

Introduction à la minéralogie

Sommaire

I. Introduction.....	4
II. Règne animal, minéral et végétal.....	4
III. De la composition chimique au système cristallin.....	4
IV. De la composition chimique aux classes minérales.....	6
V. Comment reconnaître les minéraux ?.....	9
V.1 La dureté.....	9
V.2 La trace ou couleur de poudre.....	10
V.3 La réactivité avec les acides et les bases.....	11
V.4 L'éclat des minéraux.....	11
V.5 Le test de la flamme.....	11
V.6 La fracture et le clivage.....	12
V.7 Densité.....	13
V.8 Propriétés optiques.....	13
V.8.1 Absorption de la lumière.....	13
V.8.2 La couleur dans les minéraux.....	14
V.8.3 Mécanismes à l'origine de la couleur chimique.....	14
V.8.3.1 Le transfert de charge.....	14
V.8.3.2 Le mécanisme d'intervallence.....	15
V.8.3.3 Le champ cristallin.....	15
V.8.3.4 Les centres colorés.....	16
V.8.3.5 Les inclusions microscopiques.....	16
V.8.4 Conclusion sur la couleur.....	16
V.8.5 Les autres propriétés optiques.....	17
V.8.5.1 La biréfringence.....	17
V.8.5.2 Le pléochroïsme.....	17
V.8.5.3 L'effet alexandrite.....	18
V.8.5.4 La luminescence.....	18
V.8.5.5 L'indice de réfraction.....	18
V.9 Faciès cristallin typique et habitus.....	19
V.10 Autres propriétés physiques.....	19
V.10.1 Le magnétisme.....	19
V.10.2 La piézoélectricité.....	19
V.10.3 La radioactivité.....	20
VI. Notions importantes en minéralogie.....	21
VI.1 Les variétés allotropiques.....	21
VI.2 Solutions solides et séries.....	22
VI.3 Les groupes de minéraux.....	23
VI.4 Les macles.....	24
VI.5 La genèse des minéraux.....	25
VI.5.1 Genèse magmatique.....	25
VI.5.2 Genèse sédimentaire.....	26
VI.5.3 Genèse métamorphique.....	26
VI.5.4 Le cycle des roches.....	27
VI.6 Les minéraux associés : la paragenèse.....	27
VI.7 Les pseudomorphoses.....	28
VI.8 Les variétés.....	29

VII. La reconnaissance des minéraux	30
VII.1 Première exemple.....	30
VII.2 Deuxième exemple	32
VII.3 Troisième exemple	33
VII.4 Comment procéder à l'identification dans un cas général ?.....	34
VII.4.1 Qu'elle est l'allure générale de l'échantillon ?.....	34
VII.4.2 Quelle est la couleur du minéral ?	34
VII.4.3 Quel est l'éclat du minéral ?	34
VII.4.4 Observe t'on des effets optiques à la surface du minéral ?	34
VII.4.5 Le minéral est il opaque, transparent, translucide ?	34
VII.4.6 Le minéral est-t-il magnétique ?	35
VII.4.7 Voit-on des plans de clivage ?	35
VII.4.8 Y a-t-il plusieurs minéraux dans l'échantillon ? Si oui pouvez vous les identifier ?	35
VII.4.9 Les cristaux sont ils bien formés et isolés les uns des autres ?	35
VII.4.10 Qu'elle est la forme des cristaux ?	36
VII.4.11 Identification finale.....	36
VII.5 Conclusion et limite de la technique	37
Exemple de fiche minérale	38
Conclusion	38

I. Introduction

La lithothérapie repose sur l'utilisation des minéraux dans un but curatif. Cela implique de connaître ces minéraux et donc d'être capable de les identifier et de les discriminer. Mais ce savoir est absent des livres de lithothérapie qui se contentent de donner des informations partielles et très succinctes. Je vais donc essayer de mettre une partie de ce savoir à disposition en essayant de ne pas trop entrer dans des détails scientifiques. Dans ce cas, les données vraiment abstraites seront abordées très progressivement.

Malgré toute la rigueur qui a accompagné la rédaction de cette initiation à la minéralogie, je ne peux garantir l'absence d'éventuelles erreurs, n'étant pas un professionnel mais un passionné de minéralogie, j'espère que vous me pardonneriez ces maladresses.

Je tiens à remercier Babette, Vito, Misel, Pascalitsa, Gédéon et Michel pour leur aide. L'usage commercial de tout ou partie de ce texte est interdit sans mon autorisation. Les images présentées - à but purement illustratif - appartiennent à leurs auteurs respectifs. Pour toute utilisation (copie, citation) de ce texte, je vous remercie d'indiquer l'auteur (Kerrigan).

II. Règne animal, minéral et végétal

Comprendre la minéralogie revient à se poser une question simple : Qu'est-ce qu'un **minéral** ? Tout vient de là : je vis dans un monde où il y a des minéraux mais que sont-ils vraiment ?

Au sens scientifique du terme, le minéral s'oppose au végétal et à l'animal. Un minéral n'est donc pas vivant, il n'a pas de structure cellulaire et est incapable de se reproduire. Un minéral est naturel, il n'est pas fabriqué par l'homme, son origine est due à des processus physiques et chimiques purement naturels. Cette définition permet donc de déduire le lieu de choix pour la recherche des minéraux : la Nature. Mais allons plus loin ; un minéral a une composition chimique, c'est-à-dire qu'idéalement si je prends un minéral dans la nature, quel que soit l'endroit où je vais effectuer un prélèvement, je trouverai la même composition chimique. Si ce n'est pas le cas, je suis en présence de plusieurs minéraux ou en présence d'une roche.



Vache ^a



Arbre ^b



Cristal ^c



Roche ^d

III. De la composition chimique au système cristallin

Cependant la composition chimique ne suffit pas. Regardons, par exemple, le diamant et le graphite. Ces deux minéraux ont exactement la même composition chimique car il s'agit de carbone pur. Néanmoins l'un forme de beaux octaèdres translucides et est le minéral le plus dur qui existe (le diamant) tandis que l'autre est opaque et fait partie des matériaux les plus tendres (le graphite).

Quelle est donc la différence ? Il s'agit de l'organisation de la matière dans le minéral. Entrons un peu plus dans les détails. La grande majorité des minéraux terrestres **crystallisent**, c'est-à-dire que les atomes (ou molécules) qui constituent le cristal sont organisés de façon régulière suivant les trois directions de l'espace, ce qui différencie le diamant du graphite.



Diamant ^e



Graphite ^f

Dans le diamant, les atomes de carbone sont tous liés à quatre autres atomes de carbone voisins dans les trois directions de l'espace. On obtient ainsi une structure très rigide et très dure. Dans le graphite, les atomes de carbone ne sont liés qu'à trois autres voisins et seulement dans un plan. Le graphite est constitué d'un empilement de ces plans d'atome. Or, comme le carbone ne voit pas les atomes qui sont au-dessus et en dessous de lui (car ils ne sont pas reliés entre eux) il n'y pas de cohésion, la structure est donc beaucoup moins dure et beaucoup moins rigide. Ceci explique pourquoi un ongle suffit à rayer du graphite et donc la raison de l'utilisation de ce dernier dans la fabrication de nos crayons.

Nous avons donc touché un point important : connaître la structure interne des minéraux ce qui implique la connaissance du système cristallin des minéraux... Mais qu'est-ce qu'un **système cristallin** ?

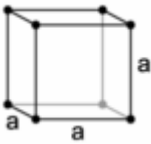
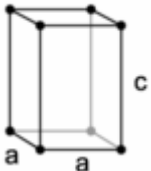
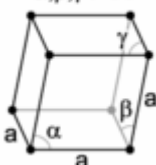
Nous avons touché de près ce concept dans le paragraphe précédent... mais prenons un exemple. Quand on prend un cristal dans la main, il y a quelque chose qui saute généralement aux yeux : un cristal a des faces très lisses et sa forme est étonnamment symétrique. Et justement le maître mot du système cristallin, c'est : **la symétrie**.

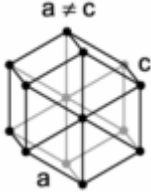
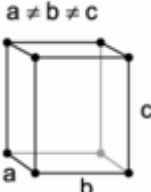
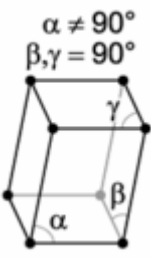
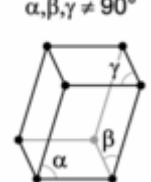
Si on prend les 4000 minéraux connus et que l'on regarde attentivement la symétrie des cristaux, on peut TOUS les ranger dans 7 familles de système cristallin. Concrètement, on prend le cristal et on cherche les opérations de symétrie qui permettent de transformer le cristal en un autre cristal identique. Voici deux exemples d'opération de symétrie dans un cube.



Cube avec un axe d'ordre 4^g Cube avec un 4 axe d'ordre 3^h

Sur la première image, si je fais tourner mon cristal d'un quart de tour en suivant l'axe de la droite perpendiculaire à la face, j'obtiens un cube identique. Pour l'autre axe, il faut faire une rotation d'un tiers de tour pour obtenir une image identique. Nous n'entrerons pas dans les détails de la symétrie pour les autres systèmes cristallins, cela serait trop compliqué mais voici les autres systèmes cristallins avec leurs paramètres géométriques caractéristiquesⁱ :

Système cristallin	Représentation	Propriétés caractéristiques
Cubique		$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ Tous les cotés sont égaux Tous les angles sont égaux à 90°
Quadratique		$a=b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ Deux cotés sont égaux Tous les angles sont égaux à 90°
Rhomboédrique		$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$ Tous les cotés sont égaux Tous les angles sont égaux mais différents de 90°

Hexagonal		$a=b \neq c$ $\alpha=120^\circ \quad \beta=\gamma=90^\circ$ Deux cotés sont égaux Deux angles valent 90° Le dernier est de 120°
Orthorhombique		$a \neq b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ Tous les cotés ont différentes longueurs Tous les angles sont égaux à 90°
Monoclinique		$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq 90^\circ \quad \beta, \gamma = 90^\circ$ Tous les cotés ont différentes longueurs Deux angles sont égaux à 90° Un autre est distinct de 90°
Triclinique		$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ Tous les cotés ont différentes longueurs Tous les angles sont distincts

Les paramètres géométriques sont assez simples à comprendre. Imaginez une boîte à chaussures. Vous voyez qu'il y a trois côtés de longueurs différentes, notons a, b, c ces trois longueurs. Notons α l'angle entre le côté b et c, β l'angle entre le côté a et c et enfin γ l'angle entre le côté a et b. Si je prends a, b, c de la même longueur et que je prends α , β , γ tous égaux à 90° , j'obtiens le cube du système cubique. En gros, décrire les systèmes cristallins revient à modifier les paramètres de la boîte à chaussures.

Pour clore cette partie sur le système cristallin, il faut ajouter qu'il existe des minéraux qui ne cristallisent pas. Par exemple, l'ambre, la chrysocolle, l'opale ne forment jamais de cristaux : ce sont des **matériaux amorphes**.

IV. De la composition chimique aux classes minérales

L'étude des compositions chimiques des minéraux permet de créer d'autres façons de les ranger. Mais pour comprendre la notion de classes minérales, il faut parler un petit peu de chimie. Prenons un cas simple : le soufre natif et la pyrite. Le premier est exclusivement composé de soufre : S, le second est composé de fer et de soufre : FeS_2 .

On peut donc trouver au moins deux classes générales de minéraux : les **minéraux « simples »** et les **minéraux composés**. En minéralogie, la classe des minéraux simples est appelée « **Éléments natifs** ». Par contre, il existe de nombreuses façons d'obtenir des minéraux composés. Étudions le cas du fer dans différents minéraux :

Minéral	Nom	Éléments présents
FeS_2	Pyrite	Fer et Soufre
Fe_2O_3	Hématite	Fer et Oxygène
FeOOH	Goethite	Fer Oxygène Hydrogène
FeCO_3	Sidérite	Fer Carbone Oxygène
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mélanterite	Fer Soufre Oxygène Hydrogène
$(\text{Mn}, \text{Fe})\text{PO}_4$	Purpurite	Fer Manganèse Phosphore Oxygène
$(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$	Péridot	Magnésium Fer Silicium Oxygène

Des compositions chimiques relativement complexes émergent là où le fer est associé à 1, 2 voire 3 autres atomes. Mais cela ne suffit pas à établir une classification valable, il faut aller un peu plus loin en chimie. Nous allons donc introduire un concept nouveau : **les ions**.

Qu'est-ce qu'un ion ? Nous sommes familiers des atomes avec lesquels nous jouons depuis le début. Mais de quoi est-il constitué ? Tout simplement d'un centre, avec une charge positive et d'un cortège d'électrons avec une charge négative. Comme la nature est bien faite, le nombre de charges négatives portées par les électrons compense le nombre de charges positives du noyau ; on parle alors de neutralité de l'atome. Par exemple, le fer possède 26 électrons pour compenser les 26 charges positives de son noyau. Mais suivant les cas, il peut en perdre deux ou trois, et se retrouver avec une charge globale positive. Dans ce cas, on parle de **cations** et, dans le cas du fer, on le notera Fe^{2+} ou Fe^{3+} suivant qu'il a perdu 2 ou 3 électrons.

Le cas contraire peut aussi se produire c'est-à-dire un gain d'électron. Le chlore possède 17 électrons pour compenser les 17 charges positives de son noyau et il arrive fréquemment que ce dernier gagne un électron. Sa charge globale devient négative, on obtient ce que l'on appelle un **anion** que l'on notera pour le cas du chlore Cl^- . Mais quel est le rapport avec les ions ? **On appelle ion, toute molécule ou tout atome ayant perdu ou gagné des électrons**. Cet objet maintenant introduit va nous permettre d'aller plus loin dans notre étude. Posons le tableau précédent en termes d'ions (de cations et d'anions).

