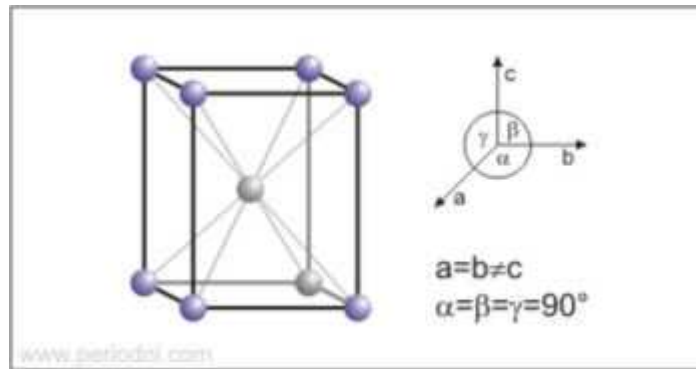


COURS DE GEOLOGIE



Chapitre 1 : Minéralogie

1. Définition d'un minéral

Minéral : Un minéral est un solide (à l'exception du mercure) naturel répondant à une composition chimique bien déterminée et possédant un ensemble de propriétés caractéristiques (couleur, clivage, luminescence,..). Il possède souvent une structure atomique ordonnée (à l'exception des minéraux amorphes).

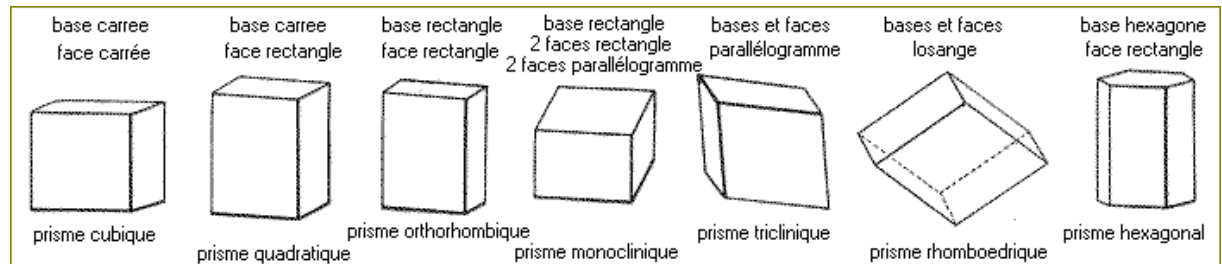
Les minéraux permettant d'obtenir un métal après traitement métallurgique portent le nom de **minerai**.

2. Structure d'un cristal

2.1. Les formes primitives

C'est en 1774 que Haüy¹, prêtre et enseignant à Paris, présenta ses travaux sur la forme cristalline des minéraux. Il découvrit, en brisant un gros cristal de calcite (=spath d'Islande de forme rhomboédrique), que ce dernier se brise en morceaux dont la forme est semblable. Ces morceaux pouvant être scindés en morceaux de forme semblable encore plus petits etc... jusqu'à atteindre une taille limite qu'il appela la « **molécule intégrante** ». Les cristaux se brisant selon des plans préférentiels appelés **plans de clivage**.

Suite aux travaux de Haüy, Romé de l'Isle² (1783) détermina 7 formes de molécule intégrante (la plus petite « brique » élémentaire de Haüy constituant un cristal) qu'il appellera formes primitives. Ces **formes primitives** étant les suivantes : cubique, quadratique, hexagonale, rhomboédrique, orthorhombique, monoclinique, triclinique.



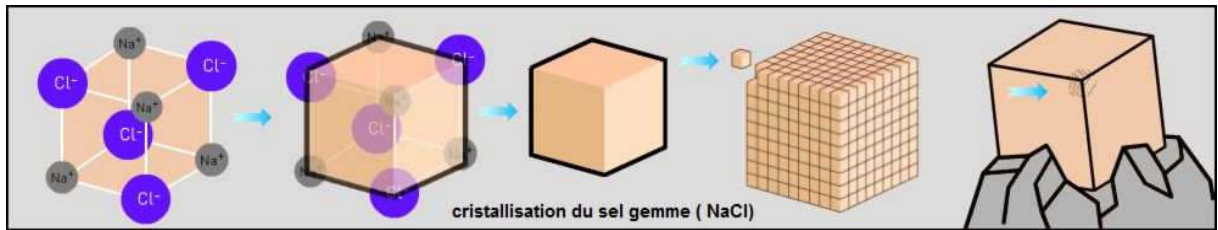
2.2. Maille élémentaire et réseau cristallin

Les minéraux, à de rares exceptions près, sont des solides cristallins, c'est-à-dire qu'ils sont formés d'atomes ou de groupements d'atomes disposés de façon périodique dans les trois directions de l'espace (on parlera de motif moléculaire ou motif atomique); de la même façon qu'un papier peint est constitué de la répétition d'un même motif. Ces atomes, ou groupes d'atomes, représentent la maille élémentaire (= briques élémentaires de Haüy) et leur répétition dans l'espace constitue le réseau cristallin.

