

A. LES MINÉRAUX

1/ La minéralogie : est une [science](#) multidisciplinaire qui a pour objet les [minéraux](#)⁽¹⁾, leurs identifications⁽²⁾, leurs caractérisations et descriptions⁽³⁾, leurs analyses⁽⁴⁾, leurs variétés et habitus⁽⁵⁾, leurs classements, classifications et collections⁽⁶⁾, leurs gîtologie, gisements et répartitions⁽⁷⁾, leurs origines⁽⁸⁾ et leurs divers modes de formation⁽⁹⁾, leurs usages par l'Homme⁽¹¹⁾, leurs intérêts pour la végétation ou la faune⁽¹²⁾, leurs histoires dans l'univers⁽¹³⁾ des écrits ou discours savants ou des savoirs profanes ou traditionnels, les diverses modalités de connaissances... La minéralogie descriptive étudie les minéraux des milieux naturels, constituants diversement associés dans les roches.

2/ Un minéral :est une substance normalement [inorganique](#), plus rarement [organique](#), formée naturellement ou synthétisée artificiellement, définie par sa [composition chimique](#) et l'agencement de ses [atomes](#) selon une [périodicité](#) et une [symétrie](#) précises qui se reflètent dans le [groupe d'espace](#) et dans le [système cristallin](#) du minéral. Chaque minéral est caractérisé par une [formule chimique](#) et une [structure cristalline](#), (respectivement par la nature des atomes qui le composent et leur agencement dans l'espace). Ainsi chaque minéral se caractérise par ses propriétés physico-chimiques.

Les minéraux sont généralement [solides](#) dans les conditions naturels de température et de pression (CNTP) et s'associent pour former les [roches](#) constituant la [croûte terrestre](#) et, d'une façon plus générale, la [lithosphère](#).

Un **crystal** est un solide dont les constituants ([atomes](#), [molécules](#) ou d'[ions](#)) sont assemblés de manière régulière, par opposition au [solide amorphe](#) . Par « *régulier* » on veut généralement dire qu'un même motif est répété à l'identique un grand nombre de fois selon un [réseau](#) régulier. Les cristaux les plus communs sont la [neige](#), le [sucre](#), les [sels](#), les [silicates](#), les [oxydes](#), les [sulfures](#), les [métaux](#) et les [pierres précieuses\(gemmes\)](#).

3/ Propriétés des minéraux : Les [minéraux](#) se caractérisent par leurs [propriétés physiques, chimiques et leur type de cristallisation](#). Chaque minéral possède sa **propre composition chimique** bien définie. Il existe diverses méthodes pour reconnaître et identifier les minéraux. Une première approche consiste à effectuer des investigations **non destructives**, et la deuxième sont des **méthodes destructives**.

Plusieurs propriétés et méthodes permettent de caractériser un minéral. Tels que :

- ✓ sa [structure cristalline](#) à l'état solide (le plus souvent étudiée à l'aide de la diffraction des rayons X) ;
- ✓ sa composition chimique (souvent analysée à la [microsonde électronique](#)) ;
- ✓ ses propriétés mécaniques : [densité](#) ou [masse volumique](#), [dureté](#), [clivage](#), cassure, fracture, toucher ;
- ✓ ses propriétés optiques : [couleur](#), [trace](#), [éclat](#), [transparence](#), [indice de réfraction](#), analyse interférentielle à l'aide de rayons X ;
- ✓ les liaisons entre les atomes, qui peuvent être notamment : covalentes, ioniques, métalliques, de [van der Waals](#) ;
- ✓ ses propriétés chimiques : [photoluminescence](#), réactivité avec les acides, coloration sous la flamme ;
- ✓ sa [phase](#) (solide, liquide ou gazeuse) ;
- ✓ sa [solubilité](#) (dans l'eau et dans les acides) ;

- ✓ ses propriétés électriques et thermiques.

