

Les Grenats

Nature, Structure et Propriétés

DR. ALAIN ABREAL

Les grenats sont connus comme pierre fine depuis l'antiquité. De part leur éclat et leurs couleurs qui couvrent la quasi-totalité de l'arc en ciel, les grenats offrent une palette de nuances et de beauté quasi incomparable.

De surcroît, ils sont abondants partout dans le monde. En France, ils sont répertoriés sur la quasi-totalité du territoire, hormis les grands domaines sédimentaires : dans les zones d'obduction et de rodingites alpines et corses, dans les roches métamorphiques du Finistère ou des Maures, dans les skarns pyrénéens, dans les éclogites d'Armorique, ou encore dans les pegmatites limousines.... Ils offrent au minéralogiste amateur que je suis, des perspectives de sorties sur le terrain très nombreuses et d'incomparables sources de plaisir.

Minéraux aux propriétés souvent bien établies, de compositions chimiques relativement simples, ils sont utilisés comme géothermobaromètres, car ils sont les indices, mieux, les témoins, des conditions géologiques sous lesquelles leurs roches environnantes se sont formées. C'est ainsi qu'ils sont parmi les principaux minéraux indicateurs de la présence de diamants (pyropes et majorites)

Alors, que dire, quand à partir des études bibliographiques et des observations des grenats récoltés sur site, l'histoire géologique des 500 derniers millions d'années de la France se dévoile.

Les grenats sont des minéraux qui devraient rassembler davantage de personnes autour des centres d'intérêts qu'ils procurent, comme éléments fédérateurs entre les passionnés de minéralogie, plus attirés par la beauté d'une pièce et le plaisir de la découverte, et les géologues, plus puristes, scientifiques, dont le but est davantage la compréhension de mécanismes, bref entre ceux qui prennent plaisir à découvrir ce qu'est notre Terre et ceux qui prennent plaisir à découvrir d'où vient notre Terre.

ALAIN ABREAL, LE 21 SEPTEMBRE 2010

Livre 1 - Nature, Structure et Propriétés

1. HISTORIQUE

Les grenats sont connus depuis très longtemps puisque **Théophraste** (v372 –v287 av JC) l'avait déjà dénommé *anthrax*=charbon. Puis, il fut décrit par **Pline l'ancien**, naturaliste du début de notre ère (23-79 après JC) qui dénomma le grenat almandin *carbunculus* = charbon ardent, en corrélation avec sa couleur la plus répandue.

Le nom « grenat » est quant à lui plus récent puisqu'il date de 1270. Il fut utilisé pour la première fois par le théologien et philosophe allemand **Albert le Grand (1193-1280)** qui l'aurait ainsi nommé soit à partir du nom latin *malum granatum*= pomme à grains= grenade, pour sa couleur, soit à partir de *granum* = grain pour sa forme.

Pierre fine, le grenat est connu pour sa couleur rouge-brun. Toutefois, le grenat ou plus exactement les grenats sont en fait toute une famille de minéraux silicatés, dont la structure cubique de la classe 4/m32/m est bien définie, mais dont les éléments chimiques peuvent varier et ainsi influencer la couleur des grenats. Certains sont jaunes, verts, ou noirs. Seule la couleur bleue n'a pas été répertoriée.

2. DEFINITIONS – STRUCTURE

2.1 Définition

Les grenats sont des solutions solides de pôles limites définis par leur composition $X_3Y_2 [SiO_4]_3$ du groupe cristallographique 4/m32/m du système cubique.

2.2 Composition

Les grenats « purs » ou pôles limites sont définis par leur composition chimique $X_3Y_2 [SiO_4]_3$ avec :

X : élément de degré d'oxydation +II, en site octaédrique de coordinence 6 : Mg, Fe²⁺ ou Ca

Y : élément de degré d'oxydation +III, en site pseudo-cubique de coordinence 8 : Fe³⁺, Al, Cr voire Zr (grenat kimzeyite) ou V (grenat goldmanite).

[SiO₄] : avec Si en site tétraédrique de coordinence 4

Tous les sommets de ces volumes géométriques étant occupés par des atomes d'oxygène.

On définit ainsi toute une famille de minéraux que l'on décompose en fonction de ces éléments. Les Anglo-saxons, depuis **Winchell en 1933**, préfèrent décomposer la famille des grenats à partir des éléments bivalents. Ils parlent ainsi de grenats du groupe *Ugrandite*, pour uvarovite (u), grossulaire (gr) et andradite (and) dont l'élément bivalent est le calcium, et du groupe *Pyrospite*, pour pyrope (pyr), almandin (al) et spessartine (sp) dont l'élément bivalent n'est pas le calcium.

En France, la distinction s'effectue plutôt sur l'élément trivalent Al, Fe³⁺, V ou Cr.

Al	PYROPE	Mg ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃
	ALMANDIN	Fe ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃
	SPESSARTINE	Mn ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃
	GROSSULAIRE	Ca ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃
	DEMANTOÏDE	Ca ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃
	HESSONITE	Ca ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃

Livre 1 - Nature, Structure et Propriétés

1. HISTORIQUE

Les grenats sont connus depuis très longtemps puisque **Théophraste** (v372 –v287 av JC) l'avait déjà dénommé *anthrax*=charbon. Puis, il fut décrit par **Pline l'ancien**, naturaliste du début de notre ère (23-79 après JC) qui dénomma le grenat almandin *carbunculus* = charbon ardent, en corrélation avec sa couleur la plus répandue.

Le nom « grenat » est quant à lui plus récent puisqu'il date de 1270. Il fut utilisé pour la première fois par le théologien et philosophe allemand **Albert le Grand (1193-1280)** qui l'aurait ainsi nommé soit à partir du nom latin *malum granatum*= pomme à grains= grenade, pour sa couleur, soit à partir de *granum* = grain pour sa forme.

Pierre fine, le grenat est connu pour sa couleur rouge-brun. Toutefois, le grenat ou plus exactement les grenats sont en fait toute une famille de minéraux silicatés, dont la structure cubique de la classe 4/m32/m est bien définie, mais dont les éléments chimiques peuvent varier et ainsi influencer la couleur des grenats. Certains sont jaunes, verts, ou noirs. Seule la couleur bleue n'a pas été répertoriée.

2. DEFINITIONS – STRUCTURE

2.1 Définition

Les grenats sont des solutions solides de pôles limites définis par leur composition $X_3Y_2 [SiO_4]_3$ du groupe cristallographique 4/m32/m du système cubique.

2.2 Composition

Les grenats « purs » ou pôles limites sont définis par leur composition chimique $X_3Y_2 [SiO_4]_3$ avec :

X : élément de degré d'oxydation +II, en site octaédrique de coordinence 6 : Mg, Fe²⁺ ou Ca

Y : élément de degré d'oxydation +III, en site pseudo-cubique de coordinence 8 : Fe³⁺, Al, Cr voire Zr (grenat kimzeyite) ou V (grenat goldmanite).

[SiO₄] : avec Si en site tétraédrique de coordinence 4

Tous les sommets de ces volumes géométriques étant occupés par des atomes d'oxygène.

On définit ainsi toute une famille de minéraux que l'on décompose en fonction de ces éléments. Les Anglo-saxons, depuis **Winchell en 1933**, préfèrent décomposer la famille des grenats à partir des éléments bivalents. Ils parlent ainsi de grenats du groupe *Ugrandite*, pour uvarovite (u), grossulaire (gr) et andradite (and) dont l'élément bivalent est le calcium, et du groupe *Pyrospite*, pour pyrope (pyr), almandin (al) et spessartine (sp) dont l'élément bivalent n'est pas le calcium.

En France, la distinction s'effectue plutôt sur l'élément trivalent Al, Fe³⁺, V ou Cr.

Al	PYROPE	Mg ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃
	ALMANDIN	Fe ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃
	SPESSARTINE	Mn ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃
	GROSSULAIRE	Ca ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃
	DEMANTOÏDE	Ca ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃
	HESSONITE	Ca ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃

**A.ABREAL, Les Grenats - Nature, Structure et Propriétés
J. of Pers. Mineralogist, vol. 11, pages 151-199, 2011**

Fe	ANDRADITE	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2 [\text{SiO}_4]_3$
	CALDERITE	$\text{Mn}_3\text{Fe}_2 [\text{SiO}_4]_3$
	MAJORITE	$\text{Mg}_3(\text{Fe}, \text{Si})_2[\text{SiO}_4]_3$ (découverte dans une météorite)
	SCIAGITE	$\text{Fe}_3\text{Fe}_2 [\text{SiO}_4]_3$
Cr	UVAROVITE	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2 [\text{SiO}_4]_3$
	KNORRINGITE	$(\text{Ca}, \text{Mg})_3\text{Cr}_2 [\text{SiO}_4]_3$
V	GOLDMANITE	$\text{Ca}_3\text{V}_2 [\text{SiO}_4]_3$
Zr	KIMZEYITE	$\text{Ca}_3\text{Zr}_2 [\text{Al}_2\text{SiO}_{12}]$

On peut également citer quelques grenats hydratés qui ne répondent pas exactement à la formule des grenats bien que voisins : des groupements hydroxyles OH viennent partiellement remplacer les groupements SiO_4 dans la structure du grenat grossulaire.

Hydrogrossulaire:	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{3-x}(\text{OH})_{4x}$
dont	Hibschite : $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{3-x}(\text{OH})_{4x}$ (avec x entre 0,2 et 1,5)
	Katoite : $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{3-x}(\text{OH})_{4x}$ (avec x > 1,5)

Et aussi

Morimotoite :	$\text{Ca}_3\text{Ti}^{4+}\text{Fe}^{2+}(\text{SiO}_4)_3$
Schorlomite :	$\text{Ca}_3(\text{Ti}^{4+}, \text{Fe}^{3+})_2[(\text{Si}, \text{Ti})\text{O}_4]_3$

2.3 Des silicates

Les silicates sont les éléments principaux de l'écorce terrestre. Pour les distinguer, trois catégories ont été créées : les silicates des roches acides (feldspaths, micas, sphènes, tourmaline, béryl, zircon), les silicates des roches basiques (pyroxènes, amphiboles, péridots, zéolites) et les silicates de métamorphisme dont font parties les grenats (même si on trouve des grenats dans certaines pegmatites).

Les silicates de transformation métamorphique se distinguent également en fonction de leur teneur en aluminium et en eau ou hydroxyles :

- silicates d'alumine :
 - anhydres ou peu hydratés : andalousite, disthène
 - hydratés : argile
- silicates non exclusivement alumineux :
 - anhydres ou peu hydratés : **grenats**,
 - hydratés : chlorites, serpentine

Les grenats sont donc des silicates et plus précisément, des néosilicates, du grec νεσοζ (île), car ils sont formés de tétraèdres $[\text{SiO}_4]$ isolés, non reliés entre eux.

2.4 Structure

C'est **MENZER en 1926**, qui définit le premier la structure du grossulaire. Trois ans plus tard, il établit que les deux groupes de grenats, les pyralspites et les ugrandites sont isostructuraux du grossulaire.

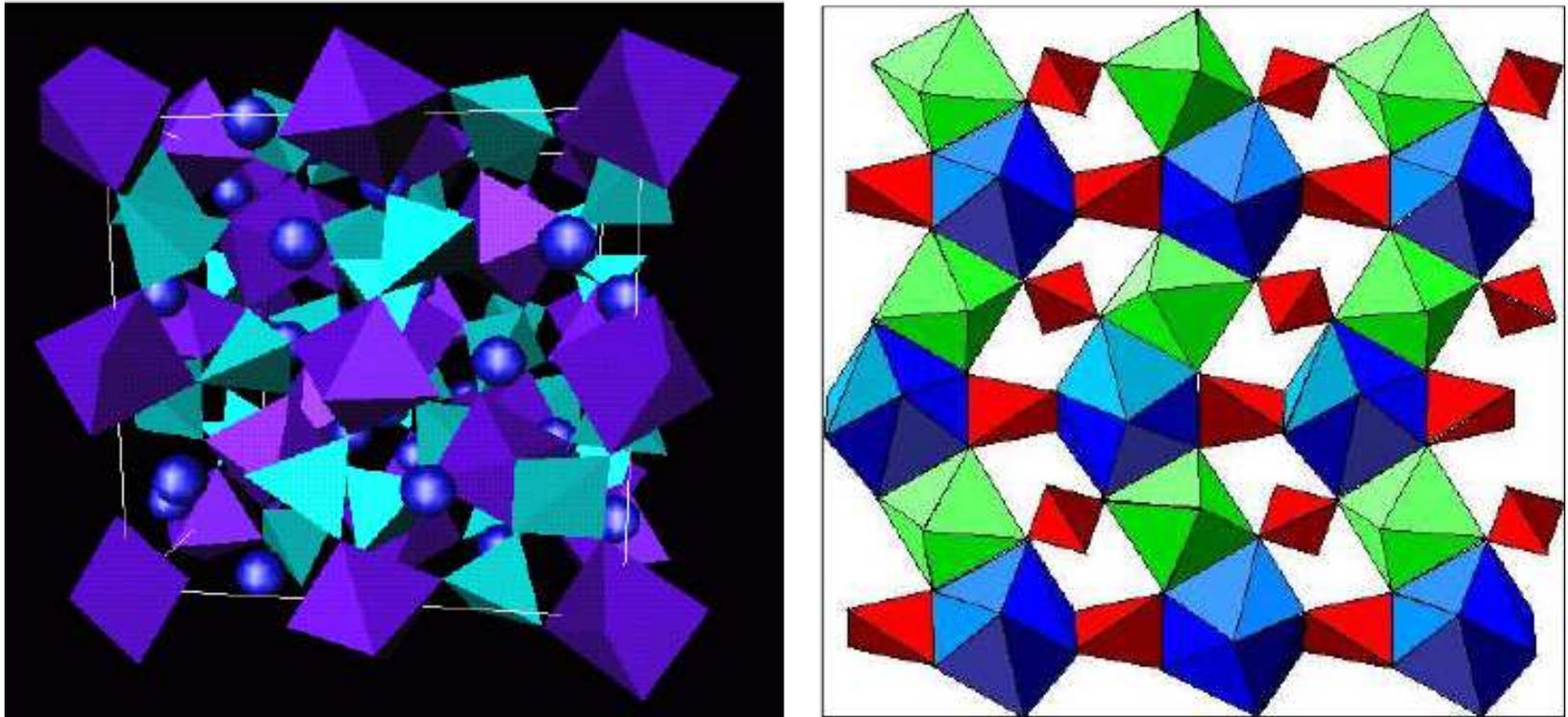


Figure 1 : Structure des grenats en 3D et selon la projection selon un axe A4

2.5 Morphologie

Les grenats sont des minéraux isomorphes, du **groupe 4/m32/m du système cubique**, avec des formes dérivées en **dodécaèdre rhomboïdal** (ou rhombododécaèdre) (surtout dans les roches métamorphiques) et trapézoèdre : **Tétraonotrioctaèdre** (plutôt dans les pegmatites).
 Aucun clivage n'a été observé.

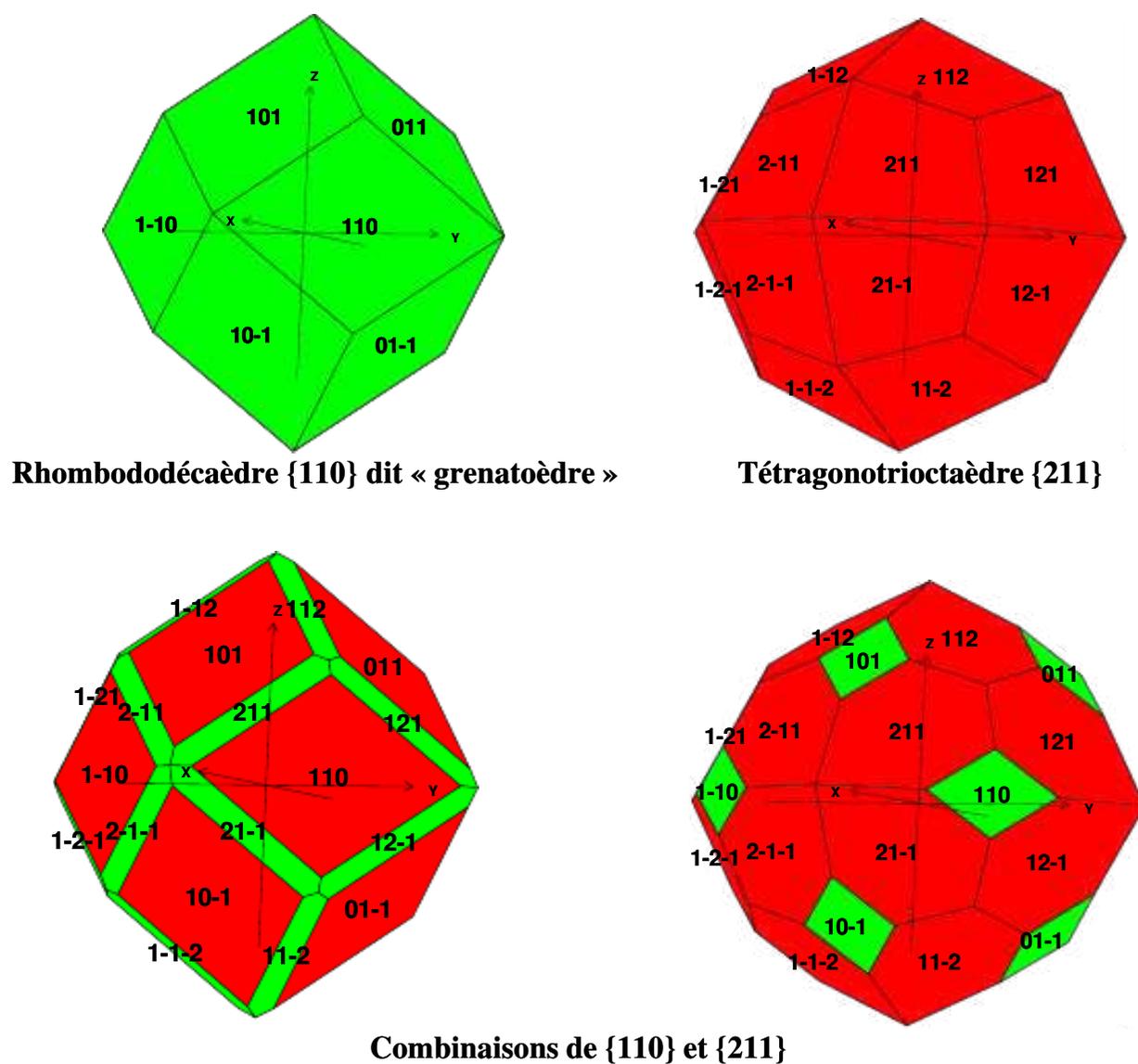


Figure 2 : Principales formes des cristaux de grenats (logiciel faces)

La structure des grenats est donc constituée par des octaèdres et des tétraèdres dans une structure cubique dans laquelle, tous les oxygènes sont identiques, chacun étant à la fois un sommet d'un octaèdre et d'un tétraèdre. La maille est de dimension très importante puisque chaque maille contient pas moins de 96 oxygènes.

Il est amusant de rappeler que **Haüy** a démontré par le calcul que la forme dodécaèdre du grenat était la même que l'alvéole des abeilles et que le grand angle de chaque rhombe était de 109,28'16" ce qui, a capacité égale, donne la plus petite surface possible.

3. PHENOMENES DE SUBSTITUTION

3.1 Les grenats : un groupe plutôt qu'un minéral

Les minéraux sont des composés chimiques plus ou moins complexes qui se présentent selon des structures cristallines précises. La complexité des compositions chimiques provient notamment de l'existence de substitutions d'éléments par d'autres, dans la maille du cristal. En raison de ces variations de composition, les minéraux sont souvent désignés, sous le nom de groupe, représentatifs des solutions solides cristallines entre minéraux limites : on parle donc de groupe des amphiboles, des pyroxènes, des tourmalines ou encore des grenats.

