

# ÉMERAUDES TRAPICHES COLOMBIENNES

Daniel Ohnenstetter, Gaston Giuliani, Osmar Bustos

Daniel OHNENSTETTER <sup>1</sup>,  
Gaston GIULIANI <sup>2</sup>,  
Osmar BUSTOS <sup>3</sup>

<sup>1</sup> : CRPG-CNRS, BP 20,  
54501-Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

<sup>2</sup> : ORSTOM et CRPG-CNRS, BP 20,  
54501-Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

<sup>3</sup> : Guazo Ltda, Apartado Aereo 30883,  
Bogotá, Colombie

Les émeraudes trapiches ont été ainsi dénommées en langue espagnole à cause de leur ressemblance avec le système de roues dentées servant à broyer la canne à sucre (McKague, 1964). Ces émeraudes ont été décrites pour la première fois par le français Bertrand (1879). Dans le compte-rendu de la séance du 13 février 1897 de la Société Minéralogique de France, il est spécifié : "M. E. Bertrand présente ensuite des cristaux d'émeraudes assez curieux; ces échantillons viennent de Muso, Nouvelle Grenade. Ils sont formés, au centre, d'une portion hexagonale presque incolore ; cette partie centrale est entourée d'une autre portion verte striée parallèlement aux côtés de l'hexagone, et présentant des modifications tangentes aux arêtes du prisme. La partie centrale montre à l'oeil nu l'astéride à six branches et le cercle parhélique ; au microscope polarisant, en lumière convergente, on voit la croix et les anneaux, avec une faible dislocation dans les trois directions normales aux côtés de l'hexagone. Les parties vertes striées qui enveloppent le noyau central, montrent à l'oeil nu une seule ligne lumineuse perpendiculaire aux stries. En lumière polarisée convergente, la croix et les anneaux sont constamment déformés et montrent un phénomène semblable à celui que donnerait un cristal à deux axes rapprochés, le plan des axes étant perpendiculaire aux stries. Ces cristaux au nombre de quarante environ, montrent tous le même phénomène".

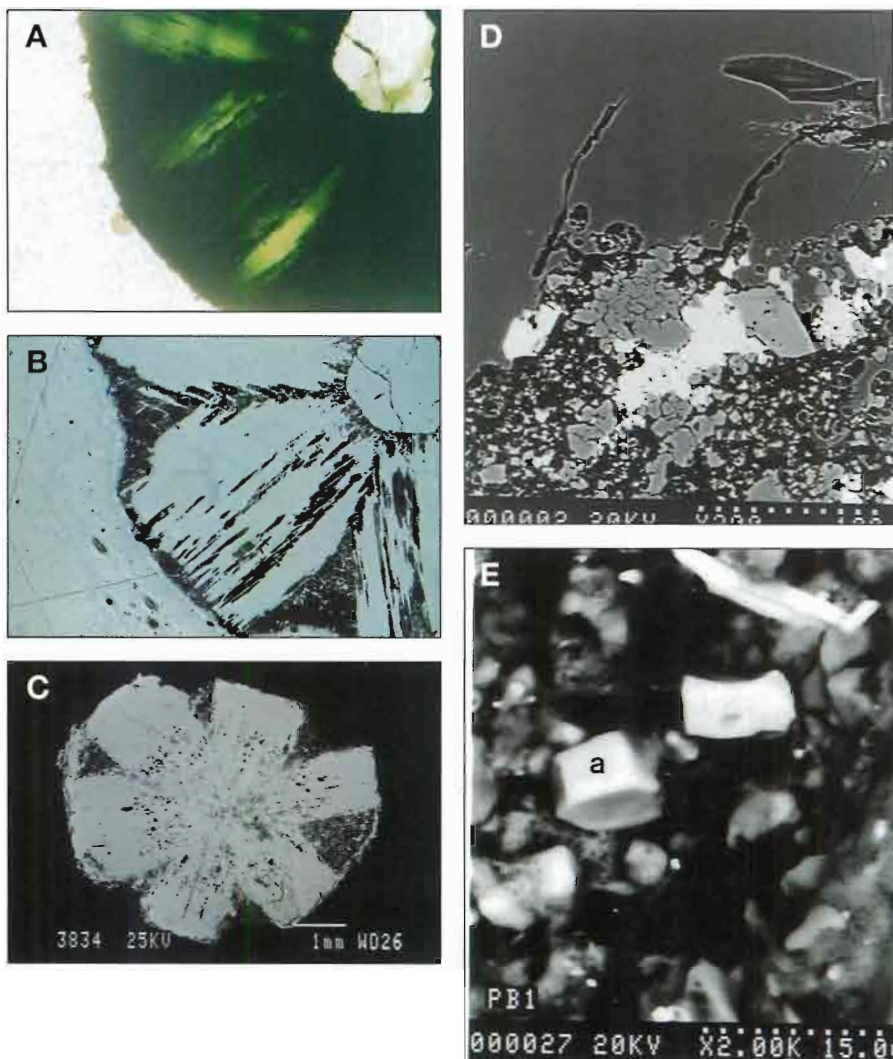
Bernauer (1926) décrit les différents habitus de ces émeraudes trapiches notamment, les zones d'inclusions opaques qui soulignent l'hexagone central ainsi que les arêtes (Fig. 1). D'après Scheibe (1926), ces émeraudes trapiches ont cristallisé dans les schistes noirs de la formation Viletta du Crétacé inférieur, et elles sont associées aux émeraudes gemmes qui cristallisent dans

