. Identification macroscopique des roches*

Une roche peut être constituée de plusieurs minéraux comme le Granite (Quartz (QZ), Plagioclase (FK), Feldspath potassique (FK), Biotite (BO) et Hornblende (HB)).

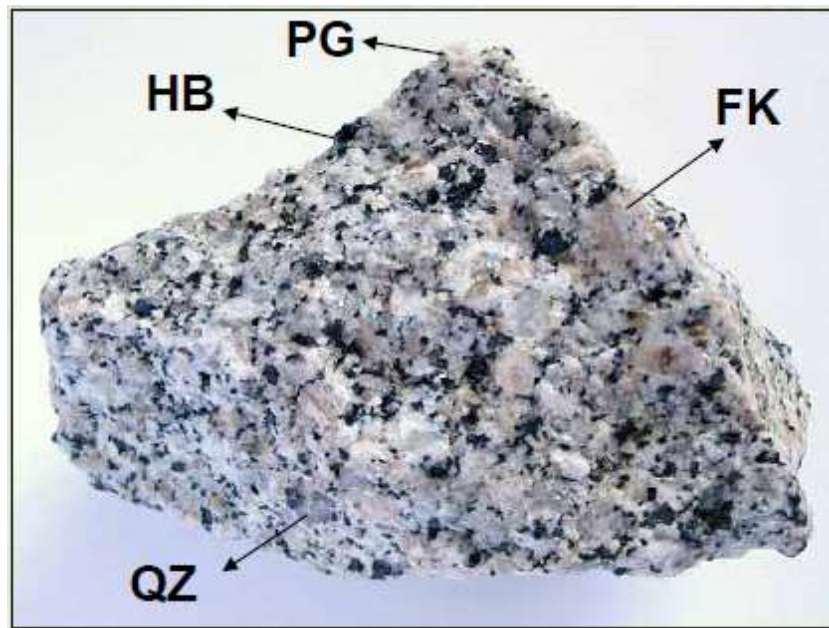


Figure I 2. Roche poly-minérale (Granite)

Aussi, une roche peut être monominérale, c'est-à-dire formée d'un seul minéral, comme le Marbre (calcite) et le Quartzite (quartz).

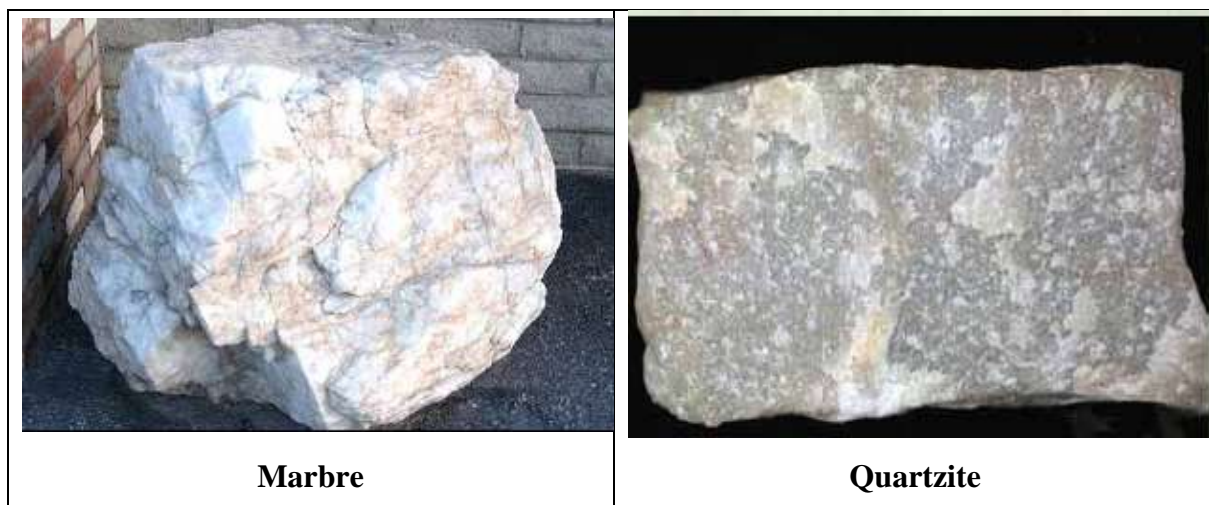


Figure I 3. Roche monominérale

### 3. Comparaison entre « cristal » et « minéral »

Quand on parle de cristal, on insiste uniquement, exclusivement sur la forme du corps solide ; en aucun cas on n'évoque sa composition chimique que l'on prend en compte, en revanche, quand on parle de minéral. Ces deux termes ne sont donc pas synonymes ! **Cristal = forme, géométrie.**

Le minéral, c'est la **substance chimique, l'espèce chimique**, en un mot la matière qui constitue le « grain », le cristal, et faire de la minéralogie, c'est faire sur tout de la chimie. **La preuve ! Quant au cours du métamorphisme, un minéral se transforme en un autre, c'est une véritable réaction chimique qui se déroule. Minéral = composition chimique.**

4. Systèmes cristallins

Un système cristallin est un classement des cristaux sur la base de leurs éléments caractéristiques de symétrie : axe, centre et plan (Charpentier, 1900).

Il existe sept systèmes cristallins de base. Généralement, lorsque les cristaux se développent sans contrainte dans la nature, ils vont prendre la forme d'un des sept systèmes cristallins originels de base (Fig. I 4).

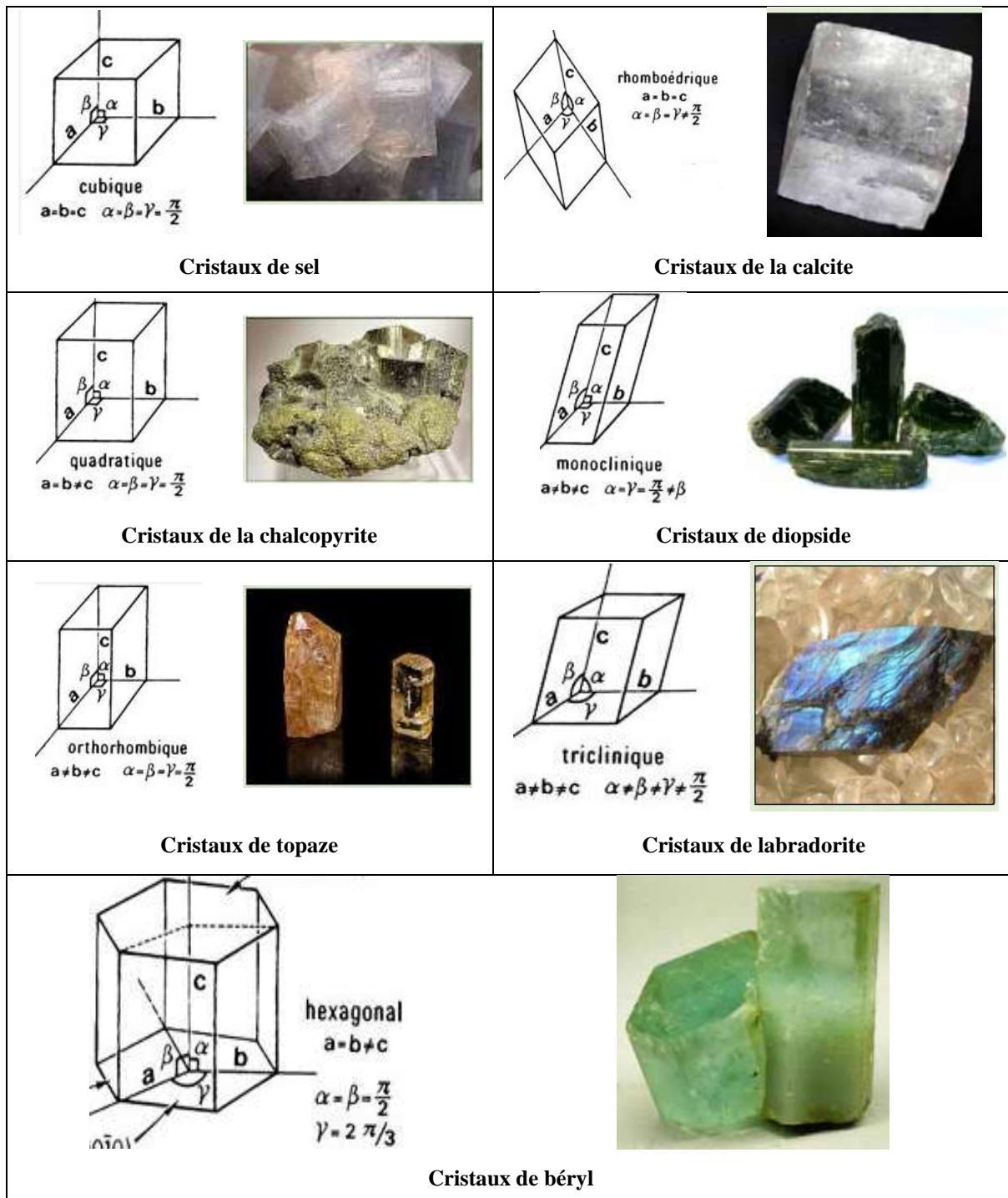


Figure I 4. Les systèmes cristallins avec des exemples

## 5. Structure cristalline

La structure cristalline (structure d'un cristal) d'un minéral correspond à **l'arrangement des atomes dans le cristal selon un espacement et une symétrie bien définis** (Guillemot, 1986).

- Exemple :

Le graphite est un minéral constitué d'atomes de carbone qui se présentent sous forme de couches ou de feuillets hexagonaux non compacts. La structure cristalline définit la forme géométrique d'un cristal.

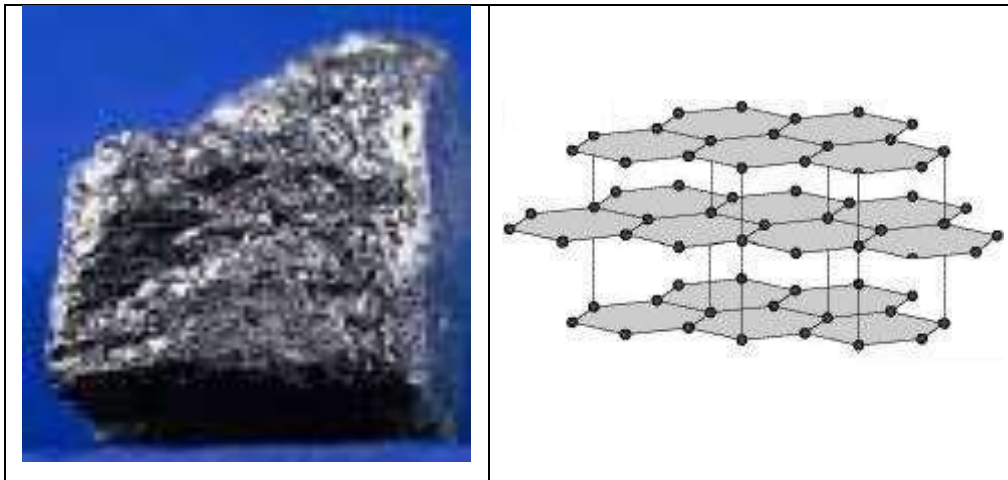


Figure I 5. Graphite avec sa structure cristalline

Selon la forme géométrique des cristaux nous avons :

- Cristal automorphe : cristal développé sans entrave qui prend naturellement une forme polyédrique limitée par des faces planes faisant entre elles des angles constants. Les cristaux ont des formes géométriques bien définies. Comme exemple, les cristaux automorphes de Pyrite et Grenat (Fig. I 6) ;
- Cristal xénomorphe : dans la nature, les cristaux (minéraux) se forment dans des conditions qui ne permettent pas toujours un développement parfait de leur forme cristalline. En effet, les cristaux peuvent être gênés dans leur croissance par des cristaux voisins déjà formés. Par conséquent ils ne présentent pas de formes géométriques bien définies. Pour cela, on cite le cas des cristaux xénomorphes de feldspath dans un Granite (Fig. I 6) ;
- Cristal amorphe : dans certains cas, les minéraux ne présentent aucune forme cristalline. A titre d'exemple le quartz amorphe dans un Opale (Fig. I 6).



Figure I 6. Les cristaux automorphes, xénomorphe et amorphe

**Remarque 1** : Si la plupart des minéraux sont cristallisés, il existe toutefois des exceptions : Le mercure est un minéral liquide ; l'opale, le silex, l'agate...sont des gels solidifiés qui n'ont pas de structure atomique ordonnée (Fig. I 7). Ces minéraux sont dits « amorphes ».



Figure I 7. Les gels solidifiés

**5.1. Structure holocristalline et hémicristalline**

En ce qui concerne les roches magmatiques, on distingue classiquement (Steemans, 2024) :

- Les roches magmatiques de profondeur ou roches plutoniques qui se sont formées par refroidissement lent du magma liquide dans la chambre magmatique et sont pour cette raison entièrement cristallisées ; on dit encore qu’elles ont une structure **holocristalline** ;
- Les roches magmatiques de surface ou roches effusives ou volcaniques qui, à l’inverse, sont issues d’un magma liquide qui a commencé à se refroidir un peu plus rapidement lors de son ascension dans la cheminée (réseau de failles) puis s’est brusquement solidifié à la surface ,au contact de l’air ou de l’eau; ces roches renferment donc des petits cristaux ou microlites formés dans la cheminée et du verre amorphe formé en surface; elles ne sont donc pas entièrement cristallisées; on dit qu’elles ont une structure **hémicristalline** ou microlitique.



Figure I 8. Structure holocristalline et hémicristalline

**6. Roches et minéraux à différentes échelles**

L'étude géologique d'une région X (l'échelle de l'affleurement) est commencée en premier lieu par l'allure structural et tectonique (faille, plis ...), les indices paléontologiques (fossiles ...), l'échantillonnage et les tests chimiques in situ, ainsi que l'étude macroscopique au niveau d'une cassure fraîche. Ensuite, afin de confirmer la composition minéralogique et donc le type de la roche, il est indispensable d'identifier les minéraux à l'aide d'un microscope polarisant (Fig. I 9)



Figure I 9. Echelle macroscopique et microscopique des minéraux

Enfin, s'il y a eu une ambiguïté, on fait appel à un microscope plus puissant (Echelle atomique) pour déterminer la structure cristalline des minéraux, ainsi que les éléments chimiques composant le minéral (Fig. I 10).

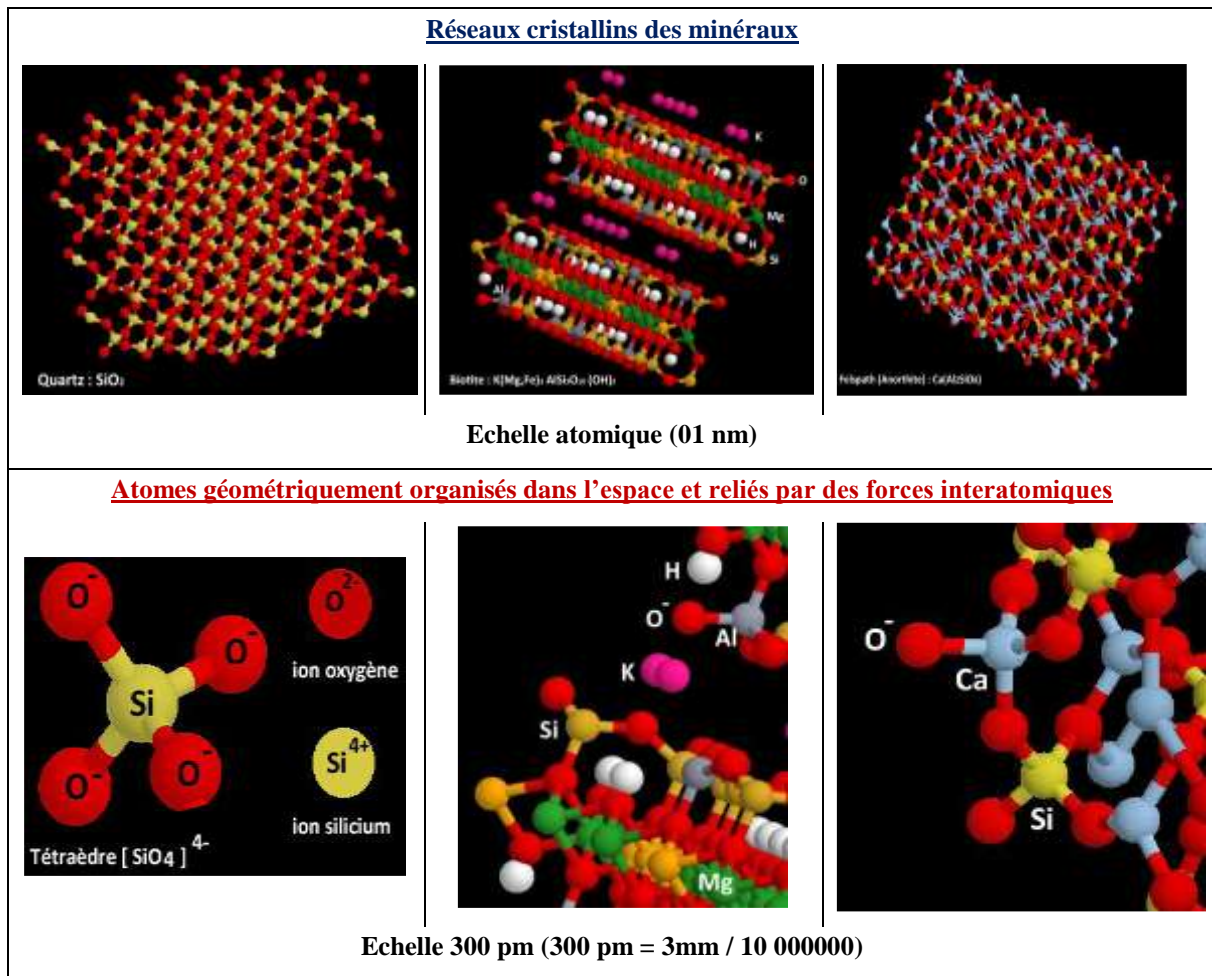


Figure I 10. Echelle atomique, ainsi que les réseaux cristallins des minéraux

## *Identification des minéraux : Propriétés physiques et chimiques*



*Ce chapitre vise à doter les étudiants des connaissances et compétences pour les rendre capable à :*

- *Identifier les minéraux à l'échelle macroscopique ;*
- *Distinguer entre les différents minéraux ;*
- *Déterminer les caractéristiques principales de certains minéraux ;*
- *Maîtriser les différents critères d'identification des minéraux.*

## 1. Introduction

Contrairement à une roche, un minéral est une substance pure composée d'éléments identiques. Il est ainsi possible d'identifier les minéraux puisqu'ils possèdent des propriétés qui leur sont propres. De plus, un minéral n'a qu'une seule couleur dominante, bien que l'on retrouve souvent des impuretés dans les échantillons (*Brown, 1968*).

