LES INCLUSIONS EN DOUBLE HELICE DANS LES ÉMERAUDES DE COLOMBIE

Pierre Vuillet, Jaime Rotlewicz

Mots Clés :
Colombie, émeraude, inclusions en double hélice.

Dans la série consacrée aux caractéristiques internes des émeraudes de Colombie et suite à l'article concernant les inclusions de pyrite (Rotlewicz, 2000), cette étude illustre les inclusions en double hélice. Les auteurs ont voulu se limiter ici à la description de ces inclusions et rappeler le rôle important que jouent les imperfections des cristaux lors de la cristallisation. L'analyse des phénomènes responsables de la formation de ces inclusions n'a pas été abordée car elle dépasse largement le cadre de cet article. Néanmoins quelques remarques qui peuvent contribuer à l'explication de la présence de ces inclusions dans les émeraudes sont présentées.

This article is part of a series dedicated to the internal characteristics of the Colombian emeralds. Following the article on the inclusions of pyrite (Rotlewicz, 2000), the double screw inclusions are described and documented here. The authors quote the important role played by the imperfections of crystals during crystallisation. The analysis of the causes leading to the formation of this type of inclusion has not been attempted as it goes far beyond the scope of this article. Nevertheless, few clues are stated which may contribute to the explanation of the phenomena responsible for the formation of these inclusions inside emerald crystals.

Pierre Vuillet (pvuillet@yahoo.com) est gemmologue chez C.I. StarEmerald Colombia Ltda., Bogotá. Jaime (Jimmy) Rotlewicz (gemtec@elsitio.net.co) est Directeur Général de C.I. Gemtec Colombia Ltda., Bogotá.

Voir les remerciements et références consultées à la fin de cet article.

Les inclusions et caractéristiques internes dans les pierres taillées sont différemment appréciées par les acteurs de la profession. Pour les uns, ce sont des défauts qui nuisent à la qualité de la pierre. Pour d'autres, elles présentent un intérêt primordial tant sur le plan esthétique que sur les informations qu'elles sont susceptibles de fournir. En effet, elles permettent dans certains cas d'identifier la nature de la pierre, de séparer les pierres naturelles de leurs homologues de synthèse et de leurs imitations, de caractériser la nature du gisement ou la méthode de croissance des synthèses, de déterminer de manière diagnostique le gisement d'origine et d'identifier certains traitements ou améliorations appliqués à la pierre originale. Elle peuvent également être la cause de phénomènes optiques tels que l'astérisme et le chatoiement.

Plus simplement, elles sont parfois fascinantes sous l'objectif du microscope. La capture des inclusions et caractéristiques internes des gemmes représente un réel défi pour l'amateur de photomicrographie. La démarche, qui demande beaucoup de patience, est fondée sur l'utilisation du microscope binoculaire et de ses accessoires tels que l'éclairage rasant ou en fond obscur, les filtres polarisants, le dispositif d'immersion et autres. La sélection des paramètres de photographie est, elle, liée à l'expérience. La récente introduction de la technique digitale rend la retouche des épreuves aisée et accessible à tous.

Les inclusions en double hélice

Ce type d'inclusion n'est pas exclusif des émeraudes de Colombie et se rencontre également dans d'autres béryls tels que les aigues-marines du Nigeria (comm. pers. E. Fritsch, 2001), les émeraudes de synthèse hydrothermale de fabrication Biron (aujourd'hui Pool, Australie) (Gübelin et Koivula, 1986; Bosshart, 1991) et certaines topazes (comm. pers. D. Gravier, E. Sternis et P. Dungler, 2001).

