

Pétrologie Métamorphique

STU S3



Shop

- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier

Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi

- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

PETROLOGIE & MINERALOGIE

Aide aux Travaux Pratiques et Dirigés



Sommaire

Détermination macroscopique des minéraux des roches	3
Les systèmes cristallins	3
Caractéristiques organoleptique des minéraux	5
Classification des minéraux	11
Les espèces minérales non silicatées	11
Les espèces minérales silicatées	17
Classification des roches plutoniques	21
Classification des roches volcaniques	22
Principe de lecture d'un diagramme ternaire	23
Tableau récapitulatif de la composition en minéraux des roches magmatiques	24
Les faciès métamorphiques	25
Texture des roches magmatiques	26
Texture des roches métamorphiques	28
Détermination du sens de cisaillement	30
Géométrie et détermination des minéraux anté- syn- et post- cinématiques.....	31
Développement d'une seconde surface planaire durant la déformation	32
Diagramme pression-température de réactions entre phases solides	33
Paragenèses minérales	34
Détermination de quelques-uns des principaux minéraux des roches magmatiques et métamorphiques au microscope polarisant	35
<i>Olivine</i>	35
<i>Grenats</i>	36
<i>Andalousite</i>	36
<i>Sillimanite</i>	37
<i>Disthène</i>	37
<i>Staurotide</i>	38
<i>Tourmalines</i>	39
<i>Orthopyroxènes</i>	40
<i>Clinopyroxènes</i>	40
<i>Amphiboles</i>	41
<i>Muscovite</i>	42
<i>Biotite</i>	42
<i>Chlorite</i>	43
<i>Quartz</i>	43
<i>Feldspaths potassiques</i>	44
<i>Plagioclases</i>	46
<i>Feldspathoïdes</i>	47

DETERMINATION MACROSCOPIQUE DES MINÉRAUX DES ROCHES.

ATTENTION la liste des minéraux contenue dans ce fascicule n'est pas exhaustive.

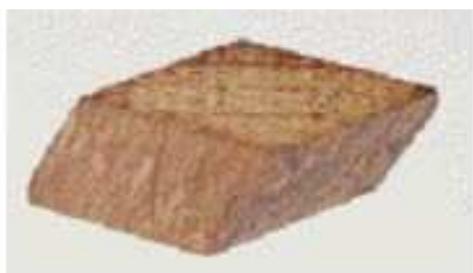
Les minéraux, composants naturels de toutes les roches, sont des solides cristallisés, c'est à dire à structure atomique ordonnée et régulière (cristal) et à composition chimique définie.

La matière cristalline s'organise en réseaux périodiques qui obéissent à certaines lois et possèdent des propriétés symétriques particulières. Ces lois sont :

- La loi de constance des angles (Romé de l'Isle, 1722) : Dans une même espèce minérale, l'angle des faces correspondantes est constant.
- La loi d'Haüy : Un cristal d'une certaine espèce est formé, quelle que soit sa morphologie, par la juxtaposition de petits parallélépipèdes élémentaires ("les briques" élémentaires) tous égaux entre eux et caractéristiques de l'espèce appelés maille simple du réseau.
- La loi de symétrie : Toute forme géométrique se rapporte à l'un des sept systèmes cristallins possibles. Trois éléments, ou opérateurs, de symétrie sont pris en compte pour définir les formes fondamentales.
 - Le centre de symétrie : point défini tel que les sommets d'un polyèdre se correspondent deux à deux sur des lignes menées par ce centre ;
 - L'axe de symétrie : ligne de rotation permettant de retrouver plusieurs fois de suite l'aspect du polyèdre au cours d'un tour complet. Axe binaire (A2), le cristal apparaît identique à lui même 2 fois au cours d'une rotation de 360°. A3, il apparaît 3 fois. A4, quatre fois etc...
 - Le plan de symétrie : plan qui partage le cristal en deux moitiés symétriques.
- La loi de respect des symétries pour les formes dérivées : Les familles de clivages et de troncatures respectent dans tous les cas les éléments de symétrie de la forme primitive.

On répartit les 32 classes de symétrie en 7 systèmes cristallins d'après la symétrie de leur réseau dont il existe 14 possibilités (les réseaux de Bravais). Ces systèmes cristallins sont :

- Le réseau ne possède aucun axe de symétrie : système triclinique ;
- Le réseau possède un axe binaire (A2) : système monoclinique ;
- Le réseau possède trois axes binaires (A2) rectangulaires deux à deux : système orthorhombique ;
- Le réseau possède un axe ternaire (A3) : système rhomboédrique ;
- Le réseau possède un axe quaternaire (A4) : système quadratique ;
- Le réseau possède un axe sénaire (A6) : système hexagonal ;
- Le réseau possède quatre axes ternaires (A3) : système cubique ;



Système Triclinique.



Système Monoclinique.



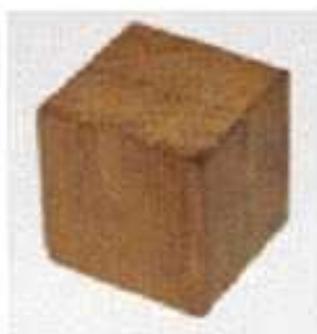
Système Orthorhombique.



Système Rhomboédrique.



Système Quadratique.



Système Cubique.



Système Hexagonal.

CARACTERISTIQUES ORGANOLEPTIQUES DES MINERAUX.

Les minéraux constitutifs des roches et des minerais sont déterminés à l'aide de tout l'arsenal des méthodes analytiques disponibles. Sur le terrain, où les moyens sont évidemment limités, l'approche "naturaliste" a fait ses preuves et permet au géologue de sélectionner les échantillons qu'il juge représentatifs et qu'il destina au laboratoire. Ces méthodes de terrain sont basées sur les caractères organoleptiques des minéraux aisément appréciables sur le terrain avec peu de moyens :

- **Habitus (= forme) des cristaux**
- **Limpidité, transparence, translucidité, opacité**
- **Eclat (vitreux, adamantin, résineux, soyeux, nacré, mat, ...)**
- **Couleur de la poudre, trace**
- **Cassure**
- **Présence ou non de clivage et qualité de ce dernier**
- **Couleur**
- **Présence de macles**
- **Dureté**
- **Densité**
- **Toucher**
- **Goût**
- **Odeur**
- **Solubilité dans l'eau ou dans l'acide.**

HABITUS :

La structure interne du minéral détermine son aspect extérieur. En effet, chaque minéral est construit suivant un schéma d'agencement des atomes bien précis. Cependant il est rare de trouver dans la nature un cristal parfaitement cristallisé. En règle générale il y a soit des faces planes (cristaux xénomorphes, idiomorphes ou automorphes), soit des agrégats. On peut donc définir un cristal par sa forme propre : cubique, prismatique, aciculaire, fibreuse, en tablettes... ou par l'agencement d'un agrégat : granuleux, filamenteux, oolithique, dendritique, botryoïdal (= concrétionné)...



Pyrite cubique



Quartz prismatique



Actinote aciculaire



Chrysotile fibreux



Muscovite en tablettes

COULEUR :

Elle fait partie des caractères de détermination les plus importants mais n'est pas toujours absolument fiable. 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 le quartz, le cristal de roche, l'améthyste, la citrine, le quartz enfumé sont tous la même espèce minérale de formule SiO_2 ; de même le corindon (Al_2O_3) lorsqu'il est bleu est appelé saphir et lorsqu'il est rouge il est appelé rubis. Chez beaucoup de minéraux, la couleur est typique et décide de

leur nom comme la chlorite $[(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_3\text{Mg}_3 [(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10} (\text{OH})_2] (\text{OH})]$ (Kloros = vert, en grec), l'azurite $[\text{Cu}_3 (\text{CO}_3)_2 (\text{OH})_2]$ (Lazaward = bleu, en persan), l'albite $[\text{Na Al Si}_3\text{O}_8]$ (Albus = blanc, en latin) ou encore l'olivine $[(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{SiO}_4]$ (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.

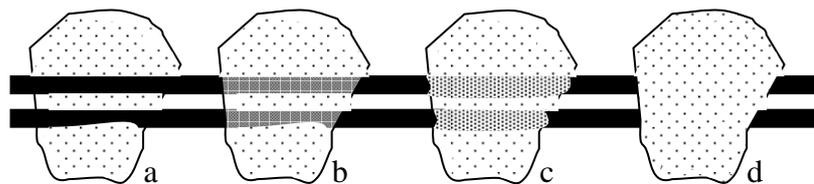
Attention, la couleur doit être observée sur des cassures fraîches car l'altération d'un minéral peut modifier cette caractéristique.

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 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 CaCO_3), du cristal de roche (SiO_2) ou du diamant (C).
- **Semi-transparents** → l'écriture lue à travers le minéral n'est pas nette. C'est le cas par exemple du quartz rose (SiO_2) et de la plupart des émeraudes (béryl chromé $\text{Be}_3 \text{Al}_2 (\text{Si}_6\text{O}_{18})$).
- **Translucides** → la lumière traverse le minéral, même très épais. (halite : NaCl , orthose : $\text{K Al Si}_3\text{O}_8$)
- **Non-transparents** → A l'état massif le minéral ne laisse pas traverser la lumière, en couche mince il est translucide (amphibole, augite : $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ti}, \text{Al})_2 (\text{SiAl})_2 \text{O}_6$).
- **Opaques** → Quelle que soit son épaisseur, le minéral ne laisse pas passer la lumière (pyrite : 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.



Degré de transparence de lame de même épaisseur d'un cristal transparent (a), d'un cristal semi-transparent (b), d'un cristal translucide (c) et d'un

ECLAT / REFLET :

C'est la propriété des minéraux à réfléchir la lumière.

Il y a l'éclat :

- **Métallique** : galène (PbS_2), chalcopryrite (CuFeS_2), magnétite ($\text{FeO Fe}_2\text{O}_3$), ...
- **Adamantin** (réfraction totale de la lumière : diamant), ...
- **Vitreux** : spinelle (MgAl_2O_4), tourmaline ($\text{XY}_9 (\text{BO}_3)_3 (\text{SiO}_3)_6 (\text{OH}, \text{F})_4$), quartz (SiO_2), ...
- **Gras** : vermiculite ($(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_3 (\text{OH}_2)(\text{Al}_{1,25}\text{Si}_{2,75}\text{O}_{10}) \text{Mg}_{0,33}(\text{H}_2\text{O})_4$), opale (SiO_2), ...
- **Nacré** : sillimanite ($\text{SiO}_2 \text{Al}_2\text{O}_3$), muscovite ($\text{K Al}_2 \text{Si}_4\text{O}_{10} (\text{OH}, \text{F})_2$), ...
- **Soyeux** : amiante ($\text{Mg}_6 (\text{OH})_8 \text{Si}_4\text{O}_{10}$), ...
- **Mat** : kaolinite ($\text{Al}_2 \text{Si}_2\text{O}_3 (\text{OH})_2$), ...

TRACE :

L'étude de la couleur de la poudre est un caractère important dans la caractérisation des minéraux. En effet, elle permet notamment de déterminer les minéraux à couleur empruntée (effet de la présence en trace d'atomes à potentiel colorateur) qui ont généralement une poudre blanche ou à peine colorée. 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.

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

CLIVAGE :

C'est 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. 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).

MACLE :

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. Dans la nature un cristal ne

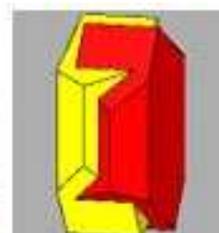
présentera jamais d'angles rentrants, de ce fait, la présence de tels types d'angles indique que le minéral est maclé. Il peut y avoir des macles simples (association de deux cristaux) ou multiples (plusieurs cristaux). Quelques macles sont très caractéristiques : la macle en fer de lance du gypse, la 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...



Gypse en fer de lance



Macle en genou du rutile



Macle de Carlsbad



Staurotide en croix de St André

DURETE :

La dureté est certainement l'un des caractères organoleptiques le plus important lorsque l'on souhaite caractériser un minéral. En effet, chaque minéral a une dureté propre, caractérisant une anisotropie. Elle correspond à sa résistance à se laisser rayer. Ainsi, une échelle arbitraire de dureté a pu être établie. C'est l'échelle de Mohs qui contient 10 degrés, chacun représenté par un minéral (cf. Tableau). Dans l'absolu elle a été établie de proche en proche un rayant chaque minéral par un autre minéral. Cependant, sur le terrain, certains objets faisant partie de la panoplie du parfait géologue permettent de déterminer la dureté des minéraux rencontrés ce qui permet par exemple de discriminer la calcite du feldspath.

° Mohs	Minéraux typiques	Rayables à	rayé à l'ongle	rayé au cuivre	rayé au couteau	rayé à la lime
1	talc, soufre	friable à l'ongle	↓			
2	gypse, ambre, sel gemme	l'ongle	↓	↓		
3	calcite, corail, ivoire	pièce de monnaie (cuivre)		↓		
4	fluorite, magnésite	fer blanc			↓	
5	apatite, turquoise	lame de couteau			↓	
6	feldspath orthose	la lime				↓
7	quartz, olivine	raye le verre				↑
8	topaze, spinelle	raye le quartz				
9	corindon	raye le topaze				
10	diamant	raye tous les matériaux				

raye le verre

DENSITE :

La densité est une constante physique qui caractérise un minéral donné. Beaucoup de minéraux ont une densité de $2,7 \text{ g.cm}^{-3}$ (soit 2,7 fois plus lourd qu'un volume d'eau équivalent). Cependant les densités peuvent s'échelonner de $d = 1$ à 2 (sassolite $[\text{B}(\text{OH})_3]$: 1,48 ; carnallite : 1,6 ; sylvinite : 1,98 ; soufre : 2,05 ; gypse : 2,2) à $d = 21,4$ (platine). Sur le terrain, il est possible de déterminer approximativement la densité d'un minéral en le soupesant. On distingue ainsi les minéraux légers (densité de 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 $3,45$), les pyroxènes ($d = 3,1$ à $3,6$), les minéraux lourds ($d = 4$ à 6) tels que la blende ($d = 4,2$), la barytine ($d = 4,48$) ou 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, platine ...).