¹ Décédé en 1822, il repose au cimetière du Père-Lachaise à Paris

² Jean-Baptiste Louis Romé de l'Isle (1736-1790) est un minéralogiste français considéré comme l'un des créateurs de la cristallographie moderne

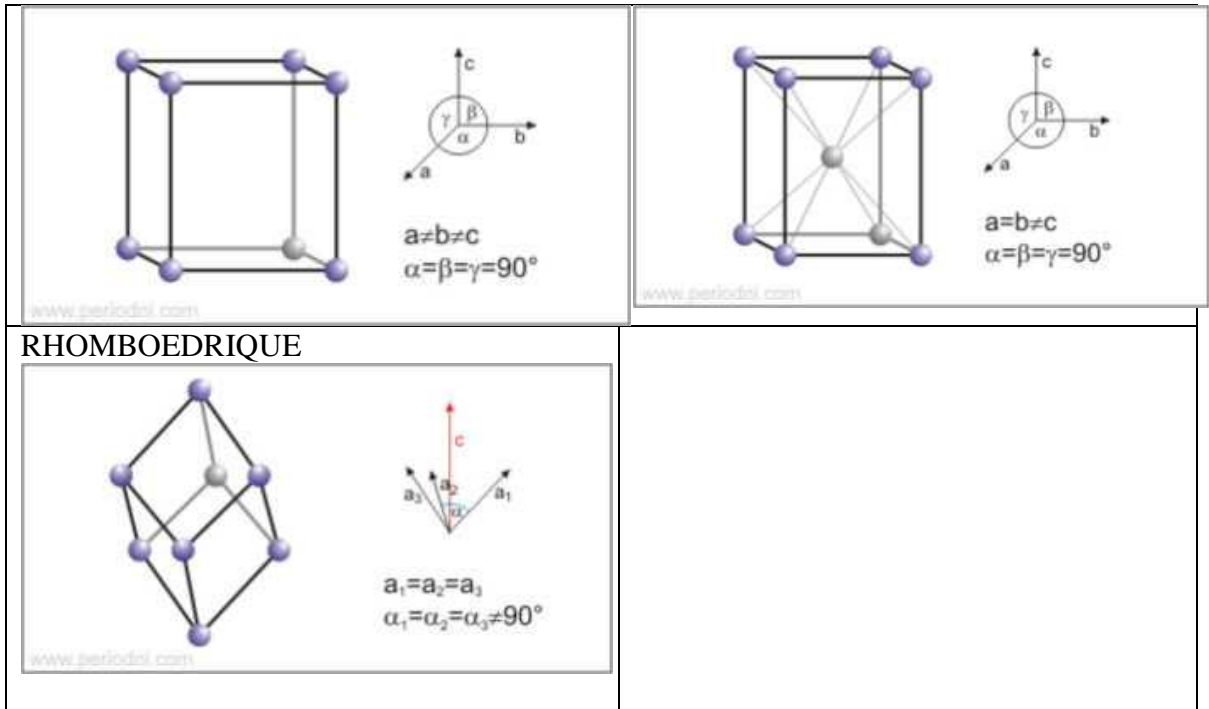
Prenons l'exemple simple du sel de table. Le minéral halite (sel de table) possède une structure atomique déterminée que l'on dit cubique. On l'appelle cubique parce que l'arrangement des atomes, en alternance régulière entre les Cl et les Na, forme une trame cubique : c'est la maille élémentaire, base de la crystallographie.



La périodicité de la structure d'un cristal est donc représentée par un ensemble de points régulièrement disposés. Cet ensemble est appelé réseau cristallin et les points le constituant sont appelés nœuds du réseau. On utilise généralement les paramètres de maille : les longueurs des vecteurs (cotés de la maille) , a , b et c , et les angles formés entre eux, α , β et γ (angles entre les faces).

Ces paramètres permettent de définir les sept systèmes cristallins correspondants aux 7 formes primitives :

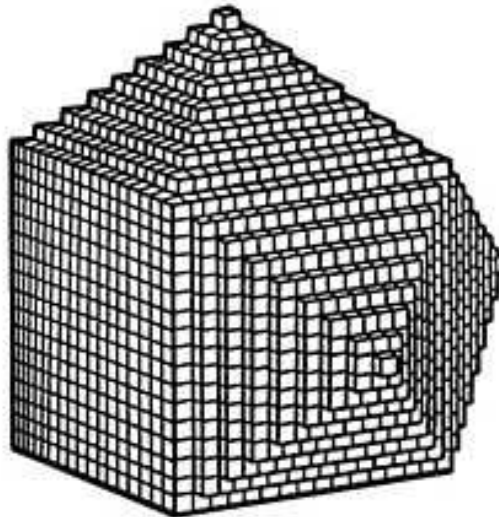
<p>CUBIQUE</p> <p>$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$</p>	<p>HEXAGONAL</p> <p>$a_1=a_2=a_3 \neq c$ $\alpha=\gamma=90^\circ \quad \beta=120^\circ$</p>
<p>TRICLINIQUE</p> <p>$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$</p>	<p>MONOCLINIQUE</p> <p>$a \neq b \neq c$ $\alpha=\gamma=90^\circ \neq \beta$</p>
<p>ORTHORHOMBIQUE</p>	<p>QUADRATIQUE</p>