Minéral	Nom	Cations	Anions	Nom de l'anions
FeS_2	Pyrite	Fe^{2+}	S_2^{2-}	Sulfure
Fe_2O_3	Hématite	Fe^{3+}	O^{2-}	Oxyde
FeOOH	Goethite	Fe^{3+}	O^{2-} et HO^-	Oxyde et Hydroxyde
FeCO_3	Sidérite	Fe^{2+}	$(\text{CO}_3)^{2-}$	Carbonate
$\text{FeSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Mélanterite	Fe^{2+}	$(\text{SO}_4)^{2-}$	Sulfate
$(\text{Mn,Fe})\text{PO}_4$	Purpurite	Fe^{3+} et Mn^{3+}	$(\text{PO}_4)^{3-}$	Phosphate
$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	Péridot	Fe^{2+} et Mg^{2+}	$(\text{SiO}_4)^{4-}$	Silicate

Ce tableau montre que l'on peut ranger les minéraux à partir des anions présents dans le cristal. **Le nom des anions donnera le nom de la classe minérale**. Ce type de classification où les anions sont utilisés pour créer une classe minérale, est plus intelligent car souvent c'est l'anion qui va induire la structure cristalline. Par exemple, les carbonates de magnésium (MgCO_3 , magnésite), de calcium (CaCO_3 , Calcite) et de cobalt (CoCO_3 , sphaérocobaltite) ont la même structure cristalline, il est donc logique de les classer ensemble du fait de leur anion CO_3^{2-} commun.

Nous avons cité précédemment les éléments natifs. Maintenant nous pouvons ajouter les classes que nous avons trouvées dans le tableau. Un initié devrait se rendre compte qu'il manque trois classes : **les halogénures, les borates et les minéraux organiques**. Les *halogénures* sont issus de l'union entre un halogène et un cation. Les halogènes courants sont les suivants : Fluor F, Chlore Cl, Brome Br et l'Iode I. Les deux minéraux les plus connus de la famille des halogénures sont la fluorine de formule CaF_2 et le sel de table ou halite de formule NaCl . Les *minéraux organiques* sont eux essentiellement constitués d'oxygène, de carbone, d'azote et d'hydrogène. L'ambre est un minéral organique aussi connu que répandu. Les borates sont peu communs, il s'agit de l'union du cation $(\text{BO}_3)^{3-}$ avec un ou des anions. L'un des borates les plus connus est l'ulexite encore appelé « la pierre télévision ». Le tableau qui suit récapitule toutes les classes minérales que nous avons trouvées ensemble.

Classe minérale	Sous classe	Anions	Exemples	Formule
I. Éléments natifs	Corps Purs	Aucun	Or	Au
II. Sulfure	Sulfure	S^{2-}	Coveline	CuS
III. Oxyde	Oxyde	O^{2-}	Spinelle	MgAl_2O_4
IV. Halogénure	Aucune	F-	Fluorine	CaF_2
V. Carbonate	Carbonate	CO_3^{2-}	Calcite	CaCO_3
VI. Borate	Aucune	$(\text{BO}_3)^{3-}$	Ulexite	$\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
VII. Sulfate	Sulfate	SO_4^{2-}	Barite	BaSO_4
VIII. Phosphate	Phosphate	PO_4^{3-}	Purpurite	$(\text{Mn,Fe})\text{PO}_4$
IX. Silicate	Nesosilicate	$(\text{SiO}_4)^{4-}$	Olivine	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$
X. Organique	Aucun	Aucun	Ambre	$\text{C}_{40}\text{H}_{64}\text{O}$

Les classes minérales sont en fait bien plus complexes car le nombre d'anions existants est assez important. Ils rentrent cependant tous dans l'une des dix classes minérales que nous avons trouvées précédemment. Nous n'entrerons pas plus dans les détails, le tableau qui suit résume les sous-classes présentes dans les classes principales, les anions associés et un minéral représentatif de la sous-classe. Ce tableau n'est ni exhaustif ni fondamental pour la suite de l'article.

Classe minérale	Sous classe	Anions	Minéral	Formule
I. Éléments natifs	Corps Purs	Aucun	Or	Au
	Alliage	Aucun	Amalgame	AuHg
	Carbure	Aucun	Moissanite	SiC
	Siliciure	Aucun	Fersilicite	FeSi
	Nitrure	Aucun	Osbornite	TiN
	Phosphure	Aucun	Florenskyite	FeTiP
II. Sulfure	Sulfure	S^{2-}	Coveline	CuS
		S_2^{2-}	Chalcopyrite	CuFeS ₂
	Séléniure	Se^{2-}	Clasthalite	PbSe
	Arséniure	As^{2-}	Nickeline	NiAs
	Tellurure	Te^{2-}	Sylvanite	AuAgTe ₄
	Sulfosels	$(AsS_3)^{3-}$ $(SbS_3)^{3-}$	Proustite Pyrargirite	Ag ₃ AsS ₃ Ag ₃ SbS ₃
III. Oxyde	Oxyde	O^{2-}	Spinelle	MgAl ₂ O ₄
	Hydroxyde	HO ⁻	Goethite	FeOOH
IV. Halogénure	Aucune	F ⁻	Fluorine	CaF ₂
		Cl ⁻	Halite	NaCl
		Br ⁻	Bromargirite	AgBr
		I ⁻	Iodargirite	AgI
V. Carbonate	Carbonate	CO_3^{2-}	Calcite	CaCO ₃
	Nitrate	NO_3^-	Nitronatrite	NaNO ₃
VI. Borate	Aucune	$(BO_4)^{5-}$ $(BO_3)^{3-}$	Ulexite	NaCaB ₅ O ₆ (OH) ₆ .5H ₂ O
VII. Sulfate	Sulfate	SO_4^{2-}	Barite	BaSO ₄
	Chromate	CrO_4^{2-}	Crocoïte	PbCrO ₄
	Molybdate	MoO_4^{2-}	Wulfénite	PbMoO ₄
	Tungstate	WO_4^{2-}	Wolframite	(Fe,Mn)WO ₄
	Niobiate	NbO_4^{3-}	Fergusonite	YNbO ₄
	Tellurate	TeO_4^{3-}	Ferrotellurite	FeTeO ₄
	Sélénate	SeO_4^{2-}	Olsacherite	Pb ₂ SO ₄ SeO ₄
VIII. Phosphate	Phosphate	PO_4^{3-}	Purpurite	(Mn,Fe)PO ₄
	Arséniate	AsO_4^{3-}	Adamite	Zn ₂ AsO ₄ (OH)
	Vanadate	VO_4^{3-}	Vanadinite	Pb ₅ (VO ₄) ₃ Cl
	Antimoniate	SbO_3^-	Shakhovite	Hg ₄ SbO ₃ (OH) ₃
IX. Silicate	Nesosilicate	$(SiO_4)^{4-}$	Olivine	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄
	Sorosilicate	$(Si_2O_7)^{6-}$ $(Si_3O_9)^{6-}$	Epidote Bénitoïte	Ca ₂ (Al,Fe) ₃ (SiO ₄) ₃ (OH) BaTiSi ₃ O ₉
	Cyclosilicate	$(Si_4O_{12})^{8-}$ $(Si_6O_{18})^{12-}$	Axinite Béryls	Ca ₂ Fe ²⁺ Al ₂ BO ₃ Si ₄ O ₁₂ (OH) Be ₃ Al ₂ Si ₆ O ₁₈
		$(SiO_3)^{2-}$	Wollastonite	CaSiO ₃
	Inosilicate	$(Si_2O_6)^{4-}$ $(Si_4O_{11})^{6-}$	Diopside Trémolite	CaMg(SiO ₃) ₂ Ca ₂ Mg ₅ (Si ₄ O ₁₁) ₂ (OH) ₂
	Phylosilicate	$(Si_2O_5)^{2-}$	Muscovite	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH,F) ₂
	Tectosilicate	Si _n O _{4n} ⁴ⁿ⁻	Sodalite	Na ₈ Al ₆ Si ₆ O ₂₄ Cl ₂
X. Organique	Aucun	Aucun	Ambre	C ₄₀ H ₆₄ O

V. Comment reconnaître les minéraux ?

Les deux éléments que nous avons étudiés précédemment ne permettent pas de reconnaître les minéraux facilement. Il s'agit d'outils scientifiques puissants permettant de les classer en réalisant des expériences. Par exemple : une analyse de diffraction des rayons X permet de connaître le système cristallin d'un minéral ainsi que d'autres éléments que nous ne verrons pas ici. Une analyse chimique permet de remonter à la composition chimique du minéral. Coupler **l'analyse chimique et la diffraction des rayons X** permet donc de classer sans ambiguïté une espèce minérale.

Mais comment faire simplement avec des moyens rudimentaires ? C'est très facile, les minéraux regorgent de propriétés physiques simples à mesurer. Ces tests s'effectueront sur des échantillons peu importants ou des zones non importantes d'un échantillon. Cela peut paraître évident, mais évitez de faire des tests sur vos échantillons de présentation ou vos pierres de soin. Dans chaque partie, vous trouverez des tableaux récapitulatifs des propriétés. Ces tableaux ont un rôle purement illustratif dont le but est de vous familiariser avec la notion abordée. Ces données seront donc plus accessibles une fois que vous les trouverez dans un ouvrage de minéralogie.

V.1 La dureté

Cette notion a été introduite par le minéralogiste allemand **Friedrich Mohs** qui a réalisé la fameuse échelle qui porte son nom en constatant que certains minéraux pouvaient en rayer d'autres. Il prit dix minéraux de référence et leur attribua une dureté en fonction du nombre de minéraux que l'échantillon pouvait rayer dans l'échelle qui est la suivante :

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

On voit que le **diamant** est de dureté 10, rien ne peut rayer le diamant (sauf un autre diamant) et il raie tous les autres minéraux. Le **corindon** de dureté 9, ne peut être rayé que par le diamant. **L'orthose** de dureté 6 ne peut être rayé que par le quartz, la topaze, le corindon et le diamant. Quant au **talc**, c'est le minéral le plus tendre : il peut être rayé par tous les autres minéraux de l'échelle. Tout simplement un minéral d'une dureté donnée raie tous les autres de dureté plus faible et est rayé par tous ceux ayant une dureté plus élevée.

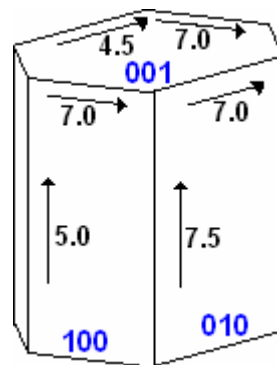
On peut trouver dans le commerce des crayons spéciaux qui permettent d'apprécier la dureté des minéraux avec plus de précision. De plus, nous ne possédons pas tous chaque minéral présent dans le tableau, mais des éléments de la vie de tous les jours peuvent servir à mesurer la dureté des minéraux. *L'ongle* raie tous les minéraux de dureté inférieure à deux, les *pièces* raient tous les minéraux de dureté inférieure à 3, *une lame de couteau* raie tous les minéraux de dureté inférieure à 5 comme le verre. *Le verre* sera rayé par tous les minéraux de dureté supérieure à 6. Voici un tableau récapitulatif des éléments servant pour le test de dureté :

Outils	Dureté
Verre	6
Couteau	5.5
Pièce	3.5
Ongle	2.5

Le tableau qui suit compile tous les éléments vus dans ce paragraphe sur la dureté, à savoir la dureté de certains minéraux et les éléments permettant de l'évaluer.

Minéral	Dureté	Propriétés
Diamant	10	Raie le verre
Corindon	9	Raie le verre
Topaze	8	Raie le verre
Quartz	7	Rayé par une lame et raye le verre
Orthose	6	Rayée par une lame et raye le verre
Apatite	5	Rayée par une lame
Fluorine	4	Rayée par une lame
Calcite	3	Rayée par le cuivre
Gypse	2	Rayé par l'ongle
Talc	1	Rayé par l'ongle

Il reste une dernière chose à savoir sur la dureté des minéraux, car celle-ci n'est pas constante suivant la face du cristal ou le test est réalisé. De plus dans les cas extrêmes, cette différence de dureté peut être très importante, l'exemple le plus parlant est celui du disthène. Suivant la face du test, la dureté peut varier de 4.5 à 7.5. Le schéma qui suit répertorie les duretés du disthène en fonction de la face cristalline et de la direction du test de dureté.



Dureté de la cyanite suivant la direction

V.2 La trace ou couleur de poudre

La trace est un *outil très pratique pour la détermination des minéraux*. Mais qu'est-ce que la **trace d'un minéral** ? Il s'agit de la couleur caractéristique de la poudre de la pierre pour une espèce minérale. Par exemple, la poudre d'hématite est rouge, celle de la pyrite est verdâtre à noire, la poudre de magnétite est noire, la poudre de quartz est blanche. Chose surprenante, la poudre n'a pas toujours la couleur du minéral de départ. Dans les exemples précédents, nous avons vu que la pyrite pourtant jaune d'or a une poudre verdâtre à noire. L'hématite qui est souvent noire avec un bel éclat métallique a pourtant une poudre rouge ; l'exemple le plus fascinant est certainement celui du rubis dont la trace est blanche.

Concrètement, il existe deux façons de connaître la trace ou la couleur de poudre d'une pierre. La première, assez triviale, consiste à réduire consciencieusement un pauvre minéral en poussière, dans le but d'obtenir ainsi la poudre voulue pour l'analyse. Une méthode moins barbare consiste à frotter le minéral à déterminer, sur une plaque de porcelaine non émaillée. Les rugosités de la surface de la porcelaine ainsi que sa teinte blanche permettront de connaître ainsi la trace du minéral. Ce test ne marchera pas pour les minéraux plus durs que la porcelaine, pour ces derniers, la réduction en poudre donne la couleur de la trace. Voici un tableau de quelques traces de minéraux courants :

Minéral	Trace	Minéral	Trace
Pyrite	Noire - Verdâtre	Azurite	Bleue
Calcite	Blanche	Sodalite	Bleue
Quartz	Blanche	Lapis-lazuli	Bleue
Malachite	Verte	Orpiment	Jaune
Améthyste	Blanche	Réalgar	Rouge
Rubis	Blanche	Hématite	Rouge
Saphir	Blanche	Limonite	Ocre
Péridot	Blanche	Dioptase	Verte

V.3 La réactivité avec les acides et les bases

Les minéraux présentent aussi une réactivité particulière aux acides et aux bases qui permet de les identifier. Nous n'entrerons pas dans les détails de ce que sont les bases et les acides, mais un exemple commun de réactivité d'un minéral face à un acide est celui de la calcite. Quand ce minéral est mis en présence d'un acide, même organique, il se crée une effervescence qui est due à un dégagement de CO_2 . Plus généralement, les carbonates se décomposent dans les acides avec une effervescence due à un dégagement de CO_2 .