4/ Nomenclature des minéraux : La nomenclature moderne s'impose dans le courant du XIX^e siècle, dans laquelle le nom trouve son origine dans plusieurs raisons :

- une propriété caractéristique (exemple la [magnétite](#)) ;
- le nom de l'élément chimique dominant (exemple la [calcite](#)) ;
- le nom d'un savant (exemple la [dolomite](#), dédiée à [Déodat de Dolomieu](#)) ;
- sa couleur (exemple l'[azurite](#)) ;
- une localité (exemple l'[autunite](#) a été découverte près d'[Autun, Saône-et-Loire](#)).

5/ Classification des minéraux : Les principaux minéraux constitutifs de l'écorce terrestre

Il existe plus de 4 000 minéraux connus, qui sont classés principalement d'après des critères chimiques et cristallographiques. Leur composition chimique permet de les grouper en dix classes principales ([classification de Strunz](#), 9^e éd., 2001) :

1. [éléments natifs](#), composés d'un seul [élément chimique](#) plus ou moins [pur](#), comme le [carbone](#) (avec le diamant), le [soufre](#), l'[or](#), le [cuivre](#), le [platine](#) ;
2. [sulfures](#) (S^{2-}), comprenant les [sulfo-sels](#) ;
3. [halogénures](#), comme les [chlorures](#) (Cl^-), les [fluorures](#) (F^-) ;
4. [oxydes](#) (O^{2-}) et [hydroxydes](#) (OH^-), comme la [magnétite](#), le [corindon](#) ou le [rutil](#) ;
5. [carbonates](#) (CO_3^{2-}) et [nitrates](#) (NO_3^-) ;
6. [borates](#) (BO_3^{3-}) ;
7. [sulfates](#) (SO_4^{2-}), [chromates](#) (CrO_4^{2-}), [molybdates](#) (MO_4^{2-}), [tungstates](#) (WO_4^{3-}) ;
8. [phosphates](#) (PO_4^{3-}), [arséniates](#) (AsO_4^{3-}), [vanadates](#) (VO_4^{3-}) ;
9. [silicates](#) (SiO_x) ;
10. [minéraux organiques](#).

On peut aussi évoquer les [faux minéraux](#), que l'on trouve en nombre croissant aujourd'hui, dont beaucoup sont fabriqués à destination de l'industrie, des bijouteries et du tourisme.

6/ Prospection : Des minéraux sont susceptibles d'être découverts dans les sources suivantes :

- les [mines](#) et les [carrières](#), qui sont les terrains de prédilection pour la recherche des minéraux ;
- les [météorites](#), qui tombent par milliers sur Terre chaque jour ;
- en laboratoire et grâce à l'[informatique](#), les chercheurs trouvent des combinaisons théoriques de minéraux [composites](#), qui constituent actuellement l'essentiel des découvertes.

7/ L'échelle de dureté : L'[échelle de dureté de Mohs](#) fut inventée en [1812](#) par le minéralogiste [allemand Friedrich Mohs](#) afin de mesurer la dureté des minéraux. Le numéro 1 étant le moins dur et le numéro 10 le plus dur.

1. Le [talc](#) 2. Le [gypse](#) 3. L'[ongle](#) 4. La [calcite](#)

5. La [fluorine](#) 6. L'[apatite](#) 7. L'[orthose](#) 8. Le [quartz](#) 9. La [topaze](#) 10. Le [diamant](#)

8/ Proportions des minéraux et leurs utilisations

Le tableau 2.2 présente la proportion des éléments chimiques les plus abondants dans la croûte terrestre.

Oxygène (O)	46,6 %	~75 %
Silicium (Si)	27,7	
Aluminium (Al)	8,1	
Fer (Fe)	5,0	
Calcium (Ca)	3,6	
Sodium (Na)	2,8	
Potassium (K)	2,6	
Magnésium (Mg)	2,1	
... les autres	1,5	

Tableau 1 : Les éléments chimiques les plus abondants

Deux éléments seulement, Si et O, représente presque des trois quarts (74,3%) de l'ensemble des matériaux.