des veines à carbonates. Les émeraudes trapiches de Muzo et de Peña Blanca ont par la suite été décrites par Chaudari (1969), Nassau et Jackson (1970) et O'Donoghue (1971). D'après Tripp et Hernandez (1970, cité dans Sinkankas et Read, 1985), les trapiches de Peña Blanca ont été découverts par un fermier, le cristal le plus grand pesait 167 carats.

L'arrangement textural en six secteurs, leur confère un aspect étoilé (astéride). Ces cristaux ont la particularité de présenter une intercroissance de béryl et du matériel inclus ou interstitiel qui peut être de différente nature. Pogue (1916 a, b) avait décrit du matériel carboné disposé le long des axes cristallographiques. Nassau et Jackson (1970) et O'Donoghue (1988) ont signalé que les inclusions, formant l'aspect plumeux et opaque du minéral, étaient constitué d'albite et de béryl (Fig. 1). Sinkankas et Read (1985) ont identifiés la calcite, la dolomie, le quartz, l'albite, la pyrite, la biotite, le kaolin et du matériel carboné. Notre étude a mis en évidence outre les carbonates et la pyrite, la présence d'apatite, d'albite-oligoclase, du feldspath potassique, de la monazite et même du zircon. Le nucléus des cristaux c'est-à-dire la zone centrale, est formé par un prisme hexagonal de béryl limpide alors que les zones extérieures sont formées de prismes trapézoïdaux (Schiffman, 1968) faisant penser à des pétales de fleur. Ces prismes peuvent être incolores ou verts (qualité gemme).

D'après Webster (1983), les émeraudes trapiches de Chivor et de Peña Blanca sont givrées avec des stries internes et un nucléus vert alors qu'à Muzo, le prisme central est opaque. De magnifiques cabochons d'émeraudes trapiches de 5,5 et 6,9 carats sont conservés au National Gem Collection de la Smithsonian Institution (Post, 1997). En Colombie, contrairement à la provenance erronée de la publication de

Daniel OHNENSTETTER, Docteur ès-Sciences Naturelles et Chargé de Recherche CNRS au CRPG, est spécialiste de l'étude des minéralisations liées aux roches basiques et ultrabasiques, ainsi que de la caractérisation des minéraux par cathodoluminescence.



