GEMMOLOGIE

GRENATS – UNE FAMILLE DE GEMMES MULTICOLORES

Dr Henry A. Hänni
Fondation suisse pour l'étude des pierres précieuses (SSEF), Zurich

La famille des grenats surprend par sa grande variance des couleurs et un spectre très large des données gemmologiques, de la densité et de l'indice de réfraction. Ce travail a pour but de présenter les différents types de grenats, l'accent portant sur leurs propriétés communes et individuelles.

Les grenats parfaitement purs (grenat idéal)

Chaque minéral est caractérisé par sa structure cristalline (structure atomique) et sa composition chimique (composition atomique). Les éléments constitutifs sont les ions, qui sont des atomes chargés positivement ou négativement et qui occupent les différentes places dans le réseau cristallin. Durant la cristallisation, les ions s'ordonnent de façon à former la structure de grenat qui présente ainsi une symmétrie cubique. Bien que tous les grenats présentent la même structure cristalline, celle-ci peut être constituée de différents atomes pourtant similaires. Ceci explique la grande variance des grenats. Des grenats naturels ont été analysés, cherchant à cerner les différents éléments constitutifs ainsi que les rapports quantitatifs. Les résultats de ces analyses sont exprimés et résumés sous forme d'une formule chimique. Cette dernière reflète le nombre d'éléments chimiques présents (en tant qu'ions individuels) dans le cristal ainsi que leurs quantités relatives. Celles-ci sont exprimées par le petit chiffre (indice) situé en bas à droite de l'élément (symbolisé) considéré. Les compositions suivantes (situées en fin de séries, donc chimiquement pures) revêtent une importance considérable dans la description des gemmes de grenats:

Les principaux types de grenats (pôles purs)

Pyrope	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$	(incolore)
Almandin	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$	(rouge très foncé)
Spessartine	$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$	(jaune-orange)
Grossulaire	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	(incolore)
Andradite	$Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$	(jaune-vert)
Ouwarowite	$Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$	(vert-noir)

Ces différents types, chimiquement purs, existent seulement sous forme de cristaux synthétiques; les cristaux naturels sont impurs et représentent le plus souvent des transitions entre les principaux types cités plus haut. On peut diviser les grenats en deux groupes chimiques distincts; ceux-ci sont désignés par les premières lettres de chaque minéral affilié. Ainsi le groupe Pyralspite est constitué des grenats (riches en aluminium) pyrope, almandin et spessartine. Le groupe Ugrandite est formé des grenats (riches en calcium) ouwarowite, grossulaire et andradite. Le grossulaire est un grenat riche en Ca et en Al, possédant ainsi les propriétés des deux groupes.
Si l'on cherche à établir les points communs entre les différents types de grenats, on remarque en plus d'une structure cristalline uniforme une «parenté» chimique des ions constitutifs. Toutes les formules contiennent:

- 3 ions divalents (p. ex. Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca^{2+})
- 2 ions trivalents (p. ex. Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+})
- 3 groupes constitutifs SiO_4 (ou Si_3O_{12})

En plus des variétés citées précédemment, d'autres types de grenats sont facilement imaginables: en effet, il existe encore d'autres éléments capables de s'intégrer dans la formule chimique générale des grenats. Ainsi a-t-on synthétisé **Knorringite** ($Mg_3Cr_2Si_3O_{12}$) et **Goldmanite** ($Ca_3V_2Si_3O_{12}$). En outre, des grenats exempts de silicate sont préparés synthétiquement et utilisés dans la substitution des diamants. Par exemple: YAG ($Y_3Al_2Al_3O_{12}$) et GGG ($Gd_3Ga_2Ga_3O_{12}$).
Un cristal visible à l'œil nu contient la formule minéralogique des milliards de fois. La plus petite quantité de grenat possible est constituée d'une **seule** unité de formule; elle est appelée molécule. Un cristal de grandeur considérable est ainsi constitué de milliards de molécules de grenat. Etant donné une composition chimique propre à chaque type de grenat, celui-ci possède des valeurs physiques caractéristiques:

