

Minéralogie

L'origine des minéraux

Les principaux processus qui conduisent à la formation de minéraux sont les suivants.

- Cristallisation d'un liquide qui, par refroidissement, passe de l'état liquide à solide.
Exemples : passage de l'eau à la glace; cristallisation par refroidissement d'un magma.
- Précipitation chimique à partir d'une solution sursaturée par rapport à un minéral.
Exemples : la formation des agathes; la formation des dépôts de cavernes, les minéraux de la séquence évaporitique.
- Cristallisation de vapeurs.
Exemple : la cristallisation du soufre autour des fumerolles (émanations de gaz riches en H₂S provenant de la chambre magmatique) sur les volcans.

La cristallisation par refroidissement d'un magma

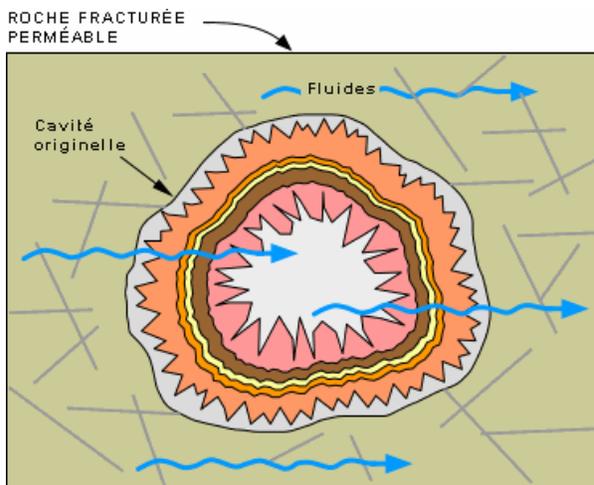
Chaque minéral possède son point de fusion qui correspond aussi à son point de cristallisation à une pression donnée. Plusieurs minéraux de la croûte terrestre cristallisent à partir d'un magma, c'est-à-dire, de la roche fondue. Cette cristallisation obéit à certaines règles. Dans un magma dont la température est supérieure à 1200° C, comme au niveau du manteau supérieur par exemple, les minéraux sont tous sous leur phase liquide. Si ce magma est introduit dans la croûte terrestre, il subit un abaissement de pression et se refroidit progressivement. Avec un abaissement de la température du magma, les minéraux dont la température de cristallisation devient progressivement plus basse cristallisent. L'ordre de cristallisation est le suivant :

1) Olivine. 2) Pyroxènes. 3) Amphiboles 4) Biotite. 5) Quartz, 6) Feldspaths 7) Muscovite

		
L'olivine	Un pyroxène : l'augite	Un amphibole : la hornblende
		
La biotite	Un feldspath	La muscovite

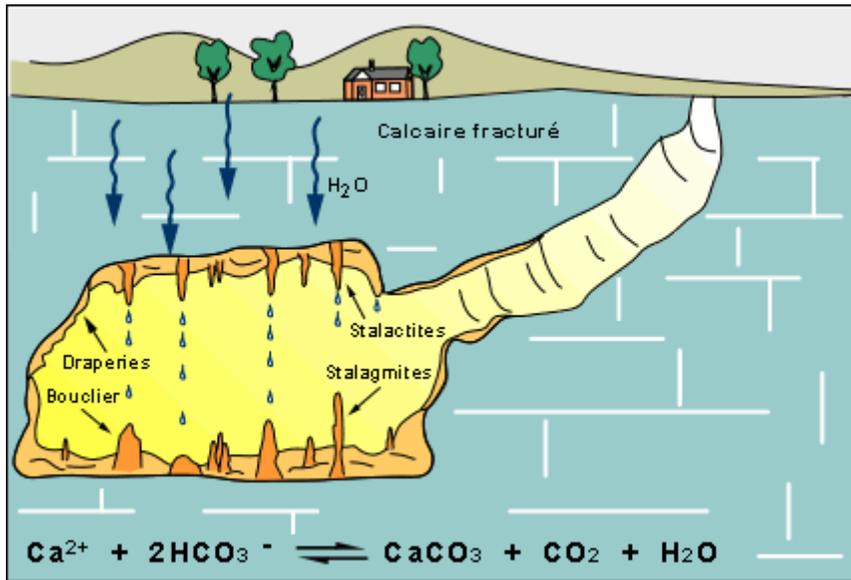
A mesure que les minéraux cristallisent dans la chambre magmatique c.à.d. dans la poche où s'est introduit le magma, les cristaux sédimentent, s'accablent à la base de la chambre. Il se fait donc une ségrégation, et les roches issues de la cristallisation du magma (roches ignées) auront des assemblages de minéraux différents selon qu'on est à la base, au milieu ou au sommet de la chambre magmatique.