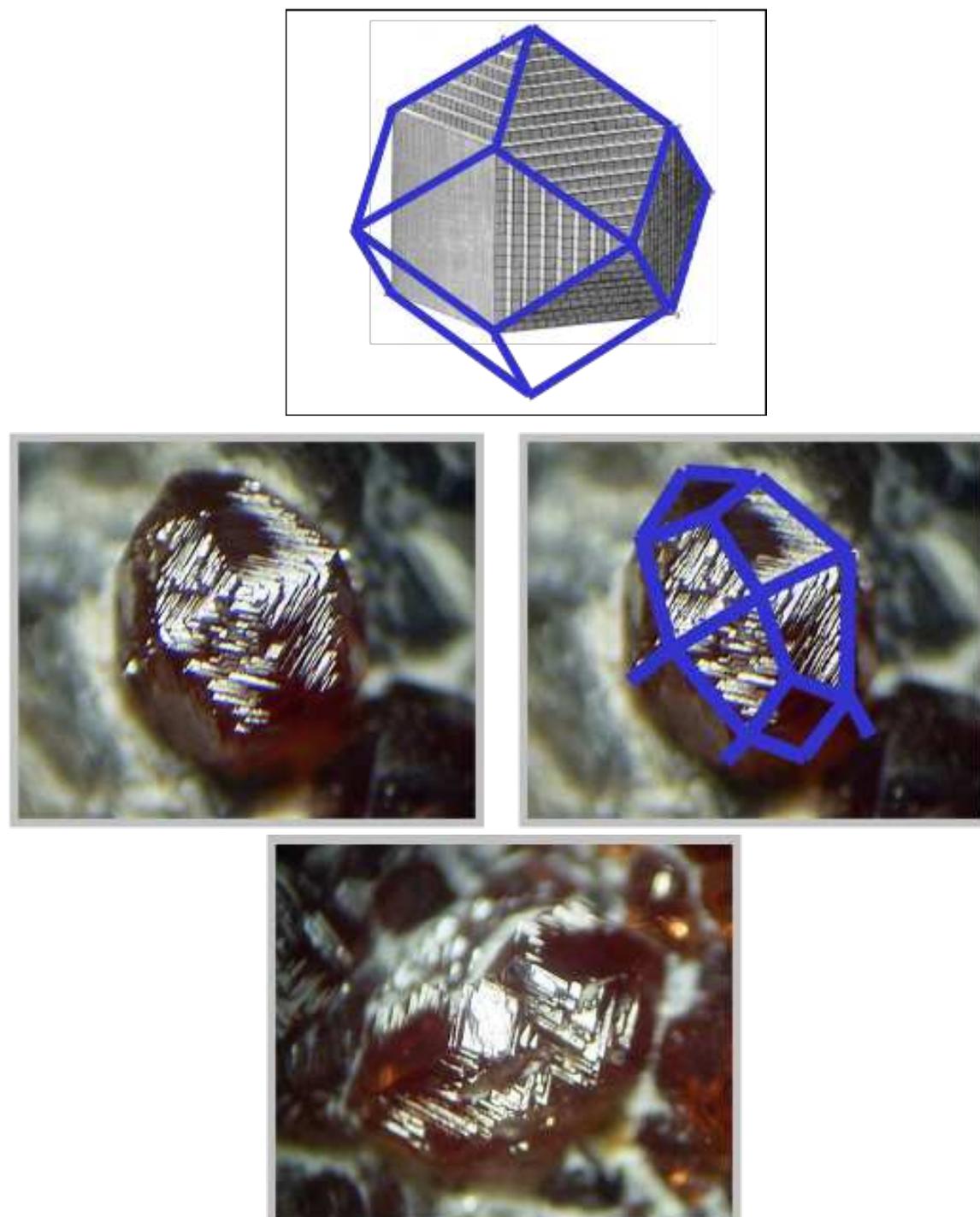


Figure 3 : Grenatoèdre : briques élémentaires

La cristallisation des grenats est due à l'assemblage de micro rhomboèdres.

Tétraonotrioctaèdre composé de micro rhomboèdres - Hessonite du Pakistan (1,5 mm)

3.2 Définition

Dans tout cet exposé, nous entendrons par **minéral limite, ou pôle minéral, un minéral pur qui représente un pôle du diagramme binaire, ternaire, ou quaternaire**, d'une famille de composés. Ainsi les pyrope, almandin et spessartine sont les pôles ou minéraux limites des grenats Pyroalpsites ; hédénbergite et diopside sont les minéraux limites où pôles des pyroxènes de compositions (Fe, Mg) SiO₃.

Les grenats sont définis à partir de la formule X₃Y₂ [SiO₄]₃ et de la structure qui lui est associée. Toutefois, les cations X et Y peuvent représenter différents éléments. De surcroît, ces éléments peuvent se substituer les uns aux autres. La composition d'un minéral naturel grenat n'est quasiment jamais pure ; très souvent, **il s'agit en fait d'un mélange local de plusieurs grenats**. Ainsi par exemple un grenat de la famille pyroalpsite aura en fait la composition x % d'almandin + y% de pyrope + z% de spessartine, avec x+y+z=100.

La formule des grenats peut être écrite sous la forme X₃^A Y₂^M Z₃^T O₁₂ avec X = (Ca, Fe²⁺), Y =(Al, Fe³⁺) et Z = Si ; les exposants décrivant les sites dans la maille, les indices indiquant le nombre d'atomes sur ces emplacements respectifs.

Dans ce système, il y a quatre pôles ou minéraux limites :

Minéral limite	Site A	Site M	Site T	
almandin	Fe ₃ ²⁺	Al ₂	Si ₃	O ₁₂
grossulaire	Ca ₃	Al ₂	Si ₃	O ₁₂
skiagite	Fe ₃ ²⁺	Fe ₂ ³⁺	Si ₃	O ₁₂
andradite	Ca ₃	Fe ₂ ³⁺	Si ₃	O ₁₂

3.3 Règles des substitutions dans les solutions solides - Lois de Goldsmith

Un élément en faible concentration dans la source primitive (magma, fluide hydrothermal...) ne pourra pas donner un minéral en propre du fait de sa forte dilution ou dispersion. Selon ses affinités avec le milieu, soit il donnera des inclusions, soit il prendra place dans le réseau d'un minéral majeur, en tant qu'élément de substitution.

Cette affinité est directement corrélée à la taille des ions et à leur charge électronique. **GOLDSCHMIDT** a émis quatre lois empiriques qui décrivent la possibilité de substitution d'un élément par un autre, celles-ci remises à jour donnent comme indications :

- Loi 1 : un élément mineur peut se substituer à un élément majeur si leurs rayons ioniques ne diffèrent pas de plus de 15% par rapport au plus petit.
- Loi 2 : des ions dont les charges électriques diffèrent d'une unité peuvent se substituer si leurs rayons sont équivalents. Si la différence de charge est supérieure à 1, la substitution est alors peu fréquente.
- Loi 3 : Si deux ions sont susceptibles d'occuper la même position dans une structure cristalline, le plus petit et/ou celui qui a la charge la plus élevée l'emportera, car les forces de Van de Walls seront alors plus importantes.
- Loi 4 : En revanche, si les liaisons sont de nature covalente, certaines substitutions autorisées par les lois précédentes peuvent ne pas être vérifiées (s'il n'y a pas concordance des orbitales atomiques).

Ainsi, d'après les lois de GOLDSCHMIDT, il y a possibilité de remplacement ou de substitution isomorphe (ou diadochique) d'un ion par un autre si leurs valences électrostatiques sont identiques et si les rayons ioniques de ces ions ne diffèrent pas de plus de 15%.

Par exemple, en ce qui concerne le fer et le magnésium, la forstérite Mg₂SiO₄ et la fayolite Fe₂SiO₄ sont isomorphes.

De même, nous pouvons rencontrer dans de nombreux minéraux, en particulier dans les amphiboles, les symboles (Mg, Fe) et (Al, Fe), qui signifient qu'il y a substitution du magnésium Mg^{2+} par le fer ferreux Fe^{2+} dans le premier cas et de l'aluminium Al^{3+} par le fer ferrique Fe^{3+} dans le second.

NOTA :

Le magnésium Mg^{2+} et le fer Fe^{3+} peuvent également se substituer, en accord avec la deuxième loi de Goldschmidt. Du fait de leurs tailles très voisines, et ce malgré leur différence de charge qui est neutralisée par ailleurs, par la présence d'autres éléments ou de défauts. Une épidote sera plutôt verte si le magnésium est remplacé par du fer ferreux Fe^{2+} et plutôt brune si il est remplacé par du fer ferrique, Fe^{3+} .

Dans le cas des grenats, cette substitution peut intervenir sur les deux types de cations X^{2+} et Y^{3+} . Conformément à la loi de Goldschmidt, cette substitution est corrélée aux rayons des ions présents dans les grenats.

3.4 Substitutions : Quelques Remarques Générales

3.4.1. Influence de la température

La gamme de composition dans laquelle un minéral est stable peut être considérée comme une fonction de la géométrie et de la taille des sites atomiques (ou ioniques) dans la structure du cristal. Alternativement, ces facteurs dépendent fortement des interactions énergétiques entre les charges des cations et des atomes impliqués. Ces interactions énergétiques dirigent les forces de liaison et peuvent varier avec la pression et la température.

Par exemple, une augmentation de température peut conduire à une expansion significative du volume de sites où des cations métalliques sont liés par des liaisons métal-oxygène-métal (M-O-M) ; des cations de grande dimension peuvent alors pénétrer dans ces emplacements et, aux températures élevées, former ainsi des solutions solides totales.

Les liaisons Si-O-Si, comme il en existe beaucoup dans les roches constituées de minéraux silicatés, sont énergiquement plus fortes que les liaisons M-O-M (Putnis 1992). Par conséquent, la taille du tétraèdre SiO_4 ne varie guère lorsque la température augmente. Or, dans beaucoup de minéraux silicatés, l'aluminium peut remplacer le silicium dans les sites tétraédriques, formant alors des liaisons Al-O-Al. Comme ces liaisons ont une énergie encore plus élevée que les liaisons Al-O-Si (Putnis 1992), l'existence de tétraèdres $[AlO_4]$ est donc énergiquement défavorisée, avec comme conséquence, la formation de liaisons ...-Al-O-Si-O-Al-O-Si-... comme par exemple dans l'anorthite (Laves et Orfèvre 1955). Ce comportement est connu sous le nom "d'éviction de l'aluminium" ou principe d'éviction de l'Al (Loewenstein 1954), parce qu'il décrit l'impossibilité énergétique d'existence de tétraèdre $[AlO_4]$ voisin, et car il est la cause du comportement d'agencement Si-Al dans nombre de silicates.

3.4.2. Influence de la pression

Dans de nombreux cristaux de coordinence polyédrique, il y a corrélation entre la pression et la température d'une part, et la taille des sites dans la maille d'autre part, à ceci près qu'une augmentation de température a un effet similaire à une diminution de pression, et vice versa. Ainsi pour une solution solide entre le grossulaire et le pyrope, sous de faibles pressions, les sites A de coordinence 8 sont légèrement trop larges pour accueillir les cations Mg^{2+} (0,97 Å en coordinence 8) et sont donc principalement occupés par des cations Ca^{2+} de dimension supérieure (1,2 Å). Sous des pressions plus élevées, ces sites rétrécissent de sorte qu'il y a alors occupation préférentielle par Mg^{2+} , expliquant ainsi la présence du pyrope comme phase haute pression des grenats.

3.4.3. Influence de la taille des cations

Les tailles des cations peuvent également avoir une implication profonde sur le domaine de stabilité de la solution solide. La substitution d'un grand cation comme Ca^{2+} par de plus petits cations tels Fe^{2+} ou Mg^{2+} cause une modification des longueurs de liaisons entre les atomes voisins, pouvant aller jusqu'à un affaiblissement des liaisons M-O-M et à une déformation ou une expansion des sites dans le réseau. Dans ce contexte, Putnis (1992) a précisé qu'une substitution de Ca^{2+} (1,20 Å) par Ni^{2+} (0,77 Å) dans l'olivine a le même effet structural qu'une augmentation de la température de 20 à 1000°C. Toutefois, des substitutions impliquant des cations avec de

telles différences de tailles ne peuvent se produire que si la structure du cristal peut compenser les efforts de contrainte associés à une substitution si "difficile".

Généralement, une élévation de la température facilite l'incorporation de cations de plus large rayon dans le réseau cristallin, augmentant de ce fait le domaine de stabilité d'une solution solide : conclusion confirmée par les observations qui ont démontré que les solutions solides totales pouvaient intervenir à haute température, même si des défauts de miscibilité apparaissent dans ces minéraux à plus basses températures, comme par exemple dans les pyroxènes, les feldspaths, les micas, etc... Il convient de noter que l'expression de soluté est réservée pour des phases coexistantes de même groupe de symétrie spatiale.

3.4.4. Influence de la structure cristalline

La géométrie globale d'une structure cristalline peut également diriger des substitutions de cations. Prenons une solution solide de grenats avec Mg^{2+} (0,97 Å), Fe^{2+} (0,86 Å), Ca^{2+} (1,20 Å) et Mn^{2+} (1,01 Å) en sites octaédriques A, et Al^{3+} (0,61 Å), Fe^{3+} (0,73 Å) et Cr^{3+} (0,70 Å) en substitutions sur les sites tétraédriques M. La structure du grenat est une succession de tétraèdres $[SiO_4]$ et d'octaèdres $[MO_6]$, reliés par des sommets communs et formant des pseudo-cubes déformés $[AO_8]$ de coordinence 8. L'arrangement spatial des différents types de polyèdres forme une structure tridimensionnelle complexe. En raison des faibles différences de taille des cations bivalents, il doit y avoir une très bonne miscibilité entre les grenats pyralspites ; de même pour les grenats du groupe ugrandite par la similitude de taille entre les cations trivalents. Les observations sur les grenats naturels confirment ces prévisions.

En outre, il était prévu que des substitutions entre le grossulaire et les pyralspites (almandin et pyrope), soient très limitées ; ce qui n'est toutefois pas confirmé par les observations. Cette anomalie entre la prévision et l'observation s'explique en considérant la complexité de la structure des grenats. Dans cette structure, le tétraèdre $[SiO_4]$ peut pivoter dans l'espace dans une certaine mesure, accroissant ainsi la taille des sites A et compensant les efforts de contrainte occasionnés par la substitution (Fe, Mg) Ca_1 (Putnis 1992). **Aussi peut-on trouver très aisément dans les conditions PT de faciès des amphibolites, des solutions solides totales entre grossulaire, almandin et pyrope.**

Nous pouvons déduire de cet exemple qu'en plus de la température de la pression d'une part, et de la taille des cations d'autre part, la géométrie de la structure cristalline a également un impact important sur le phénomène de substitutions dans un minéral. Les structures cristallines les plus complexes sont généralement plus flexibles que les arrangements géométriques simples pour compenser les contraintes liées à une substitution "difficile". Par exemple, l'importance de la substitution Ca_{M1} entre la chaux CaO, et le périclase MgO, est très limitée, mais est plus importante entre la calcite et la magnésite et est, à température élevée, presque totale entre le grossulaire et le pyrope.

En général, des températures élevées et/ou des structures cristallines complexes augmentent sensiblement la possibilité de former des solutions solides totales. Réciproquement, à basse température, les minéraux présentent des domaines de non-miscibilité ou non solution qui conduisent à la coexistence de plusieurs phases basses températures. Ces processus dépendent de l'interaction énergétique entre les atomes et les cations dans la structure cristalline.

3.5 Existence de deux groupes de grenats

Reprenons la loi de Goldschmidt et appliquons-la aux ions présents dans les grenats :

Les rayons ioniques des principaux ions présents dans les silicates sont :

- Rayons ioniques des cations :	O^{2-} :	1,40 Å	(1Å = 10^{-10} m)			
- Rayons ioniques des anions :	K^+ :	1,33 Å				
	Ca^{2+} :	0,99 Å,	Na^+ :	0,95 Å		
	Mg^{2+} :	0,65 Å	Fe^{2+} :	0,74 Å	Mn^{2+} :	0,80 Å
	Al^{3+} :	0,50 Å	Fe^{3+} :	0,67 Å		
	Si^{4+} :	0,41 Å				

A partir des valeurs des rayons ioniques des principaux éléments des grenats, il apparaît 2 groupes distincts de cations dont les rayons ioniques et par conséquent les volumes sont voisins et inférieurs aux 15% limites de la loi de Goldschmidt : Ca-Na, Fe-Mg puis Al et Si.

Il convient d'imaginer comment ces anions oxygène peuvent s'organiser en coordinence autour de ces cations en fonction de leur volume et de leur charge électrostatique :

- Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Al^{3+} et Ti^{4+} sont préférentiellement en coordinence octaédrique, reliés à 6 anions oxygène O^{2-} .
- En outre, de par sa petite taille, Al^{3+} , peut également être en position tétraédrique.
- Si^{4+} n'est présent que dans des sites tétraédriques.
- Les cations Ca^{2+} et Na^{+} , nettement plus volumineux, sont plutôt présents dans des sites cubiques, entourés par 8 atomes d'oxygène.

Ainsi, on retrouve la description des silicates et des grenats en particulier. A savoir qu'ils sont formés de tétraèdres SiO_4 , d'octaèdres XO_6 avec $X=Mg^{2+}$ ou Fe^{2+} pour les grenats pyralspite et Ca^{2+} pour les grenats ugrandite, et de tétraèdres YO_4 avec $Y=Al^{3+}$, Fe^{3+} ou Cr^{3+}

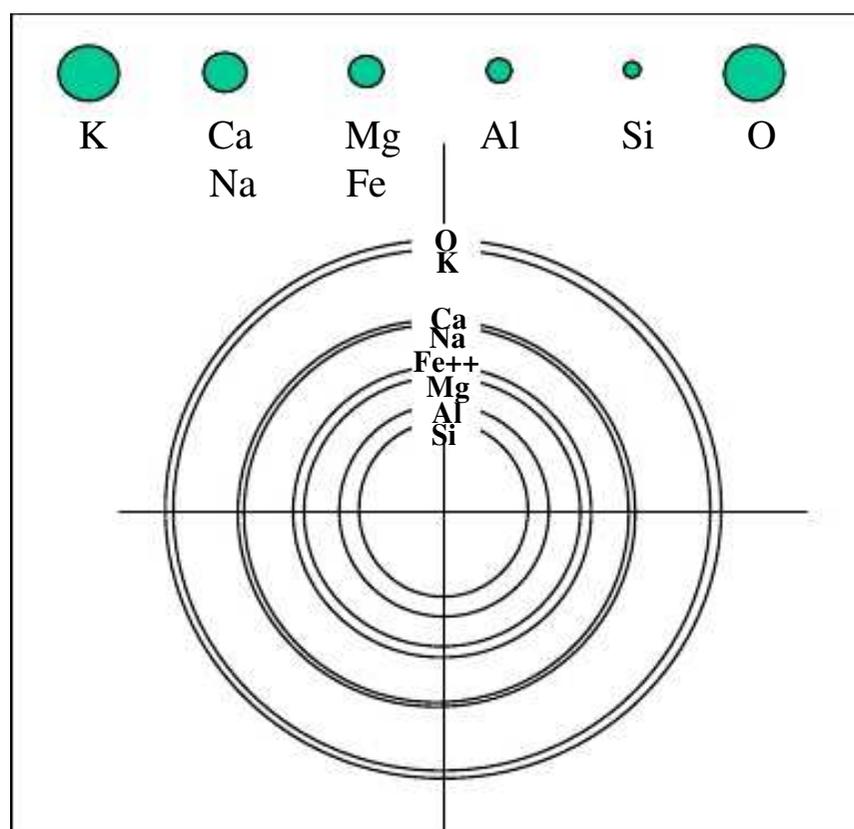


Figure 4 : Représentation schématique des dimensions respectives des principaux ions présents dans les silicates.