Le tableau 2.3 présente les minéraux les plus communs dans les principaux groupes et leurs usages.

GROUPE	MINÉRAL	FORMULE	USAGE
ÉLÉMENTS NATIFS	Or	Au	Échange, joaillerie joaillerie, photographie conducteurs électriques gemmes, abrasifs mines à crayons, lubrifiants médicaments, produits chimiques catalyseurs, alliages
	Argent	Ag	
	Cuivre	Cu	
	Diamant	C	
	Graphite	C	
	Soufre	S	
	Platine	Pt	
OXYDES	Hématite	Fe₂O₃	minerai de fer minerai de fer gemme, abrasif
	Magnétite	Fe ₃ O ₄	
	Corindon	Al ₂ O ₃	
SULFURES	Galène	PbS	minerai de plomb minerai de zinc "or des fous" minerai de cuivre minerai de cuivre minerai de mercure
	Sphalérite	ZnS	
	Pyrite	FeS ₂	
	Chalcopyrite	CuFeS ₂	
	Bornite	Cu ₅ FeS ₄	
SULFATES	Cinabre	HgS	
	Gypse	CaSO₄·H₂O	plâtre et panneaux plâtre et panneaux boue de forage
	Anhydrite	CaSO ₄	
Barite	BaSO ₄		
CARBONATES	Calcite	CaCO₃	ciment Portland ciment Portland minerai de cuivre, joaillerie minerai de cuivre, joaillerie joaillerie
	Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	
	Malachite	Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	
	Azurite	Cu ₃ (OH) ₂ (CO ₃) ₂	
	Rhodochrosite	MnCO ₃	
SILICATES	quartz	SiO₂	verre, horlogerie, calculatrices poudre pour bébés isolant céramique
	talc	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	
	amiante	Mg ₆ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈	
	kaolinite	Al ₄ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈	
HALOGÉNURES	Halite	NaCl	sel commun fabrication des aciers fertilisants
	Fluorite	CaF ₂	
	Sylvite	KCl	
HYDROXYDES	Limonite	FeO(OH)·nH ₂ O	minerai de fer, pigment minerai d'aluminium
	Bauxite	Al(OH) ₃ ·nH ₂ O	

Tableau 2 : Les minéraux et leurs usages

L'identification des minéraux :

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

a) Couleur

Il y a une grande variété de couleurs chez les minéraux. 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 (cristal de roche), au blanc laiteux, au violet (améthyste), au rouge (jaspe), au noir enfumé, au bleu, 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 chalcopryrite qui est un minerais duquel on extrait le cuivre, et l'or. Il faut noter que la couleur doit être observée sur une cassure fraîche, car l'altération superficielle peut modifier la couleur, particulièrement chez les minéraux à éclat métallique.

b) Éclat

C'est l'aspect qu'offre leur surface lorsqu'elle réfléchit la lumière. On distingue deux grandes catégories: **l'éclat métallique**, brillant comme celui des métaux, 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.

c) Trait

Une propriété qui a trait à la couleur, mais qui est un peu plus fiable et dont le test est facile à réaliser,. 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 porcelain الخزف non émaillée (en autant que la dureté de la plaque est supérieure à celle du minéral). Par exemple, l'hématite, un minéral dont on extrait le fer, possède une couleur noire en cassure fraîche mais un trait brun rougeâtre sur la plaque de porcelaine.

d) Dureté

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

Sur cette échelle, on a quelques points de repères. Des minéraux comme le talc et le gypse sont si tendres qu'ils sont rayés par l'ongle. Pas étonnant qu'on utilise le talc dans les poudres pour la peau. La calcite est rayée

par une pièce de cuivre, alors qu'une lame de canif, en acier, saura rayer tous les minéraux de dureté inférieure à 5, mais ne pourra rayer les feldspaths et le quartz. Un minéral qu'on utilise dans les abrasifs, pourra rayer le quartz, mais sera rayé par un diamant.