La formation des agathes



Il y a toutes sortes de solutions aqueuses qui circulent dans les roches de la croûte terrestre. Elles peuvent provenir des zones chaudes du manteau et être constituées de l'excès de vapeur d'eau d'un magma. Ou encore, il peut s'agir de l'eau qui avait été piégée dans les bassins sédimentaires profonds. Les belles agathes qu'on nous vend dans les boutiques de minéraux ont été formées par la précipitation de minéraux dans une cavité de la roche, à partir d'une solution.

La formation des dépôts de cavernes



Des dépôts spectaculaires comme les stalactites et les stalagmites des cavernes se forment à partir d'une solution riche en sels minéraux, laquelle subit un dégazage important lorsqu'elle atteint les parois internes de la caverne. Les cavernes sont creusées dans des terrains calcaires sous l'effet d'une dissolution à grande

échelle par les eaux de pluies qui sont naturellement acides (d'où la dissolution) et qui, s'infiltrant dans les fractures, agrandissent progressivement ces dernières pour finalement créer tout un réseau de cavernes et de galeries souterraines. Les stalactites et les stalagmites sont composés de calcite et se forment par précipitation sur les murs et le plancher de la caverne à partir de l'eau qui ruisselle.

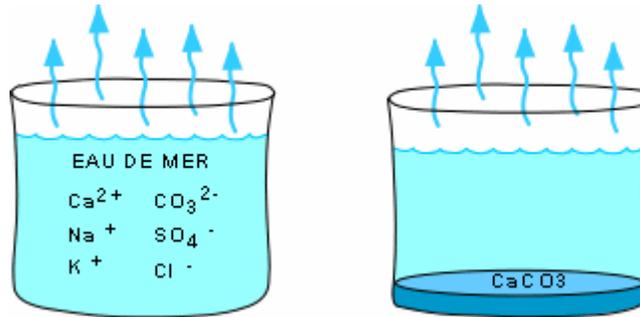
Cette eau provient de la surface, par infiltration à travers les fractures du calcaire. Cette solution contient du CO₂ et passablement d'ions calcium (Ca²⁺) et de radicaux HCO₃²⁻ acquis de la dissolution des calcaires. Dans les roches juste au-dessus de la caverne, la pression du CO₂ contenu dans la solution se trouve à plusieurs atmosphères, à cause du poids de la roche. Lorsque la solution arrive aux parois de la caverne, sa pression passe subitement de plusieurs atmosphères à une atmosphère, puisque la pression dans la caverne est à peu près la même que celle de la surface du fait que la caverne communique avec la surface. Il se produit alors un phénomène de dégazage du CO₂. L'équation sur le schéma est l'expression chimique du processus. La calcite CaCO₃ précipite.

Les minéraux de la séquence évaporitique

Plusieurs cristaux, et parmi les plus beaux spécimens, se forment aussi à partir de solutions sursaturées en certains éléments chimiques, c'est-à-dire une solution qui contient plus de sels qu'elle ne peut en dissoudre. Les cristaux précipitent à partir de la solution selon divers processus. L'évaporation est un de ces processus. Un bon exemple est la suite de minéraux qui précipitent quand s'évapore de l'eau de mer. Les schémas qui suivent illustrent de façon très simplifiée comment se forme cette suite.