Mais le passage continu entre un grenat pyralspite et un grenat ugrandite est difficile car la déformation locale engendrée par la présence dans des sites équivalents de deux ions de dimensions trop différentes (Ca d'une part et, Mg ou Fe^{2+} d'autre part) s'accompagne de contraintes trop importantes, sauf dans le cas des grenats malais (solution solide de spessartine et de pyrope, qui renferme un peu de grossulaire).

Le nom donné au grenat, qui n'est donc en fait qu'une solution solide de plusieurs grenats appartenant à un même groupe, est celui du grenat limite du domaine de substitution dont la concentration dans le grenat naturel est la plus importante.

Voici quelques exemples de grenats naturels particuliers : le grenat rhodolite dont la couleur varie du rose rouge au pourpre a une composition moyenne de 2 :1 entre le pyrope et l'almandin. De même, le grenat malais dont la couleur varie du jaune, à l'orange et au rouge, a une composition intermédiaire entre le spessartine et le pyrope, et la particularité de renfermer également un peu de grossulaire.

C'est ainsi que la distinction groupe pyralspite - groupe ugrandite prend toute sa signification. Un grenat naturel de type pyralspite par exemple, aura presque toujours une composition ternaire entre les trois pôles pyrope,

almandin et spessartine, avec des proportions de Fe et Mg non nulles et possibilité d'avoir également du manganèse Mn. On parle de solution solide des composés limites du diagramme ternaire. De même, un grenat appartenant au groupe ugrandite aura une composition intermédiaire entre le grossulaire et l'andradite avec un mélange de Fe^{3+} et Al^{3+} . La présence de chrome Cr^{3+} n'intervient que dans les grenats fortement colorés en vert, car le pouvoir couvrant du pigment chrome est très important.

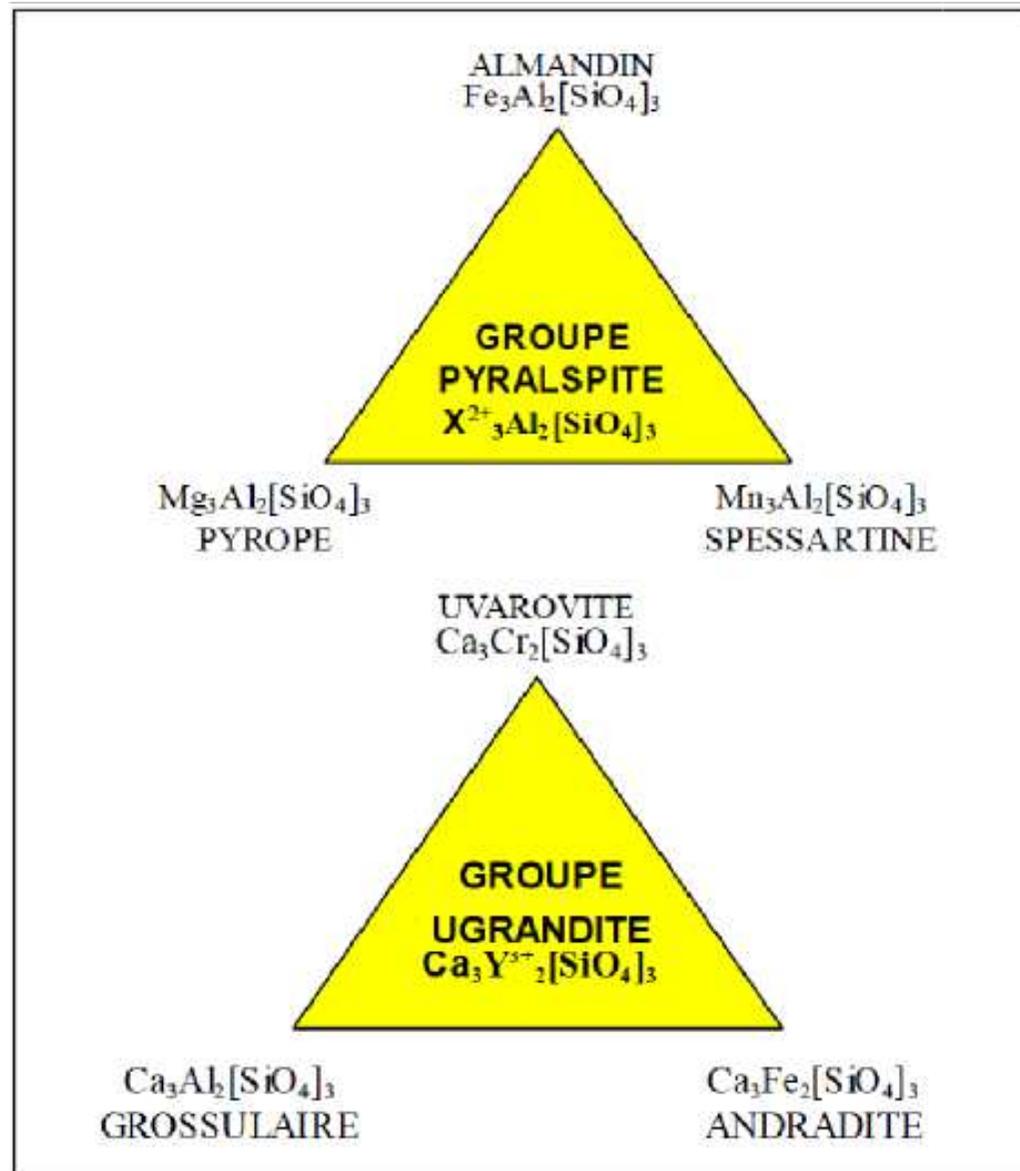


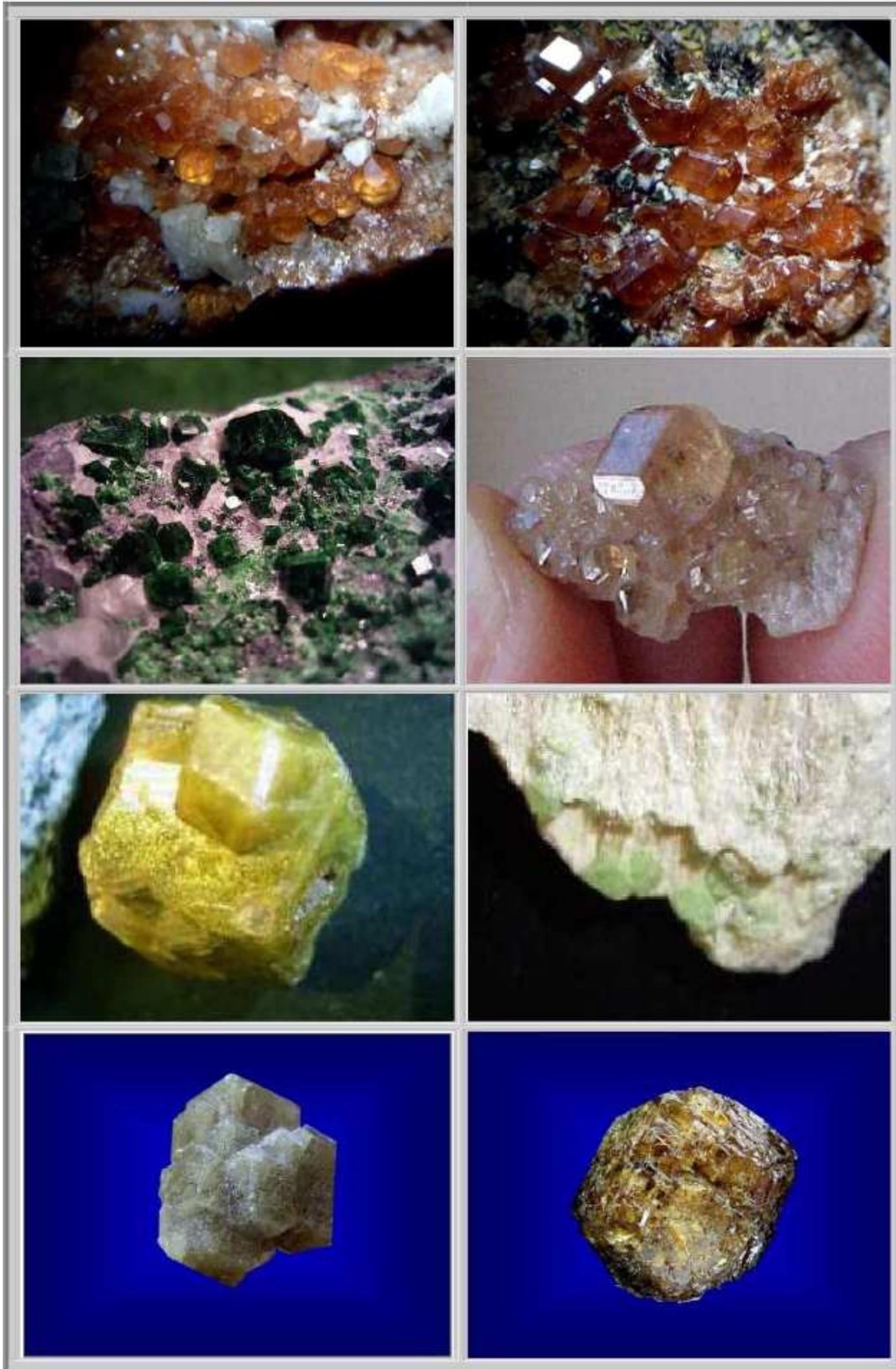
Figure 5 : Présentation des deux groupes de substitution des grenats

3.6 Stabilité des grenats naturels

Les solutions solides de grenats sont thermodynamiquement instables. Il y a naturellement rééquilibrage des concentrations en les différents éléments chimiques par diffusion à l'état solide. Néanmoins, comme cette diffusion n'est que très lente aux basses températures ($T < 400\text{ C}^\circ$), il n'y a pas vraiment d'homogénéisation, même pour des grenats de plusieurs millions d'années.

Ainsi trouvons-nous de nos jours des grenats zonés dont les analyses, révélant les modifications de composition ou de conditions physiques de pression et de température P-T de leur roche mère.

Ce n'est qu'aux hautes températures, du faciès des granulites ou des éclogites que les grenats tendent vers des compositions homogènes.



**Photo 1 : Hessonite, val di ala, Piémont
Photo 2 : Uvarovite, Russie
Photo 3 : Grossulaire, Namibie
Photo 4 : grossulaire**

**Photo 5 : Hessonite, val di ala, Piémont
Photo 6 : Hessonite, Asbestos, Canada
Photo 7 : Tsavorite, Afghanistan
Photo 8 : Grossulaire, Mali**

4. PROPRIETES MINERALOGIQUES

4.1 Généralités

Dureté :	6,5-7,5
Densité :	3,4 – 4,3
Classe :	néosilicates
Système cristallin :	cubique $4/m\bar{3}2/m$
Habitus :	habituellement rhombododécaèdres, Tétragonotrioctaèdre, ou combinaison de ces deux formes. Plus rarement hexaoctaèdres. également massive ou en grains fins
Indice de réfraction :	1,72-1,94
Biréfringence :	0,000-0,005
Pléochroïsme :	non
Couleur :	toutes sauf le bleu, selon les variétés.
Eclat :	vitreux à résineux, possibilité de chatoiement dû à la présence de fines inclusions de pyroxènes ou d'amphibole. existence de grenats étoilés, essentiellement à 4 branches.
Transparence :	transparent à opaque
Clivage :	aucun
Fracture :	conchoïdale, parfois fragile
Trait :	blanc

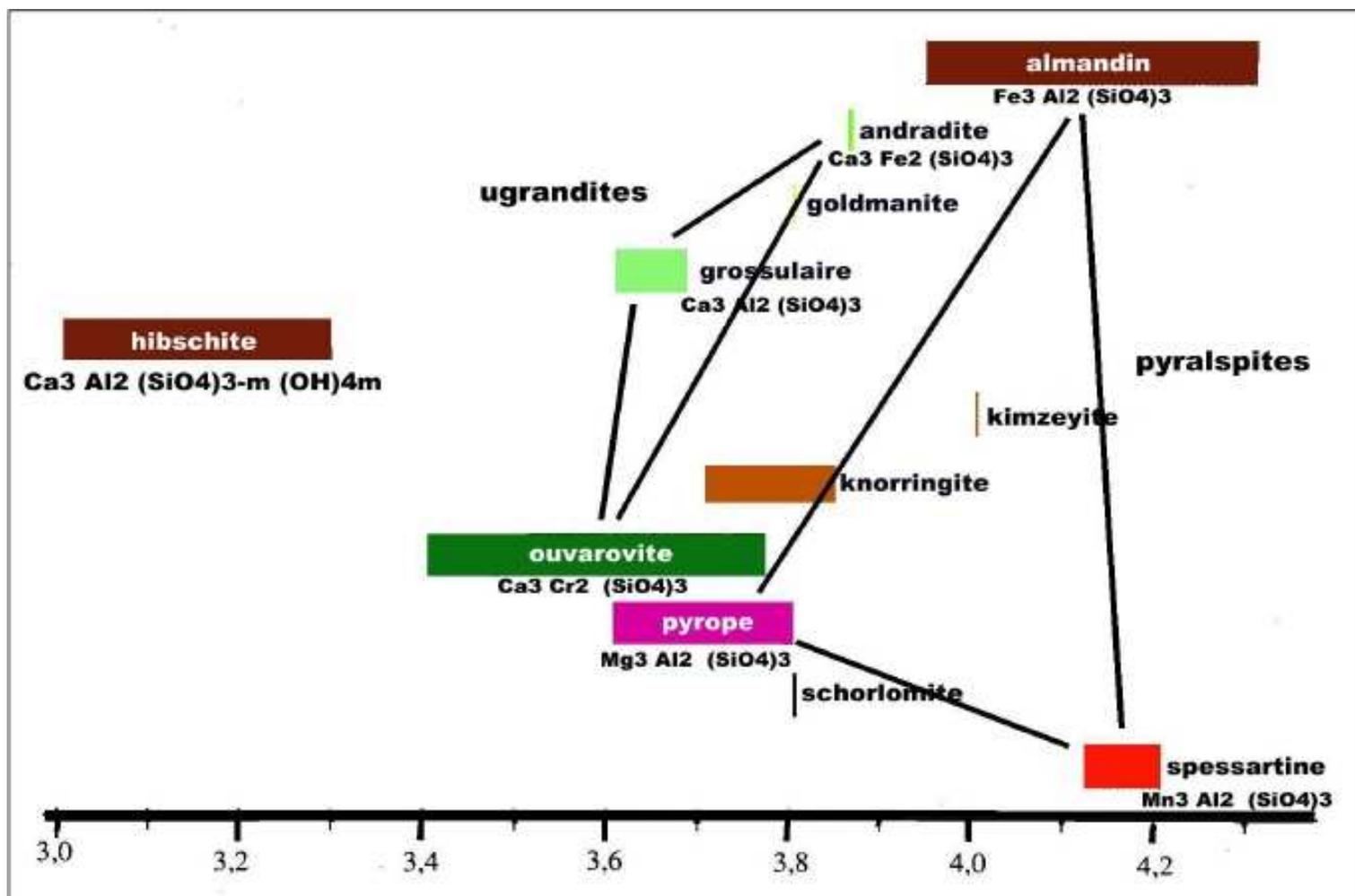


Figure 6 : Densité de différents grenats et un exemple d'hydrogrenat

4.2 Paramètres de maille

Il existe plusieurs relations empiriques qui permettent de calculer le paramètre de maille a d'un grenat en fonction des éléments qui le constituent : Voici celle de Mac Cornell :

$$a (\text{Å}) = 9,9 + 1,212 r(X) + 1,464 r(Y)$$

où $r(X)$ et $r(Y)$ sont les rayons ioniques des cations X et Y ;

Toutefois, ces formules ne sont valables que pour des grenats purs, limites des domaines de substitution, et ne peuvent donc être qu'indicatives.

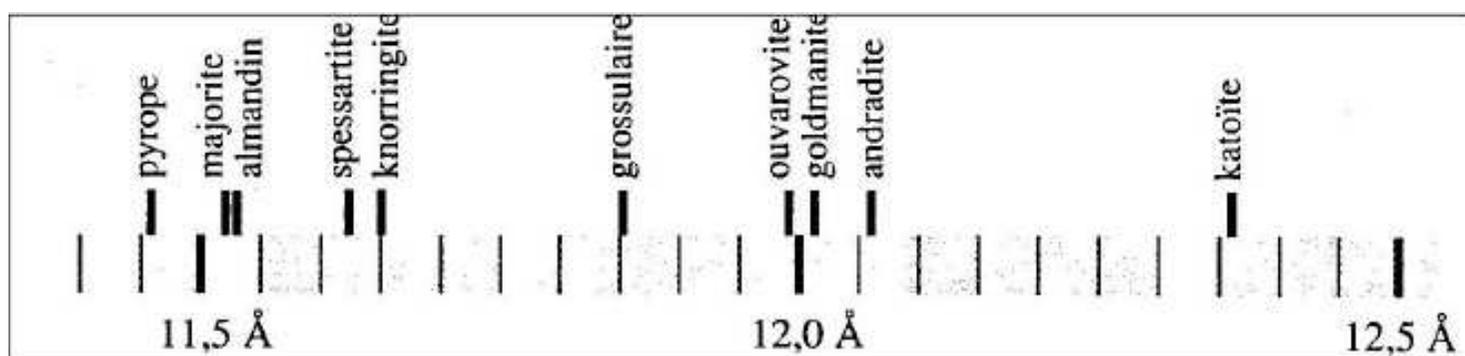


Figure 7 : Paramètre de maille du système cubique pour différents grenats

4.3 Indices de réfraction

Les grenats ont des indices de réfraction élevés qui leur confèrent un éclat très chatoyant les faisant souvent utilisés en joaillerie

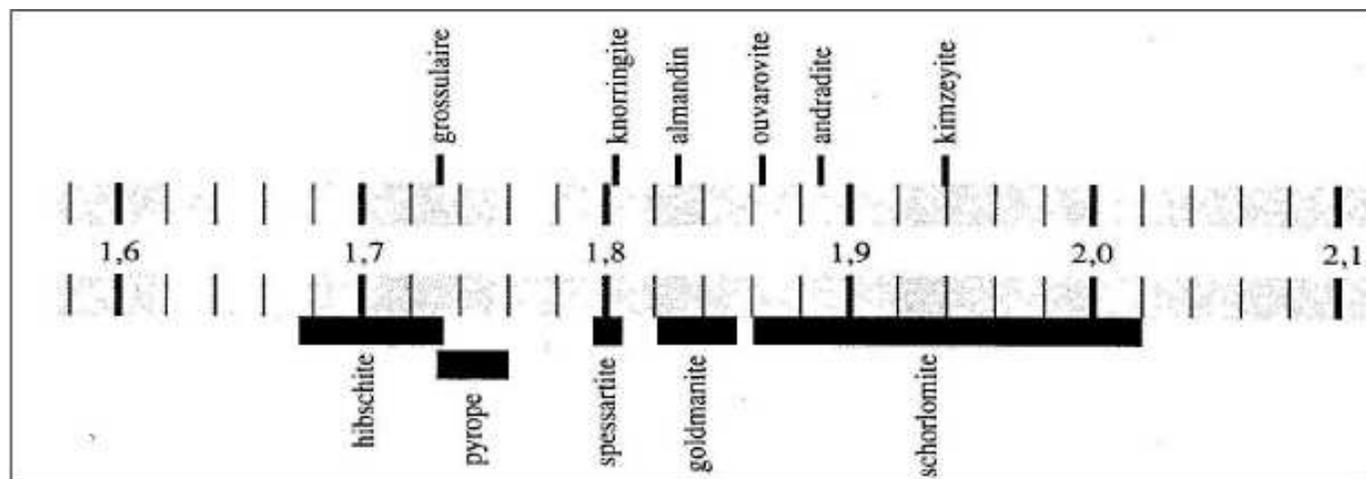


Figure 8 : Indices de réfraction des principales variétés de grenats.

