

ASTÉRISME INHABITUEL SUR UN BRUT DE GRENAT SPESSARTITE/ALMANDIN DU BRÉSIL

Jean-Pierre Gauthier¹, Marine Bouvier², Nicolas Stephant³, Jacques Fereire¹

n° DOI: doi.org/10.63000/G7jpgV126ag3al

Abstract

UNUSUAL ASTERISM IN A ROUGH SPESSARTINE / ALMANDINE GARNET FROM BRAZIL - A rough of spessartine/almandine garnet displays an optical effect analogous to a multi-asterism, formed by twelve stars with four coarse rays. However, the movement of the stars as the crystal rotates under a point light source is opposite to that observed on asteriated gem cabochons. Under the microscope, the sample displays a mosaic composed of numerous growth faces of the {110} and {211} type and striations parallel to the edges of the rhombododecahedron, the latter being responsible for the bright crosses observed in the twelve directions corresponding to the garnet two-fold axes.

Résumé

Un brut de grenat spessartite/almandin présente un effet optique analogue à un multi-astérisme, mais formé de douze étoiles grossières à 4 branches. Cependant, le mouvement des étoiles lors de la rotation du cristal sous une source de lumière ponctuelle est opposé à celui observé sur des cabochons de pierres astériées. Au microscope, l'échantillon présente une mosaïque composée de nombreuses faces de croissance de type {110} et {211} et des stries parallèles aux arêtes du rhombododécaèdre, ces dernières étant responsables des croix lumineuses observées dans les douze directions correspondant aux axes binaires du grenat.

¹ Centre de Recherches Gemmologiques, 44322 Nantes, France

² Gemm'Education, centre de formations professionnelles en gemmologie, 06200 Nice

³ Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN), Nantes Université, UMR 6502 CNRS, Nantes, 44322 France.

Image d'illustration de l'article : Aspect de la surface d'un grenat présentant un astérisme inhabituel.

Header image: Surface appearance of a garnet exhibiting an unusual asterism.

INTRODUCTION

Parmi les nombreuses variétés de grenats, certaines ont été signalées comme présentant le phénomène de chatoyance ou d'astérisme. Le démantôide est cité pour présenter un œil-de-chat (Benson, 1960 ; Kane, 1985 ; Liu Shang, 2010 ; Okada, 2018) ainsi que l'andradite (Payne, 1981 ; Ahline, 2020). Cependant, les éléments de symétrie de la structure cubique du grenat prédisposent à l'apparition d'astérisme, et même d'étoiles multiples à 4 ou 6 branches (multi-astérisme, selon le terme consacré) (Walcott, 1939). Ces étoiles sont générées par des ensembles d'inclusions parallèles orientées dans diverses directions, reliés entre eux par les éléments de la classe de symétrie cubique des grenats. Les variétés de grenats les plus sujettes à ces effets optiques appartiennent à la série pyrope-almandin (Schmetzer & Bernhardt, 2002), dont le rhodolite (Kammerling & Koivula, 1990). Chez ces grenats, l'astérisme est causé par des exsolutions aciculaires de rutile (Guinel & Norton, 2006 ; Schmetzer *et al.*, 2002 ; Hwang *et al.*, 2015), tandis que la chatoyance dans le démantôide est due à la byssolite selon Kane (1985), possiblement à la byssolite ou au chrysotile selon Douman & Dirlam (2004) ainsi que Liu Shang (2010), mais plus vraisemblablement au chrysotile seul (Peretti, 1996, communication personnelle citée par : Phillips & Talantsev, 1996 ; Bank *et al.*, 1996 ; Milisenda *et al.*, 2001).

Jusqu'à récemment, la spessartite n'était pas connue pour donner clairement un effet chatoyant ou astérié. Kammerling *et al.* (1995) signalent la présence de tubes et peut-être d'inclusions aciculaires de trémolite dans un œil-de-chat d'un grenat spessartite de Namibie. Récemment, un grenat spessartite étoilé de Tanzanie a été analysé (Bui *et al.*, 2020). L'astérisme observé était apparemment dû à la diffusion de la lumière sur les bords de cavités plates et minces à l'intérieur du cabochon. Peu de temps après cette étude, l'un d'entre nous (M.B.) a acquis un grenat spessartite/almandin présentant une sorte de

multi-astérisme inhabituel, dont la description fait l'objet de cet article.

DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON

Données préliminaires

L'échantillon est un brut de grenat provenant de la mine de Navegadora (Brésil). Brun foncé à la lumière du jour (Figure 1a), il apparaît rouge orangé sous une lumière froide intense (Figure 1b).

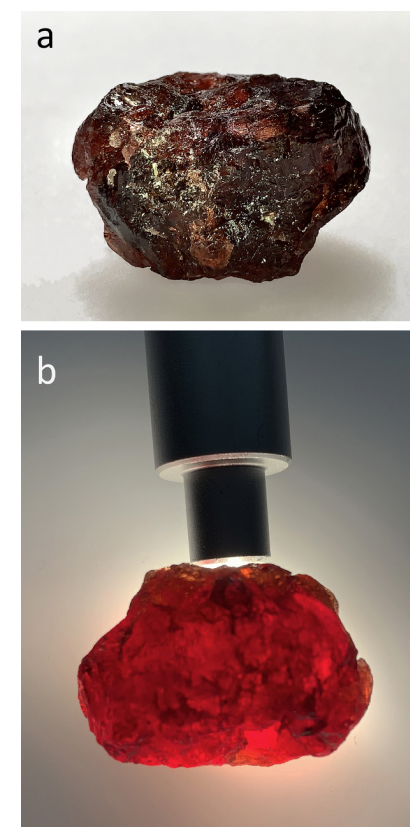


Figure 1 : Grenat brut de 100,75 ct apparaissant : a) brun foncé à la lumière du jour et b) rouge orangé sous un éclairage latéral intense en lumière froide. Photos : M. Bouvier.

Figure 1: 100.75 ct rough garnet appearing: a) dark brown in daylight and b) orange-red under intense lateral lighting under cold light. Photos: M. Bouvier.

