

# LES NOUVELLES MINES D'ÉMERAUDE DE LA PITA (Colombie) 2<sup>e</sup> partie .

E. Fritsch<sup>a</sup>, B. Rondeau<sup>b</sup>, F. Notari<sup>c</sup>, J.-C. Michelou<sup>d</sup>, B. Devouard<sup>e</sup>, J.-J.-Peucat<sup>f</sup>, J.-P. Chalain<sup>g</sup>, Y. Lulzac<sup>h</sup>, D. de Narvaez<sup>i</sup>, C. Arboleda<sup>j</sup>

## English abstract

The La Pita emerald mining district in Colombia is located between Muzo and Coscuez (fig. 1). It contains up to 33 claims, all with underground mining, using up to date techniques and procedures (fig. 2). The geology is very similar to that of Muzo or Coscuez, with emerald-bearing, carbonate-rich veins intruding fine carbonaceous (black) sedimentary rocks (fig. 3 and 4). Veins contain, besides emerald, calcite, parisite, pyrite, quartz, dolomite, albite and muscovite. Emeralds from la Pita have a characteristic green, and can be very large (up to 10 cm). They have a typical prismatic habit (fig. 6) but there are many minor prism and pyramidal faces which, when combined, may be more characteristic of this particular occurrence.

RI and SG are typical (1,570 to 1,571 – 1,578 to 1,581 ; 2,69 to 2,70), with little or no luminescence to UV, and significant color zoning. The pleochroism is very distinct (fig. 5) Inclusions are essentially typical of Colombian emeralds (fig. 9, 10) also some less common or slightly unusual morphologies have been identified (fig. 7, 8, 11, 12). Chemical analyses done by EDA, EMPA and ICPMS-LA (see tables I to III) indicate the presence of little iron and significant vanadium, common in Colombian emeralds, but also a marked predominance of vanadium over chromium, which is typical of La Pita. Combined with very low rubidium concentrations and typical Mg values detected by ICPMS, this make for a unique chemistry which can identify unequivocally the La Pita origin by this relatively inexpensive technique.

Polarized UV-visible absorption spectra (figure 14) reveal absorption intermediary between a pure Cr-emerald and a vanadium beryl (figure 15). In the near-infrared are absorptions of tyrell water (associated with alkali ; figure 16), typical of natural emeralds. The mid-infrared absorption is quite typical (fig. 17), including absorptions related to the usual oils and resins used for impregnation (fig. 13, 18).

a - Institut des Matériaux Jean Rouxel (I.M.N.), 2, rue de la Houssinière - BP 32229 44322 NANTES Cedex 3 . fritsch@cnsr-immn.fr

b - Museum National d'Histoire Naturelle, Laboratoire de Minéralogie, 61 rue Buffon, 75005 PARIS. rondeau@mnhn.fr

c - GemTechLab 2, rue Chantepoulet CH-1201 Genève Suisse. Gemtechlab@bluewin.ch

d - Calle 9, N°2-63, La Candelaria, Bogotá, Colombie. jcmichelou@yahoo.com

e - Université de Clermont Ferrand-CNRS, labo. Magma et Volcans, 5, rue Kessler 63038 Clermont-Ferrand. devouard@opgc.univ-bpclermont.fr

f - CNRS- Géosciences Rennes. Avenue du général Leclerc 35042 Rennes Cedex. Peucat@univ-rennes1.fr

g - SSEF Falknerstrasse 9 CH-4001 Bale Suisse. chalain@club-internet.fr

h - 1, place du 116ème R.I. 44300 Nantes

i - Compania Mineira Rio Dulce, Carrera 11, Numero 89-38, Oficio 207, Bogotá, Colombie. Cra 11a No 89- 38, Bogotá, Colombie

j - Cra 25 No 145a- 25, Bogotá, Colombie.



Figure 1: Carte géographique et géologique schématique. La couche stratigraphique riche en émeraude est indiquée en vert, elle est encadrée de roches stériles. Les mines en exploitation à ce jour figurent avec leur nom, entrée et tunnel.

Schematic geographic and geological map. The emerald-rich zone is indicated in green, and is surrounded by sterile rocks. The mines currently working are indicated with their name, entrance and tunnel.

Cet article fait suite à deux articles publiés dans le numéro précédent. Le premier (Michelou, 2001) décrivait pour la première fois l'histoire agitée de la mine de La Pita, première mine productrice d'émeraudes de Colombie, et donc du monde. Le deuxième (Giuliani, 2001) résumait les caractères isotopiques de l'oxygène dans ces émeraudes, qui permettent de reconnaître leur origine géographique à coup sûr, même dans une pierre sans inclusion. Cet article décrit un peu plus en détail la géologie et minéralogie du gisement ainsi que son exploitation

minière. Il détaille certaines des propriétés gemmologiques classiques, et les caractères spectroscopiques de ces gemmes, en vue de déterminer si cette nouvelle production a des caractéristiques typiquement colombiennes, ou bien possède certaines propriétés uniques.