■ Fig. 1. Photographies en lumière transmise (A) et réfléchie (B) d'un cristal d'émeraude trapiche de Peña Blanca. Noter sur la photo A, le prisme hexagonal central limpide et les prismes trapézoïdaux verts avec des stries et sur la photo B, l'aspect plumeux des inclusions. Largeur du cristal : 2,5 cm ; C - Image en électrons rétrodiffusés au microscope électronique à balayage d'une émeraude trapiche de Coscuez : le béryl apparaît en gris clair et les inclusions en sombre. Largeur de la photo 240  $\mu\text{m}$  ; D - Détail des inclusions en image en électrons rétrodiffusés au microscope électronique à balayage, le béryl est gris, l'albite est gris clair et l'apatite et la pyrite sont blancs brillants. Largeur de la photo 36  $\mu\text{m}$  ; E - Cristal d'apatite (a) dans une inclusion. L'échelle est indiquée sur la photo.

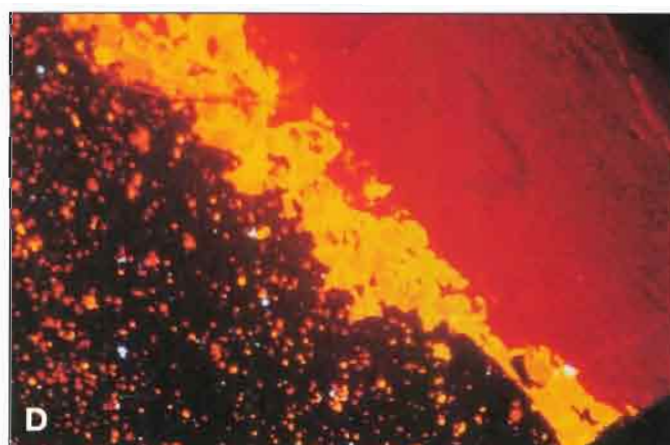
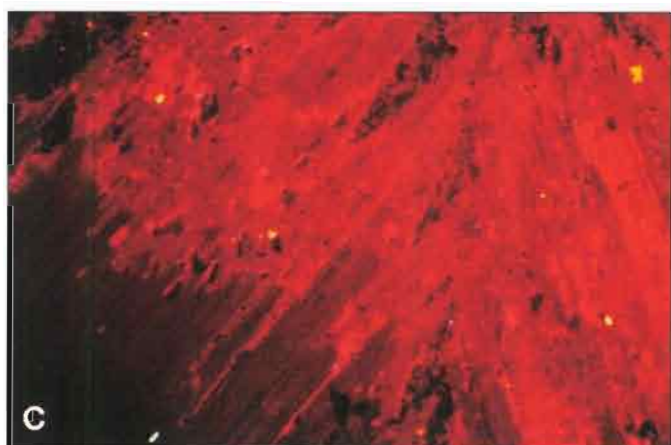
■ Fig. 1. Transmitted (A) and reflected light (B) microphotographs of a trapiche emerald from Peña Blanca. Note on photograph A, the colorless hexagonal central prism and the green trapezoidal prisms showing striation and on photograph B, the feathery aspect of the inclusions. Width of the photograph trapiche crystal : 2.5 cm ; C - Back-scattered electron image obtained under a scanning electron microscope of a trapiche emerald from Coscuez : the beryl appears in bright gray, and the included material in black. Width of photograph 240  $\mu\text{m}$  ; D - Detail of the inclusions in scanning electron microscope back-scattered electron image, in gray beryl, in light gray albite crystal and in bright white apatite and pyrite. Width of photograph 36  $\mu\text{m}$  ; E - Apatite crystal (a) in an inclusion. The scale is indicated on the photograph.

Nassau et Jackson (1970, reprise par Webster en 1983), les émeraude trapiches se trouvent uniquement dans certains gisements de la zone à émeraude occidentale; elles ne se rencontrent pas dans les districts miniers de Gachalá et de Chivor. Les émeraude trapiches que nous avons étudié proviennent des mines de Muzo, de Coscuez et de Peña Blanca; les cristaux les plus larges font 1,2 cm de diamètre dans une coupe perpendiculaire à l'axe c.