Dans la littérature gemmologique anglo-saxonne, ce type d'inclusion est appelé "spiral growth pattern" (motif de croissance en spirale) (Fryer, 1983) ou "growth spiral" (spirale de croissance) (Bosshart, 1991). En réalité, il s'agit d'une double hélice dont l'axe est toujours rectiligne et parallèle au grand axe z du cristal d'émeraude. La forme générale de l'inclusion est comparable à une vis faiblement conique à deux filets diamétralement opposés et de même sens de rotation. Les pas sont identiques et constants le long de l'axe de l'inclusion. Elle peut dépasser 30 mm de longueur, son diamètre extérieur peut atteindre 1,5 mm et le pas de chaque hélice 3,0 mm (figures 1 et 2). Les auteurs ont remarqué que ces empreintes sont en général, mais pas exclusivement, présentes dans les émeraudes extraites des mines de Chivor. Il est difficile de déterminer avec certitude le gisement d'origine des cristaux et pierres facettées. Pour le connaisseur, les émeraudes de Chivor

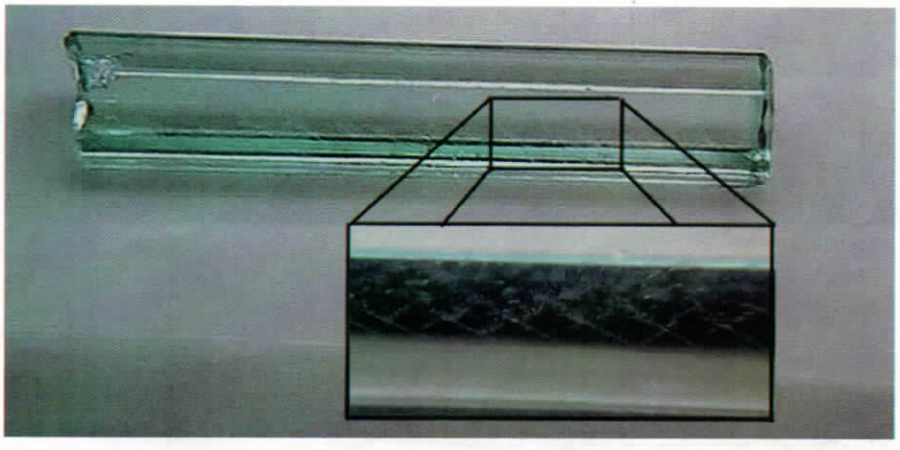


Figure 1. *Inclusion en double hélice de pas " à gauche " dans un cristal d'émeraude de Chivor. Aucune inclusion solide n'est visible à l'origine de l'empreinte. Le cristal mesure 4,5 cm de long. Col. Gemtec; photo R. Giraldo CGIE.*

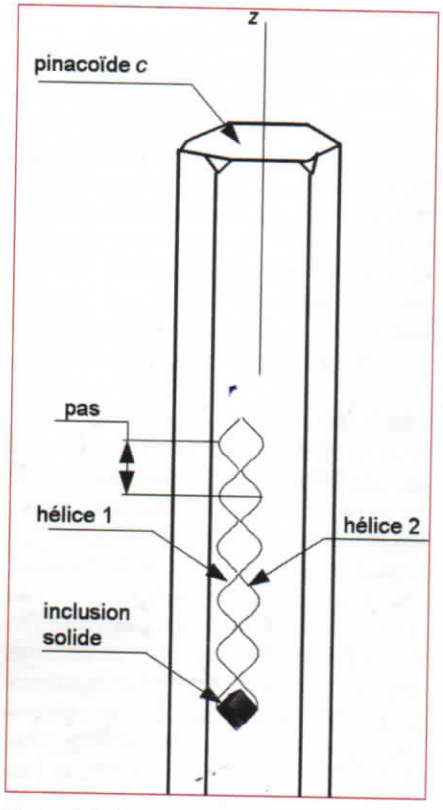


Figure 2. *Schéma d'un cristal d'émeraude de Chivor présentant une inclusion en double hélice avec présence à son origine d'une inclusion solide.*

sont suffisamment uniques pour permettre leur séparation; elles présentent en général une combinaison des caractéristiques suivantes:

- Les cristaux bruts sont très allongés et de faible section (communément appelés canutillos sur le marché de Bogotá) et fréquemment terminés par la combinaison du pinacoïde c (face perpendiculaire au grand axe z) et de faces pyramidales.
- La couleur verte de faible saturation (composante ordinaire, // ω) est modifiée par une forte sous teinte bleue (composante extraordinaire, // ε). La concentration de couleur et les lignes de croissance sont perpendiculaires au grand axe z.
- Les pierres sont bien cristallisées et les inclusions sont rares.
- Les propriétés décrites ci-dessus permettent au lapidaire, lors de la taille, de positionner la table de la pierre facettée parallèle au grand axe z, ce qui produit des pierres rectangulaires de couleur bleutée dont les pans coupés sont de dimensions réduites.