Il ne faut pas confondre minéral et minerai. Un minerai est une roche extraite de la lithosphère qui contient une quantité de minéral suffisamment grande pour en justifier l'exploitation. Lorsqu'on trouve des minerais, des mines sont construites pour exploiter le filon à sa capacité maximale.

## 2. Identification des minéraux

Les minéraux possèdent des propriétés physiques et chimiques qui permettent de les distinguer entre eux et qui deviennent des critères d'identification. Ce qui attire d'abord l'œil, c'est bien sûr la couleur et la forme cristalline des minéraux, mais il y a bien d'autres propriétés. Plusieurs de ces propriétés peuvent être observées sans l'aide d'instruments et sont d'une grande utilité pratique (*Asselborn, 2006; Roucan and Marie-Christine, 1987*).

### 2.1. Propriétés physiques

#### 2.1.1. Habitus

Décrit les diverses formes que peuvent prendre les minéraux. Pour les décrire, on utilise des qualificatifs précisant la forme géométrique liée au système cristallin ou une tendance vers un aplatissement, un allongement, ou parfois encore, une forme particulière liée au mode de formation. On parle alors d'habitus octaédrique, pyramidal, prismatique, ou encore d'habitus isométrique, allongé, aciculaire, tabulaire... (Fig. II 1).

Lorsque les minéraux sont groupés en agrégats, on leur attribue des qualificatifs évocateurs : massif, granulaire, fibreux, fibroradié, foliacé, dendritique, stalactitique, globulaire... (*Langlois, 2009; Fritsch, 1985*).

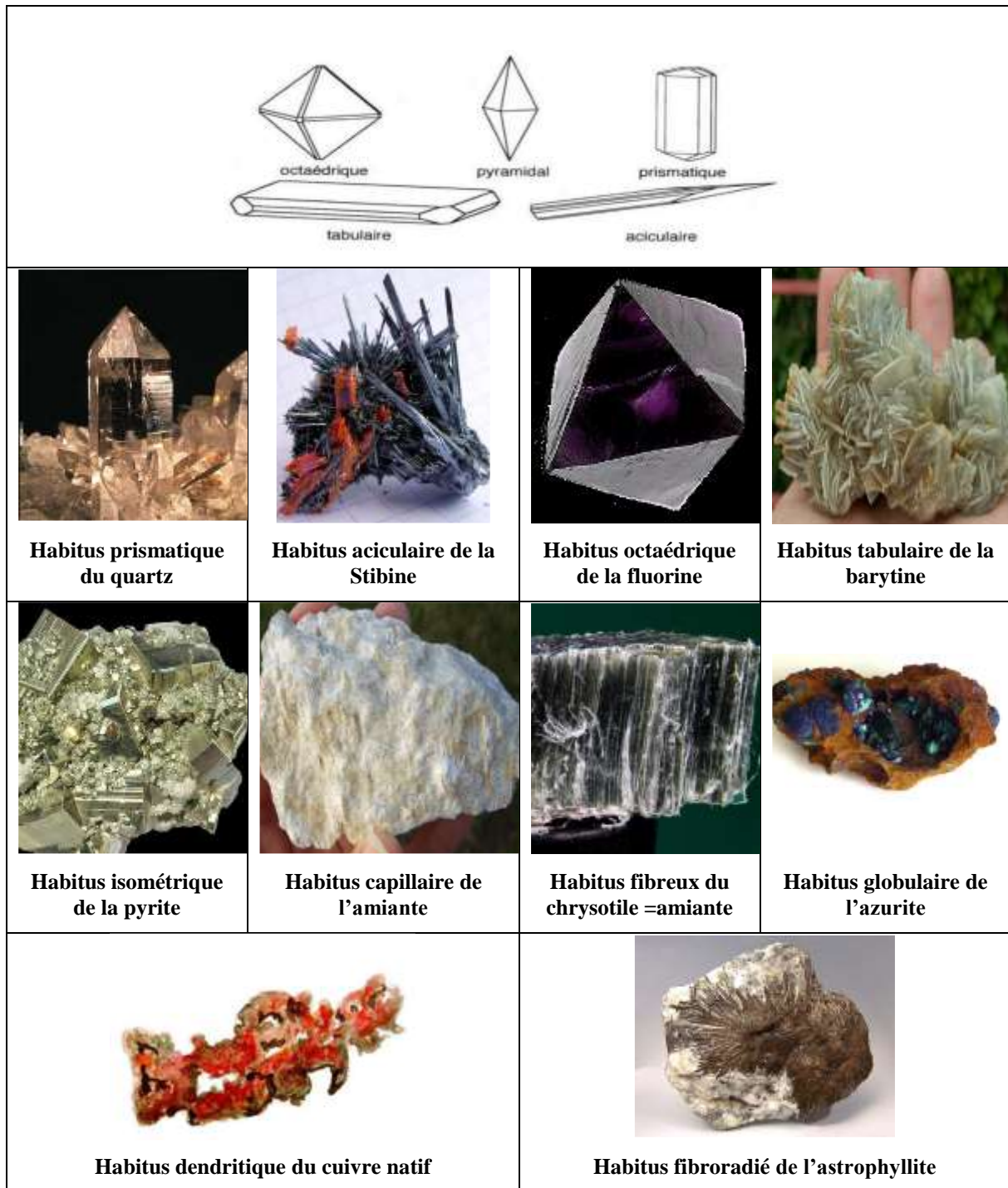


Figure II 1. Les différents types d'habitus

### 2.1.2. Couleur

Facile à observer mais une petite différence de structure peut changer la couleur. Il y a une grande variété de couleurs chez les minéraux, mais c'est là un critère qui est loin d'être absolu (ex. Pyrite jaune, chalcopryrite jaune pâle).

Elle fait partie des caractères de détermination les plus importants mais *n'est pas toujours absolument fiable* (Macaudiere and Demourgues, 2002).

En effet, la fluorite par exemple peut être : incolore, blanche, bleue, verte, jaune, violette, etc...

Chez certains minéraux, ces différences de coloration déterminent des variétés différentes ; par exemple, pour le quartz nous avons : l'améthyste, le quartz hématoïde, le quartz fumé et la citrine, appartiennent tous à la même espèce minérale de la silice de formule  $\text{SiO}_2$  (Fig. II 2). De même, le corindon ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) lorsqu'il est bleu est appelé saphir et lorsqu'il est rouge, il est appelé rubis.

En revanche, chez beaucoup de minéraux, la couleur est typique et décide de leur nom comme (Fig. II 2) :

- La chlorite (Kloros = vert, en grec) ;
- L'azurite (Lazaward = bleu, en persan) ;
- L'albite (Alba = blanc, en latin) ou encore ;
- L'olivine (Olive = petit fruit de couleur verte accompagnant agréablement le Martini blanc).

Certains minéraux ont même donné leur nom à des nuances de couleur comme le vert émeraude ou le bleu turquoise.

**Attention !** La couleur doit être observée sur des cassures fraîches car l'altération d'un minéral peut modifier cette caractéristique.



Figure II 2. Les couleurs caractéristiques des minéraux

### 2.1.3. Transparence

C'est la propriété des minéraux à laisser passer la lumière. Un petit test simple permet de déterminer le degré de transparence des minéraux, ainsi on distingue (Fig. II 3) :

- Les minéraux transparents : on peut lire une écriture même au travers d'une épaisse couche de minéral. C'est le cas notamment du spath d'Islande (calcite pure  $\text{CaCO}_3$ ), du cristal de roche ( $\text{SiO}_2$ ) ou du diamant (C) ;
- Les minéraux semi-transparents : l'écriture lue à travers le minéral n'est pas nette. C'est le cas par exemple du quartz rose ( $\text{SiO}_2$ ) et de la plupart des émeraudes = béryl chromé  $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$  ;
- Les minéraux translucides : la lumière traverse le minéral, même très épais : halite  $\text{NaCl}$ , orthose  $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$  sans que l'on puisse toute fois distinguer un objet au travers ;
- Les minéraux non-transparentes : à l'état massif, le minéral ne laisse pas traverser la lumière ; en couche mince, il est translucide (amphibole augite :  $(\text{Ca},\text{Mg},\text{Fe},\text{Ti},\text{Al})_2(\text{SiAl})_2\text{O}_6$ ) ;
- Les minéraux opaques : quelle que soit son épaisseur, le minéral ne laisse pas passer la lumière : pyrite  $\text{FeS}_2$ , magnétite :  $\text{Fe}(\text{Fe}_2\text{O}_4)$ .

**ATTENTION** : Ces classes de transparence s'appliquent sur des minéraux bien cristallisés, idéaux. Dans la réalité, un même type de minéral peut être translucide ou opaque selon sa composition chimique, la qualité de son réseau cristallin ou les tensions externes et internes qu'il a pu subir. De ce fait, les exemples donnés ici sont valables dans la majorité des cas mais ils ne constituent pas une vérité générale.



Figure II 3. Le niveau de transparence des minéraux

### 2.1.4. Éclat

C'est l'aspect qu'offre leur surface lorsqu'elle réfléchit la lumière. On distingue deux grandes catégories : l'éclat métallique, brillant comme celui des métaux (minéraux opaques), et l'éclat non métallique que l'on décrit par des termes comme vitreux (comme le verre), gras (comme si la surface était enduite d'huile ou de graisse), adamantin (qui réfléchit la lumière comme le diamant), résineux (comme la résine), soyeux (comme la soie), ... etc (Fig. II 4).

C'est la propriété des minéraux à réfléchir la lumière. Il y a l'éclat (ORCEL, 2000) :

- Métallique : galène ( $\text{PbS}_2$ ), chalcoppyrite ( $\text{CuFeS}_2$ ), ...
- Adamantin (réfraction totale de la lumière) : diamant, ...
- Vitreux : spinelle ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), tourmaline, quartz ( $\text{SiO}_2$ ), ...
- Gras : vermiculite, opale ( $\text{SiO}_2$ ), ...
- Nacré : sillimanite ( $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3$ ), muscovite, ...
- Soyeux : amiante  $\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ , ...
- Mat : kaolinite  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , ...
- Terreux : certaines argiles, ...



Figure II 4. Éclat (Brosse, 1983)

Exemple :

- L'éclat métallique : Pyrite avec un système cristallin cubique, le pouvoir réflecteur 54 à 55%, couleur jaune très claire à blanc jaunâtre, la dureté 6 à 6.5. Ainsi que la Galène, arsénopyrite, Or et Argent ;
- Eclat non-métallique comme Sphalérite (Zn, Fe) S, le pouvoir réflecteur est faible 17 à 18, couleur grise avec une dureté de 3.5.



Figure II 5. Eclat métallique et non métallique

**2.1.5. Trait**

Il s'agit en fait de la couleur de la poudre des minéraux. Cette propriété se détermine sur la trace laissée par le minéral lorsqu'on frotte ce dernier sur une plaque de porcelaine (céramique) non émaillée (en autant que la dureté de la plaque est supérieure à celle du minéral). Par exemple, l'hématite, un minéral dont on extrait le fer, possède une couleur noire en cassure fraîche mais un trait brun rougeâtre sur la plaque de porcelaine.

Certains minéraux ont une poudre très caractéristique comme l'hématite  $Fe_2O_3$  (noire) qui a une poudre rouge sang ou la pyrite  $FeS_2$  (jaune d'or) qui laisse une poudre noire verdâtre ; de même le graphite (noir) laisse une trace gris métal (crayon à papier) et le molybdénite  $MoS_2$  laisse une trace verdâtre (Fig. II 6).

La trace d'un minéral s'obtient, soit en le rayant à l'aide d'une pointe, soit (et c'est plus précis) en le frottant sur une plaque de porcelaine. Cependant, ceci dépend beaucoup de la dureté du minéral (Brosse, 1983).



Figure II 6. Le trait des minéraux

### 2.1.6. Le clivage

Il s'agit de la propriété de certains minéraux à *se fracturer selon des surfaces planes dans des directions privilégiées lorsqu'ils sont soumis à un effort mécanique*. C'est à dire l'aptitude d'un minéral à se fendre facilement suivant une famille de plans parallèles bien définis. Ils sont liés à l'orientation des plans atomiques (Farges, 2022).

Le plan de clivage s'observe facilement en tapant sur le minéral ; dans le cas de certains minéraux tendres, les clivages sont facilement mis en évidence avec la lame d'un couteau (c'est le cas des micas par exemple). L'existence et l'orientation des plans de clivage dépendent de la symétrie et de la structure cristalline et sont donc caractéristiques des espèces. Il y a des **clivages simple et conjugué** (Galène présente des arrachements caractéristique en escalier).

**Remarque** : Il existe parfois des plans de séparation qui ne sont pas des clivages. Ces séparations (parting en anglais) ne sont pas directement liées à la structure du cristal mais s'expliquent par des variations dans la géométrie du réseau causées par un accident : altération, présence de macle, ...etc.

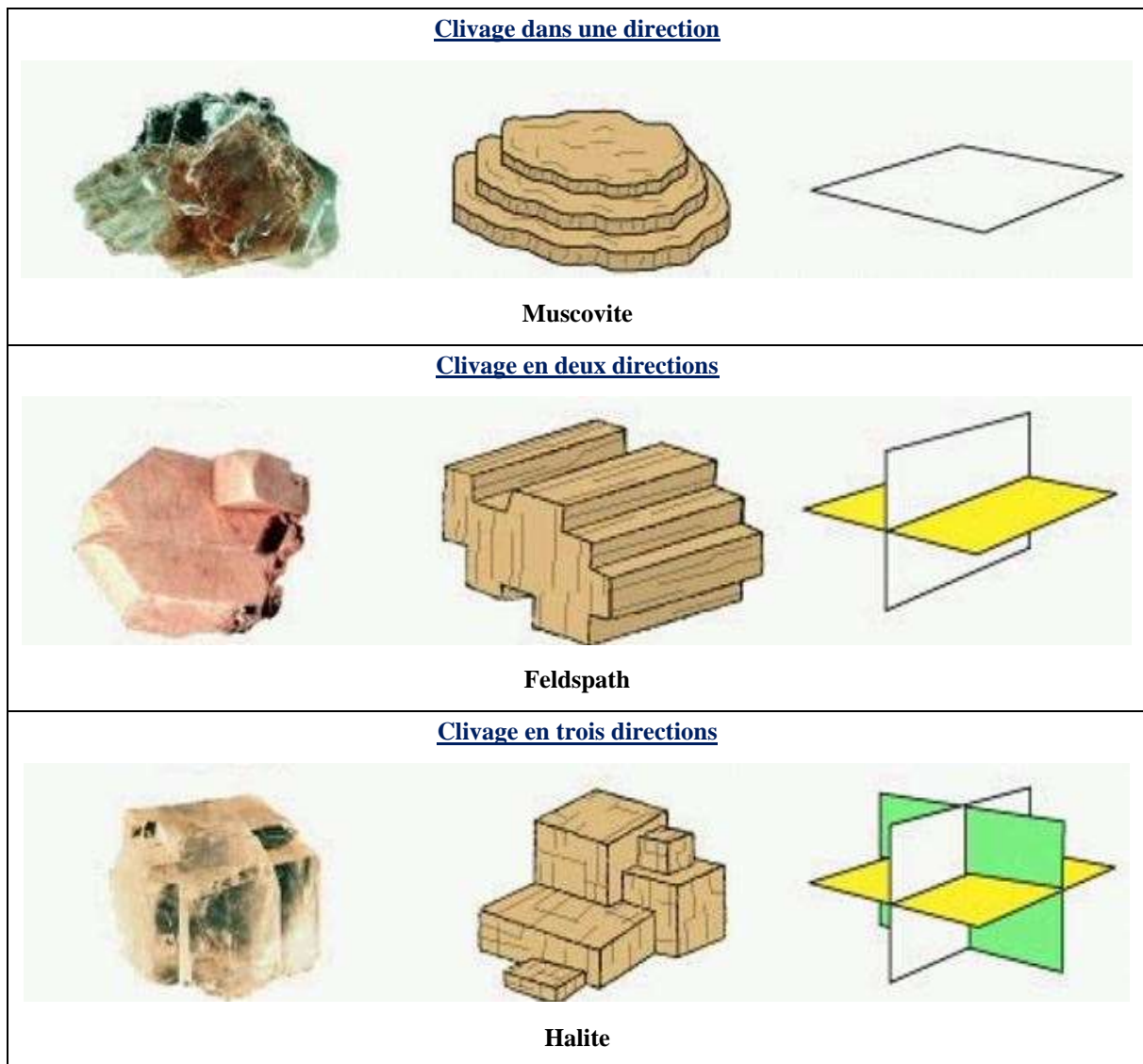


Figure II 7. Les clivages

### 2.1.7. Les macles

Est une association orientée de deux ou plusieurs cristaux identiques, dits individus, reliés par une opération de groupe ponctuel de symétrie, peuvent être simple ou polysynthétique (macles polysynthétiques des plagioclases), une seule direction ou plusieurs (ex. rutile : macle simple, macle complexe il y a marcassite) (Fritsch, 1985).