Il faut faire très attention lors de l'utilisation des acides et des bases. Ces derniers peuvent brûler très gravement. Il est impératif de se protéger les yeux avec une paire de lunettes de sécurité pour éviter les projections acides, de plus, le port d'une blouse de protection est vivement recommandé. Enfin, si vous utilisez des acides, faites-le dans un local aéré pour éviter de respirer les vapeurs acides ou les gaz issus de la décomposition des minéraux.

V.4 L'éclat des minéraux

Les minéraux se *différencient entre eux* par **leur éclat**. L'éclat est la manière dont le minéral va réfléchir la lumière. Il y a par exemple l'**éclat perlé** qui, comme son nom l'indique, rappelle l'éclat des perles. L'**éclat résineux** rappelle celui des résines, c'est l'éclat de l'ambre. L'**éclat adamantin** est un éclat très vif, comme celui du diamant. L'**éclat métallique** rappelle celui de la surface d'un métal comme pour la galène. L'**éclat soyeux** comme son nom l'indique rappelle celui de la soie et est caractéristique de l'uilexite et de certains gypses. L'**éclat vitreux** rappelle celui du verre. L'**éclat gras** rappelle celui d'un papier gras imbibé d'huile. Quant à l'**éclat mat**, c'est celui des masses terreuses comme la limonite.

Éclat Adamantin Diamant ^j		Éclat Mat Limonite ^m	
Éclat Métallique Graphite ^k		Éclat Soyeux Gypse ⁿ	
Éclat Résineux Ambre ⁱ		Éclat Perlé Muscovite ^o	

V.5 Le test de la flamme

À votre avis, quel est le *point commun* entre les feux d'artifice du 14 juillet et le test de la flamme ? Encore une fois, il s'agit de **la composition chimique**. En effet, suivant les éléments chimiques présents dans les fusées, une couleur spécifique est obtenue. Par exemple, le rouge est obtenu avec du lithium, le jaune avec du sodium, le vert avec du cuivre, le rose avec du potassium. Le mécanisme est très simple, pendant un feu d'artifice, les atomes sont chauffés très fortement, ce qui a tendance à les ioniser (cf. classe minérale) et cette ionisation excite les atomes qui émettent alors de la lumière dont la couleur est caractéristique de l'élément excité.

Le test à la flamme est basé sur le même principe. Il suffit de placer un très petit morceau de minéral sur une tige métallique et de placer la tige dans une flamme de gazinière ou un bec bunsen. La couleur de la flamme peut donner des informations importantes sur la composition chimique du minéral étudié. Voici un bref récapitulatif de couleur de flamme :

Élément	Symbole	Couleur de Flamme
Lithium	Li	Rouge pourpre
Strontium	Sr	Rouge écarlate
Calcium	Ca	Rouge brique
Sodium	Na	Jaune
Baryum	Ba	Jaune verdâtre
Cuivre	Cu	Vert et parfois bleu
Potassium	K	Rose très pâle

V.6 La fracture et le clivage

Lorsqu'un minéral subit un choc, la fracture qui en résulte peut se propager de deux façons. Soit elle se propage au hasard, soit elle suit des chemins de faiblesse dans la matrice cristalline. Dans le premier cas, on parlera de **fracture conchoïdale** ; ce type de cassure typique du quartz, fait penser à celle du verre. Il existe d'autre type de fracture dont les noms parlent d'eux-mêmes. On parlera de **fracture inégale, rugueuse, friable et terreuse**.



Fracture conchoïdale de l'obsidienne ^p

Quand une fracture suit des plans de faiblesse, on parlera de **séparation ou de clivage**. Nous n'entrerons pas dans les détails concernant les séparations, cela nous emmènerait trop loin. Un plan de clivage se caractérise par une **fracture nette et lisse d'un cristal**. L'exemple le plus connu de matériau clivable est la calcite qui, après cassure systématique, permet d'obtenir un beau rhomboèdre.



Clivage rhomboédrique de la calcite ^q

Dans ce cas, on parlera de **clivage parfait**. Outre le clivage parfait, il existe aussi des **clivages moyens, indistincts ou mauvais**. Les qualificatifs parlent d'eux-mêmes. Les plans de clivage ont quelques particularités qui permettent de les qualifier. Des exemples concrets vont nous

permettre de comprendre cette notion. Par exemple, la galène possède un **clivage cubique parfait**. Cela signifie que si l'on découpe un cristal de galène en utilisant tous les plans de clivage, on obtiendra un cube. La fluorine possède un **clivage octaédrique parfait**. Une masse cristalline de fluorine une fois taillée suivant les plans de clivages donne un octaèdre. Il existe aussi le **clivage basal**. L'exemple nous permettant de comprendre cette notion est le mica. Si l'on pose un cristal de mica sur la plus grande des faces, on pourra facilement couper le cristal en deux suivant un plan perpendiculaire à sa base.



Clivage cubique Parfait ^r



Clivage octaédrique parfait ^s



Clivage basal ^t

V.7 Densité

La *densité* est aussi appelée (abusivement) **la masse volumique**, c'est le rapport de la masse d'un échantillon divisée par le volume de l'échantillon. La densité n'est pas facilement mesurable avec des outils de la vie de tous les jours. Il est cependant facile de l'estimer. La barytine, la cérusite et la galène sont des minéraux particulièrement denses, l'ambre est par contre un minéral très peu dense. Avec des minéraux dont vous connaissez la densité, il vous sera alors facile d'estimer grossièrement la densité d'un échantillon inconnu.

V.8 Propriétés optiques

V.8.1 Absorption de la lumière

La façon dont un minéral conduit où absorbe la lumière est très importante car elle permet d'établir un classement rapide et facile. Les minéraux *transparents* permettent de lire parfaitement à travers une épaisseur de cristal, le cristal de roche est transparent. À travers les minéraux *semi transparents*, une écriture lue ne sera pas nette. Les minéraux *translucides* sont trop opaques pour que l'on puisse lire à travers, mais ils rendent compte des variations d'intensité. Les minéraux *non transparents* sont translucides au microscope quand ils sont à l'état de poudre ou en couche mince. Les minéraux *opaques* absorbent totalement la lumière quelle que soit leur forme. C'est souvent le cas des sulfures comme la galène.



Cristal de roche ^u



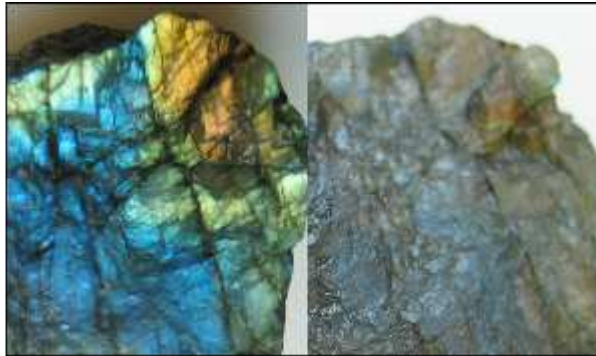
Cornaline ^v



Galène ^w

V.8.2 La couleur dans les minéraux

Les minéraux peuvent être caractérisés par leur couleur. Avant tout, il existe deux catégories de couleurs : **les couleurs physiques et les couleurs chimiques**. Les *couleurs physiques* sont tributaires de la structure des matériaux et non de leur composition. Un bel exemple de couleur physique est la labradorite. Il s'agit de différents plans dont l'enchaînement va créer des « interférences lumineuses » qui vont laisser passer préférentiellement une couleur ou une famille de couleur. Le même phénomène explique la couleur de la pierre de lune. Pour l'opalescence caractéristique des opales, ce sont des billes de silice disposées aléatoirement dans la matrice de l'opale qui sont responsables des irisations observées. Nous avons vu dans le chapitre sur les couleurs de poudre ou les traces que la pyrite a une trace verte alors qu'elle est jaune dorée, et que l'hématite avec son superbe éclat métallique était en fait rouge. La couleur perçue sur les matériaux massifs est due à ce que l'on appelle un plasmon, mais nous n'irons pas plus loin, il s'agit d'un phénomène physique complexe.



Couleur interférentielle et couleur « réelle » de la labradorite ^x

Pour la *couleur chimique*, la coloration est due à la présence d'un chromophore dans le cristal. Un chromophore est un atome ou un défaut qui va être responsable de la coloration. Le chromophore peut être un dopant, c'est-à-dire qu'il n'appartient normalement pas à la structure cristalline ou à un constituant du cristal. On parle de couleur chimique car cette fois-ci la couleur est tributaire de la composition chimique. Dans les minéraux, la couleur chimique a essentiellement *quatre origines* : le transfert de charge, le mécanisme d'intervalence, le champ cristallin et les centres colorés.

V.8.3 Mécanismes à l'origine de la couleur chimique

V.8.3.1 Le transfert de charge

Ce phénomène est à l'*origine de la couleur des matériaux* dits semi-conducteurs. La gamme de couleur de ce type de composés va du blanc au noir en passant par le jaune, l'orange, le rouge et le marron. Il n'y a pas beaucoup de minéraux qui sont colorés par ce mécanisme. On peut néanmoins citer la sphalérite (blanche), la goethite (jaune), la limonite (ocre), l'hématite (rouge) et le cinabre (rouge). Bien évidemment les couleurs mentionnées ici sont celles des poudres et non pas du matériau massif, souvenez-vous de l'hématite cristallisée qui est bien plus souvent noire que rouge...



Hématite ^{bb}



Cinabre ^{cc}



Sphalérite^y



Limonite^{aa}



Goethite^z

V.8.3.2 Le mécanisme d'intervalence

Le mécanisme d'intervalence est plus anecdotique, il permet d'expliquer notamment la couleur bleu du saphir et les noirs profonds de la Magnétite Fe_3O_4 et de la pyrolusite MnO_2 . Dans le cas du rubis, c'est le fer et le titane qui sont responsables de la couleur bleue (Fe^{2+} et Ti^{4+}). Ici nous sommes face à des dopants, le fer et le titane n'ont normalement rien à faire dans le saphir. Dans le cas de la magnétite, c'est le fer de la structure, présentant deux degrés d'oxydation, à savoir du Fe^{2+} et du Fe^{3+} qui est responsable de la couleur noire.



Saphir : Al_2O_3 : Ti^{4+} , Fe^{2+} dd



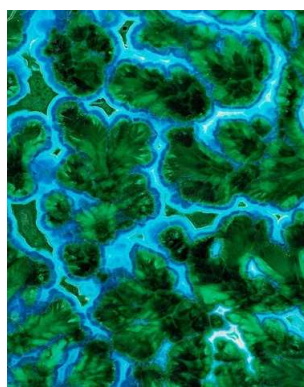
Magnétite : Fe_3O_4 ee

V.8.3.3 Le champ cristallin

La coloration due au phénomène de champ cristallin est de loin la plus répandue dans la nature. Les exemples sont très variés ; en voici quelques-uns :



Rhodochrosite^{ff}
Formule : MnCO_3
Chromophore : Mn^{2+}



Malachite^{gg}
Formule : $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$
Chromophore : Cu^{2+}



Cuprite^{hh}
Formule : Cu_2O
Chromophore : Cu^+

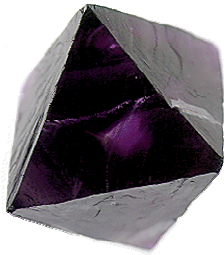


Olivineⁱⁱ
Formule : Fe_2SiO_4
Chromophore : Fe^{2+}

Dans les exemples présentés, le chromophore appartient à la structure, il ne s'agit pas d'un dopant on parle alors de couleurs idiochromatique. Mais il existe aussi des cas où le chromophore est un dopant qui s'invite dans le cristal en prenant la place d'un autre constituant on parle alors de couleur allochromatique. Le rubis est rouge du fait de l'insertion de chrome à la place de l'aluminium. L'émeraude est verte à cause de l'insertion de chrome. Le vert des tourmalines est dû à la présence de cuivre, la rubellite doit son beau rose fuchsia à la présence de manganèse.

V.8.3.4 Les centres colorés

Ce mécanisme à l'origine de la couleur est peu commun, il permet cependant d'expliquer la couleur de minéraux tels que la fluorine, l'améthyste et le quartz enfumé. Dans le cas de la fluorine et du quartz enfumé, la couleur est due à des défauts dans le cristal causés par une irradiation. À une couleur de la fluorine correspond un type de défaut, c'est pour cette raison que toutes les fluorines présentes sur le marché ont des couleurs si semblables. Les couleurs rose, bleue, verte et violette sont toujours les mêmes, la différence se situant au niveau de la force de teinte, c'est-à-dire une couleur plus ou moins foncée. Dans le cas de l'améthyste, c'est un couple fer–hydrogène qui est responsable de la couleur violette caractéristique. Parfois un couple aluminium–hydrogène explique la teinte grisâtre de certains quartz enfumés.



Fluorine ^{jj}



Quartz enfumé ^{kk}



Améthyste ^{ll}

V.8.3.5 Les inclusions microscopiques

Des inclusions minérales microscopiques peuvent modifier fortement la couleur des minéraux. Un bel exemple est celui du quartz prase dont la teinte verte peut être due à des inclusions microscopiques de pyroxènes ou d'amphiboles. La chrysoprase doit sa couleur verte à des traces de silicate de nickel. Il existe des quartz bleus dont la couleur est due à des inclusions microscopiques d'amphiboles. Quant aux astérismes des rubis, ils sont souvent dus à des inclusions microscopiques de rutile.



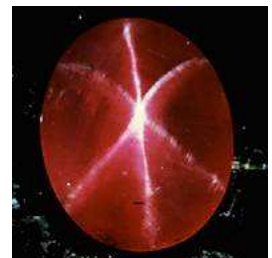
Quartz bleu ^{mm}



Quartz Prase ⁿⁿ



Chrysoprase ^{oo}



Rubis étoilé ^{pp}

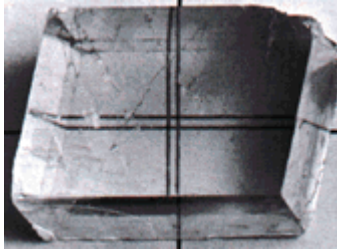
V.8.4 Conclusion sur la couleur

La couleur est très importante en minéralogie car elle permet de reconnaître facilement les minéraux, et d'éviter les confusions. Par exemple une chrysocolle ne sera jamais rouge ! Du fait de la présence de cuivre, elle sera toujours bleu-vert, il en est de même pour la turquoise. Une hématite ne sera jamais bleue, au mieux on la trouvera sous forme d'amas noir d'éclat métallique dont la trace sera rouge. Une magnétite sera toujours noire, au pire elle sera recouverte d'une couche d'oxyde de fer lui donnant un aspect un peu rougeâtre. Le critère de la couleur n'est pas absolu. Certains minéraux peuvent présenter des gammes de couleurs très étendues. Le quartz est, par exemple, capable de prendre quasiment n'importe quelle couleur.