L'acheteur actif à Bogotá qui examine à la loupe plus de 5000 ct de petites pierres facettées par semaine pourra rencontrer ce type d'inclusion dans la marchandise proposée à la vente 2 à 3 fois par semaine.

Dans certains cas, une inclusion solide est présente à l'une des extrémités de la double hélice dont le diamètre est maximal à proximité de l'inclusion, puis diminue graduellement avec l'éloignement. La double hélice se situe entre l'inclusion solide qui présente toujours une forme cristalline développée et le pinacoïde c du cristal (figure 2). La pyrite

Figure 3. *Vue spectaculaire des perturbations causées par un cristal déformé de pyrite dans une émeraude de Chivor. Il est difficile de déterminer le sens du pas des hélices. L'axe de l'inclusion en double hélice est perpendiculaire aux lignes de croissance de l'émeraude. X40. Photo J. Rotlewicz.*

(figure 3) et un carbonate (figure 4), deux inclusions solides fréquemment présentes dans les émeraudes de Colombie (Eppler, 1961; Sinkankas, 1989; Bosshart, 1991; Rotlewicz, 2000), ont été identifiés.

Certaines inclusions ont une structure différente. Il s'agit dans ce cas d'une fracture continue en forme de double hélice présentant une bonne symétrie; l'âme de la fracture est alors visible (figure 5).

Discussion

Figure 4. *Inclusion en double hélice provoquée par un carbonate. La double hélice est de pas "à gauche". Le gisement d'origine de l'émeraude de Colombie est inconnu. X35. Photo J. Rotlewicz.*

Quand une inclusion solide est présente à l'origine de la double hélice, l'aspect général de la figure rappelle la traînée causée par un obstacle ayant un profil particulier dans un fluide à haute vitesse, ou le mouvement hélicoïdal d'un corps qui chute dans l'air ou un liquide (telle une graine d'acacia qui tombe de sa branche). L'inclusion forme un obstacle qui perturbe la croissance postérieure de l'émeraude. Ces perturbations se manifestent sous la forme d'un givre en double hélice qui n'est pas complètement guéri sur une grande distance le long de l'axe z, direction préférentielle de cristallisation. Si l'inclusion solide n'est pas visible, soit elle a pu être dissoute dans l'émeraude postérieurement à la croissance du cristal, spécialement s'il s'agit d'un carbonate, soit la double hélice est née spontanément. L'inclusion peut également prendre la forme d'un décollement (fracture) en double hélice plus ou moins bien défini selon le degré de guérison. A guérison minimale, l'âme centrale de l'inclusion est visible (figure 6).

La direction de croissance du cristal a pu être établie grâce à la présence d'une inclusion solide (figures 3 et 4) ou la forme décroissante de la double hélice (figures 1, 5 et 6). L'observation des hélices a permis de déterminer le caractère senestre (à gauche) de la double hélice sur quatre échantillons (figures 1, 2, 5 et 6). La figure 3 est trop confuse pour la détermination du sens d'enroulement de la double hélice.

Les raisons pour lesquelles le givre est une double hélice sont inconnues; bien que les phénomènes liés à la formation de ce type d'inclusion sortent du cadre de cette étude; il est cependant intéressant de noter les remarques suivantes:

- La croissance des cristaux et les conditions de croissance ne sont pas constantes et peuvent subir des variations brusques ou régulières; cristallisation, dissolution partielle et recristallisation peuvent alterner (Sunagawa, 1998).