Certains minéraux sont aisément caractérisables lorsqu'ils présentent des macles. Il s'agit en fait de l'association de cristaux de même composition qui mettent en commun un élément de symétrie, soit par accollement selon une face définie, soit par interpénétration de cristaux (Fig. II 4).

Dans la nature un cristal ne présentera jamais d'angles rentrants ; de ce fait, la présence de tels types d'angles indique que le minéral est maclé. Il peut y avoir des macles simples (association de deux cristaux) ou multiples (plusieurs cristaux).

Note : certaines macles sont très caractéristiques comme la macle en fer de lance du gypse, la macle en genou du rutile, la macle en croix de Saint-André de la staurotide, les macles polysynthétiques des plagioclases, la macle de Carlsbad de l'orthose... (Fig. II 8).

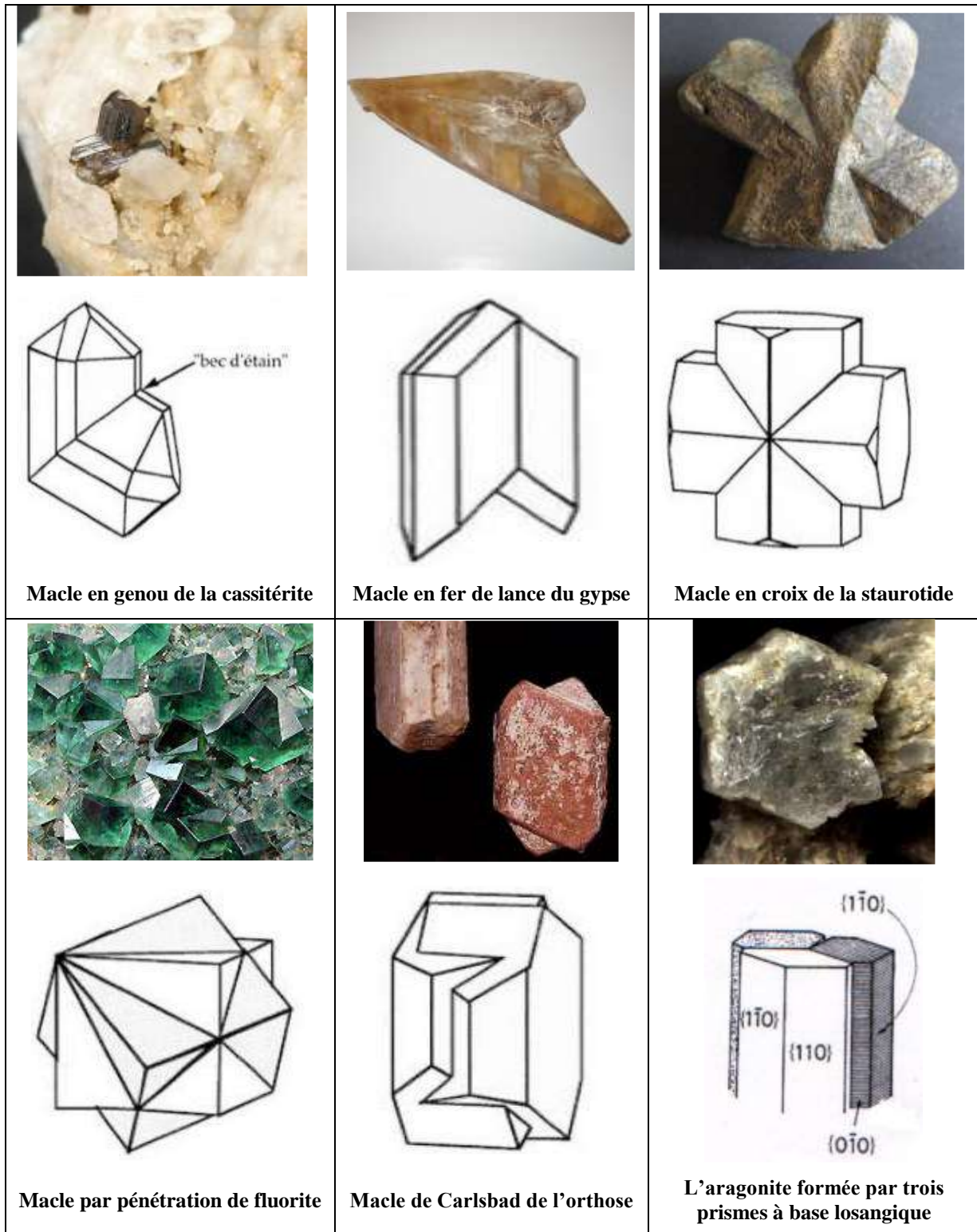


Figure II 8. Les différents types des macles avec des exemples

## 2.1.8. Dureté

La dureté d'un minéral correspond à sa résistance à se laisser rayer. Elle est variable d'un minéral à l'autre. Certains minéraux sont très durs, comme le diamant, d'autre plutôt tendres, comme le talc. Les minéralogistes ont une échelle relative de dureté qui utilise dix minéraux communs, classés du plus tendre au plus dur, de 1 à 10. Cette échelle a été construite par le minéralogiste autrichien Friedrich Mohs et se nomme par conséquent l'échelle de Mohs (*Guillemot, 1986*).

Tableau II 1. Composition chimique et système cristallin des minéraux repères

Dureté	Minéral	Composition chimique	Système cristallin
01	<b>Talc</b> : friable sous l'ongle	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	monoclinique
02	<b>Gypse</b> : Rayable avec l'ongle	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	monoclinique
03	<b>Calcite</b> : Rayable avec une pièce en cuivre	$CaCO_3$	rhomboédrique
04	<b>Fluorine</b> : Rayable légèrement avec un couteau	$CaF_2$	cubique
05	<b>Apatite</b> : Rayable au couteau	$Ca_5(PO_4)_3(OH, Cl, F)$	hexagonal
06	<b>Orthose</b> : Rayable à la lime, par le sable	$KAlSi_3O_8$	monoclinique
07	<b>Quartz</b> : Raye une vitre	$SiO_2$	hexagonal
08	<b>Topaze</b> : Rayable par le carbure de tungstène	$Al_2SiO_4(OH, F)_2$	orthorhombique
09	<b>Corindon</b> : Rayable au carbure de silicium	$Al_2O_3$	rhomboédrique
10	<b>Diamant</b> : Rayable avec un autre diamant	C	cubique



Figure II 9. Les minéraux repères de l'échelle de Mohs

### 2.1.9. Densité

C'est une constante physique qui caractérise un minéral donné. Beaucoup de minéraux ont une densité qui se situe autour de  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , soit 2.7 fois plus lourd qu'un volume égal d'eau. Mais certains ont une densité relativement faible, comme le sel qui a une densité de 2.1; d'autres se situent à l'autre extrême, comme la galène (sulfure de plomb) avec une densité de 7.5 et l'or dont la densité est de 15. Alors, selon la densité on distingue :

- Les minéraux légers, dont la densité est comprise entre 1 et 2 ;
- Les minéraux moyennement lourds (densité de 2 à 4) comme le gypse ( $d = 2,3$ ), le quartz ( $d = 2,65$  à  $2,7$ ), la calcite ( $d = 2,7$ ), les amphiboles ( $d = 2,9$  à  $3,45$ ) et les pyroxènes ( $d = 3,1$  à  $3,6$ ) ;
- Les minéraux lourds ( $d = 4$  à  $6$ ) tels que la blende ( $d = 4,2$ ), la barytine ( $d = 4,48$ ) et la pyrite ( $d = 5$  à  $5,2$ ) ;
- Les minéraux très lourds ( $d > 6$ ) comme la galène ( $d = 7,4$  à  $7,6$ ), la cassitérite ( $d = 6,8$  à  $7$ ) ou l'uraninite ( $d = 8$ ) et les métaux natifs : or ( $d = 15$  à  $16$ ), platine ( $d = 14$  à  $20$ ) ...

**Remarque :** l'or et la phlogopite (mica) sont deux minéraux qui se ressemblent. Cependant, la densité de l'or est de 15 tandis que celle de la phlogopite est de 2-3.

### 2.1.10. Forme cristalline

Elle donne souvent la valeur esthétique d'un minéral. Chaque minéral cristallise dans un système donné, ce qu'on appelle un système cristallin. Un minéral donné reproduira toujours les mêmes formes régies par ce système (Langlois, 2009). Par exemple, l'halite (sel) cristallise dans le système cubique. La calcite cristallise dans le système rhomboédrique, un système où les trois axes sont de longueur égale et où les angles entre les axes sont identiques, mais différents de  $90^\circ$ .

### 2.1.11. Etude microscopique

Beaucoup de minéraux ne peuvent être étudiés en microscope polarisant à lumière transmise car ils sont opaques même sur des épaisseurs d'ordre de 10 micron, leur étude ne pourra être faite qu'à l'aide d'un microscope à lumière réfléchi, dite microscope métallographique ce microscope permet d'évaluer le pouvoir réflecteur, se mesure à l'aide d'un appareil sophistiqué et chaque minéral à son pouvoir réflecteur (Ex. Pouvoir réflecteur le plus élevé est l'argent 90 à 94%, l'or 72%, l'antimoine 74%, Pyrite 51%, Quartz 5%).

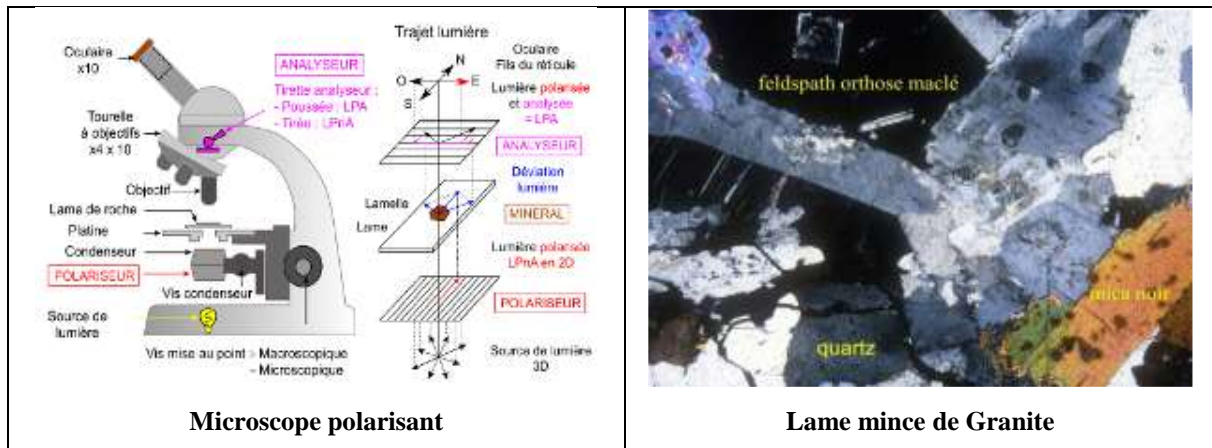


Figure II 10. Etude macroscopique (Sabatier, 1957)

## 2.2. Propriétés chimiques

Parfois lors de l'identification on peut avoir une confusion entre un ou plusieurs minéraux et pour lever l'ambiguïté on fait recours aux tests de microchimie. Une petite goutte d'un réactif spécifique est déposée sur le minéral ambiguë à l'aide d'une pipette puis on observe les effets de réactif, on peut avoir soit : effervescence nette, effervescence douteuse, pas de réaction.

- **Composition chimique** : Éléments chimiques qui composent le minéral ;
- **Effervescence** : Propriété de minéraux de la classe des carbonates à réagir avec certains types d'acide (acide chlorhydrique). Cette réaction produit un gaz carbonique. La cuprite avec HCl donne effervescence, Quartz : on peut tester avec l'acide Fluorhydrique, Calcaire avec HCl donne effervescence, L'or est attaqué par le mercure ;
- **Solubilité** : propriété d'un minéral à se dissoudre dans l'eau ou dans un autre liquide (acide). Certains minéraux peuvent être solubles dans l'eau et d'autres dans l'acide. Cette caractéristique peut être intéressante pour identifier certains minéraux. Par exemple : sylvite (KCl) et halite (NaCl) se dissolvent dans l'eau froide, le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dans l'eau chaude. La calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), elle, se dissout très bien, provoquant une effervescence forte dans l'acide chlorhydrique à froid, ce qui permet de la différencier de la dolomite ( $\text{Ca, Mg CO}_3$ ) ;
- **Gout et odeur** : Il peut être également intéressant de "goûter" et de "sentir" certains minéraux. En effet, sylvite et halite ont un goût salé et certains sulfures légèrement chauffés, ou écrasés par un coup de marteau, (pyrite, marcassite) dégagent une odeur de soufre (œuf pourri). L'arsenic dégage une odeur d'ail très doux. Cependant, s'il est chauffé, il dégage une odeur d'ail puissant. Certains minéraux contenant de l'arsenic dans leur formule chimique, tels que l'arsénopyrite, dégagent également une odeur d'ail quand ils sont chauffés. (Il ne faut jamais chauffer un minéral qui contient éventuellement l'arsenic depuis ses vapeurs sont toxiques).

## *Classification des minéraux*

<b>Classe minérale</b>	<b>Sous classe</b>	<b>Anions</b>	<b>Exemples</b>	<b>Formule</b>
<b>I. Éléments natifs</b>	Corps Purs	Aucun	Or	Au
<b>II. Sulfure</b>	Sulfure	S <sup>2-</sup>	Coveline	CuS
<b>III. Oxyde</b>	Oxyde	O <sup>2-</sup>	Spinelle	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
<b>IV. Halogénure</b>	Aucune	F <sup>-</sup>	Fluorine	CaF <sub>2</sub>
<b>V. Carbonate</b>	Carbonate	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Calcite	CaCO <sub>3</sub>
<b>VI. Borate</b>	Aucune	(BO <sub>3</sub> ) <sup>3-</sup>	Ulexite	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>6</sub> (OH) <sub>6</sub> .5H <sub>2</sub> O
<b>VII. Sulfate</b>	Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Barite	BaSO <sub>4</sub>
<b>VIII. Phosphate</b>	Phosphate	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Purpurite	(Mn,Fe)PO <sub>4</sub>
<b>IX. Silicate</b>	Nesosilicate	(SiO <sub>4</sub> ) <sup>4-</sup>	Olivine	(Mg,Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>
<b>X. Organique</b>	Aucun	Aucun	Ambre	C <sub>40</sub> H <sub>64</sub> O

*A l'issu de ce chapitre l'apprenant sera capable à :*

- *Connaitre l'utilisation finale de chaque minéral ;*
- *Classer les minéraux selon ses compositions chimiques ;*
- *Distinguer entre les différentes classes des silicates ;*
- *Déterminer l'abondance et la spécificité de chaque famille des minéraux*

## 1. Introduction

Il y a environ entre 3500 à 4000 espèces minérales reconnues. Sur ce nombre, on peut estimer que 200 espèces qui sont relativement fréquentes, 500 espèces occasionnelles et que toutes les autres sont rares ou très rares. On réserve le terme de variété aux minéraux qui diffèrent de la description habituelle de l'espèce (l'améthyste, variété violette de quartz, l'émeraude, variété verte de béryl, l'adulaire, variété d'orthose montrant un habitus particulier, la chiastolite, une variété d'andalousite à inclusions charbonneuses).

Si on examine comment ce nombre d'espèces minérales se répartit dans les diverses classes chimiques, on remarque que ce sont les silicates, les phosphates, les oxydes, les sulfures et les sulfates qui dominent.

En effet, les silicates et le quartz entrent déjà pour plus de 90 % dans la composition de la croûte terrestre et constituent l'essentiel des roches, alors que les autres classes chimiques n'en constituent qu'une faible fraction (Ricq-de Bouard, 1965).

## 2. Classification des minéraux

On trouve dans la littérature des classifications variées, basées sur toute une diversité de critères (Deferne, 1995). Certaines classifications se fondent sur des critères économiques, comme l'utilisation finale de la substance utile extraite, alors que d'autres se fondent sur des facteurs géologiques (Fig. III 1).

