



Université L'Arbi Ben M'hidi
Faculté des sciences de la terre et d'architecture
Département de géologie

Cours de Minéralogie
L2 Géologie

Préparé par/ A. OUDDAH

2023-2024

1. Notions de Minéralogie

1.1 Définitions

1.1.1 La Minéralogie : la minéralogie peut être définie comme la science qui étudie les minéraux. La minéralogie fait appel à d'autres disciplines scientifiques, en particulier, la cristallographie, la physique du solide et la chimie minérale. La minéralogie a pour rôle d'expliquer comment les minéraux se forment ou se transforment, les décrire et de les classer.

1.1.2 Un minéral est un solide, naturel, homogène avec une structure atomique ordonnée et une composition définie.

Les minéraux sont constitués d'atomes. **Un atome** est la plus petite partie d'un corps simple pouvant se combiner chimiquement avec un autre.

1.1.3 Rappels sur la structure de l'atome

L'atome est constitué d'un noyau (protons + neutrons) et d'électrons (Fig.1). L'atome est défini par son numéro atomique, qui correspond au nombre de protons présents dans le noyau.

- Les protons ont une charge positive, alors que le neutron est électriquement neutre.
- Autour du noyau atomique se trouvent les "électrons". Il s'agit de petites particules "gravitant" autour du noyau. Les électrons sont de charges négatives, pour compenser la charge positive des protons et ainsi rendre l'atome électriquement neutre. On trouve ainsi dans un atome le même nombre de protons et d'électrons. Les ions sont en fait des atomes ayant gagné ou perdu des électrons, ils sont ainsi chargés négativement (anions) ou positivement (cations).