V.8.5 Les autres propriétés optiques

V.8.5.1 La biréfringence

La biréfringence est une propriété très répandue chez les minéraux translucides mais difficile à observer simplement. Il existe tout de même des minéraux où cette propriété physique est aisément observable. En effet, si vous placez un morceau de calcite très translucide sur une feuille de papier où vous aurez au préalable écrit quelques mots, *vous verrez le texte se dédoubler* : **c'est la biréfringence**.



Calcite biréfringente ^{qq}

V.8.5.2 Le pléochroïsme

Cette propriété **optique** est étonnante. Suivant la façon dont on regarde la pierre, sa couleur n'est pas la même. Deux minéraux courants présentant un pléochroïsme visible sont la tourmaline et l'andalousite. Une tourmaline verte dans un sens peut paraître noire, une andalousite jaune peut paraître marron foncé. Dans ces cas où seulement deux couleurs peuvent être observées on parle de dichroïsme. Voici deux exemples de dichroïsme chez la tourmaline verte (verdélite) et l'axinite.



Dichroïsme de l'axinite ^{rr}



Dichroïsme de la tourmaline verte ^{rr}

V.8.5.3 L'effet alexandrite

Les propriétés optiques de certains minéraux peuvent être tout à fait exceptionnelles. Outre la biréfringence et la fluorescence, l'effet alexandrite est sans doute l'un des plus spectaculaires, des plus rares et des plus célèbres. Il s'agit d'une différence de coloration suivant la source d'éclairage. Éclairé par de la lumière naturelle, l'alexandrite – variété de chrysobéryl dopé au chrome – est verte au soleil mais éclairée par la lumière artificielle d'une ampoule à incandescence, le minéral est rose ! Deux exemples d'effet alexandrite sont présentés ci-dessous.



L'origine de cet effet est complexe, sa description complète nous ferait sortir du cadre de cet article d'initiation. Pour comprendre cet effet il faut retenir deux choses : premièrement, la couleur que l'on perçoit est complémentaire des couleurs qui sont absorbées. Deuxièmement l'alexandrite absorbe dans le jaune et le bleu. Ainsi quand le chrysobéryl est éclairé par une source lumineuse contenant du bleu et du jaune, comme la lumière naturelle, la couleur perçue sera le vert, mais si la source lumineuse contient peu ou pas de bleu, comme les ampoules à incandescence, le minéral absorbera uniquement dans le jaune. Il en résultera une teinte rose violette complémentaire du jaune absorbé.

V.8.5.4 La luminescence

La luminescence est **aussi appelée fluorescence** et se caractérise par un changement de couleur quand le minéral est exposé à une source de rayons ultraviolets. La luminescence a deux origines. Elle est due à la présence de dopants comme le manganèse, le chrome ou encore des éléments peu courants que l'on nomme les terres rares. Dans ce cas, la luminescence n'est pas nécessairement caractéristique d'un minéral. En effet dopant luminescent peut être absent, malgré cela, la luminescence peut tout de même aider à l'identification. Dans le deuxième cas, la luminescence est due à la présence de défauts dans la structure cristalline du minéral. Ici la luminescence est une signature caractéristique aidant à l'identification.

Pour évaluer la luminescence des minéraux, vous devrez donc acheter une lampe UV. Très concrètement, les tee-shirts blancs qui deviennent bleus dans une boîte de nuit doivent ce changement de coloration à un phénomène de luminescence. Une pierre commune présentant assez fréquemment une fluorescence est la fluorine. Cette propriété de fluorescence caractéristique due à la présence de défauts de structure est d'ailleurs à l'origine du nom du minéral.

V.8.5.5 L'indice de réfraction

L'indice de réfraction ne peut être analysé qu'avec du matériel adapté. Il est impossible pour un néophyte de l'apprécier uniquement à l'œil nu. **L'indice de réfraction est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse de propagation de la lumière dans le minéral.** Vous imaginez bien que cette valeur n'est pas évidente à mesurer en première approche, bien que des méthodes simples existent.

V.9 Faciès cristallin typique et habitus

L'**habitus** est la *forme habituelle des cristaux d'un minéral*. Pour la magnétite, l'habitus des cristaux libres est généralement octaédrique, plus rarement cubique. Pour la fluorine, l'habitus des cristaux libres est cubique ou octaédrique. L'habitus du cristal de roche est un prisme à section hexagonale à pointe pyramidale. Il existe aussi l'habitus prismatique, tabulaire, plaquettaire...

Le **faciès cristallin** est la *façon dont s'arrangent les cristaux libres*. Il existe de nombreux faciès cristallins ; cependant les décrire tous nous ferait perdre de vue l'esprit de cet article. Des exemples de faciès cristallins courants sont illustrés dans le tableau suivant :



Adamite
Fibro-radié ^{uu}



Goethite
Botryoïdale ^{vv}



Millerite
Aciculaire ^{ww}



Argent
Fibreux ^{xx}



Cuivre
Dendritique ^{yy}

V.10 Autres propriétés physiques

V.10.1 Le magnétisme

Les propriétés magnétiques des minéraux ne sont pas très évidentes à caractériser sans matériels de laboratoire. Cependant nous en avons quasiment tous fait l'expérience dans notre jeunesse et même à l'âge adulte à l'aide d'un aimant, d'un morceau de fer et d'un bout de papier. Nous avons remarqué que l'aimant attire un autre aimant ainsi que le fer mais pas le papier. Nous avons aussi remarqué que le fer n'attire par le fer, mais que le fer est bien attiré par l'aimant. Cette expérience simple et ludique permet de mettre en évidence trois types de matériaux différents : les diamagnétiques, paramagnétique et ferromagnétiques.

Un matériau diamagnétique ne présente aucune réaction quand il est soumis à un champ magnétique, même puissant. Le papier est donc diamagnétique. Un matériau paramagnétique sera attiré par un aimant mais il sera incapable d'attirer d'autre corps à lui. Le fer est paramagnétique. Un matériau ferromagnétique attire le fer et les autres matériaux ferromagnétiques. Un aimant est ferromagnétique. Les exemples de matériaux à ranger parmi ces trois classes sont nombreux, le tableau qui suit en présente quelques uns.

Diamagnétique		Paramagnétique		Ferromagnétique	
Minéraux	Formules	Minéraux	Formules	Minéraux	Formules
Quartz	SiO ₂	Hématite	Fe ₂ O ₃	Magnétite	Fe ₃ O ₄
Calcite	CaCO ₃	Columbite	(Fe,Mn)(Ta,Nb) ₂ O ₅	Chromite	FeCr ₂ O ₄
Spinelle	MgAl ₂ O ₄	Pyrrhotite	Fe _{1-x} S	Ilménite	FeTiO ₃

V.10.2 La piézoélectricité

Ce phénomène impossible à mettre en évidence sans matériel de laboratoire est pourtant présent dans notre vie de tous les jours et au sein de minéraux très commun. Ce phénomène physique permet notamment le fonctionnement de nos montres et des allumes gaz. Mais qu'est ce donc que la piézoélectricité ? Il faut distinguer deux modes, le premier dit « direct » et le second dit « indirect ». Le premier mode consiste à voir apparaître de l'électricité quand un matériau piézoélectrique est soumis à une pression. Le mode indirect est la déformation d'un matériau piézoélectrique quand il est soumis à un champ électrique.

Le premier mode explique le fonctionnement des allumes gaz. La pression exercée par la main est transmise à un matériau piézoélectrique et cette pression est partiellement convertie en électricité. Le deuxième mode est à l'œuvre dans les montres à quartz, ou un petit cristal de quartz se met à vibrer à une fréquence bien précise du fait de l'application d'un champ électrique. Le tableau qui suit répertorie quelques minéraux aux propriétés piézoélectriques.

Minéraux	Formules
Quartz	SiO ₂
Topaze	Al ₂ SiO ₄ (OH,F) ₂
Tourmaline	NaMg ₃ Al ₆ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH,F) ₄

V.10.3 La radioactivité

La radioactivité est un processus physique qui permet à des atomes instables de se casser pour donner un ou des atomes plus stables avec une émission d'énergie sous forme de rayonnement. Il existe de nombreux atomes radioactifs sur notre planète et ceux-ci se retrouvent dans les minéraux. Il n'est pas très aisé de mettre en évidence la radioactivité d'un minéral avec du matériel simple. On peut néanmoins utiliser un morceau de pellicule photographique n'ayant pas été exposé à la lumière. Les rayonnements émis lors de la désintégration des atomes sont en effet suffisamment énergétiques pour laisser des traces sur une pellicule photo.

Le phénomène de la radioactivité peut être dangereux : les radiations émises peuvent altérer l'ADN et causer des cancers sur le long terme. Dans des cas d'exposition grave, la radioactivité peut brûler de façon irréversible les tissus de l'organisme. Les minéraux radioactif ne sont pas cependant tous dangereux, c'est la durée d'exposition qui importe plus que le niveau de radioactivité. Par exemple une exposition longue et répétée à des minéraux faiblement radioactifs peut être aussi dangereuse qu'une exposition courte à un minéral fortement radioactif.

A titre d'exemple montrant que la dose et la durée sont importantes, il faut savoir qu'à chaque seconde dans notre organisme 8000 désintégrations radioactives ont lieu, principalement dues à du potassium 40 (^{40}K) et du carbone 14 (^{14}C). Notre corps est naturellement radioactif sans que cela ne représente un danger pour nous à court ou long terme. Le tableau suivant présente quatre minéraux fortement radioactifs.

Minéraux	Formules
Autunite	$\text{Ca}(\text{UO}_2, \text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}$
Tobernite	$\text{Cu}(\text{UO}_2, \text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}$
Euxénite	$(\text{Y}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Th}, \text{Ca})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ni})_2\text{O}_6$
Thorianite	ThO_2

VI. Notions importantes en minéralogie

Nous avons présenté succinctement les outils pratiques de la minéralogie, mais il existe d'autres notions importantes mais plus complexes à décrire. Nous garderons le ton employé jusqu'à maintenant pour décrire ces nouvelles notions.

VI.1 Les variétés allotropiques

L'aragonite et la calcite sont deux minéraux très courants et qui ne se ressemblent pas du tout. Le premier se présente souvent sous la forme de scalénoèdres rappelant des dents de chien alors que le second minéral se présente assez souvent sous la forme de prismes pseudo-hexagonaux.



Calcite ^{zz}



Aragonite ^{aaa}

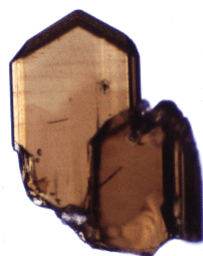
Une analyse chimique montre que ces deux minéraux ont pourtant la même composition, il s'agit de deux carbonates de calcium de formule CaCO_3 . Une analyse plus poussée permet de déterminer le système cristallin. La calcite cristallise dans le système rhomboédrique alors que l'aragonite cristallise dans le système orthorhombique. Dans ce cas précis nous sommes face à deux variétés allotropiques. On peut donc élaborer notre définition à partir de cet exemple courant. Les variétés allotropiques sont des minéraux de compositions chimiques **identiques** mais de structures cristallines différentes. Le tableau ci-dessous propose les variétés allotropiques pour diverses compositions chimiques.

Compositions	Formes allotropiques
SiO_2	Calcédoine, α -Quartz, β -Quartz, Tridymite, Cristobaltite
CaCO_3	Calcite, Aragonite, Vatérite
TiO_2	Anatase, Rutile, Brookite
FeS_2	Pyrite, Marcassite
FeOOH	Goethite, Lépido-croscite
C	Graphite, Diamant
ZnS	Sphalérite, Wurtzite
KAlSi_3O_8	Microcline, Orthose
Al_2SiO_5	Andalousite, Silimanite, Disthène

Encore une fois nous ne rentrerons pas dans les détails mais il est intéressant de comprendre pourquoi ces variétés allotropiques existent. La nature est obsédée par l'équilibre, elle cherche constamment à se mettre dans des configurations qui demandent le moins d'énergie. Ainsi suivant les conditions physiques qui régnaient lors de la croissance des minéraux, les atomes vont s'arranger de manière à ce que cela coûte le moins d'énergie. On comprend donc que ce sont les conditions physiques régnant lors de la croissance cristalline qui vont décider de la variété allotropique. Ainsi la présence de ces variétés allotropiques est une fenêtre sur les conditions physiques qui régnaient lors de la croissance des cristaux.

VI.2 Solutions solides et séries

Cette notion n'est pas évidente au premier abord, mais comme d'habitude prenons un exemple pour mieux cerner la notion. Le péridot, cette magnifique pierre verte, a pour composition chimique $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$. Ce minéral est donc un silicate de fer II (Fe) et de magnésium (Mg). Mais que signifie la notation (Fe,Mg) ? Elle indique que le fer peut remplacer le magnésium sans modifier la structure cristalline du minéral. Mieux elle indique que le péridot est un minéral *intermédiaire* entre deux membres *extrêmes* qui sont la Fayalite Fe_2SiO_4 et la Fosterite Mg_2SiO_4 .



Fayalite ^{bbb}



Péridot ^{ccc}



Fosterite ^{ddd}

On parle de minéral intermédiaire car les propriétés physiques du minéral vont évoluer de façon **continue** d'un membre extrême à l'autre suivant le taux de fer ou de magnésium. Il existe de nombreuses séries ou solutions solides en minéralogie, le tableau qui suit en résume quelques unes.