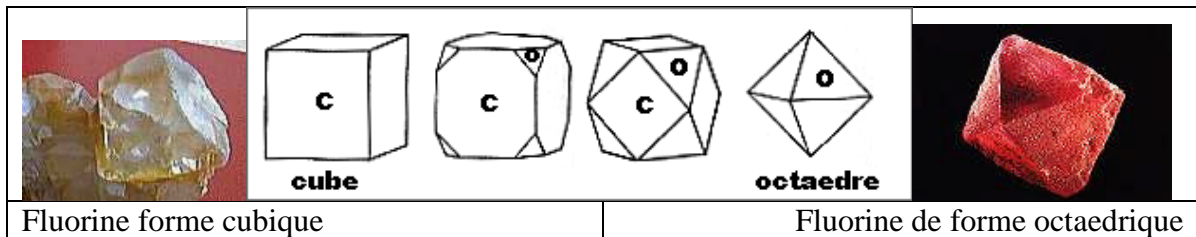


2.3. Forme des cristaux

Lorsque l'on observe certains cristaux, leur forme diffère des formes primitives vues ci dessus, alors comment l'expliquer ?

Considérons un gros cube constitué de « briques » élémentaires cubiques. En enlevant des parallélépipèdes en nombre décroissant à partir des sommets ou d'une arête de la forme complète, on peut obtenir une forme octaédrique, comme par exemple celle de la fluorine. D'après ce principe, la forme d'un cristal va donc dépendre du nombre d'éléments le composant, de sorte que les faces du cristal soient formées de minuscules gradins.





Ce principe explique la variété de formes que peuvent prendre les minéraux. Un même minéral pouvant se présenter sous plusieurs formes (exemple : la fluorine peut être de forme cubique ou octaédrique, etc).

3 Minéralogie Descriptive

3.1. Objectifs

La minéralogie descriptive conduit à identifier un minéral sur base de critères d'observations et de tests d'expérimentation.

Dans le cadre de ce cours, seuls les principaux minéraux seront abordés.

3.2. Tests d'observation et tests d'expérimentation

3.2.1. Tests d'observation :

A. Forme ou habitus :

En minéralogie, l'habitus est la forme cristalline dominante d'un minéral. La forme d'un même minéral peut varier mais, combinée à d'autres observations elle peut conduire à son identification.

Exemples d'habitus : Halite (NaCl) : forme cubique ; Calcite (CaCO_3) : forme rhomboédrique, ... ; Fluorine (CaF_2) : forme cubique ou octaédrique, ... ; Quartz (SiO_2) : prisme hexagonal terminé par deux rhomboèdres (quartz α) ou par une bipyramide hexagonale (quartz β) ; Mica : monoclinique

B. Structure macroscopique :

Feuilleté : micas, asbeste (amiante) ; Fibreuse : gypse ; Oolithique : olivine oolithique ; ...

C. Cassure et clivages

En minéralogie, la cassure désigne l'aspect de la surface d'un minéral qui, après avoir été soumis à une contrainte, se brise en présentant des surfaces de fractures irrégulières, dans des directions quelconques. Si les surfaces de fractures sont planes, dans des directions privilégiées, on parle de clivage.

Cassures et clivages sont liés à la structure cristalline des minéraux et sont des critères importants de détermination.

Tous les minéraux présentent des cassures, mais elles peuvent être difficiles à observer lorsque le clivage est facile dans plusieurs directions.

On distingue différents types de cassures :

- **conchoïdale** : cassure nette et brillante, comme le verre. La surface est onduleuse, les ondulations s'arrangeant concentriquement à partir du point de choc qui a produit la fracture (aspect d'un intérieur de coquillage). C'est la cassure typique du quartz, mais aussi de certaines roches vitreuses comme l'obsidienne.
- **inégale**
- **rugueuse**
- **friable**
- **terreuse**
- **esquilleuse**

D. Eclat :

On distingue plusieurs types d'éclat :

1. **éclat métallique** : caractérisé par un fort pouvoir réflecteur (0,4 à 0,6) de la surface et une forte absorption de la lumière dans le volume du minéral. Minéraux opaques : les métaux natifs, les sulfures et sulfosels et quelques oxydes métalliques. L'indice de réfraction est 3 ou supérieur.
2. **éclat submétallique** : c'est l'éclat de certaines espèces minérales qui ne réfléchissent pas la totalité de la lumière, et dont l'indice de réfraction est entre 2,6 et Ex. hématite (3,0)
3. **éclat non métallique** : c'est l'éclat des minéraux plus ou moins transparents; il est subdivisé en plusieurs types:

éclat vitreux ou pierreux : c'est l'éclat typique du verre et des minéraux dont l'indice de réfraction est compris entre 1,3 et 1,9. Ce groupe comprend 70 % des minéraux, presque tous les silicates (quartz par exemple), les carbonates, les phosphates, les sulfates, les halogénures, oxydes et hydroxydes de cations légers comme aluminium et magnésium ;

éclat adamantin : c'est l'éclat brillant typique du diamant et des minéraux dont l'indice de réfraction est compris entre 1,9 et 2,6 ; le pouvoir réflecteur est compris entre 0,1 et 0,2. Exemples : soufre , diamant . Quand l'éclat adamantin est accompagné de couleur jaune ou marron on parle d'éclat résineux ;

éclat nacré : l'éclat nacré est le résultat d'une structure fibreuse fine. Les minéraux à éclat nacré ont des propriétés optiques ressemblant celles des vêtements en soie ;

éclat cireux : le minéral apparaît comme s'il était couvert d'une couche de cire.