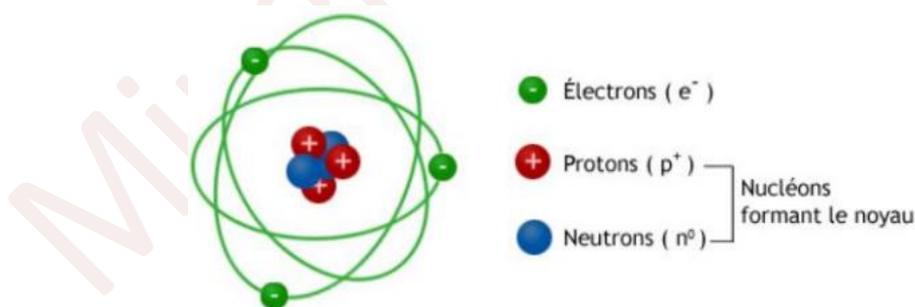


Fig.1- Structure de l'atome

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

1	1.00794	1																	18	4.002602	2															
1	H hydrogène																	He hélium																		
2	6.941	3	9.012182	4													13	10.811	5	12.0107	6	14.0067	7	15.9994	8	18.998403	9	20.1797	10							
2	Li lithium	Be béryllium													B bore	C carbone	N azote	O oxygène	F fluor	Ne néon																
3	22.98976	11	24.3050	12													13	26.98153	13	28.0855	14	30.97396	15	32.065	16	35.453	17	39.948	18							
3	Na sodium	Mg magnésium													Al aluminium	Si silicium	P phosphore	S soufre	Cl chlore	Ar argon																
4	39.0983	19	40.078	20	44.95591	21	47.867	22	50.9415	23	51.9962	24	54.93804	25	55.845	26	58.93319	27	58.6934	28	63.546	29	65.38	30	69.723	31	72.64	32	74.92160	33	78.96	34	79.904	35	83.798	36
4	K potassium	Ca calcium	Sc scandium	Ti titane	V vanadium	Cr chrome	Mn manganèse	Fe fer	Co cobalt	Ni nickel	Cu cuivre	Zn zinc	Ga gallium	Ge germanium	As arsenic	Se sélénium	Br brome	Kr krypton																		
5	85.4678	37	87.62	38	88.90585	39	91.224	40	92.90638	41	95.96	42	98	43	101.07	44	102.9055	45	106.42	46	107.8682	47	112.441	48	114.818	49	118.710	50	121.760	51	127.60	52	126.9044	53	131.293	54
5	Rb rubidium	Sr strontium	Y yttrium	Zr zirconium	Nb niobium	Mo molybdène	Tc technétium	Ru ruthénium	Rh rhodium	Pd palladium	Ag argent	Cd cadmium	In indium	Sn étain	Sb antimoine	Te tellure	I iode	Xe xénon																		
6	132.9054	55	137.327	56	lanthanides 57-71		178.49	72	180.9478	73	183.84	74	186.207	75	190.23	76	192.217	77	195.084	78	196.9665	79	200.59	80	204.3833	81	207.2	82	208.9804	83	210	84	210	85	220	86
6	Cs césium	Ba baryum			Hf hafnium	Ta tantalum	W tungstène	Re rénium	Os osmium	Ir iridium	Pt platine	Au or	Hg mercure	Tl thallium	Pb plomb	Bi bismuth	Po polonium	At astate	Rn radon																	
7	223	87	226	88	actinides 89-103		261	104	262	105	266	106	264	107	277	108	268	109	271	110	272	111	285	112	284	113	289	114	288	115	292	116	292	117	294	118
7	Fr francium	Ra radium			Rf rutherfordium	Db dubnium	Sg seaborgium	Bh bohrium	Hs hassium	Mt meitnérium	Ds darmstadtium	Rg roentgenium	Cn copernicium	Uut ununtrium	Fl flérovium	Uup ununpentium	Lv livermorium	Uus ununseptium	Uuo ununoctium																	
			138.9054	57	140.116	58	140.9076	59	144.242	60	145	61	150.36	62	151.964	63	157.25	64	158.9253	65	162.500	66	164.9303	67	167.259	68	168.9342	69	173.054	70	174.9668	71				
			La lanthane	Ce cérium	Pr praseodyme	Nd néodyme	Pm prométhium	Sm samarium	Eu europium	Gd gadolinium	Tb terbium	Dy dysprosium	Ho holmium	Er erbium	Tm thulium	Yb ytterbium	Lu lutécium																			
			227	89	232.0380	90	231.0358	91	238.0289	92	237	93	244	94	243	95	247	96	247	97	251	98	252	99	257	100	258	101	259	102	262	103				
			Ac actinium	Th thorium	Pa protactinium	U uranium	Np néptunium	Pu plutonium	Am américium	Cm curium	Bk berkélium	Cf californium	Es einsteinium	Fm fermium	Md mendélévium	No nobélium	Lr lawrencium																			

Masse atomique → 55.845 26 ← Numéro atomique (nombre de protons dans le noyau)

Symbole chimique → **Fe**

Nom → fer

- métaux alcalins
- alcalino-terreux
- métaux pauvres
- métaux de transition
- métalloïdes
- non-métaux
- halogènes
- gaz rares

Sources : IUPAC, Wikimedia Commons

1.1.4 - Composition chimique de la croûte terrestre

La croûte terrestre est essentiellement composée (à 99 %) de 8 éléments chimiques : O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na et K. Les pourcentages en poids de ces éléments sont les suivants :

O : 46,60 %, **Si** : 27,72 %, **Al** : 8,13 %, **Fe** : 5 %, **Ca** : 3,63 %, **Na** : 2,83 %, **K** : 2,59 %, **Mg** : 2,09 %.

L'oxygène est un anion (charge négatif, O^{2-}) tandis que tous les autres éléments sont des cations (charge positif) et auront tendance à se lier à l'oxygène. Etant donné que l'oxygène et le silicium sont les éléments les plus abondants de la croûte terrestre, la plupart des minéraux qui composent la croûte sont un assemblage de silicium et d'oxygène en plus des autres éléments.

2. La classification des minéraux

La classification des minéraux est la répartition des espèces minérales en classes et catégories, suivant des caractères communs propres pour faciliter leur étude.

Le système adopté pour la classification des minéraux est celui de l'Association internationale de minéralogie est la classification de **Strunz**.