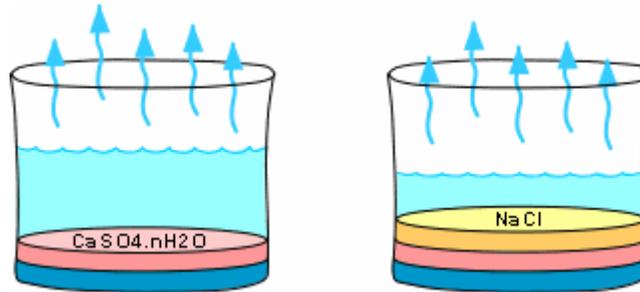
L'eau de mer contient une panoplie importante d'ions en solution, dont des ions positifs tels le calcium, le sodium et le potassium, des ions négatifs tels le chlore, et des radicaux négatifs comme CO₃ et SO₄. L'évaporation ne se débarrasse que de l'eau, ce qui fait qu'au

fur et à mesure de l'évaporation, la solution devient de plus en plus saline, c'est-à-dire que les sels se concentrent de plus en plus.

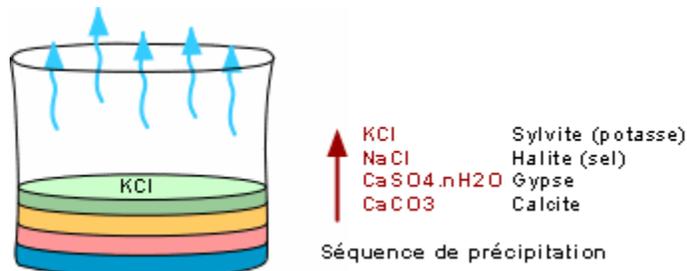


L'eau de mer normale a une salinité de l'ordre de 35 ppm. A cette salinité, elle est légèrement sursaturée par rapport au carbonate de calcium, CaCO_3 (calcite et aragonite). Ce dernier précipite naturellement et dépose une couche de cristaux de CaCO_3 au fond du bocal.

Avec la poursuite de l'évaporation et par conséquent l'augmentation de la salinité, la solution devient sursaturée par rapport à un autre sel, le CaSO_4 hydraté (gypse); la solution (le milieu) est dite pénésaline. Le gypse précipite. Puis, avec encore une augmentation de la salinité, vient la phase de précipitation du chlorure de sodium, NaCl (halite, le sel commun); la solution (le milieu) est dite saline.

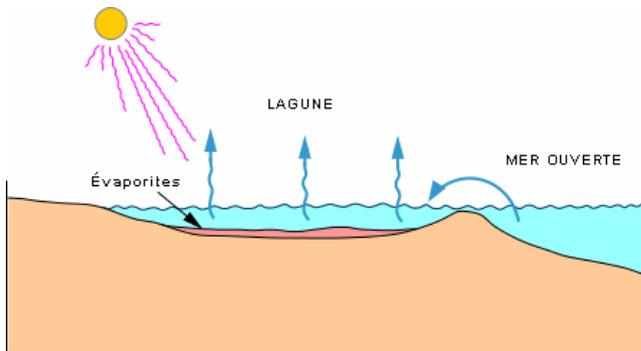


La dernière phase avant l'évaporation totale est le chlorure de potassium, KCl (sylvite, communément appelée potasse); la solution (le milieu) est hypersaline.



On obtient donc une suite bien spécifique de minéraux précipités à mesure de l'évaporation de l'eau de mer. C'est la suite évaporitique ou ce qu'on appelle plus communément les évaporites. Au moins trois de ces minéraux interviennent dans les activités humaines: le gypse, entre autre pour la fabrication des panneaux de gypse, le sel de table et ... de routes, et la potasse dans les fertilisants.

Si on tentait d'obtenir la suite évaporitique en évaporant l'eau d'un seul bocal d'eau de mer, on obtiendrait très peu de produits. Il faut que les choses se passent à beaucoup plus grande échelle. Comment cela se traduit-il dans la nature?

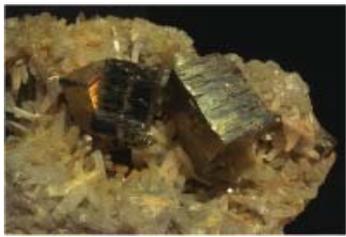


La précipitation des minéraux évaporitiques se fait, entre autre, dans les grandes lagunes en bord de mer, lagunes qui se mesurent en plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres carrés, dans des régions où l'évaporation excède la précipitation.