Il mesure 30x17x19 mm et sa masse est de 25,2 g, avec une densité de 4,2. Il est facilement déplacé avec un aimant au néodyme, mais pas avec une ferrite. Observée à la loupe x10, la texture de la surface tourmentée consiste en un arrangement en mosaïque de faces lisses en forme de parallélogrammes, appartenant manifestement au dodécaèdre rhombique. Elles sont entourées de faces plus petites et allongées ou de très nombreuses stries, parallèles aux arêtes du dodécaèdre. Des échantillons similaires de la même mine (Navegadora) cités par White (2009) et Cook (2010) ou du Kenya (Medenbach *et al.*, 1978) présentent des caractéristiques de croissance externe similaires.

Analyse chimique

Une analyse a été réalisée avec un microscope JEOL JSM 5800LV muni d'un détecteur EDS SAMx SDD opérant à 15 kV sous une sonde électronique de 0,5nA. L'échantillon a été recouvert d'une couche de carbone pour le rendre conducteur. Elle a donné pour ce grenat une composition intermédiaire de 67% de spessartite et 33% d'almandin (Tableau A). Notons que cette précision n'intervient pas sur le phénomène optique qui, comme nous le verrons plus loin, n'est dû qu'à la structure de surface.

Le phénomène optique

La particularité de ce brut est d'afficher, lorsqu'il est éclairé par une source ponctuelle, une croix composée de deux larges bandes lumineuses (Figure 2). Lorsque la pierre tourne lentement dans une direction donnée, cette croix se déplace dans la même

SiO ₂	38,51
TiO ₂	0,00
Al ₂ O ₃	22,29
FeO	13,07
MnO	26,13
Somme	100,00

Tableau A : Résultat d'analyse du grenat par EDS.
Table A: EDS analysis results of the garnet.

direction. En faisant osciller l'échantillon dans toutes les directions, le centre de la croix se déplace sur toute la surface de la pierre. D'un bord à l'autre d'une face losange, le déplacement angulaire n'est que de quelques degrés. Cependant, lors de la rotation progressive de la pierre, chaque branche se prolonge sur la face adjacente, de sorte qu'il est possible de la suivre en continuité jusqu'à visualiser une nouvelle étoile à quatre branches.

L'aspect flou de la croix ne permet pas d'estimer précisément l'angle entre ses deux branches, mais elles ne se croisent pas à angle droit et semblent être perpendiculaires aux côtés des faces du rhombododécaèdre.

Bien que cet effet se produise sur un brut et non sur un cabochon, il s'apparente à de l'astérisme, puisque c'est un phénomène physique qui produit cet effet optique, et que ce ne sont pas de simples inclusions en étoile fixe, comme dans les gemmes trapiches, par exemple. Cet astérisme est plus spectaculaire sur un enregistrement vidéo, que l'on peut consulter sur le lien suivant :



Il est intéressant de noter que ce type de croix est observé dans de nombreuses positions différentes de la pierre. En raison de la forme de ce minéral, très éloignée du rhomboèdre idéal, il n'est pas facile de distinguer chaque croix, certaines étant réduites à un flash sur une partie étroite de l'échantillon. Néanmoins, nous avons observé douze croix ou flashes sur la surface du brut de grenat spessartite/almandin. Si l'on se réfère aux grenats astériés ayant douze étoiles à 4 rayons, il est évident que les croix actuelles correspondent aux six axes d'ordre 2 de la classe 4/m $\bar{3}$ 2/m du système cubique à laquelle appartient le grenat.

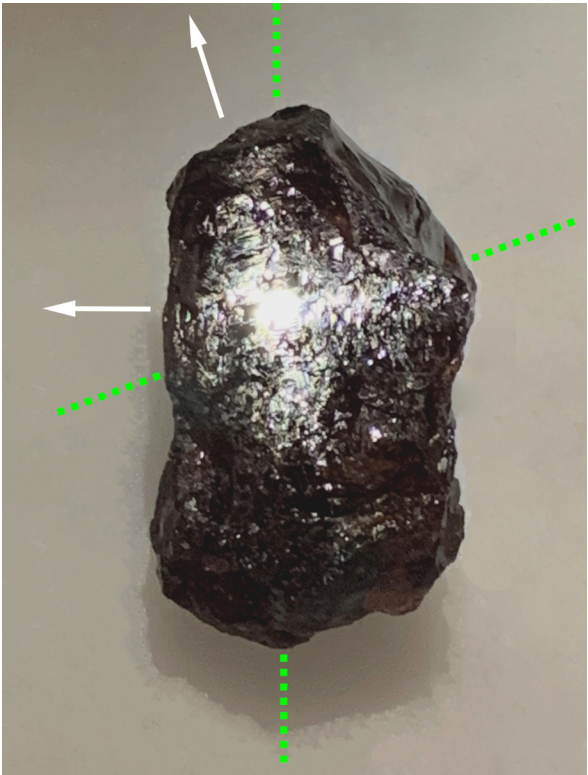


Figure 2 : Une croix lumineuse apparaît sur ce grenat lorsqu'un axe d'ordre 2 pointe vers la source et l'observateur (flèches). Les autres croix sont observées dans les directions des autres axes d'ordre 2. Les branches de la croix sont perpendiculaires aux axes d'ordre 3 (en pointillés). Photo : M. Bouvier.

Figure 2: A bright cross appears on this garnet when a two-fold axis points towards the source and the observer (arrows). The other crosses are observed in the directions of the other two-fold axes. The branches of the cross are perpendicular to the three-fold axes (dotted lines). Photo: M. Bouvier.

Aspect de surface au microscope binoculaire

Vu au microscope binoculaire (Leica S8 APO, jusqu'à x80), l'échantillon montre sur l'ensemble de sa surface de nombreuses figures de croissance. Les surfaces généralement les plus larges, visibles sur la Figure 3, correspondent aux faces losanges de type {110} du rhombododécaèdre, constituées ici de parallélogrammes ayant des angles aux sommets d'environ 70° et 110°. Ces faces sont perpendiculaires aux axes binaires d'ordre 2 du système cubique, leurs côtés étant parallèles aux axes



Figure 3 : Caractéristiques de surface observées au microscope binoculaire. Photo : M. Bouvier.
Figure 3: Surface features observed under a binocular microscope. Photo: M. Bouvier.

d'ordre 3 de type $\langle \bar{1}11 \rangle$ (Figure 4a). En suivant, à l'aide d'une platine goniométrique, la réflexion métallique sur ces deux types de faces, par rotation de l'échantillon autour de leur arête commune, il a pu être montré que ces faces allongées sont à 30° des faces du dodécaèdre. Ce sont donc des faces de type $\{211\}$ (Figure 4b), cet angle correspondant à leur inclinaison par rapport aux faces $\{110\}$.