Propriétés physiques des grenats parfaitement purs

	Dureté	Densité	Indice de réfraction
Pyrope	7¼	3,58 g/cm³	1,714
Almandin	7½	4,32	1,830
Spessartine	7¼	4,19	1,800
Grossulaire	7½	3,59	1,734
Andradite	7½	3,86	1,887
Ouwarowite	7½	3,85	1,865

La formation des cristaux mixtes

Aux grenats décrits plus haut correspond une composition chimique idéale et théorique, qu'on ne rencontre que très rarement dans la nature. Les grenats naturels sont généralement des «mixtures» de pôles purs. Durant la cristallisation des grenats dans la nature, différents ions bivalents et trivalents sont à disposition. Par exemple, un grenat naturel incorporera Mg^{2+} et Fe^{2+} simultanément. Des molécules de pyrope et d'almandin sont créées parallèlement. Il se forme ce que l'on appelle un «cristal mixte», dont la composition chimique se situe entre les deux pôles purs correspondants. **Pyrope et almandin sont** (pour chaque rapport) **miscibles entre eux. Ils constituent une série de**

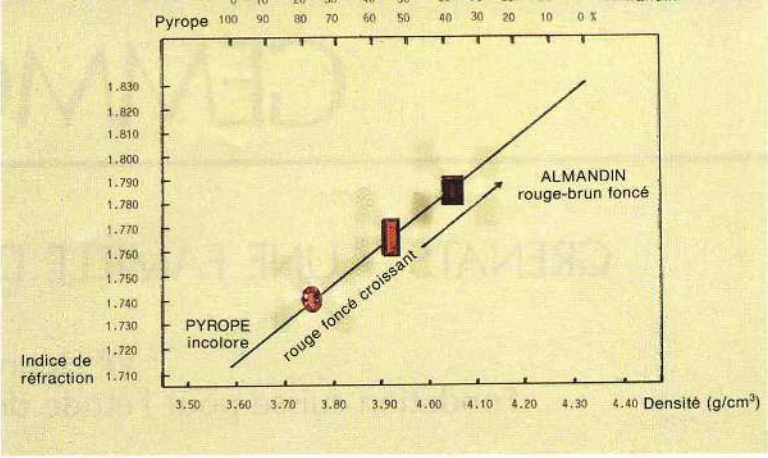
cristaux mixtes. La fig. 1 montre la relation entre l'indice de réfraction, la densité et les rapports de mélange entre pyrope et almandin. Les valeurs obtenues pour les cristaux mixtes se situent entre les valeurs extrémales des pôles purs correspondants. Le cristal mixte, dans le cas décrit plus haut, n'est constitué que de deux composantes, c'est-à-dire des molécules de pyrope et d'almandin. La plupart des grenats naturels sont des cristaux mixtes, constitués de deux ou plusieurs pôles purs (rapport variable). Les cristaux mixtes sont en général, du point de vue optique, homogènes; on peut les comparer à des solutions solidifiées. Dans le cristal situé au milieu de la figure 1, 40% de molécules d'almandin sont «dissoutes» dans 60% de pyrope. Certains grenats présentent une miscibilité limitée avec d'autres types de grenats. On a constaté que les grenats du groupe pyralspite possédaient une miscibilité importante. De même, les grenats du groupe ugrandite sont facilement miscibles entre eux. Par contre, il est extrêmement rare d'observer des mixtures de grenats appartenant aux deux groupes. Les intervalles, où figurent des rapports de mélange inexistants dans la nature, sont appelés «lacunes de miscibilité». La figure 2 montre la tentative d'une représentation des possibilités de mixtures entre les plus importants types de grenats. La longueur de chaque flèche renseigne sur le taux de miscibilité. Les mélanges de grenats composés de trois ou plusieurs pôles purs (comme on en trouve souvent dans la nature) ne peuvent pas être représentés de cette manière.