SOLUBILITE :

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 et halite se dissolvent dans l'eau froide, le gypse dans l'eau chaude. La calcite, elle, se dissout très bien, provoquant une effervescence forte dans l'acide chlorhydrique à froid (ce qui permet de la différencier de la dolomite).

GOUT ET ODEUR :

Il peut être également intéressant de "goûter" et de "sentir" certains minéraux. Ainsi, 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).

CLASSIFICATION DES MINERAUX

LES ESPECES MINERALES NON SILICATEES.

Si les roches constituant l'écorce terrestre sont généralement faites à plus de 95 % de silicates, les quelques % restants sont fait de minéraux dits "accessoires" dont l'étude est parfois importante pour expliquer la pétrogenèse de la roche. Ces minéraux présentent parfois un intérêt économique très fort (métaux précieux, minéraux stratégiques, diamant, etc...).

De plus, si parmi les roches ignées ou plutoniques les variétés exclusivement silicatées constituent l'écrasante majorité, il n'en est pas de même parmi les roches sédimentaires et métamorphiques où les roches carbonatées sont importantes, sans parler des évaporites, des bauxites, des dépôts phosphatés, etc ...

C'est pourquoi il est injustifié de passer sous silence les espèces minérales non silicatés classées en :

- Eléments natifs (métaux, semi-métaux et métalloïdes)
- Oxydes et hydroxydes
- Sulfures
- Sulfates
- Carbonates
- Phosphates
- Halogénures.

Sans oublier les nitrates et borates ainsi que les chromates, molybdates et tungstates de même que les arseniates et vanadates beaucoup plus rares.

LES ELEMENTS NATIFS :

Le terme “natif” se dit d’un élément chimique, souvent métallique qui se trouve dans la nature à l’état pur. Il existe environ 80 éléments ou alliages natifs. Les éléments natifs sont assez rares mais ont une grande importance économique. On distingue les métaux natifs (or, argent, cuivre), les semi-métaux (Bi, Sb, As, Te,...) et les métalloïdes (carbone, soufre).

Les métaux natifs :

Cuivre, argent, or, platine, nickel et exceptionnellement chrome et fer sont parfois présent à l’état natif. Ils se présentent très rarement sous forme de cristaux mais plutôt sous forme de copeaux, feuillets, fils, dendrites et parfois de pépites. Leur dureté varie de 2 à 5 et leur densité, forte, de 8 (Fe) à 21 (Pt). Ils possèdent un fort éclat métallique mais pas de clivages et sont malléables. Ce sont également de bons conducteurs du courant.

Les semi-métaux natifs :

Bismuth, antimoine, arsenic, tellure sont des semi-métaux. Leur éclat est variable (métallique à submétallique) et leur densité élevée. Ils sont plus ou moins malléables et présentent des clivages.

Les métalloïdes natifs :

Les métalloïdes (carbone, soufre) sont fragiles (sauf, bien sûr, le C diamant), peu denses et présentent de nombreuses formes, comme par exemple le carbone, dont les polymorphes les plus connus sont le graphite et le diamant.

LES OXYDES ET HYDROXYDES :

On dénombre environ 320 oxydes et hydroxydes. On a groupé d’une façon parfois un peu arbitraire les composés de métaux ou de métalloïdes avec oxygène ou des groupes d’hydroxydes avec, parfois, des remplacements par le fluor ou le chlore. On y inclut par tradition des « oxydes multiples » qui, d’un point de vue purement chimique, devraient être considérés comme des sels : spinelles, tantalates, niobates, certains titanates et quelques antimoniates et uranates.

Bien que les oxydes simples et les “oxydes multiples” présentent des propriétés très variables, on peut cependant remarquer certaines convergences entre les plus importants d’entre eux : **dureté parfois 8 (spinnelle, gahnite, ...)** ou **plus (corindon, nigérite,**

chrysobéryl, ...) et grande stabilité chimique d'où une faible solubilité et un point de fusion élevé, de même ils présentent souvent un bon clivage.

Par contre **les hydroxydes ont souvent une faible dureté, contrairement aux oxydes plus durs.**

On trouve une très grande diversité dans les conditions de gisements de ces minéraux. La plupart des oxydes simples et des « oxydes multiples » appartiennent aux domaines du **magmatisme**, du **métamorphisme** et de la **sédimentation marine**. La majeure partie des hydroxydes se trouve dans la zone d'oxydation des gîtes métalliques et, plus généralement, dans la **zone d'altération des roches**.

Les oxydes :

▪ Corindon	Rhomboédrique	Al_2O_3 ;
▪ Magnétite	Cubique	$\text{FeO Fe}_2\text{O}_3$
▪ Hématite	Rhomboédrique	Fe_2O_3 ;
▪ Ilménite	Hexagonal	FeTiO_3 ;
▪ Rutile	Quadratique	TiO_2 ;
▪ Anatase	Quadratique	TiO_2 ;
▪ Chromite	Cubique	$\text{FeO Cr}_2\text{O}_3$;
▪ Cuprite	Cubique	Cu_2O
▪ Spinelles (12 espèces principales)	Cubique	$\text{R}_2\text{O}_3 \text{ MO}$

avec $\text{R} = \text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}$ et $\text{M} = \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Zn}, \text{Mn}$

Les Hydroxydes :

▪ Brucite	Hexagonal	$\text{Mg}(\text{OH})_2$;
▪ Gibbsite	Monoclinique	$\text{Al}(\text{OH})_3$;
▪ Diaspore	Orthorhombique	AlO_2H ;
▪ Goethite	Orthorhombique	$\text{FeO}(\text{OH})$;

LES SULFURES ET SULFOSELS :

Dans cette classe, on relève environ 350 minéraux. Dans la sous-classe des sulfures, on trouve des sulfures, des séléniures, des tellurures, des arséniures et des antimoniures des métaux suivants : Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Ge, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Pt, Sb, Sn, Tl, V, W et Zn.

Dans les sous-groupes des sulfosels, on trouve des sulfo-arséniures, sulfo-antimoniures, sulfo-bismitures, sulfo-stannures, sulfo-germaniures des métaux suivants : Ag, Cu, Pb, Sn, Bi, Fe, Sb, Tl.

Cette classe est l'une des plus importantes de la minéralogie car on y trouve les minerais de base de presque tous les métaux autres que Fe, Mn et les métaux légers et précieux.

Les minéraux de cette classe sont généralement tendres et fragiles, exception faite de la pyrite.

La plupart des sulfures et des composés analogues se trouvent dans des **gîtes d'origine hydrothermale**, ces minéraux sont également formés en milieu biogène et en condition de diagenèse anoxique.

Les sulfures :

▪ Pyrite	Cubique	FeS ₂ ;
▪ Pyrrhotite	Hexagonal	FeS ;
▪ Chalcopyrite	Quadratique	CuFeS ₂ ;
▪ Galène	Cubique	PbS ;
▪ Blende ou sphalérite	Cubique	(Zn, Fe)S ;
▪ Marcassite	Orthorhombique	FeS ₂ ;
▪ Cinabre	Hexagonal	HgS ;

Les sulfosels :

▪ Réalgar	Monoclinique	As ₄ S ₄ ;
▪ Orpiment	Monoclinique	As ₂ S ₃ ;
▪ Stibine	Orthorhombique	Sb ₂ S ₃ ;
▪ Molybdénite	Hexagonal	MoS ₂ ;

LES SULFATES :

Les sulfates (environ 200 espèces) sont **généralement de faible dureté et densité**. Ils ont **généralement peu de couleur et tous sont fragiles et tendres**. Ce sont des minéraux secondaires trouvés dans des **zones d'oxydation** ou dans des **dépôts d'évaporation**.

▪ Gypse	Monoclinique	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
▪ Anhydrite	Orthorhombique	CaSO_4 ;
▪ Celestine	Orthorhombique	SrSO_4 ;
▪ Barytine	Orthorhombique	BaSO_4 ;
▪ Anglésite	Orthorhombique	PbSO_4 .

LES CARBONATES :

Les carbonates ont une **faible dureté**, ils sont **fragiles et se clivent, en général, facilement**. Ils **entrent pour la plupart en effervescence avec les acides** (dégagement de dioxyde de carbone). **D'aspect pierreux, ils sont incolores, blancs ou peu colorés** à l'exception des carbonates de fer, cuivre, cobalt, manganèse, chrome et uranium. Leur **dureté est inférieure à 5**. Les carbonates hydratés sont essentiellement liés au cycle exogène. A l'état anhydre, ils peuvent se rencontrer en contexte éruptif (carbonatites).

▪ Calcite	Rhomboédrique	CaCO_3 ;
▪ Aragonite	Orthorhombique	CaCO_3 ;
▪ Magnésite	Rhomboédrique	MgCO_3
▪ Dolomite	Rhomboédrique	$(\text{Ca, Mg})\text{CO}_3$;
▪ Sidérite	Rhomboédrique	FeCO_3 ;
▪ Rhodocrosite	Rhomboédrique	MnCO_3 .

LES PHOSPHATES :

Ces minéraux sont le plus souvent **très colorés** et forment parfois de **grands cristaux**. Il s'agit de **minéraux accessoires des roches magmatiques et métamorphiques**.

▪ Apatite	Hexagonal	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 (\text{OH}, \text{F}, \text{Cl}) ;$
▪ Monazite	Monoclinique	$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Th}) \text{PO}_4 ;$
▪ Xénotime	Quadratique	$(\text{PO}_4)\text{Y} ;$
▪ Variscite	Orthorhombique	$\text{Al} (\text{PO}_4), 2\text{H}_2\text{O} ;$

LES HALOGENURES :

Quelques 130 minéraux appartiennent à cette classe. Les anions sont représentés par les éléments halogènes : F, Cl, Br, et I. Les chlorures (Cl) et les fluorures (F) sont les composés les plus fréquents de cette classe. Les propriétés physiques communes à ces halogénures sont leur **fragilité**, leur **dureté** et leur **densité faibles**. Ces minéraux sont **souvent solubles dans l'eau**. Ils se trouvent dans des **sédiments évaporitiques** et des **émanations volcaniques sublimés des fumerolles**.

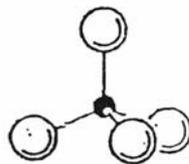
▪ Fluorite	Cubique	$\text{CaF}_2 ;$
▪ Halite	Cubique	$\text{NaCl} ;$
▪ Sylvite	Cubique	$\text{KCl}.$

LES ESPECES MINERALES SILICATEES

Les silicates, près de 600 espèces, constituent avec la silice environ 95% en poids de la totalité des minéraux formant la croûte terrestre et ± 100 % du manteau, d'où leur extrême importance. Ils se reconnaissent assez facilement : éclat généralement vitreux, transparents à translucides, forte dureté, densité moyenne (de 2,6 à 3,3), poussière incolore à grise même pour des silicates fortement colorés.

Les NESOSILICATES :

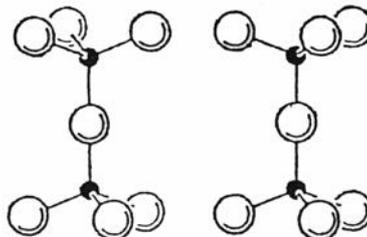
tétraèdres isolés $[\text{SiO}_4]^{4-}$



Olivine ou Péridots	Orthorhombique	$(\text{Mg, Fe})_2 \text{SiO}_4$
Grenat (famille des)	Cubique	$(\text{Ca, Fe, Mg})_3 \text{Al}_2 (\text{SiO}_4)_3$
Zircon	Quadratique	Zr SiO_4
Andalousite	Orthorhombique	$\text{SiO}_2 \text{Al}_2\text{O}_3$
Sillimanite	Orthorhombique	$\text{SiO}_2 \text{Al}_2\text{O}_3$
Disthène	Triclinique	$\text{SiO}_2 \text{Al}_2\text{O}_3$
Staurotide	Orthorhombique	$\text{Fe SiO}_2 \text{Al}_2\text{O}_3 (\text{OH})_2$
Spinelles (famille des)	Cubique	MgAl_2O_4
Titanite	Monoclinique	$\text{CaTiO}_2 \text{SiO}_3$

Les SOROSILICATES :

tétraèdres groupés par deux $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$

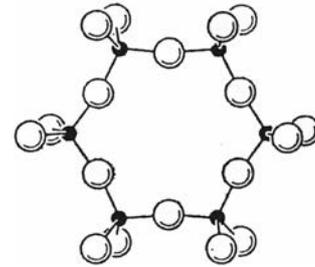
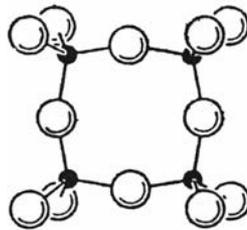
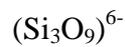
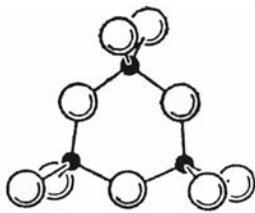


Les silicates présentant cette structure sont très rares dans la nature. Pratiquement, seules se rencontrent les mélilites et l'hémimorphite. Cependant, lorsqu'il y a excédent d'oxygène par rapport à Si, se distingue la famille des sorosubsilicates :