À plus fort grossissement, les faces de croissance $\{110\}$ (Figure 5a) peuvent être en creux (trémies). Elles sont bordées par les faces $\{211\}$, illuminées sur la Figure 5b.

De larges zones très finement striées (Figure 6a), réparties sur tout l'échantillon, sont visibles dans toutes les directions parallèles aux axes ternaires. Cette striation, à comparer à celle décrite dans un

grenat andradite de Nara, Japon (Hainschwang & Notari, 2006), est constituée de micro-marches de croissance (ou de dissolution ?) très rapprochées, dont il n'est pas possible par cette seule observation de donner les indexations. L'étroitesse des marches entraîne probablement un phénomène de diffusion et même de diffraction de la lumière sur ces éléments linéaires, décelable ici par les irisations observées sur la Figure 6b. Nous verrons l'importance de ces stries dans l'interprétation du phénomène optique.

La texture mosaïque formée par la présence de faces $\{110\}$ et $\{211\}$ et de stries disséminées sur la surface de ce grenat de forme irrégulière a conduit certains auteurs à penser que ce type de texture pouvait comporter une étape de dissolution, même partielle (Morton *et al.*, 1989 ; White, 2009, 2016).

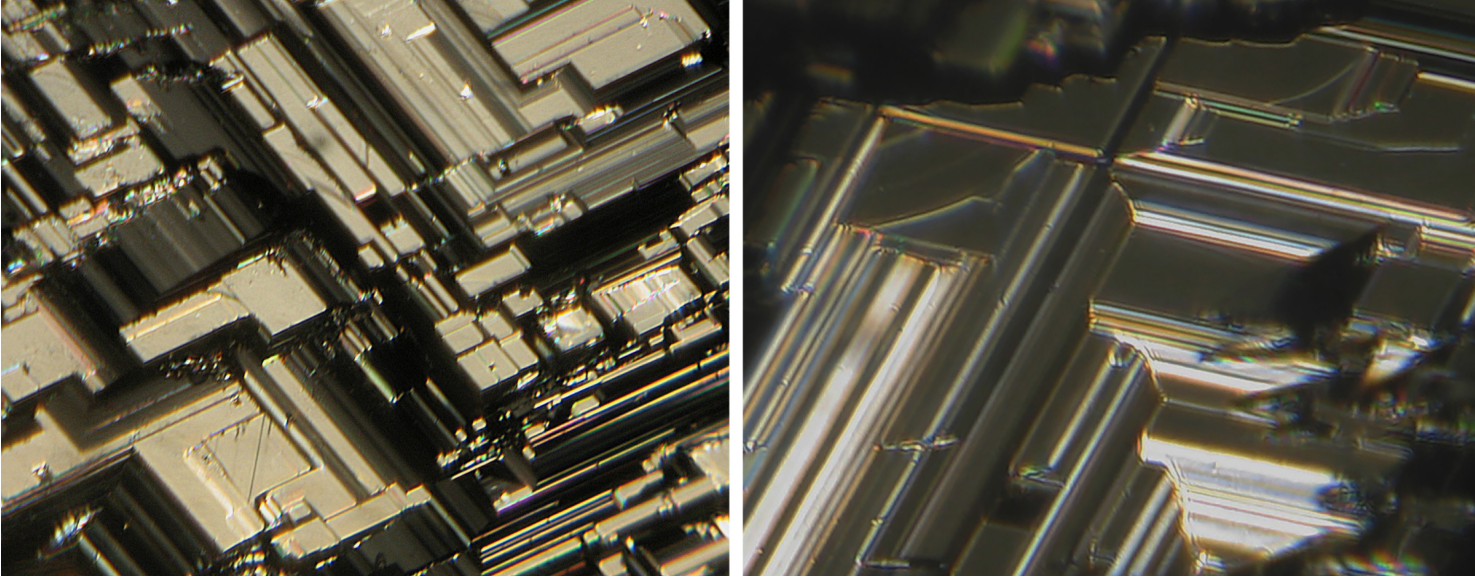


Figure 5 : a) Faces du rhombododécaèdre et b) éclairage de facettes étroites de type $\{211\}$. Photos : J.-P. Gauthier.
Figure 5: a) Faces of the rhombododecahedron and b) illumination of narrow facets of the $\{211\}$ type. Photos: J.-P. Gauthier.

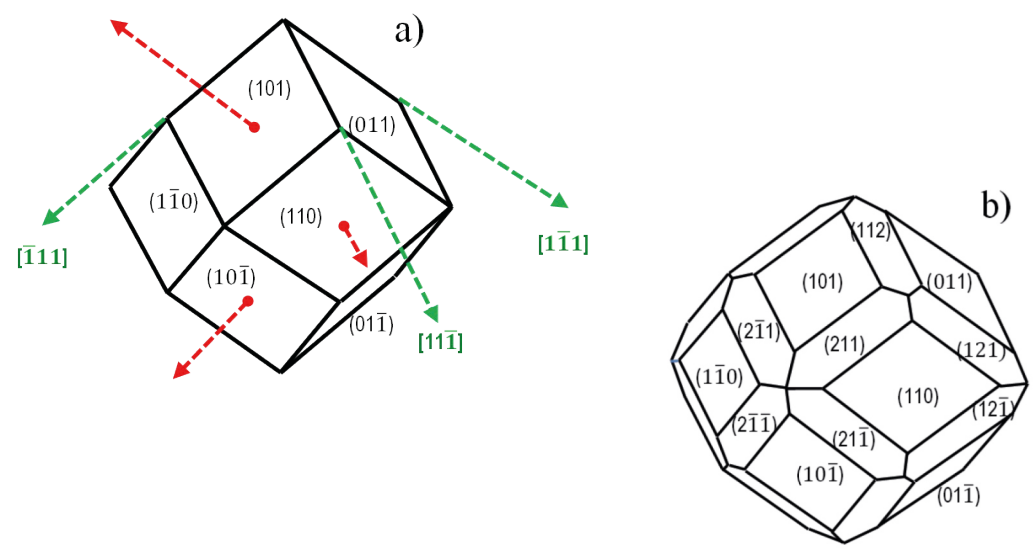


Figure 4 : Habitus du grenat : a) Rhombododécaèdre à axes d'ordre 2 (en rouge) et d'ordre 3 (en vert) ; b) les arêtes tronquées correspondent à des facettes de type $\{211\}$, parallèles aux trois axes de type $\langle \bar{1}11 \rangle$.
Figure 4: Garnet habit: a) rhombododecahedron, with two-fold (red) and three-fold (green) axes; b) truncated edges correspond to facets of type $\{211\}$, parallel to the three-fold axes of type $\langle \bar{1}11 \rangle$.