L'identification des minéraux

Couleur

Il y a une grande variété de couleurs chez les minéraux, mais c'est là un critère qui est loin d'être absolu. Des spécimens de couleurs différentes peuvent représenter le même minéral, comme le quartz qui présente plusieurs variétés selon la couleur qui va de l'incolore limpide (quartz cristal de roche), au blanc laiteux, au violet (améthyste), au jaune (citrine), etc., alors que des spécimens qui ont tous la même couleur peuvent représenter des minéraux tout à fait différents, comme ces minéraux à l'éclat métallique qui ont tous la couleur de l'or: la pyrite qu'on appelle l'or des fous, la chalcoppyrite qui est un minerais duquel on extrait le cuivre, et l'or.

		
Quartz SiO_2	Améthyste SiO_2	Citrine SiO_2
		
Pyrite FeS_2	Chalcoppyrite CuFeS_2	Or Au

Éclat

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

Trait

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



L'hématite a un trait brun-rougeâtre (gauche)

Dureté

Les minéralogistes ont une échelle relative de dureté qui utilise dix minéraux communs, classés du plus tendre au plus dur, de 1 à 10. Cette échelle a été construite par le minéralogiste autrichien Friedrich Mohs et se nomme par conséquent l'échelle de Mohs.

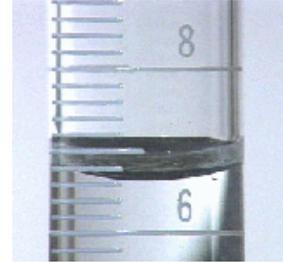
DURETÉ

Rayés par l'ongle	1	Talc
Rayés par une pièce en cuivre de un cent	2	Gypse
	3	Calcite
Rayés par la lame d'acier d'un canif	4	Fluorite
	5	Apatite
Rayent le verre	6	K-feldspath
	7	Quartz
	8	Topaze
	9	Corindon
	10	Diamant



Densité

La densité des minéraux est une propriété mesurable; elle est une constante physique qui caractérise un minéral donné. Beaucoup de minéraux ont une densité qui se situe autour de 2,7, soit 2,7 fois plus lourd qu'un volume égal d'eau. Mais certains ont une densité relativement faible, comme le sel qui a une densité de 2,1; d'autres se situent à l'autre extrême, comme la galène (sulfure de plomb) avec une densité de 7,5 et l'or dont la densité est de 19,3.



Mesurer la température

Remplir le cylindre d'eau jusqu'à un trait de jauge

Mesurer la masse de l'eau + masse cylindre m_1

Vider

Mesurer la masse m_2 du minéral

Remplir le cylindre du minéral puis d'eau jusqu'au même trait de jauge et mesurer la masse m_3

Alors :

$m_3 - m_2$ est la masse du cylindre + eau restante

$m_1 - (m_3 + m_2)$ est la masse de l'eau qui occupe le même volume que le minéral

$\rho(\text{minéral}) = \text{masse du minéral} / \text{volume du minéral} = \text{masse du minéral} / \text{volume de l'eau déplacée} = m_2 / (m_1 - (m_3 + m_2))$

t	ρ_t	t	ρ_t	t	ρ_t	t	ρ_t
18.0	0,998595	22.5	0,997654	27.0	0,996511	31.5	0,995183
18.5	0,998500	23.0	0,997537	27.5	0,996372	32.0	0,995024
19.0	0,998403	23.5	0,997417	28.0	0,996231	32.5	0,994864
19.5	0,998304	24.0	0,997295	28.5	0,996088	33.0	0,994701
20.0	0,998203	24.5	0,997170	29.0	0,995943	33.5	0,994536
20.5	0,998098	25.0	0,997043	29.5	0,995795	34.0	0,994370
21.0	0,997991	25.5	0,996913	30.0	0,995645	34.5	0,994201
21.5	0,997881	26.0	0,996782	30.5	0,995493		
22.0	0,997769	26.5	0,996648	31.0	0,995339		

t in °C, ρ_t in g/ml

Masse volumique de l'eau à température t

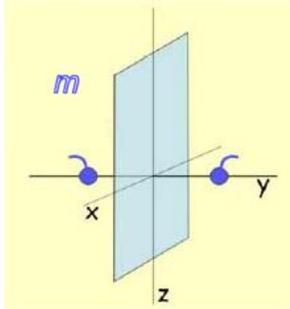
Forme cristalline

Chaque minéral dans un *système cristallin* donné.