- Les imperfections chimiques et de structure, notamment les dislocations hélicoïdales jouent un rôle important lors de la croissance des cristaux (Bloss, 1994; Mercer, 1990) (voir encadré). Casey (1995) présente la simulation d'une dislocation à deux hélices imbriquées qui fournit une source constante de sites pour la croissance du cristal.

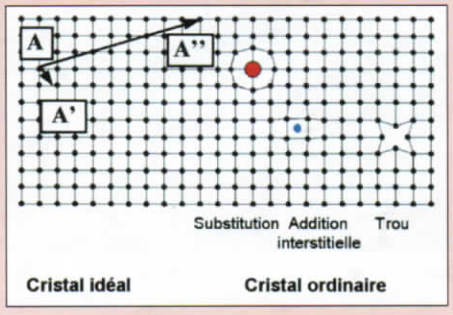
- Les figures de corrosion sur les faces pinacoïdales des béryls ont un contour hexagonal qui s'arrondit avec l'éloignement du point d'origine de la figure de corrosion (Sinkankas, 1989).

- Les béryls ont tendance à cristalliser selon un patron en hélice (Gübelin et Koivula, 1986; Sinkankas, 1989).

- Gübelin et Koivula (1986) illustrent une inclusion de biotite enroulée en double hélice dans une émeraude du Mozambique et orientée selon l'axe z de l'émeraude.

Les imperfections des cristaux (d'après F. D. Bloss)

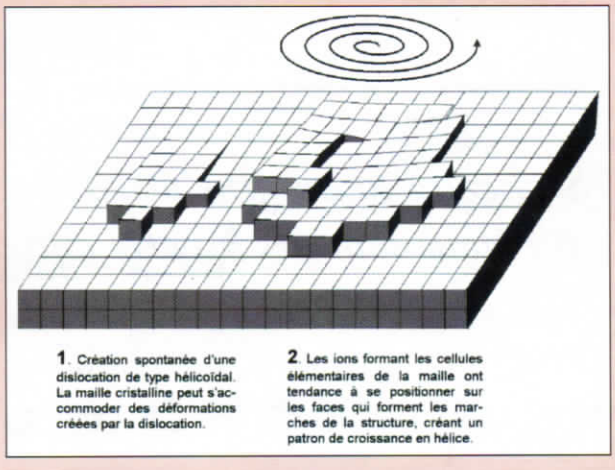
La structure idéale des cristaux telle que décrite dans la littérature implique un ordre parfait tant à courte qu'à longue distance. À courte distance, l'ordre parfait est réalisé si les ions situés dans l'entourage immédiat d'un ion de référence A sont identiques en nombre, type et distribution géométrique aux ions présents dans l'entourage de l'ion A', correspondant à l'ion de référence, une fois appliquées les opérations de symétrie de translation et rotation qui caractérisent la structure du cristal. À longue distance, l'ordre parfait est réalisé si les vecteurs unitaires de la cellule de base de la maille du cristal font correspondre au site A de référence un site identique A" quand on multiplie ces vecteurs par un grand nombre entier.



Dans la réalité, le diagramme de diffraction X d'un cristal ordinaire diffère du diagramme théorique du cristal idéal. Ceci est dû à des imperfections de composition chimique et de structure du cristal ordinaire.

Les imperfections de composition chimique concernent principalement la substitution d'ions par d'autres ayant un rayon ionique et une valence similaires. Quand la valence est différente, elle est compensée par addition d'ions interstitiels ou de « trous ». Ces imperfections sont parfois une cause de couleur de la substance. Le fonctionnement des lasers et des circuits électroniques est directement lié à l'introduction contrôlée d'impuretés dans la maille cristalline du substrat.