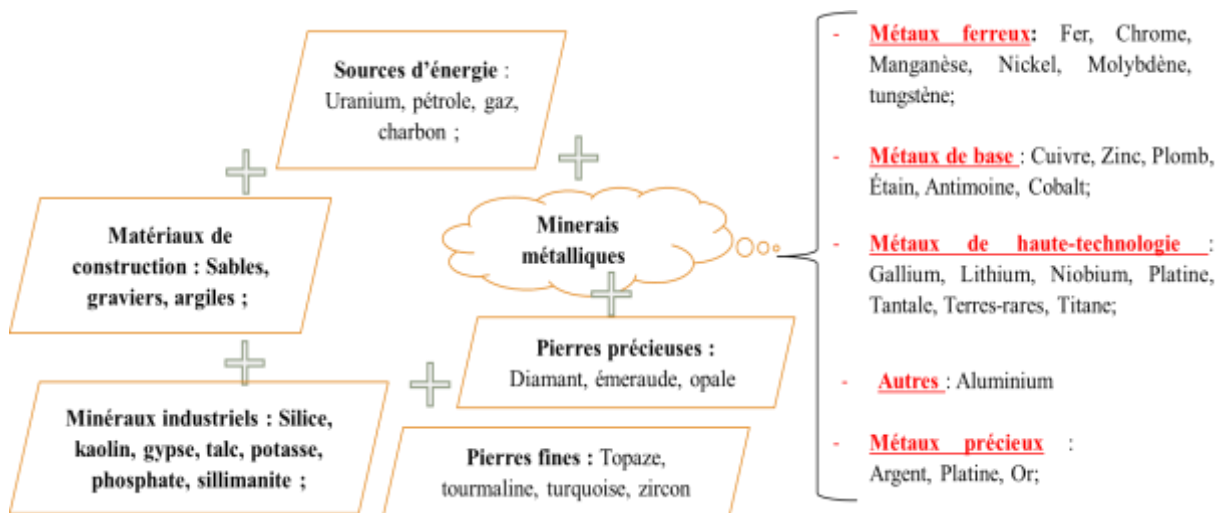


Figure III 1. Classification basée sur l'utilisation finale de la substance

### 3. Classification à partir la composition chimique de minéraux

La classification des minéraux correspond à une répartition des espèces minérales basées notamment sur la composition chimique des minéraux. Les minéraux sont rangés en 10 classes (*Dana et al., 1997 ; Strunz and Nickel, 2001*) :

#### 3.1.Éléments natifs

Les éléments natifs sont des minéraux formés d'un seul élément chimique. Les éléments natifs ont un grand rôle économique c'est-à-dire c'est un corps chimique qui ne peut se décomposer en corps plus simple (*Asselborn, 2006*). Il représente 3 à 4 % des espèces (Fig. III 2).

Exemples :

- *Métaux* : Cuivre (Cu), Or (Au), Argent (Ag), Fer et Platinoïdes (Pt, Pd, Ru)
- *Semi métaux* : As, Bi (Bisnoite)
- *Non métaux* : Carbone – C (diamant, graphite), Soufre (S),



Figure III 2. Eléments natifs

#### 3.2.Sulfures

Les sulfures sont des minéraux formés d'un ou plusieurs métaux combinés à du soufre (S). Ils représentent 15 à 20 % des minéraux (Fig. III 3).



Figure III 3. Les sulfures

### 3.3.Halogénures

Les halogénures (chlorures « Cl<sup>-</sup> » et fluorures « F<sup>-</sup> ») sont des minéraux formés d'un ou plusieurs métaux ou métalloïdes (Corps simple qui a certaines propriétés des métaux et des propriétés opposées) combinés à l'élément chlore ou fluor. Cette classe représente 5 à 6 % des espèces minérales. Les halogénures sont fragiles, légers et souvent solubles dans l'eau.

*Exemples :* sel gemme (NaCl), sylvite (KCl), fluorine (CaF<sub>2</sub>).



Figure III 4. Les halogénures

### 3.4.Oxydes

Les oxydes (O<sup>2-</sup>) sont des minéraux formés d'un ou de plusieurs métaux combinés à de l'oxygène. 10 % des minéraux sont des oxydes (*Bouregghda, 2024*).

*Exemples :* magnétite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), corindon (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), rutile (TiO<sub>2</sub>).



Figure III 5. Les oxydes

### 3.5. Hydroxydes

Les hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) sont des minéraux constitués d'une combinaison d'eau et d'oxydes métalliques. 4 % des minéraux sont des hydroxydes.

Exemples : goetite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), brucite ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ).



Figure III 6. Les hydroxydes

### 3.6. Carbonates

Les carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) sont des minéraux constitués d'une combinaison de carbone et d'oxygène avec un ou plusieurs métaux ou métalloïdes. Ils représentent 9 % des espèces minérales connues (Otmane, 2023).

Exemples : calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), sidérite ( $\text{FeCO}_3$ ), dolomite ( $\text{CaMgCO}_3$ ).

- La calcite  $\text{CaCO}_3$  : rayée par l'acier, soluble dans  $\text{HCl}$  ;
- L'aragonite  $\text{CaCO}_3$  : tests (coquilles) des mollusques ;
- La dolomite  $\text{MgCaCO}_3$  : moins soluble que la calcite ;
- La cérusite, la sidérite l'azurite, la magnésite, employées dans l'exploitation minière.

Selon le type du système cristallin, on peut ranger les carbonates en deux classes (Tabl. III 1).

Tableau III 1. Classification des carbonates

Rhomboédrique		Orthorhombique		Basique	
Calcite	Ca CO <sub>3</sub>	Aragonite	Ca CO <sub>3</sub>	Malachite	Cu <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>2</sub>
Sidérite	Fe CO <sub>3</sub>	Strontianite	Sr CO <sub>3</sub>	Azurite	Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>
Magnésite	Mg CO <sub>3</sub>	Whitérite	Ba CO <sub>3</sub>		
Rhodochrosite	Mn CO <sub>3</sub>	Cérusite	Pb CO <sub>3</sub>		
Smithsonite	Zn CO <sub>3</sub>				



Figure III 7. Les carbonates

### 3.7.Sulfates

Les sulfates (SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup>, sont des minéraux constitués d'une combinaison de soufre et d'oxygène avec un ou plusieurs métaux ou métalloïdes. Cette classe représente 10% des minéraux.

Exemples : gypse (CaSO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O), barytine (BaSO<sub>4</sub>) (Otmane et al., 2023).



Figure III 8. Les silicates

### 3.8. Phosphates

Les phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) sont des minéraux constitués de phosphore et d'oxygène combinés avec un ou plusieurs métaux ou métalloïdes. Cette classe regroupe 16% des minéraux.

Exemples : apatite ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$ ), monazite ( $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Y}, \text{Th})\text{PO}_4$ ).



Figure III 9. Les phosphates

### 3.9. Silicates

Les silicates ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ) sont des minéraux qui combinent le silicium et l'oxygène avec un ou plusieurs métaux ou métalloïdes. Les silicates représentent **90 %** en poids de l'écorce terrestre. On distinguera principalement quatre groupes (*Ricq-de Bouard, 1965*) : Le quartz ( $\text{SiO}_2$ ) ; Les feldspaths et feldspathoïdes (Orthose, Plagioclase, Microcline) ; Les amphiboles et les pyroxènes (Pyroxène, Amphiboles, Olivine) ; Les silicates phylliteux (Mica « muscovite, biotite » et les argiles « kaolinites, illites, smectites, chlorites »).

### 3.9.1. Le quartz

Cette famille des silicates est distinguée par les caractéristiques suivantes :

- Le quartz forme des prismes hexagonaux terminé par des pyramides (Formé par des tétraèdres  $\text{SiO}_4$  disposé en hélice) ;
- Très répandu dans les roches magmatiques et dans les roches sédimentaires car très résistant à l'érosion ;
- Très dur (il raye le verre et l'acier), peu soluble ;
- Transparent et limpide, blanc laiteux, ou coloré ;
- Éclat gras ;

*Exemple :*

- La calcédoine est un quartz fibreux dans les roches sédimentaires
- L'opale est une silice hydratée amorphe (silex, meulière)



Figure III 10. Le groupe de quartz

### 3.9.2. Le groupe des feldspaths et feldspathoïdes

Cette famille est composée par des **aluminosilicate anhydre avec des proportions variables en K, Ca, Na**. Elle se trouve généralement dans toutes les roches cristallines avec une teinte claire, blanc, rosé ou bleuté. Les feldspaths sont **rapidement altérés par hydrolyse, donnant ainsi naissance à des argiles** en fonction des conditions du milieu (kaolinisation, latéritisation).

*Exemples :* sillimanite ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ), microcline ( $\text{KAl}_2\text{SiO}_5$ ).

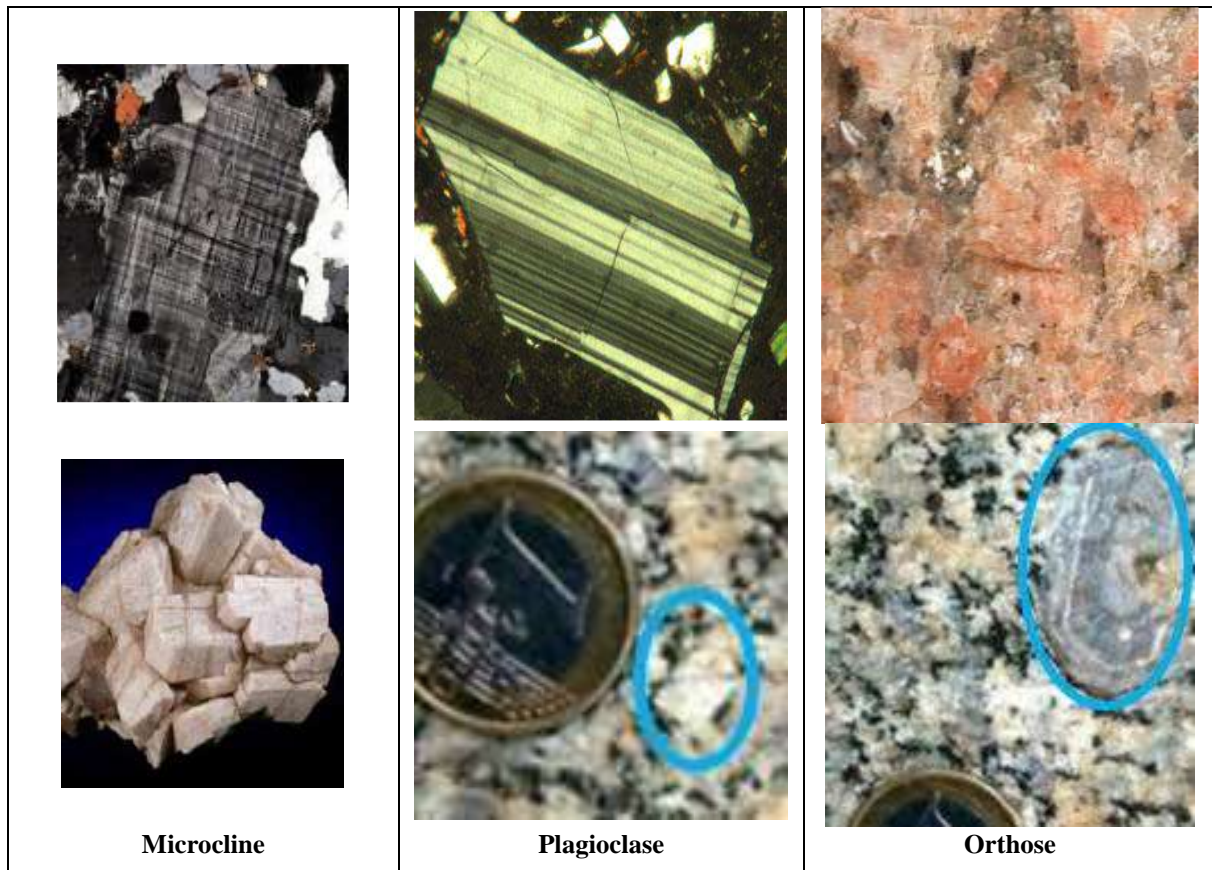


Figure III 11. Le groupe des feldspaths et feldspathoïdes

### 3.9.3. Le groupes des amphiboles et pyroxènes

Cette famille est composée par des **silicate avec ou sans aluminium**, mais toujours **Ca, Mg et Fe**

En effet, A titre de distinction, les **pyroxènes** sont **ferromagnésiens et calciques** avec  $Ca > Mg$ , tandis que les **amphiboles** sont **ferromagnésiens** avec  $Mg > Ca$ .

Les amphiboles et pyroxènes sont très abondant dans les roches magmatiques et métamorphiques, ils ont de teintes foncées vertes à noires

**Remarque :** Les péridots (**olivine**) sont des silicates ferromagnésiens sans Ca et Al.

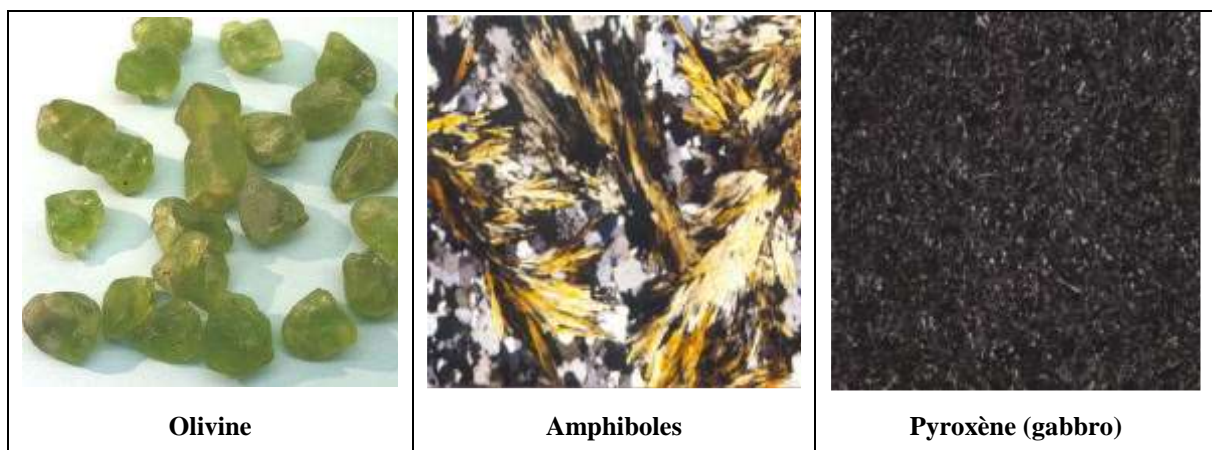


Figure III 12. Le groupe des amphiboles et pyroxènes

### 3.9.4. Les silicates phylliteux

Cette famille des silicates est caractérisée par des feuillets

- Les micas blancs : muscovite
- Les micas noirs : biotite
- Les argiles : kaolinites, illites, smectites, chlorites



Figure III 13. Mica blanc et mica noir

### 3.9.5. Les différentes structures des silicates

Les silicates sont divisés en 6 sous-classes (Deferne, 1995; Benamara, 2022) :

- 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. (**Tétraèdres isolés les uns des autres**) ;
- Les **sorosilicates** : représentent 3 % environ des espèces minérales. Parmi elles, l'épidote. (**Groupe de deux tétraèdres**) ;
- Les **cyclosilicates** : Ils ne représentent que 2 % des espèces minérales, celles-ci sont très connues comme pierres gemmes : aigue-marine, émeraude, tourmalines. (**Anneaux de 3, 4 ou 6 tétraèdres**) ;
- Les **inosilicates** : représentent 4,5 % environ des espèces minérales. Les deux grandes familles sont les pyroxènes et les amphiboles. (**Silicates à chaîne continue**) ;
- Les **phyllosilicates** : on distingue plusieurs familles : les micas, les argiles et les serpentines. Les phyllosilicates représentent 6,5 % environ des espèces. (**Silicates à couche continue**) ;
- Les **tectosilicates** : la formule chimique de base est donc  $\text{SiO}_2$  comme pour le quartz. Le nombre et la nature des substitutions déterminent les familles des feldspaths, des feldspathoïdes et des zéolites. Les tectosilicates représentent 4 % des minéraux. (**Silicates à charpente tridimensionnelle**).