La cathodoluminescence (CL) s'est répandue dans les années soixante pour l'étude et la caractérisation de matériaux géologiques (cf pour l'historique, les ouvrages de Marshall, 1988; et de Pagel et al., 1998, à paraître; ainsi que les articles de synthèse de Rémond et al., 1992, et Barbin et Schvoerer, 1997). Leverenz (1950, cité dans Pagel et al., 1998) a indiqué que le terme phosphor (et non l'élément phosphore) a été introduit en 1603 par Casciarolo de Bologne (Italie), dénommé ainsi d'après le grec "phosphoros = qui donne de la lumière" pour des solides naturels qui luminescent dans l'obscurité, après avoir été soumis à l'exposition des rayons de soleil. Le terme luminescence, du latin "lumen = lumière + escence", a été introduit par Wiedemann (1888, cité dans Nichols et al., 1928). Cette luminescence peut être provoquée artificiellement sous le bombardement électronique d'un échantillon, en l'occurrence ici des cristaux d'émeraude.

Deux principaux types d'appareils de cathodoluminescence existent actuellement. Le premier, appelé à cathode froide, est monté sur un microscope optique, le second, à cathode chaude, est utilisé dans les microscopes à balayage ou sous les microsondes électroniques (appelées aussi sonde de Castaing). Il y a plus de cent ans, Crookes (1879) a le premier observé dans son tube cathodique la luminescence des émeraude. Il la décrit ainsi : "Emeralds. A small hexagonal prism gave out a fine crimson-red colour. The light was polarised, apparently completely, in a plane perpendicular to the axis; this would correspond therefore to extraordinary rays which in emerald, as a negative crystal, represent the quicker rays vibrating presumably parallel to the optic axis of the crystal. ... Beryls exhibited no corresponding phenomena." Il a ainsi mis





■ Fig. 2. Image de cathodoluminescence froide d'émeraudes trapiches de Colombie.

A - Émeraude trapiche de Peña Blanca présentant un cœur hexagonal et trois prismes trapézoïdaux rouge sombre qui correspondent aux zones translucides, les autres prismes plus jaune-orangé correspondent aux zones vertes à l'œil nu. Noter que les inclusions entre les prismes sont non luminescentes à l'exception de certains points brillants qui sont des apatites. Largeur de la photo 4 mm ;

B - Détail du prisme trapézoïdal de gauche. Noter les stries parallèles à l'allongement du prisme. Largeur de la photo 2 mm ;

C - Dissolution et recristallisation dans une émeraude trapiche de Muzo. Largeur de la photo 2 mm ;

D - Filonnet de calcite en jaune orangé (luminescence due au  $Mn^{2+}$ ) recoupant une émeraude trapiche de Coscuez au contact entre le matériel inclus et le prisme trapézoïdal. Largeur de la photo 2 mm.

■ Fig. 2. Cold cathodoluminescence image of Colombian trapiche emeralds.

A - Trapiche emerald from Peña Blanca showing a central hexagonal prism and three trapezoidal prisms of red colour corresponding to the clear part of the crystal under naked eyes, the three others prisms with red-orange colour correspond to green colour emeralds. Note that the included material between the trapezoidal prisms is non-luminescent except some small bright spots corresponding to apatites. Width of the photograph 4 mm ;

B - Detail of the trapezoidal prism from the left. Note the parallel striation to the border of the trapezoidal prism. Width of the photograph 2 mm ;

C - Dissolution and recrystallization in a trapiche emerald from Muzo. Width of the photograph 2 mm ;

D - Calcite veinlet crosscutting a trapiche emerald from Coscuez at the boundary between a trapezoidal prism and the included material. Width of the photograph 2 mm.