e) 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 gr/cm^3 . 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.

f) Formecristalline

La forme cristalline est souvent ce qui donne la valeur esthétique d'un minéral. Chaque minéral cristallise dans un système donné, ce qu'on appelle un système cristallin. Un minéral donné reproduira toujours les mêmes formes régies par ce système. Par exemple, l'halite (sel) cristallise dans le système cubique. La calcite cristallise dans le système rhomboédrique, un système où les trois axes sont de longueur égale et où les angles entre les axes sont identiques, mais différents de 90° . Le quartz commun cristallise dans le système hexagonal; on aura des cristaux à six côtés, et, dans les formes pyramidales, on aura une pyramide à six faces à chaque extrémité.

g) Clivage

Le clivage est une propriété très importante des minéraux. Il correspond à des plans de faiblesse dans la structure cristalline. Puisqu'il s'agit de plans de faiblesse, un minéral va donc se briser facilement le long des plans de clivage, alors qu'il ne se brisera jamais selon ses faces cristallines.

h) Macles

Imbrication intime de 2 ou de n individus de la même espèce dès les premiers stades de la germination et de la croissance cristalline. Il est rare que le cristal soit seul, on assiste très souvent à l'association de 2 ou 3 cristaux, cette association s'appelle macle.

i) 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.

B. LES ROCHES

Les roches : sont des agrégats de minéraux constituant l'écorce terrestre. Elles sont le résultat de l'**assemblage des minéraux** entre eux. Leur formation est donc liée à sa composition minérale, mais aussi à des processus de transformations mécaniques et parfois chimiques, intervenant dans des cycles géologiques. Les roches sont présentes sous diverses formes : solides, liquides (pétrole) ou meuble (sable), *tel la farine et l'eau donneront différents pains selon le type de farine utilisé, la manière dont il est pétri et le mode de cuisson.*

Classification des roches : On distingue les roches (de manière très **succincte**) :

1. *En fonction de la composition minérale :*

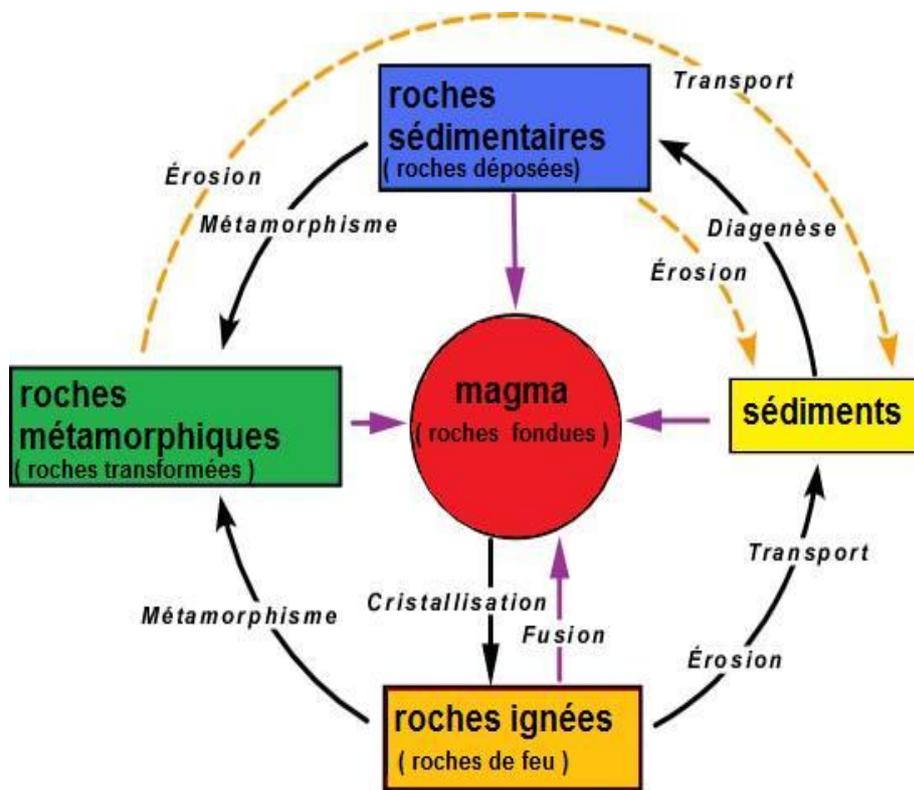
- Roches mono-minérales, ou roches monominérale : composées d'un minéral majoritaire, ex : [calcaire](#) pur.
- Roches pluri-minérales, ou roches pluriminérale : agrégat de plusieurs minéraux, ex : [granite](#).