Hémimorphite	Orthorhombique	$Zn_4 Si_2O_7 (OH)_2 H_2O$
Lawsonite	Orthorhombique	$Ca Al_2 Si_2O_7 (OH)_2 H_2O$
Epidotes :		
Zoïsite	Orthorhombique	$Ca Al_3 (SiO_4)_3 OH$
Epidote	Monoclinique	$Ca_2 (Fe, Al)_3 (SiO_4)_3 OH$

Les CYCLOSILICATES :

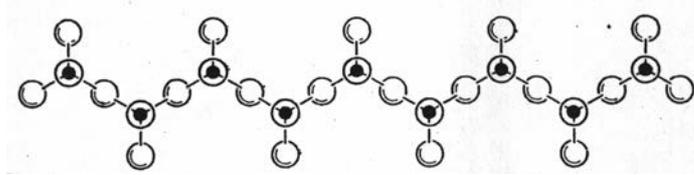
tétraèdres en anneaux de 3, 5, 6 ou plus



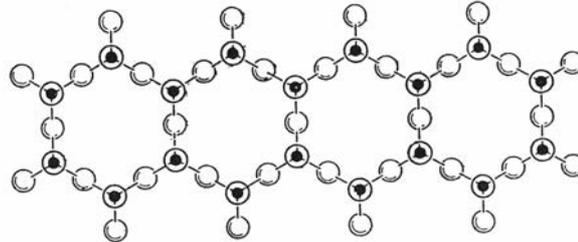
Béryl	Hexagonal	$Be_3 Al_2 (SiO_3)_6$
Tourmaline	Rhomboédrique	$X Y_9 (BO_3)_3 (SiO_3)_6 (OH,F)_4$ avec X = Na, Ca, Li, Rb et Y = Al, Mg, Fe, Ti, Cr, Cu
Cordiérite	Orthorhombique, pseudo-hexagonale	$(Fe, Mg)_2 Al_4 Si_5O_{18}$

Les INOSILICATES :

tétraèdres en chaînes simple



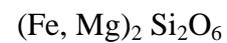
tétraèdres en chaînes double



à 1 chaîne :

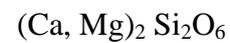
Orthopyroxènes (famille des)

Orthorhombique



Clinopyroxènes (famille des)

Monoclinique



à 2 chaînes :

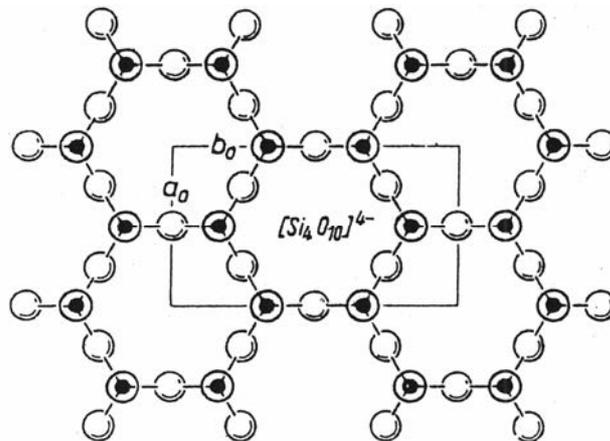
Amphiboles (famille des)

Monoclinique



Les PHYLLOSILICATES :

tétraèdres en couches avec intervention de Mg, Fe, K



Talc

Monoclinique



Biotite

Monoclinique



Muscovite

Monoclinique



Chlorite (famille de la)
(OH)₈

Monoclinique



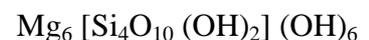
Kaolinite

Triclinique



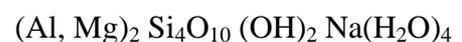
Serpentines (famille des)

Monoclinique ou Orthorhombique



Smectite Montmorillonite (fam.)

Monoclinique



Glauconite

Monoclinique (K, Na, Al)₂ (Fe, Al, Mg)₄ [Si₆O₂₀] (OH)₄

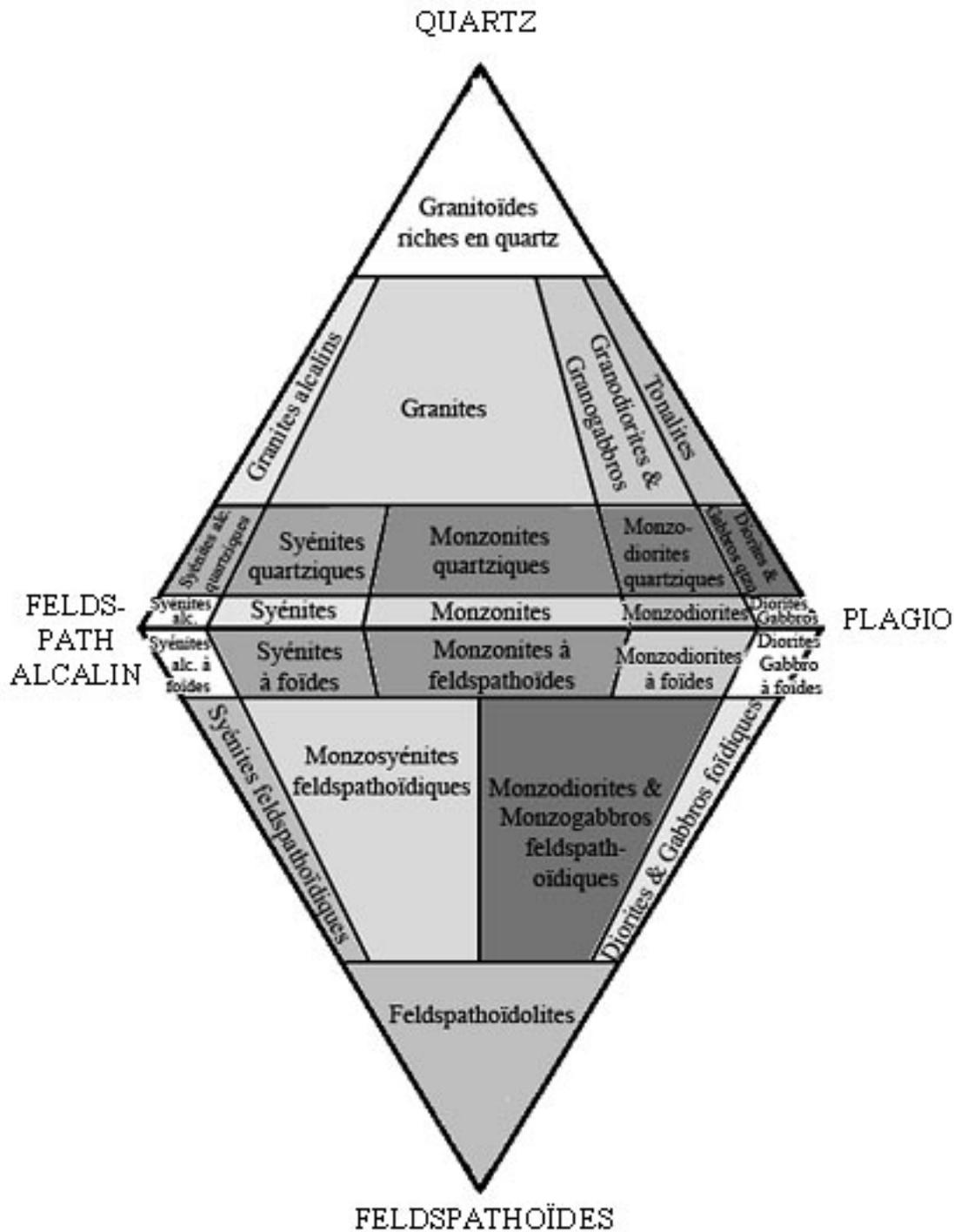
Les TECTOSILICATES :

Les tétraèdres SiO₄ ont tous leurs sommets en commun.

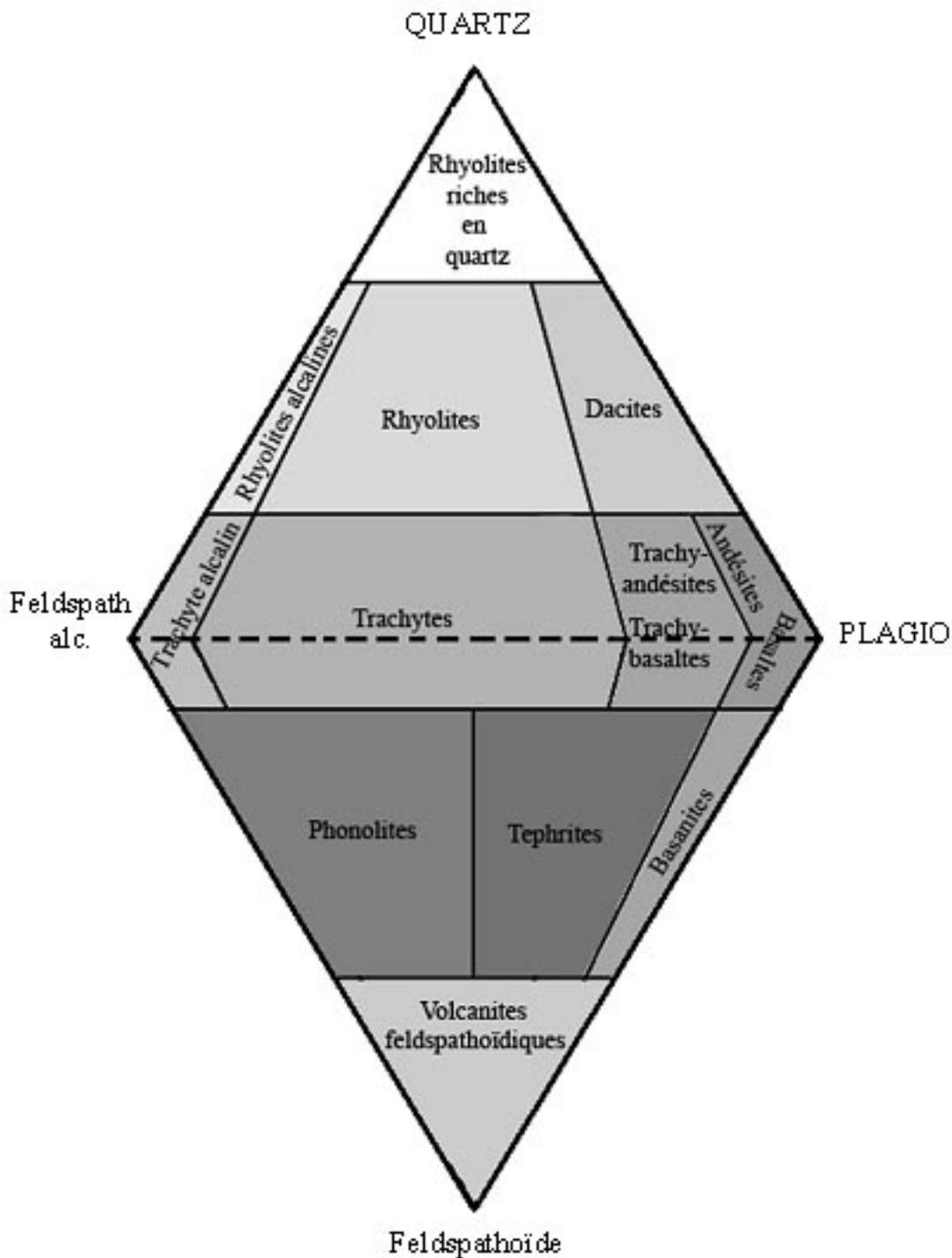
Quartz	Hexagonal	SiO ₂
Orthose	Monoclinique	K Al Si ₃ O ₈
Albite	Triclinique	Na Al Si ₃ O ₈
Anorthite	Triclinique	Ca Al Si ₃ O ₈
Zéolites (46 espèces):		
Natrolite	Orthorhombique	Na ₂ (Si ₃ Al ₂ O ₁₀), 2H ₂ O
Heulandite	Monoclinique	Ca (Al ₂ Si ₇ O ₁₈), 6H ₂ O
Analcime	Cubique	Na (Si ₂ AlO ₆), H ₂ O
Feldspathoïdes :		
Néphéline	Hexagonal	Na ₃ K (SiAlO ₄)
Leucite	Quadratique	K (SiAlO ₆)
Sodalite	Cubique	(Na ₈ Cl ₂) (SiAlO ₄) ₆
Noséane	Cubique	(Na ₂ SO ₄) (SiAlO ₄) ₆
Häüyne	Cubique	(Na, Ca) ₈₋₄ (SO ₄) ₁₋₂ (SiAlO ₄) ₆

CLASSIFICATION DES ROCHES PLUTONIQUES

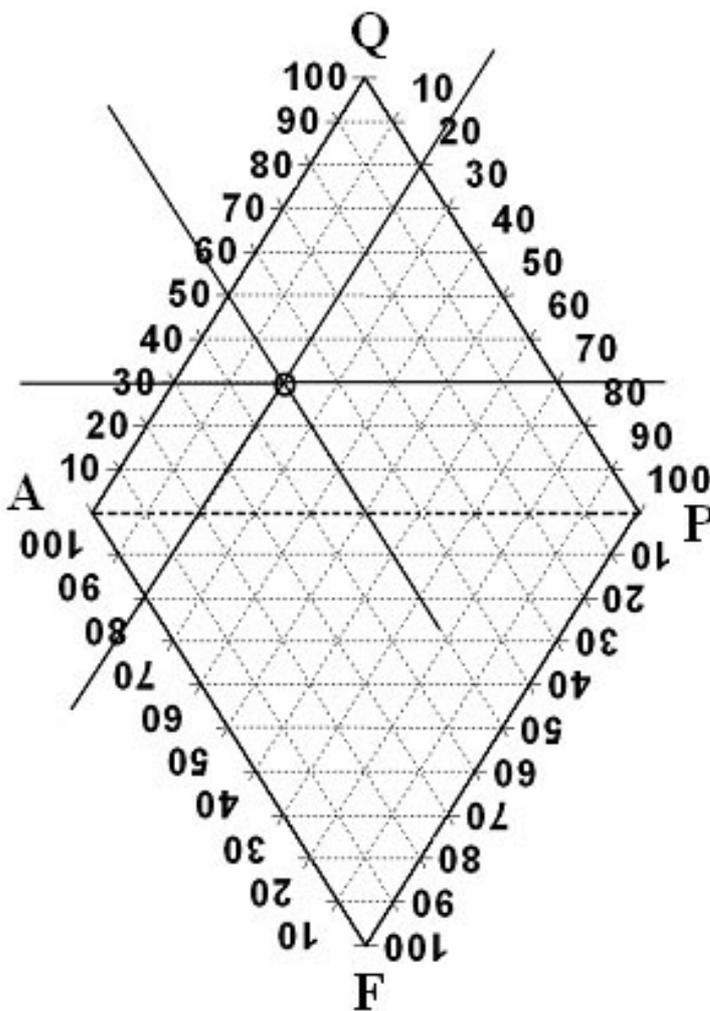
(Streckeisen, 1967)



CLASSIFICATION DES ROCHES VOLCANIQUES (Streickeisen, 1967)



PRINCIPE DE LECTURE D'UN DIAGRAMME TERNAIRE.