4.4 Identification

Pendant de longues années, la reconnaissance des différents spécimens découverts a été effectuée par des méthodes de mesure de masse spécifique, puisque le volume de la maille et sa masse dépendent de la composition du type de grenat.

Cependant, ces méthodes étaient entachées d'erreurs dues, d'une part aux faibles différences de densités entre les grenats, mais surtout au fait que les grenats naturels ne sont pas purs et parce qu'ils possèdent souvent des inclusions qui viennent fausser les mesures.

Aujourd'hui, hormis les analyses chimiques, les meilleures méthodes d'identification effectuées sur les grenats gemmes sont d'origine optique : par étude des spectres d'absorption, des mesures d'indices de réfraction et la comparaison des couleurs.

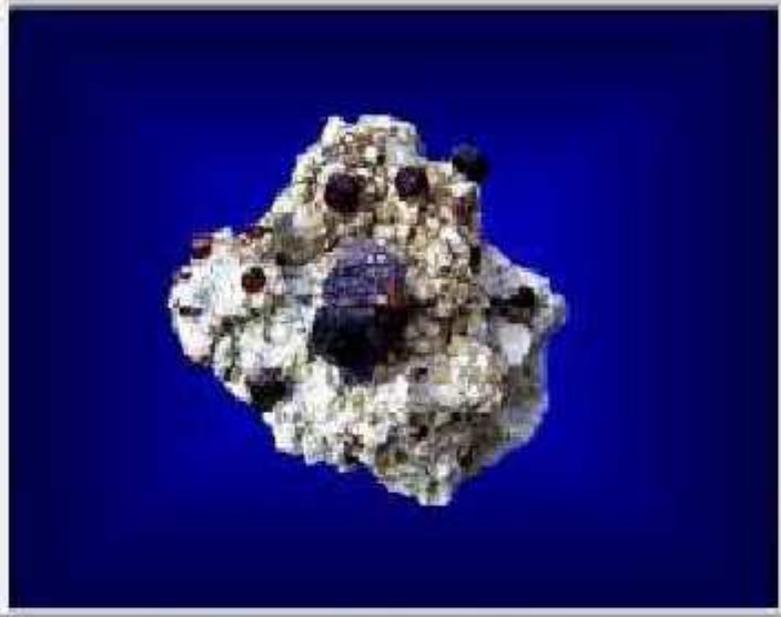


Photo 9 : Fluorine sur spessartine, Tonghein, Chine

Photo 10 : Spessartine, tourmaline et albite, Pakistan



Photo 11 : Uvarovite, Russie

5. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES – DOMAINES DE STABILITE

5.1 Introduction

Les grenats sont très souvent associés dans l'esprit des gens au métamorphisme dû à un accroissement de pression. Il est vrai que les mécanismes de collision, en particulier dans les séquences pélitiques, sont une source de micaschistes à grenat très fréquentes en France.

Cependant, il est très restrictif de se limiter à la seule influence de la pression sur la formation des grenats. Pour s'en persuader, il suffit de considérer les différents types de genèse des grenats, pour se persuader de la complexité des mécanismes et des facteurs qui peuvent les influencer. Ainsi, le métamorphisme régional, avec augmentation de pression, n'est pas la seule cause de formation des grenats. Ceux-ci peuvent apparaître sous des pressions faibles à modérés, par augmentation de température (métamorphisme de contact et métagénèse dans des skarns), par cristallisation de roches magmatiques, granites et pegmatites où ce sont les concentrations qui sont les moteurs essentielles de la cristallisation des grenats, ou bien même par dépôt de fumerolles, sous la pression atmosphérique.

Par conséquent, ce paragraphe ne va présenter que des généralités, et je vous renvoie dans les descriptifs de la pétrologie de chacun des sites détaillés dans mon livre, pour avoir plus de précision sur les paramètres physico-chimiques de la genèse des grenats.

5.2 Différentes genèses des grenats

Il apparaît dans ce récapitulatif des différentes genèses des grenats que ces derniers peuvent avoir des origines très variées ; on a même identifié de **l'andradite dans la météorite Allende**, une chondrite carbonatée qui serait l'une des roches les plus anciennes du système solaire, son âge étant estimé à 4,5 milliards d'années.

Toutefois, ils ne peuvent se former que si certaines conditions de composition chimique de la roche mère et autre conditions thermodynamiques sont bien remplis [A. MIASHIRO] (température, pression, fugacité de l'oxygène), pour promouvoir leur formation.

Compte tenu de la grande diversité de leurs types de genèses, ses différentes conditions ne sont guère restrictives, de sorte que les grenats peuvent se former sous des domaines de conditions PT très larges.

Ainsi, les grenats ont été identifiés sous des conditions de pression allant de la pression atmosphérique pour les fumerolles de Menet, à des pressions de plusieurs GPa (1,8 GPa = 65 km pour les éclogites de l'île de Groix).

Le domaine de température d'existence des grenats est aussi très large, mais il est toutefois corrélé à la pression. Sous de faibles pressions les grenats almandins vont se transformer en staurotide si la température dépasse 500°C (séquence métapélitique).

En revanche, pour des pressions plus élevées, les grenats vont être stabilisés sur un très large domaine de température, couvrant la quasi totalité du domaine de température de 300°C à l'anatexie.

Pour les températures les plus basses, il ne semble y avoir qu'une limite informelle due aux cinétiques. En deçà de 300°C, il n'y a plus de phénomènes hydrothermaux capables de dissoudre les métaux formateurs des grenats pour aller les concentrer dans une zone où les grenats pourraient cristalliser, et les mécanismes de diffusion et de cristallisation étant accélérés par l'énergie thermique, ou plus simplement par la température, ils sont fortement ralentis, voire stoppés si la température est trop basse.

En ce qui concerne la limite haute du domaine d'existence des grenats, elle semble n'être autre que la courbe des solidus des roches mères.

En revanche, la composition du grenat, ou plus exactement sa zonation, c'est-à-dire sa composition en fonction de la position entre le cœur et la surface d'un cristal, ont tendance à évoluer lorsque les conditions, de pression notamment, évoluent pendant la cristallisation du grenat. Ainsi, si les conditions de fugacité de l'oxygène ne viennent pas influencer les mécanismes de cristallisation des grenats, ceux-ci ont tendance à avoir des compositions locales qui évoluent du cœur vers la surface d'une composition riche en pôle spessartine, puis en pôle almandin, et enfin en pôle pyrope, si la pression s'est accentué au cours de la cristallisation.

Ainsi, dans les grenatites de Bournac, extraites d'un ancien volcan, on trouve des grenats de haute pression, pyropes, partiellement fondus.

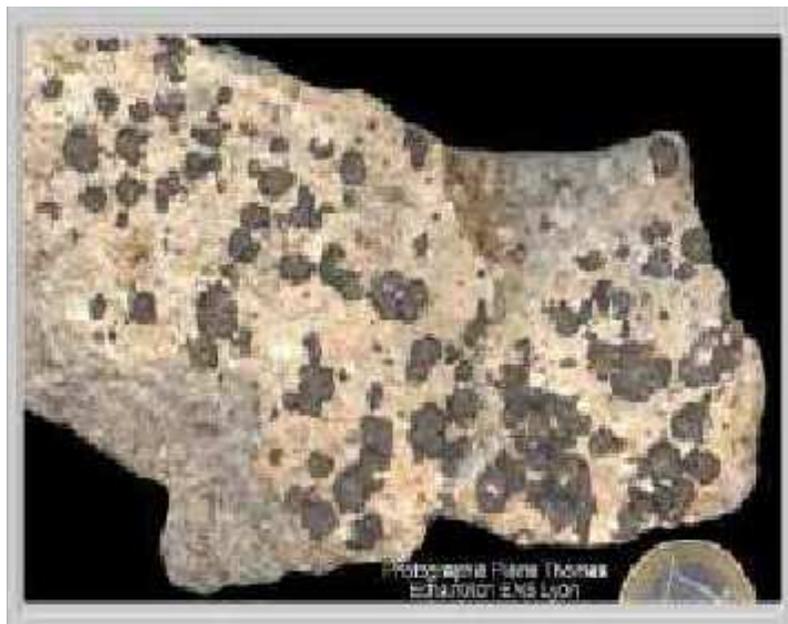


Figure 9 : Menet (15) : Grenats de fumerolles d'après Pierre Thomas

Ces grenats se sont développés le long de fissures parcourant le dôme trachytique de Menet. De la vapeur d'eau surchauffée, chargée de CO₂ et autres gaz, contenait des ions SiO₄⁴⁻, Ca²⁺, Mn²⁺, Fe²⁺ ...

La baisse de température près de la surface a entraîné le dépôt d'oxydes et de silicates divers le long des fractures, dont ces grenats manganésifères (spessartine, hanleite).

Habituellement, les grenats (magmatiques ou métamorphiques) cristallisent dans les 3 dimensions de l'espace. Ces grenats hydrothermaux de Menet n'ont pu se développer que dans 2 dimensions (celles de la fracture) et ont donc la forme de plaquette hexagonale (la plus grande section d'un rhombododécaèdre est un hexagone).

Processus	Groupe de roche		Grenat	Exemple
Magmatiques	ultrabasiques	péridotite	uvarovite	Russie
	acides	Granodiorite granite	almandin	St Jacut (22) Caladroi (64)
	Alcalines	Kimberlite	pyrope	Afrique du sud
Pegmatitiques	acide	granite	Spessartine	Madagascar, Brésil, Chine
hydrothermaux	Basiques à ultrabasiques		mélanite	Mali
Post volcaniques	Fumerolles sur trachytes			Menet (15)
Métamorphisme de contact, Métasomatose post magmatiques MT-BP	Calco-magnésiens	skarn	Grossulaire, andradite	Costabonne (65)
	Schiste, grès	cornéennes	Almandin, andradite, sciagite	Flamanville (50)
Métasomatose post obduction MT-BP	Basiques à ultra basiques	amphibolites		Asbestos (Canada), Val d'Ala (Italie)
Métamorphisme régional Métamorphisme de collision	Acide, pélitiques	Micaschistes	Almandin, pyrope, rhodolite	Le Conquet (29) Massif des Maures (83), Bas limousin (86), Deux -Sèvres (79)
	Faciès des schistes bleus BT-MP		Spessartine, almandin	
	Faciès des amphibolites MT-MP		Almandin, grossulaire	
	Faciès des granulites HT-MP		Almandin	
Métamorphisme de subduction	Mafiques à ultramafiques	Faciès des schistes bleus MT-MP	Spessartine, Almandin	Ile de Groix(56), région nantaise
	Mafiques à ultramafiques	Faciès des éclogites HT-HP	Spessartine, Almandin, pyrope	Ile de Groix(56), région nantaise (44-85)
	Acides, pélitiques	micaschistes	Almandin	Ile de Groix(56)

Table 1 : Principales genèses de grenats.

Les conditions PT ont été précisées pour les grenats d'origine métamorphique.

Pour les pegmatites, celles de Madagascar ont été formées entre 0 et 30 km. Il est donc difficile voir impossible de corréliser quelque effet de la pression et la cristallisation des grenats. Celle-ci est principalement due à une variation des concentrations en Mn dans la phase liquide.

Pour les métasomatoses, la cristallisation des grenats est principalement due à la diffusion d'éléments métalliques dans un milieu carbonaté

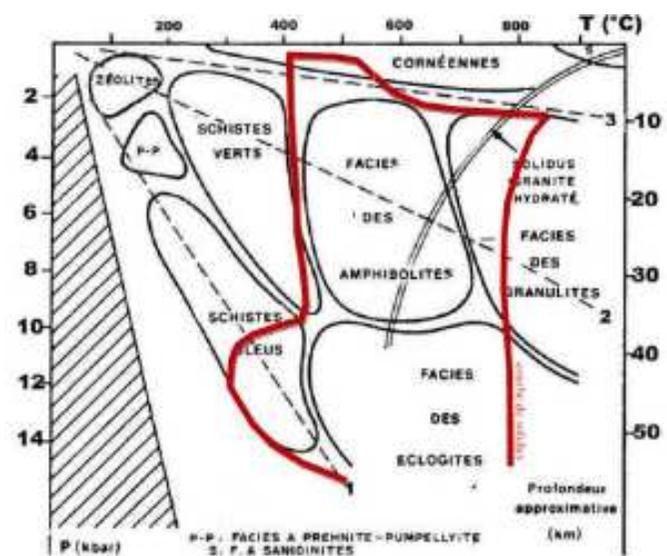
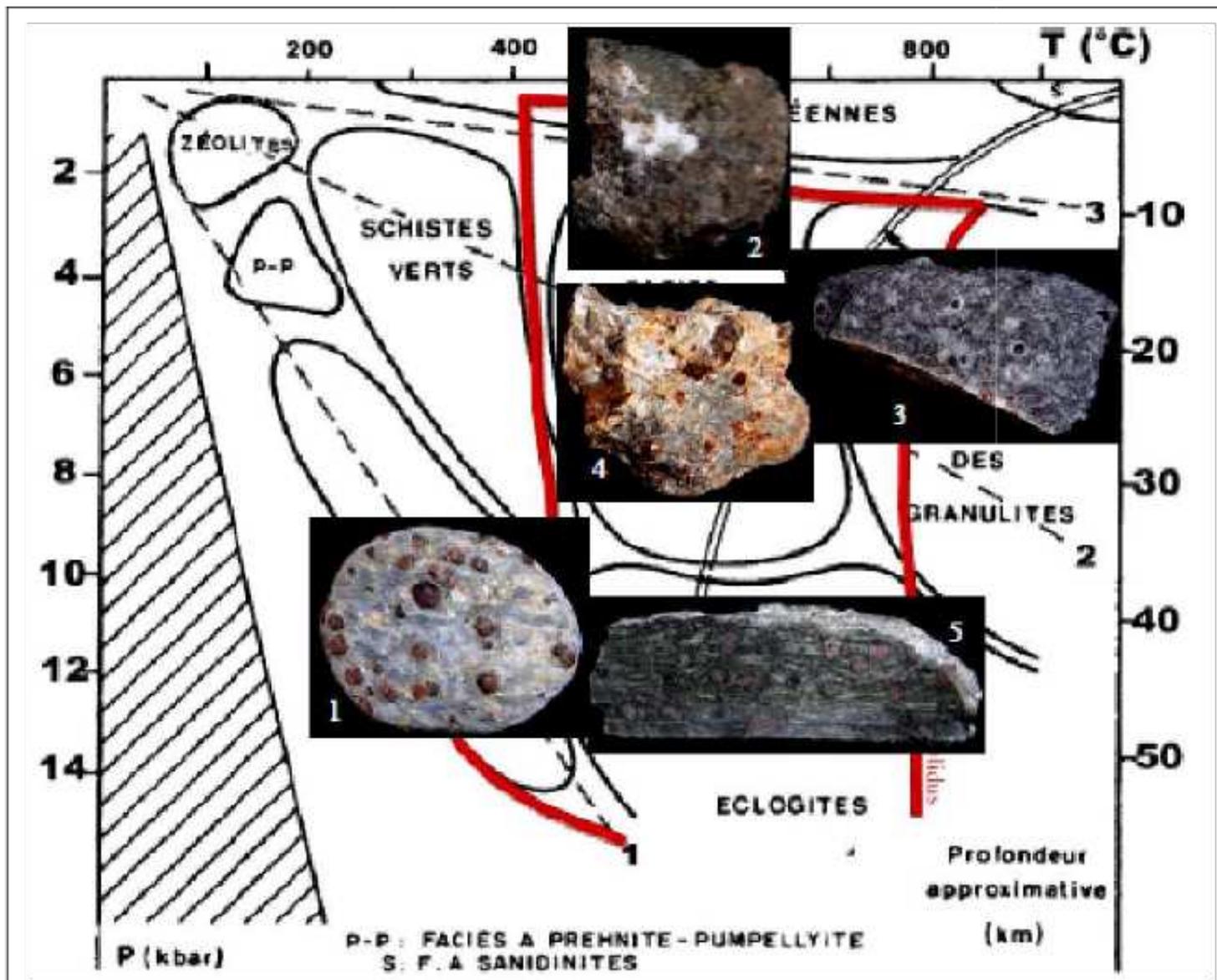


Figure 10 : Domaine d'existence simplifié des grenats d'origine métamorphique en fonction des conditions PT et donc des faciès métamorphiques

Des cornéennes de Flamanville (métamorphisme de contact) aux éclogites vendéennes (métamorphisme de subduction), les domaines d'existence des grenats couvrent la majeure partie des conditions PT de la lithosphère

- 1 : grenat dans glaucophanite, ile de Groix
- 2 : grenat dans cornéennes, Flamanville
- 3 : grenat dans granulites
- 4 : grenat et staurotide, Cavallaire
- 5 : grenat et omphacite dans éclogite, St Philbert de Bouaine

5.3 Domaine de stabilité par grenat

5.3.1. Général

Lorsque la température augmente, la structure du grenat peut accepter les cations Fe et Mg de faible rayon ionique, au détriment de Ca et Mn dont le rayon ionique est plus grand.

A pression constante, l'augmentation progressive de la température enrichit un grenat en almandin et en pyrope.

La substitution Ca,Mn -> Fe,Mg tend à diminuer le volume moléculaire du grenat : une forte pression tend donc à stabiliser un grenat riche en almandin ou en pyrope.

En conséquence, une aggravation des conditions, que ce soit pour la pression ou pour la température, déplacera la composition des grenats vers les pyrope, une rationalisation des conditions favorisera la formation d'ugrandites.

Bien que métastables sous la pression atmosphérique, les grenats sont assez durs (utilisés comme abrasifs) et stables chimiquement. On peut ainsi trouver des gisements de grenats de type secondaire, sous formes de galets, et dans des sables détritiques.

5.3.2. Grenats Rhodolite

Les grenats sont une solution solide de composition intermédiaire entre plusieurs pôles minéraux limites. Les rhodolites, sont des grenats intermédiaires entre almandin et pyrope, de composition générique $(Fe,Mg)_3Al_2[SiO_4]_3$.

Compte tenu de la substitution quasi généralisée en minéralogie entre les cations Fe^{2+} et Mg^{2+} , que l'on rencontre dans les pyroxènes ou dans les épidotes par exemples, et fréquemment exploitée en géothermobarométrie, il est commun que les grenats dénommés logiquement et minéralogiquement almandin ou pyrope, soient en fait des « rhodolites ». Plus la couleur des rhodolites tend vers le rouge-brun, plus la teneur en Fe, et donc en almandin, est élevée, alors qu'un surplus de teneur en Mg donne aux rhodolites, une couleur rose à pourpre, qui est à l'origine étymologique de leur nom (du grec rhodon = rose).

ALMANDIN

L'almandin est sans contexte le grenat le plus répandue, car formé à partir des éléments chimiques les mieux répartis dans la lithosphère (Fe, Al, SiO_2). On peut le rencontrer dans les roches magmatiques (en solution avec le spessartine), ou dans des roches métamorphiques basiques telles les éclogites. Néanmoins, sa zone de prédilection est le métamorphisme régional de sédiments pélitiques, où il peut être très abondant dans les roches schisteuses (micaschistes ou gneiss).