2. *En fonction de l'homogénéité :*

- Roches dures et cohérentes : " pierre " ;
- Roches plastiques : " [argiles](#) " ;
- Roches meubles : " [arènes](#) ", " [sables](#) " ;
- Roches fluides = liquide : " huiles ", [pétroles](#) ;
- Roches fluides = gazeuse: «[gaz](#) ".

3. *En fonction de leurs modes et milieux de formations :*

- Roches exogènes (formées en surface de l'écorce terrestre) :
 - ✓ roches [sédimentaires](#) (roches détritiques, roches biogènes, ...)
 - ✓ roches résiduelles.
- Roches endogènes (formées, au moins en partie en profondeur, à des [pressions](#) et [températures](#) supérieures à celles de la surface de l'écorce terrestre) :
 - ✓ roches [magmatiques](#) (solidification de [magmas](#)) :
 - roches plutoniques [intrusives] : elles ont cristallisé au sein de la lithosphère ;
 - roches volcaniques [effusives] : elles se sont épanchées en surface ;
 - roches hydrothermales : formées à partir de gaz ou de solutions à haute température, en relation avec des magmas ;
 - ✓ roches [métamorphiques](#) (recristallisation de roches existantes, par suite d'élévations de pression et température le plus souvent liées à l'enfouissement), [métamorphisme](#).



Cycle globale des roches Trois grandes catégories de roches

Les roches sont classées selon leur composition, leur origine ou la modalité de leur formation, en trois grandes catégories : Trois grands types de roches forment la croûte terrestre. La figure 2.4 présente ces trois grands types, ainsi que les processus qui conduisent à leur formation. Ainsi présenté, il véhicule l'idée de la cyclicité des processus.

A. Les roches magmatiques (également appelées roches ignées ou roches éruptives), se forment quand un magma se refroidit et se solidifie, avec ou sans cristallisation complète des minéraux le composant. Cette solidification peut se produire :

- en profondeur, cas des roches magmatiques plutoniques (dites aussi « intrusives ») qui se sont refroidies en profondeur, lentement et sans dégazage dans la [chambre magmatique](#), et sont [holocristallines](#).
- à la surface, cas des roches magmatiques volcaniques (dites « extrusives » ou « effusives ») qui se sont refroidies brutalement en surface après une éruption volcanique, et sont [hémicristallines](#).
- les roches filoniennes (hypabyssales), sont intermédiaires entre les roches extrusives et intrusives, et ayant subi un dégazage partiel.

Dans tous les cas, les roches magmatiques sont qualifiées **d'endogènes** (tout comme les roches métamorphiques), car elles se sont formées en profondeur.

B. **Les roches métamorphiques** (ou cristallophylliennes) sont formées par la recristallisation (et généralement la déformation) de roches sédimentaires ou de roches magmatiques sous l'action de la température et de la pression qui croissent avec la profondeur dans la croûte terrestre ou au contact d'autres roches, ce qui entraîne une réorganisation chimique, et donc minéralogique, de la roche. Ces transformations se font à l'état solide, c'est-à-dire sans fusion de la roche (magmatisme).