Parmi les imperfections de structure, la dislocation de type hélicoïdal apparaît lors de l'introduction dans le cristal d'un axe hélicoïdal qui n'est pas normalement présent. La surface supérieure du cristal ressemble alors à une rampe en forme d'hélice dont le gradient (le pas) atteint son maximum immédiatement autour de la dislocation puis diminue pour enfin disparaître avec la distance; le cristal retrouve alors son ordre parfait. Ces surfaces en forme de rampe en hélice facilitent la croissance du cristal, car les atomes ou ions formant la structure subissent une plus forte attraction vers la face d'un gradin particulièrement si ce gradin a une hauteur de une ou plusieurs cellules unitaires. La croissance en rampe du cristal est alors beaucoup plus rapide qu'une croissance provoquée par l'addition successive de nouvelles couches de cellules unitaires au-dessus des couches existantes, car elle permet d'éviter la tâche difficile de nucléation initiale des nouvelles couches.



1. Création spontanée d'une dislocation de type hélicoïdal. La maille cristalline peut s'accommoder des déformations créées par la dislocation.

2. Les ions formant les cellules élémentaires de la maille ont tendance à se positionner sur les faces qui forment les marches de la structure, créant un patron de croissance en hélice.

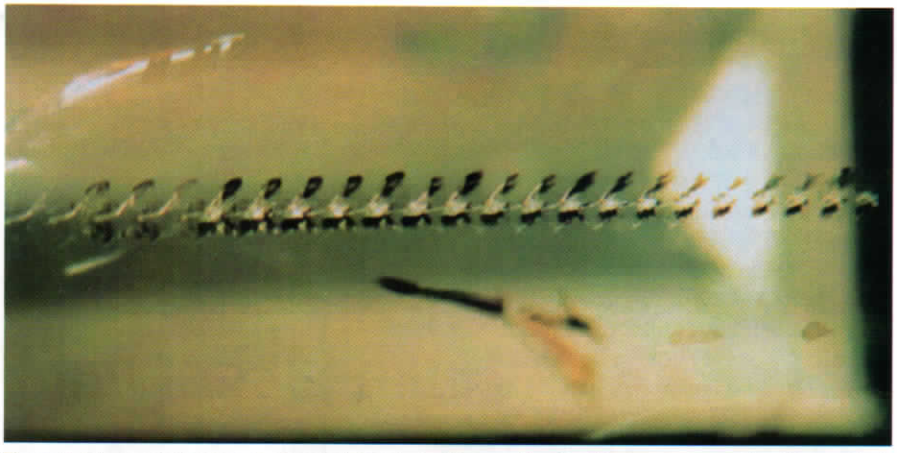


Figure 5 : *Givre en double hélice créé par décollement. Le lapidaire a positionné la table dans un plan parallèle à l'axe z, style de taille typique des émeraudes de Chivor. X15. Photo J. Rotlewicz.*

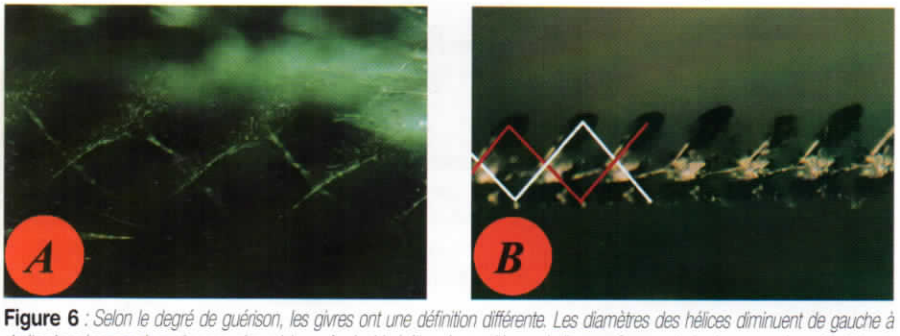


Figure 6 : *Selon le degré de guérison, les givres ont une définition différente. Les diamètres des hélices diminuent de gauche à droite dans le sens de croissance des cristaux. A: double hélice de pas "à gauche" sans âme centrale dans une pierre facettée de gisement de Colombie indéterminé. La guérison du givre est partielle et seuls, les contours des hélices sont visibles. B: fracture en forme de double hélice de pas "à gauche" avec âme centrale crée par décollement (agrandissement partiel de la figure 5). Pour une meilleure clarté, la silhouette de la double hélice est matérialisée. La guérison minimale du givre rend les deux hélices et l'âme centrale clairement visibles. A x 25; B x 30, Photo J. Rotlewicz.*