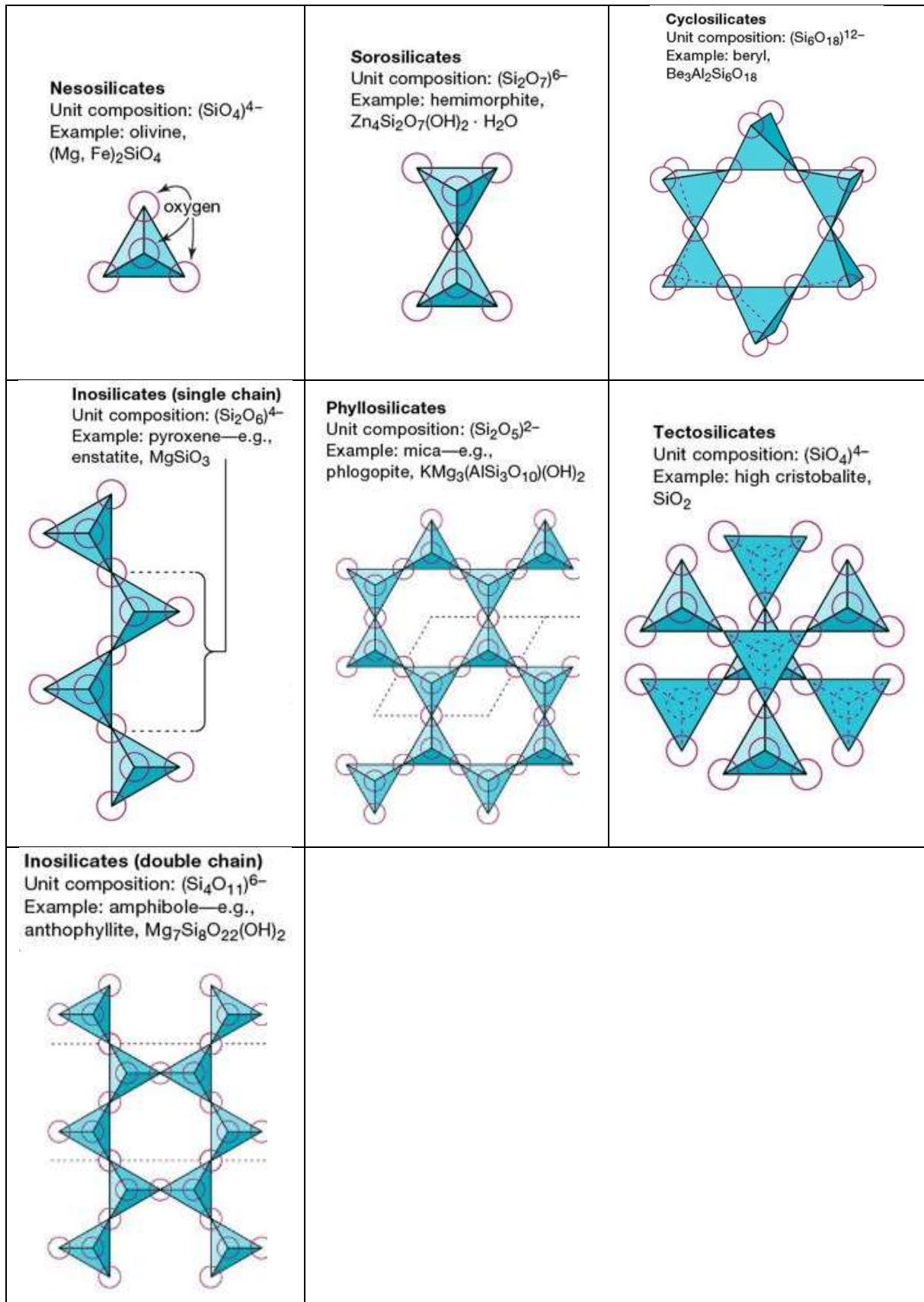


Figure III 14. Structures des silicates

### 3.10. Minéraux organiques

La classe des minéraux organiques renferme environ 30 d'espèces à structure cristallographique bien définie. C'est le cas de la whewellite, minéral constitutif des calculs rénaux (domaine médical).

#### 4. Caractéristiques des minerais métalliques avec des exemples

La plupart des minerais métalliques sont identifiés par les propriétés suivantes : Ils sont conducteur d'électricité, de chaleur ; Le pouvoir réflecteur est élevé ; La densité est élevée ; L'éclat métallique ; Ils sont opaques ; Généralement ils sont attaqués par l'acide  $\text{HNO}_3$ .

**Exemples :**

- **Pyrite ( $\text{FeS}_2$ )** : c'est un sulfure de fer, se présente dans toutes les roches, sa couleur est jaune pâle, elle se cristallise dans le système cubique. Parfois il est en forme de sphère appelle Pyrite-sphère. On trouve aussi la pyrite liée ou ama sulfuré ;
- **Chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ )** : Jaune foncé, sa cristallisation est quadratique et se trouve aussi dans les roches métamorphiques, dans les roches magmatiques et sédimentaires, peut se confondre avec l'or natif à dureté faible isotrope, il est associé avec des minéraux stannite, la sphalérite. Ex. MLIANA (Annaba), GUERGOUR ;
- **Galène ( $\text{PbS}$ )** : C'est un sulfure de plomb, on le retrouve dans les roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires, généralement il est blanc-argenté, cubique, contenant des clivages ;
- **Sphalérite – ( $\text{Zn, Fe}$ )S** : Zinc peut être remplacer par de fer ou des cadmium, sa couleur est grise, sa dureté est 3.5. Il présente sous forme étoile, est associé parfois par la pyrite, Chalcopyrite, Stannite, Galène, Tétraédrique, avec le quelle se présente des textures graphique (Quartz à l'intérieur de Feldspath. Ex. gisement Annaba et Setif) ;
- **Marcasite ( $\text{Fe Si}_2$ )** : Cristallise dans le système Orthorhombique, Couleur blanche légèrement jaunâtre, sa dureté 6 à 6.5. Le minérale peut se présente en agrégat radié (association minérale) comme Pyrite, Galène et sphalérite. Exemple : gisement ALAOUANA (Djedjel) ;
- **Arsénopyrite ( $\text{Fe, As, S}$ )** : Comme son nom indique contient des sulfures, Arsénique et de fer. Dans ce minéral, il se présente un élément chimique qui est toxique. L'arsénopyrite présente des macles en étoile et se cristallise dans le système monoclinale et pseudo-orthorhombique, sa couleur est blanche avec un léger point de jaune, sa dureté 6.5. Le plus souvent l'arsénopyrite a un développement automorphe.

## *Identification microscopique des minéraux*



*Ce chapitre vise à doter les étudiants des connaissances et compétences pour les rendre capable à :*

- *Connaitre les principes de la lumière ;*
- *Comprendre l'optique cristalline ;*
- *Distinguer entre la lumière naturelle et la lumière polarisée analysée ;*
- *Maitriser l'utilisation du microscope polarisant ;*
- *Déterminer les critères d'identification microscopique des minéraux.*

## 1. Introduction

Les constantes physiques et chimiques qui caractérisent une espèce minérale, poids spécifique, dureté, indices de réfraction, composition chimique, arrangement atomique, ne sont pas directement perceptibles par les sens de l'observateur. L'identification "à vue" est donc limitée à un petit nombre d'espèces, dont les caractéristiques sont bien reconnaissables. Il faut donc recourir à des mesures précises au moyen d'appareils plus ou moins sophistiqués selon la difficulté qu'oppose un minéral à son identification. Dans ce cas, on fait appel à l'identification microscopique (*Sabatier, 1957*).

## 2. Rappel sur la lumière

La lumière est un flux corpusculaire (*Salaiin, 2011*)

- Théorie corpusculaire : La lumière est composée de particules (photons) qui se déplacent à 300 milles km/s.
- Théorie ondulatoire : La lumière est une somme des longueurs d'onde.

La lumière blanche est la somme des longueurs d'onde entre 400 et 800nm. Elle est dite **polychromatique**, par opposition à monochromatique (une seule longueur d'onde). La couleur d'une substance est due à l'absorption de certaines longueurs d'onde par la substance. Un rayon lumineux peut donc être représenté par une courbe sinusoïdale.

### 2.1. La lumière polarisée

La lumière blanche ne présente pas de polarisation. Dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation (plan d'onde), **la lumière vibre dans toutes les directions du plan** : La lumière est dite **non polarisée**. Un polariseur est conçu pour ne sélectionner qu'une seule vibration dans le plan d'onde, la lumière est alors dite polarisée. L'interaction de certaines substances naturelle (notamment les minéraux) avec la lumière est d'induire une polarisation naturelle de la lumière.

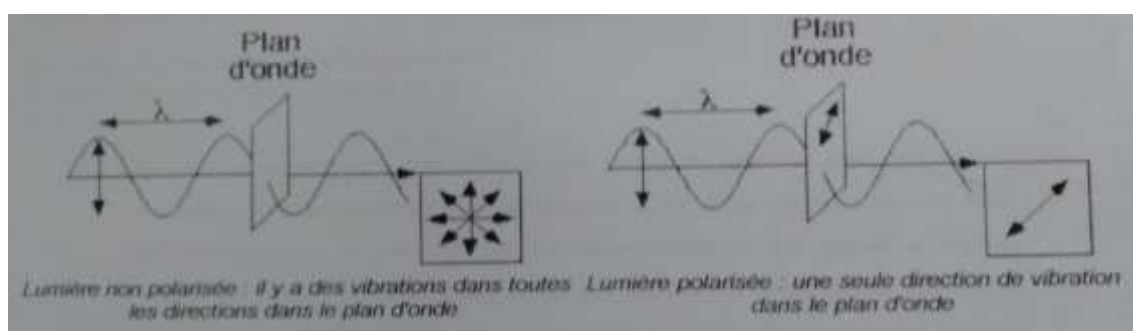


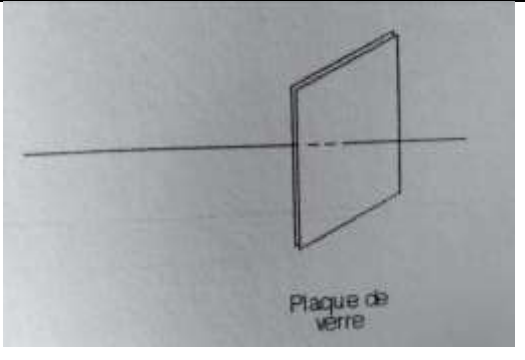
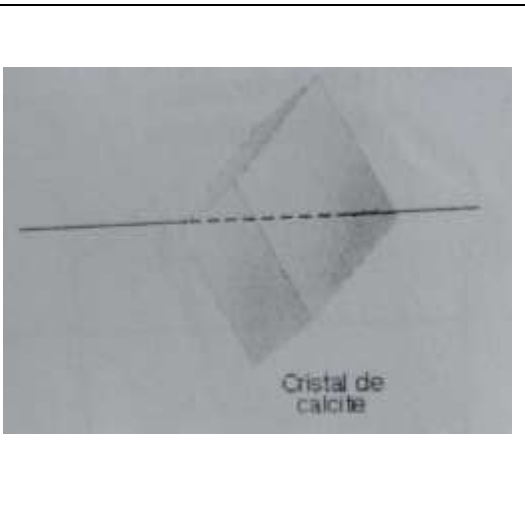
Figure IV 1. La lumière polarisée et non polarisée (*Sabatier, 1957*)

### 3. L'optique cristalline

#### 3.1. Influence des matériaux vitreux et cristallins sur la lumière naturelle

Lorsqu'un rayon lumineux pénètre dans un milieu cristallin (calcite), il est divisé en deux rayons, l'un qui se situe dans la prolongation du rayon initial (il est appelé le rayon ordinaire), l'autre présentant un angle par rapport à la direction du rayon initial (il est dit réfracté, ce rayon est appelé le rayon extraordinaire) (Tabl. IV 1).

Tableau IV 1. Les expériences montrant le comportement des rayons lumineux dans des matériaux vitreux et cristallins (Nadeau, 2013)

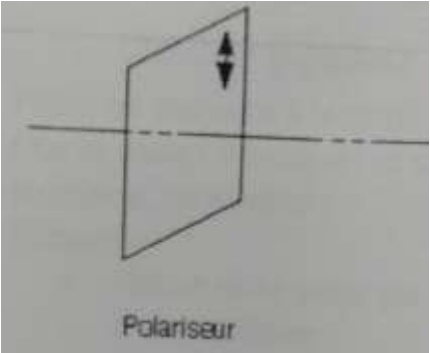
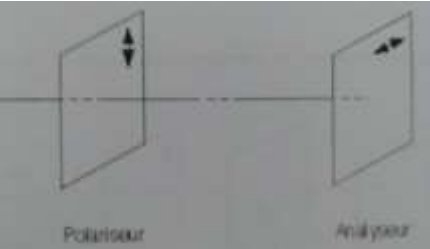
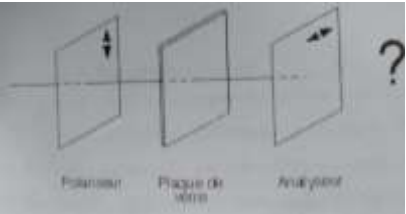
Première expérience	<p>Sur le trajet de la lumière, on place une plaque de verre. Qu'observe-t-on ?</p> <p>Réponse : On observe <u>un spot</u> de même intensité que le rayon initial.</p> <p>Interprétation : Le matériel vitreux ne modifie pas le rayon lumineux.</p>	
Deuxième expérience	<p>Sur le trajet de la lumière, on place un <b>crystal</b> épais de calcite. Qu'observe-t-on ?</p> <p>Réponse : on observe <u>deux spots lumineux sur l'écran</u>.</p> <p>Interprétation : Le rayon lumineux initial se décompose en deux rayons lumineux. Lorsqu'on fait tourner le cristal sur lui-même, qu'observe-t-on ?</p> <p>Réponse : l'un des spots reste fixe alors que le second décrit une rotation autour du spot fixe</p>	

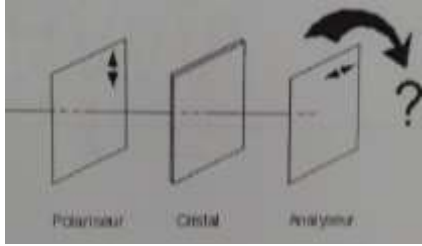
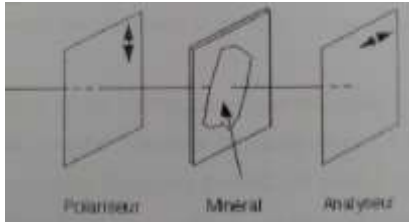
#### 3.2. Influence des matériaux vitreux et cristallins sur la polarisation de la lumière

À l'issue des expériences ci-dessous on a constaté que la matière amorphe (vitreuse) est sans influence sur la polarisation de la lumière. Tandis que les matériaux cristallins (calcite) présentent une interférence lumineuse (coloration qu'il ne présente pas réellement) lorsqu'ils sont soumis à une polarisation de la lumière (dispositif croisé).

Les expériences suivantes sont réalisées avec un PRADO, il s'agit d'un appareil qui reproduit sur l'écran les phénomènes optiques qui se passent dans un microscope optique (Tabl. IV 2).

Tableau IV 2. Les expériences montrant le comportement de la lumière polarisée dans des matériaux vitreux et cristallins (Wood, 1964)

<p>Première expérience</p>	<p>Placer un <b>polariseur</b> sur le trajet de la lumière blanche.                  Qu'observe-t-on ?  <i>Réponse</i> : Le polariseur atténue légèrement l'intensité de la lumière (ce n'est pas l'effet d'une certaine opacité du matériau).  <i>Interprétation</i> : Les vibrations perpendiculaires à la direction du polariseur sont éteintes. Les vibrations obliques par rapport à la direction du polariseur sont projetées le long de la direction de polarisation. Les vibrations parallèles sont transmises en totalité.</p>	 <p>Polariseur</p>
<p>Deuxième expérience</p>	<p>Placer un <b>polariseur</b> sur le trajet de la lumière blanche.                  A la suite, on place un <b>autre polariseur de direction perpendiculaire (dit analyseur)</b>. Qu'observe-t-on ?  <i>Réponse</i> : <b>Rien</b>  <i>Interprétation</i> : Le second polariseur éteint la lumière polarisée du premier. On a donc conçu un dispositif qui permet d'éteindre la lumière alors qu'on a placé sur son trajet que des matériaux translucides.                  Une lumière traversant un dispositif comprenant deux polariseurs dits croisés s'appelle <b>Lumière Polarisée et Analysée (LPA)</b>. Par convention, la lumière traversant un polariseur seul s'appelle <b>Lumière Naturelle (LN)</b>.</p>	 <p>Polariseur      Analyseur</p>
<p>Troisième expérience</p>	<p>Entre polariseur et analyseur croisés, on place une <b>plaque de verre</b>. Qu'observe-t-on ?                  Réponse : <b>Rien</b>                  Interprétation : Le résultat est identique à la deuxième expérience. <b>La matière amorphe est sans influence sur la polarisation de la lumière</b></p>	 <p>Polariseur      Plaque de verre      Analyseur</p>

Quatrième expérience	<p>Placer un analyseur à la sortie du dispositif. Que se passe t'il lorsque l'on tourne le polariseur ?</p> <p><i>Réponse</i> : Chaque tâche passe deux maxima et deux minima. Lorsqu'une tache passe par son maximum, l'autre est à son minimum. Les positions d'extinction sont séparées de 90° À 45° et l'intensité des tâches est identique</p> <p><i>Interprétation</i> : Les deux rayons sont polarisés perpendiculairement. Le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire présentent une polarisation perpendiculaire</p>	
Cinquième expérience	<p>Entre polariseur et analyseur croisés on place une lame mince (de 30um) cristal. Qu'observe-t-on ?</p> <p><i>Réponse</i> : Le minéral présente une coloration qu'il ne présente pas naturellement.</p> <p><i>Interprétation</i> : Lorsque l'épaisseur de cristal traversée est suffisamment mince, la zone de recouvrement des deux rayons est le siège d'interférences lumineuses dues à l'extinction de certaines longueurs d'onde.</p> <p>La zone de superposition des deux rayons est le siège de phénomènes chromatiques dues à l'extinction de certaines longueurs d'onde. Il s'agit d'interférences lumineuses</p>	

### 3.3. Interférences lumineuses

Lorsqu'une lumière traverse un cristal (calcite), elle se subdivise en deux rayons qui sont propagés avec des vitesses différentes. À la sortie du cristal, il existe donc un décalage de phase (différence de marche) entre les deux rayons  $\Delta$ , qui dépend de la nature du matériau traversé, de l'épaisseur de matériau et de l'orientation du rayon initial par rapport à l'ellipsoïde.