Les roches métamorphiques ont des caractéristiques très différentes selon leur composition, la température atteinte, la vitesse et la manière avec lesquelles elles refroidissent. Ce qui donne plus de 700 variétés différentes de roches métamorphiques.

C. **Les roches sédimentaires** : sont des roches exogènes, c'est-à-dire qui se forment à la surface de la Terre, ce sont les roches qui résultent de l'accumulation en couches et du compactage de débris d'origine minérale (dégradation d'autres roches), organique (restes de végétaux ou d'animaux, fossiles), sous l'action l'érosion, aux effets du vent, de l'eau, des alternances climatiques (gels - dégels), etc.

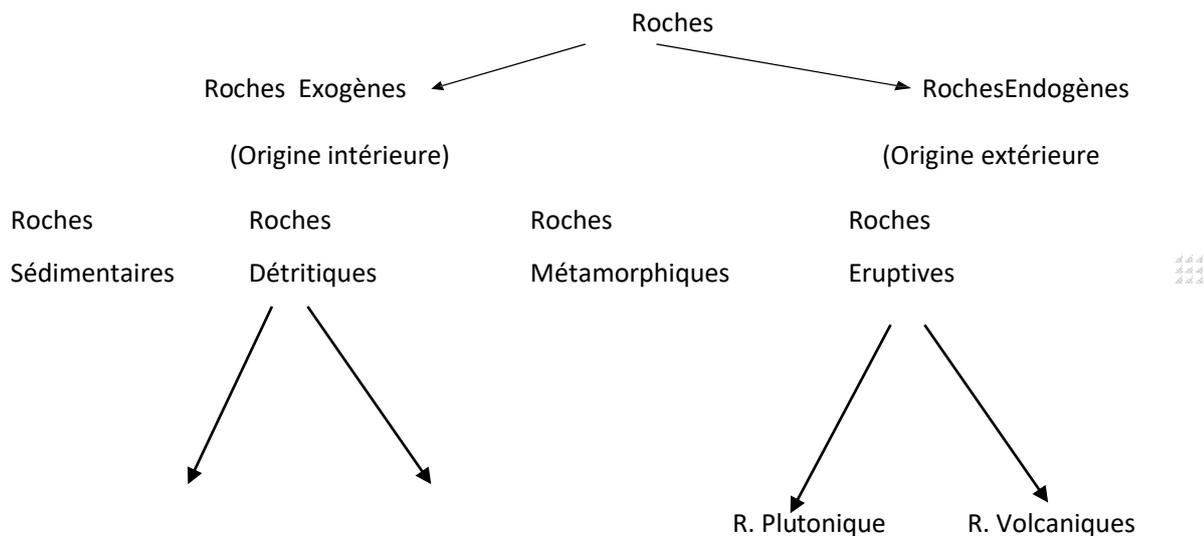
Les autres groupes de roches

Roches résiduelles : sont des roches exogènes, formées à partir des éléments en solution que les eaux ont prélevés à des roches préexistantes (exemples de roches résiduelles : argiles résiduelles, bauxites, paléosols, etc.).

Roches hydrothermales : *sont* des roches endogènes, formées à partir de solutions ou de gaz à haute température, en relations variables avec des magmas.

1) LA PETROGRAPHIE

Introduction La pétrographie c'est la science qui étudie les roches. Il existe deux grandes catégories de roches



type de roche	mode de formation	composition chimique	milieu de formation
roche magmatique : roche née du refroidissement du magma (classée en fonction de son % en quartz, feldspath et feldspathoïde, sa texture évolue en fonction de la pression et la température)	par refroidissement très lent, roche intrusive plutonique grenue : minéraux cristallisés sans dégagement de gaz	acides (+ de 66% de silice) intermédiaires (65 à 51 % de silice) basiques (52 à 45 % de silice) ultra-basique (-de 45% de silice)	vers 10 à 20 km de profondeur, en chambre magmatique
	refroidi rapidement avec conservation des gaz : roche hypoabyssale filonienne	acides (+ de 66% de silice) intermédiaires basiques (45-52 % silice)	
	refroidi très rapidement avec dégazage : roche effusive volcanique : microcristaux figés dans une pâte vitreuse	acides (+ 66% de silice) intermédiaires basiques (45-52 % silice) ultra-basique (-de 45% de silice)	