Conclusions

Les auteurs ont voulu attirer l'attention du lecteur sur l'esthétisme des inclusions en double hélice dans les émeraudes de Colombie et donner quelques indices quant à la cause de leur formation. Les techniques de Topographie de diffraction X (X-Ray Topography) et Tomographie de cathodoluminescence (CL Tomography) (Sunagawa, 1998), indisponibles pour cette étude, seraient susceptibles de fournir les informations nécessaires à l'explication de leur présence dans des cristaux d'émeraude allongés et de faible section.

Cette étude a permis de mettre en évidence la présence d'une double hélice là où une spirale simple était jusqu'alors décrite. Quatre des cinq inclusions présentées ont un pas "à gauche". Il n'a pas été possible de déterminer avec certitude le sens du pas du dernier échantillon. Le faible nombre d'inclusions étudié ne permet pas d'établir le caractère senestre de la double hélice dans les émeraudes de Colombie.
Cette série d'articles est fondée sur une gemmologie descriptive appuyée sur l'emploi des instruments de base accessibles au gemmologue de terrain. L'utilisation et l'interprétation des techniques de laboratoire sortent du cadre de cette étude.

Sachez, à toutes fins utiles,
que nous sommes à votre entière disposition.

KIMMERLE
DIAMANTAIRE

14, rue Cadet - 75009 PARIS
Tél. : 01 45 23 03 81
Fax : 01 45 23 00 71

Remerciements

Les auteurs remercient Emmanuel Fritsch (Emmanuel.Fritsch@cnrs-imn.fr), Professeur au Service de Formation Continue de l'Université de Nantes et à l'Institut des Matériaux Jean Rouxel (CNRS-IMN), Nantes, pour son aide attentive. Philippe Monneret, Grand Châtel, a permis l'édition de certains documents publiés. Denis Gravier (dgravier@aol.com) chez Le Minéral Brut, Saint Jean Le Vieux, et son épouse Danièle ont eu la gentillesse de relire le document original de composition Microsoft® Publisher 98.

Références

Bloss F. D. (1994) Crystallography and crystal chemistry. Ed. Mineralogical Society of America, Washington DC. 545 p.

Bosshart G. (1991) Emeralds from Colombia (Part 2). Journal of Gemmology, Vol. 22 No. 7, pp. 409-425.

Casey W. H. (1995) Surface chemistry during the dissolution of oxide and silicate materials. In Mineral Surfaces, (ed. D. J. Vaughan and R. A. D. Pattrick), The Mineralogical Society Series, 5, Chapman & Hall, London, UK, pp. 185-217.

Eppler W. F. (1961) Growth marks in emerald. Journal of Gemmology, Vol. 8 No. 2, pp. 72-77.

Fryer C., Ed. (1983) Gem Trade Lab News: Emerald. Gems & Gemology, Vol, 19, No 3, p. 173.

Gübelin E. J., Koivula J. I. (1986) Photoatlas of inclusions in gemstones. Ed. ABC, Zurich, Suisse, pp. 244-260, 461-475.

Mercer I. F. (1990) Crystals. Ed. Natural History Museum, London, UK. 60 p.

Rotlewicz J. (2000) Les inclusions de pyrite dans l'émeraude de Colombie. Revue de Gemmologie AFG, No. 140, pp. 16-17.

Sinkankas J. (1989) Emerald and other beryls. Ed. Geoscience Press, Prescott AZ. 665 p.

Sunagawa I. (1998) Fingerprinting of two diamonds cut from the same rough. Gems & Gemology, Vol. 34, No. 4, pp270-280

TABURIAUX FILS

S.A.R.L. au capital de 150 000 francs

Perles de culture :

Colliers

Perles de mers du sud

Australie - Birmanie - Tahiti

68, rue La Fayette - 75009 PARIS

Tél. : 01 48 24 42 66 - Fax : 01 48 00 98 50