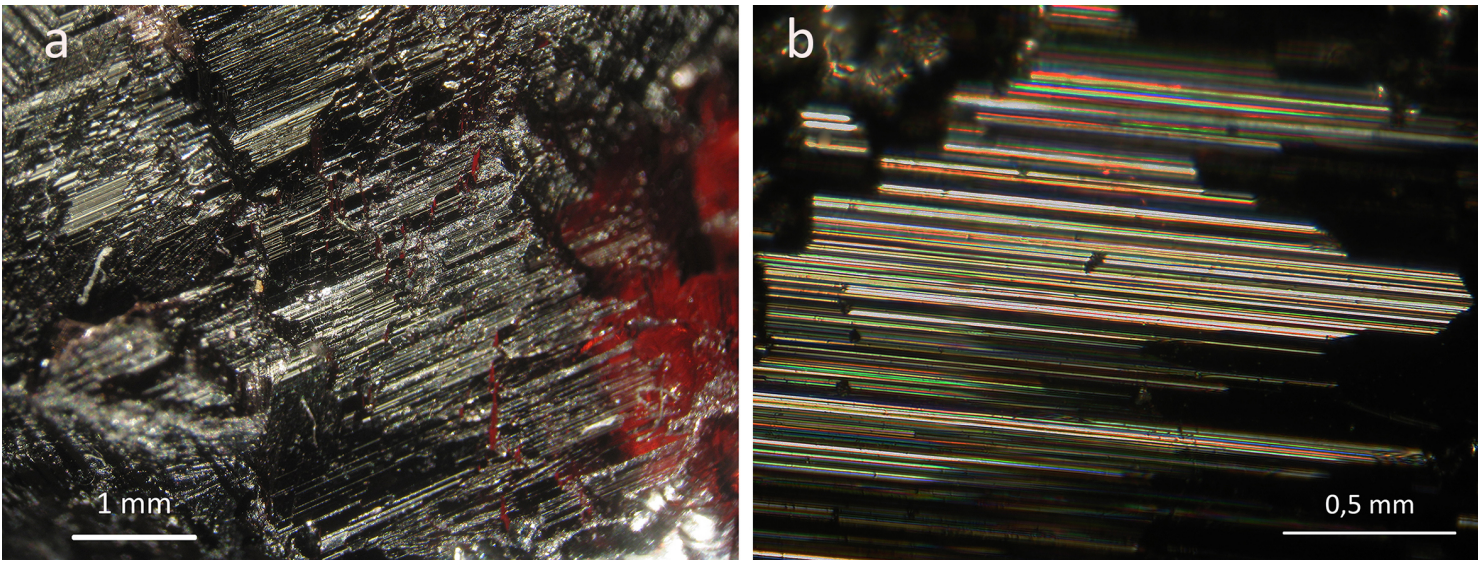


Figure 6 : a) Zone à stries fines parallèles à un axe d'ordre 3. Ce type de texture existe en surface du brut de grenat dans toutes les directions d'axes d'ordre 3 ; b) Irisations dues à un phénomène de diffraction sur ces structures linéaires étroites. Photos : J.-P. Gauthier.
Figure 6: a) Zone with fine striae parallel to a three-fold axis. This type of texture exists on the surface of the rough in all directions of three-fold axes; b) Iridescence due to a diffraction phenomenon on these narrow linear structures. Photos: J.-P. Gauthier.

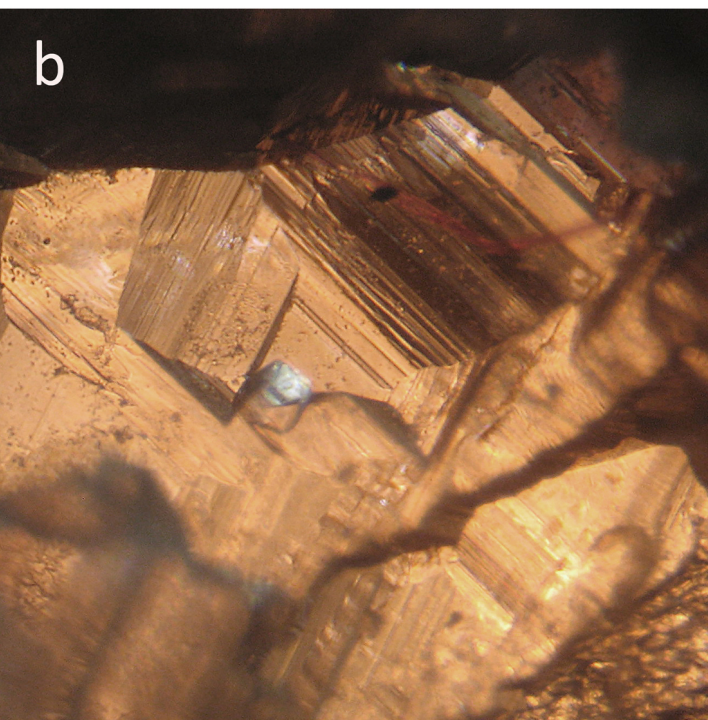
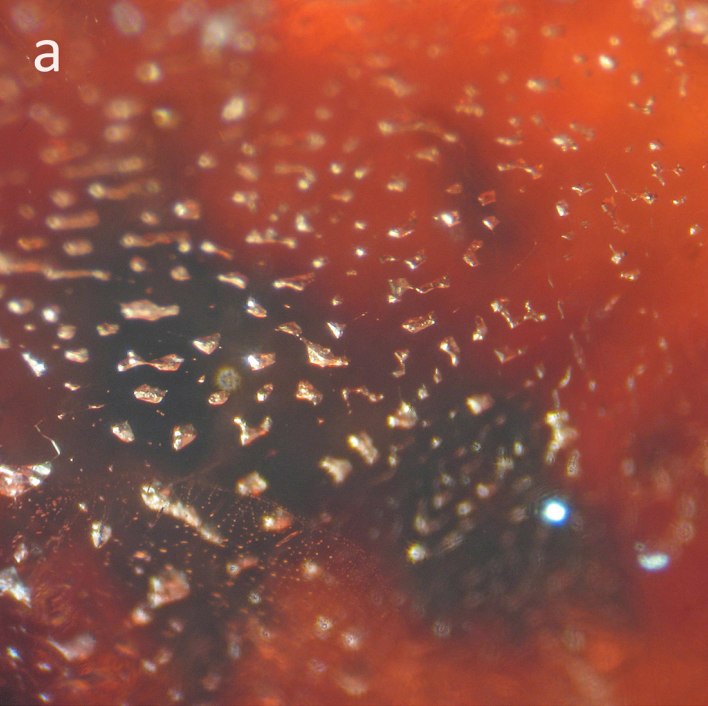