type de roche	mode de formation	composition chimique	milieu de formation
roche métamorphique (classification en fonction des conditions de pression et température ayant existées au moment de leur transformation)	par compression (métamorphisme régional de marge convergente)	à base de granite et rhyolite, donne selon le degré de métamorphisme :	en marge active entre 2 plaques convergentes créant un métamorphisme régional : plaque subduite = forte pression, faible chaleur, plaque chevauchante = faible pression et forte chaleur
	ou réchauffement +/- compression (m. de contact de pluton ou filon)	à base de gabbro, diorite et basalte, donne selon le degré de métamorphisme :	
	de roche magmatique	à base de péridotite, donne selon le degré de métamorphisme :	
	par compression (métamorphisme régional de marge convergente)	à base d'argile et marne, donne selon le degré de métamorphisme :	
	ou réchauffement +/- compression (m. de contact de pluton ou filon)	à base de calcaire, donne selon le degré de métamorphisme :	
	de roche sédimentaire	à base de sable et grès, donne selon le degré de métamorphisme :	

type de roche	mode de formation	composition chimique	milieu de formation	
roche sédimentaire : accumulation de sédiments + cimentés par diagenèse, formant petit à petit des strates, peut être classée en fonction des pourcentages de sédiments constitutifs	par précipitation chimique : r.s. chimique	r.s. saline ou évaporites : sulfate de calcium (gypse), puis du chlorure de sodium (halite ou sel gemme), les sels de magnésium et le chlorure de potassium (sel de potasse).	en lagune, précipitation au fur et à mesure de l'évaporation	
		r.s. carbonatée à base de carbonate de calcium CaCO ₃ : calcaire oolithique ou pisolithique, calcite, travertin ou tuf calcaire ; ou de carbonate de magnésium : dolomite	en eau profonde, précipitation par changement de concentration (émission de gaz volcanique, dissolution...)	
		r.s. siliceuse à base de silice : calcédoine, jaspe, meulière, quartz, silice.		
	par accumulation de substances d'origine organique (rest, coquille, squelette, végétaux) : r.s. biochimique organogène	r.s. métasomatique par échange entre l'eau de mer et les minéraux déjà précipités : calcaire donne dolomie		sur les continents
		r.s. argileuse résiduelle après lessivage de roche magmatique : à base d'argile : argilite, bauxite, kaolin, loess, marne		
		r.s. carbonatée à base de carbonate de calcium CaCO ₃ : aragonite, calcaire coquillier, calcaire compact, tuffeau ; ou de carbonate de magnésium : cergneule, dolomite		en eau profonde
par rejet volcanique explosif : r.s. pyroclastique	r.s. siliceuse à base de test siliceux : diatomite, radiolarite.			
	r.s. carbonée à base de carbone, en proportions variées : anthracite, houille, hydrocarbure, lignite, tourbe et le minéral graphite.		raz de marée, éboulement : végétaux enfouis à l'abri de l'oxydation	
par érosion de roches pré-existantes : r.s. détritique	roche de composition chimique volcanique, se déposant en strates comme les roches sédimentaires : tuf, tufite, cendres			
	r.s. siliceuse à base de silice : arkose, brèche, conglomérat, grès, moraine, pouding siliceux, sable.		sur les continents, par dessiccation, humidification, oxydation	

Pour plus d'information sur Les principaux minéraux constitutifs de l'écorce terrestre

a) Les différents types de minéraux: Les minéraux sont rangés en 10 classes, notées en chiffres romains.