Son domaine d'existence recoupe donc la quasi-totalité du domaine PT de la zone de pression atmosphérique aux hautes pressions, des températures moyennes à l'anatexie. Seule la zone moyenne à haute température sous très basse pression dans les roches pélitiques, ne permet pas de former des grenats, mais des staurotides.

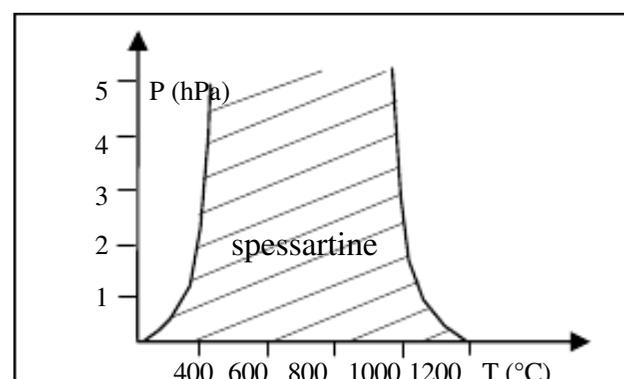
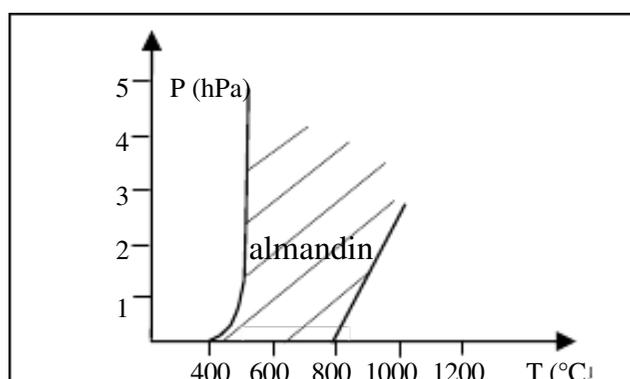


Figure 11 : Domaine PT d'existence des grenats almandin
Figure 12 : Domaine d'existence des grenats spessartine [Miashiro]

Au cours du métamorphisme régional, l'almandin est un minéral fréquent, spécialement dans les micaschistes et les gneiss alumineux. Sous des conditions métamorphiques correspondant à un intervalle de température donné,

ALMANDIN et/ou PYROPE

Dans les roches catazonales de haut degré, appartenant au faciès des granulites, l'almandin s'enrichit en constituant pyrope, dont la concentration atteint couramment 30%, principalement sous l'effet d'une augmentation de la température (650-750°C).

Dans les éclogites, formées à des pressions élevées ($P > 1$ GPa), le grenat devient l'un des constituants principaux avec la jadéite et renferme aussi une forte concentration de pyrope.

Une faible pression d'oxygène, condition généralement réalisée dans les micaschistes et les paragneiss, favorise l'almandin, qui peut s'enrichir en spessartine et en pyrope dans les conditions contraires.

L'almandin plutôt rare dans les granites, n'est pas exceptionnel dans les roches volcaniques acides.

5.3.3. Spessartine

A partir des études de différents gisements, Miashiro a montré que la spessartine et le grossulaire devaient avoir des domaines de stabilité très étendus.

La spessartine se forme davantage dans les pegmatites. On en trouve également dans les roches métamorphisées par contact, associés à d'autres minéraux de manganèse.

6. UTILISATIONS

6.1 Joaillerie

6.1.1. Généralités

Les grenats sont utilisés en joaillerie depuis plusieurs milliers d'années. En ces temps anciens, ils étaient connus comme escarboucle ou comme gemme rouge. Il y en avait dans le plastron du jugement d'Aaron, décrit dans la bible (Exodus: xxviii, 15-30). Le Coran prétend que le 4^{ème} ciel est composé d'escarboucles. Dans l'astrologie védique, qui est de 1000 ans antérieure à l'astrologie occidentale, et toujours pratiquée par des millions d'adeptes, le grenat hessonite de couleur brun orangé à rouge est le talisman qui protège des influences démoniaque du corps céleste nommé Rahu.

Le grenat est également considéré comme pierre sacrée par nombre de tribus indiennes d'Amérique du nord, du centre et du sud.

En 1892, les Hunzas ont utilisé des projectiles faits de grenats contre les troupes britanniques au Kashmir, pensant que leur action meurtrière était supérieure aux balles de plomb.

Historiquement, les grenats sont censés protéger des blessures et du poison, arrêter les saignements et symboliser la vérité et la fidélité, et apporter prospérité.

En tant que gemme, les grenats sont aujourd'hui plus populaires que jamais. D'ailleurs de nouvelles variétés ne trouvent un essor que depuis ces dernières années.

Certaines formes de grenats almandins renferment des inclusions minérales d'asbeste, typiquement de pyroxène ou d'amphibole, qui leur donne un effet chatoyant sous la forme d'une étoile à quatre branche dans la gemme taillée en cabochon.

6.1.2. Propriétés métaphysiques

Le grenat est la pierre de naissance du mois de janvier (capricorne)

Il est la pierre des 18 ans de mariage.

Il est en accord avec les signes astrologiques du lion, de la vierge, du capricorne et du verseau.

Le grenat est dit accroître la créativité et l'intelligence et il aide au succès dans les affaires .

Il serait aussi capable d'apporter de l'énergie bénéfique et de renforcer l'estime personnelle et la popularité à ceux qui en porte.

**A.ABREAL, Les Grenats - Nature, Structure et Propriétés
J. of Pers. Mineralogist, vol. 11, pages 151-199, 2011**

De surcroît, on attribue d'autres bénéfices aux différentes variétés de grenat :

- L'almandin est utile pour renforcer le cœur, inspirer l'amour et aide à percevoir la vérité.
- L'andradite donne vitalité, aide à prévenir les craintes, l'insécurité et le sentiment de solitude.
- Le pyrope améliore l'intelligence et la sagesse.
- La rhodolite facilite la méditation, améliore l'intuition et inspire à l'amour.
- La tsavorite facilite la méditation, améliore la sensibilité spirituelle et les aptitudes télépathiques.

6.1.3. Les grenats de Perpignan

Dans le Roussillon, l'utilisation de grenats en joaillerie se perpétue depuis le XVIII^e siècle. D'après la littérature, on apprend qu'à l'époque les pierres étaient extraites des reliefs pyrénéens (Estagel, Caladroi, Costabonne, Espira de l'Agly, Latour-de-France et plus vraisemblablement des alluvions de l'Agly et de ses affluents). D'ailleurs, une association d'artisans bijoutiers de la région, "Le grenat de Perpignan", revendique l'origine catalane de ces pierres, les premières à avoir été taillées très probablement dans le département (voir encadré). Comme on le voit, le Costabonne n'a pas été forcément le seul site à grenats et d'autres, plus à proximité de Perpignan, ont sûrement été plus productifs en matière de pierres gemmes dignes d'être travaillées (et connus plus tôt). Malheureusement, ces gisements ont été bien vite épuisés en pierres de bonne qualité pour la joaillerie. Difficile de dire d'où précisément et combien il en a été extrait dans la mesure où les archives, contrairement à l'or, ne conservent pas en mémoire ce genre d'informations.

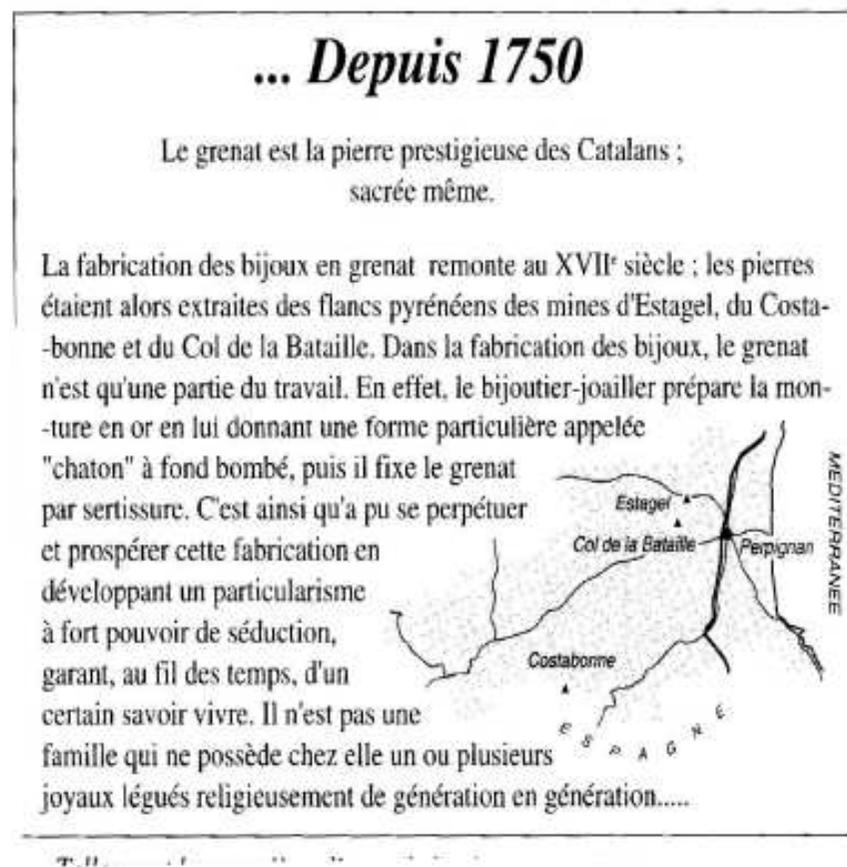


Figure 14 : Premières lignes de la présentation de la plaquette réalisée par les artisans bijoutiers-joailliers « Le grenat de Perpignan».

Ce que l'on retrouve par contre est la trace d'une importante activité dans le domaine de la taille des pierres à Perpignan. On apprend également l'existence d'une entreprise spécialisée dans la taille de fausses pierres, pour pallier peut être la pénurie de grenats gemmes catalans (?) et avant de trouver la filière allemande. Actuellement, les grenats proviennent très vraisemblablement du massif de bohême d'où elles transitent par Idar Oberstein (Allemagne) où elles sont taillées en forme "rose", c'est à dire sans culasse (la partie normalement bombée sous les pierres taillées). Les pierres sont ensuite montées en respectant une tradition bien ancrée en territoire catalan. Les grenats ont donc progressivement perdu leur origine d'extraction catalane pour ne garder, finalement, plus que la façon, catalane, d'être montés. Néanmoins, il y a bien eu une vraie production catalane à une certaine époque et l'association "Le grenat de Perpignan" qui compte une douzaine de bijoutiers parmi ses membres tente de promouvoir et de pérenniser l'activité autour de l'utilisation du grenat en joaillerie.

<p>Grenat Rhodolite Coussin 1.15ct prix 27€</p>		<p>Grenat Rhodolite Trillion 2.26ct prix 45 €</p>	
<p>Grenat Tsavorite Ovale 1.15ct prix 285 €</p>		<p>Grenat Tsavorite Poire 0.57ct prix 145 €</p>	
<p>Grenat Almandin Coussin Échiquier 2.6ct prix 50 €</p>		<p>Grenat Changement de Couleur Ovale 1.5ct prix 275 €</p>	
<p>Grenat Hessonite</p>		<p>Grenat Almandin</p>	
<p>Grenat Pyrope</p>		<p>Grenat Pyrope</p>	

ET TOUS SERVENT A VIDER LE PORTEFEUILLE DE MONSIEUR

(prix 2007)

6.1.4. Le Grenat de Sailor Pluto

Le grenat est le minéral associé à Setsuna.

Avant tout lié à la fidélité et la sincérité, et par conséquent à l'amitié, pour les Anciens le grenat rend son propriétaire invulnérable. Il protège les femmes italiennes de la tristesse et de la douleur durant un veuvage. Il est donc déjà associé à la mort, comme l'attaque de Pluton, le Dead Scream (traduisez "hurlement de mort").

Le grenat convient aux gens constants, honnêtes, francs et intellectuels, mais souvent sensibles et réservés. (On ne peut pas dire que Setsuna soit le type même de l'extravertie...) Elle est, par ailleurs, particulièrement recherchée par ceux qui désirent affirmer leur individualité et leur différence par rapport aux autres.

La pierre assombrirait sa teinte naturelle par sa propre volonté en cas de danger et la reprendrait immédiatement une fois le danger écarté. Souvenez-vous de cet épisode 121 de SailorMoon S o le grenat de la baguette de Setsuna la protège spontanément des émanations nocives d'une plante maléfique. Effectivement, cette pierre est connue pour préserver des empoisonnements et des pièges.

Son énergie magnétique fortifie le cœur et le cerveau, accélère et équilibre toute régénération de tissus (qui s'effectuerait donc en moins de temps que la normale). Sailor Pluto n'a-t-elle pas toujours eu une façon différente d'appréhender le temps ?

La couleur bordeaux du grenat de Setsuna se rattache à une symbolique nocturne, féminine et secrète, représentant le mystère de vie et, de ce fait, incitant à la vigilance et parfois à la crainte.

Enfin, selon ses nuances de couleurs, un grenat aperçu chez une autre personne peut symboliser un lien commun qui remonterait à une vie antérieure et, selon une coutume ancienne, en garder un dans sa main c'est avoir son propre avenir en main. Deux derniers points dont Sailor Pluto est très proche, tant par le lien qu'elle représente entre le XX' siècle et le Silver Millenium, que par sa connaissance de l'avenir et sa complète mise au service de celui-ci.

6.2 Industrie

Les grenats artificiels ont d'autres applications que l'utilisation comme gemme en joaillerie.

Par exemple, les grenats fer-yttrium (YIG) ont des propriétés magnétiques et sont utilisés comme capteurs, servo-commandes et comme substrat de micro-ondes.

Ces grenats peuvent être soit homocréés (même composition que les grenats naturels) ou artificiels, mais qui n'ont pas de contrepartie dans la nature.

Ces grenats sont relativement difficiles à fabriquer et surtout, les grenats naturels sont en général assez bon marché et n'engagent donc pas à la fabrication de gemmes artificielles. Les tsavorites, particulièrement rares dans la nature, sont quelques fois artificielles.

La plupart des grenats artificiels sont dopés par du YAG (yttrium aluminum garnet) et sont fortement fluorescents.

Au cours de ma thèse, j'ai pas mal utilisé l'oxyde d'yttrium pour former in situ de l'yttrgrenat ou YAG par réaction avec l'alumine.

La présence d'yttrium crée en surface des grains d'alumine des lacunes qui peuvent migrer au cœur de l'alumine et faciliter son frittage. Le frittage est une réaction de recombinaison physique à haute température qui a pour but de souder les grains les uns aux autres et de résorber la porosité, pour améliorer les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion des céramiques.

Ils sont aussi largement employés en tant qu'abrasifs.

Livre 2 - Une structure, Deux groupes, De nombreuses possibilités

1. GRUPE PYRALSPITE

ALMANDIN



Etymologie

Son nom provient de la cité d'Alabanda, de l'évêché de Carie en Asie Mineure, réputée il y a 2 000 ans pour ses gisements et ses ateliers de polissage.

Pline évoqua le « *carbunculus alabandicus* », grenat taillé près d'Alabanda ; qui fut par la suite repris par Agricola. D'autres noms suivirent : almandite (genre féminin), almandine, almadine, alabandine, et alabandite par déformation.

Il fut aussi dénommé le « grenat noble » par les Anciens, s'agissant très probablement de l'escarboucle moyenâgeuse, qui brillait comme un morceau de charbon ardent à la lumière des torches, ou encore du « grenat oriental » ou du « grenat syrien » ou « grenat styrien », bien que Romé de l'Isle prétendait que cette gemme ne provenait pas de Syrie, mais de Syrian, la capitale du Pégou, un ancien état indépendant d'Indochine.

Composition

Il contient 36 à 38% de SiO₂, 20 à 22% d'Al₂O₃, 30 à 36% de FeO, 1 à 5% de MgO, 1 à 7% de MnO. L'almandin peut contenir en solution solide, plus de 50% pyrope et de spessartite.

Propriétés

Densité : 3.95-4.32

Dureté : 7-7,5

Indice de réfraction : 1,75-1,83 diminuant avec la teneur en magnésium, isotrope, mais avec des anomalies de polarisation courantes, dispersion de 0,024 ;

clivage absent, ou très faible sur {110} ;

constante diélectrique de 4,3 - 6,25 ;

ni fluorescent, ni pléochroïque.

Renferme souvent des inclusions liquides et/ou solides généralement constituées de cristaux microscopiques de quartz, de feldspath, d'hématite, de zircon, ou de rutile.

Sa couleur varie du rosé violacé au rouge très foncé, tirant sur le noir en passant par le brun; il est parfois recouvert d'hématite rouille.

Les gemmes les plus recherchées sont d'un beau rouge profond.

Il est peu ou pas attaqué par les acides, se décompose par fusion avec les carbonates alcalins et s'altère en chlorite, épidote, hématite, limonite...

Il cristallise en rhombododécaèdres réguliers (douze faces en losange) dans les roches métamorphiques et en tétragonotrioctaèdres dans les pegmatites, ces deux formes pouvant se combiner. Des cristaux de plus de 20 centimètres de diamètre, bien que souvent fissurés, ont permis la réalisation de tasses, de godets de 5 à 6 centimètres d'ouverture.

Gisements :

*A.ABREAL, Les Grenats - Nature, Structure et Propriétés
J. of Pers. Mineralogist, vol. 11, pages 151-199, 2011*

C'est le plus répandu des grenats: Autriche (massif du Tyrol : Otztal, Zillertal — avec des cristaux atteignant 6 à 8 centimètres de diamètre), Norvège (Selvik), Tchéquie, Roumanie, Grèce, Suède (Fahlun), Etats-Unis (Alaska — à Fort Wrangell; New York — montagne de Gore et à Barton Mine dans le comté de Warren, dans les Adirondacks, à North Creek ; Colorado — à Salida), Brésil (Minas Gérais), Madagascar (à Ampadramaika, région de Mongoky — très gros cristaux), Népal, Inde (région de Jaipur, de Delhi, d'Hyderabad — à Khammamet), Australie (Territoires du Nord)...

France :

éclogites de Saint Philbert de Grand lieu (44)

micaschiste de l'île de Groix (56)

Collobrières (83), réputé pour les collectionneurs, cristaux jusqu'à 7 cm d'arêtes.

Gemmologie-Collection

En tant que gemme on recense quantité d'almandins, d'une grosseur importante et d'une coloration parfaite.

L'un des plus volumineux, provenant de l'Idaho, actuellement conservé dans la collection de la Smithsonian Institution de Washington, taillé en forme de rose plate, pèse 175 carats. C'est un grenat étoilé à quatre branches. Un autre almandin étoile fameux, le « two pounds star » pesant 5 737,50 carats, propriété d'un collectionneur, M. Pascal Entremont, fut l'un des bijoux de l'exposition consacrée à René Just Haüy au Musée de minéralogie de l'Ecole des Mines de Paris en 1994. D'une couleur rouge violacé très profond, translucide mais non transparent, il s'en dégage une étoile blanche à quatre branches à la fois très fines et très lumineuses. C'est à ce jour le plus gros grenat étoilé connu.

Ramassé dans des alluvions au Sri Lanka, l'almandin fut confondu avec le rubis, et négocié fort cher, mais les nombreuses sociétés commerciales exploitant les gîtes firent faillite quand on découvrit la véritable nature de ce qu'elles vendaient.