E. Couleur :

Celle ci peut être variable pour un même minéral en fonction des impuretés qu'il contient, mais certains possèdent une couleur très caractéristique (graphite = noir ; soufre = jaune ; azurite = bleu ; malachite = vert,...)

La couleur de la poussière (trait) peut également permettre une identification : orpiment (ocre) ; galène (noire) ; blende (grise) ,

3.2.2. Tests d'expérimentation

3.2.2.1. Tests physiques

A. La densité

Lorsque les minéraux à tester sont de taille modeste, on peut recourir à l'emploi de liqueurs lourdes telle que le bromoforme (densité de 2,9).

On plonge le minéral dans le liquide. S'il flotte, sa densité est $< 2,9$, on va alors ajouter de l'alcool (densité=1) à la liqueur pour abaisser progressivement la densité du liquide.

On atteindra la densité du minéral au moment où celui ci coule.

B. La dureté

Inventée en 1812 par le minéralogiste allemand Friedrich Mohs, l'échelle de Mohs permet de déterminer la dureté relative des minéraux à partir de dix minéraux bien définis de dureté variable. Cette échelle (non linéaire) est graduée de 1 à 10 (1 correspond à la dureté la plus faible et 10 la dureté la plus forte). Le principe de cette échelle repose sur le fait qu'un minéral ne peut rayer un autre que si sa dureté est supérieure.

Voici les dix minéraux de références qui composent cette échelle de Mohs.

1	Talc
2	Gypse
3	Calcite
4	Fluorite
5	Apatite
6	Orthose
7	Quartz
8	Topaze
9	Corindon
10	Diamant

Quelques repères de dureté :

2.5	Ongle
3	Pièce en cuivre
5	Lame de canif
5.5	Verre de vitre
6.5	Lime en acier

La luminescence

La luminescence est la propriété que possèdent certains corps d'émettre des rayons lumineux lorsqu'on les expose à une lumière vive, qu'on les chauffe ou qu'on les frotte ou qu'on les soumet à une charge électrique.

Si la luminescence ne persiste pas sans la cause qui l'a produite on parlera de luminescence (ex : fluorine). Par contre, si la luminescence persiste plus ou moins longtemps à la cause qui l'a produite, on parlera de phosphorescence (ex : aragonite lorsqu'on l'expose au soleil).

Pour réaliser ce test, on utilise une lampe à ultra violet.

La radioactivité (Uranate d'uranium,...), **Les propriétés magnétiques** (Magnétite),...

3.2.2.2. Tests chimiques

Citons le test à l'acide chlorhydrique (effervescence) pour identifier certains carbonates par exemple : Calcite (réaction vive à froid) ; Dolomite (réaction très faible à froid ou uniquement à chaud).



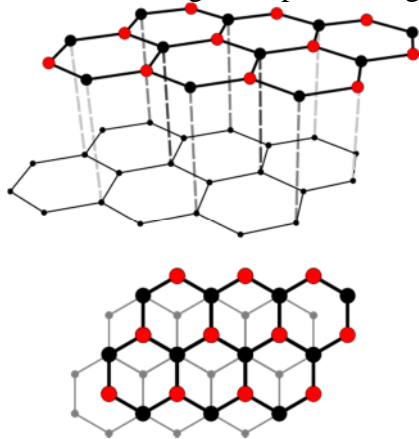
4 Les minéraux non silicatés

4.1. Corps simples (=éléments natifs) : C, S, Au,...

4.1.1. Carbone (C) :

A. Graphite :

Le graphite est composé d'atomes de carbone disposés en anneaux hexagonaux. Cette structure hexagonale possède également un caractère feuilleté.



Il se forme dans certaines roches sédimentaires subissant un métamorphisme (pression et température élevée) : graphitoschistes par exemple. Il peut se former à partir de charbon végétal.

Les usages du graphite sont nombreux :

- Crayon à papier
- Piles (électrode)
- Articles de sport (raquettes de tennis, semelle de ski ,...)
- Adsorbant (filtres à charbon)
- Constituant de pièces mécaniques (pièces de frottement,...)
- Constituant de Lubrifiants
- Connections électriques dans les moteurs (transferts d'électricité vers le rotor) = balais moteur (=charbon moteur de lave linge, etc)

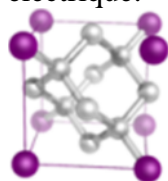
B. Diamant :

Comme le graphite, les diamants sont constitués de carbone. La différence est qu'ils se forment dans des conditions de température et de pression extrêmes :

entre 1 100 °C et 1 400 °C pour la température, et pour la pression, entre 4,5 GPa et 6 GPa , ce qui correspond à des profondeurs d'environ 150 à 1 000 km dans le manteau terrestre.