Composé initial		Composé intermédiaire		Composé final	
Minéraux	Compositions	Minéraux	Compositions	Minéraux	Compositions
Enstatite	$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	Bronzite*	$(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	Ferrosilite	$\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$
Niobite	$(\text{Fe,Mn})\text{Nb}_2\text{O}_5$	Columbite	$(\text{Fe,Mn})(\text{Ta,Nb})_2\text{O}_5$	Tantalite	$(\text{Fe,Mn})\text{Ta}_2\text{O}_5$
Ferberite	FeWO_4	Wolframite	$(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$	Hubnérine	MnWO_4
Grossulaire	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	**	$\text{Ca}_3(\text{Al,Cr})_2(\text{SiO}_4)_3$	Uvarovite	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$
Sidérite	FeCO_3	**	$(\text{Fe,Mn})\text{CO}_3$	Rhodochrosite	MnCO_3

* = appellation non reconnue par l'IMA

** = pas de nom particulier

Les solutions solides peuvent ne pas être totales. Comme d'habitude nous allons prendre un exemple pour le comprendre. La sphalérite est un sulfure de zinc relativement commun de formule chimique ZnS . Ce composé peut s'enrichir en fer au détriment du zinc, la formule va donc s'écrire $(\text{Zn,Fe})\text{S}$. Ce minéral s'appelle la marmamite. C'est un minéral noir ayant la même structure cristalline que la sphalérite. Cependant la sphalérite n'accepte pas plus de 26% de fer, au delà il y a démixtion, c'est à dire qu'il y aura d'un côté un sulfure de zinc riche en fer et de l'autre un sulfure de fer (contenant un peu de zinc). Le fer en excès va préférer être dans un autre solide plutôt que de continuer à remplacer le zinc dans la sphalérite.

Cela est prévisible, en effet les sulfures de fer et les sulfures de zinc n'ont pas la même structure cristalline. On ne peut donc pas passer continûment d'un membre extrême à l'autre. Cela va nous permettre de comprendre que la condition nécessaire à l'obtention d'une **série continue** est que les deux membres extrêmes de la série aient une structure cristalline identique.

VI.3 Les groupes de minéraux

Des études poussées sur les minéraux ont permis de se rendre compte que certains minéraux se ressemblaient étrangement tant par la composition chimique que par le système cristallin ainsi que la forme extérieure des cristaux. Le cas le plus aisé à étudier est celui des grenats. Le tableau ci-dessous présente la composition chimique de cinq membres de la famille des grenats :

Minéral	Composition
Almandin	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
Grossulaire	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
Spessartite	$\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
Andradite	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$
Uvarovite	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$

Si l'on regarde attentivement les compositions chimiques on remarque qu'elles ont toutes la même base, à savoir $\text{A}_3\text{X}_2(\text{SiO}_4)_3$ ou plus précisément avec le degré d'oxydation (nombre d'électrons perdus ou gagnés par l'atome) $\text{A}^{2+}_3\text{X}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$. Du point de vue de l'habitus cristallin les grenats se ressemblent tous :



Spessartite^{eee}
 $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$



Uvarovite^{fff}
 $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$



Almandin^{ggg}
 $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Il y a donc un lien entre tous ces minéraux. Ce lien c'est la structure interne des grenats. Nous n'entrerons pas trop dans les détails pour rester simple dans notre approche, il faut comprendre que quelque soit l'élément mis à la place de A ou X, la même structure cristalline sera obtenue. Ainsi les grenats sont regroupés dans une famille du fait de ces parentés structurales et chimiques. Le cas des grenats n'est pas anecdotique, il existe d'autres groupes de minéraux, nous en citerons quatre en plus des grenats : le groupe de la tourmaline, de la calcite, du spinelle et de l'apatite. Les tableaux qui suivent mentionnent les divers membres de chaque groupe. La liste n'étant pas exhaustive.

Groupe de la Calcite	
Minéraux	Compositions
Calcite	CaCO_3
Smithonite	ZnCO_3
Rhodochrosite	MnCO_3
Magnésite	MgCO_3
Sidérite	FeCO_3

Groupe du Spinelle	
Minéraux	Compositions
Spinelle	MgAl_2O_4
Gahnite	ZnAl_2O_4
Magnétite	Fe_3O_4
Chromite	FeCr_2O_4
Franklinite	ZnFe_2O_4

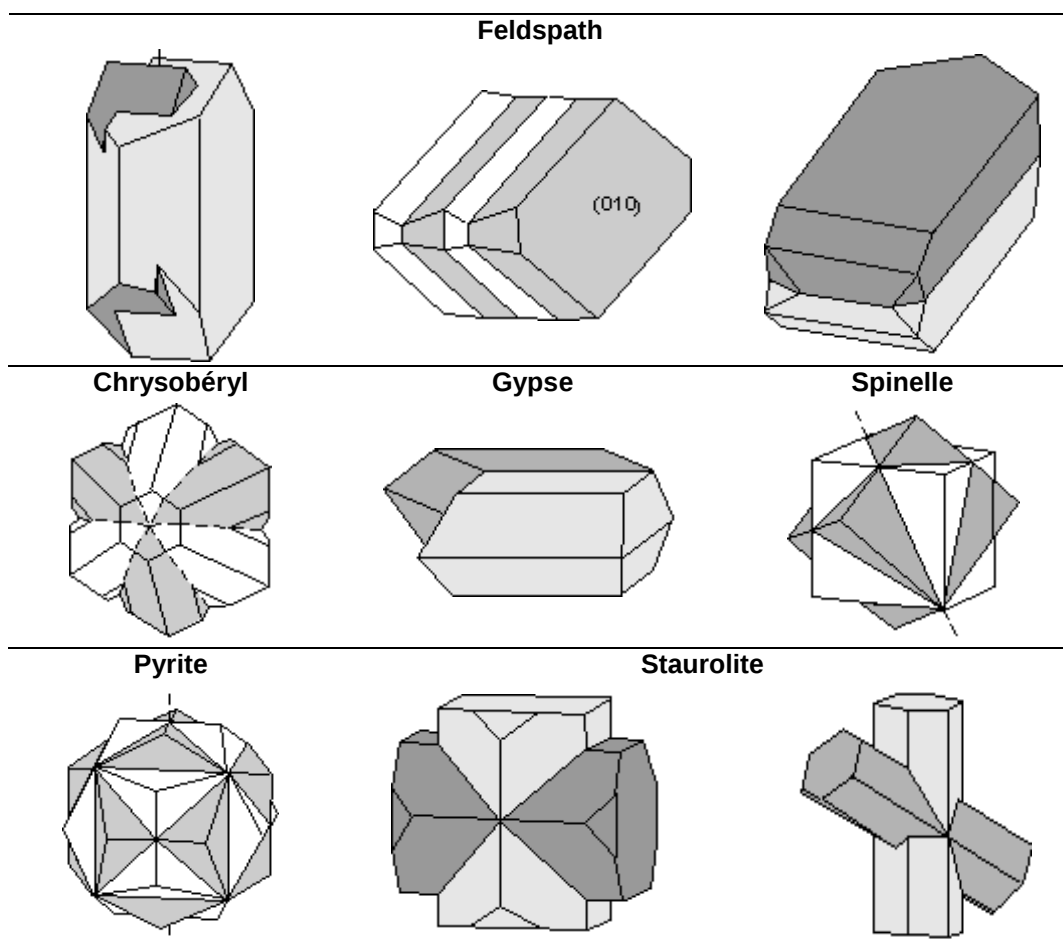
Groupe de la Tourmaline	
Minéraux	Compositions
Dravite	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$
Elbaïte	$\text{Na}(\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$
Uvite	$\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{MgAl}_5(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$
Schorl	$\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$
Liddicoatite	$\text{Ca}(\text{Li}_2,\text{Al})\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_3\text{F}$

Groupe de l'Apatite	
Minéraux	Compositions
Hydroxy-Apatite	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$
Vanadinite	$\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$
Johbaumite	$\text{Ca}_5(\text{AsO}_4)_3\text{OH}$
Mimétite	$\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$
Pyromorphite	$\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$

VI.4 Les macles

Une macle est un agencement particulier de deux ou plusieurs cristaux. Cet arrangement n'est pas aléatoire mais pour le comprendre il faut se rappeler une chose fondamentale sur les cristaux. Nous avons vu précédemment que dans un cristal il existe de nombreuses relations de symétrie et c'est cette notion de symétrie qui est importante pour comprendre ce qu'est une macle. En effet dans une macle de deux ou plusieurs cristaux, une des relations de symétrie du cristal est continue d'un cristal à l'autre comme si aucun autre cristal ne semblait présent pour cette opération de symétrie.

C'est ainsi que l'on peut dénombrer et classer les macles car pour conserver les règles de symétrie on ne peut pas coller les cristaux de n'importe quelle manière. Ainsi il faut faire la distinction entre un simple accollement d'un ou plusieurs cristaux et une macle. Un exemple commun de macle donne naissance aux cristaux d'aragonite qui semblent avoir une symétrie hexagonale. Nous ne rentrerons pas dans les détails de la cristallographie pour réellement expliquer les macles, cela serait bien trop compliqué pour une initiation à la minéralogie. Il faut retenir que les macles peuvent aider à reconnaître les minéraux car l'occurrence d'une macle est la signature de la symétrie présente à l'intérieur d'un cristal, voici des exemples de macles très caractéristiques^{hhh}.



Macle du Japon pour le Quartzⁱⁱⁱ

VI.5 La genèse des minéraux

Cette partie concerne plus la géologie que la minéralogie, ce n'est pas un sujet que je maîtrise mais j'ai estimé qu'il pourrait être intéressant de présenter l'origine des minéraux suivant les trois types de roches : magmatique, sédimentaire et métamorphique. La présentation est rapide et très succincte, elle constitue une première approche qui veut rester dans l'esprit de cet article d'initiation à la minéralogie.

VI.5.1 Genèse magmatique

Suite à des événements géologiques particuliers résultant en une baisse de pression, les roches du manteau assimilables à un solide, se liquéfient et forme un magma, c'est à dire un mélange de roche en fusion et de gaz. Ce magma peut remonter à la surface via des fractures et constituer des épanchements volcaniques ou il peut rester dans des poches où il refroidira lentement. Nous étudierons la genèse magmatique des minéraux dans ce dernier cadre, c'est à dire à partir de la solidification lente de ce magma. A l'issue de ce processus on obtient des roches dites « ignées ». Le processus de refroidissement se déroule en quatre séquences par ordre de températures décroissantes : la séquence orthomagmatique, pegmatitique, pneumatolytique et hydrothermale.

VI.5.1.1 La séquence orthomagmatique

Cette première séquence voit naître les premiers minéraux. Il s'agit généralement de minéraux riches en fers et pauvre en silice. Pendant cette étape on observe un phénomène dit de différenciation : les minéraux lourds tombent vers le fond de la chambre magmatique et les légers remontent. On observe de façon concomitante un enrichissement de la chambre magmatique en éléments lourds. Certains minéraux qui cristallisent lors de cette étape sont répertoriés dans le tableau qui suit.

Minéraux	Formules	Minéraux	Formules
Olivine	Fe_2SiO_4	Zircon	ZrSiO_4
Pyroxène*	AXSi_2O_6	Apatite	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
Amphibole*	$\text{A}_2\text{X}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Magnétite	Fe_3O_4
Phlogopite	$\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	Chromite	FeCr_2O_4
Plagioclase	$(\text{Na},\text{Ca})\text{Al}(\text{Al},\text{Si})\text{Si}_2\text{O}_8$	Titanite	CaTiOSiO_4

* Il s'agit des formules génériques des groupes de minéraux

VI.5.1.2 La séquence pegmatitique

Après la phase orthomagmatique survient la séquence pegmatitique. Les silicates formés précédemment s'organisent sous forme de lentille ou de veines : les pegmatites. Certains minéraux produits durant cette étape sont présents dans le tableau suivant.

Minéraux	Formules	Minéraux	Formules
Apatite	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	Cassitérite	SnO_2
Quartz	SiO_2	Tantalite	$(\text{Fe},\text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6$
Micas*	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	Béryl	$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$
Zircon	ZrSiO_4	Topaze	$\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{OH},\text{F})_2$
Xénotime	YPO_4	Corindon	Al_2O_3

* la formule proposée est celle de la muscovite

VI.5.1.3 La séquence pneumatolytique

La phase pneumatolytique suit la phase pegmatitique. Lors de cette étape, des gaz très chauds dissolvant certains composés ainsi que des substances volatiles se déposent et aboutissent à la croissance de nouveaux minéraux. Certains de ces minéraux sont répertoriés dans le tableau suivant.

Minéraux	Formules
Tourmaline*	$\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$
Topaze	$\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{OH},\text{F})_2$
Wolframite	$(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$
Scheelite	CaWO_4

* la formule proposée est celle du schorl

VI.5.1.4 La séquence hydrothermale

La séquence hydrothermale qui est la dernière de la phase magmatique est semblable à la précédente phase pneumatolytique. Les températures sont ici moins importantes, généralement inférieure à 350°C. A ces températures, suivant les pressions exercées, l'eau peut se retrouver à l'état liquide. Comme précédemment les substances dissoutes dans l'eau peuvent précipiter et donner naissance à des minéraux. Une partie de ces derniers sont répertoriés dans ce dernier tableau.

Minéraux	Formules
Quartz	SiO ₂
Dolomite	(Ca,Mg)CO ₃
Calcite	CaCO ₃
Sulfure de métaux	FeS ₂ , CuFeS ₂ etc.

VI.5.2 Genèse sédimentaire

Les roches sédimentaires sont issues des roches magmatiques et métamorphiques après que ces dernières aient été altérées par divers phénomènes. Ces phénomènes peuvent être l'altération mécanique comme l'érosion, la casse sous l'effet de dilatation thermique ou du gel. L'altération chimique par l'eau et les gaz atmosphériques peut aussi jouer un rôle. Ainsi certains minéraux constituant les roches sont altérés chimiquement et les roches perdent en cohésion. Enfin des facteurs biologiques peuvent aussi participer au processus d'altération des roches. Tous ces processus conduisent à la désagrégation des roches, les grains obtenus – on parle de sédiments – sont alors facilement entraînés par le vent ou l'eau et forment des dépôts qui après solidification (diagenèse) forment des roches sédimentaires. Ces processus ont tous lieu à des pressions et des températures usuelles. On est très loin des conditions régnant dans les processus magmatiques et métamorphiques.

Les minéraux issus du processus sédimentaire ont trois origines. La première catégorie est celle des évaporites. Il s'agit de minéraux solubles dans l'eau qui précipitent quand ils sont trop concentrés. Ces roches peuvent notamment se former lors de l'évaporation progressive d'une étendue d'eau salée. Parmi ces minéraux on trouve le gypse CaSO₄.2H₂O, l'halite NaCl, la sylvite KCl et la calcite CaCO₃.

La deuxième catégorie de minéraux d'origine sédimentaire sont présents dans les gisements de type « placers ». Lorsque les roches originelles sont érodées et altérées, les minéraux non altérés peuvent se retrouver classés du fait de leur densité et de leur dureté. On aboutit à terme à des concentrations parfois exploitables de minéraux. De nombreux gisements d'or, de platine, de spinelle, de rubis ainsi que la très rare taaféite ont pour origine ce mécanisme.