Le point dont on veut déterminer la composition se trouve dans la moitié supérieure du losange donc on travaillera dans le diagramme ternaire correspondant à cette moitié supérieure, à savoir le triangle AQP.

Pour déterminer le pourcentage en quartz (Q) il faut tracer la parallèle à l'axe opposé à Q (soit l'axe AP) passant par le point dont on souhaite déterminer la composition. Le pourcentage de Q se lit alors sur l'axe AQ, ceci sachant que A = 0 % de Q et Q = 100 % de Q. Ici on a donc $x = 30\%$ de Q.

Pour déterminer le pourcentage en alcalins (A) il faut tracer la parallèle à l'axe opposé à A (soit l'axe QP) passant par le point dont on souhaite déterminer la composition. Le pourcentage de A se lit alors sur l'axe AP, ceci sachant que P = 0 % de A et A = 100 % de A. Ici on a donc $y = 50\%$ de A.

Pour déterminer le pourcentage en plagioclases (P) il faut tracer la parallèle à l'axe opposé à P (soit l'axe AQ) passant par le point dont on souhaite déterminer la composition. Le pourcentage de P se lit alors sur l'axe QP, ceci sachant que Q = 0 % de P et P = 100 % de P. Ici on a donc $z = 20\%$ de P.

Vérifier alors que $x + y + z = 100\%$

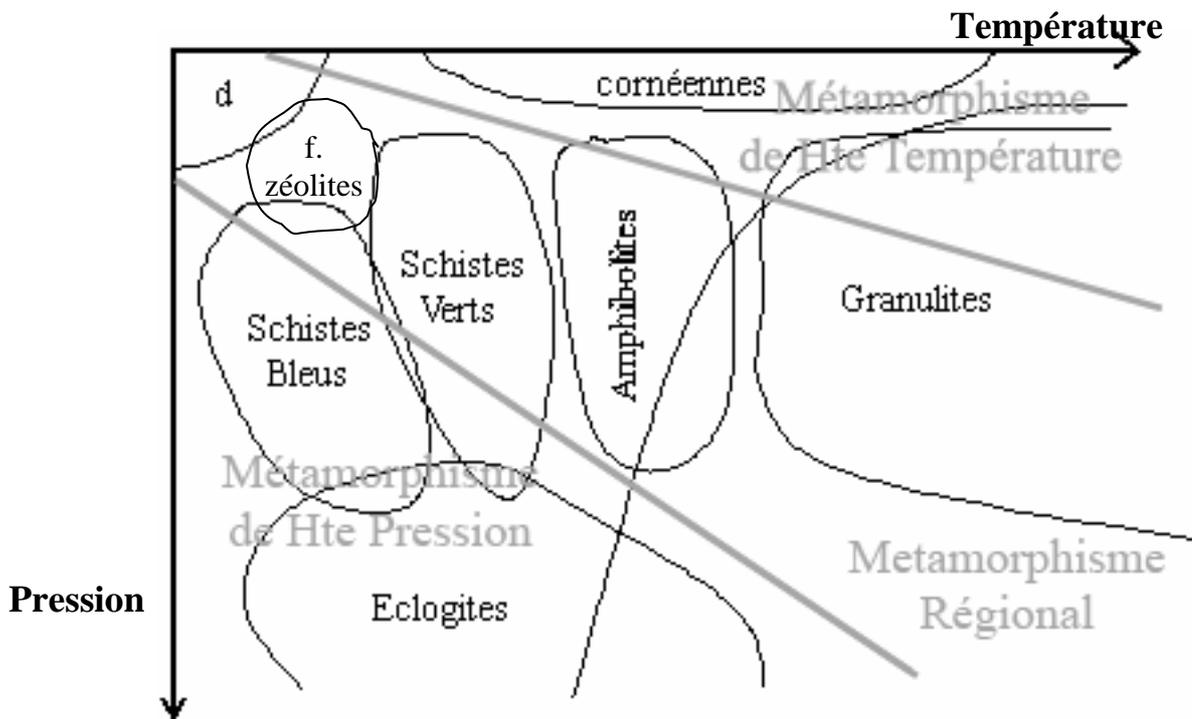
Attention les diagrammes de Streickesen ne sont basés que sur les minéraux blancs (en fait « clairs »), il faut donc faire abstraction d'éventuels pourcentages en minéraux colorés lorsque l'on se sert de tels diagrammes.

TABLEAU RECAPITULATIF DE LA COMPOSITION EN MINÉRAUX DES ROCHES MAGMATIQUES

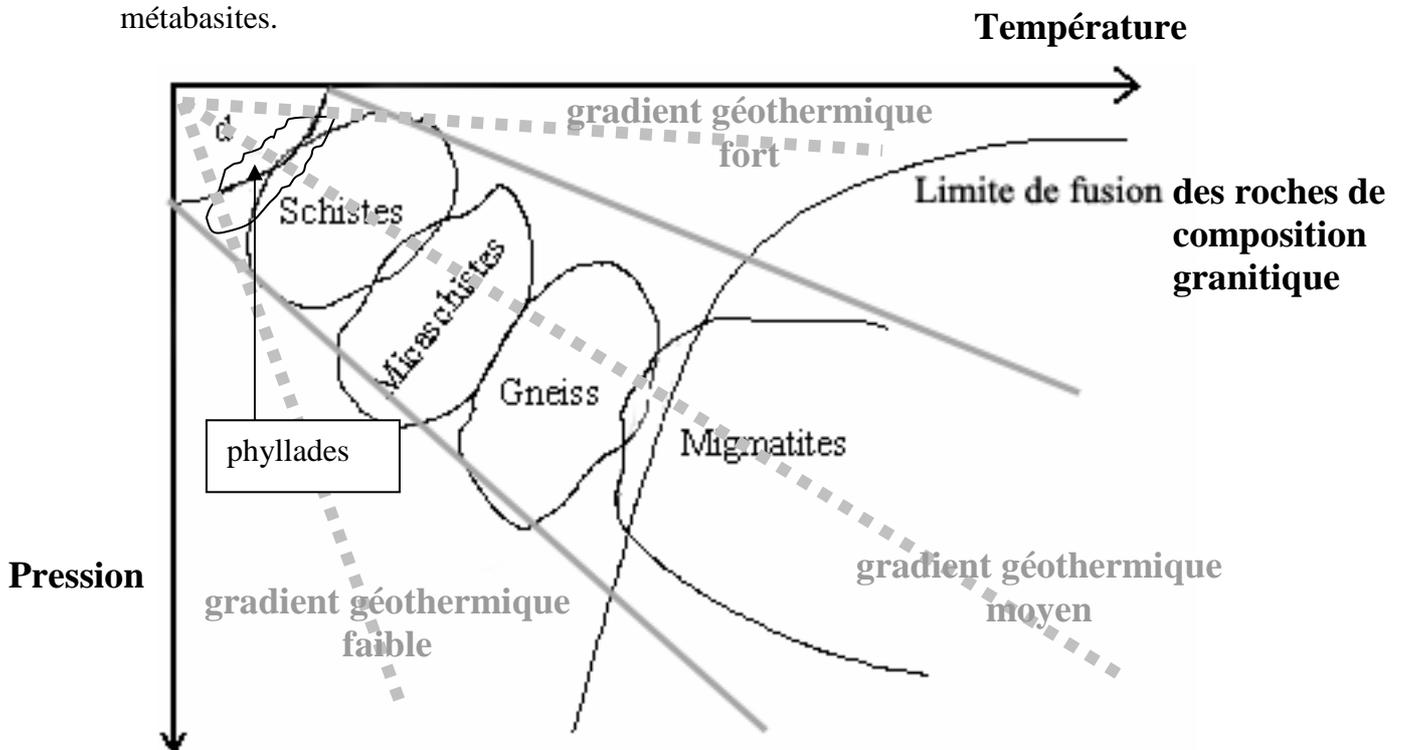
Chimie	Minéraux Blancs	Quartz + Felds	Felds	Felds + Foïdes	Minéraux colorés
roche acide (claire)	FK plagio Na	<u>granite</u>	<u>syénite</u>	<u>syénite-néphéline</u>	micas
		<i>rhyolite</i>	<i>trachyte</i>	<i>phonolite</i>	
intermédiaire	plagio Na	<u>diorite quartzique</u>	<u>diorite</u>	<u>essexite</u>	amphibole pyroxène
		<i>dacite</i>	<i>andésite</i>	<i>téphrite</i>	
basique (sombre)	plagio Ca	<u>gabbro quartzique</u>	<u>gabbro</u>	<u>théralite</u>	pyroxène olivine
		-	<i>basalte</i>	<i>basanite</i>	

en italique les roches magmatiques volcaniques
en police droite les roches magmatiques plutoniques

LES FACIES METAMORPHIQUES



Les faciès du métamorphisme régional de ce graphique sont valables uniquement pour les métabasites.



Les faciès du métamorphisme régional de ce graphique sont valables uniquement pour les métapélites.

TEXTURES DES ROCHES MAGMATIQUES

➤ Les roches volcaniques

Hyaline (ou vitreuse) (A) : La roche à l'apparence du verre, elle est majoritairement composée de verre (à plus de 95 %), c'est-à-dire non cristallisée.

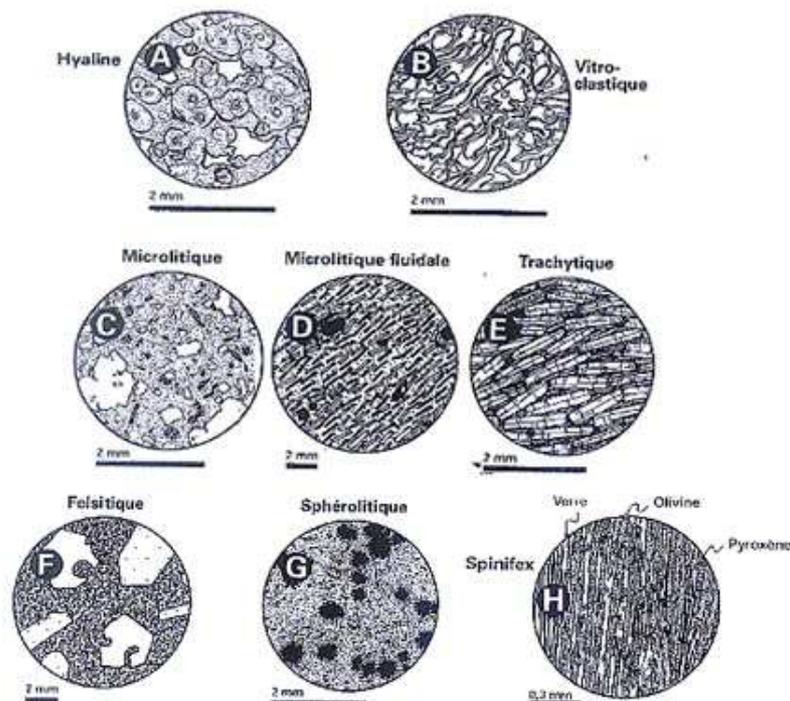
Microlitique (C) : Les cristaux ne sont pas visible à l'œil nu mais distinguables sous un microscope optique classique au sein d'une pâte amorphe. Lorsqu'une orientation des cristaux est visible on parle de texture **microlitique fluidale (D)**. Lorsqu'une (ou plus) phase minérale est visible à l'œil nu on parle de texture **microlitique porphyrique (C)** car les minéraux en question sont des porphyres.

Trachytique (E) : Roche contenant moins de 10% de verre contenant des microlites ou/et des porphyres de feldspaths orientés en contact les uns avec les autres. Cette dénomination est parfois considérée comme synonymique de microlitique fluidale.

Felsitique (F) : Vieux terme désignant une roche initialement microlitique pour laquelle la pâte vitreuse a recristallisée très finement en microlites.

Sphérolitique (G) : La roche à une texture de base microlitique à laquelle s'ajoute des sphérolites, c'est-à-dire une cristallisation de minéraux fibro-radiés. Ces sphérolites peuvent soit être issus de la recristallisation du verre soit la résultante d'une cristallisation tardive rapide de minéraux aciculaire.

Spinifex (H) : Il s'agit d'un cas très particulier des komatiites où des olivines très allongées cristallisent au sein d'une pâte vitreuse.