Cette classification répartit les minéraux en dix classes, qui sont par la suite divisées en divisions, puis en familles et enfin en groupes, selon leur composition chimique et leur structure cristalline. Le principe de base de la classification des minéraux est de grouper les espèces minérales en fonction de la nature des **radicaux anioniques** présents. On distingue ainsi :

Classe I - Les éléments natifs (métaux, semi-métaux et métalloïdes). L'élément se combine à lui-même ; On distingue les métaux natifs (Or, Argent, Cuivre), les semi-métaux (Bismuth, Arsenic, Tellure, ...) et les métalloïdes (Soufre, Diamant).

Classe II - Les Sulfures. Le soufre est combiné avec un ou plusieurs métaux ; exemples : galène (PbS), blende (ZnS), pyrite (FeS₂).

Classe III - Les Halogénures. Incluent **les Chlorures** dans lesquels le chlore est généralement combiné à un autre élément, exemples: Halite (NaCl), sylvite (KCl), et **les Fluorures** dans lesquels le fluor est combiné avec un ou plusieurs éléments exemple: fluorine (CaF₂).

Classe IV – Oxydes et Hydroxydes. Dans les **Oxydes**, l'oxygène est combiné avec un ou plusieurs métaux ; exemples : Magnétite (Fe_3O_4), Hématite (Fe_2O_3). Les **Hydroxydes** contiennent le radical OH^- ; exemple : Gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Classe V - Les Carbonates (CO_3)²⁻. Sont des minéraux constitués d'une combinaison de carbone et d'oxygène avec un ou plusieurs métaux ou métalloïdes.

Exemples : Calcite (CaCO_3), sidérite (FeCO_3), dolomite (CaMgCO_3) On inclut dans cette classe les **Nitrates (NO_3)⁻**.

Classe VI – Borates (BO_3)²⁻. Se rencontrent dans la nature, le plus souvent en milieu alcalin, sous forme d'anions à structure moléculaire caractérisée par des assemblages complexes de liaisons covalentes B-O, associés à des ions positifs, (cations), exemple : La boracite ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}^2$).

Classe VII - Les Sulfates et dérivés. Cette classe regroupe environ 250 espèces, mais beaucoup ne sont observables qu'en petits cristaux. Le groupe anionique est de forme $[\text{XO}_4]^{2-}$

- Sulfates : $[\text{SO}_4]^{2-}$. Le sulfate le plus connu est le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- Chromates : $[\text{CrO}_4]^{2-}$
- Tungstates : $[\text{WO}_4]^{2-}$
- Molybdates : $[\text{MoO}_4]^{2-}$

Classe VIII - Les Phosphates (PO_4)³⁻ cette classe regroupe 16% des minéraux. Le groupe anionique est de forme $[\text{XO}_4]^{3-}$.

- Phosphates: $[\text{PO}_4]^{3-}$
- Arséniates: $[\text{AsO}_4]^{3-}$
- Vanadates: $[\text{VO}_4]^{3-}$

Classe IX - Les Silicates sont des minéraux caractérisés par le tétraèdre $(\text{SiO}_4)^{4-}$ comportant un atome Si au centre, et des atomes O aux quatre sommets (Fig.1).

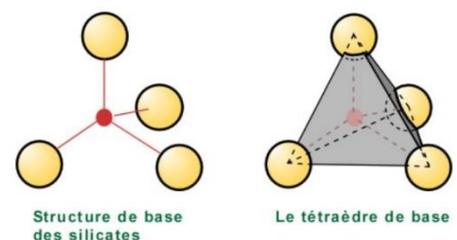
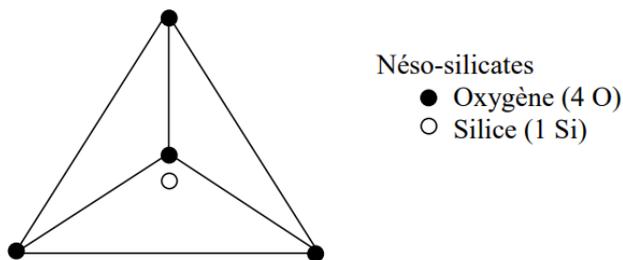


Fig.1- Tétraèdre de Silicates
Source : <http://www2.ggl.ulaval.ca>

Leur abondance a amené à une classification spécifique. Celle-ci fait intervenir des notions structurales, c'est-à-dire fonction de l'enchaînement des tétraèdres [SiO₄]. Les silicates sont divisés en 6 sous-classes :