Figure 7 : a) "Empreintes digitales" consistant en un réseau de cavités biphasées dans une fracture guérie (dimensions : 1,5x1,5 mm) ; b) Etapes de croissance internes (dimensions : 1x1 mm). Photo : J.-P. Gauthier.

Figure 7: a) "Fingerprint pattern" consisting of a network of two-phase cavities in a healed fracture (fov: 1.5x1.5 mm); b) Internal growth stages (fov: 1x1 mm). Photos: J.-P. Gauthier.

Caractéristiques internes

Une face plane polie a été réalisée pour observer l'intérieur de l'échantillon. Le but principal était de voir s'il y avait ou non des éléments capables de créer de l'astérisme, comme des inclusions aciculaires ou des tubes parallèles, ou même des cavités ultra-minces à forme géométrique (voir Bui *et al.*, 2020). La méthode de la goutte d'eau (Gauthier, 2011), qui permet de détecter des ensembles d'inclusions parallèles invisibles même à l'ultramicroscope, n'a révélé aucun astérisme de type habituel.

La principale caractéristique observée dans le corps de ce grenat est une figure classique - de type "empreintes digitales"- signalée dans des grenats spessartites du Nigeria (Lind & Henn, 2000) ou de Californie (Laurs & Knox, 2001). Elle consiste en une surface plus ou moins courbe comportant un réseau de cavités biphasées (liquide-gaz) dans une fracture guérie (Figure 7a).

La seconde observation consiste en une série de marches marquant une étape de croissance à l'intérieur du cristal (Figure 7b).

Microscopie électronique à balayage

Le microscope électronique à balayage utilisé est un JEOL JSM 7600F muni d'un canon à émission de champ réglé à 7kV (Figure 8a) et 5 kV (Figure 8b) pour des acquisitions en électrons secondaires. Cet appareil est l'une des machines de PLASSMAT, la plateforme d'équipements de l'Institut des Matériaux Jean Rouxel de Nantes. Les stries observées correspondent à des microfacettes dont les

arêtes sont plus ou moins émoussées (Figure 8), peut-être en raison d'une dissolution partielle. Elles peuvent alors renvoyer de la lumière soit par réflexion à la manière d'un cylindre, soit par diffusion, comme pour une aiguille très fine.

DISCUSSION

Nous étions en présence d'un phénomène optique d'astérisme intrigant, visible dans des conditions inhabituelles sur divers points :

- i) L'échantillon est un brut, non taillé en forme de cabochon.
- ii) Le test de la goutte d'eau effectué sur une face polie ne révèle pas la présence, même à l'échelle submicronique, d'ensembles d'inclusions aciculaires ou de tubes parallèles.
- iii) Le phénomène n'est visible sur une face du rhomboèdre que sur une plage angulaire très restreinte lorsque la pierre est en rotation.
- iv) Le déplacement des branches de la croix à lieu dans une direction opposée à celle de la rotation.

En revanche, il suit les lois de la symétrie cristalline, puisqu'il apparaît dans douze directions associées aux 6 axes d'ordre 2 du système cubique dans lequel cristallise les grenats.

Du fait de l'absence d'inclusions organisées à l'intérieur du cristal, il apparaît de toute évidence que le phénomène optique provient de la texture de surface. Celle-ci est constituée de faces losangiques {110} et de facettes allongées {211} agissant comme miroirs (Figures 5a et 5b), ainsi que d'éléments linéaires étroits, arrondis (Figure 6), propices à générer de la réflexion ou de la diffusion de la lumière. Considérons donc successivement ces derniers éléments réfléchissants ou diffusants, en plaçant la source et l'observateur au voisinage d'un axe d'ordre 2.

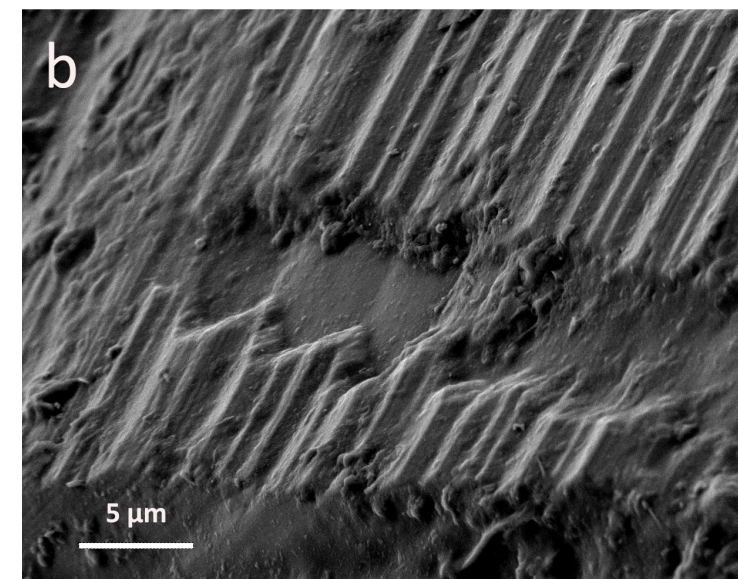
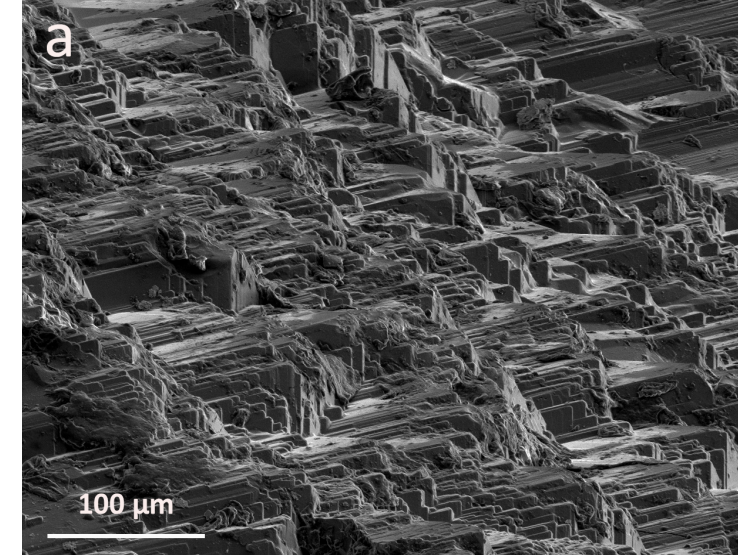