$\Delta$  peut s'écrire :  $\Delta = ky$

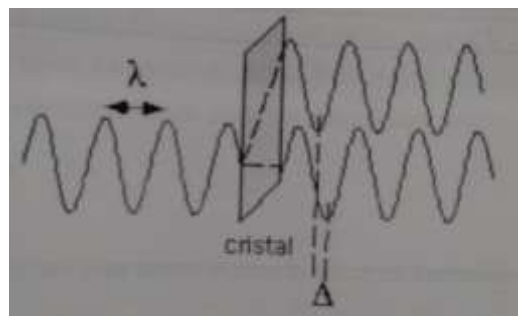


Figure IV 2. Le phénomène d'interférence lumineuse (Wood, 1964)

Dans les expériences précédentes, nous avons utilisé un cristal de calcite d'épaisseur importante ; à la sortie les deux rayons sont éloignés l'un de l'autre pour ne pas interférer. Dans les lames minces, en revanche, l'épaisseur est très fine (30µm) et les spots lumineux sont superposés en partie. Dans la zone de superposition, il se crée des phénomènes d'interférences chromatiques entre les deux rayons. Dans le cas d'une lumière monochromatique, si les deux rayons sont en phase ( $k$  nombre entier), les deux s'additionnent et l'intensité est maximale, si les 2 rayons sont opposition de phase, il s'annulent ( $k=1/2$ ).

Si la lumière initiale est polychromatique, alors toutes les longueurs pour lesquelles  $\Delta = k \cdot \gamma$  vont s'éteindre ; la lumière blanche initiale va donc « perdre » certaines longueurs d'onde. L'impression résultante sera une coloration (disparition de certaines longueurs d'onde). On parlera de teinte de biréfringence (alors on utilise le terme de couleur, pour parler des phénomènes chromatiques du minéral en lumière naturelle).

On distingue plusieurs ordres :

- *Premier ordre* : Teinte gris foncé-gris clair-blanc,
- *Second ordre* : Teinte vives,
- *Troisième ordre* : Teintes délavées,
- *Ordres supérieurs* : Teintes de plus en plus délavées.

### 3.4. Propriétés optiques des cristaux

Du point de vue des propriétés optiques, on peut diviser les minéraux en **deux grands groupes** :

- **Les minéraux amorphes** (non cristallisés) comme l'opale, le silex, le verre de l'obsidienne...et les minéraux du système cubique comme le NaCl.
- Tous **les autres minéraux cristallisés** mais n'appartenant pas au système cubique comme la calcite rhomboédrique.

Les minéraux **du premier groupe** possèdent les mêmes propriétés optiques ; ces propriétés sont de plus identiques à celle du **verre** industriel de même structure amorphe que le verre naturel des obsidiennes.

Minéraux du système cubique (exemple : NaCl)  
et minéraux amorphes



= verre industriel

Les minéraux **du deuxième groupe** possèdent de même des propriétés optiques identiques ; ils partagent aussi ces propriétés avec des matières fabriquées comme le **plexiglas**, le scotch adhésif en ruban, les transparents pour rétroprojection...

Minéraux de tout autre système que le système cubique (exemple : calcite rhomboédrique)



= plexiglas, scotch adhésif...

Tableau IV 3. Les différentes expériences de l'optique cristalline (Cervelle, 1969)

	Énoncé	Observation
1 <sup>er</sup> expérience	On pose sur un texte (article de journal) une lame de <u>verre</u> . Tourner la lame de verre sur elle-même sur le texte, ou l'incliner par rapport au plan du texte, ou superposer plusieurs lames de verre. Qu'observe-t-on ?	On voit l'image du texte par transparence.
2 <sup>ème</sup> expérience	C'est la même mais avec un gros <u>cristal de calcite</u> . On met sur la vitre du rétroprojecteur un transparent portant un texte. On place dessus le cristal de calcite et on projette sur l'écran. Qu'observe-t-on ?	On voit l'image du texte en <b>deux exemplaires</b> contrairement à ce qu'on avait observé avec le verre.
3 <sup>ème</sup> expérience	On pose un polaroïd dessus : c'est l'équivalent du polariseur du microscope. Ensuite, on pose sur le polariseur un deuxième polaroïd qui va jouer le rôle de l'analyseur. Puis on fait pivoter l'analyseur sur le polariseur. Qu'observe-t-on ?	Pour deux positions particulières, on a <b>extinction</b> . La lumière ne passe pas, c'est le noir le plus complet ! <b>Explication du rôle de l'analyseur.</b>
4 <sup>ème</sup> expérience	On fait l'extinction : polariseur et analyseur en position croisée. Puis on interpose entre le polariseur et l'analyseur une lame de <u>verre</u> , voire deux... Qu'observe-t-on ?	La lumière ne passe toujours pas !
5 <sup>ème</sup> expérience	Même expérience mais avec de la <u>calcite</u> On fait l'extinction et on interpose entre les 2 polaroïds un cristal de calcite $\text{CaCO}_3$ (= spath d'Islande). Qu'observe-t-on ?	La lumière passe !

6 <sup>ième</sup> expérience	<p>Même expérience avec du plexiglas</p> <p>On fait l'extinction, puis on interpose entre le polariseur et l'analyseur un morceau de <u>plexiglas</u>.</p>	<p style="text-align: center;"><b>La lumière passe !</b></p>
7 <sup>ième</sup> expérience	<p>On fait l'extinction, puis on place sur la platine une <u>lame mince d'éclogite</u>.</p> <p>Questions :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cette lame mince renferme-t-elle un minéral appartenant au système cubique ? Expliquer votre démarche.</li> <li>- Identifier ce minéral à l'aide des fiches.</li> <li>- Que pouvez-vous dire de tous les autres minéraux de la roche ? A quel(s) système(s) appartiennent-ils ? Que présentent-ils de particulier ?</li> </ul>	<p>Tous les minéraux de l'éclogite (omphacite, plagioclase, ...) n'appartiennent pas au système cubique, car ils <u>dévient</u> la lumière polarisée.</p> <p>On peut voir facilement le grenat d'autant mieux par contraste !</p> <p>On remarque aussi qu'ils prennent des teintes parfois vives et qui varient lorsqu'on tourne l'analyseur, teintes qu'ils ne présentent pas naturellement.</p>
8 <sup>ième</sup> expérience	<p>On fait l'extinction, puis on interpose entre le polariseur et l'analyseur un morceau de <u>plexiglas</u>.</p> <p>On fait ensuite pivoter sur 360° le plexiglas entre le polariseur et l'analyseur, et on laisse fixe la lame de plexiglas et l'on fait tourner l'analyseur.</p> <p>Qu'observe-t-on ?</p>	<p>On observe <i>des variations de teintes</i> !</p> <p>La teinte du plexiglas peut <b>varier du rouge au vert</b>. Ces teintes sont appelées « <i>teintes de biréfringence</i> ».</p> <p>Ce phénomène est caractéristique des minéraux biréfringents (tous les minéraux cristallisés n'appartenant pas au système cubique).</p>
9 <sup>ième</sup> expérience	<p>Identique à la 5<sup>ième</sup> mais <i>sans polaroïds</i>.</p> <p>On tourne le cristal de calcite sur lui-même au-dessus d'un texte et on projette sur l'écran.</p> <p>Qu'observe-t-on ?</p>	<p>On observe que l'une des deux images reste fixe et que l'autre semble tourner autour de la première.</p> <p>L'image <b>fixe</b> est appelée image <b>ordinaire</b>. Elle obéit à la loi de la réfraction de SNELL-DESCARTES.</p> <p>L'autre est appelée image <b>extraordinaire</b>, car elle n'obéit pas, à cette même loi !</p>

<b>10<sup>ème</sup> expérience</b>	<p>Suite de la précédente :</p> <p>Pour une position quelconque des deux images, on place sur le cristal de calcite un <i>polaroïd</i>, et on tourne le.</p> <p>Qu'observe-t-on ?</p>	<p>On observe que l'une des deux images disparaît pour une certaine position du polaroïd et que l'autre disparaît pour une autre position du polaroïd, orthogonale par rapport à la première.</p>
------------------------------------	---	---

A l'issues des observations obtenues, on peut conclure que le **rayon extraordinaire est toujours dévié dans le plan bissecteur du grand angle des deux grandes faces losangiques du cristal** et il est polarisé orthogonalement par rapport au rayon ordinaire. **Ce plan privilégié appel plan de section principale renferme l'axe optique du cristal qui est un axe de symétrie**

Ainsi, à partir les expériences de l'optique cristalline (Tabl. IV 3), on peut déterminer les propriétés optiques des minéraux à travers les conclusions qui figurent dans l'organigramme ci-dessous (Fig. IV 3).

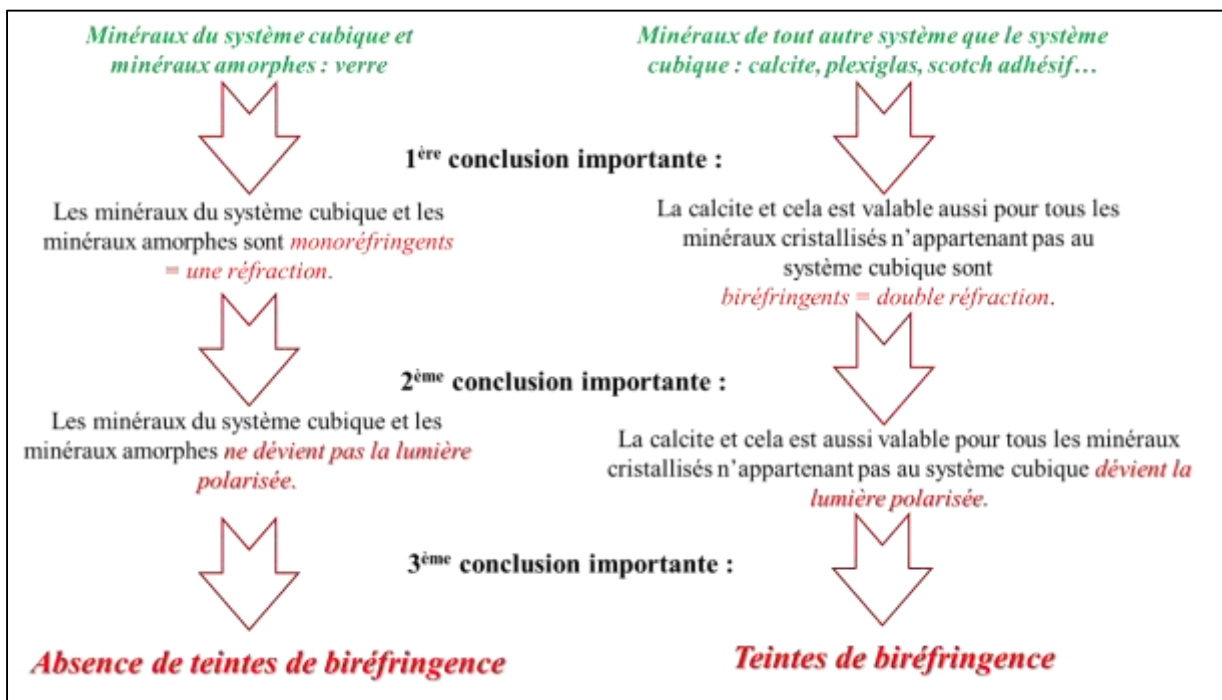


Figure IV 3. Les propriétés optiques des minéraux

### 3.4.1. La monoréfringence et la biréfringence

La monoréfringence est expliquée par le fait que le verre et tous minéraux du système cubique (mais on peut ajouter aussi l'eau, l'air) sont homogènes vis-à-vis de la lumière ; chacun de ces milieux traversés est en effet caractérisé par un **indice de réfraction unique (n)** : Avec  $n = C / V$  où C : est la célérité (=vitesse) de la lumière dans le vide et V la vitesse de la lumière dans le milieu traversé.

Cela signifie que la réfraction à l'interface air-verre ou air-minéral du système cubique obéit à la loi de SNELL-DESCARTES et que la lumière se propage dans le verre ou le minéral du système cubique à une vitesse constante spécifique de ce milieu et cela, dans toutes les directions de l'espace. Ces milieux sont dits **isotropes** (« isos = égal » et « tropos = manière »).

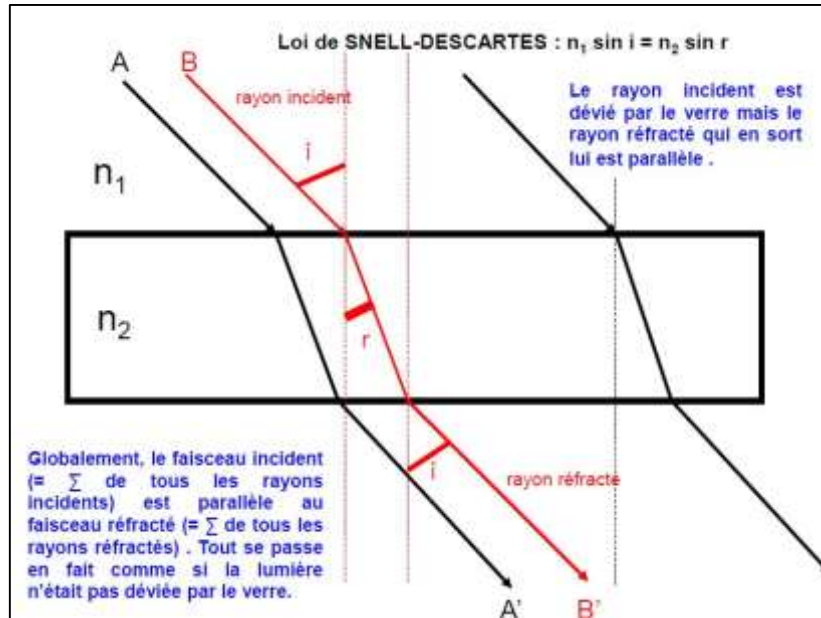


Figure IV 4. Représentation de la loi de SNELL-DESCARTES

La biréfringence observée avec **le cristal de calcite** implique au contraire que le milieu traversé possède **deux indices de réfraction**. Alors, la biréfringence c'est la propriété qu'a un minéral de réfracter la lumière polarisée selon deux directions.

Après réfraction à l'interface air-calcite, la lumière se propage donc dans le cristal à 2 vitesses différentes et dans deux directions privilégiées puisque l'on a deux images ! Cette observation permet de conclure que **la calcite et c'est aussi valable pour tous les minéraux n'appartenant pas au système cubique, sont hétérogènes vis-à-vis de la lumière : ils sont anisotropes.**

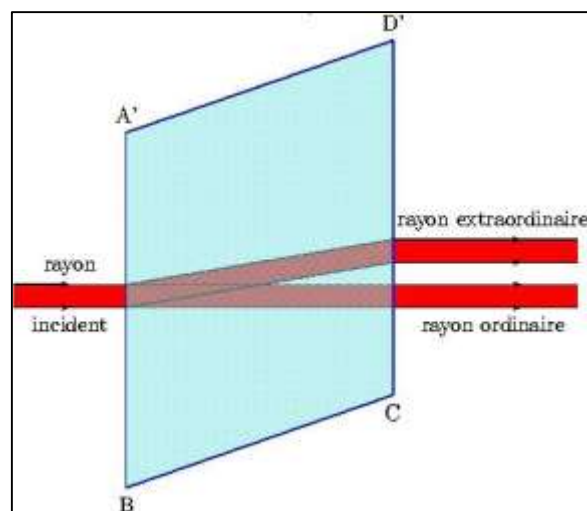


Figure IV 5. Représentation de la biréfringence

La biréfringence a pour conséquences des **teintes** qui peuvent caractériser certains minéraux. En effet, le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire se propagent dans le cristal anisotrope à des vitesses différentes ; ils ne parcourent pas non plus la même distance. Il se produit à la sortie du cristal entre ces deux rayons **une différence de marche**, l'un des rayons ayant acquis un retard optique par rapport à l'autre. Ces deux rayons ne sont donc plus en phase et vont interférer d'où les différentes teintes de biréfringence.

### 3.4.2. L'influence du paysage atomique à la propriété optique des minéraux

En effet, les minéraux du système **cubique** (le NaCl. « Halite », l'olivine « olivine forstérite » et / ou le grenat « pyrope grenat »), les atomes formant le cristal sont **répartis de façon homogène**, égale, c'est-à-dire que si l'on se place au sein du cristal et que l'on regarde dans n'importe quelle direction, **le paysage atomique reste le même**.

Ce constat est également valable pour les minéraux **amorphes** tout simplement parce que leurs ions ou molécules constitutives sont dispersées au hasard.

**NB** : Les minéraux amorphes, non cristallisés, sont pour la plupart d'entre eux constitués de molécules de silice  $\text{SiO}_2$  et ces dernières y sont réparties au hasard, tout comme dans le verre industriel que l'on fabrique à partir du sable.