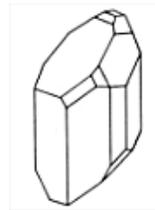
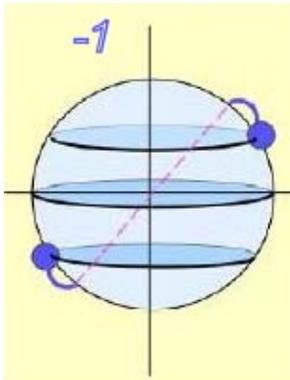
a) Éléments de symétrie

Un cristal possède un élément de symétrie, s'il est globalement invariant par cette symétrie

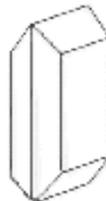
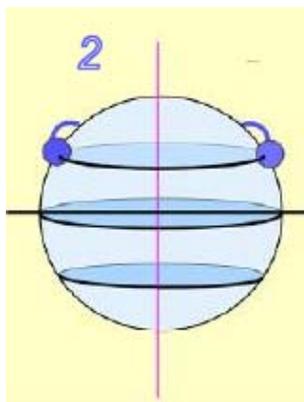
-Plan de symétrie m



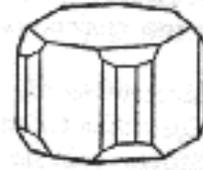
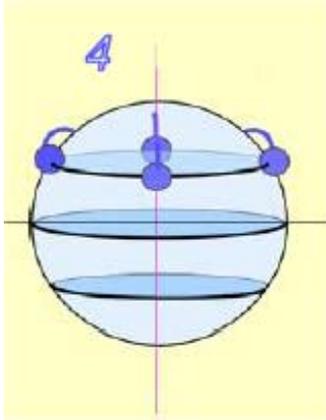
-Centre de symétrie -1



-Axe d'ordre 2 : 2



-Axe d'ordre 4 : 4



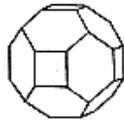
Il existe aussi des axes d'ordre 3 et 6 : 3,6

b) Les 6 systèmes cristallins

- Le système cubique (isométrique)

Il y a **au moins** deux axes d'ordre 3

Exemples :

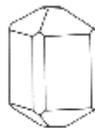
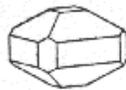


fluorine

- Le système quadratique (tétragonal)

Il y a **un seul** axe d'ordre 4 et pas d'axes d'ordre 3

Exemples :

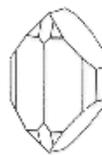
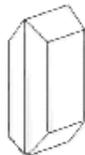


L'anastase

- le système orthorhombique

Il y a **au moins deux** axes d'ordre 2 ou **au moins deux** plans de symétrie et pas d'axe d'un autre ordre

Exemples :

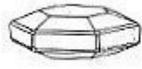


Le soufre

- *Le système hexagonal*

Il y a **un** axe d'ordre 6 ou un axe d'ordre 3 avec plan de symétrie perpendiculaire

Exemples :



La miméteite

- *Le système monoclinique*

Il y a **un seul** axe d'ordre 2 ou/et seul plan de symétrie

Exemples :

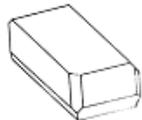


L'euclase

- *Le système triclinique*

Il n'y a **ni** axe de symétrie, **ni** plan de symétrie, un centre de symétrie **peut** exister

Exemples :



Le disthène

Clivage

Le clivage est une propriété très importante des minéraux. Un minéral va se briser facilement le long des plans de clivage. Ainsi, si on frappe (un bon coup de marteau!), on obtiendra toujours les mêmes angles entre les faces des morceaux, quelle que soit la



Calcite

dimension de ces derniers. Par exemple, la calcite possède un clivage avec des plans à 75° et 105°. Par contre, si on brise un cristal de quartz qui est un minéral sans clivage, on obtient des fragments avec des cassures très irrégulières (comme si on brisait un tesson de bouteille). Les micas se débitent en feuilles grâce à leur clivage selon un plan unique.

Effervescence

Les minéraux de la classe des *carbonates* sont décomposés chimiquement par les acides, cette réaction chimique dégage des bulles de gaz carbonique, un phénomène qu'on qualifie d'effervescence (un bouillonnement). Selon les minéraux carbonatés, cette effervescence se produit, sur la masse minérale même ou sur la poussière, à froid ou à chaud.