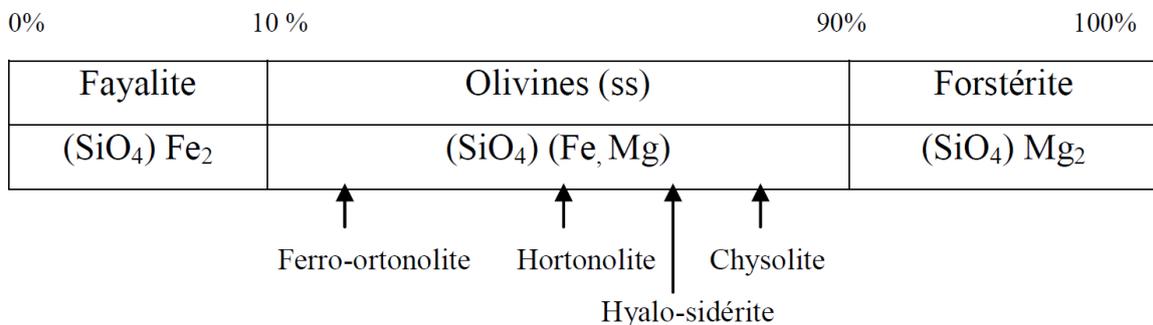
IX.1- Les Nésosilicates (Silicates à tétraèdres isolés)

Dans les nésosilicates, les tétraèdres (Si O₄)⁻⁴ sont isolés et ne mettent en commun avec les tétraèdres voisins aucun oxygène. Ils sont reliés entre eux par des cations de liaison tel que Mg⁺² et Fe²⁺ qui isolent les différents groupes d'oxygènes assemblés en tétraèdres. La composition de cette structure de base est donc (Si O₄)⁻⁴.

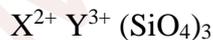


Exemples :

Les olivines (ou péridots) : de formule chimique (Fe, Mg)₂ SiO₄ sont des nésosilicates dont la composition peut être représentée entre deux pôles : un pôle magnésien Mg₂SiO₄ (forstérite) et un pôle ferrique Fe₂SiO₄ (fayalite).



Les grenats : ils forment des solutions solides complexes de formule générale :



Avec Y³⁺= Al³⁺, Fe³⁺, Cr³⁺

Et X²⁺= Fe²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Mn²⁺

Les noms des différentes espèces sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 1- Les différentes espèces de Grenats

	Al ³⁺	Fe ³⁺	Cr ³⁺
Fe ²⁺	Almandin		
Mg ²⁺	Pyrope		Hanleite
Ca ²⁺	Grossulaire	Andradite	Ouvarovite
Mn ²⁺	Spessartine	Caldérite	Mn ²⁺

Les silicates d'alumine : les formes polymorphes Al_2O_3 , SiO_4 sont au nombre de 3 :

- **Andalousite** : système Orthorhombique
- **Disthène** : le système triclinique
- **Sillimanite** : système Orthorhombique

NB : les polymorphes : sont des corps qui ont une composition chimique identique bien que se présentant sous des formes cristallines différentes.

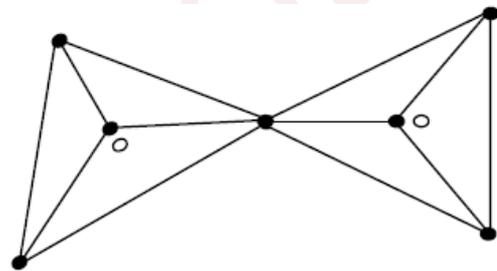
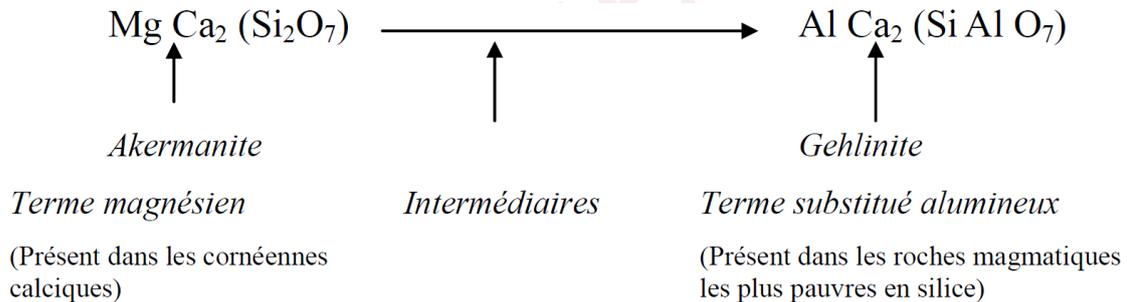
IX.2 - Les Sorosilicates