Figure 8 : Images du grenat au microscope électronique à balayage en électrons secondaires : a) Aspect de la surface ; b) Le type de stries visibles sur la Figure 6a apparaît comme une succession de microfacettes dont les arêtes émoussées peuvent réfléchir ou diffuser la lumière dans toutes les directions perpendiculaires à ces stries. Photo: N. Stephant.

Figure 8: Scanning electron microscope images using secondary electrons: a) Surface appearance; b) The type of striations visible on Figure 6a appears as a succession of microfacets whose blunt edges can reflect or scatter light in all directions perpendicular to these striae. Photo : N. Stephant.

Réflexion ou diffusion de la lumière par les stries de surface

Supposons la source et l'observateur situés dans un plan perpendiculaire aux stries, simulées par des demi-cylindres de section plus ou moins arrondie (Figure 9). Pour des stries arrondies larges, il y aura réflexion de la lumière, alors que pour des stries dont la largeur est de l'ordre des longueurs d'onde lumineuses, ce sera de la diffusion. Dans ce plan, un rayon de lumière est donc réfléchi ou diffusé selon un disque plat et l'observateur y verra alors une ligne de lumière, située à la surface du cristal.

Que se passe-t-il en dehors de ce plan ? Si maintenant on représente une strie dans le plan de la figure, la source et l'observateur étant confondus et à la verticale de cette strie, la partie gauche de la Figure 10a représente la situation précédente. La ligne de lumière coupe le plan vertical contenant le cône de lumière plat (en bleu) au point A. Pour tout autre rayon s'écartant de ce plan, on obtient un cône

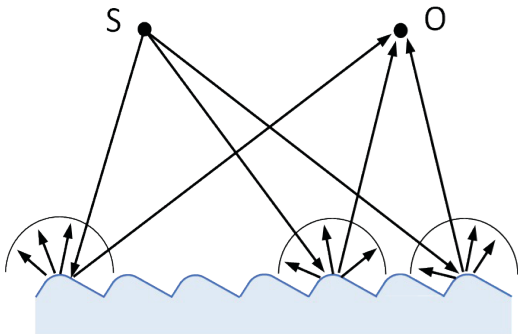


Figure 9 : Modèle d'une surface finement striée, illuminée par une source S. Les arêtes émoussées, perpendiculaires au plan du dessin, vont toutes réfléchir ou diffuser de la lumière vers l'observateur O, qui verra donc une ligne lumineuse située dans ce même plan.

Figure 9: Model of a finely striated surface, illuminated by the source S. The blunt edges, perpendicular to the plane of the drawing, will all reflect or diffuse light towards the observer O, who will therefore see a line of light located in the same plane.

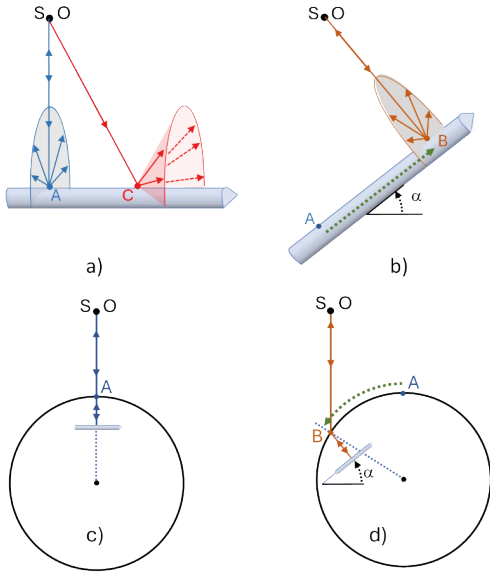


Figure 10 : a) Lorsque la source S et l'observateur O sont à la verticale d'une strie, celle-ci engendre un "cône de lumière plat" de centre A, et finalement une ligne de lumière sur la surface striée de la Figure 9 ; mais sous un angle oblique, le rayon arrivant en C génèrera un cône de lumière dont aucun des rayons n'arrivera vers l'observateur. b) Si la strie est tournée d'un angle α le point A se déplace vers la droite en B (flèche verte pointillée) et donc la ligne de lumière s'arrête en bout de strie.

Dans le cas d'inclusions parallèles à l'intérieur d'un cabochon et initialement perpendiculaires au faisceau (c), l'œil-de-chat en A se déplacera vers la gauche (flèche verte pointillée) lorsqu'on tourne la pierre du même angle (d).

Figure 10: a) When source S and observer O are vertical to a streak, the latter generates a "flat cone of light", and finally a bright line on the striated surface of Figure 9; But at an oblique angle, the ray arriving at C will generate a cone of light of which none of the rays will reach the observer. b) If the streak is rotated by an angle α , A dot moves to the right toward B (dotted green arrow) and therefore the bright line stops at the end of the streak.

In the case of parallel inclusions inside a cabochon that are initially perpendicular to the beam (c), the cat's-eye at A will move to the left (dotted green arrow) when the stone rotates by the same angle (d).