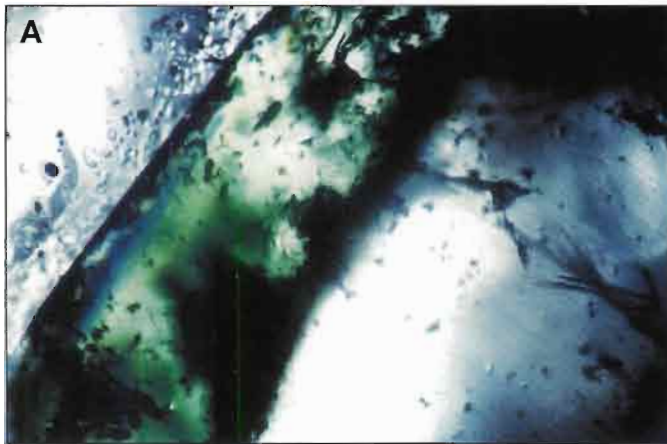
en évidence les phénomènes de polarisation de la lumière émise par les cristaux sous le bombardement électronique.

Burns et al. (1965) ont identifié le rôle du  $Cr^{3+}$  comme le principal activateur de la cathodoluminescence, en émettant dans le rouge (Fig. 2 et 3). Des zonations de croissance dans les émeraudes de Carnaíba (Brésil) ont été mises en évidence par CL par Mariano (1974 cité

dans Marshall, 1988). Les émeraudes étudiées en CL de la mine de Muzo sont accompagnées d'autres minéraux luminescents tels que la parisite et la fluorite (les activateurs de luminescence de ces minéraux étant les lanthanides ainsi que l'oligoclase de néoformation ("authigenic") non-luminescente (Mariano, 1974; Escobar et Mariano 1976 cité dans Marshall,

1988). Depuis la CL a été utilisée pour distinguer entre les vraies des fausses pierres (Pohnalo, 1989). Cet auteur a montré que les émeraudes synthétiques étaient plus luminescentes dans la bande 680-750 nm d'un facteur de 10 par rapport aux gemmes naturelles.

Les études que nous avons entreprises et qui sont en cours d'achèvement, ont consisté à procéder à une imagerie



■ Fig. 3. Image transmise (A) et de cathodoluminescence (CL) froide (B) d'une émeraude trapiche de Muzo. Noter la surcroissance verte (A) qui correspond aux zones plus rouges orangées en CL, un liseré légèrement plus brillant sépare le coeur rouge-rose de la surcroissance. Largeur de la photo 2 mm.



■ Fig. 3. Transmitted light (A) and cold cathodoluminescence (CL) photographs of a Muzo trapiche emerald. Note that the green overgrowth (A) corresponds to the red orange part in the CL image (B), a small more bright border underlines the contact between the rose-red core and the red orange overgrowth zone. Width of the photograph 2 mm.

systématique (Fig. 1, 2, 3, 4) sous divers modes d'observation de ces cristaux afin de mieux comprendre leurs mécanismes de croissance et de zonation. On peut noter que la cristallisation est de type squelettique, donc ces cristaux se forment rapidement. Ils réagissent avec d'une part, l'encaissant "les schistes noirs" et d'autre part, avec le fluide hydrothermal. On peut ainsi observer des phénomènes de dissolution et de recristallisation (Fig. 2C). La complexité des inclusions doit être soulignée (Fig. 1 D et E). L'analyse spectrale en CL a permis de mettre en évidence des différences notables entre prisme hexagonal central et prismes trapézoïdaux. Les béryls translucides n'ont pas de réponse spectrale car l'intensité d'émission de CL dépend des teneurs en  $\text{Cr}^{3+}$  (Fig 2, 3 et 4). L'imagerie CL couplée avec l'analyse in situ des mineurs à la microsonde électronique est un outil puissant pour voir en détail les zonations en vanadium et chrome dans les zones de surcroissance de ces minéraux (Fig. 4). On peut mettre ainsi en évidence par le découplage de ces éléments traces, que le  $\text{Cr}^{3+}$ , responsable de la lumière rouge émise par ces cristaux, ne suit pas toujours les profils de concentration en vanadium. Ceci suggère ainsi un phénomène de diffusion sélective à partir du front métasomatique créé par l'avancée du fluide.