## Description de l'exploitation

Le secteur minier de La Pita est situé géographiquement à mi-distance entre les secteurs de Muzo et de Coscuez, sur la rive est du Rio Minero (précisément sur les communes de Maripi et Santa Rosa, département de Boyaca, Colombie).

L'émeraude est extraite, depuis quelques années seulement, par quelques exploitants indépendants dont les relations politiques et économiques sont complexes (Michelou, 2001). On peut distinguer jusqu'à 33 concessions dans ce secteur, dont les noms principaux apparaissent sur la carte (figure 1). Le secteur est nommé

d'après la ferme où fut creusé le premier tunnel. Les autorisations d'exploiter ont été déposées à l'Institut Colombien des Mines, mais seules deux concessions ont été délivrées (Prominas del Zulia et Santa Rosa de Esmeralda). Les autres demandes sont en attente. L'Etat ignore donc en grande partie cette activité économique en pleine expansion, qui pourtant participe à la renommée de ce pays.

Toute l'exploitation de l'émeraude est souterraine. A cette date, une dizaine de tunnels sont ouverts, dans le secteur qui s'étire sur cinq kilomètres le long du Rio Minero (il est pro-

bable que le nombre de tunnels va être multiplié dans les années à venir). Le principe d'exploitation est assez constant : sur le flanc est du Río Minero, l'entrée du tunnel est choisie à une dizaine de mètres au-dessus du cours d'eau. Le tunnel s'enfonce vers l'Est dans la montagne, en grimpant avec une légère pente pour permettre l'évacuation de l'eau. Au bout de 500 m environ, la zone à émeraude est atteinte. Des puits de 2 à 30 mètres sont creusés, puis le choix des directions devient fonction de la production des fronts de taille : les zones riches sont perforées dans tous les sens alors que certains tunnels semblent abandonnés faute de production. Les producteurs sont réticents à indiquer quelles zones ont produit de l'émeraude et en quelle quantité. Cela crée une réelle difficulté pour dresser une carte géologique détaillée : une fois exploitée, une zone qui était minéralisée ne se distingue plus d'une zone stérile. Les directions empruntées par les tunnels sont parfois difficiles à expliquer : un dicton Colombien dit que " l'émeraude est plus verte dans la mine du voisin ". On voit ainsi des tunnels obliquer en profondeur pour franchir la limite de la concession voisine ! Il est donc parfois délicat de dresser une carte précise des tunnels, car on risque de mettre en évidence une situation épineuse, susceptible d'entraîner des conflits (c'est une telle situation qui a donné naissance à une zone d'exploitation commune appelée « Consorcio » entre les concessions Prominas de Zulia et Esmeralda Santa Rosa) (Michelou, 2001).

La sécurité physique dans les tunnels est bien garantie par le génie minier : étayages solides dans les zones fracturées, infiltration d'eau maîtrisée, et treuils électriques rudimentaires mais efficaces. L'aération est assurée par des turbines à l'extérieur qui propulsent l'air via des tuyaux souples qu'il suffit de raccorder au ruban adhésif au fur et à mesure de la progression du front (figure 2). Besoin d'air au milieu du tunnel ? Un simple petit coup de couteau et vous voilà rafraîchi ! Malgré cela, la température peut monter jusqu'à 45 degrés et l'humidité frôle les 100%. Le perçage des tunnels se fait au marteau piqueur (électrique) et à la dynamite : il suffit de se reculer un peu du front de taille quand la charge part. Ceci peut sembler un peu dangereux, cependant les mineurs ne rapportent aucun accident sérieux.

Les équipes travaillent le plus souvent huit heures, en se relayant à plusieurs sur chaque front de taille. Luxe suprême à la mine Totumos : même au fond du trou, le café colombien est servi par la patronne dans des tasses en porcelaine.

La totalité de la roche broyée est évacuée par wagonnets à pneus vers l'entrée. Là, des gardes particulièrement armés surveillent les mineurs (hommes et femmes) chargés de concasser puis trier à la main tout ce qui sort. Aucun tapis mécanisé n'est encore installé. Malgré l'œil exercé de ces mineurs (le vert émeraude se voit très bien sur la gangue noire des lutites ou blanche de la calcite) il est probable qu'une grande quantité d'émeraudes s'échappe directement dans la rivière.

Sur le front de taille, les mineurs travaillent en groupe de deux ou trois. Quand ils découvrent une poche, la nouvelle est vite propagée et l'exploitation continue sous la surveillance des propriétaires ou leurs représentants. L'émeraude est alors récupérée directement et stockée dans un petit sac cadennassé appelé tula. Les tulas sont ensuite acheminés sous haute surveillance dans un bâtiment spécial, où l'émeraude est lavée dans des bacs. De grands coffres-forts attendent leur marchandise, en attendant le partage équitable entre les nombreux propriétaires de la mine (figure 3).