➤ **Les roches intrusives (ou hypo-volcaniques)**

Grenue (11): Les grains sont tous visibles à l'œil nu. Lorsque certains minéraux sont pluricentimétriques on parle de texture **grenue porphyrique**.

Microgrenue: Equivalent à une texture microlitique avec absence totale de verre. Le plus souvent il y a présence de phénocristaux, il s'agit alors d'une texture **microgrenue porphyrique (10)**.

Poecilitique: Une phase minérale a cristallisé tardivement englobant les cristaux ayant précédemment cristallisés dans la roche.

Textures de cumulats: Ces textures sont caractéristiques d'une différenciation magmatique par cristallisation fractionnée. Ainsi on détermine plusieurs type de cristaux : les cristaux précoces appelés cumulus et les cristaux tardifs appelés intercumulus. On distingue ainsi :

Les **orthocumulats** : 50 à 70 % de cristaux cumulus non jointifs automorphes

Les **mésocumulats** : 75 à 90 % de cristaux cumulus jointifs automorphes

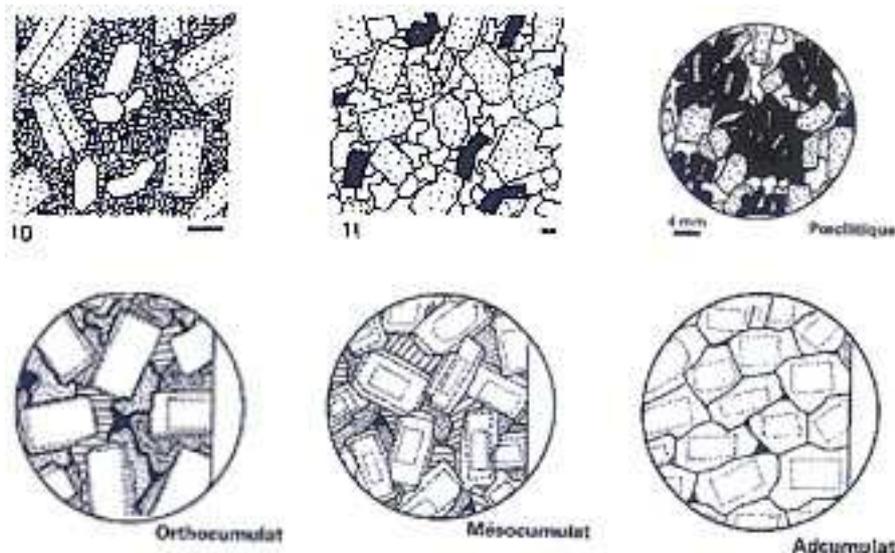
Les **adcumulats** : plus de 90 % de cristaux cumulus jointifs et xénomorphes

A noter la présence fréquente de zonations dans les cristaux cumulus.

Intergranulaire: Texture typique des dolérites caractérisé par des baguettes de plagioclase automorphes jointives cimentées par des cristaux xénomorphes ferro-magnésiens de type pyroxène. Cette texture est parfois appelée **doléritique**

Pegmatitique: Les minéraux sont de taille centimétrique à pluri-métrique et essentiellement proche de la composition granitique (avec ou sans mica).

Aplitique: Texture d'une roche contenant des cristaux de feldspath et quartz millimétriques.



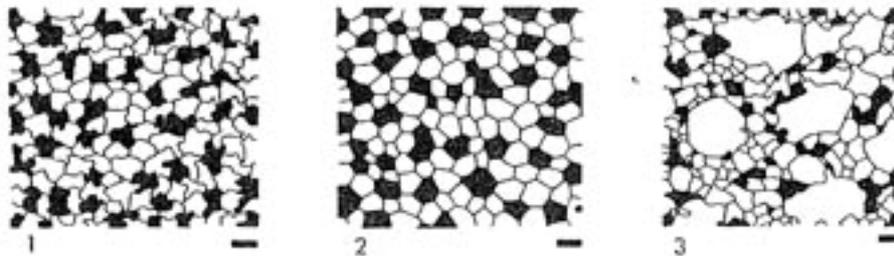
TEXTURES DES ROCHES METAMORPHIQUES

➤ Les roches sans orientations minéralogiques préférentielles (textures granoblastiques)

Isogranulaire (1) : Les minéraux sont xénomorphes et de même taille.

Polygonale ou "en mosaïque" (2) : De la même manière que pour la texture isogranulaire, les minéraux sont xénomorphes et de même taille, mais la différence se fait sur la forme des grains et leurs contacts. Ici les minéraux sont à bordures courbes et de nombreuses jonctions sont des points triples.

Hétérogranulaire (3) : Les minéraux sont de tailles différentes.



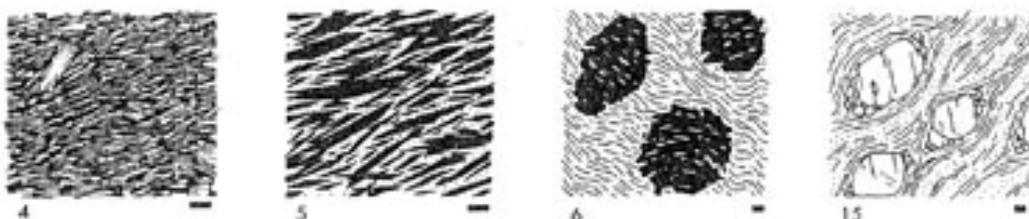
➤ Les roches dont la texture est contrôlée par l'habitus (la forme) des minéraux la constituant.

Lépidoblastique (4) : Les minéraux dominants sont en feuillets ou lamelles (type micas) et plus ou moins orientés.

Nématoblastique (5) : Les minéraux dominants sont en aiguilles ou en prismes allongés (forme aciculaire typique des amphiboles) déterminant une linéation minérale.

Porphyroblastique (6) : La roche contient de nombreux porphyroblastes dans une matrice plus fine.

Oeillée (15) : Minéraux sphériques et étirés englobés dans une matrice fine foliée.



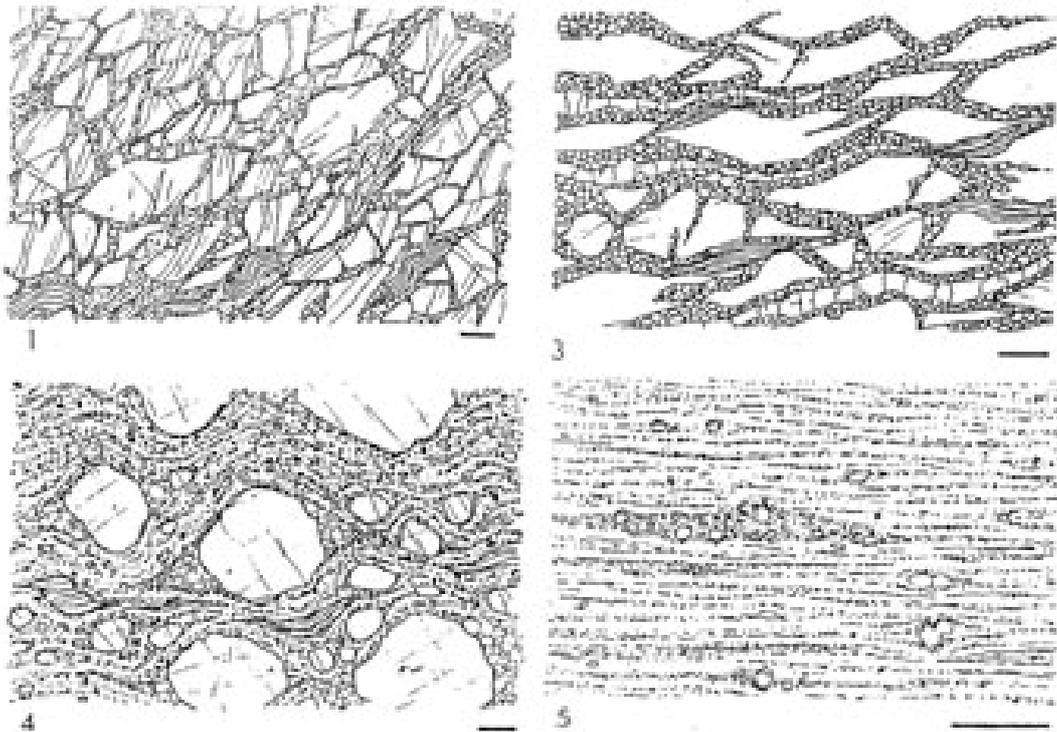
➤ **Les roches à textures de tectonites**

Texture cataclastique (1) : 30% maximum de clastes de moins de 0.2mm.

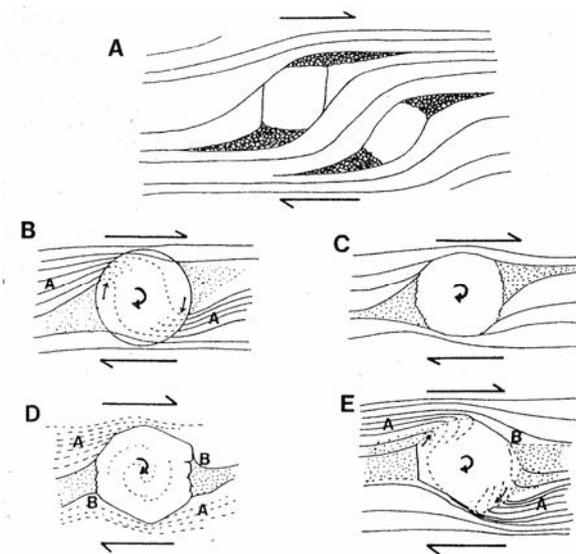
Texture protomylonitique (3) : de 50 à 95% de clastes englobés dans une matrice à grain fin, les quatz en rubans sont fréquents.

Texture mylonitique ocellée (4) : 10 à 50% de porphyroclastes ovoïdes (mono- ou polycristallins) de plus de 0.2mm de diamètre moulés par une matrice à grain fin.

Texture ultramylonitique (5) : 0 à 10% de porphyroclastes de moins de 0.2mm englobés et moulés par un matrice granoblastique foliée à grain fin.

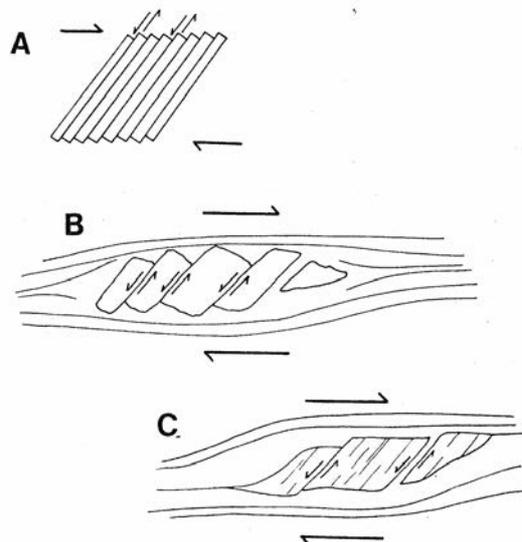


DETERMINATION DU SENS DE CISAILLEMENT



A : Figure schématique d'un œil. Les queues de cristallisation sont composées de matériel à grain fin de même composition que le porphyroclaste. Elles se disposent dans les plans de foliation dans la direction du cisaillement. La forme de la sigmoïde indique le sens du cisaillement.

B à E : Grenats rotationnels à ombres de pression. La rotation de la foliation indique le sens du cisaillement.



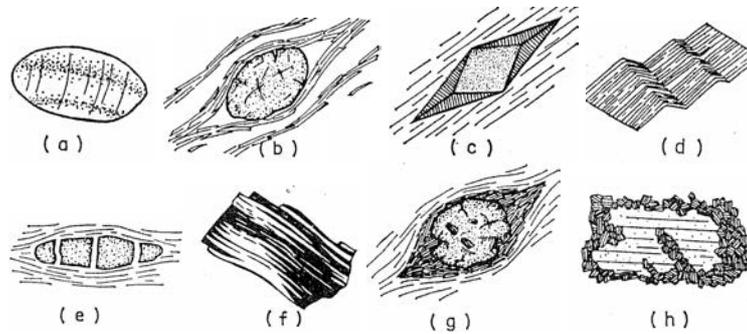
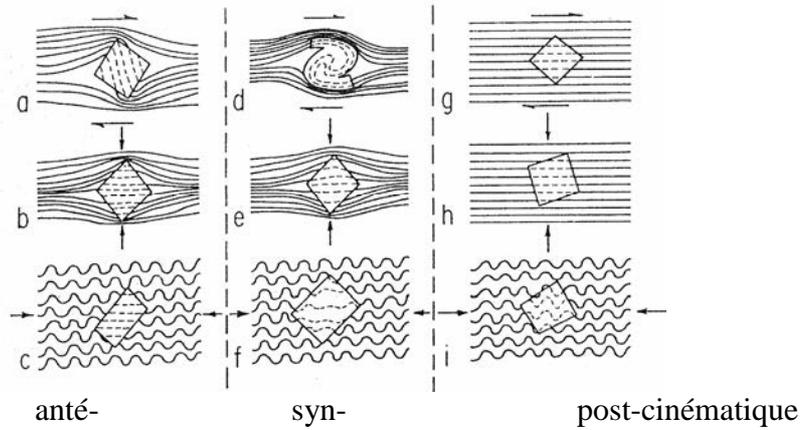
A : Schéma illustrant la fracturation d'un cristal et le déplacement des fragments dans une matrice ductile. Le sens de cisaillement des microfissures est opposé à celui intervenant dans la roche.