Pour conclure, signalons que la texture trapiche a été décrite récemment dans d'autres minéraux tels que les rubis (Müllmeister et Zang, 1995; Schmetzer al. 1996), les corindons (Henn et Bank, 1996) et les saphirs (Koivula et al, 1994).

#### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Mme Sandrine Barda et Mrs Alain Kohler et Renaud Podor du Service Commun de l'Université H. Poincaré de Nancy, pour leur aide technique concernant les analyses microsondes et les photographies au microscope électronique à balayage, ainsi que Mr Philippe Blanc du Service Commun de microscopie électronique de l'Université de Paris VI pour l'aide dans l'obtention des images de cathodoluminescence au Technosyn (CL froide) et au Meb (CL chaude).

### COLOMBIAN TRAPICHE EMERALDS

*Abstract - The Colombian trapiche emeralds were called after the spanish word for gears used for crushing sugar cane. The sector zoned texture is made by an intergrowth of mostly clear beryl (and/or emerald) and opaque material of different origin. First described by Bertrand (1879), studied in detail by Bernauer (1926) and Nassau and Jackson (1970). These last authors showed that the opaque inclusions consist mainly of albite and beryl. Additional included minerals were recovered in this study : monazite, K-feldspar presumably adularia, epidote, apatite and zircon. Transmitted and reflected light as well as BSE-SEM and CL photographs show the complex skeletal growth pattern of these trapiche emeralds.*



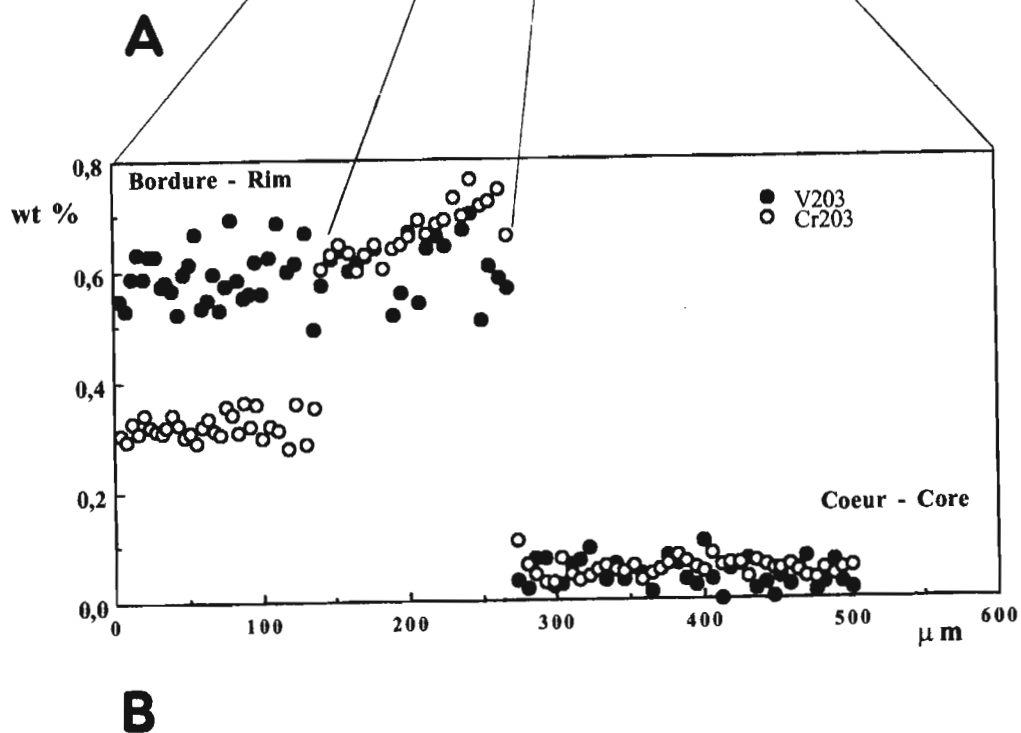
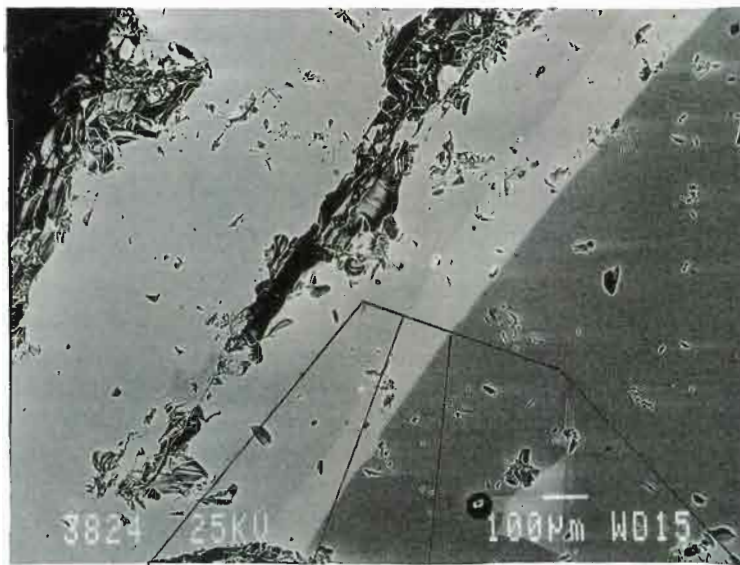