L'origine est donc magmatique et ses conditions de formation expliquent sa très grande dureté (La dureté du diamant est de 10/10 sur l'échelle de Mohs). Cette propriété est source de nombreux usages actuels : organes de coupes,....

La structure du diamant est cubique, sa conductivité thermique est exceptionnelle, et permettrait de révolutionner l'électronique dans le futur en limitant l'échauffement et donc la consommation électrique.



Les mines d'exploitation de diamant naturel se trouvent par exemple en Afrique du Sud dans des roches éruptives appelées « pipes de kimberlite (nom de la roche) ». Les principaux pays producteurs de diamant naturel sont : la Russie (1^{er} mondial avec 20 % de la production mondiale), Congo, Botswana, République Centrafricaine, Australie, Afrique du Sud (10%). De nos jours la production de diamants artificiels est en plein essor et pourrait un jour supplanter la production par l'extraction.

Résistant à des températures élevées (1 000 °C), à de fortes puissances et capable de répondre à de hautes fréquences, le diamant artificiel supplante sur le papier le silicium, matériau semi-conducteur avec lequel 90 % des composants en électronique sont encore réalisés aujourd'hui. Or ce dernier montre facilement ses faiblesses, car sa température limite d'utilisation est d'environ 200 °C. Un handicap important pour des applications dans des conditions extrêmes, dans l'aéronautique, le spatial ou le nucléaire, où des transistors très résistants sont requis. En théorie donc, de tous les semi-conducteurs, le diamant est le meilleur, le plus rapide, le plus résistant. Reste à régler le problème du coût de production du diamant artificiel et de maîtriser ses propriétés semi-conductrices.

4.1.2. Soufre (S) :

Le soufre peut avoir une origine volcanique par condensation de gaz magmatiques contenant du sulfure d'hydrogène (H₂S) - gaz toxique. Mais la plupart du temps, il a une origine sédimentaire (par exemple suite à la réaction de réduction des sulfates (gypse,...) par le carbone de la matière organique).

Le soufre sert à 90 % à préparer l'acide sulfurique, produit de base de l'industrie chimique (traitements des minerais et des métaux, synthèses de détergents ménagers, batteries,...). Il est notamment employé comme engrais (sulfates) (60 % de la production) et phytosanitaire fongicide (contre l'oïdium de la vigne).

Il est aussi utilisé pour fabriquer la poudre à canon, les laxatifs (sulfate de magnésium), les allumettes, des insecticides, etc.

Le dioxyde de soufre (SO₂ issu de la combustion du soufre) est un antioxydant et un acide utilisé pour stabiliser le vin. Les sulfites (issus de la réaction entre le dioxyde de soufre et l'eau) sont utilisés pour blanchir le papier. Des sulfites sont ajoutés à des aliments pour prévenir le brunissement ou la décoloration. Ce sont des agents de conservation (aliments, médicaments,...) et des agents antimicrobiens.

Cet élément se trouve aussi en petites quantités dans le charbon et le pétrole, qui produisent de l'anhydride sulfureux lorsqu'ils brûlent. Des normes sur les carburants exigent de plus en plus que le soufre soit extrait des combustibles fossiles, parce que l'anhydride sulfureux se combine avec l'eau présente dans l'atmosphère (gouttelettes de pluie) pour produire **les pluies acides sources de dépérissements forestiers**.

4.2. Corps binaires

4.2.1. Sulfures : Réalgar, Orpiment, Galène, Blende, Pyrite

Les sulfures se forment souvent par condensation de gaz magmatiques ou de gaz soufrés d'autre origine.

On distingue les principaux minéraux suivant :

Le réalgar (As_4S_4) est une espèce minérale, composée de sulfure d'arsenic, de couleur rouge (et poussière orange).

Sous l'action de la lumière, le réalgar a tendance à s'altérer en pararéalgar, dont la structure est très similaire à celle de l'orpiment (As_2S_3).

Bien que peu fréquent, le réalgar est un important minerai d'arsenic. Il fut employé en pyrotechnie (feu d'artifice) ou pour la réalisation d'enluminures comme pigment coloré jaune ou rouge, utilisé par les peintres jusqu'à la fin du 19^e siècle.

L'orpiment (As_2S_3) est également un sulfure d'arsenic, il est d'une couleur jaune-or

L'orpiment a été utilisé depuis l'Antiquité par les Grecs, les Romains et les Égyptiens comme pigment (peinture, cosmétique tels les fards funéraires, écriture). Il n'est plus utilisé comme pigment pour les peintures en raison de sa toxicité et de sa faible permanence. Il fut aussi employé dans les feux d'artifice.

Il est aujourd'hui utilisé industriellement pour la production de semi-conducteurs et de photoconducteurs.

La galène (PbS) est un sulfure de plomb. Il s'agit du minerai de plomb le plus commun. Sous forme cristallisée, la galène possède une structure cubique.