Gemmes de grenats réels

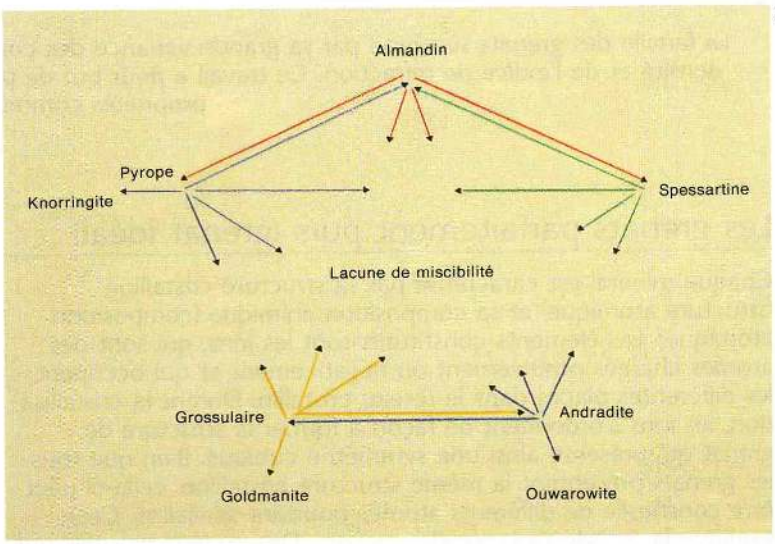
Ci-après différents types de grenats sont présentés et examinés en détail. Le principe de miscibilité entre deux compositions chimiques possédant la même structure cristalline a pour conséquence une grande multiplicité des cristaux mixtes. Leur couleur, leur indice de réfraction et leur densité sont également influencés par les propriétés des pôles purs. Le type de grenat formé durant la cristallisation dépend du matériau qui est à disposition, de facteurs géologiques locaux et de facteurs physicochimiques. A la dénomination correcte des grenats individuels précèdent souvent des analyses chimiques non destructives, dont les résultats ont permis de fournir des données quantitatives sur les grenats des pôles purs.

Grenats pyrope-almandin

Les grenats les plus répandus sont des pierres rouges de la série des cristaux mixtes pyrope-almandin (fig. 3). Si le pyrope incolore contient 10–40% de composante almandin, il devient d'un rouge très plaisant. Des taux d'almandin plus élevés rendent les grenats trop foncés; en effet, l'almandin pur est de couleur rouge très foncé. **Rhodolite** est une variété de pyrope-almandin (violet-rouge clair) contenant 10–25% d'almandin. Quelques pour-cents de



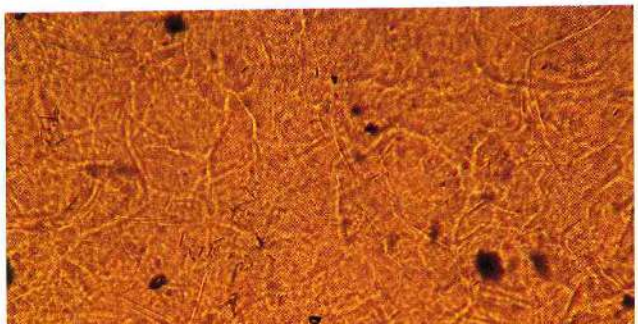
1



2

3

4



5

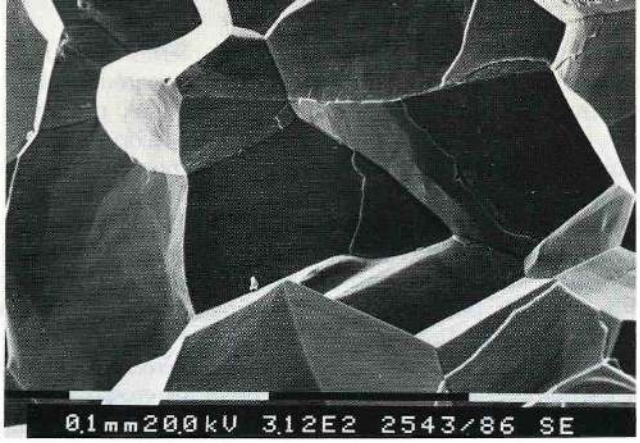
Fig. 1 La densité et l'indice de réfraction dépendent des proportions de mélange dans la série de cristaux mixtes pyrope-almandin.