figure 4

■ Fig. 4. A - Image CL obtenue au microscope électronique à balayage montrant les deux surcroissances dans une émeraude trapiche de Muzo. L'échelle est indiquée en micromètres sur la photo; B - Traversées effectuées dans la même zone (données microsonde électronique). Les teneurs en V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> exprimées en pourcentage poids d'oxydes (wt%) sont plus élevées vers la bordure du cristal et plus pauvres au coeur; les teneurs en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soulignent les deux zones visibles sur l'image CL. Le liseré entre la surcroissance verte et la zone limpide est marqué par un enrichissement en chrome, le coeur étant appauvri.

■ Fig. 4. A - Scanning electron microscope CL image of a trapiche emerald from Muzo showing two overgrowth zones. Scale indicated on the photographs; B - Scanning through two overgrowth zones of a trapiche emerald from Muzo. The contents of V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in weight per cent (wt%) are enriched in the rim of the crystal whereas the contents of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> underline the two growing zones, with an enrichment in the border between the green overgrowth zone and the depleted core zone of the crystal.

## Références

- Barbin V, Schvoerer M (1997) Cathodoluminescence et géosciences. *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris*, 325, 157-169.
- Bernauer F (1926) Die sogenannten Smaragadhrillinge von Muzo und ihre optische Anomalien. *Neues Jahrbuch Mineral., Abt A*, 54, 205-242.
- Bertrand E (1879) *Compte-rendu de la séance du 13 février 1879*. *Bull. Soc. Minéral. France*, 2, 31.
- Burns G, Geiss EA, Jenins BA, Nathan MI (1965) Cr<sup>3+</sup> fluorescence in garnets and other crystals. *Physics Review*, 139, 687-693.
- Chaudari MW (1969) An unusual emerald. *Schweiz Min. Petr. Mitt.*, 49, 569-575.
- Crookes W (1879) Contributions to molecular physics in high vacua.- Magnetic deflection of molecular trajectory.- Laws of magnetic rotation in high and low vacua.- Phosphorogenic properties of molecular discharge. *Phil. Trans. Royal Soc. London*, 170, 641-662.
- Escobar R, Mariano AN (1976) On the origin of Colombian emeralds. 2nd biannual meeting of the Min. Soc. Am., Tucson, résumé (cité dans Marshall, 1988).
- Henn U, Bank H (1996) Trapichartige Korunde aus Myanmar. *Zeitsch. Deutschen Gemm. Gesell.*, 45, 23-34.
- Koivula JI, Kammerling RC, Fritsch E (1994) Gem news : "Trapiche" purple-pink sapphire. *Gems and Gemology*, 30, 197.
- Leverenz HW (1950) An introduction to luminescence of solids. John Willey ed., New York, pp 559.