La Blende (ZnS) ou sphalérite est un sulfure de Zinc. Il s'agit du minerai de zinc le plus commun. Sous forme cristallisée, la blende possède une structure cubique.

La Pyrite (FeS_2) est un sulfure de fer dont le système cristallin est aussi cubique. La pyrite fut plus exploitée comme source de soufre que de fer.

Cette industrie très polluante tend cependant à être remplacée par d'autres procédés. En 1985, 18 % du soufre était obtenu à partir de ce minerai. La quantité extraite est de moins de 8 % actuellement, soit 6,6 millions de tonnes extraites par an, dont 6 millions rien qu'en Chine. Durant la ruée vers l'or aux USA au 19^e siècle, la pyrite était appelée l'or des fous : la méconnaissance et le désespoir de bien des mineurs les menèrent à confondre la pyrite avec l'or à cause de son éclat et de sa couleur.

On peut rencontrer des cristaux de pyrite dans les vases marécageuses, suite à la réduction du fer et à la présence d' H_2S (sulfure d'hydrogène).

4.2.2. Oxydes : Corindon, Oligiste, Magnétite

A. Corindon (Al_2O_3)

Le corindon est une espèce minérale composée d'oxyde d'aluminium anhydre cristallisé. Certaines variétés naturelles de corindon sont des pierres précieuses : le rubis et le saphir sesquioxyde d'aluminium. La poudre de la roche contenant ce minéral, l'émeri (roche métamorphique) était très utilisée dans l'industrie, essentiellement comme abrasif en raison de sa dureté. La dureté du corindon est en effet de 9 sur l'échelle de Mohs, ce qui en fait le deuxième minéral naturel le plus dur après le diamant. L'émeri a cependant, de nos jours, perdu de son importance avec le développement d'autres types d'abrasifs, en particulier les carbures de silicium ou de tungstène .

B. Hematite ou Oligiste (Fe_2O_3)

L'hématite, est une espèce minérale composée d'oxyde de fer(III). Il s'agit de la forme la plus fréquente du minerais de fer. C'est un minéral très courant, de couleur noire à gris argenté, brun à rouge, ou rouge, avec de nombreuses formes cristallines. Souvent, l'hématite est sous forme d'oolithes (Oligiste oolithique). L'hématite s'altère en hématite brune (hydroxyde de fer).

Dans l'Égypte ancienne, l'hématite était considérée comme ayant le pouvoir de guérir les maladies du sang (Ce minéral composé principalement de fer a la particularité de teinter l'eau en rouge. C'est pourquoi les Égyptiens pensaient qu'elle favorisait la production de sang).

C. Magnétite (Fe_3O_4)

La magnétite est présente dans des roches d'origine très diverses (magmatiques, métamorphiques, sédimentaires). Il s'agit d'un oxyde de fer aux propriétés magnétiques (aimant naturel) ;

- C'est l'un des principaux minerais de fer.
- Colorant : pigment primaire pour, la terre d'ombre et la terre de Sienna.
- Principal composant de la poudre de ferrites utilisée pour la fabrication des aimants.
- Datation des coulées de laves du fait de ses propriétés ferrimagnétiques, il enregistre les variations de l'orientation du champ magnétique terrestre. Grâce à la magnétite on a pu déterminer sur des coulées rapprochées qu'à chaque inversion du dipôle terrestre il y a une phase de transition de 1 000 ans où le champ magnétique peut s'inverser en 3 jours.
- Biologie : Le pigeon aurait de la magnétite, présente à trois endroits bien distincts et en quantités différentes, à l'intérieur de son bec, ce qui l'aiderait à se diriger en vol.

4.2.3. Les oxydes hydratés et hydroxydes

A. Goethite (FeO OH)

La goethite est une espèce minérale, variété d'oxyhydroxyde de fer(III). Dans les localités où elle est abondante, la goethite constitue un minéral très intéressant pour l'extraction du fer. Les variétés terreuses, type ocre, sont utilisées comme pigments. Elle a été utilisée comme pigment dans les peintures de la grotte de Lascaux

B. Gibbsite (Al(OH)₃)

La gibbsite, est une espèce minérale de formule chimique Al(OH)₃, de couleur variable (blanc; gris blanc; grisâtre; verdâtre; blanc verdâtre; rougeâtre; blanc crème). C'est un important minerai d'aluminium et l'un des trois composés minéraux qui constituent la bauxite avec la boehmite (α -AlO(OH)) et le diaspre (γ -AlO(OH)).

La bauxite est une roche blanche, rouge ou grise, caractérisée par sa forte teneur en alumine Al₂O₃ et en oxydes de fer. Cette roche constitue le principal minerai permettant la production d'aluminium. On en trouve dans le sud de la France.

4.2.4. Halogénures

Ce sont les minéraux contenant des éléments du groupe des halogènes (Br,Cl,F).