### Cadre géologique

Le gisement de La Pita ressemble fort à ceux de Muzo et Coscuez : l'émeraude se trouve dans des veines bréchiques de calcite (et minéraux accompagnateurs) qui recoupent une couche sédimentaire de lutite carbonée plus ancienne, datant du crétacé inférieur. Cette couche est encadrée par des calcaires plus ou moins riches en silice et en matière carbonée, disposée en bancs réguliers plus ou moins fins (épaisseur centimétrique à décimétrique). L'ensemble de la série est très redressé (pendage à 70 degrés en général, azimut Nord à Nord-Est), ce qui indique que ces roches ont subi des mouvements tectoniques. La carte (figure 1) est proposée à partir de données de terrain (B. Rondeau) et des observations du géologue de la mine de Totumos (Cezar Valencia).

La mise en place de ce gisement semble simi-



**Figure 2 :** Le front de taille suit un filon de calcite (blanche) dans la roche encaissante (lutite carbonée noire). On devine de petits points verts au-dessus du marteau. Cette émeraude ne sera pas ramassée (trop basse qualité), mais elle peut annoncer une poche de matériau gemme.

The tunnels follow a white calcite vein in the surrounding rock (carbonaceous black lutite). One distinguishes small green specks above the hammer. This emerald will not be harvested (too low a quality) but it indicates a pocket of gem-quality material.

laire à la mise en place des gisements de Muzo et Coscuez (Branquet, 1999) : la série sédimentaire a été plissée et faillée lors d'un épisode tectonique lié à la formation des Andes. Le río Minero s'écoule parallèlement à la stratification, dans une direction régionale caractéristique de la cordillère orientale. Des fluides hydrothermaux (riches en carbonates, terres rares, béryllium, chrome, vanadium etc. ) se sont mis en place à cette occasion. Les différents épisodes de cristallisation de la calcite indiquent plusieurs épisodes d'injection de fluides hydrothermaux pendant la déformation (les premiers filons injectés sont déformés par les mouvements, les derniers filons injectés recoupent les premiers). Les zones les plus déformées sont caractérisées par des brèches (roches broyées constituées d'éléments anguleux de lutites et de calcite, voir figure 4) particulièrement riches en émeraude.

### Minéralogie

Les roches sédimentaires qui constituent ce gisement sont des lutites (ou argilites), composées de cristaux très fins d'argiles, de calcite et de quartz, ainsi que de matière carbonée. Ces lutites sont également très riches en grains de



**Figure 3 :** Salle de lavage de l'émeraude. Quand une poche est découverte, les émeraudes sont transportées dans une « tula » (petit sac cadrenassé), lavées dans ces bacs puis enfermées dans ces coffres, en attendant d'être partagées entre les propriétaires.

*Emerald sorting room. When a pocket is discovered, emeralds are carried in a « tula » (small cadrenassé bag), washed in these troughs and locked in the safes, waiting to be shared among owners.*

pyrite (microscopiques à centimétriques), formant parfois des lentilles de plusieurs centimètres. La chalcopryrite est rare dans ces roches. Elles sont recoupées de filons (essentiellement de calcite) contenant les émeraudes. Dans le détail, ces filons sont formés de :

**Calcite :** De nombreux types morphologiques doivent être distingués.

La calcite est le plus souvent fibreuse, localement automorphe (ayant ses formes cristallines propres) quand le filon n'est pas rempli complètement. Dans les brèches, on observe des cristaux centimétriques à surface mate, pleins d'inclusions de carbone. Dans les géodes, les cristaux sont opalescents, à surface brillante et courbe : ce dernier type est souvent accompagné d'émeraude.

**Émeraude :** L'émeraude de La Pita est remarquable par sa couleur menthe à l'eau typique, particulièrement intense même sur les petits cristaux. Rarement, l'émeraude devient incolore, on a alors affaire à un béryl standard. Les cristaux d'émeraude sont le plus souvent automorphes (ils montrent leurs faces externes de cristallisation), invariablement en prismes hexagonaux allongés, plus ou moins fracturés. On les trouve en association avec les carbonates dans les brèches ou dans les filons (figure 2), cristallisant sur les cristaux de calcite géodique. La pyrite est également associée à l'émeraude dans les faciès bréchiqes. On la trouve parfois directement dans l'encaissant de lutite carbonée. Des émeraudes de plus de 10 cm y ont été trouvées.



**Figure 4 :** La zone productrice d'émeraude est constituée de lutite carbonée (roche noire et friable) traversée de filons de calcite blanche. La roche et les filons sont cassés en blocs anguleux et déformés : cette zone bréchiqie indique un mouvement tectonique (faille) et des circulations de fluides hydrothermaux.