B : Exemple d'un feldspath

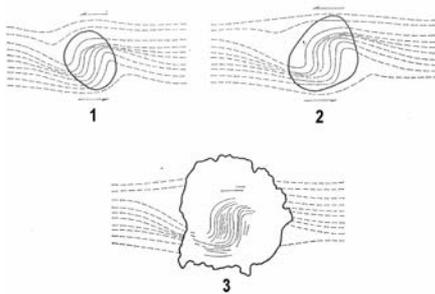
C : Exemple d'un mica.

GEOMETRIE ET DETERMINATION DES MINERAUX

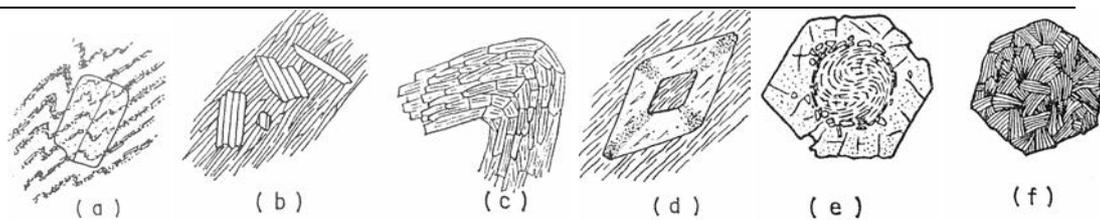
ANTE- SYN- ET POST- CINEMATIQUE



Exemples de minéraux anté-cinématiques.

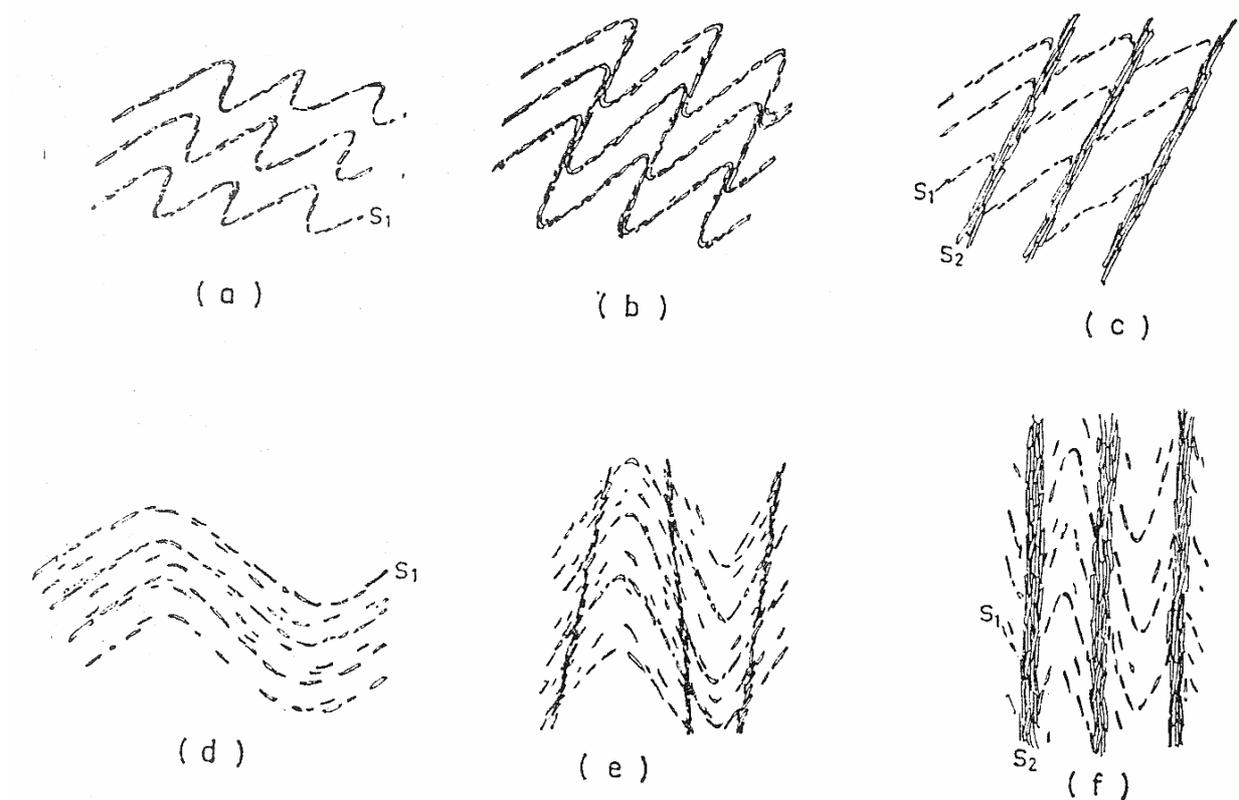


Formation d'un grenat hélicitique syn-cinématique



Exemples de minéraux post-cinématiques

DEVELOPPEMENT D'UNE SECONDE SURFACE PLANAIRE DURANT LA DEFORMATION

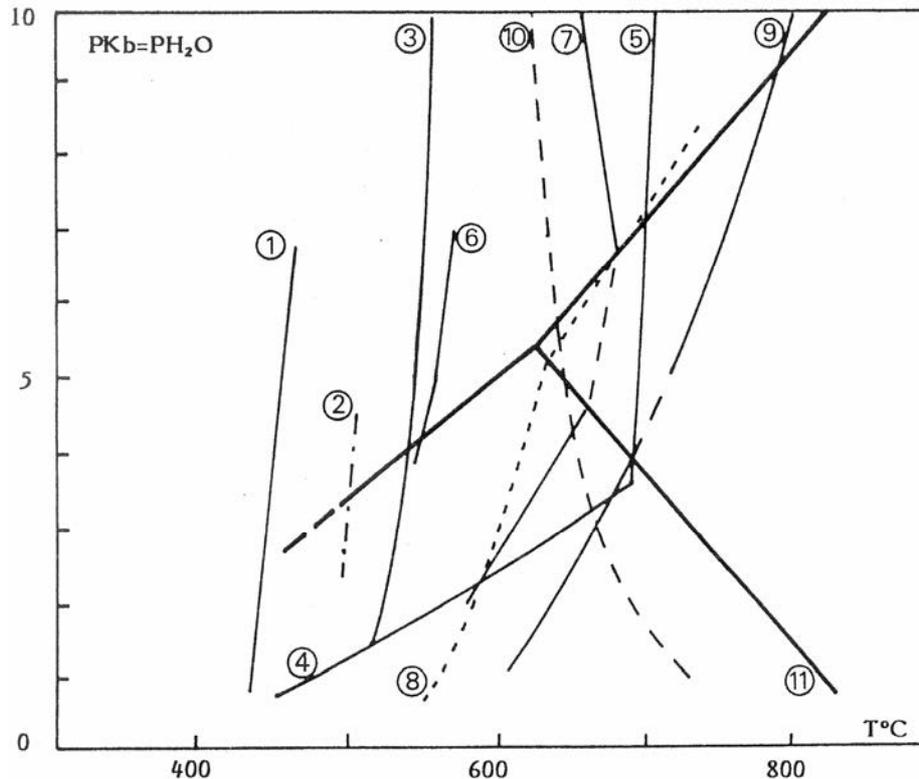


Deux exemples de développement d'une seconde surface planaire (S₂) durant la déformation de la première (S₁).

De (a) à (c) : évolution de la déformation et apparition en (c) de S₂

De (d) à (f) : évolution de la déformation et apparition en (f) de S₂

DIAGRAMME PRESSION - TEMPERATURE DE REACTIONS ENTRE PHASES SOLIDES



Légende :

- 1- stilpnomelane + muscovite / biotite + muscovite
Nitsch (1970) et Brown (1971)
in Winkler (1974). Springer Verlag ed. 320 p
- 2- Apparition du grenat almandin (courbe non publiée)
- 3- Fe-chloritoïde + Sil.Al. \rightleftharpoons Fe-staurotide + quartz + H₂O
- 4- Fe-staurotide + Quartz \rightleftharpoons Fe-cordiérite + Sil.Al. + H₂O
- 5- Fe-staurotide + quartz \rightleftharpoons almandin + Sil.Al. + H₂O
Richardson (1968) J. Petrol., 9, 468-488
- 6- chlorite + muscovite \rightleftharpoons staurotide
- 7- staurotide + muscovite \rightleftharpoons Sil.Al. + Biotite
Hoschek (1969) Contrib. Mineral. Petrol. 22, 208-232
- 8- chlorite + Sil.Al. \rightleftharpoons cordiérite + corindon + H₂O
Seifert (1973) Contrib. Mineral. Petrol. 41, 171-178
- 9- $P < 5 \text{ Kb}$: muscovite + quartz \rightleftharpoons orthose + Sil.Al. + H₂O
Althaus et al (1970) Neues Jb Min. Monatsh. 325-336
 $P > 5 \text{ Kb}$: muscovite + quartz \rightarrow liquide
Storre (1972) Contrib. Mineral. Petrol. 37, 87-89
- 10- quartz + albite + orthose + H₂O \rightarrow liquide
Merrill et al (1970)
in Winkler (1974)
- 11- Equilibre : disthène - sillimanite - andalousite
Richardson et al (1969) Am. J. Sci. 267, 259-272

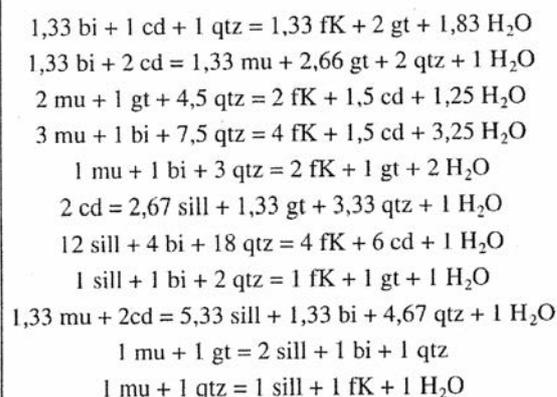
PARAGENESES MINERALES

	Métabasaltes	Métagéolites
<i>Très faible degré</i> Faciès des zéolites	Recristallisations hétérogènes laumontite, analcime, heulandite, wairakite	argiles interstratifiés
Basse pression - HT Faciès prehnite-actinote Cornéennes à albite et épidote Cornéennes à hornblende	albite + prehnite + actinote + chlorite albite + épidote + actinote + chlorite actinote + oligoclase hornblende + plagioclase ± diopside	muscovite + biotite + chlorite biotite + muscovite + cordiérite ± chlorite biotite + muscovite + andalousite muscovite + andalousite + cordiérite cordiérite + andalousite + feldspath K
Cornéennes à pyroxène	clinopyroxène + orthopyroxène + plagioclase ± olivine ± hornblende	
Faciès sanidinite	orthopyroxène + cordiérite + quartz orthopyroxène + sillimanite + quartz	mullite + quartz corindon + magnétite + anorthite + verre
Basse température - HP Faciès à prehnite et pumpellyite	prehnite + pumpellyite ± chlorite ± albite ± épidote pumpellyite + actinote lawsonite + albite + chlorite glaucofane + lawsonite	illite/muscovite + chlorite + albite + quartz
Faciès des schistes à glaucophane	glaucophane + zoïsite + paragonite + qtz	phengite + carpholite + chlorite + qtz phengite + chlorite + chloritoïde + disthène + qtz phengite + disthène + chloritoïde + talc + qtz phengite + chloritoïde + grenat + talc + qtz

Paragenèse minérales en contextes de BP-HT et HP-BT pour les roches à protolithes basiques et pélitiques.

	Métabasaltes	Métagéolites
Faciès des schistes verts	albite + épidote + chlorite + actinote ± stilpnomélane albite + épidote + actinote ± chlorite ± grenat	chlorite + muscovite + albite ± microcline chlorite + muscovite + biotite + albite chlorite + muscovite + chloritoïde + paragonite muscovite + biotite + albite ± chlorite ± grenat
Faciès des amphibolites	hornblende + épidote + Ca-plagioclase hornblende + plagioclase + grenat hornblende + plagioclase + diopside	staurotite + disth. ou sill. + biotite ± muscovite cord. ou gt + disth. ou sill. + biotite ± muscovite cord. ou gt + disth. ou sill. + biotite + feldspath K talc + disthène + grenat coésite
Faciès des élogites	omphacite + grenat	
Faciès des granulites	orthopyroxène + plagioclase grenat + clinopyroxène + quartz	cordiérite + sillimanite + feldspath K grenat + sillimanite + feldspath K grenat + disthène + feldspath K

Paragenèse minérales en contexte de métamorphisme régional pour les roches à protolithes basiques et pélitiques.



**Exemples de réactions entre phases solides
pouvant intervenir au cours du
métamorphisme.**

DETERMINATION DE QUELQUES-UNS DES PRINCIPAUX MINÉRAUX DES ROCHES MAGMATIQUES ET METAMORPHIQUES AU MICROSCOPE POLARISANT.

Olivine (Mg,Fe)₂SiO₄

Caractères macroscopiques

- Grains à éclat vitreux
- Vert olive à vert jaunâtre
- Dureté (D) : 6.5 à 7 – Masse volumique (ρ en g/cm³) : 3.5

Caractères microscopiques

L.N.

- Cristaux massifs, parfois allongés suivant (100)
- Pas de clivage
- Parfaitement incolore
- Relief fort
- Craquelures fréquentes

L.P.

- Bir. : $0.035 < d < 0.048$, teintes vives du 2ème ordre
- Ext. droite

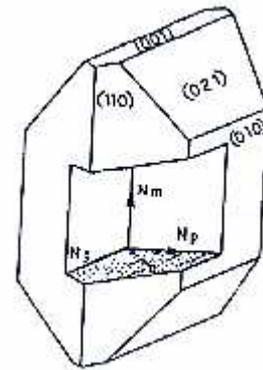
Caractères distinctifs

Se distingue des clinopyroxènes par l'absence de clivages.