Fig. 2 Figure représentant la miscibilité dans les groupes pyralspite et ugrandite, entre lesquels existe une lacune de miscibilité prononcée.

Fig. 3 Grenats de la série de cristaux mixtes pyrope-almandin. La pierre ovale située au milieu représente la variété colorée Rhodolite.

Fig. 4 Les couleurs des grossulaires (à gauche), des grossularites (derrière) et des hessonites (à droite) sont dues à la présence d'autres variétés de grenats. Les pierres vertes sont des tsavolites (grossulaires contenant du vanadium, respectivement du chrome).

Fig. 5 L'hessonite, vue au microscope (lumière transmise), présente une structure en tourbillon; celle-ci est due à la structure granuleuse de la pierre.



6

7

8

9

10

molécules d'almandin suffisent déjà à créer des effets de coloration. C'est pourquoi les spectres d'absorption de rhodolites claires présentent des bandes d'almandin à 575, 527 et 505 nm. Le pyrope, qui est incolore à l'état pur, peut être coloré par des grenats (idiochromatiques) autres que l'almandin. Les variétés idiochromatiques spessartine (jaune) et knorringite (rouge) sont miscibles avec le pyrope. Le **chromopyrope** rouge sang contient une petite part de molécules de knorringite ($Mg_3Cr_2Si_3O_{12}$). Certains grenats, composés essentiellement de mélanges pyrope-almandin, contiennent encore un petit pourcentage de grossulaire et de spessartine ou bien quelques molécules d'andradite, les deux derniers pôles pouvant influencer la couleur.

Grossulaires et grossularites

Le **grossulaire** est incolore à l'état pur, mais l'adjonction de grenats idiochromatiques crée des cristaux de mixture à coloration étrangère (allochromatique), les couleurs étant rouge, vert et brun (fig. 4). Les molécules d'almandin, d'andradite, d'ouwarowite et de goldmanite sont surtout responsables des effets de coloration. Des parts minimes de grenats ferrugineux (almandin et andradite) créent (étant souvent en combinaison) des colorations rouges, oranges et brunes. Les **Hessonites** sont des représentants de cette variété de grossulaires. Leur particularité optique est une structure granuleuse, qui ressemble sous le microscope à des tourbillons. Elle est due à la structure polycristalline de l'hessonite (fig. 5 + 6). Par conséquent, les hessonites ne sont pas des cristaux individuels, mais des agrégats polycristallins comme on en trouve chez certains grossulaires. **Grossularite** est la dénomination correcte pour cette forme. Les grossulaires verts peuvent également posséder une structure polycristalline; les grossularites vertes (resp. hydrogrossularites) sont appelées «jade du Transvaal». De nombreuses grossularites ne sont pas construites qu'avec des grains de grossulaire, mais aussi avec d'autres minéraux tels que la vésuvianite ou la chromite. Etant donné l'association de ces divers minéraux, les grossularites sont qualifiées de roches véritables. Ainsi peut-on observer des variations allant du grossulaire à cristal individuel à la roche riche en grossulaire; les densités correspondantes peuvent fortement différer de celle du grossulaire pur. Actuellement, les grossulaires les plus signifiants sont les **Tsavolites** (vert), qu'on trouve principalement dans le parc national de Tsavo au Kenya. Leur couleur est attribuée aux éléments vanadium et/ou chrome. Ces éléments sont logés dans les molécules de goldmanite ($Ca_3V_2Si_3O_{12}$) ou d'ouwarowite ($Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$). Tous deux produisent une coloration verte émeraude. Toutefois, ce sont les molécules riches en vanadium qui prédominent la plupart du temps.

Fig. 6 Prise de vue au microscope à balayage d'une surface de cassure de l'hessonite (longueur du gros trait noir 0,1 mm). La structure granuleuse et polycristalline est facilement reconnaissable. Cette pierre brute jaune provient d'Afrique de l'Est.