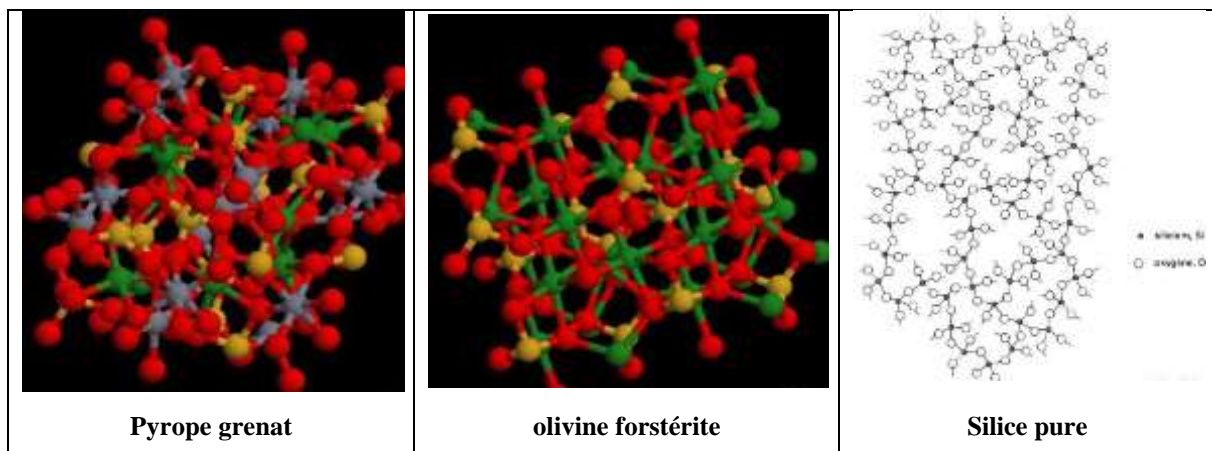


Figure IV 6. La structure atomique des minéraux isotropes

Par convention, quand on est au sein des minéraux anisotropes vis-à-vis à la lumière (tous les minéraux cristallisés et n'appartenant pas au système cubique), on constate que **le paysage atomique est variable**. On voit qu'il y a des directions privilégiées où la lumière va passer facilement et d'autres où elle va circuler plus difficilement et donc moins vite parce qu'elle va rencontrer plein d'obstacles, en particulier les feuillettes de tétraèdres à forte densité atomique.

La même observation peut être faite avec les molécules d'aluminosilicates allongées (amphiboles en double chaîne ou ruban, pyroxènes en chaîne simple) et disposées parallèlement les unes aux autres et aux plans de clivage.

En effet, lorsque les rayons incidents vont venir frapper les molécules du cristal, certains vont avoir la chance de rencontrer un **paysage homogène** et peu dense dans lequel ils se propageront à une vitesse uniforme tout comme dans le verre : ces rayons vont constituer le **rayon ordinaire** rapide. Mais d'autres, dès leur entrée dans le cristal, vont rencontrer **des obstacles** comme des plans de molécules bien orientées ce qui émettent alors le **rayon extraordinaire** polarisé dans un plan perpendiculaire au rayon ordinaire, **ralenti** du fait de ces interactions et qui va se propager dans la direction des plans orientés de molécules.

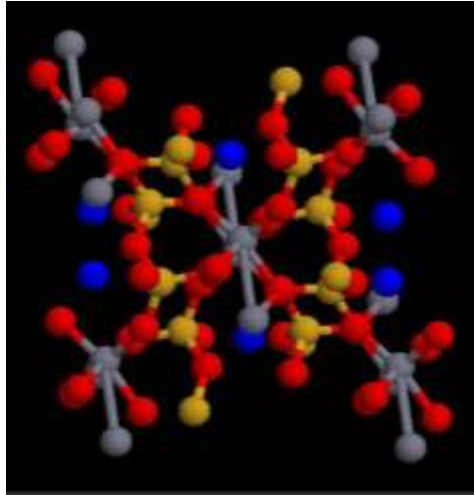


Figure IV 7. La structure atomique des minéraux anisotropes (Jadéite)

### 3.4.3. Le facteur responsable de la biréfringence

Afin de déterminer le facteur principal de la biréfringence, il est indispensable de répondre à la question suivante : *Pourquoi les matières plastiques transparentes sont-elles biréfringentes ?*

En effet, ces matières plastiques transparentes comme le plexiglas, le scotch adhésif et les transparents pour rétroprojection sont fabriquées par étirement et traction de pâtes molles homogénéisées de **polymères** (**macromolécules** constituées respectivement de polyméthacrylate de méthyle, polypropylène de polypropylène et de polyéthylène téréphtalate). Et donc quand on étire une pâte pour en faire un film, toutes les **macromolécules** que sont des polymères vont avoir tendance à se disposer parallèlement les unes aux autres et orientées dans le sens de l'étirement.

En revanche, dans le cas de la **calcite**, les plans  $\text{CO}_3$  très rigides (les liaisons sont covalentes) sont tous orientés parallèlement les uns par rapport aux autres qui vont permettre la naissance du rayon extraordinaire. Certes, les groupements carbonates  $\text{CO}_3^{2-}$  ne sont pas aussi gros que les molécules de polymères mais par rapport aux ions  $\text{Ca}^{2+}$ , ils sont beaucoup plus volumineux. Enfin, on peut conclure que la biréfringence ne peut être due à la taille des molécules puisque le  $\text{CaCO}_3$ , biréfringent, est une petite molécule de 5 atomes : ce n'est pas, et de loin ! une

macromolécule. Alors, la cause de la biréfringence est donc due à l'orientation des molécules dans le cristal.

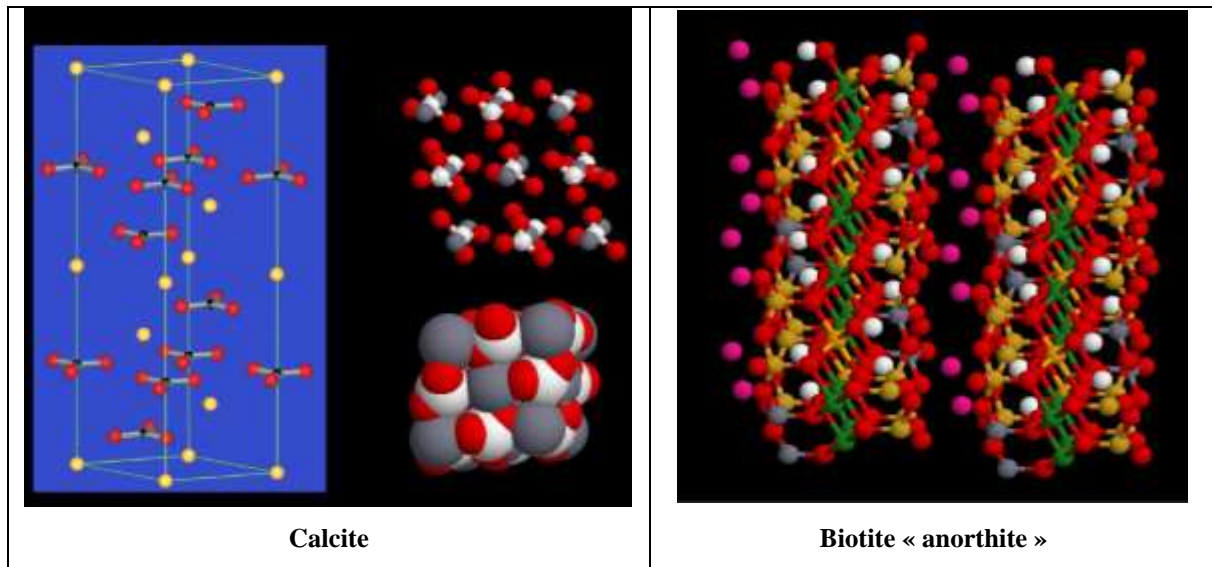


Figure IV 8. L'orientation des molécules dans le cristal

#### 4. Identification de minéraux dans des lames minces de roches

Afin d'identifier les minéraux en lames minces, il est indispensable d'ajuster le microscope polarisant en deux modes : lumière polarisée non analysée (LPNA, dite lumière naturelle), et en lumière polarisée analysée (LPA), dont les critères sont les suivants (Weil, 1963) :

##### 4.1. Critères de reconnaissance en lumière naturelle (LPNA)

- **Formes de cristaux** : faire le lien avec la cristallographie géométrique. Insister sur la notion de xénomorphe / automorphe ;
- **Couleur** : C'est l'absorption de certaines longueurs d'onde de la lumière blanche ;
- **Pléochroïsme** : Est la variation de la couleur ou de l'intensité de la couleur en tournant la platine du microscope ;
- **Clivages** : Ce sont des plans de rupture du minéral qui correspondent à des plans de moins grande densité atomique. *Exemple* : les clivages à 120° des amphiboles, les clivages à 90° des Pyroxènes. **Rappelle** les clivages ne se verront pas systématiquement dans tous les plans (sections basales) ;
- **Fractures** : Ce sont des plans de cassure du minéral, sans relation avec les directions cristallographiques des cristaux ;
- **Relief ou réfringence** : C'est l'épaisseur du contour qui traduit la différence de réfraction entre deux espèces. Les espèces avec un fort relief apparaîtront avec un contour épais ;
- **Altération** : C'est un phénomène très fréquent dans les minéraux. Il s'agit de la transformation d'une espèce minérale de cristallisation précoce en un ensemble de

minéraux tardifs et finement cristallisés. Cette altération progresse généralement de la périphérie du minéral vers son centre. Elle se développe dans les plans de discontinuités du minéral (Clivages et cassures) (Goñi and Kraut, 1954).

## 4.2. Critères de reconnaissance en LPA

### 4.2.1. Estimation de biréfringence

Pour arriver à une bonne estimation de biréfringence, il faut suivre cette méthode :

- Rechercher dans la lame la section du minéral qui présente **la teinte de biréfringence la plus élevée dans l'échelle de Newton** ;
- Amener cette section à la croisée du réticule ;
- Tourner la platine jusqu'à ce que la section soit la plus lumineuse possible : position d'éclairement maximum. N'g et N'p sont à 45° des fils du réticule ;
- Comparer la teinte obtenue avec l'échelle de Newton.

**Réticule** : Système de fils croisés placé dans le plan focal d'un instrument optique.

### 4.2.2. La mesure de l'angle d'extinction

Un minéral anisotrope présente **quatre extinctions totales** au cours de la rotation de la platine. Si l'on possède un repère linéaire dans une section minérale à étudier (plan de clivage, face cristalline à allongement net, plan de macle), on mesure l'angle aigu que fait l'un des indices de la section avec ce repère cristallographique

Deux possibilités peuvent se présenter (Weil, 1963; Langlois, 2007) :

- **Une extinction droite** : Le minéral est éteint lorsque la trace de clivage (qui est aussi la direction d'allongement) est parallèle à une des directions de la croix de l'oculaire ;
- **Une extinction oblique** : Le minéral est éteint lorsque la trace de clivage est oblique par rapport aux directions de la croix de l'oculaire ( $\alpha$  est l'angle d'extinction).

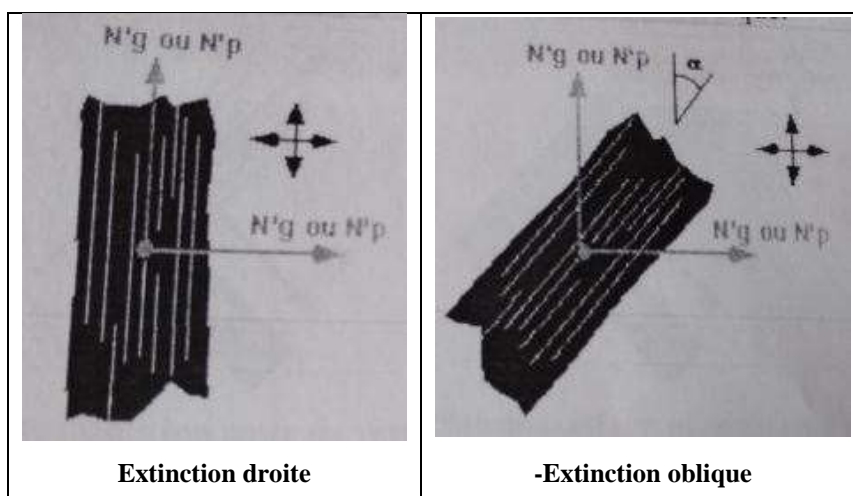
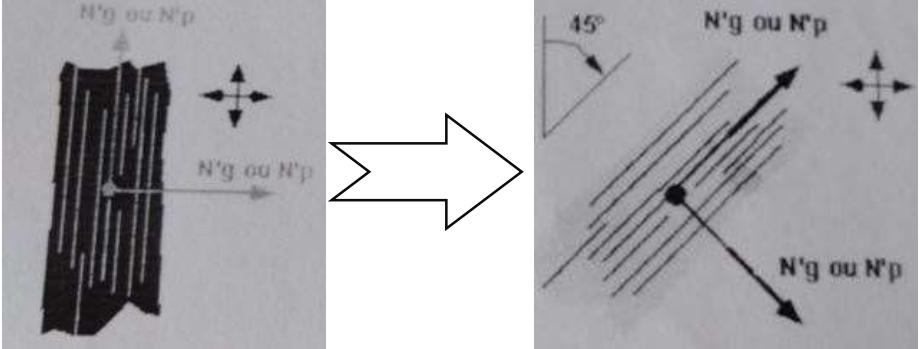
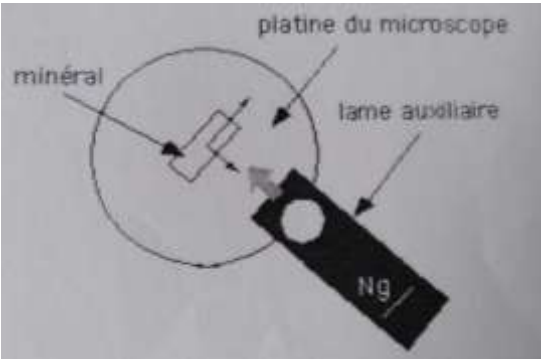
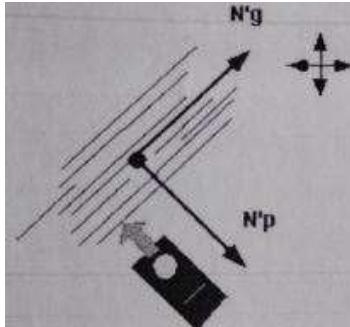
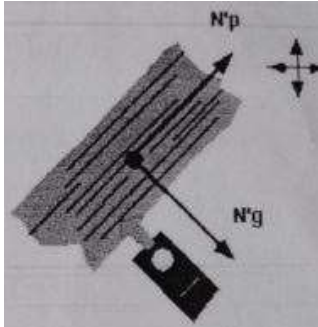


Figure IV 9. L'angle d'extinction

4.2.3. Signe d'allongement

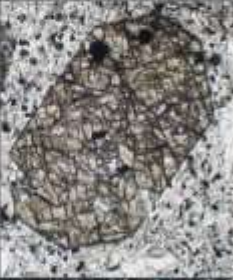





Pour déterminer le signe d'allongement d'une section, il faut suivre les étapes montrées dans le tableau suivant

Tableau IV 4. Les étapes adoptées pour déterminer le signe d'allongement (Weil, 1963)

<p>Première étape</p>	<p style="text-align: center;"><u>Placer le minéral dans une position d'éclairement maximal</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  </div> <p>Le minéral est en position <i>d'extinction</i> (notez l'extinction droite)      Après une rotation de 45°, le minéral est en position <i>d'éclairement maximal</i></p>
<p>Deuxième étape</p>	<p style="text-align: center;"><u>Introduire la lame auxiliaire, pour les minéraux peu réfringents</u></p> 
<p>Troisième étape</p>	<p style="text-align: center;"><u>Observer si on « monte » ou si on « baisse » dans l'échelle des teintes</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p><i>N'g</i> de la lame auxiliaire est superposé à <i>N'g</i> du minéral (<i>allongement positif</i>, la teinte <b>monte</b>)      <i>N'g</i> de la lame auxiliaire est superposé à <i>N'p</i> du minéral (<i>allongement négatif</i>, la teinte <b>descend</b>)</p>

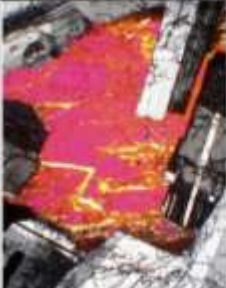
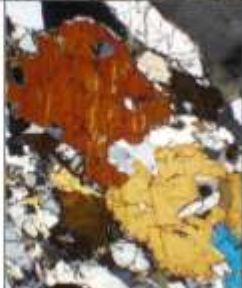










**Remarque :** Si la teinte **monte**, on passe du **vert au jaune**. Par contre, si la teinte **descend** on passe du **vert au bleu** (Dans notre cas, voir l'échelle des teints de Newton).

5. Présentation de quelques minéraux en LPA et LPNA (Kienast, 1963)

PLANCHE D'IDENTIFICATION AU MICROSCOPE DE MINÉRAUX DE ROCHES MAGMATIQUES VOLCANIQUES							
NB : Les lames minces peuvent être observées, à l'œil nu, sur fond blanc ce qui permet de repérer certains minéraux colorés avant d'utiliser le microscope.							
		PYROXENES	AMPHIBOLES Hornblende	MICAS Biotite	QUARTZ	FELDSPATHS Orthose ou Sanidine Plagioclases	
AU MICROSCOPE avec le grossissement minimum	En LPNA sans analyseur	Sections rectangulaires à angles tronqués. Couleur beige rosé ou vert pâle. Deux séries de fissures parallèles (clivages).	Minéral brun-verdâtre, dont la couleur varie en fonction de l'orientation. Deux séries de fissures parallèles (clivages). Sections losangiques à pointes tronquées.	Minéral brun foncé à beige dont la couleur varie avec l'orientation. Sections rectangulaires avec fines fissures parallèles dans le sens de la longueur (clivages)	Minéral incolore très limpide. Sections globuleuses ou grossièrement hexagonales à crêtes émoussées.	Minéral incolore avec nombreuses impuretés lui donnant un aspect sale. Sections grossièrement rectangulaires à extrémités arrondies.	Minéral incolore. Sections en baguettes plus ou moins allongées. Présence de fissures parallèles perpendiculaires à l'allongement (clivages).
	En LPA avec analyseur	Teintes de polarisation : jaune, orange, rouge ou magenta. Présence éventuelle de plusieurs teintes séparées par une ligne (macles).	Teintes vives de polarisation : rouge, magenta, bleu, vert, très atténuées par la couleur naturelle du minéral.	Teintes vives de polarisation : rouge, magenta, bleu, vert, jaune, très atténuées par la couleur naturelle.	Teinte de polarisation : gris clair à blanc.	Teintes de polarisation : gris plus ou moins foncé présentant des marbrures. Présence éventuelle de deux moitiés de cristal séparées par une ligne.	Teintes de polarisation : gris plus ou moins clairs répartis en bandes dans le sens de l'allongement (macles polysynthétique).
	En lumière polarisée et analysée (LPA)						

**PLANCHE D'IDENTIFICATION AU MICROSCOPE DE MINÉRAUX DE ROCHES MAGMATIQUES PLUTONIQUES**

**NB :** Les lames minces peuvent être observées, à l'œil nu, sur fond blanc ce qui permet de repérer certains minéraux colorés avant d'utiliser le microscope.