Classe I : Les éléments natifs: L'élément natif est un corps chimique qui ne peut se décomposer en corps plus simple. Il représente 3 à 4% des espèces. Les métaux existent sous forme d'éléments natifs (constituant pur) ou, plus généralement, d'alliages, On les divise en trois sous-classes :

- Métaux natifs : or (Au), argent (Ag), cuivre (Cu), platine (Pt), ...
- Semi-métaux : le bismuth (Bi), l'antimoine (Sb), l'arsenic (As), ...
- Métalloïdes : carbone (C), soufre (S), ...

Classe II : Les sulfures et dérivés: Ils représentent 15 à 20% des minéraux. De nombreux minerais sont des sulfures. Ils sont répartis en deux groupes :

- Les sulfures, arséniures, antimoniures, tellurures : le groupement anionique ne contient que du soufre, les plus courants étant la pyrite (FeS_2) et la galène (PbS_2)
- Les sulfosels : Le groupement anionique est composé de soufre et d'un autre métal.

Classe III : Les halogénures: Cette classe représente 5 à 6% des espèces minérales. Le plus connu est sans doute la halite (NaCl), ou sel gemme. Les halogénures sont fragiles, légers et souvent solubles dans l'eau.

Classe IV : Les oxydes et hydroxydes : La quatrième classe regroupe les minéraux dont le groupe anionique est constitué d'oxygène ou d'hydroxyle ($[\text{OH}]^-$). 14% des minéraux sont des oxydes. On les divise en trois sous-classes :

- Les oxydes simples : l'hématite (Fe_2O_3), minerais de fer.
- Les oxydes multiples : le spinelle (MgAl_2O_4) utilisé en joaillerie en substitution du rubis.
- Les hydroxydes

Classe V : Carbonates et nitrates: Ces minéraux se caractérisent par leur fragilité et une faible dureté. On distingue deux sous-classes:

- Carbonates: Le groupement anionique est le groupe carbonate $[\text{CO}_3]^{2-}$. Ils représentent 9% des espèces connues. Parmi elles, des espèces importantes, comme la calcite (CaCO_3), qui est le constituant principal du calcaire.
- Nitrates: Le groupement anionique est l'ion nitrate $[\text{NO}_3]^-$.

Classe VI : Borates: Le groupement anionique est soit l'ion borate $[\text{BO}_3]^{3-}$ soit l'ion $[\text{BO}_4]^{5-}$. Cette petite famille représente 2% des minéraux.

Classe VII : Sulfates et dérivés: Cette classe représente 10% des minéraux et se définit par le groupement anionique de forme $[\text{XO}_4]^{2-}$.

- ✓ Sulfates : $[\text{SO}_4]^{2-}$. Le sulfate le plus connu est sans aucun doute le gypse, la pierre à plâtre ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- ✓ Chromates : $[\text{CrO}_4]^{2-}$
- ✓ Tungstates : $[\text{WO}_4]^{2-}$
- ✓ Molybdates : $[\text{MoO}_4]^{2-}$

Classe VIII : Phosphates et dérivés : Cette classe regroupe 16%. Le groupe anionique est de forme $[\text{XO}_4]^{3-}$.

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

1. **Classe IX : Silicates**: L'unité de base du minéral est l'ion silicate $[\text{SiO}_4]^{4-}$. Les silicates représentent plus d'un quart des minéraux à la surface du globe. Cette abondance a amené à une classification spécifique. Celle-ci fait intervenir des notions structurales, c'est-à-dire fonction de l'enchaînement des tétraèdres $[\text{SiO}_4]$. Les silicates sont divisés en 6 sous-classes. 1-Les néosilicates-2-Les sorosilicates-3-Les cyclosilicates-4-Les inosilicates-5-Les phyllosilicates-6-Les tectosilicates:

Classe X : Minéraux organiques: Cette classe renferme environ 30 d'espèces à structure cristallographique bien définie. C'est le cas de la whewellite, minéral constitutif des calculs rénaux.