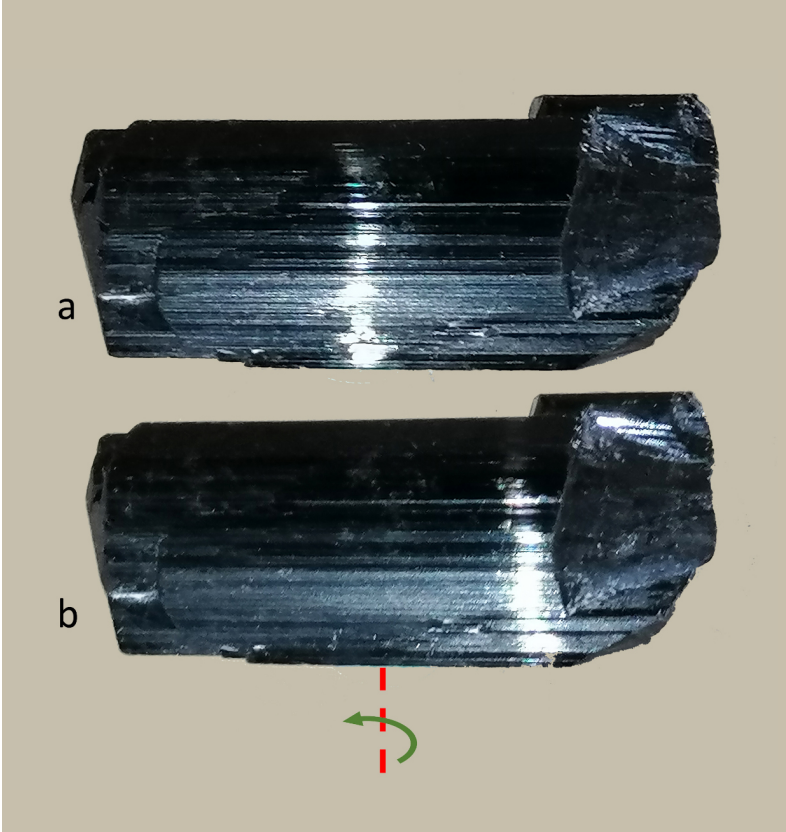


Figure 11 : a) Bande lumineuse centrée sur une tourmaline noire (longueur : 27 mm) présentant des stries de surface, avec une source au-dessus de l'échantillon ; b) Après une légère rotation vers la gauche autour d'un axe (en rouge) perpendiculaire à la longueur du cristal, la bande se déplace vers la droite. Photo : J.-P. Gauthier.

Figure 11: a) Luminous band centered on a black tourmaline (length: 27 mm) with surface striations, the source being above the sample; b) After a slight rotation to the left around an axis (in red) perpendicular to the length of the crystal, the band moves to the right. Photo: J.-P. Gauthier.

de lumière (en rouge) de demi-angle au sommet quelconque et de sommet C, dont aucun rayon ne peut revenir vers l'observateur. En conséquence, la ligne de lumière dans le plan vertical passant par le point A est la seule présente sur la surface striée et elle est perpendiculaire aux stries.

Il est ici utile de rappeler que dans le cas classique de la chatoyance, lorsque la source de lumière et l'observateur sont fixes, le mouvement de l'œil-de-chat se fera dans le sens de rotation de la pierre (Gauthier *et al.*, 2025). La source étant à la verticale du cabochon et les éléments diffusants placés horizontalement (Figure 10c), l'apex de l'œil-de-chat, initialement au point A, se déplace vers le point B lors de la rotation d'un angle α (Figure 10d).

"Œil-de-chat" sur un brut de tourmaline

Pour mieux comprendre le phénomène observé sur le grenat, il est alors plus simple de considérer le phénomène sur un cristal strié dans une seule direction et avec une surface moins irrégulière. C'est en particulier le cas de cristaux bruts striés de tourmaline. En se plaçant dans les conditions de la Figure 10a,b, c'est à dire avec une source au-dessus de l'échantillon placé horizontalement dans un premier temps, puis en tournant l'échantillon vers la gauche dans un deuxième temps, on observe sur le brut de tourmaline un "œil-de-chat", qui se déplace vers la droite (Figure 11).

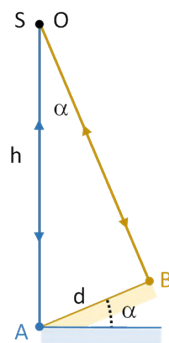


Figure 12 : Estimation de l'angle maximal α pour un déplacement de "l'œil-de-chat" d'un bord à l'autre de l'échantillon. h , hauteur de la source S et de l'observateur O au-dessus de l'échantillon de longueur d .

Figure 12: Estimation of the maximum angle α for a cat's-eye movement from one edge of the sample to the other. h , height of the source S and the observer O above the sample of length d .

Provenance de l'astérisme observé sur le brut de grenat

Nous nous étions proposés de déterminer l'origine de l'astérisme inhabituel observé sur un brut de grenat spessartite/almandin au voisinage de chaque direction d'axe d'ordre 2 de ce cristal. Pour chacune d'entre elles, il apparaît que la surface très tourmentée de ce cristal comporte :

i) de petits domaines en forme de parallélogrammes, correspondant à la face du rhombododécaèdre perpendiculaire à l'axe d'ordre 2 concerné, et bordés de facettes allongées et inclinées de 30° par rapport à eux. Ces deux types de plans agissent comme miroirs.

ii) d'autres régions à stries très fines et parallèles, de profil arrondi, réparties sur tout le cristal, dirigées parallèlement aux arêtes du rhombododécaèdre. Selon leur étroitesse, elles réfléchissent ou diffusent la lumière et induisent une ligne lumineuse perpendiculaire à chacune des directions des arêtes.

Les branches de la croix observée sont donc deux "œils-de-chat" créés non pas par des inclusions parallèles internes au cristal, mais par des éléments linéaires en surface. Ces éléments sont des stries parallèles aux axes d'ordre 3 du cristal. Les bandes lumineuses sont perpendiculaires à ces axes d'ordre 3.

Lors de la rotation de l'échantillon, elles se déplacent à la surface de l'échantillon pour de faibles variations angulaires de l'ordre de quelques degrés. On peut estimer une valeur raisonnable de l'angle maximum de rotation α (lorsque disparaît la branche parallèle à l'axe de rotation), en plaçant la source et l'observateur à $h=30$ cm au-dessus du cristal et en utilisant la plus grande dimension $d=3$ cm du brut de grenat (Figure 12) : $\tan \alpha = 3/30$, soit $\alpha \approx 6^\circ$, d'un bord (A) à l'autre (B).