- Mariano An (1974) UNDP Emerald Project, Colombia, (cité dans Marshall, 1988).
- Marshall DJ (1988) Cathodoluminescence of Geological Materials. uwi Hyman éd., Boston, pp 146.
- McKague HL (1964) Trapiche emeralds from Columbia. *Gems and Gemology*, 11, 210-213 et 223.
- Müllenmeister HJ, Zang J (1995) Ein Trapiche-Rubi aus Myanmar (Burma). *Lapis*, 20, 50.
- Nassau K, Jackson KA (1970) Trapiche emeralds from Chivor and Muzo, Colombia. *Amer. Min.*, 55, 416-422.
- Nichols EL, Howes HL, Wilber DT (1928) Cathodoluminescence of incandescents solids. Carnegie Institution of Washington pub. 384, pp 350. (Carnegie)
- O'Donoghue MJ (1971) Trapiche emerald. *J. Gemmology*, 12, 329-332.
- O'Donoghue M (1988) *Gemstones*. Chapman et Hall éd., London, pp 372.
- Pagel M, Barbin V, Blanc Ph, Ohnenstetter D (1998) Cathodoluminescence in Geosciences. Springer Verlag éd., Berlin, (à paraître).
- Pohnalo J (1989) Mikrospektralphotometrie des Edelstein-Kathodolumineszenz. *Z. Dt. Gemmol. Ges.*, 38, 63-84.
- Pogue JE (1916a) The emerald deposits of Muzo. *Trans. Amer. Instit. Mining Metallurg. Eng.*, 55, 910-934.
- Pogue JE (1916b) The emerald deposits in spanish America. *Bull. Pan-Amer. Union, Washington*, 43, 706-720.
- Post JE (1997) The National gem collection Smithsonian Institution. Harry N. Abrams Inc., New York, pp 144.
- Rémond G, Cesbron F, Chapoulie R, Ohnenstetter D, Roques-Carnes C, Schvoerer M (1992) Cathodoluminescence application to the microcharacterization of mineral materials: a present status in experimentation and interpretation. *Scanning Microsc.*, 6, 23-68.
- Scheibe R (1926) Die Smaragdlagerstätte von Muzo (Kolombien) und ihre nähere Umgebung. *Neues Jahrb. Mineral., Abt. B*, 54, 419-447.
- Schiffman CA (1968) Unusual emeralds. *J. Gemmology*, 11, 105-114.
- Schmetzer K, Hänni HA, Bernhardt HJ, Schwarz D (1996) Trapiche Rubies. *Gems and Gemology*, 32, 242-250.
- Sinkankas J, Read P (1985) *Beryl*. Butterworths éd, London, pp 225.
- Tripp EJ, Hernandez LH (1970) The complete trapiche emerald picture. *Lapidary J.*, 24, 96-104.
- Webster R (1983) *Gems. Their sources, description and identification*. 4<sup>ème</sup> éd. réviséee par Anderson BW, Butterworths, London, pp 1006.
- Wiedeman e (1888) *Wienakad.*, 34, 146

Ohnenstetter D., Giuliani Gaston, Bustos O.  
Emeraude trapiches colombiennes.

In : Giard D. (ed.), Giuliani Gaston (co-ed.),  
Cheilletz A. (co-ed.), Fritsch Emmanuel (co-  
ed.), Gonthier E. (co-ed.). L'émeraude :  
connaissances actuelles et perspectives.

Paris : Association Française de Gemmologie,  
1998, p. 119-124.