Tétraèdres unis par deux avec un O en commun. La formule de base est $(Si_2O_7)^{6-}$.

Fig.3- Les Sorosilicates

Exemples :

Les Méilites : ce sont des sorosilicates dont les compositions varient comme suit :



Les épidotes : les minéraux de ce groupe présentent à la fois des fonctions (Si_2O_7) et (SiO_4) ainsi que des ions oxygènes supplémentaires non liés au silicium. On distingue :

La zoïsite $Al_3 Ca_2 (Si_2O_7) (SiO_4) O(OH)$; elle se présente sous 2 formes : orthorhombique (ortho-zoïsite) et monoclinique (clino-zoïsite)

IX. 3 - Les cyclo-silicates (Les silicates à tétraèdres associés en anneaux)

Les anneaux comportent 3, 4 ou 6 tétraèdres d'où les formules structurales : $[Si_3O_9]^{6-}$, $[Si_4O_{12}]^{8-}$, $[Si_6O_{18}]^{12-}$, les anneaux de tétraèdres constituent l'ossature des cyclo-silicates. Les espèces correspondantes appartiennent au système : rhomboédrique, quadratique, hexagonal. Anions constitués de tétraèdres de manière à former des cycles.

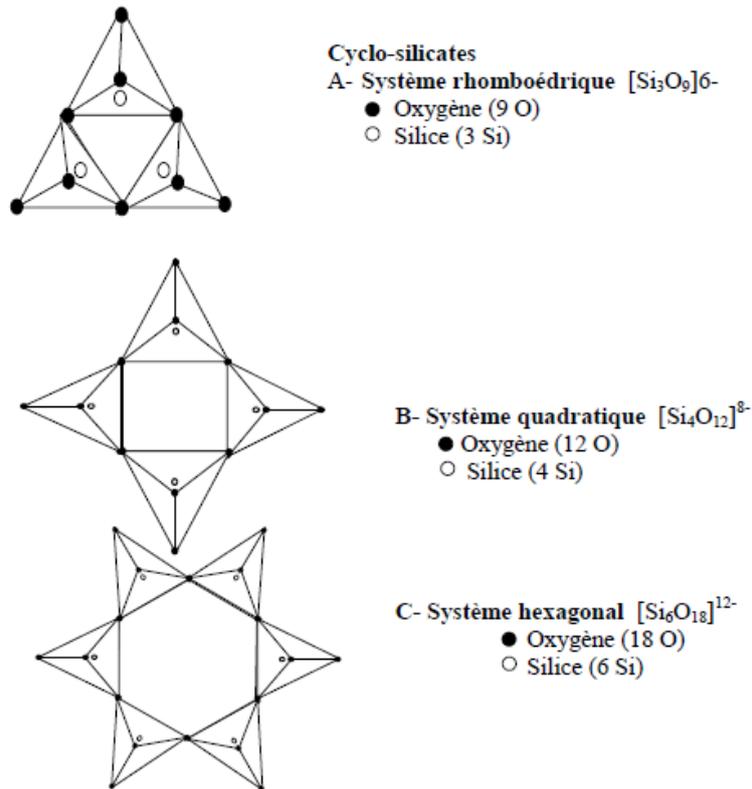
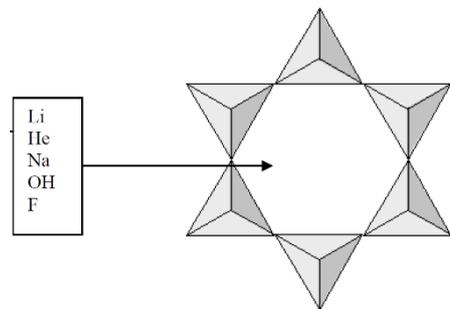


Fig.4- Les cyclosilicates

Exemples :

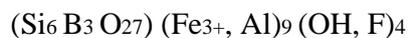
Le Byril : Il a pour formule structurale $\text{Al}_2 \text{Be}_3 (\text{Si}_6 \text{O}_{18})$, avec des cations de liaisons en plus. Le minéral ménage un vide hexagonal où se logent Li (lithium), He (hélium), Na (sodium), OH et F (fluor).