La troisième catégorie de minéraux est celle des minéraux secondaires. Comme leur nom l'indique se sont des minéraux qui arrivent après des espèces déjà existantes. Quand un gisement existant est altéré par l'eau et les gaz atmosphériques, certaines espèces chimiques se dissolvent. Il ne reste alors sur le site d'origine que des minéraux dits résiduels. Les espèces dissoutes peuvent précipiter et donner naissance à de nouveaux minéraux comme l'anglésite PbSO₄ ou alors ces espèces dissoutes peuvent réagir avec des minéraux préexistants et ainsi former de nouvelles espèces. Parmi ces nouvelles espèces on peut citer la chalcosine Cu₂S, la bornite Cu₅FeS₄ et la covelline CuS.

VI.5.3 Genèse métamorphique

Le phénomène de métamorphisme s'exerce dans des milieux où règnent de hautes températures et généralement de hautes pressions. Il s'agit de modification à l'état solide où sont observées des changements de structure cristalline et de composition chimique. Les roches pouvant subir un métamorphisme sont les roches sédimentaires et les roches magmatiques. Pour cela il faut que ces roches soient entraînées en profondeur grâce au lent mécanisme de la tectonique des plaques. On distingue deux types de métamorphisme : le métamorphisme régional et le métamorphisme de contact.

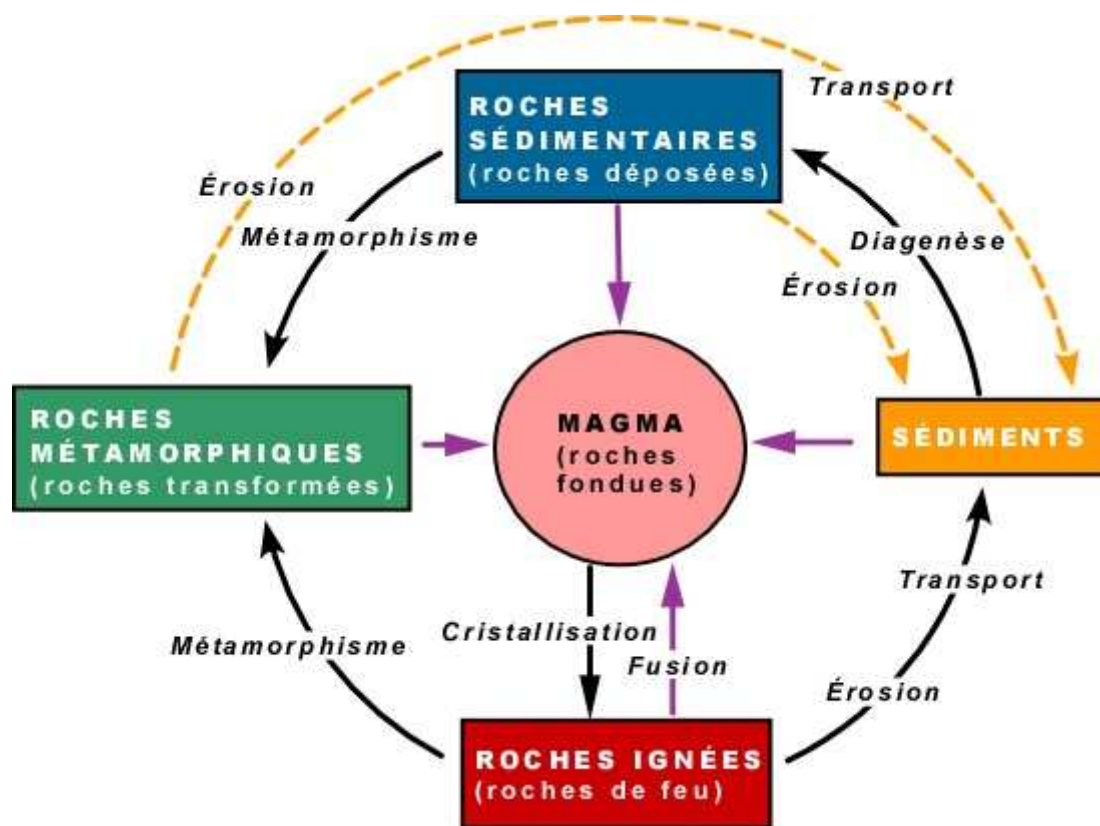
Le métamorphisme régional a lieu en profondeur, les températures et pressions sont très importantes. Le volume de roche affectée est lui aussi très important.

Le métamorphisme de contact est causé par des remontées de roches chaudes qui entrent en contact avec une roche plus froide. On observe alors une évolution de la composition minéralogique due à cette augmentation locale de température. Les surfaces affectées sont peu importantes car la température diminue rapidement avec la distance à la roche chaude. Les pressions sont elles aussi modérées. Certains des minéraux obtenus lors de ce processus sont présents dans le tableau qui suit.

Minéraux	Formules	Minéraux	Formules
Cyanite	Al_2SiO_5	Spinelle	MgAl_2O_4
Rutile	TiO_2	Graphite	C
Ilménite	FeTiO_3	Andalousite	Al_2SiO_5

VI.5.4 Le cycle des roches

Une roche donnée n'a pas un avenir figé et fixé dès sa naissance. Des processus physiques (gel, choc thermique), chimiques (altération), et biologiques (altération) permettent sa désagrégation et la roche de départ est alors convertie en une ou plusieurs roches sédimentaires. Si ces roches sédimentaires sont entraînées en profondeur par la lente tectonique des plaques, elles seront métamorphosées et rendues méconnaissables. Enfin si la température devient trop importante, les roches métamorphiques obtenues fondent et donneront ensuite naissance à des roches magmatiques. On voit donc apparaître un cycle où les roches se transforment au cours de leur existence. Ce petit paragraphe introductif ne donne qu'une vision partielle du cycle complet comprenant toutes les transformations possibles d'une roche de sa formation à sa transformation. Le schéma qui suit schématise les évolutions non décrites ⁱⁱⁱ.



VI.6 Les minéraux associés : la paragenèse

Les conditions physiques de croissance d'un minéral (température, pression, acidité...) peuvent être tout à fait adaptées à la croissance d'un autre minéral, si les constituants chimiques nécessaires à sa croissance sont présents. On approche donc de la notion de paragenèse : il s'agit de tous les minéraux créés par un même processus au même moment et associés au sein d'une même roche ou sur une gangue commune. La paragenèse est donc un élément important pour identifier les minéraux. On ne trouvera généralement pas de minéral qui nécessite des hautes pressions et de hautes températures avec un minéral dit d'altération, créé par lessivage des sols. Si une telle association est rencontrée, cela permet de reconstituer l'histoire de la roche car on sait qu'au moins deux processus de cristallisation ont donné naissance à la roche et aux minéraux constitutifs.

La paragenèse peut être la « signature » d'une localité. Les associations « quartz, pyrite, sphalérite, chalcoppyrite » sont typiques des localités comme le Pérou. Les associations « calcite – améthyste » sont typiques des gisements du Brésil et de l'Uruguay. L'okénite associée à la calcédoine, la préhnite associée à la stilbite, l'apophyllite ou l'heulandite sont typiques des gisements indiens. L'association « prehnite épidote » « épidote, grenat noir » ou les trois associées sont typiques des gisements du Mali. Les échantillons constitués d'aégirine associée au quartz et à l'orthose sont des grands classiques du Malawi.

VI.7 Les pseudomorphoses

On parle de pseudomorphose du minéral 1 par un minéral 2 quand le minéral 2 se présente avec la forme extérieure du minéral 1. On peut voir deux cas de figures : soit le minéral 2 recouvre simplement le minéral 1, soit le minéral 2 a pris la place du minéral 1 en gardant la forme des cristaux du minéral 1. Plus généralement une pseudomorphose peut se faire par enduit, par remplacement, par altération ou par modification structurale du minéral de départ, bien entendu sans modification de la forme extérieure. C'est ainsi que des hexagones de cuivre sont reportés alors que le cuivre est un minéral de système cristallin cubique : des hexagones de cuivre sont impossibles à obtenir. Il s'agit en fait d'une pseudomorphose de l'aragonite par du cuivre. D'autres exemple saisissant existent notamment en Australie avec de superbes pseudomorphoses de calcite par de l'opale comme montré si dessous.



Pseudomorphose de calcite par de l'opale ^{kkk}

Un autre exemple typique est le remplacement de pyrite par de la limonite par simple altération de la pyrite préexistante : le fer II de la pyrite s'oxyde en fer III : il perd un électron. D'autres exemples de pseudomorphoses sont présentés ci-dessous :



**Pseudomorphose de marcassite
par de l'hématite** ^{lll}



**Pseudomorphose de pyrite
par de la limonite** ^{mmm}

VI.8 Les variétés

Il ne faut pas confondre les variétés allotropiques et les variétés. Ce sont deux choses complètement différentes. Mais comme nous avons déjà défini la notion de *variété allotropique* explorons sans plus tarder la notion de *variétés*. La différence entre les deux notions sera transparente. Comme nous l'avons toujours fait prenons des exemples. Le quartz a pour formule chimique SiO_2 et il existe de nombreuses variétés de quartz :

Minéral	Caractéristique	Origine de la caractéristique
Cristal de roche	Incolore	SiO_2 pur et limpide
Citrine	Jaune	Fer
Améthyste	Violette	Fer et Hydrogène
Quartz Rose	Rose	Manganèse
Calcédoine	Microcristalline	Taille des cristaux
Agate	Calcédoine rubanée	Dopage par divers éléments

La notion de variété apparaît tout naturellement à partir du précédent tableau. Il s'agit de modifications des propriétés physiques comme la couleur dues à la **présence** ou **l'absence** de dopants comme pour la citrine, l'améthyste, le quartz rose et le cristal de roche. La variété peut aussi décrire un mode de cristallisation particulier comme pour la calcédoine ou les agates qui sont des variétés dites « microcristallines » de quartz.

Il existe d'autres exemples de variétés dues à la présence de dopants. Le mica fuchsite est une variété de muscovite contenant du chrome. La biotite est une variété de phlogopite contenant du fer, le chromdiopside est une variété de diopside contenant du chrome tout comme l'amazonite qui est un microcline contenant du chrome.

En terme de mode de cristallisation la sagénite est une variété de rutile formant des grilles d'aiguilles se croisant avec un angle de 60° . La spécularite est une variété d'hématite se présentant sous la forme de rosette. La chiastolite est une variété d'andalousite présentant des macles caractéristiques en forme de croix et des inclusions charbonneuses.

On retiendra qu'il y a variété par modification des propriétés optiques, de la composition chimique ou encore pour des faciès cristallins particuliers.

VII. La reconnaissance des minéraux

Les vendeurs de minéraux n'ont pas toujours le nom exact des pierres que l'on achète. Cela arrive encore plus souvent dans des brocantes où les vendeurs n'ont pas la moindre idée de ce qu'ils ont dans leurs paniers. Or en lithothérapie il est très important de savoir avec quelle pierre on travaille et cela pour des raisons évidentes de propriétés voir même de compatibilité. Imaginez que vous donniez par erreur une hématite non reconnue à quelqu'un de colérique ou à un hypertendu : bonjour les dégâts ! Cependant sachez qu'il existe des moyens très simples de reconnaître un maximum de minéraux sans la moindre difficulté avec des analyses rudimentaires. Avec le temps et l'expérience accumulée vous serez à même de reconnaître bon nombre de minéraux avec un minimum d'information, parfois juste une photo.

Nous avons déjà abordé ce thème à la partie V, mais nous nous étions bornés à une simple description des outils sans les confronter les uns aux autres. Dans cette partie nous verrons une méthode d'identification, chose qui n'a pas encore été présentée. Passons aux méthodes de reconnaissance sans plus attendre et tout cela à partir de trois cas concrets, nous verrons ensuite la méthode générale.

VII.1 Première exemple

Vous revenez d'une brocante et vous avez acheté cette pierre à un prix défiant toute concurrence mais vous n'avez pas la moindre idée de ce que c'est. Voici le superbe échantillon :



Minéral 1ⁿⁿⁿ

Comment faire ? Tout d'abord le plus simple c'est d'observer la pierre avec attention. Il s'agit d'un amas cristallin et les faces des cristaux sont bien définies. Cela permet d'avoir une idée de la formation du minéral. Quand les faces sont bien définies le mécanisme de formation est pegmatitique ou hydrothermale. Ainsi l'allure générale de la pièce nous donne un premier indice. Il faut maintenant regarder la couleur de la pièce : les cristaux sont incolores. Y a-t-il d'autres minéraux sur la pièce ? Dans notre cas non. Les cristaux sont-ils transparents ? Oui le doigt est parfaitement visible au travers des cristaux.

Maintenant allons plus en détail, regardons les cristaux. L'observation montre qu'il s'agit de prismes hexagonaux plus longs que larges et qui sont terminés par six faces, dont trois grandes et trois plus petites. Cette information nous donne des indices sur le système cristallin. Si le système était hexagonal, les six faces auraient la même taille, or les grandes et les petites sont alternées deux à deux, c'est typique d'un système trigonal. Cela nous confère notre deuxième indice : le système cristallin est le système trigonal.

Nous manquons encore d'information pour donner un nom à cette pièce, nous irons donc encore un peu plus loin avec un test de dureté. Pour cela prenons la pièce et essayons alors de rayer une vitre. Nous observons sans ambiguïtés que la pièce raie le verre, sa dureté est donc supérieure à 6.5. Maintenant prenons une topaze et essayons de rayer un des cristaux de la pièce à identifier. La topaze raie la pierre, nous savons donc que la dureté est comprise en 6.5 et 8.