Fig. 7 Spessartines et grenats riches en spessartine; prise de vue dans la lumière d'une lampe à incandescence. Les pierres situées dans la première rangée possèdent une petite teneur en vanadium.

Fig. 8 Mêmes pierres que celles de la figure 6, mais vues dans la lumière (bleuâtre) d'une lampe à tube. Les pierres de la première rangée présentent ici une couleur analogue à celle de l'alexandrite.

Fig. 9 Grenats de la vallée d'Umba (Tanzanie). Les rapports de leurs principales composantes (pyrope, almandin et spessartine) sont variables. Dans le commerce, on les appelle souvent grenats Malaia ou umbalites.

Fig. 10 Démantoïde provenant de l'Oural (URSS). Une coloration verte due à une petite part d'ouwarowite est ici supposée à la couleur caractéristique de l'andralite. Les fibres de byssolite, typiques pour la provenance d'URSS, sont facilement reconnaissables.

La spessartine et les grenats riches en spessartine

La **spessartine** jaune et pure, de grandeur intéressante pour le tailleur de pierres précieuses n'existe que très rarement dans la nature. Un gisement en Californie fournit des pierres de couleur jaune orange avec une teneur en spessartine de 90%. La plupart du temps, on trouve des spessartines riches en almandin, ce dernier provoquant une coloration allant de l'orange foncé au rouge-brun. Les spessartines riches en almandin ne peuvent pas être différenciées des almandins riches en pyrope par le seul moyen des indices de réfraction et des densités respectives. Une analyse au spectroscope s'avère nécessaire pour déterminer des taux de spessartine relativement élevés par les bandes d'absorption se situant à 432, 424 et 412 nm. Les lignes (plus faibles) situées à 573, 520, 504 et 480 nm deviennent aussi visibles chez les pierres avec un taux de spessartine très élevé. Les deux pierres placées tout à gauche de la figure 7 sont les spessartines les plus pures: l'une (pierre brute) provient des Taita Hills au Kenya, l'autre (pierre de taille octogonale) provient de Ramona, Californie (USA).
La spessartine forme souvent des cristaux mixtes avec le pyrope, l'almandin et le grossulaire. Un phénomène particulier peut être observé en de rares occasions lorsque les cristaux mixtes spessartine-pyrope contiennent du vanadium. Dans la lumière du jour (riche en bleu), ils apparaissent bleu-vert ou vert olive; dans la lumière d'une lampe à incandescence (riche en rouge), ils sont de couleur violette ou brun-rouge. Ils présentent ainsi un changement de couleur à la manière de l'alexandrite. Quelques exemples des pierres décrites sont présentés dans la figure 8.

Les cristaux mixtes du groupe pyralspite

Des grenats mixtes d'une variété gemmifère importante (groupe pyralspite avec une part minime de grossulaire) proviennent de la vallée d'Umba, Tanzanie. Les cristaux mixtes de couleur orange à rouge-brun sont principalement composés de pyrope (40–70%) et de spessartine jaune (15–40%). Un taux mineur d'almandin (5–20%) produit une coloration rouge. Ces grenats du groupe pyralspite sont connus dans le commerce sous les noms de «grenats Malaia» ou «umbalites» (fig. 9).

Andradite et démantoïde

L'**Andradite** pure est idiochromatiquement jaune-vert et présente une dispersion marquée, lui conférant le nom de **Démantoïde** (diamantoïde). Des démantoïdes de qualité de gemmes ont été mises au jour au début de ce siècle dans une mine de l'Oural. Celle-ci est épuisée depuis longtemps et les démantoïdes russes sont très prisées des collectionneurs. La dispersion est, dans quelques-unes de ces gemmes, superposée d'une coloration verte émeraude. Cette coloration allochromatique provient d'une teneur minime de chrome respectivement de la composante ouwarowite (fig. 10). Les andradites d'autres localités sont plutôt jaunes et sont généralement appelées «Topazolites».