Transformations

- Rubéfaction (oxydation du fer)
- Serpentinisation

Orthorhombique

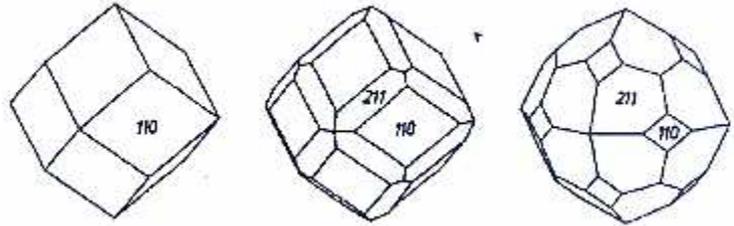


Grenats ($(Mg,Fe,Ca,Mn)_3(Al,Fe)_2(SiO_4)_3$)

Cubique

Caractères macroscopiques

- Cristaux isolés ou en amas.
Formes : dodécaèdres rhomboïdaux et trapézoèdres
- Rouge-brunâtre
- D : 7 – ρ : 4.2



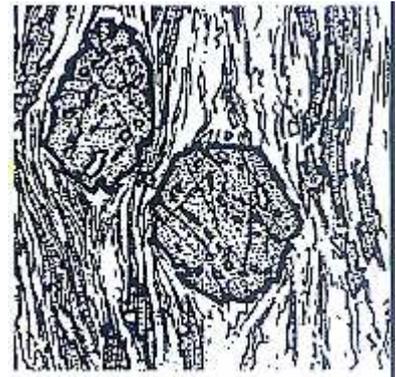
Caractères microscopiques

L.N.

- Section arrondies, craquelées.
- Pas de clivage
- Incolore ou rose rarement brunâtre
- Relief fort
- Inclusions parfois nombreuses

L.P.

- Isotrope



Caractères distinctifs

Relief fort et isotrope. Moins colorés que les spinelles en L.N.

Transformations

Fréquentes en chlorite et épidote.

Andalousite Al_2OSiO_4

Orthorhombique

Pseudo-quadratique

Caractères macroscopiques

- Cristaux prismatiques de section carrée
- Blanc à gris ou jaune, rose dans les pegmatites
- D : 6 à 7 – ρ : 3.15

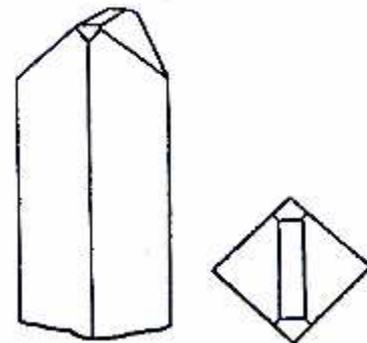
Caractères microscopiques

L.N.

- Section \perp à l'allongement : carrées, sub-losangiques.
- Clivage facile et régulier suivant (110)
- Incolore ou légèrement pléochroïque dans les roses.
- Relief moyen

L.P.

- Biréfringence faible
- Teintes grises ou jaunes du 1er ordre
- Ext. droite



Chialstolite

Caractères distinctifs

Section carrée, faible biréfringence

Transformations

Fréquentes en séricite ou kaolin.

Sillimanite Al_2OSiO_4

Orthorhombique

Caractères macroscopiques

- Fréquemment en longues aiguilles enchevêtrées, nacrées.
- Teintes claires
- D : 6 à 7 – ρ : 3.25

Caractères microscopiques

L.N.

- Fines aiguilles en gerbes (fibrolite), plus rarement en prismes.
- Clivage facile (010)
- Incolore, limpide ou grisâtre (fibrolite).
- Relief moyen

L.P.

- Biréfringence faible
- Teintes grises à oranges de la fin du 1er ordre
- Ext. droite

Caractères distinctifs

Souvent en gerbes de fibre, clivage // à la grande diagonale des sections de prisme.

Transformations

A basse température en muscovite. Peu altérable en surface

Disthène Al_2OSiO_4

Triclinique

Caractères macroscopiques

- Prismes allongés, aplatis.
- Teintes bleues souvent délavées en gris à ocre
- D : 5 à 7 – ρ : 3.6

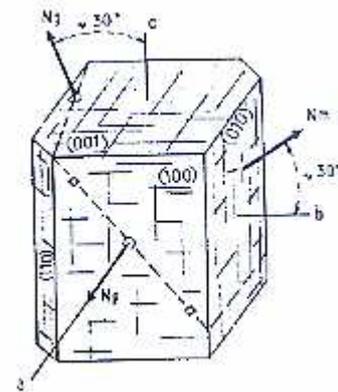
Caractères microscopiques

L.N.

- Sections en formes de rectangles ou parallélogrammes.
- Deux Clivages : facile (100) et moins parfait (010) à 74° sur les sections transversales au prisme.
- Incolore.
- Relief fort.

L.P.

- Biréfringence faible
- Teintes jaune à orangé clair du 1er ordre
- Sur les sections allongées : ext. entre 0 et 30° .
- Plusieurs macles possibles.



Caractères distinctifs

Fort relief, clivages, extinction souvent roulante.

Transformations

Altération en phyllites.

Staurotide $\text{Al}_2\text{OSiO}_4\text{Fe}(\text{OH})_2$

Orthorhombique

Caractères macroscopiques

- Prismes allongés, aplatis.
- Macles en croix fréquentes
- Teintes brun plus ou moins foncé
- $D : 7 - \rho : 3.7$

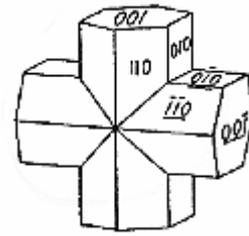
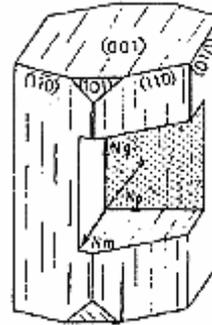
Caractères microscopiques

L.N.

- Sections variables.
- Clivages imparfaits peu marqués
- Pléochroïsme dans les jaunes.
- Relief fort.
- Inclusions très fréquentes et nombreuses

L.P.

- Biréfringence faible
- Teintes grises du 1er ordre
- Ext. droite.

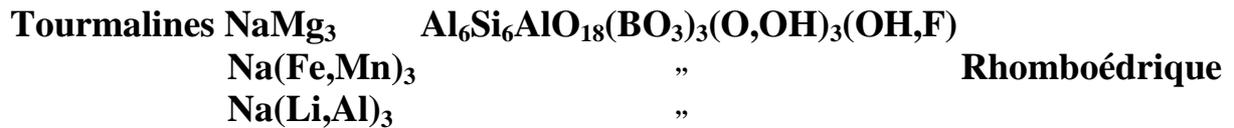


Caractères distinctifs

Couleurs, pléochroïsme, inclusions de quartz très fréquentes.

Transformations

Altération en phyllites.



Caractères macroscopiques

- Faces des prismes courbes et striées, sections triangulaires.
- Pas de clivages et macles apparentes.
- Couleurs variables, souvent noires mais peuvent être brunes, vertes, jaunes, bleues, rouges, roses ou incolores et parfois zonées
- D : 7 – ρ : 3

Caractères microscopiques

L.N.

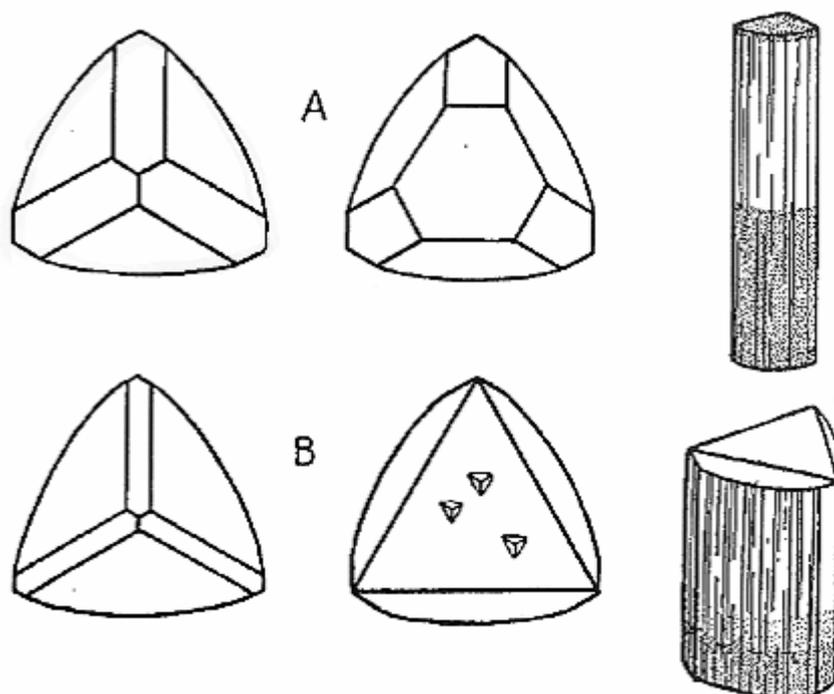
- Sections transversales souvent zonées de couleur brun, verdâtre, jaune ou bleu.
- Pléochroïsme **inverse** très net.
- Relief fort.

L.P.

- Biréfringence faible mais croissante selon les teneurs en fer
- Teintes du 2ème et 3ème ordre
- Ext. droite des sections allongées.

Caractères distinctifs

Forme et zonage des sections basales, pléochroïsme inverse.



Orthopyroxènes (Mg,Fe)₂Si₂O₆ Enstatite

Orthorhombique

Caractères macroscopiques

- Prismes massifs, trapus.
- Macles rares
- Teinte brune noire foncée
- D : 5 à 6 – ρ : 3.2 à 3.6

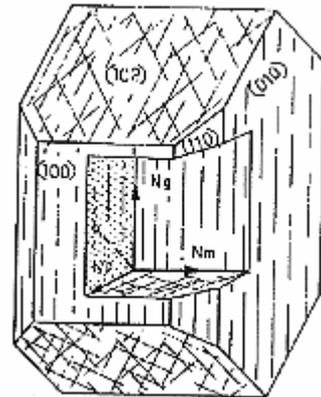
Caractères microscopiques

L.N.

- Sections variables.
- Deux clivages (110) orthogonaux très marqués mais interrompus en section basales. clivage (010) donne éventuellement une striation fine régulière supplémentaire.
- Pour les variétés riches en fer : pléochroïsme dans les verts-jaunes.
- Relief assez fort.

L.P.

- Biréfringence faible
- Teintes blanches et jaunes orangés du 1er ordre
- Ext. droite.
- Fines inclusions de Cpx fréquentes dans le clivage (010)



Caractères distinctifs

Clivages, extinction, teintes LP du 1er ordre.

Transformations

Serpentinisation ou talcification.

Clinopyroxènes (Mg,Fe,Al)Ca(SiAlO₆) Augite MgCaSi₂O₆ Diopside

Monocliniques

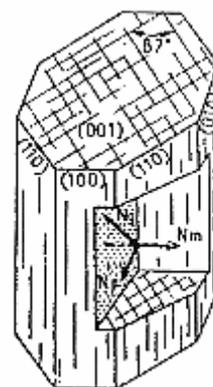
Caractères macroscopiques

- Prismes trapus à contours octogonaux.
- Teinte noire, éclat vitreux
- D : 5 à 6 – ρ : 3.4

Caractères microscopiques

L.N.

- Sections basales automorphes octogonales.
- Sections allongées rectangulaires.
- Deux clivages (110) orthogonaux interrompus en section basales. Un clivage (100) peut être apparent. sur les autres sections une seule famille de clivages.
- Incolore à faiblement coloré (beige à rose parfois verdâtre).



- Relief fort.

L.P.

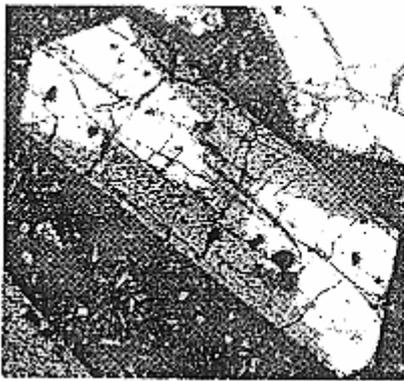
- Biréfringence faible
- Teintes jusqu'au 2nd ordre parfois anormales
- Ext. entre 35 et 48°.
- structure en "sablier" fréquente (attention ce n'est pas une macle), zonages fréquents.

Caractères distinctifs

Clivages, extinction, teintes LN et LP permettent d'éviter la confusion avec olivine, Opx ou amphibole.

Transformations

Amphibolitisation en métamorphisme moyen. A basse temp. remplacement par chlorite, calcite, épidote, quartz.



Amphiboles $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH,F})_2$ Actinote

$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Si}_7\text{AlO}_{22})(\text{OH,F})_2$ Hornblendes

$\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH,F})_2$ Glaucophane

Monoclinique

Caractères macroscopiques

- Prismes prismatiques à sections hexagonales ou losangiques.
- Teinte blanche à verte (actinote), vert sombre ou brun noir (hornblendes), bleu nuit (glaucophane).
- D : 5 à 6 – ρ : 3.3

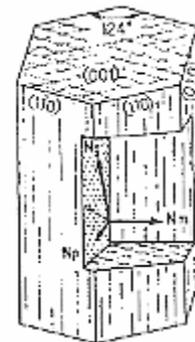
Caractères microscopiques

L.N.

- Sections automorphes fréquentes.
- Clivages à 120° en section basales. Parallèles sur les sections allongées
- Incolore (actinote), pléochroïque dans les verts ou brun (hornblende verte-actinote ou brune) ou bleue- violet (glaucophane).
- Relief moyen à fort.