Pour être un peu plus sur, nous allons qualifier l'éclat. Nous remarquons sur notre pièce que l'éclat est un peu comme celui d'une vitre, c'est un éclat vitreux. Maintenant cherchons des traces de plan de clivage. Nous n'en observons absolument aucun. Au niveau des cassures nous remarquons que la pièce se casse comme du verre, c'est donc une cassure conchoïdale. Maintenant nous avons suffisamment d'informations pour commencer à travailler. Récapitulons :

Propriétés générales	Observations sur le minéral à identifier
Allure générale	Bouquet ou tapis de cristaux très bien formé
Association minérale	Aucune
Formation	Hydrothermale ou pegmatitique
Transparence	Translucide
Couleur	Incolore
Système cristallin	Très certainement trigonal ou rhomboédrique
Dureté	6.5 < dureté < 8
Eclat	Vitreux
Clivage	Aucun
Cassure	Conchoïdale

Ces informations suffisent à quelqu'un d'expérimenté, il est même très probable que beaucoup d'entre vous aient identifié le minéral sur photo sans aucune difficulté... mais pour un débutant il faudrait éplucher toute une base de données pour identifier la pierre et c'est comme cela que nous procéderons. Nous analyserons un certain nombre de fiches pour voir ce qui correspond le mieux à l'éventail de propriétés répertoriées. Le bon minéral correspondra exactement à cet ensemble de propriétés. Nous procéderons par élimination en consultant tous les minéraux de chaque classe minérale : éléments natifs, sulfures, halogénures, carbonates, oxydes, phosphates, silicates et minéraux organiques.

Le minéral est transparent, nous pouvons éliminer tous les éléments natifs (sauf le diamant) et la grande majorité des sulfures qui sont pour la plupart opaques. Il reste alors le réalgar, l'orpiment, la proustite, la sphalérite, le cinabre et le diamant. Mais beaucoup de ces minéraux sont naturellement colorés, nous les éliminons tous sauf la sphalérite et le diamant qui peuvent être incolores. La sphalérite et le diamant cristallisent dans le système cubique, leurs cristaux ne peuvent pas ressembler à des prismes hexagonaux, aucun sulfures et aucun éléments natifs ne répondent correctement aux propriétés. Passons aux halogénures : il n'existe aucun halogénure de dureté comprise en 6.5 et 8, on peut tous les éliminer d'office. Il en est de même pour les carbonates et les minéraux organiques.

Regardons maintenant les oxydes. On ne regarde que les minéraux du système trigonal pour gagner du temps et le cas du quartz correspond parfaitement aux propriétés que l'on a mesurées à la main. De plus du point de vue morphologique, il y a une ressemblance flagrante entre les cristaux de la fiche consultée et ceux que l'on possède. Le quartz est un très bon candidat. Aucun autre oxyde ne correspond aussi bien. Chez les phosphates, l'apatite peut convenir, mais elle est rarement incolore, son système cristallin est hexagonal et elle est trop tendre (dureté 5) pour convenir d'autant qu'elle présente un plan de clivage qui n'a pas été mis en évidence dans l'échantillon inconnu. Nous pouvons donc l'éliminer. Chez les silicates, le béryl et la phénacite peuvent convenir mais le système cristallin est hexagonal pour le béryl et la phénacite est un minéral vraiment très rare, nous pouvons donc l'éliminer aussi. Ainsi il ne reste plus que le quartz qui est le seul minéral qui correspond parfaitement aux propriétés que nous avons identifiées.

VII.2 Deuxième exemple

Vous avez eu énormément de chance, le jour où vous avez ramené ce prodigieux quartz vous avez aussi trouvé cette superbe pierre :



Minéral 2⁰⁰⁰

Par contre vous n'avez pas la moindre idée de ce qu'elle pourrait être. Vous allez donc mener une analyse pour arriver à identifier ce minéral. Il s'agit d'une plage de cristaux bien développés. Ce qui laisse penser à une genèse hydrothermale. Les cristaux sont des dodécaèdres pentagonaux, le système cristallin est cubique. Le minéral est opaque et possède un fort éclat métallique. Il n'y a pas de plans de clivage très nets et la fracture semble plutôt conchoïdale. L'espèce étant opaque, nous avons testé les propriétés magnétiques à l'aide d'un aimant : le minéral n'est pas magnétique. Le test de dureté indique que le minéral est rayé par le quartz (dureté 7) mais ce minéral raye l'apatite (dureté 5). Sa dureté doit être de l'ordre de 6. Récapitulons les informations que nous avons récoltées par observation de la pièce :

Propriétés générales	Observations sur le minéral à identifier
Allure générale	Plage
Association minérale	Aucun
Formation	Hydrothermale
Transparence	Opaque
Couleur	Jaune dorée
Système cristallin	cubique
Dureté	6
Eclat	Métallique
Magnétisme	Aucun
Clivage	Indistinct
Cassure	Irrégulière Conchoïdale

Le minéral est opaque à l'éclat fortement métallique. Cette information va nous donner des orientations précieuses. La majorité des minéraux opaques à l'éclat métallique sont les oxydes, les éléments natifs et les sulfures. La couleur étant jaune dorée, une grande quantité de minéraux peut être exclue. Nous gardons donc l'or, le cuivre, la marcassite, la chalcoppyrite, la pyrite et l'arsénopyrite. Le cuivre et l'or sont trop tendres, le test de dureté les élimine. Il reste donc la marcassite, la chalcoppyrite, la pyrite et l'arsénopyrite. Le système cristallin est cubique nous pouvons éliminer la marcassite et l'arsénopyrite qui sont monocliniques. Il reste la chalcoppyrite et la pyrite. La chalcoppyrite est trop tendre (dureté 3-4), il ne reste donc que la pyrite. Les informations que nous avons tirées collent parfaitement avec la fiche minéralogique de la pyrite. Cette pierre est une pyrite.

VII.3 Troisième exemple

Décidément vous êtes très chanceux, en plus de ce quartz magnifique et de cette très belle pyrite, vous avez aussi négocié cet échantillon :



Minéral 3 PPP

Cette fois vous avez fait des progrès, vous ne connaissez pas le minéral rouge mais par contre vous avez reconnu les autres minéraux présent. Il s'agit d'une baryte recouverte de goethite. Que voit-on ? Il s'agit d'une plage de baryte recouverte de cristaux parfaitement hexagonaux, le système cristallin est très certainement hexagonal peut être trigonal. Les cristaux sont parfaitement isolés et très bien formés, cela laisse penser à une genèse hydrothermale. L'éclat est très fort, c'est un éclat adamantin. Le minéral est transparent et d'une exceptionnelle couleur rouge. La dureté suggère la valeur de 3. Aucun plan de clivage n'est observé et la fracture est irrégulière à conchoïdale. Comme nous l'avons toujours fait, voici un récapitulatif des données que nous avons extraites :

Propriétés générales	Observations sur le minéral à identifier
Allure générale	Plage
Association minérale	Goethite et Baryte
Formation	Hydrothermale
Transparence	Transparente
Couleur	Rouge
Système cristallin	Hexagonale
Dureté	3
Eclat	Sub-adamatin
Clivage	Aucun
Cassure	Irrégulière à Conchoïdale

Les minéraux rouges sont les suivants : zircon, béryl, proustite, cinabre, réalgar, vanadinite, crocoïte, quartz, (il en existe d'autre, choisissons les plus communs). Le test de dureté élimine le zircon, le béryl et le quartz. Il reste la proustite, le cinabre, le réalgar, la vanadinite, et la crocoïte. La forme des cristaux et le système cristallin élimine tout les candidats sauf la vanadinite. Le minéral est identifié c'est une vanadinite. Utiliser l'association minérale aurait été encore plus rapide. En effet le minéral associé conjointement à la baryte et la goethite est très fréquemment la vanadinite dans les gisements marocains.

VII.4 Comment procéder à l'identification dans un cas général ?

Nous venons de voir trois cas particuliers d'identification, nous vous présenterons maintenant la démarche à adopter dans le cas général pour identifier les minéraux. La démarche est exactement la même, c'est-à-dire une description précise du minéral. Plus simplement il s'agit d'un certain nombre de questions auxquelles il faudra apporter des réponses dans un ordre précis en utilisant un vocabulaire spécialisé.

VII.4.1 Qu'elle est l'allure générale de l'échantillon ?

Il y a énormément d'allures générales on parle aussi de morphologies ou de faciès qui peuvent être caractéristiques de certains minéraux. Parmi les morphologies on peut citer les plages de cristaux, échantillon massif, grappe de cristaux, druse, géode, galet, cristal isolé, cristal sur gangue etc. Vous comparerez votre observation à la fiche du minéral que pensez avoir identifié pour vérifier qu'il y a bien adéquation entre le faciès minéral présent dans la fiche et celui que vous avez observé. Méfiez vous des cristaux isolés sans gangue, en toute rigueur on ne peut pas définir un environnement de croissance pour ces cristaux. Cela est possible mais les outils que nous utilisons ne le permettent pas.

VII.4.2 Quelle est la couleur du minéral ?

La couleur est un allié puissant pour l'analyse. En effet certains minéraux n'existent qu'avec une couleur particulière due à leur composition chimique. Une fois la couleur d'une pierre identifiée on peut faire une analyse pour éliminer les minéraux de la même couleur dont les propriétés ne correspondent pas. Certaines couleurs sont caractéristiques de certains minéraux. Le tableau suivant compile des minéraux ayant une couleur bien caractéristique.

Couleur	Minéraux
Rouge	Réalgar, Cinabre, Proustite, Cuprite, Vanadinite, Crocoïte
Jaune	Orpiment, Pyrite, Marcassite, Chalcopyrite, Soufre
Bleu	Azurite, Lazurite, Sodalite, Cavansite, Pentagonite,
Rose	Manganocalcite, Cobaltocalcite, Sphaérocobalite, Rhodochrosite, Rhodonoïte
Noir	Chromite, Illménite, Magnétite, Graphite, Schorl, Andradite
Violet	Rosélite, Erythrite,
Vert	Malachite, Atacamite, Dioptase, Uvarovite, Péridot

VII.4.3 Quel est l'éclat du minéral ?

Comme décrit dans précédemment il existe de nombreux éclats distincts parmi les plus courants on peut trouver les éclats suivant : vitreux, adamantin, terreux, perlé, nacré, métallique et gras. L'éclat du minéral est aussi un allié particulièrement puissant. En effet un éclat métallique peut discriminer rapidement de nombreuses classes minérales. On peut ainsi éliminer presque tous les silicates, beaucoup d'oxydes, tous les carbonates et les halogénures, il ne reste ainsi que les sulfures et les éléments natifs et de rares oxydes. Un éclat vitreux élimine par exemple tous les éléments natifs, et les sulfures.

VII.4.4 Observe t'on des effets optiques à la surface du minéral ?

Certains minéraux après oxydation superficielle, présente des irisations à leurs surfaces. Cette propriété permet de réduire le champ de recherche et donc de gagner du temps. Parmi ces minéraux on peut trouver : la chalcopyrite, la pyrite, la marcassite, la bornite, le cuivre natif, l'argent natif, et la coveline.

Il existe d'autres astuces optiques pour gagner du temps. Parmi ces astuces figure la biréfringence qui est décrite dans cet article. Une calcite bien transparente et généralement les carbonates du groupe de la calcite dédoublent un texte lu au travers.

D'autres minéraux diffractent la lumière du fait de leur structure interne. Parmi ces minéraux on trouve la labradorite, la pierre de lune, la pierre de soleil et l'opale. Ces minéraux n'ont pas nécessairement ces propriétés mais quand elles sont reconnues elles permettent de réduire le champ de recherche à ces derniers.

VII.4.5 Le minéral est il opaque, transparent, translucide ?

L'opacité est aussi puissante que l'éclat car presque tous les sulfures sont opaques, c'est aussi le cas de certains oxydes et de tungstates. C'est une propriété très importante à caractériser. Cependant cette propriété n'est pas absolue car la transparence peut varier pour un même minéral.

Par exemple on peut lire un texte à travers un échantillon de cristal de roche, alors qu'un quartz laiteux ne permet de rendre compte que de variations d'intensité lumineuse. Ces variations de propriétés optiques sont de toute façon précisées dans les manuels de minéralogie.

VII.4.6 Le minéral est-t-il magnétique ?

Cette propriété n'est à tester que sur les échantillons opaques, car se sont les seuls à être magnétiques. Si vous trouvez qu'un minéral de votre collection est magnétique, l'identification sera plus aisée car le nombre de minéraux magnétiques est très réduit. Cela dit méfiez vous, suivant la puissance de l'aimant que vous utiliserez pour faire vos tests, des propriétés magnétiques peuvent apparaître alors qu'elles ne sont pas mentionnées dans les ouvrages de minéralogie. J'ai par exemple dans ma collection des micas phlogopites qui sont attirés par les aimants puissants alors que cela n'est mentionné dans aucune des fiches que j'ai consultées. Le tableau suivant présente certains minéraux magnétiques ainsi que le type de magnétisme.

Minéraux	Type de magnétisme
Magnétite	Fort
Arsénopyrite	Après chauffage
Pyrite	Après chauffage
Pyrrhotite	Fort
Chromite	Fort
Ilménite	Faible
Hématite	Faible
Tantalite	Fort

VII.4.7 Voit-on des plans de clivage ?

Le clivage est également un test permettant de discriminer les minéraux. Comme expliqué précédemment on peut identifier les clivages parfaits, bons, imparfaits, indistincts etc. Le clivage est une propriété remarquable commune à de nombreux minéraux qui facilite grandement l'identification en réduisant les champs de recherche. Le tableau suivant présente certains minéraux clivables ainsi que leur mode de clivage :

Minéraux	Type de clivage
Galène	Cubique parfait
Halite	Cubique parfait
Calcite	Rhomboédrique parfait
Magnésite	Rhomboédrique parfait
Rhodochrosite	Rhomboédrique parfait
Sphalérite	Parfait
Dolomite	Rhomboédrique parfait
Fluorite	Octaédrique parfait
Feldspath	Parfait
Micas	Basal parfait
Topaze	Basal parfait
Apatite	Basal parfait

VII.4.8 Y a-t-il plusieurs minéraux dans l'échantillon ? Pouvez vous les identifier ?

Nous touchons ici le concept de paragenèse, c'est-à-dire les minéraux qui ont grandi ensemble. Ces associations sont typiques de certains minéraux ou de certains site et peuvent donner des indications très précieuses pour l'identification. Des détails sur les paragenèses sont donnés dans la rubrique du même nom du présent article ainsi que dans tous les bons livres de minéralogie.

VII.4.9 Les cristaux sont ils bien formés et isolés les uns des autres ?

Si c'est le cas on peut affirmer que le mécanisme de croissance est pegmatitique ou encore hydrothermale. Dans le cas contraire la croissance peut avoir eu lieu lors du refroidissement d'un magma, lors d'un mécanisme métamorphique ou dans une roche sédimentaire. Ces éléments sont importants car ils permettent de discriminer les minéraux. Car certains ne sont produits que dans des milieux très particuliers. Notamment la cyanite qui n'est pas produite par thermalisme mais uniquement dans une gangue sous de forte pression. Attention cela ne marche pas dans le cas d'un cristal isolé, car plusieurs milieux peuvent donner naissance au cristal.