La Cordiérite : Elle a pour formule structurale globale : $(\text{Si}_5 \text{Al O}_{18}) (\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2 (\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_3$
 La cordiérite a besoin d'une température basse pour apparaître (300 à 400°C) :



La Tourmaline : Il y a nombreuses variétés de Tourmalines. Le Bore y remplace en partie le Silicium : ce sont des borosilicates. La variété la plus commune est la Tourmaline noire ferrique en forme des prismes trigonaux cannelés, à tendance aciculaire :



IX.4 - Inosilicates : ils sont caractérisés par des chaînes ouvertes de tétraèdres :

IX.4.1- Les Inosilicates à chaînes simples chez les **Pyroxènes** avec le radical $(Si_2 O_6)^{4-}$.

Chaque tétraèdre a deux oxygènes en commun avec les deux tétraèdres voisins.

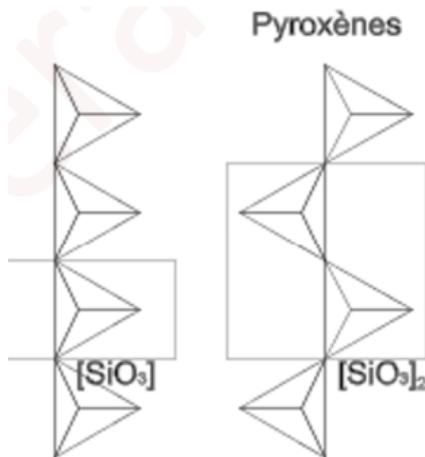
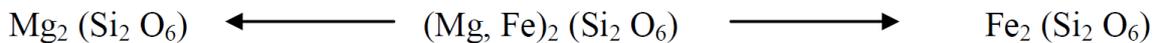


Fig.5- Les Inosilicates à chaîne simple

La composition des pyroxènes est souvent compliquée par la présence, dans leur réseau d'atome d'aluminium, de fer, de calcium ou de titane. Selon leurs caractères cristallographiques et chimiques on a pu définir deux grandes familles :

a. Les Orthopyroxènes (OPX) sont des pyroxènes de structure orthorhombiques, purement ferro-magnésiens,



Enstatite	Bronzite	Hypersthène	Ferro-hypersthène	Eulite	Orthoferrosilite
------------------	-----------------	--------------------	--------------------------	---------------	-------------------------

b. Les Clinopyroxènes (CPX) sont les pyroxènes monocliniques ferro-magnésiens et calciques et les pyroxènes monocliniques sodiques.

Les clinopyroxènes ne contiennent jamais plus de 50% de Calcium (Ca).

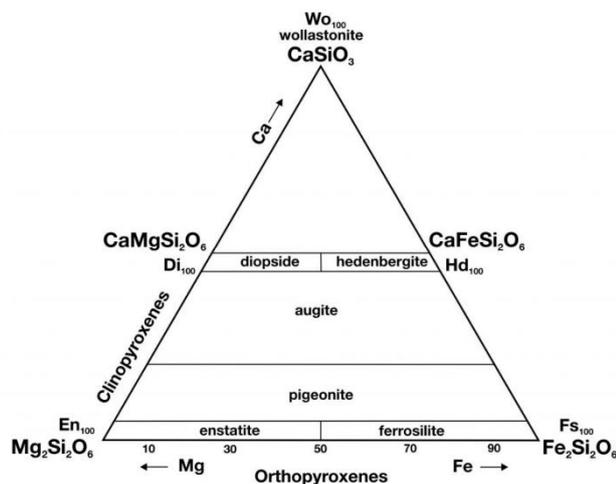


Fig. 6- Nomenclature des clinopyroxènes ferromagnésiens et calciques.