Utilisé depuis l'Antiquité, les Sassanides de Perse ont gravé le profil de l'un de leurs souverains, Chosroês (ou Khosrô) dans un almandin et une coupe exécutée pour l'un de ces rois est conservée au Cabinet des médailles de la Bibliothèque nationale de Paris, ornée de vingt-six grenats ronds, les huit plus gros en fleurons de 3 centimètres de diamètre.

Le Louvre détient lui aussi une coupe taillée dans un seul grenat.

Les Francs le montaient à plat sur l'or, comme de la marqueterie.

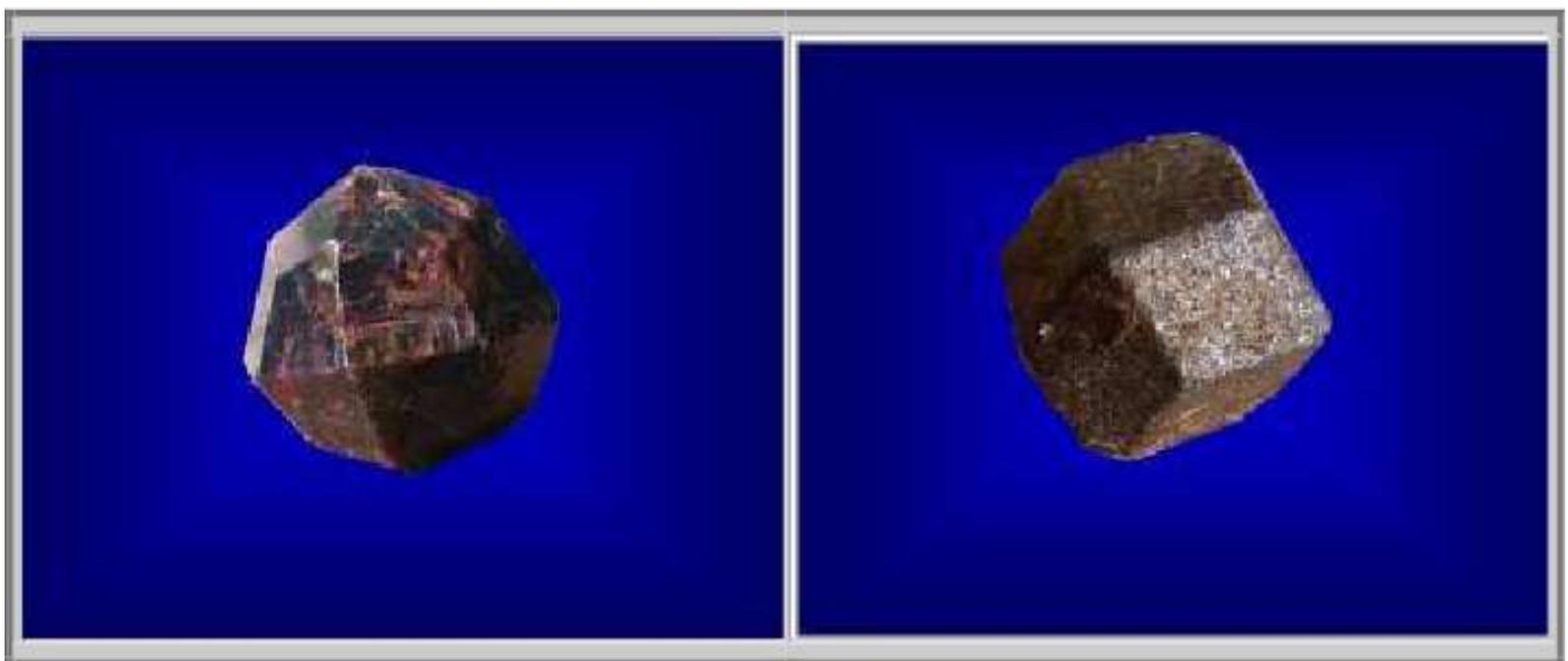


Photo 12 : almandin, Madagascar

Photo 13 : almandin, Madagascar

SPESSARTINE (ou SPESSARTITE)



Etymologie

Il doit son nom au massif montagneux et forestier de Spessart, en bordure nord-ouest du bassin de Souabe-Franconie, contourné par le Main (Bavière).

Composition

Elle fut analysée pour la première fois par Klaproth. Elle contient 36 à 37% de SiO₂, 20 à 21% Al₂O₃, 30 à 40% de MnO, 2 à 14% de FeO, 1 à 4% de CaO.

Elle peut également inclure jusqu'à 2% d'Y₂O₃.

Généralement, la spessartine est pure à 97% ; les 3% manquants étant de l'almandin et du grossulaire.

Si elle est riche en almandin, il est délicat de la différencier de ce dernier riche en pyrope en ne se basant que sur l'indice de réfraction et sur la densité. L'emploi du spectroscope s'avère alors indispensable.

Propriétés

Densité : 4,12-4,25

Dureté : 7- 7,5

Indice de réfraction : 1,79-1,81 ; dispersion de 0,027 avec quelques anomalies de polarisation
cassure inégale ; non pléochroïque ;

isotrope

constante diélectrique de 7,6 ;

non fluorescente

transparente à translucide,

Inattaquable aux acides ;

mélangée en poudre avec du borax elle fond lors de l'essai au chalumeau ; s'altère en biotite.

Elle contient presque toujours des inclusions. Couleur jaune si elle est pure, elle adopte le plus souvent une nuance rouge-orange, rougeâtre, brun-jaunâtre, parfois violette découlant de la présence d'almandin.

Cristaux dodécaédriques ou trapézoïques pouvant atteindre 10 centimètres.

Gisements :

Très rare, la spessartine se forme surtout dans des pegmatites riches en manganèse, plus rarement rencontrée dans des roches métamorphosées par contact, elle est alors rencontrée avec d'autres minéraux de manganèse.

Dans les dépôts de montagne à Aschaffenburg, dans le Spessart, bien que difficilement exploitables, mais aussi en Italie (Saint-Marcel au val d'Aoste), en Suède (Finbo, Brodho), en ex-U.R.S.S. (Mias et Tokovaia dans l'Oural),

Importants gisements de pegmatites aux Etats-Unis (Amalia en Virginie ; Ramona en Californie); au Colorado dans les rhyolites de Silver Cliff ; en Utah près de Nathrop ; au Connecticut, au Mexique (cristaux de 7 cm), à Madagascar (Antsirabe), au Kenya (Taita Hills), en Namibie (près de la frontière avec l'Angola — cristaux orangés, appelés « spessartite-mandarine »), au Pakistan (Dosso), en Australie (Broken Hill)...

France :

Un seul gisement intéressant, dans les pegmatites de Chanteloube, à 30 km de Limoges, cristaux de 1 cm associés à de la wolframite tantalifère.

Gemmologie-Collection

Les gemmes sont essentiellement d'origine alluvionnaire et proviennent du Sri Lanka, de Birmanie, du Brésil et de Madagascar, et sont taillées à facettes.

Actuellement, gisement important dans des pegmatites au nord du Pakistan.

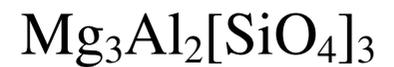
En 1993, fut présentée une pierre exceptionnelle, provenant de Namibie, d'une couleur orange flamboyant, d'une luminosité inconnue ; dans l'obscurité, elle semblait être une source de lumière !



Photo 14 : Spessartine et muscovite, Californie

Photo 15: Spessartine « etched », Minas Gerais, Brésil

PYROPE



Etymologie

L'origine probable de son nom serait le grec *pyropôs*, qui a donné en latin *pyropus* = couleur de feu, un alliage de cuivre et d'or qui a l'éclat du feu.

Composition

Il contient 40% de SiO₂, 21 à 24% Al₂O₃, 12 à 20% de MgO, 6 à 20% de FeO, 5 à 8% de CaO

Le terme de grenat magnésien est impropre ainsi que la formule [Mg₃Al₂(SiO₄)₃] car le pyrope ne contient jamais plus de 80% du grenat magnésien pur, car il renferme une importante quantité de solution solide d'almandin par substitution du magnésium Mg²⁺ par le fer Fe²⁺.

Il est fréquent qu'il renferme de 3 à 8% de Cr₂O₃ qui confèrent au pyrope son incomparable couleur rouge sang (tel le rubis), plus intense que par la seule présence d'almandin.

Il peut également contenir du calcium, il est alors plus orangé.

Propriétés

Dureté : proche de 7,5, c'est le plus dur (abrasif)

Densité: 3,53-3,87 en fonction de sa teneur en fer,

Indice de réfraction: 1,73-1,77

Dispersion de 0,022.

Transparent à translucide,

Eclat vitreux,

Absence de clivage

Fracture conchoïdale ;

Isotrope

Ni pléochroïsme, ni fluorescence

Inattaquable aux acides, son altération donne de la chlorite ou de la képhylite.

Sa couleur est incolore à l'état pur, mais il est coloré par la présence d'almandin. Il vire au rouge intense quand la présence d'almandin augmente, pouvant tendre vers le noir.

Il peut être coloré par le chrome (rouge sang) ou par le calcium (orangé).

Cristaux dodécaédriques ou trapézoédriques rares, plutôt des grains xénomorphes plus ou moins arrondis.

Gisements :

Il accompagne, avec le diopside chromifère, les kimberlites des gîtes de diamant.

Abondant dans les alluvions, on le connaît en Allemagne (Zoblitz), en Suisse (à Gorduno, près de Bellinzona), en ex-Tchécoslovaquie (Trébénice, Mèrunice, Podsedice), en ex-U.R.S.S. (dans les pipes diamantifères de Sibérie), en Afrique du Sud (dans les mines de diamant), en Tanzanie, à Madagascar, en Australie, au Sri Lanka, aux États-Unis (Utah, Nouveau - Mexique, Arizona...), au Brésil...

France :

Près de chez nous, à Bournac 43

En Haute Garonne, près d'Arguénos, et en Ariège, aux environs de Prades, près de l'étang de Lherz

Egalement dans les péridotites des Vosges

Dans la serpentinite du Pertuis : cristaux de 2 cm

Dans la région de Gerardmer, ils sont souvent altérés.

Gemmologie-Collection

En tant que gemme, c'est une pierre remarquable, du fait de sa couleur rouge sang ; on la taille à facettes, en cabochon, on la polit au tonneau.

Werner l'a décrit en 1800. Il se nommait aussi « belle des lapidaires », mais surtout « grenat de Bohême » région où il fut exploité dès le X^{IV}e siècle sur le versant méridional des Ceské, près de Trébénice ; des écrits de la période de l'empereur Charles IV l'attestent.

On retrouve ces pyropes d'un rouge intense dans les bijoux gothiques du X^Ve siècle. L'empereur Rodolphe II les admirait, ainsi que l'artiste Albrecht de Waldstein. C'est d'ailleurs à cette époque que l'on a extrait le plus gros grenat bohémien, qui orne l'ordre de la Toison d'Or conservé dans le trésor des anciens électeurs de Saxe à Dresde, taillé en cabochon ovale, de la grosseur d'un œuf de pigeon (35x27x8 mm, pesant 9,6 g).

Un autre, au Musée des grenats de Trébénice, mesure 12,3 x 8,6 millimètres et pèse 2,6 grammes. dimensions exceptionnelles pour un pyrope. Anselmus Boëtius de Boot, dans son livre « Gemmarum et lapidum Historia » qui traite de la découverte des grenats à la fin du X^{VI}e siècle le mentionne, ainsi que d'autres gros pyropes, qui, de la taille d'une noisette, valaient aussi cher que des rubis. Durant la période baroque, on enchâssait ces grenats dans des objets liturgiques (calices, ostensoirs, croix...), tel l'ostensoir des Lobkovitz, daté de 1673, aujourd'hui dans le trésor de la Lorette de Prague, orné de cent quatre vingt-douze grenats.

L'amie de Goethe, Ulrike von Levetzow fit réaliser, en 1820, une parure restée célèbre, comportant quatre cent quarante huit pierres, exposée au Musée des grenats de Trébénice.

La vogue de ces pyropes connut son apogée dans la seconde moitié du X^{IX}e siècle quand on les exportait partout, ornant la couronne des reines d'Angleterre, des impératrices de Russie, obtenant un grand succès à l'Exposition universelle de 1878 à Paris.

A Turnov, au X^{IX}e siècle, fut fondée la première école de taille.

Industrie

Il sert à fabriquer des instruments de coupe, de polissage, et de forage, grâce à sa grande ténacité et sa dureté assez élevée.

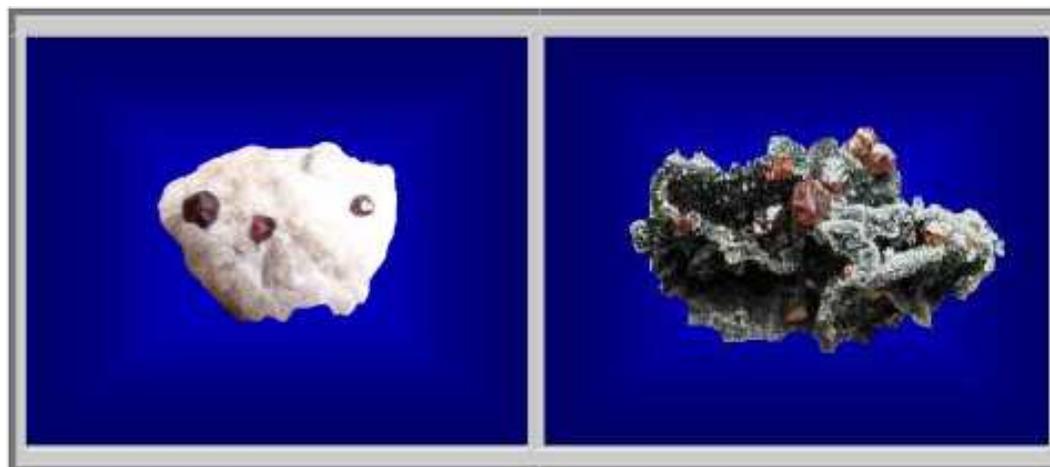


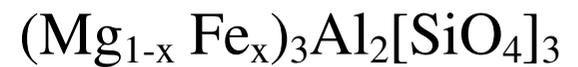
Photo 16: Pyrope, Madagascar

Photo 17: Pyrope et sphalérite sur calcédoine, Chine



Photo 18 : Pyropes, Chine (2cm)

RHODOLITE



Etymologie

Du grec *rhodon* = rosé, à cause de sa couleur

Propriétés

Dans la série continue s'étendant du pyrope à l'almandin, certains scientifiques intercalent parfois quelques variétés de grenats telle la « pyraldine » ou la « rhodolite », celle-ci contenant de 10 à 25% d'almandin.

Ce sont en fait des solutions solides, mais comme tout grenat est une solution solide des pôles limites de leur groupe. Par conséquent, et selon les règles en vigueur, ils sont censés être appelés du nom du pôle grenat majoritaire, pyrope en l'occurrence pour les rhodolites.

couleur rosé mais elle est aussi rouge, violet-rouge clair.

Gemmologie-Collection

Ce nom de rhodolite est surtout employé en gemmologie car les minéralogistes réprouvent plus ou moins sa propagation.

Gisement

Gîtes aux U.S.A. (surtout en Géorgie), à Madagascar, au Brésil, en Zambie, en Tanzanie.

CALDERITE



Gisement

En 1979, P. J. Dunn confirme la validité de la calderite en tant que grenat (Canadian mineralogist - 17 : 569-571) espèce ne semblant stable que sous une pression supérieure à 30 kbars (3 GPa).

Composition

Une microanalyse d'un échantillon provenant d'Otjosundu, en Afrique du Sud-ouest, conduite par Vermaas (1952) a fourni comme composition 35,16% de SiO₂, 0,28% de TiO₂, 9,04% d'Al₂O₃, 16,27% de Fe₂O₃ (fer total), 0,50% de MgO, 12,12 de CaO, 27,38% de MnO (soit 100,75%)

On a pu déterminer qu'il contenait en fait 51 parties de calderite, 36 de grossulaire, 13 de spessartite.

Cette analyse et celle d'un grenat du Labrador publiée par Klein en 1966 confirmèrent définitivement la validité du grenat pôle manganifère, nommé calderite.

MAJORITE



Etymologie

Son nom est en honneur d'Alan Major qui collabora avec Ringwood à la synthèse des grenats de hautes pressions.

Propriétés

Cubique, avec $a = 11,524 \text{ \AA}$.

Gisement

« Grenat pyroxène » (type d'appellation qui devrait être évité puisque n'ayant rien d'officiel)

découvert et décrit en 1968 par J. V. Smith, Brian Mason, Nelsen et White sur des échantillons de quelques grammes de la météorite de Coorara découverte en 1967 à Nullarbor Plaine (Australie) et composé d'assemblages minéralogiques particulièrement complexes, provenant de synthèses dans les hautes pressions extraterrestres.

SCIAGITE ou SKIAGITE



Ce grenat est si complexe que son existence même a été mise en doute.

En effet, il est déjà difficile de l'identifier dans la nature car fréquemment pour ne pas dire toujours, en solution solide dans l'almandin.

De plus, il existe une transition de phase entre le grenat et la solution solide de spinelle $\text{Fe}_2\text{SiO}_4\text{-Fe}_3\text{O}_4$, ainsi que des transferts de charge $^{\text{VIII}}\text{Fe}^{2+} + ^{\text{VI}}\text{Fe}^{3+} \rightarrow ^{\text{VIII}}\text{Fe}^{3+} + ^{\text{VI}}\text{Fe}^{2+}$.

Propriétés

Cubique, avec $a = 11,667 \text{ \AA th}, 11,728 \text{ \AA exp}$.



Photo 19 : Sciagite ? : Flamanville

2. GROUPE UGRANDITE

GROSSULAIRE



Etymologie

C'est Werner (1811) qui leur a attribué ce nom à cause de la similitude des premiers échantillons avec le fruit du groseillier à maquereaux *Ribes grossularia*, de couleur vert pale.

Différentes variétés colorées de grossulaire ont reçu d'autres appellations : *grenat jaune*, romanzowite (couleur brunâtre), wilnite de Sibérie (blanc verdâtre), succinite, *jaune de miel*, essonite (si jaune orangé), jade sud-africain, jade du Transvaal...

Composition

Il se compose de 40% de SiO₂, 18 à 23% d'Al₂O₃, 32 à 37% de CaO, et 3 à 4% de FeO.

Propriétés

Dureté de 7 à 7,5

densité de 3,60 à 3,68, (3,42 à 3,55 pour la variété verte massive)

indice de réfraction fonction de la couleur : de 1,730 à 1,736 pour les pierres pâles, de 1,734 à 1,738 pour les pierres vert clair, de 1,739 à 1,734 pour les pierres vert profond foncé, et 1,720 pour la pierre massive, globalement il augmente avec la teneur en fer ;

dispersion de 0,027 ;

Isotrope

Souvent faiblement biréfringent et biaxe négatif, sans doute par distorsion de sa structure par les ions Ca

Transparent à presque opaque

Parfois fluorescent sous U.V. en rouge orangé

Constante diélectrique de 7,64.

Inattaquable aux acides, il s'altère en épidote, en chlorite, en calcite.

Incolore à l'état pur, il est d'une grande diversité de couleur (jaune, jaune verdâtre, orange, brun-rouge, noir), celle-ci dépendant des ions présents en substitution de Ca et Al.

La variété tsavorite (ou jade du Transvaal) est coloré en vert par du chrome lié aux atomes d'oxygène de manière covalente.

Les rhombododécaèdres se rencontrent surtout dans les roches métamorphiques, les trapézoèdres dans les pegmatites, bien que ces deux formes soient souvent combinées.