Conclusions

Les grenats forment un groupe de minéraux fascinant, qui nous offre des gemmes d'apparences très variées. Des cristaux individuels transparents de toutes les couleurs (à l'exception d'un bleu pur) sont trouvés et facettés. La plupart de ces couleurs proviennent de mélanges naturels de différents types de grenats durant la cristallisation. Les nombreuses possibilités de combinaison des différentes variétés colorées ou incolores forment une large palette de couleurs. Des agrégats polycristallins (forme massive) et des pierres avec un astérisme potentiel peuvent être utilisés comme matériel cabochon. Un cristal mixte andradite-almandin du Nevada (USA) présente même un magnifique jeu de couleurs aux reflets d'opale. Vu le très grand nombre de variétés possibles, des problèmes de nomenclature peuvent se produire. Etant donné que la couleur constitue une des principales caractéristiques de nombreuses pierres précieuses, beaucoup d'appellations désignent des variétés à couleurs bien définies (rhodolite, tsavolite). Les éléments chimiques, qui provoquent les différentes couleurs, peuvent aussi colorer différents types de grenats de la même manière. Ainsi peut-on trouver des gemmes de même couleur, mais de composition minéralogique différente. Les grossulaires et les démantoïdes riches en chrome et les grossulaires riches en vanadium illustrent parfaitement cet état de choses. La dénomination correcte des grenats en tant que cristaux mixtes exige dans certains cas une analyse chimique non destructive très élaborée pour la détermination des composantes finales. La **nomenclature** des grenats basée sur ces méthodes est du point de vue minéralogique correcte et en accord avec les résultats obtenus **au moyen des techniques gemmologiques de mesure** de l'indice de réfraction et de la densité. Un flot de noms de localités et de désignations peut parfois prêter à confusion et l'amateur de gemmologie peut y perdre son latin. Dans le cas des grenats malaia de couleur orange clair (resp. umbalites), composés de 45% de pyrope, 35% de spessartine, 11% d'almandin et 9% de grossulaire, la désignation de grenats «pyralspite» ou le nom de «pyrope riche en spessartine» sont tous deux corrects. Malheureusement, ces deux termes ne nous fournissent aucune indication sur la couleur; aussi, un complément d'information tel que le nom de la couleur serait certainement bienvenu. La désignation la plus simple mais correcte serait «grenat de couleur orange»; mais cette désignation inclut également la spessartine et l'hessonite de même couleur. Une classification des grenats tenant compte des déterminations faites au moyen d'instruments gemmologiques a été récemment proposée par STOCKTON, C.M. et MANSON, D.V. (1985). Ce procédé permet un système de désignation rationnel pour la classification des grenats.

Remerciements

Je remercie le Prof. H. Schwander (Institut de minéralogie, Université de Bâle, Suisse) pour son aide et son soutien dans les analyses de nombreux échantillons de grenats; M. W. Spaltenstein, Bangkok, pour m'avoir procuré des matériaux en provenance d'Afrique de l'Est, et mon collègue G. Bosshart, dipl. Min. ETH, SSEF Zurich, pour son examen critique du manuscrit.

Littérature (recommandée)

Akizuki, M., Nakai, H., Suzuki, T. (1984): The origin of iridescence in grandite garnet. – Am. Mineral. **69**, 896–901.
Gübelin, E. (1981): Einschlüsse im Granat aus dem Umba-Tal. – Z. Dt. Gemmol. Ges. **30**, 182–194.
Gübelin, E.J., Koivula, J.I. (1986): Bildatlas der Einschlüsse in Edelsteinen. – ABC-Verlag, Zürich.
Jobbins, E.A., Saul, J.M., Statham, P.M., Joung, B.R. (1978): Studies of a gem garnet suite from Umba River, Tanzania. – J. Gemm. **16**, 161–171.
Meagher, E.P. (1980): Silicate Garnet – in «Reviews in Mineralogy», Vol. 5, Orthosilicates. Min. Soc. Am.
Schmetzer, K., Bank, H. (1981): Garnets from Umba Valley, Tanzania: Is there a necessity for a new variety name? J. Gemmol. XVII, 522–527.
Stockton, C.M., Manson, D.V. (1985): A proposed new classification for gem-quality garnets. – Gems & Gemmology, Winter, 205–218.