Pour les Clinopyroxènes sodique (alcalins) on distingue les minéraux suivants :

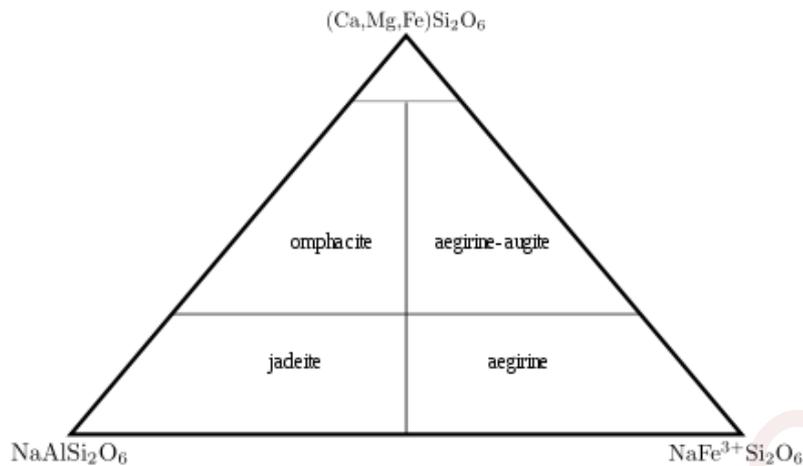


Fig. 7- Nomenclature des Clinopyroxènes alcalins.

IX. 4.2- Les Inosilicates à chaînes doubles chez les **amphiboles**, où le radical est $(Si_4 O_{11})^{-6}$ et les deux files de tétraèdres se relient par des ponts d'oxygènes.

Cette famille de minéraux sont des ferro-magnésiens hydratés (ils contiennent la molécule OH^- dans leur formule chimique qui s'incorpore au centre de chaque hexagone formé dans la structure tétraédrique à chaînes doubles).

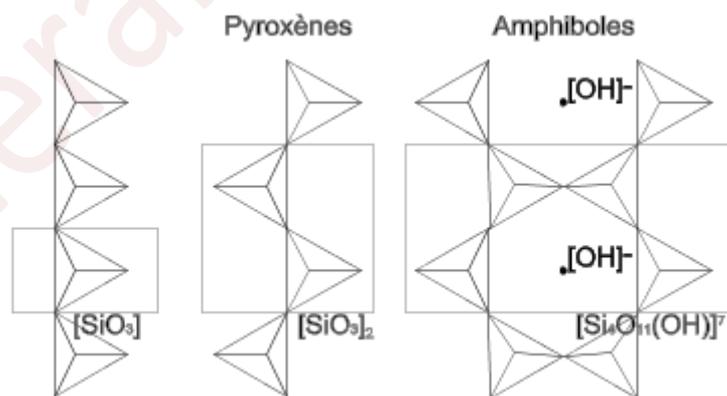


Fig.8- Les Inosilicates à chaîne simple (Pyroxènes) et double (Amphiboles)

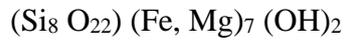
En tenant compte de tous ces caractères on peut classer les amphiboles en trois groupes, de la même façon que pour les pyroxènes :

- (1) Amphiboles purement ferro-magnésiennes (orthorhombiques),
- (2) Amphiboles ferro-magnésiennes et calciques (monocliniques),

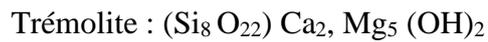
(3) Amphiboles sodiques (monocliniques)

1- Amphiboles purement ferro-magnésiennes (orthorhombiques) : les amphiboles de ce groupe sont des homologues des pyroxènes de la série des enstatites-hyperstènes.

L'espèce la plus habituellement rencontrée est l'anthophyllite :



2- Amphiboles ferro-magnésiennes et calciques : ce sont les homologues de la série diopside-hédenbergite. Ils sont représentés par la série isomorphe Trémolite-Actinote :



3- Amphiboles sodiques (monoclinique) : ces derniers sont caractérisés par des teneurs de Na_2O relativement élevées (entre 5 et 10%). Deux espèces ont été définies :

- La Rièbékite, amphibole riche en Fe de formule structurale $(\text{Si}_8 \text{O}_{22}) \text{Na}_2 \text{Fe}_4 (\text{OH})_2$;
- La Glaucophane dont la formule structurale est $(\text{Si}_8 \text{O}_{22}) \text{Mg}_3 \text{Na}_2 \text{Al}_2 (\text{OH})_2$.