CONCLUSION

Cet effet optique est essentiellement un phénomène de réflexion ou de diffusion sur un faciès cristallin strié dans les deux directions d'axes ternaires limitant une face losange du dodécaèdre rhomboédrique. Il se produit douze fois, dans les directions des axes d'ordre 2. À ce titre, il peut être considéré comme de l'astérisme, bien qu'inhabituel, puisqu'il est mobile par rapport à la pierre. Il peut être accompagné d'un scintillement supplémentaire dû à la réflexion sur les faces $\{110\}$ lors de la rotation du cristal.

Jamais décrit comme tel, ce phénomène n'est probablement pas exceptionnel. Il s'apparente à la ligne lumineuse visible au couchant du soleil sur une mer ondulante (Shaw, 1999). Cependant, il n'est pas très courant, car il nécessite la présence de domaines finement striés, répartis sur tout le cristal, dans deux directions perpendiculaires à chaque axe d'ordre deux.

Un tel cristal finement strié présentant cet astérisme de façon convaincante pourra, comme curiosité, faire le bonheur d'un collectionneur.

BIBLIOGRAPHIE

- Ahline N. (2020)** Cat's-eye andradite. *Gems & Gemology*, 56(2) 281.
- Bank H., Henn U., Milisenda C.C. (1996)** Demantoid. *Gemmologie-Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft*, 45(1) 1.
- Benson L.B. (1960)** Cat's-eye demantoid. *Gems & Gemology*, 10(3) 92.
- Bui T.N., Delaunay A., Hennebois U., Steinbach M.P., Gauthier J.P. (2020)** Origin of asterism in a rare four-ray star spessartine. *The Journal of Gemmology*, 37(3) 248–249.
- Cook R.B. (2010)** Spessartine, Marienfluss, Northern Namibia. *Rocks & Minerals*, 85, 50–59.
- Douman M., Dirlam D. (2004)** Update on demantoid and cat's-eye demantoid from Iran. *Gems & Gemology*, 40(1) 67–68.
- Gauthier J.P. (2011)** Amusantes et instructives variations sur le thème de la détection de la chatoyance. *Revue de Gemmologie a.f.g.*, 178, 21–24.
- Gauthier J.P., Bui T.N., Fereire J. (2025)** The cat's-eye phenomenon: a mathematical approach. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Physique*, 26, 181–198, doi:10.5802/crphys.231.
- Guinel M.J.F., Norton M.G. (2006)** The origin of asterism in almandine-pyrope garnets from Idaho. *Journal of Materials Science*, 41(3) 719–725, doi:10.1007/s10853-006-6500-4.
- Hainschwang, T. Notari, F. (2006)** The cause of iridescence in rainbow andradite from Nara, Japan. *Gems & Gemology*, 42(4) 248–258, doi:10.5741/GEMS.42.4.248.
- Hwang S.L., Shen P., Chu H.T., Yui T.F., Iizuka Y. (2015)** Origin of rutile needles in star garnet and implications for interpretation of inclusion textures in ultrahigh-pressure metamorphic rocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 33(3) 249–272, doi:10.1111/jmg.12119.
- Kammerling R.C., Koivula J.I. (1990)** Star rhodolite garnet from Tanzania. *The Journal of Gemmology*, 22(1) 16–18.
- Kammerling R.C., Koivula J.I., Fritsch E. (1995)** Spessartine garnet from Namibia. *Gems & Gemology*, 31(2) 134.
- Kane R.E. (1985)** Cat's-eye demantoid garnet. *Gems & Gemology*, 21(3) 174.
- Laurs B.M., Knox K. (2001)** Spessartine garnet from Ramona, San Diego County, California. *Gems & Gemology*, 37(4) 278–295, doi:10.5741/GEMS.37.4.278.
- Lind T., Henn U. (2000)** A new find of spessartine garnets in Nigeria. *The Journal of Gemmology*, 27(3) 129–132,

doi:10.15506/JOG.2000.27.3.129.

Liu Shang I. (2010) Demantoid garnet cat's-eye from Iran and Russia. *Journal of the Gemmological Association of Hong Kong*, 31, 74–78.

Medenbach O., Schmetzer K., Krupp H. (1978) Spessartine aus den Taita Hills, Kenia. *Der Aufschluss, Zeitschrift für die Freunde der Mineralogie und Geologie*, 29(9) 275–76.

Milisenda C.C., Henn U., Henn J. (2001) Demantoide aus Pakistan. *Gemmologie-Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft*, 50(1) 51–56.

Morton A.C., Borg G., Hansley P.L., Haughton P.D.W., Krinsley D.H., Trusty P. (1989) The origin of faceted garnets in sandstones: dissolution or overgrowth? *Sedimentology*, 36, 921–942, doi:10.1111/j.1365-3091.1989.tb01754.x.

Okada T., York P.G. (2018) Cat's-eye demantoid and brown andradite with horsetail inclusions. *Gems & Gemology*, 54(1) 58–59.

Payne T. (1981) The andradites of San Benito County, California. *Gems & Gemology*, 17(3) 157–160, doi:10.5741/GEMS.17.3.157.

Schmetzer K., Bernhardt H.J. (2002) Star garnets from Ilakaka, Madagascar. *The Australian Gemmologist*, 21(5) 202–206.

Schmetzer K., Bernhardt H.J., Kiefert L. (2002) Star garnets and star garnet cat's-eyes from Ambatondrazaka, Madagascar. *The Journal of Gemmology*, 28(1) 13–23, doi:10.15506/JOG.2002.28.1.13.

Shaw J.A. (1999) Glittering light on water. *Optics & Photonics News*, 10(3) 43–46, doi:10.1364/OPN.10.3.000043.

Walcott A.J. (1939) Asteriated garnet. *Mineralogist*, 7(5) 191–192, 215–217.

White J.S. (2009) Spessartine from the Navegadora mine, Minas Gerais, Brazil. *Rocks & Minerals*, 84(1) 42–45, doi:10.3200/RMIN.84.1.42-45.

White J.S. (2016) Mineral mysteries: Crystal faces on etched crystals. *Rocks & Minerals*, 91(5) 459–461, doi:10.1080/00357529.2016.1193700.