L.P.

- Biréfringence moyenne



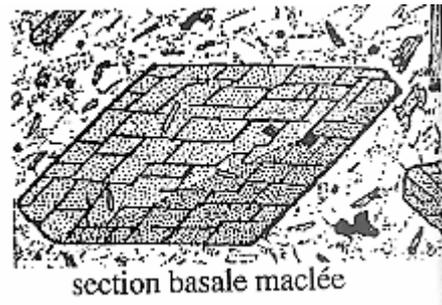
- Teintes du 1er au début du 2nd ordre (actinote, hornblende verte). 2ème et 3ème ordre : hornblende brune.
- Ext. entre 4 et 30°.

Caractères distinctifs

Clivages, pléochroïsme, angle d'extinction

Transformations

Talc, serpentine, chlorite, épidote.



Muscovite $KAl_2(Si_3AlO_{10})(OH,F)_2$

Monoclinique

Caractères macroscopiques

- Paillettes lamellaires, flexibles.
- Blanc nacré ou incolore.
- D : 2.5 à 3 – ρ : 2.8

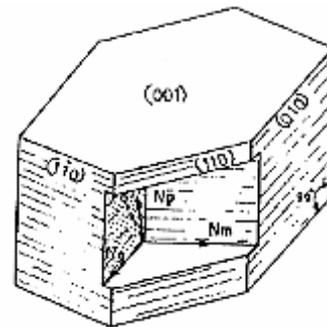
Caractères microscopiques

L.N.

- Sections incolores, limpides.
- Sections non basales présentent un clivage (001) très bien marqué.
- Relief moyen.

L.P.

- Biréfringence moyenne
- Teintes vives et pures du 2nd ordre.
- Ext. droite.



Caractères distinctifs

Clivages, teintes LN et LP.

Transformations

très altérable en argiles.

Biotite $K(Mg,Fe)_3(Si_3AlO_{10})(OH,F)_2$

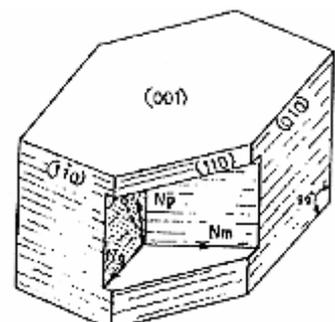
Monoclinique

Caractères macroscopiques

- Paillettes lamellaires parfois hexagonales.
- Brune à noire, brillante.
- D : 2.5 à 3 – ρ : 3

Caractères microscopiques

L.N.



- Sections non basales présentent un clivage (001) parfait.
- Relief moyen.
- Pléochroïsme direct brun rouge foncé à jaune clair dans les sections orthogonales au plan de clivage

L.P.

- Biréfringence moyenne
- Teintes du 2nd et 3ème ordre.
- Ext. droite.

Caractères distinctifs

Pléochroïsme, sections basales sans clivage ni pléochroïsme.

Transformations

altérable en argiles et chlorite.

Chlorite $(Mg,Fe)_5Al(Si_3AlO_{10})(OH)_8$

Monoclinique

Caractères macroscopiques

- Lamelles flexibles.
- Clivage facile
- Verte.
- D : 2.5 à 3 – ρ : 2.7

Caractères microscopiques

L.N.

- Clivage (001) parfait.
- Relief moyen.
- Incolore à verte.
- Pléochroïsme pour les chlorite vertes

L.P.

- Biréfringence faible
- Teintes grises à blanche mais plus souvent anormales cuivrées ou bleues (pétrole).
- Ext. droite.
- Macles possibles

Caractères distinctifs

Relief plus faible que pour les amphiboles vertes, extinction, clivages, teintes LP anormales.

Quartz SiO_2

Rhomboédrique

Caractères macroscopiques

- Souvent informes, parfois prismatiques.
- Incolore et transparent, blanc laiteux parfois brun, rouge, jaune, vert, violet, gris. Eclat vitreux
- D : 7 – ρ : 2.65

Caractères microscopiques

L.N.

- Rarement automorphe.
- Relief nul.
- Pas de clivage.
- toujours incolore et limpide

L.P.

- Biréfringence faible
- Teintes blanche du milieu du 1er ordre.
- Ext. droite, souvent roulante (déformation mécanique des cristaux).

Caractères distinctifs

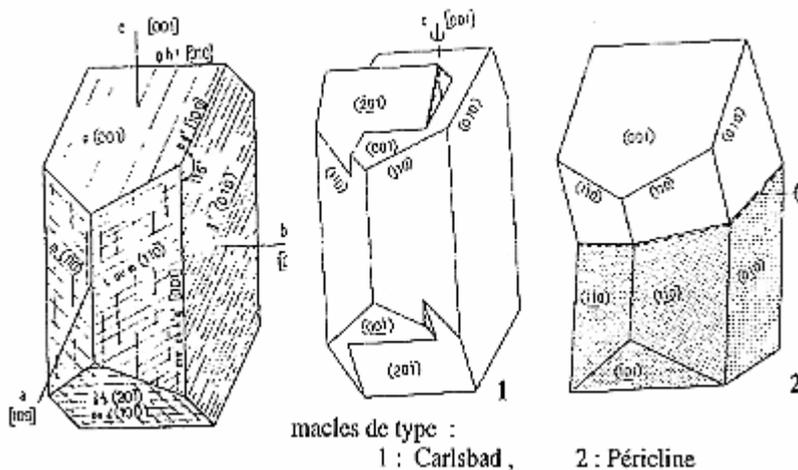
Limpidité, absence de clivage, forme trapue.

Transformations

inaltérable.

**Feldspaths potassiques $KS_i_3AlO_8$ Microcline
Sanidine
Orthose**

**Triclinique
Monoclinique
Monoclinique**



Caractères macroscopiques

- A la cassure présence de clivages et macles.
- Teintes claires variables selon les impuretés, les teintes blanches et roses étant les plus fréquentes.
- D : 6 – ρ : 2.5

Caractères microscopiques

L.N.

- Relief faible.
- Clivages (001) et (010) souvent difficiles à voir.
- Incolores plus ou moins sales

L.P.

- Biréfringence faible
- Teintes gris-blanc du 1er ordre.

- macles très fréquentes : simples (Carlsbad) ou multiples (polysynthétique) mais beaucoup plus fine que pour le plagioclase.

Caractères distinctifs

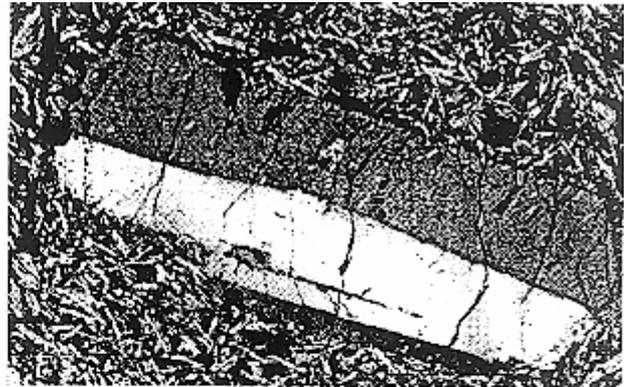
Relief, macles, altération facile.

Transformations

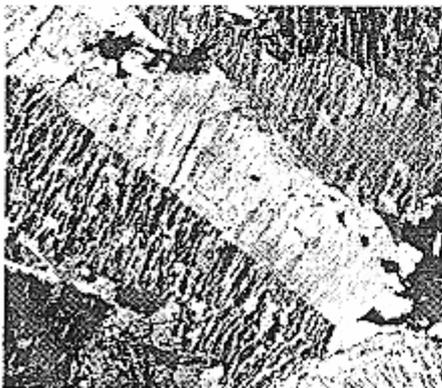
Se transforme aisément en séricite et kaolinite.



microcline vu en LP



sanidine maclée carlsbad (LP)



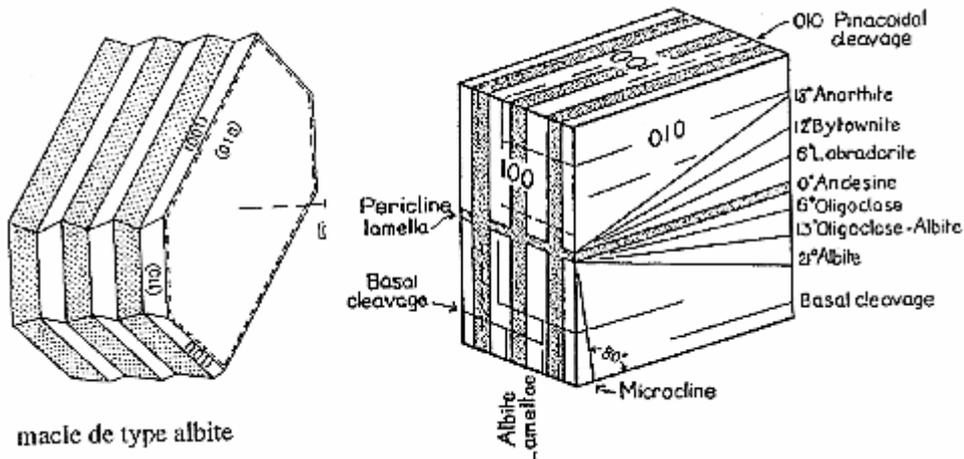
orthose maclée carlsbad et contenant des perthites



myrmékites

**Plagioclases $\text{NaSi}_3\text{AlO}_8$ Albite
 $\text{CaSi}_2\text{Al}_2\text{O}_8$ Anorthite**

Triclinique



Caractères macroscopiques

- A la cassure présence de clivages.
- Teintes blanches à grises.
- $D : 6 - \rho : 2.6 \text{ à } 2.76$

Caractères microscopiques

L.N.

- Relief très faible.
- Clivages fin souvent difficiles à voir.
- Incolores plus ou moins sales

L.P.

- Biréfringence faible
- Teintes blanc à gris-jaune du 1er ordre.
- macles polysynthétiques.

Caractères distinctifs

Relief, macles multiples dénombrables.

Transformations

Se transforme aisément en séricite.

Feldspathoïdes

Leucite KSi_2AlO_6

Caractères macroscopiques

- Trapézoèdres blancs plus ou moins translucides.
- D : 5.5 à 6 – ρ : 2.5

Caractères microscopiques

L.N.

- Relief faible.
- Généralement automorphe, sections globuleuses, octogonales
- Inclusions orientées fréquentes
- Incolores.

L.P.

- Biréfringence très faible (presque isotrope)
- macles polysynthétiques difficilement visibles.

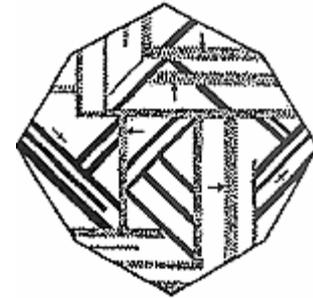
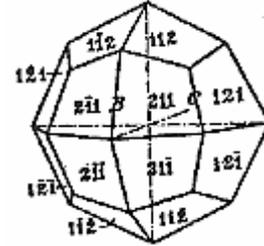
Caractères distinctifs

Forme, macles, très faible biréfringence.

Transformations

Se transforme aisément en analcime, néphéline, feldspath, kaolin ou séricite.

Quadratique



Häüyne $(\text{Na,Ca})_{4-8}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4,\text{S,Cl})$

Caractères macroscopiques

- Teintes bleu ciel.

Caractères microscopiques

L.N.

- Généralement automorphe hexagonaux.
- Inclusions noire-rouge orientées fréquentes
- bleuté.

L.P.

- Isotrope.

Caractères distinctifs

Forme, inclusions, isotropie.

Transformations

Zéolite, calcite.

Cubique



Néphéline $(\text{Na,K})\text{SiAlO}_4$

Hexagonal

Caractères macroscopiques

- Prismes hexagonaux blancs, gris, ocre.

Caractères microscopiques

L.N.

- Généralement automorphe hexagonaux ou rectangulaires.
- relief faible

L.P.

- Biréfringence faible
- Teintes grises (confusion aisée avec les feldspaths)
- Sections rectangulaires à extinction droite.



Caractères distinctifs

Forme, clivage, extinction.

Transformations

Analcime, zéolite, bauxite.

La partie détermination des roches est largement inspirée du travail d'enseignement fourni par le Dr. Cornen de l'université de Nantes.

Dessin et photos extraits de :

- MacKenzie W. S. and Guilford C., (1993) – Atlas de pétrographie. Minéraux de roches observées en lames minces. Ed. Masson, 104 p.
- Bard J.P. (1980) – Microtextures des roches magmatiques et métamorphiques. ED. Masson, 192 p.
- Deer W. A., Howie R. A., and Zussman J. (1964) – Rock Forming Minerals. (5 tomes dont 3 réédités en 1978). Ed. Longman, London.
- Deer W. A., Howie R. A., and Zussman J. (1993) – An introduction to the Rock Forming Minerals. Ed. Longman, London, 696 p.
- Hatch F. H., Wells A. K. and Wells M. K. (1979) – Petrology of the igneous rocks. T. Murby & Co ed., London, 551 p.
- Hébert R. (1998) – Guide de pétrologie descriptive. Nathan Université, Collection "128", 159p.
- Roubault M., Fabriés J., Touret J. and Weisbrod A. (1982) – Détermination des minéraux au microscope polarisant. Lamarre-Poinat éd. 3ème éd., 382 p.
- Shelley D. (1993) – Igneous and metamorphic rocks under the microscope. Ed. Chapman & Hall, London, 445 p.
- Winchell A. N. and Winchell H. (1961) – Elements of optical Mineralogy. Part II: Description of minerals. J. Wiley & Sons éd., New York, London, 551 p.

Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