A. Halite (NaCl)

La halite est un minéral de structure cubique composé de chlorure de sodium de formule NaCl avec des traces d'iode, brome, fluor, fer, et silicium. Pure, elle est incolore si les cristaux sont bien formés, ou blanche. La présence d'impuretés lui donne parfois une couleur grise, jaunâtre à rougeâtre, brunâtre. La halite est un composant de nombreuses roches évaporitiques, provenant de l'évaporation de lacs ou mers salées. Elle peut se rencontrer en couches importantes dans les dépôts sédimentaires et en efflorescences en régions arides.

Ses principales utilisations sont :

- minerai d'extraction de la soude et de l'acide chlorhydrique ;
- dans l'industrie alimentaire, comme conservateur (notamment pour la conservation de la viande) ou condiment (sel alimentaire) ;
- la halite est le principal constituant du sel employé pour le salage des routes ;
- important minerai pour les sous produits extraits : potasse, magnésium, chlore, brome, iode.

B. Sylvine (KCl)

La sylvine est une espèce minérale (système cubique comme la halite) de la famille des chlorures. Il s'agit de la forme minéralogique du chlorure de potassium de formule KCl. Très soluble dans l'eau comme la halite, elle s'en distingue par son goût très amer sur la langue. C'est également un composant de roches sédimentaires évaporitiques. La sylvine est utilisée pour fabriquer des engrais potassiques.

C. Fluorine (CaF₂)

La fluorine ou fluorite est une espèce minérale composée de fluorure de calcium, de formule CaF₂.

La couleur est variable : incolore, vert, rose, violet, bleu... Elle est fluorescente lorsqu'elle est éclairée par un rayonnement ultraviolet. Son nom vient du latin *fluere* qui veut dire fondant (qui coule). Elle est en effet utilisée comme fondant (permet d'abaisser le point de fusion des métaux) par les fabricants d'acier et en verrerie, elle intervient aussi dans la fabrication de la fibre de verre et surtout pour la production d'acide fluorhydrique et de produits fluorés dérivés, dont le fluorure d'aluminium, à partir duquel s'obtient l'aluminium métal. Le fluorure de calcium est également utilisé dans l'optique instrumentale.

4.2.5. Carbonates : calcite, aragonite, dolomite

A. Calcite (CaCO₃)

La calcite est, après le quartz, le minéral le plus répandu à la surface de la terre et par ailleurs un des minéraux les plus variés quant à la forme. La calcite est un minéral composé de carbonate naturel de calcium de formule CaCO₃, avec des traces de Mn, Fe, Zn, Co, Ba, Sr, Pb, Mg, Cu, Al, Ni, Cr, Mo. L'abondance des cations autres que le calcium explique la richesse des variétés décrites et couleurs (généralement blanc ou jaunâtre, rouge, noir, bleu ...) pour ce minéral.

Formation après précipitation chimique lors de l'évaporation des solutions riches en bicarbonate de calcium mais peut être également d'origine organogène. Il est un composant majeur dans les calcaires.

C'est un minéral transparent à translucide, plus rarement opaque. Il réagit fortement à l'acide chlorhydrique même à froid.

B. Aragonite (CaCO₃)

Moins commune que la calcite, l'aragonite est un minéral (incolore, blanc-gris à jaune pâle ou nuancé de bleu, vert, violet ou rouge ; système orthorhombique) qui se trouve surtout en dépôts de basse température formée à proximité de la superficie terrestre (stalagmites et stalagmites des grottes, zones d'oxydation de gisements minéraux, sources chaudes). L'aragonite est plus rare que la calcite. Dans beaucoup d'organismes, le test primitif (coquille), formé d'aragonite, se transforme ensuite en calcite. (En conditions ambiantes, l'aragonite se transforme très lentement en calcite - en plusieurs dizaines voire centaines de millions d'années). Les perles et la nacre (La nacre est le revêtement intérieur de certaines coquilles de mollusque) sont constituées de lamelles d'aragonite mélangées à des matières organiques. Elle cristallise bien dans les eaux riches en chlorure de sodium

Elle jouent un rôle majeur dans le cycle biogéochimiques du carbone et dans les puits de carbone océaniques. L'aragonite devient soluble dans l'océan au-delà d'une certaine acidité de l'eau, (légèrement variable selon la température), c'est pourquoi elle est considérée comme un des traceurs et indicateurs de l'acidification des océans induite par les émissions anthropiques de CO₂ notamment. Selon les espèces, la coquille ou l'exosquelette de nombreux organismes marins est fait d'aragonite ou de calcite ou d'une superposition ou mélange de ces deux formes cristallines. Plus l'eau est acide, plus il y aura compétition entre la construction biochimique du calcaire et sa dissolution chimique dans l'eau de mer ambiante. Dans une eau trop acide, des coquilles déjà formées peuvent se déliter en tuant les animaux qu'elles protégeaient.

C. Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

Lorsque les eaux deviennent magnésiennes, on n'a plus de précipitation de calcite uniquement, mais aussi de dolomite. La dolomite réagit à HCL très faiblement ou pas du tout à froid, plus fortement si le minéral est chauffé. Système cristallin rhomboédrique, couleur variable. Minéral en association avec la calcite pour former la dolomie

4.2.6. Phosphates : apatite

L'apatite est un nom générique désignant des phosphates hexagonaux (système cristallin hexagonal) de composition assez variable, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$.