Gisements :

Les grenats calciques, tel le grossulaire, se forment principalement par métasomatose de roches calciques impures, surtout lors de métamorphismes de contact, dans des granulites (roches calcaires en contact avec le granite) ou de roches basiques.

Le grossulaire a également été rencontré dans des pegmatites et dans des veines hydrothermales.

Ses gisements sont communs, développés dans des formations géologiques très diverses serpentinites, calcaires métamorphiques ... : Allemagne, Grande-Bretagne (Ecosse — île de Mull), Italie (val d'Ala, île d'Elbe, dans des blocs calcaires enclavés dans les laves du Vésuve), Pologne (Jordanow), Roumanie (Oravicza, Dignacska, Ciclova), Suisse (Zermatt), ex-U.R.S.S. (Kyssinks en Oural, Yakoutsk et Achmatovsk en Sibérie), Mexique (Morelos, Xalastoc, Concepcion del Oro), Etats-Unis (Ramona en Californie, Colorado, Maine, Eden Mills au

**A.ABREAL, Les Grenats - Nature, Structure et Propriétés
J. of Pers. Mineralogist, vol. 11, pages 151-199, 2011**

Vermont), Canada (Asbestos), Tanzanie, Kenya, Afrique du Sud (Woliriitterskop), Birmanie, Chine (où il est sculpté), Pakistan, Corée...

En 1994, un nouveau gisement a été découvert au Mali (région de Kayes), qui livre des pierres jaune - vert et vert - brun affectées d'une certaine biréfringence. Leur indice de réfraction varie de 1,758 à 1,785, leur densité de 3,63 à 3,72 ; elles contiennent de 17 à 29% en poids d'andradite.

A titre documentaire, mentionnons la présence de grossulaire dans la météorite d'Allende, dans des fissures, au travers de grains de mélilite.

La grossularite est une roche formée par métamorphisme de contact pour donner un skarn se composant essentiellement de grossulaire.

France :

Relativement fréquent

dans des skarns :

Pic d'Ereslids, au sud de Barèges (65), sous la forme de placages de cristaux noirs dans les fissures

Gorge d'Escoubous

Pic d'Espade célèbre pour ses axinites

Le pic de Péguères, près de Cauteret, fournit des cristaux de 1 cm associés à de la vésuvianite

Dans le massif de Costabonne (66) réputé pour ses indices de scheelite

dans les granulites :

Aux environs de Nantes, près de Barbin, où les cristaux sont très colorés : jaunes, roses, rouges, parfois brunâtres à cause d'une altération due à la présence d'oxydes de fer dans les fractures.

En Haute Garonne, à Port Vieux, le grossulaire associé à la vésuvianite est abondant

dans les pegmatites :

En haute vallée de l'Ariège, beaux cristaux roses accompagnés de tourmaline et de béryl.

dans les syénites néphéliniques :

Dans la région de Pouzac, près de Bagnères de Bigorre (65), associé à l'épidote, où de couleur jaune-rougeâtre, il est une transition entre le grossulaire et la mélanite.

Gemmologie-Collection

Il est considéré comme pierre fine depuis 1960 seulement.

Quelques variétés secondaires

Leucogrenat

Variété incolore, originaire du Canada, du Mexique.

Hydrogrenats

Ce terme s'applique à différents types de grenats dans lesquels fut mis en évidence, à l'intérieur des tétraèdres ZO_4 , un taux élevé de remplacement du silicium par de l'eau, les deux « hydrogrenats » les plus communs se nommant « l'hydrogrossulaire » et « l'hydroandradite ».

Leur formule générale s'écrit : $X_3Y_2(ZO_4)_{3-m}(OH)_{4m}$

En particulier les grenats verts d'Asbestos, au Québec sont parfois les fantômes d'hydrogrenats incolores.

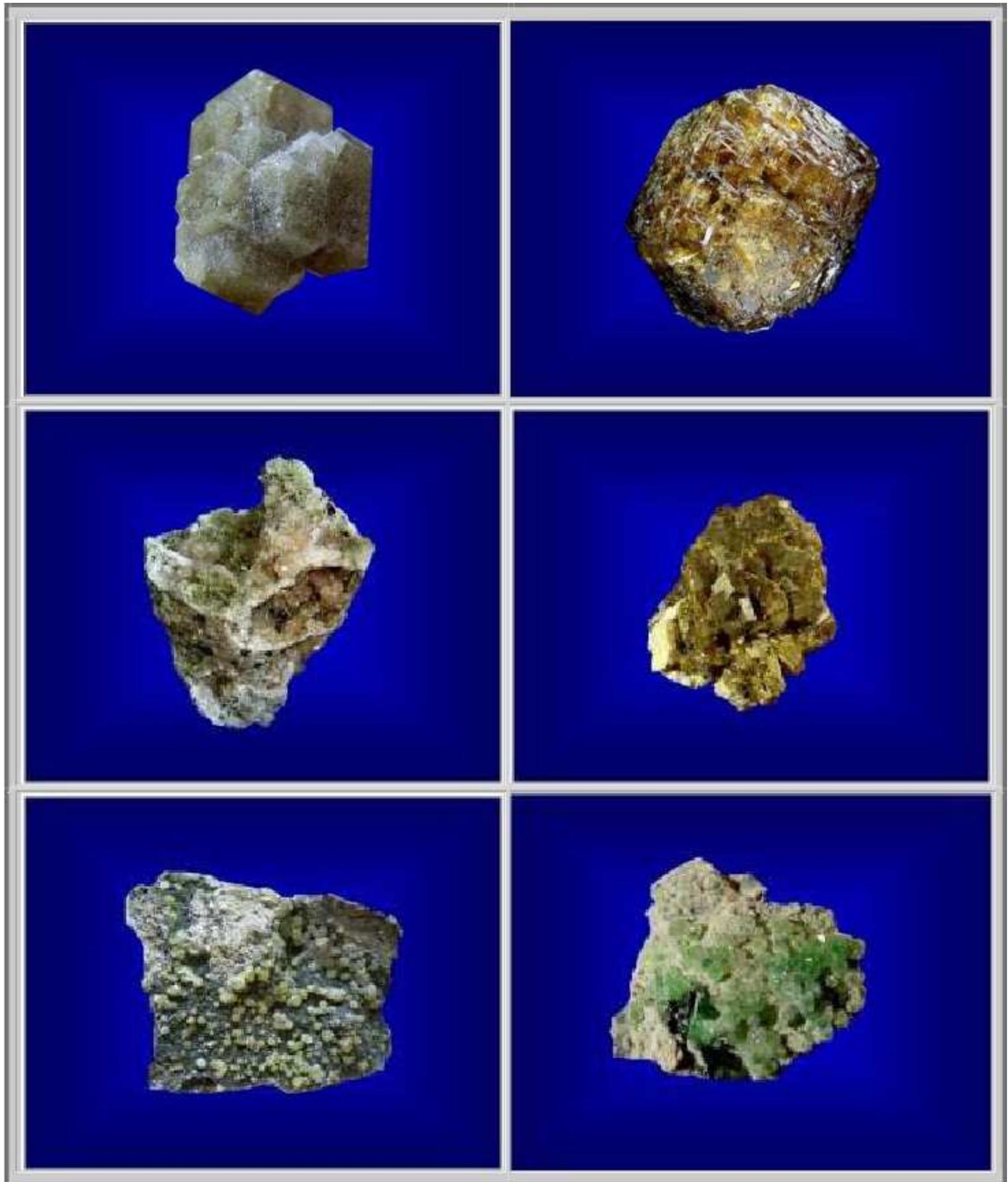


Photo 20 : Grossulaire

Photo 21 : Grossulaire et diopside, Asbestos, Québec

Photo 22 : Démantoïde, San Benito, Californie

Photo 23 : Grossulaire, Mali

Photo 24 : Topazolite, Arizona

Photo 25 : Grossulaire, Asbestos, Québec

DEMANTOÏDE



Etymologie

Son nom vient d'un vieux mot allemand *demant* = diamant, à cause de sa propriété de décomposer la lumière en un grand nombre de couleurs

On a écrit d'ailleurs longtemps « diamantoïde ». On l'appelait aussi, mais à tort, « topazolite », à cause de sa couleur.

Propriétés

Densité de 3,82 à 3,85 ;

Dureté de 6,5 à 7 ;

indice de réfraction de 1,888 à 1,889 ; dispersion de 0,057.

D'un magnifique vert intense, vert d'herbe, avec un fort éclat adamantin, il est transparent, contenant fréquemment des inclusions de fibres d'amiante, byssolite, de couleur brun orange, faisant penser à une queue de cheval.

Gisements :

Découvert par des chercheurs d'or, vers les années 1860, dans des alluvions aurifères, à Nijni Taghil, dans l'Oural, Nordenskiöld le décrit en 1878. Ce n'est que vingt ans plus tard qu'est repérée la roche-mère, le long de la rivière Bobrovka, sur le versant occidental de l'Oural, riche en nodules de 5 centimètres de diamètre, et l'on crut alors à un nouveau gisement d'émeraudes, d'où le nom — inapproprié — d'émeraude de l'Oural.

Gisements en ex-U.R.S.S. (à Syssert en Oural), en Tchéquie, en Allemagne (Saxe), en Italie (carrière de Sferlun dans le val Malenco, à 130 km au nord de Milan, plus exactement entre Campo Frasca et l'Alpe Acquanera), en Suisse (Geisspfadsee dans le Valais), au Congo, en Tanzanie, au Zaïre.

Gemmologie-Collection

Le gisement de l'Oural étant épuisé, le « démantoïde » reste prisé des collectionneurs.

Il s'avère l'un des plus précieux grenats car très rare, surtout de qualité gemme et dépassant 0,2 carat, exceptionnel au-dessus de 3 à 4 carats, bien que l'on en répertorie de 7 à 8 carats de l'ex-U.R.S.S. et de 1,5 centimètre de diamètre du val Malenco (Italie).

Pierre fine se taillant à facettes, en brillant rond ou ovale, apparue il y a une centaine d'années chez les lapidaires russes qui l'achetaient en Oural, alors l'unique région fournissant des cristaux de qualité gemme, il figurait parmi les plus chers, sans doute à cause de sa réputation de « pierre similaire au diamant ». En vogue chez les tsars au XVIIe siècle, c'était le seul grenat transparent connu antérieurement à 1970, avant la découverte de la tsavorite.

France :

Arendal, en Normandie

HESSONITE



Etymologie

Vient du grec *hesson* = moindre, (allusion à sa faible densité), pour certains, au fait qu'elle était moins précieuse que la hyacinthe pour d'autres, ou encore parce que ses cristaux sont généralement plus petits que ceux de l'almandin, elle fut décrite par Haüy dès 1822.

C'était l'ancienne « hyacinthe antique » (alors mal différenciée du zircon), ou la pierre de Cannelle, le vermeil, le grenat hyacinthe, voire le grossulaire massif du Transvaal.

Propriétés

densité 3,65

dureté 7,25

indice de réfraction 1,742 à 1,748

Isotrope, avec quelques anomalies de polarisation dues à diverses inclusions, translucide à transparente, avec éclat plutôt résineux.

Couleur rouge, orange à brun orange, due à des mélanges d'almandin et d'andradite.

Gisements :

L'hessonite, à la différence des autres grossulaires, est surtout rencontrée dans des roches serpentineuses et basiques métamorphisées, ou dans des rodingites dont elle est le principal composant.

Gisements assez rares : Tchéquie (où l'on a trouvé de grands cristaux), Italie (val d'Ala, au Piémont, groupes d'excellents cristaux), Allemagne (Auerbach), Roumanie (Baita), Brésil, Tanzanie...

Plus fréquente au Sri Lanka, et plus particulièrement à l'île Cannelle.

Gemmologie-Collection

Le Cabinet des médailles de la Bibliothèque nationale conserve un cristal de 5,5 sur 2,5 centimètres sculpté par des Allemands, représentant Moïse.



Photo 26: Hessonite, Asbestos, Québec



Photo 27: Hessonite, Val d'Ala, Italie

ANDRADITE



Etymologie

Son nom, du genre féminin, lui a été attribué au XIXe siècle par J. D. Dana en l'honneur du minéralogiste portugais José Bonifacio de Andrada de Silva (1763 - 1838) qui se consacra à l'étude des grenats.

Il semble donc que ce soit à tort que des ouvrages anciens affirment qu'il viendrait du grec *andras*, employé pour la première fois par le philosophe, médecin et naturaliste Théophraste (372 - 278 av. J.-C.) qui désignait ainsi tous les grenats.

Composition

Les analyses donnent 35 à 36% de SiO₂, 30 à 33% de CaO, 25 à 30% de Fe₂O₃

Son analyse met souvent en évidence une petite quantité de titane, de 1 à 5%.

Le pôle extrême contenant plus de 90% de molécules pures est peu commun. Il s'agit le plus habituellement d'une solution solide d'andradite et de grossulaire.

Beaucoup d'andradites extraites de skarns accusent une composition et une couleur zonée, l'alternance de ces zones marquant l'andradite pure et le mélange 50% d'andradite - 50% de grossulaire.

Propriétés

Densité: 3,70-4,18

Indice de réfraction: 1,86-1,94

Sa constante diélectrique varie de 6,35 à 8,2 ;

Elle est en général optiquement isotrope, bien qu'une légère biréfringence s'y observe à l'occasion ; fluorescence aléatoire en rouge orangé sous les U.V.

Cristaux à forme dodécaédrique dominante mais pouvant posséder de nombreuses troncutures (huit formes habituellement reconnues) leur conférant souvent un aspect subsphérique.

Il s'ensuit que sa couleur dépend de sa composition chimique.

Elle est attaquée lentement par les acides et s'altère en un mélange d'épidote, de limonite, et de feldspaths.

Gemmologie-Collection

Seules deux variétés sont aujourd'hui reconnues par les lapidaires : la « mélanite » (noire, ou presque) et le «démantoïde » (vert à vert foncé). L'ancienne « topazolite » (jaune-vert si pure), ou « vermeille des lapidaires », étant une appellation synonyme du démantoidé et de la mélanite est inutile et à proscrire.

Gisement

présence d'andradite dans la célèbre météorite d'Allende, une chondrite carbonée considérée comme l'une des roches les plus anciennes du système solaire avec ses quelques 4,5 milliards d'années.

Les grenats calciques, comme l'andradite, se forment principalement par métasomatose de roches calciques impures, surtout lors de métamorphismes de contact, dans des granulites (roches calcaires en contact avec le granite) ou de roches basiques.

L'andradite, dont la formation implique un milieu à fort potentiel d'oxygène, est un minéral constituant important des skarns, ces derniers renferment souvent des gisements métallifères.

*A.ABREAL, Les Grenats - Nature, Structure et Propriétés
J. of Pers. Mineralogist, vol. 11, pages 151-199, 2011*

L'andradite est également connue en tant que produit de fumerolles dans certaines roches volcaniques (fissures des laves acides de Menet (Cantal)).

La topazolite et le démantôïde, variétés colorés de l'andradite, se forment principalement dans des serpentinites et dans des schistes chloriteux

France :

Les plus beaux cristaux proviennent de Costabonne (66), associée à de la scheelite et à des minéraux rares comme l'helvite.

Dans les Vosges, elle a été abondante à Framont, associée à l'épidote, à la pyrite et à la magnétite.

Egalement, à Collobrières (Var) dans les lentilles de magnétite des micaschistes à amphibolites.

Dans les schistes cristallins de Loire Atlantique dans les gneiss des environs de Crossay

En Ariège près de St Barthélémy.

En tant que fumerolles et micros dans les fissures des laves acides de Menet (cantal)



Photo 28: Calcite dans Andradite

Photo 29: Andradite iridescente, Japon



Photo 30: Menet : Andradite de fumerolles,

Photo 31: Menet : Andradite micro

http://cantalou.blog4ever.com/blog#fotos-cat-128953-1948341397-micro_mineraux_de_menet__15_.html

MELANITE



Etymologie

Du grec *mêlas* = noir, elle apparaît généralement en cristaux idiomorphes.

Composition

Sa formule s'énonce $[\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3]_3$, le magnésium ou le manganèse remplaçant parfois le calcium.

Propriétés

dureté de 6,5 à 7

densité de 3,86

isotrope, avec un indice de réfraction de 1,887 augmentant avec la teneur en titane,

De couleur brune à noirâtre,

Gisement

La mélanite et la schorlomite se rencontre plutôt dans des roches alcalines ignées telles les syénites néphélitiques et les phonolites. Citons également que la mélanite peut se former dans des grenatites associées à des « roches vertes ».

Variété rare, ses gisements se situent en Allemagne (Rieden-am-Laacher See, Kaiserstuhl), en Italie (Fracasti, près de Rome ; au Vésuve), en Roumanie (Moravicza), en Russie (péninsule de Kola), en Norvège, au Canada (Ice River), aux États-Unis (cavités des roches métamorphiques du comté de York en Pennsylvanie ; Magnet Cove en Arkansas), en Tasmanie...

Gemmologie-Collection

Son association dans les roches volcaniques en épitaxie à la surface des trapézoèdres de leucite (minéral que Rome de l'Isle appelait le « grenat blanc »), en fait une curiosité recherchée par les collectionneurs. Le contraste entre le blanc nacré de l'une et le noir très brillant de l'autre est extraordinaire. Les collections étoffées abritent de magnifiques associations propres au Vésuve.

Appréciée avant la découverte du diamant, elle est encore taillée à facettes ou en cabochons pour orner des bijoux de deuil.

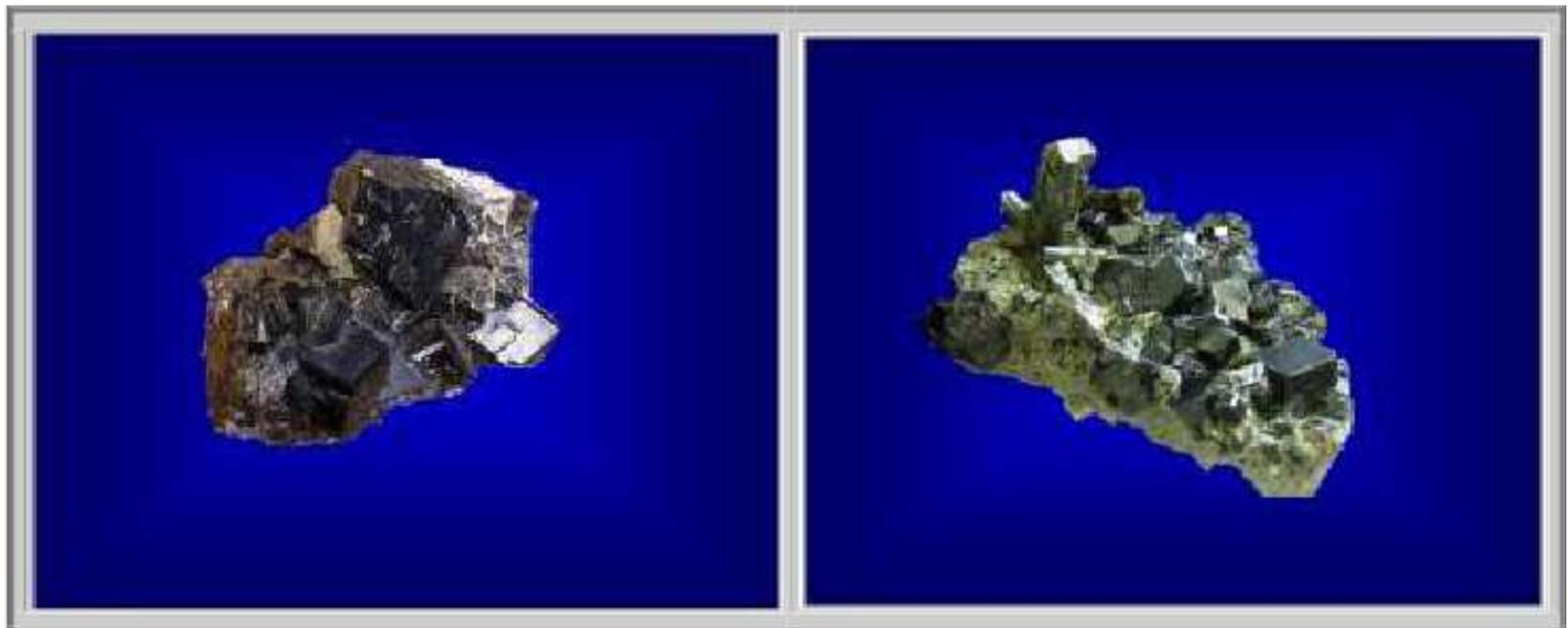


Photo 32: Mélanite, Chili

Photo 33: Mélanite et épidote, Kayes, Mali

UVAROVITE



Etymologie

C'est au comte russe S. S. Ouvarov (1785-1855), président de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg que G. H. Hess l'a dédiée en 1832. Du genre féminin, elle fut confirmée en 1837.