VII.4.10 Qu'elle est la forme des cristaux ?

La forme des cristaux peut renseigner sur le système cristallin. Cela n'est pas toujours évident à déterminer mais il existe des cas simples où le système cristallin est aisément identifiable. Vous trouverez ci-dessous des exemples simples :

Système cristallin	Forme typique
Cubique	Cube, octaèdre, cuboctaèdre, dodécaèdre...
Quadratique	Prisme allongé à base carré, octaèdre allongé...
Orthorhombique	Boîte à chaussure, octaèdre distordu...
Hexagonal ou trigonal	Prisme hexagonal, tonneaux, plaquette hexagonal...
Trigonal	Rhomboèdre, Scalénoèdre, Prisme hexagonaux, tonneaux...

Les formes accessibles sont très variées, nous vous recommandons d'effectuer des recherches sur ce sujet pour approfondir la question de la forme des cristaux. Vous remarquerez que le tableau n'indique pas de formes typiques pour les systèmes tricliniques et monocliniques, cela s'explique par le fait que ces cristaux n'ont pas d'habitus typique. Un cristal du système monoclinique ou triclinique peut ainsi ressembler aux cristaux des systèmes hexagonaux, trigonaux ou orthorhombique. L'exemple le plus parlant est celui des micas qui peuvent présenter une symétrie extérieure hexagonale alors que ces cristaux cristallisent dans le système monoclinique.

Il peut être parfois très difficile de trouver le bon système cristallin à partir de la forme des cristaux. La calcite par exemple peut se présenter sous des formes si particulières qu'elles ne font pas du tout penser à un système trigonal. Il existe bien entendu une parade en se référant encore une fois à l'analyse morphologique. Pour cela il faut analyser méticuleusement la forme des cristaux et vérifier dans une base de données ou un livre de minéralogie si la forme que l'on observe ne correspond pas à une forme de cristal répertorié. Ce type d'analyse peut être très long et très fastidieux, mais cette technique est aussi très puissante pour peu que l'on puisse observer un cristal bien formé.

Les macles peuvent masquer le système cristallin. L'exemple le plus parlant est l'aragonite qui par maclage ressemble à des prismes hexagonaux alors qu'elle est orthorhombique. Le piège le plus sournois est la pseudomorphose. Car un minéral peut présenter une forme extérieure totalement incompatible avec son système cristallin. Heureusement, ce dernier cas est peu fréquent.

Il existe d'autres formes qui vont appeler d'autres questions. Par exemple les cristaux sont-ils des aiguilles, de tablettes, de tonneaux... L'échantillon présente-t-il des amas botryoïdaux ? Les cristaux sont-ils isolés ou groupés ? Observez-vous des macles caractéristiques ? L'article sur la minéralogie possède une section sur les macles mais pour rappel, les macles de Carlsbad sont typiques des feldspaths. Les cristaux maclés en croix sont communs pour l'andalousite ou la staurotite. Les macles du Japon, du Dauphiné ou de la Gardette sont typiques du quartz etc.

VII.4.11 Identification finale

Une fois identifié un minéral semblant correspondre, vous pouvez continuer les recherches en vous focalisant uniquement sur le minéral que vous croyez avoir trouvé. Pour cela, tapez le mot clé dans un moteur de recherche classique et consultez toutes les photos disponibles. Les images permettent de mettre en lumière les points communs morphologiques entre le minéral identifié et des minéraux de référence. Il est très recommandé de faire varier les informations. Cela est possible en consultant des bases de données disponibles sur internet. Les bases de données les plus intéressantes sont les suivantes :

Nom	Lien
Mindat	www.mindat.org
Webmineral	www.webmineral.com
BRGM	http://webmineral.brgm.fr:8003/
Handbook of mineralogy	http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/
RRUFF Sample Data	http://rruff.info
Athena Mineralogy	http://un2sq4.unige.ch/athena/mineral/mineral.html
Mineralien Atlas (allemand)	http://www.mineralienatlas.de

VII.5 Conclusion et limite de la technique

Dans cette partie sont groupés les éléments faciles à tester et simples à reconnaître. Grâce à ces outils rudimentaires nécessitant presque uniquement le sens de l'observation vous pourrez reconnaître de nombreux minéraux avec d'autant plus de facilité que vous aurez de l'expérience dans le domaine. Vous ne devez pas ignorer cependant que cela ne suffit pas toujours.

Dans la méthode donnée, l'accent est mis sur les pièces présentant des cristaux identifiables et observables. Pour des échantillons massifs, les techniques données sont moins puissantes. Le système cristallin est impossible à identifier mais les autres outils d'analyse fonctionnent encore. Pour des galets, la plupart des outils d'analyses décrits ne fonctionnent plus, l'identification devient très difficile. Pour aller plus loin dans l'analyse nous vous conseillons de vous former à la reconnaissance des roches et à leurs compositions minéralogiques, ainsi qu'à une connaissance succincte des processus géologiques. Ces nouvelles connaissances qui sortent totalement du cadre de cet article sur la minéralogie permettent d'affiner les analyses et de procéder à la reconnaissance sur le terrain.

En toute rigueur il faudrait analyser la composition chimique à l'aide de l'ICP-AES, une analyse chimique par spectroscopie d'émission atomique. L'analyse du système cristallin et les paramètres de maille se fait par diffraction des rayons X (DRX). Il est aussi très utile de mesurer la densité et l'indice de réfraction à l'aide d'autres appareillages spécifiques. Il ne faut pas non plus oublier la spectroscopie Raman qui est un allié de poids dans l'analyse minéralogique. Ces techniques sont réservées aux laboratoires et généralement hors de portée des amateurs.

Exemple de fiche minérale

Maintenant que vous avez été familiarisé avec le vocabulaire et les notions de la minéralogie, voici un exemple simplifié de fiche de minéralogie qui doit désormais être transparent pour vous.

Notions fondamentales

Minéral	Magnésite
Système cristallin	Rhomboédrique
Composition chimique	MgCO ₃
Classe minérale	Carbonate
Groupe	Calcite
Genèse	Sédimentaire, Hydrothermale
Série	Membre initial de la série Magnésite Sidérite

Propriétés aidant à l'identification

Réactivité aux acides et aux bases	Effervescence dans les acides
Couleur	Blanche
Trace	Blanche
Dureté	4
Éclat	Vitreux
Fracture	Inégale, Conchoïdale
Transparence	Transparente à translucide
Biréfringence	Oui
Clivage	Parfait rhomboédrique
Densité	3.3 – 3.6
Luminescence	Dépend des impuretés présentes dans le minéral
Habitus	Rhomboèdre
Radioactivité	Aucune
Pléochroïsme	Possible si trace de cobalt
Magnétisme	Aucun
Piézoélectricité	Possible

Conclusion

Cette *introduction à la minéralogie* a pour but de présenter simplement les *principaux outils d'analyse, de classement et d'identification des minéraux*. Ainsi la lecture d'une fiche de minéralogie ne sera plus rebutante dans la mesure où la plupart des termes employés dans ces descriptions ont été expliqués en détail. Les différentes descriptions et explications ont été très limitées au niveau scientifique, la philosophie de l'article étant vraiment d'initier.

Les curieux pourront se former à la cristallographie, à la diffraction des rayons X, à l'analyse chimique, à la spectroscopie, sans oublier la chimie du solide pour avoir une formation plus complète. Maintenant à vous de jouer !

Bibliographie

1. « Roches et Minéraux », **Chris Pellant**, Éditions Bordas, ISBN 2-04-019781-8
2. « Handbook of rocks, minerals and gemstones », **Walter Schumann**, Editions Houghton Mifflin, ISBN 0-395-51137-2
3. « La grande encyclopédie des minéraux », **Rudolf Dud'a** et **Lubos Rejl**, Éditions Gründ, ISBN 2-7000-2500-8
4. « Roches et Minéraux », **Nicolas Cipriani**, Éditions Gründ, ISBN 2-7000-1907-5
5. « Roches et Minéraux », **Michael O'Donoghue**, Éditions Fontaine, ISBN 2-84270-019-8
6. « Minéraux », **Pierre Bariand** et **Nelly Bariand**, Édition Bordas, ISBN 2-04-019596-3
7. Site Alain Abréal : <http://perso.numericable.fr/~alabreal/index.htm>
8. Site de Jacques Deferne et Nora Engel : <http://www.kasuku.ch/pdf2.html>

Crédit des Images

a	http://forum.doctissimo.fr/sante/arreter-fumer/animaux-jeux-sujet_170641_1.htm
b	http://encadrees.blogspot.com/2008/04/larbre-le-plus-grand-du-monde.html
c	http://www.futura-sciences.com/uploads/tx_oxcsfutura/img/cristal.jpg
d	http://www.fond-ecran-image.com/galerie-membre.rocche.le-rocher-dort-d-un-oeil.jpg.php
e	http://www.congoplus.info/article_congoplus-4070.html
f	http://chemistry.about.com/od/periodictableelements/ig/Element-Photo-Gallery.-98/Graphite.htm
g	http://adsl.hexabyte.tn/bouazzi/geoarch/Esp4/cub_rot.htm
h	http://adsl.hexabyte.tn/bouazzi/geoarch/Esp4/cub_rot.htm
i	http://fr.wikipedia.org/wiki/Structure_cristalline
j	http://investigation.blog.lemonde.fr/files/2008/02/diamant.1202323900.jpg
k	http://www.semp.us/publications/biot_reader.php?BiotID=238
l	http://www.pik.fr/photos/pierres/28%20%20a.jpg
m	http://euromin.w3sites.net/mineraux/GYPSE.html
n	http://www.dkimages.com/discover/Home/Science/Earth-Sciences/Geology/Minerals-and-Crystals/Classification/Hydroxides/Limonite/Limonite-3.html
o	http://geology.about.com/library/bl/images/blmuscovite.htm
p	http://fr.wikipedia.org/wiki/Obsidienne
q	http://skywalker.cochise.edu/wellerr/mineral/calcite/calcite6.htm
r	http://www.ideeclic.com/portfolio/thedford/guide15.htm
s	http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Fluorite-green-Oktaeder.jpg
t	http://www.cs.cmu.edu/~adg/images/minerals/psilicates/phlogopite_grn1.jpg
u	http://www.creationsnicole.ch/images/photo/cristal_de_roche.jpg
v	http://www.corpsetames.com/description.php?lang=1&id=211&path=28
w	http://fr.wikipedia.org/wiki/Ga%C3%A8ne
x	http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=640
y	http://www.saint-hilaire.ca/minpics/sphalerite5_gh.jpg
z	http://mysticmerchant.com/cacoxinite/cacoxiniteff40x25x7-cacoxff2b.jpg
aa	http://www.mindat.org/photo-46053.html
bb	http://fr.wikipedia.org/wiki/Image:Hematite_macle.jpg
cc	http://fr.wikipedia.org/wiki/Image:Cinnabar.jpg
dd	http://semsci.u-strasbg.fr/images/corundw.jpg
ee	http://www.carionmineraux.com/mineraux/mineraux_octobre_2007/magnetite_top_1a.jpg
ff	http://www.naturae-scientia.com/?page_id=82
gg	http://aventures-cristallines.fr/photos/G1/08-Chysocolle-Malachite-1.jpg
hh	http://www.mindat.org/article.php/212/The+Westward+Look+Show+2008
ii	http://www.iun.edu/~geos/Zoran%20IUN/G%20101/Photos/Olivine1.JPG
jj	http://semsci.u-strasbg.fr/fluopoly.htm
kk	http://anges.free.fr/cristaux/Images/morion.gif
ll	http://www.artisanges.net/mineraux_fichiers/amethyste.jpg
mm	http://www.sst.unil.ch/Musee/expos/slide_show/index.htm
nn	http://www.vervimine.be/716_quartz_prase_grece.htm
oo	http://minerals.caltech.edu/Mineral_Pictures/Chrysoprase_Australia.jpg
pp	http://svpbonneheur.centerblog.net/4744801-LES-PIERRES-ET-MINERAUX--
qq	http://webphysics.davidson.edu/alumni/milee/jlab/crystallography/www/birefringence.htm
rr	http://www.volcanology.fr/pleochroisme.html
ss	http://www.agab.be/mineralogie/album/mai2001.html
tt	http://www.gemfrance.com/IMG/jpg/ALEXEXANDRITEgros.jpg
uu	http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/id/mineral_id_keyi8.htm
vv	http://crystalhabits.com/images/goethite_boytridal162.jpg
ww	http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/id/mineral_id_keyi8.htm
xx	http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/id/mineral_id_keyi8.htm
yy	http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/id/mineral_id_keyi8.htm
zz	http://www.exceptionalminerals.com/TUC36tri-calcite.jpg
aaa	http://www.gc.maricopa.edu/earthsci/imagearchive/aragonite2.jpg
bbb	http://minerals.caltech.edu/COLOR_causes/Metal_Ion/Opx.gif
ccc	http://www.mindat.org/photo-72763.html
ddd	http://www.mindat.org/photo-107739.html

eee http://www.fabreminerals.com/LargePhoto.php?FILE=specimens/s_imagesG9/EV17G9d.jpg&CODE=EV17G9&NAME=Spessartine%20with%20Feldspar%20and%20Mica&LANG=EN

fff http://www.fabreminerals.com/LargePhoto.php?FILE=specimens/s_imagesD1/EY46D1.jpg&CODE=EY46D1&NAME=Uvarovite&LANG=EN

ggg http://www.darbeldubourg.com/Nouveau%20dossier/images/Divers/GRENAT_ALMANDIN_MATRIX_3_Y.jpg

hhh <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/twinning.htm>

iii <http://www.geopolis-fr.com/fossiles-mineraux-2006/Macle-Quartz-La-Gardette.jpg>

jjj <http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s2/mineral.roche.html>

kkk http://www.carionmineraux.com/tucson/Tucson2008/opale_pine_1.jpg

lll http://www.carionmineraux.com/mineraux/mineraux_avril_2007/pseudomorphose_85_1.jpg

mmm <http://www.atelier51.be/ecom/images/uploads/m0615g.jpg>

nnn <http://www.geopolis-fr.com/fossiles-mineraux-2006/Quartz-La-Gardette.jpg>

ooo <http://www.wrightsrockshop.com/gallery/carlyagley/mixedminerals/9pyrite122605>

ppp <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/7234-vanadinite.png>