IX. 5- Phyllosilicates ou silicates en couches

Silicates dont les tétraèdres sont disposés en feuillets (fig.9). Ils mettent en commun trois oxygènes. La formule de base est $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ ou $(\text{Si}_4\text{O}_{10})^{4-}$.

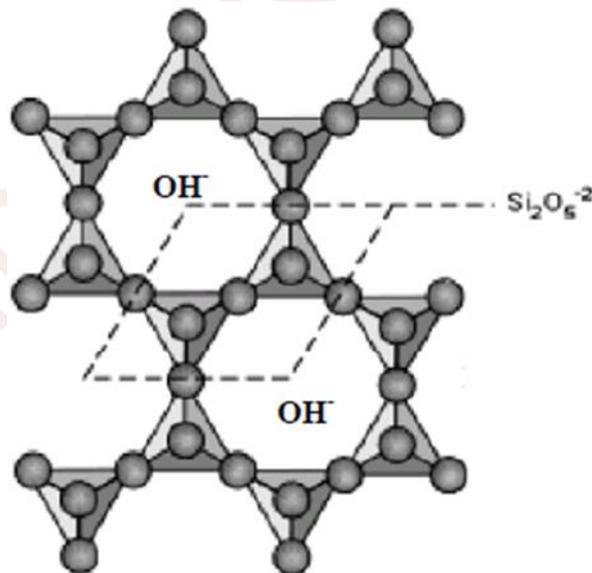


Fig.9- Les phyllosilicates

Classification des phyllosilicates :

1- Famille des talcs :

Le talc est une phyllite à trois couches : $(\text{Si}_8 \text{O}_{20}) \text{Mg}_6 (\text{OH})_4$:

La pyrophyllite est une phyllite à trois couches : $(\text{Si}_8 \text{O}_{20}) \text{Al}_4 (\text{OH})_4$.

2- Famille des micas

Les micas ont le même feuillet structural élémentaire que celui du talc et de la pyrophyllite, mais en ce cas, dans un tétraèdre sur quatre, le silicium y est remplacé par l'aluminium. La valence libérée par cette substitution est saturée par un atome de potassium (K), situé entre les feuillets. Ce sont ces couches potassiques à faible adhérence, qui correspondent au clivage des micas, deux types de micas ont été définis :

- Micas noir ou Biotite : la biotite a pour formule structurale $(\text{Si}_6 \text{Al}_2 \text{O}_{20}) \text{Mg}_6 (\text{OH})_4 \text{K}_2$ nommée aussi mica magnésien.
- Mica blanc ou muscovite : la muscovite est un phyllosilicate riche en aluminium, de formule cristalochimique $(\text{Si}_6 \text{Al}_2 \text{O}_{20}) \text{Al}_4 (\text{OH})_4 \text{K}_2$.

3- Caractérisée par la superposition de feuillets composés de couches tétraédriques (ct) de formule $(\text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2)^{6-}$. Les minéraux argileux sont nombreux et variés, nous citons principalement ici, la kaolinite, l'illite, les smectites (montmorillonite), le glaucophane, les interstratifiés, la vermiculite, la chlorite, l'attapulgite et la sépiolite.

IX. 6 - Tectosilicates ou silicates en charpente

Silicates dont les tétraèdres sont liés entre eux par leurs sommets (fig.9). La formule de base est SiO_2 ou Si_4O_8 .

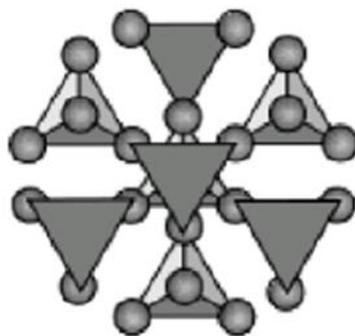


Fig.9- Les Tectoosilicates