Elle entre dans le dictionnaire de l'Académie française en 1842 qui a écarté l'orthographe anglo-saxonne «ouwarowite » car la bonne traduction du russe impose ouvarovite, et même, en toute rigueur, uvarovite dans notre langue. Le Littré (page 1203) confirme cette manière d'écrire

Propriétés

Dureté de 7,5

Densité: 3,40-3,90

Indice de réfraction: 1,74-1,87

dispersion nulle ; toujours biréfringente ;

cassure inégale à conchoïdale.

Elle est verte à vert émeraude foncé, transparente à translucide et cristallise en rhombododécaèdres de quelques millimètres, ses cristaux étant en général plus petits que ceux de l'almandin.

Gisement

L'uvarovite se rencontre associée à la chromite dans les roches péridotites et serpentineuses, skarns riches en chrome, dans des roches métamorphiques riches en Fe, en Mg et en minéraux métalliques et dans les calcaire métamorphisés à condition de disposer de chrome en grande quantité. L'uvarovite est donc très rare.

Cantonné presque exclusivement dans les gisements de chrome : ex - U.R.S.S. (Saranovskaya et Zlakoust dans l'Oural), Finlande (Pitkaranta au bord du lac Lagoda), Norvège (Roros), Suisse, Pologne.(en Silésie, à Jordanow), Turquie (Makri), Ethiopie, Afrique du Sud (massif de Bushveld au Transvaal), Canada (Oxford au Québec), États-Unis (comté de Lancaster au Texas ; Wood's chromite mine, Oregon ; New Idria dans le comté de San Benito en Californie), Nouvelle-Calédonie...

Gemmologie-Collection

L'un des grenats les plus rares, très recherché par les collectionneurs.

Notons qu'à Outokumpu (Finlande) furent découvert en 1896, dans un bloc de quartz de douze kilos, extrait d'un puits de 300 mètres de profondeur, les plus beaux cristaux connus jusqu'alors : l'un d'eux mesurait 4,6 x 2,7 centimètres, plus un dodécaèdre de deux centimètres, sept autres dépassant le centimètre. Il fallut trois mois pour les dégager de la gangue quartzeuse.



Photo 34: Uvarovite, Russie

KNORRINGITE



Etymologie

Baptisée en l'honneur d'Oleg von Knorring, du département des sciences de la Terre de l'université de Leeds (G.-B.), elle remplace la « hanléite », étudiée par Fennor en 1952, désormais discréditée, car c'est une uvarovite, selon Sastri (1963). Grenat à magnésium et chrome, elle portait le nom du monastère de Hanle, au Cachemire, où elle fut trouvée en 1864.

Propriétés

dureté estimée autour de 7
densité de 3,70 à 3,85
indice de réfraction de 1,803, biréfringence nulle.
Système cubique, avec $a = 11,65 \text{ \AA}$;
isotrope

Elle contient 17,4% de Cr_2O_3 , le chrome remplaçant l'aluminium du pyrope dans la maille du cristal de ce dernier.

Elle a les propriétés du pyrope chromifère, le pyrope type contenant environ 2 à 3% de Cr_2O_3 et 5 à 8% de molécules d'uvarovite.

Gisement

Très rare, c'est un constituant important de quelques kimberlites.

Cette espèce chromifère, distincte du pyrope, où le chrome l'emporte sur l'aluminium, de couleur rouge tirant vers le violet, et le vert, à cause du chrome, fut trouvée dans le pipe de kimberlite de Kao, à Liqhobong au nord-est du Lesotho et décrite en 1968 par Péter H. Nixon et George Homung.

GOLDMANITE



Etymologie

baptisée en l'honneur du pétrographe américain Marcus L. Goldman qui travailla trente sept ans au service géologique et étudia plus spécialement les grès d'Entrada, la roche-mère où elle fut découverte.

Composition

L'analyse chimique donne 33,3% de CaO, 0,3% de MnO, 0,7% de MgO, 18,3% de V₂O₃, 5,4% de Fe₂O₃, 4,9% d'Al₂O₃, et 36,6% de SiO₂.

Propriétés

dureté non mesurée

densité de 3,737 à 3,91

Dimension de la maille, 12,011 Å ;

isotrope ; indice de réfraction de 1,821 à 1,855 ;

biréfringence nulle ou très, très faible.

Couleur vert jaune à vert, vert - brun.

Gisement

Très rare, on ne l'a encore extraite que de gisements d'uranium et de vanadium de la région d'Albuquerque aux Etats-Unis, où elle fut découverte en 1963.

Nouveau gisement en Slovaquie, souvent associée à la pyrite.

variété « Yamatoïte »

Grenat hypothétique, dont le nom n'est pas reconnu par la commission internationale et qui serait une goldmanite dans laquelle le manganèse l'emporterait sur le calcium.



**Photo 35 : Goldmanite et pyrite
Rybníček, Pezinok, Malé Karpaty Mts, Bratislava Region, Slovakia, 2 mm et 8 mm**

SCHORLOMITE



Etymologie

A cause de sa couleur noire

Composition

Il s'agit d'une andradite, contenant 17% au moins de titane
Le titane vient en substitution du Fe .

Propriétés

dureté d'environ 6,5.
densité de 3,8 ;
indice de réfraction d'environ 1,86 à 2,01 ;
biréfringence nulle ou très faible ;
Isotrope ;
Couleur brune tendant vers le noir.

Ses cristaux, en rhomboèdre ou en trapézoèdre présentent éventuellement sur leurs faces des striures suivant plusieurs directions incompatibles avec une structure cubique normale.

Gisement

provient de Pologne (Podzamek),
d'ex-U.R.S.S. (Kovdor), des Etats-Unis.



Photo 36: Schorlomite, Tamazeght, Maroc

**Photo 37: Kimzeyite, magnetite et baddeleyite
Magnet Cove, Arkansas**

KIMZEYITE



Etymologie

nommée en l'honneur de la famille Kimzey qui pendant des générations a facilité les travaux et les études sur le célèbre site minier de Magnet Cove (Arkansas, U.S.A.).

Composition

L'analyse a donné 29,8% de CaO, 29,9% de ZrO₂, 5% de Ti₂O₃, 0,5% de MgO, 0,8% de FeO, 1% de Nb₂O₅, 11% d'Al₂O₃, 13,4% de Fe₂O₃, 9,6% de SiO₂.

Le titane remplace le zirconium ; le fer (Fe³⁺) et l'aluminium remplace le silicium.

Propriétés

Densité 4

Dureté 7 environ

indice de réfraction de 1,94

isotrope

possède souvent une microstructure pœcilitique c'est-à-dire contenant de nombreux petits cristaux d'autres minéraux ; insoluble dans les acides.

Couleur brun jaune à brun foncé.

il se présente en cristaux combinant les faces du rhombododécaèdre et du trapézoèdre avec $a = 12,46 \text{ \AA}$,

Gisement

Découverte dans une carbonatite, décrite en 1961, et Appelée « grenat-zircon » à cause de sa teneur notable en zirconium

aussi connu dans la schorlomite de Magnet Cove et dans la « mélanite » du Kaiserstuhl.

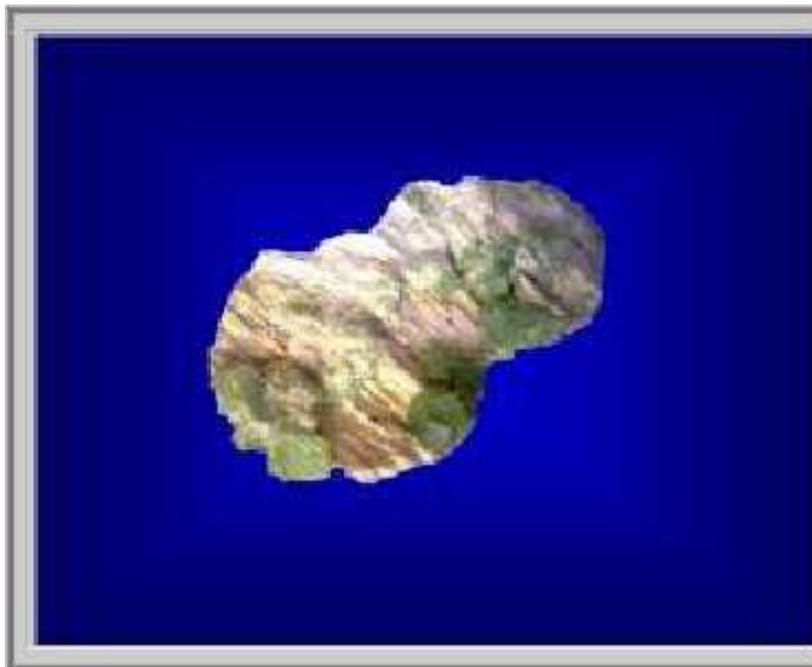


Photo 38 : Tsavorite, Afghanistan



Photo 39 : Tsavorite, Tsavo, Kenya

TSAVORITE



Etymologie

Nom donné en raison du site de Tsavo au Kenya

Composition

Elle est composée de 36,50 à 40,48% de SiO₂, de 34,50 à 36,60% de CaO, de 20,50 à 22,50% d'Al₂O₃, avec des traces de vanadium, de chrome, de manganèse, de magnésium, de titane, de fer, de nickel...

Des études plus poussées permettent de dire que les composants extrêmes, miscibles entre eux et à l'origine de la solution solide sont le grossulaire (93,5 à 97%), la spessartite (2,9%) et le pyrope (2,4%).

Propriétés

densité : 3,50 à 3,64.

Son indice de réfraction varie avec la couleur, passant de 1,732 pour les teintes les plus claires, à 1,742 pour les plus colorées ;

Gisement

Un géologue écossais, Campbell R. Bridges, prospectait, en 1967, les montagnes de Leiatema, près de Komolo, au nord-ouest de la Tanzanie, quand il mit à jour, dans des gneiss graphiteux, à proximité de calcaires cristallins, des sortes de grumeaux au centre desquels scintillaient de magnifiques grains verts entourés d'une pellicule d'altération, mélange d'épidote et de scapolite ; il venait de découvrir les premiers grossulaires d'une couleur verte très soutenue, de qualité gemme.

Gemmologie-Collection

Suite aux recherches intensives entreprises, le Kilimandjaro (5 895 m) devient une nouvelle fois source de pierres fines (on y avait découvert la tanzanite). À la fin de 1971, cinq riches gisements sont mis à jour au Kenya, près des limites du parc de Tsavo, le plus gros échantillon dégagé accusant 32 carats. En août 1973, c'est le gisement de Lualenyi, dans les monts Mgama, toujours au Kenya, qui est reconnu dans une zone métamorphisée de silicates calciques avec graphite ; ces terrains sont datés du Précambrien.

Les bijoutiers new-yorkais Tiffany & C°, qui finançaient les recherches, baptisèrent ce grossulaire « tsavorite », et bien que la Société allemande de minéralogie eût préféré « tsavolite », le premier nom s'est imposé. D'autres gîtes exploités en Tanzanie, dans la région de Komolo, ont fourni des pierres de 10 à 15 carats qui sont apparues à la bourse de Tucson en 1988.

Notons qu'en Australie occidentale, la « tsavorite » a été signalée dans les Eastern Goldfields, mais en cristaux peu colorés et trop petits pour être taillés. Sa couleur, très vive, va du vert clair, presque incolore, au vert émeraude intense, la plus recherchée. Ne contenant que peu d'inclusions elle est taillable sans avoir à être retouchée.

C. R. Bridges avait trouvé une pierre de 7 carats, qui, taillée, mesurait encore 2,17 carats ; un collectionneur américain lui en offrit 20000 \$. Mais ce prix n'est valable que pour des pièces exceptionnelles, de 2 ou 3 carats, les autres étant moins appréciées.

En 1990, la production fut d'environ 1500 carats de pierres brutes, soit 375 carats de pierres travaillées.

3. GROUPE HYDROGRENAT

Le terme s'applique à différents types de grenats dans lesquels fut mis en évidence, à l'intérieur des tétraèdres ZO_4 , un taux élevé de remplacement du silicium par de l'eau, les deux « hydrogrenats » les plus communs se nommant « l'hydrogrossulaire » et « l'hydroandradite ».

Leur formule générale s'écrit : $X_3Y_2(ZO_4)_{3-m}(OH)_{4m}$

Leur densité et leur dureté apparaissent plus faibles que celles de leurs homologues silicates anhydres.

HYDROGROSSULAIRE

D'après la nomenclature internationale, « hydrogrossulaire » est un nom de groupe pour les grenats hydratés de la série hibschite $Ca_3Al_2(SiO_4)_{3-m}(OH)_{4m}$ (avec $m = 0,2$ à $1,5$) — katoïte $Ca_3Al_2(SiO_4)_{3-m}(OH)_{4m}$ (avec $m = 1,5$ à 3).

« L'hydrogrossulaire » de formule $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6(H_2O)$ est d'une grande rareté dans la nature mais c'est un constituant fréquent des ciments alumineux hydratés (ciments blancs à prise rapide). Il existe en fait une série continue depuis le grossulaire, la hibschite étant un terme médian de cette série. Les « hydrogrossulaires » naturels, rarement développés en cristaux de dimensions supérieure au millimètre, représentent toujours, en fait, des solutions solides entre la hibschite et « l'hydrogrossulaire ».

Le terme « hydrogrossulaire » reste applicable, en tant que nom de groupe, désignant tous les membres de la série contenant d'une manière appréciable (OH) , mais avec un rapport $SiO_4/(OH)_4$, non spécifié.

Ce minéral massif, dense, opaque, de couleur verte, ressemble au jade d'où ses anciens noms de « jade du Transvaal », « grenat-jade » (appellations interdites).

Il est moins résistant que le grossulaire et lentement soluble dans l'acide chlorhydrique ou nitrique.



Photo 40: Katoïte sur Azurite

**Photo 41: Hydrogrossulaire sur grossulaire
Asbestos, Québec**

HIBSCHITE



Etymologie

Nom introduit par F. Cornu en 1906 pour désigner un nouveau silicate de faible densité et qui se déshydrate au chauffage.

Propriétés

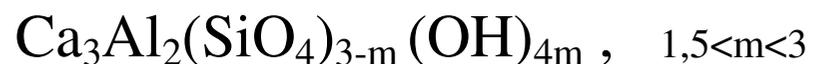
Dureté de 6 à 6,5
densité de 3,00 à 3,30
indice de réfraction de 1,675 à 1,734
parfois fluorescence en orangé (U.v. courts)
infusible.

Elle se présente sous forme d'octaèdres réguliers.
incolore, et souvent trouble
parfois légèrement biréfringente ;

Gisements :

Fut découvert dans une phonolite, à Marianská Hora (Marienberg), en Bohême.
On en a aussi récolté près d'Aubenas (Ardèche, France).

KATOITE



Etymologie

Décrite en 1977 par Passaglia et Galli qui l'ont baptisée en l'honneur d'Akira Kato, du musée des Sciences de Tokyo, membre influent de l'Association internationale de minéralogie.

Propriétés

Système cubique avec $a = 12,358 \text{ \AA}$.

Gisements :

Elle a été dégagée dans une carrière, à Campomorto, près de Montalto-di-Castro (Viterbo, Italie), d'une phonolite intrusive mise en place au Pliocène et recoupant des marnes argileuses.

REFERENCES

- (1) Jean Christian GOUJOU, Gérard GUITARD et Christian BERBAIN , Le Règne Minéral n°32 :Le massif de costabonne 2464 m (Pyrénées Orientales), p12-30
- (2) Jean Christian GOUJOU, Le Règne Minéral n°30:Le massif de costabonne 2464 m (Pyrénées Orientales), p4-16
- (3) Jean Christian GOUJOU, Voyage dans les profondeurs, avec les minéraux du métamorphisme, Le Règne minéral n°36, p5-19.
- (4) Hubert PELISSIER : Réflexions sur la Métallogénie, Les ouvrages de l'industrie minière
- (5) J. KOURIMSKI, Encyclopédie des Minéraux, GRUND
- (6) Le Grand Atlas des Pierres et Minéraux, Editions Atlas
- (7) R. PIERROT, L. CHAURIS, C. LAFORET et F. PILLARD, Inventaire minéralogique de la France , Morbihan, Editions du BRGM
- (8) C. POMEROL, Y. LAGABRIELLE, M. RENARD, Eléments de géologie, MASSON Sciences, DUNOD
- (9) R. DUDA et L. REJI, La grande encyclopédie des Minéraux, GRUND
- (10) C. NICOLLET, cours de métamorphisme :
<http://christian.nicollet.free.fr/page/enseignement/licencemetam.html>
- (11) Micaschistes à grenat de l'Hermitain
http://www.ac-poitiers.fr/svt/res_loc/Geol/Fiches/79-Fiches/79-hermitain.htm
- (12) Structure 3D des minéraux
<http://www.ill.fr/dif/3D-crystals/minerals.html>
- (13) C. NICOLLET, cours de métamorphisme, Les roches métamorphiques : témoins de l'évolution de la lithosphère dans le temps et dans l'espace
<http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/lmv/cursus/licenceST/metam.html>
- (14) P. DEZES, Géologie du Cachemire, La zone de cisaillement du Zanskar : un exemple d'extension syn-orogénique dans l'Himalaya du Nord-Ouest
http://compl.geol.unibas.ch/~zanskar/Abstract_Fr/GEOLOGIE.html
- (15) Les Roches métamorphiques – Glossaires
http://www.univ.lille1.fr/geosciences/cours/cours_mineralo/courds_mineralo_10.html
- (16) Les roches ignées
<http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s2/r.ign.html>
- (17) Les minéraux du métamorphisme
<http://les.mineraux.free.fr/metamorphisme.htm>
- (18) C. BRUNET , Un témoignage des profondeurs terrestres, cosinus, sept 2000, n°9, p2
- (19) A.A. SNELLING, Regional Metamorphism within a creationist framework : what garnet compositions reveal, 3rd Internatiojnal Conference on creationism, Pittsburgh, PA, 18-23/07/1994
<http://www.icr.org/research/as/regionalmetamorphism.html>
- (20) Ste Marie de campan – Arbizon, Monde des minéraux
- (21) C. BAILLARGEAT, Un gisement de grenats en Autriche, La Granatenkogl, Monde des minéraux
- (22) Influence de l'Evolution Granulométrique des Abrasifs sur l'Enlèvement de Matière lors de la Découpe par Jet d'Eau Abrasif
thèse soutenue le 14 décembre 2001 à 14h00
- (23) University of colorado, Mineral structure data, garnet,
<http://ruby.colorado.edu/~smyth/min/garnet.html>