Trois espèces sont reconnues :

- **Chlorapatite** $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$
- **Fluorapatite** $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
- **Hydroxyapatite** $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$

On trouve l'apatite dans des roches sédimentaires, métamorphiques et magmatiques. Les apatites sédimentaires ont une origine chimique et/ou organogène (biochimique) : la matière première « brute » pour l'industrie du phosphore est la phosphorite, une roche sédimentaire phosphoreuse dont le composant principal est la carbonato-fluorapatite. L'hydroxyapatite est le minéral principal qui entre dans la composition des tissus osseux et dentaire. Les squelettes des vertébrés peuvent former des sédiments à phosphates (Le phosphate de calcium est soluble en environnement acide (rivière), mais beaucoup moins dans un environnement alcalin (mer). Le changement de pH quand une rivière se jette dans la mer produit la précipitation du phosphate, ce qui contribue aux eaux troubles des estuaires.).

L'apatite est donc source de phosphore pour fabriquer des engrais artificiels

4.2.7. Nitrates

Les minéraux nitrates servent à la fabrication d'engrais et d'acide nitrique. Nitre et nitratin sont des évaporites, c'est à dire qu'ils cristallisent suite à l'évaporation de l'eau dans laquelle ces minéraux sont solubles.

A. Nitratine (NaNO_3)

De couleur blanche ou rougeâtre, la nitratine possède une forme cristalline primitive rhomboédrique.

Très soluble dans l'eau, on en retrouve dans les régions sèches comme les déserts suite à l'évaporation de l'eau apportées par les rivières.

Par exemple on en retrouve dans les régions désertiques à l'ouest de la cordillère des Andes au Chili ; ou encore dans la vallée de la Mort aux USA.

Mélangée à d'autres sels, la nitratine donne le « Caliche du Chili » qui sert à la fabrication d'engrais.

B. Nitre (KNO_3)

Le nitre forme le salpêtre, qui servait autrefois d'explosif ou dans la fabrication d'engrais.

A la surface des murs humides des caves, on peut observer la formation de ce minéral.

Le salpêtre est aussi utilisé dans la conservation de la viande et des charcuteries. C'est l'additif E252. Il réagit et produit du nitrite puis du monoxyde d'azote qui transforment la myoglobine rouge en un colorant rose typique du jambon et des salamis.

4.2.8. Sulfates : gypse, barytine

A. Barytine (BaSO_4)

Minéral de couleur blanche à jaunâtre, dense, système orthorhombique.

Dans l'industrie pétrolière, elle est employée comme boue lourde de forage pour augmenter la densité des fluides de forages et éviter les fuites des gaz.

Dans les centrales nucléaires, elle peut également entrer dans la composition du béton afin d'augmenter considérablement sa densité et son impénétrabilité aux rayons gamma

Opaque aux rayons X, ce produit est utilisé en radiographie sous une forme insoluble pour visualiser le cheminement du bol alimentaire dans le tube digestif.

B. Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Le gypse est de couleur blanche, blanc-grisâtre ou rosé. Système monoclinique.

Il peut prendre un aspect fibreux ou des formes particulières (rose des sables).

Déshydraté, le gypse blanc fibreux donne le plâtre.

L'albâtre est une variété de gypse massif à grains fins

5 Minéraux silicatés

5.1.Règles de Pauling

5.2.Structure des silicates

5.3.Types de silicates : Cyclosilicates, Nésosilicates, Sorosilicates, Inosilicates, Phyllosilicates
(mica, minéraux argileux), Tectosilicates (quartz, feldspaths)

5.4.Phyllosilicates

5.4.1. Place des argiles en pédologie et géologie

5.4.2. Structure des phyllosilicates

5.4.3. Propriétés des phyllosilicates et importance pour le sol

5.5. Tectosilicates : quartz, feldspaths, feldspathoïdes

Chapitre 3 : Pétrographie

- I. Introduction : les différentes familles de roches
- II. Roches sédimentaires
 - 1. Le phénomène sédimentaire
Glyptogenèse, dépôt, diagenèse
 - 2. Classement des roches sédimentaires
 - 2.1. Classement génétique
 - 2.2. Classement chimique
 - 3. Roches conglomératiques : poudingues, brèches,...
 - 4. Roches siliceuses : grès,...
 - 5. Roches carbonatées : calcaire, dolomie, craie,...
 - 6. Roches argileuses : schistes,...
 - 7. Roches mixtes : schistes gréseux, marne,...
- III. Roches métamorphiques
 - 1. Généralités
 - 2. Les facteurs du métamorphisme
 - 3. Le métamorphisme général
 - 4. Le métamorphisme de contact
- IV. Roches magmatiques

Chapitre 4 : Cartographie

1. Etude des principaux types de structure et réalisation de coupes géologiques

Structures tabulaires

Structures monoclinales : notion de pendage

Structures plissées

Structures faillées

2. Histoire géologique d'un territoire et géomorphologie

Exemple du Pays de Bray

Exemple de la région de Mirecourt ou de St Gobain (02)