		PYROXENES	AMPHIBOLES Hornblende	MICAS Biotite	QUARTZ	FELDSPATHS Orthose      Plagioclases	
AU MICROSCOPE avec le grossissement minimum	En LPNA sans analyseur	Couleur beige rosé ou vert pâle. Deux séries de fissures parallèles pour certaines sections (clivages).	Minéral brun-verdâtre, dont la couleur varie en fonction de l'orientation. Deux séries de fissures parallèles (clivages).	Minéral brun foncé à beige dont la couleur varie avec l'orientation. Fines fissures parallèles dans le sens de la longueur (clivages).	Minéral incolore très limpide.	Minéral incolore avec nombreuses impuretés lui donnant un aspect sale.	Minéral incolore. Présence de fissures parallèles perpendiculaires à l'allongement (clivages).
	En LPA avec analyseur	Teintes de polarisation : jaune, orange, rouge ou magenta. Présence éventuelle de plusieurs teintes séparées par une ligne (macé).	Teintes vives de polarisation : rouge, magenta, bleu, vert, très atténuées par la couleur naturelle du minéral.	Teintes vives de polarisation : rouge, magenta, bleu, vert, jaune, très atténuées par la couleur naturelle.	Teinte de polarisation : gris clair à blanc.	Teintes de polarisation : gris plus ou moins foncé présentant des marbrures. Présence éventuelle de deux moitiés de cristal de teintes différentes.	Teintes de polarisation : gris plus ou moins clairs répartis en bandes dans le sens de l'allongement (macé polysynthétique).
	En lumière polarisée et analysée (LPA)						
	En lumière polarisée mais non analysée (LPNA)						

**PLANCHE D'IDENTIFICATION AU MICROSCOPE DE MINÉRAUX DE ROCHES METAMORPHIQUES**

**NB :** Les lames minces peuvent être observées, à l'œil nu, sur fond blanc ce qui permet de repérer certains minéraux colorés avant d'utiliser le microscope.


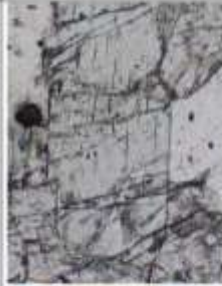
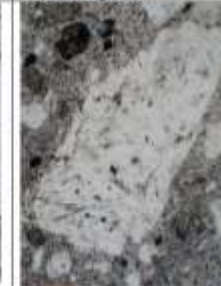






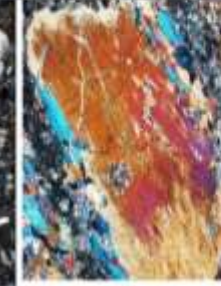


		<b>Grenat</b>	<b>Jadéite</b>	<b>Plagioclases</b>	<b>Pyroxène relique</b>	<b>Hornblende</b>	<b>Glaucophane</b>
Au microscope avec le plus faible grossissement	LPNA (sans analyseur)	Sections hexagonales ou pentagonales de couleur légèrement rosée. Craquelures et limites bien marquées (fort relief).	Sections allongées plus ou moins rectangulaires de couleur vert pâle. Deux séries de stries fines parallèles (clivages).	Sections rectangulaires et incolores. Des stries grossièrement parallèles entre elles.	Sections à bords diffus de couleur beige clair. Nombreuses stries parallèles fines dans le sens de la longueur (clivages).	Minéral brun clair à vert dont la couleur varie selon l'orientation. Deux séries de stries parallèles (clivages).	Minéral bleu à violet dont la couleur change avec l'orientation. Deux séries de stries parallèles (clivages).
	LPA (avec analyseur)	Teinte noire (=éteint) quelle que soit l'orientation du cristal.	Teintes vives de polarisation (jaune orange ou magenta, rarement bleu).	Teintes de polarisation : gris plus ou moins clairs, en bandes parallèles dans le sens de la longueur	Teintes vives de polarisation (jaune, rouge, magenta).	Teintes vives (jaune, rouge, magenta à bleu), légèrement atténuées par la couleur naturelle.	Teintes vives (jaune, orange, magenta) relativement atténuées par la couleur naturelle
	En lumière polarisée non analysée (sans analyseur)						
En lumière polarisée et analysée (avec analyseur)							

PLANCHE D'IDENTIFICATION AU MICROSCOPE DE MINÉRAUX DES ROCHES GRANITIKES

NB : Les lames minces peuvent être observées, à l'œil nu, sur fond blanc ce qui permet de repérer certains minéraux colorés avant d'utiliser le microscope.



















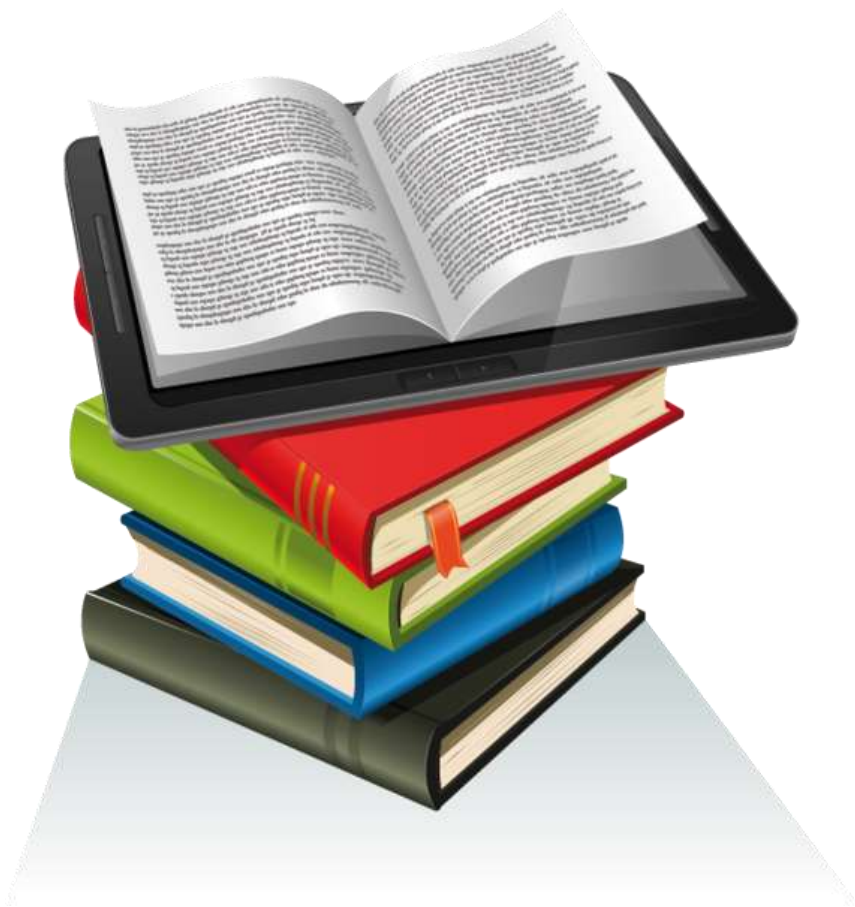
		AMPHIBOLES	MICAS		QUARTZ	FELDSPATHS	
		Hornblende	Muscovite	Biotite	Quartz	Orthose	Plagioclases
MICROSCOPE POLARISANT	En LPNA lumière polarisée sans analyseur	Minéral brun-verdâtre, dont la couleur varie en fonction de l'orientation. Deux séries de fissures parallèles (2 clivages). 	Minéral incolore, limpide, souvent en baguettes allongées. Fines fissures parallèles très nettes (clivages). 	Minéral brun foncé à beige dont la couleur varie avec l'orientation. Fines fissures parallèles dans le sens de la longueur (clivages). 	Minéral incolore très limpide. 	Minéral incolore avec nombreuses impuretés lui donnant un aspect sale. 	Minéral incolore. Présence de fissures parallèles perpendiculaires à l'allongement (clivages). 
	En LPA Lumière polarisée avec analyseur	Teintes vives de polarisation : rouge, magenta, bleu, vert, très atténuées par la couleur naturelle du minéral. 	Teintes de polarisation : jaune, rose ou magenta très vives. 	Teintes vives de polarisation : rouge, magenta, bleu, vert, jaune, très atténuées par la couleur naturelle. 	Teinte de polarisation: gris clair à blanc. 	Teintes de polarisation : gris plus ou moins foncé. Marbrures ; présence de deux moitiés de cristal de teintes différentes. 	Teintes de polarisation : gris plus ou moins clairs répartis en bandes parallèles (macie polysynthétique). 
					<p>Zircon parfois en inclusion dans la Biotite zircon reconnaissable à une auréole sombre due à sa radioactivité qui altère la Biotite. Teintes vives en LPA. Ici vu à fort grossissement.</p> 		

PLANCHE D'IDENTIFICATION A L'ŒIL NU DES MINÉRAUX DE DIFFÉRENTES ROCHES						
Minéraux Caractéristiques	Olivine	Pyroxène		Grenat	Amphiboles	
		Augite	Jadéite		Hornblende	Glaucophane
Aspect, forme et couleur	Minéral granuleux vert olive	Minéral sombre de couleur brune, surfaces planes à reflets métalliques.	Minéral sombre de couleur verdâtre (vert jade)	Minéral globuleux, hexagonal de couleur rose à rouge	Minéral sombre (noir à vert très foncé). En auréole dans un métagabbro	Minéral sombre (noir à bleu foncé). En auréole dans un métagabbro
Photographie						

Minéraux Caractéristiques	Feldspath		Mica		Quartz
	Orthose	Plagioclase	Biotite	Muscovite	
Aspect, forme et couleur	Minéral blanc rosé, et souvent sub-rectangulaires	Minéral blanc, mat, souvent sub-rectangulaires.	Minéral en lamelles ou paillettes brunes foncées ou noires brillantes	Minéral en lamelles ou paillettes incolores ou argentées.	Minéral à l'aspect de gros sel. Incolore à gris.
Photographie					

## *Références bibliographiques*



**Références**

- Asselborn, É., 2006. Minéraux. Editions Artemis. ISBN : 2844164900, 9782844164902, 359 p.  
[https://books.google.dz/books/about/Min%C3%A9raux.html?id=vB6VxLaqIngC&redir\\_esc=y](https://books.google.dz/books/about/Min%C3%A9raux.html?id=vB6VxLaqIngC&redir_esc=y)
- Benamara, F.Z., 2022. Géologie. Polycopié destiné aux étudiants en 2ème année ST. Université de Guelma. 126p.
- Boureghida, N., 2024. Polycopié de cours de 4ème année Géologie des Roches Mères.
- Brosse, J.-M., 1983. Larousse des minéraux. Bulletin des bibliothèques de France (BBF), n° 3, p. 342-342. <https://bbf.enssib.fr/consulter/bbf-1983-03-0342-032> ISSN 1292-8399.
- Brown, W., 1968. Mineral recognition, by I. Vanders and PF Kerr, 1967. Bull. Minéralogie 91, 309–309.
- Cervelle, B., 1969. Précis d'optique cristalline appliqué à l'identification des minéraux par Pierre Bordet, 1969. Bull. Minéralogie 92, 109–110.
- Charpentier, H., 1900. Géologie et minéralogie appliquées : les minéraux utiles & leurs gisements. Dunod.
- Dana, J.D., Dana, E.S., Gaines, R.V., 1997. Dana's new mineralogy: The system of mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana. No Title.
- Daubrée, A., 1886. Les météorites et la constitution du globe terrestre. Gauthier-Villars.
- Deferne, J., 1995. La classification des minéraux. Ville de Genève/Département municipal des affaires culturelles/Muséum d ....
- Farges, F., 2022. À la découverte des minéraux et pierres précieuses : Minéraux et gemmes, sachez les reconnaître. Dunod.
- Foucault, A., Raoult, J.-F., Cecca, F., Platevoet, B., 2014. Dictionnaire de Géologie-8e éd.: Tout en couleur-5000 définitions-Français/Anglais. Dunod.
- Fritsch, E., 1985. Mineralogy: concepts, descriptions, determinations-LG Berry, B. Mason, 1983. Bull. Minéralogie 108, 249–250.
- Goñi, J., Kraut, F., 1954. Contribution à l'étude microscopique des minéraux des sables. Bull. Minéralogie 77, 545–550.
- Guillemot, J., 1986. Eléments de géologie. Éditions Technip. ISBN-10 : 2710804980. ISBN-13 : 978-2710804987. 208p. <https://www.amazon.fr/El%C3%A9ments-g%C3%A9ologie-Jacques-Guillemot/dp/2710804980>
- Kienast, J., 1963. Minéraux courants des roches : Éléments de détermination au microscope polarisant. FeniXX.

- Langlois, C., 2007. Reconnaissance des minéraux.  
[https://www.normalesup.org/~clanglois/Sciences\\_Terre/Petro-microscope-notes.pdf](https://www.normalesup.org/~clanglois/Sciences_Terre/Petro-microscope-notes.pdf).
- Macaudiere, P., Demourgues, A., 2002. La couleur dans les solides minéraux. Actual. Chim. 91–94.  
<https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/2002-mars-251-Macaudi-p91.pdf>
- Nadeau, O., 2013. Minéralogie et optique cristalline (SCT1115-50) Chargé de cours: Olivier Nadeau  
Automne 2013.
- Orcel, M., n.d. L'éclat des minéraux et la mesure de leurs pouvoirs réflecteurs.  
<https://sciencepress.mnhn.fr/sites/default/files/articles/pdf/archives-serie6-tome12-article5.pdf>
- Otmane, A., 2023. Géologie appliquée (PhD Thesis). Université Ibn Khaldoun-Tiaret.  
[http://dspace.univtiaret.dz/bitstream/123456789/15026/1/Polycopie\\_OTMANE\\_G%C3%A9ologie%20appliqu%C3%A9e.pdf](http://dspace.univtiaret.dz/bitstream/123456789/15026/1/Polycopie_OTMANE_G%C3%A9ologie%20appliqu%C3%A9e.pdf)
- Otmane, A., Gherissi, R., Baba-Hamed, K., Bouanani, A., 2023. Qualitative evaluation of groundwater in terms of its suitability for drinking and irrigation. The case study of Sidi-Bel-Abbes alluvial aquifer (NW Algeria). *Acque Sotter. -Ital. J. Groundw.* 12, 63–74.
- Pajaud, D., Lorenz, J., 2000. Terminologie et nomenclature en géologie : exemples et réflexions. *Sci. Leurs Lang.* 119, 109.
- Ricq-de Bouard, M., 1965. Pedro (G.). La classification des minéraux argileux (phyllosilicares). *Rev. Géographie Alp.* 53, 708–711.
- Roucan, J.-P., Marie-Christine, N.-D., 1987. Propriétés physiques des composés minéraux. Ed. Techniques Ingénieur.
- Sabatier, G., 1957. L'emploi du microscope polarisant, par L. Bertrand et M. Roubault, 1957. *Bull. Minéralogie* 80, 253–253.
- Salaün, F., 2011. Les Lumières : une introduction. Presses universitaires de France.  
<https://journals.openedition.org/studifrancesi/3730>
- Stemans, P., 2024. Initiation à la géologie générale. Cours inspiré des notes du professeur de Géologie de l'Université de Liège, le Dr J. Bellière†, 171p.
- Strunz, H., Nickel, E.H., 2001. Strunz mineralogical tables. *Chem.-Struct. Miner. Classif. Syst.* 9.  
[https://www.researchgate.net/publication/248686723\\_STRUNZ\\_H\\_NICKEL\\_E\\_H\\_2002\\_Strunz\\_Mineralogical\\_Tables\\_Chemical\\_Structural\\_Mineral\\_Classification\\_System\\_9th\\_ed\\_ix\\_870\\_pp\\_Stuttgart\\_E\\_Schweizerbartsche\\_Verlagsbuchhandlung\\_Price\\_Euros\\_14800\\_hard\\_covers\\_](https://www.researchgate.net/publication/248686723_STRUNZ_H_NICKEL_E_H_2002_Strunz_Mineralogical_Tables_Chemical_Structural_Mineral_Classification_System_9th_ed_ix_870_pp_Stuttgart_E_Schweizerbartsche_Verlagsbuchhandlung_Price_Euros_14800_hard_covers_)
- Sudre, R., 1960. Le jeu de l'écorce terrestre. *Rev. Deux Mondes 1829-1971* 152–157.

Weil, R., 1963. Détermination des minéraux des roches en lames minces au microscope polarisant, par M. Roubault, avec la collaboration de J. Fabries, J. Touret et A. Weisbrod, 1963. Bull. Minéralogie 86, 440–441.

Wood, E.A., 1964. Cristaux et lumière : introduction à l'optique cristalline. D. Van Nostrand.