*The emerald-producing zone is principally composed of carbonaceous lutite (black, friable rock) cut by white calcite veins. The rocks and the veins are broken up into angular and distorted blocks : this breccia zone indicates a tectonic movement (fault) and hydrothermal circulations.*

**Parisite :** Ce carbonate de terre rares, typique de ces gisements d'émeraude, est présent ici en pyramides hexagonales allongées, en prismes hexagonaux droits, ou parfois en cristaux tabulaires et aplatis. Elle est parfois translucide et centimétrique. La plupart des cristaux sont brun miel, mais certains sont roses. Les analyses chimiques réalisées indiquent que les parisites brunes contiennent toujours des traces de thorium (quelques pour cent) alors que les parisites roses sont dépourvues de cet élément.

**Pyrite :** Elle cristallise en cristaux parfois centimétriques en accompagnement de la calcite et l'émeraude dans les brèches. Elle est rarement présente dans les filons peu déformés.

**Quartz :** Les mineurs rapportent souvent des échantillons de quartz hyalin (beaux cristaux centimétriques) associés aux zones bréchiqes produisant l'émeraude.

**Dolomite :** Elle s'observe en petits cristaux jaune ocre, associés à la calcite massive, filonienne.

**Albite :** Minéral rare dans ce gisement, l'albite se présente en microcristaux brun clair, amassés en lentilles (parfois même des filons de plusieurs mètres) dans la lutite encaissante. La genèse de ces albites est liée à la circulation des fluides, donc à la génération des filons.

**Muscovite :** Elle forme des filonnets millimétriques de placages blanc à légèrement vert, en lamelles perpendiculaires au filon. Elle est souvent associée à la pyrite.

En dehors des zones minéralisées, on peut trouver dans des petites fractures des minéraux accessoires millimétriques comme le gypse, la smithsonite, l'antracite et la turquoise (en jolis placages centimétriques).

### Propriétés gemmologiques

Les émeraudes de La Pita ont des indices de réfraction couvrant la fourchette 1.570 – 1.578 à 1.571 – 1.581. La masse spécifique, ou "densité", varie entre 2.69 et 2.70. Ces valeurs sont tout à fait typiques des émeraudes colombiennes. La luminescence au rayonnement ultraviolet est très faible ou absente. Quelques unes des pierres présentent une faible lueur blanc vert. Aucune ne montre de luminescence rouge distincte. Ces observations sont cohérentes avec bien des émeraudes colombiennes (Bosshart, 1991; Zylberman, 1998).

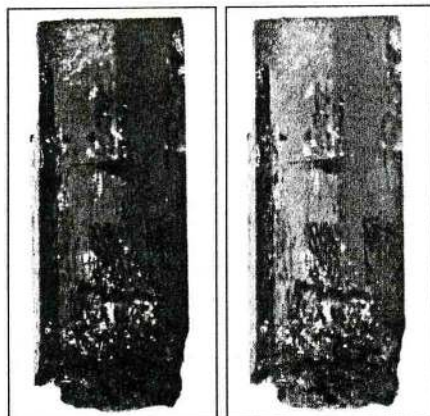
La nuance des émeraudes de La Pita est typique des émeraudes classiques, avec des couleurs plus ou moins foncées. A la loupe ou sous le microscope, les pierres montrent des zonations de couleur souvent marquées. On peut voir par exemple sur le même échantillon des zones vert moyen et presque incolores (cf tableau II). Les limites suivent généralement les formes du prisme de croissance avec un cœur plus pâle que la périphérie (11 échantillons sur 27), ou une couleur concentrée sur les arêtes du prisme. La transition de couleur est souvent bien marquée. Le pléochroïsme est très prononcé (figure 5).

Les cristaux sont des prismes hexagonaux typiques. Assez souvent, on observe des faces accessoires, plus petites (figure 6). Des prismes secondaires peuvent tronquer les arêtes longues des prismes. Les faces pyramidales sont communes, si petites: les dipyramides du premier ordre tronquent les arêtes sommitales du prisme, tandis que celles du deuxième ordre tronquent les sommets du prisme. On observe même plusieurs faces mineures en troncature aux sommets sur certains cristaux. Des figures de dissolution apparaissent souvent sur l'ensemble des faces. Ces détails de la morphologie des cristaux pourraient être assez caractéristiques de La Pita.

Les inclusions observées dans les 27 cristaux d'émeraude de la Pita que nous avons analysés sont globalement caractéristiques de l'ensemble des inclusions rencontrées habituellement en Colombie (Bosshart, 1991; Gübelin & Koivula, 1986). Nous avons toutefois observé quelques différences de morphologie et de topographie : certaines cavités qui contiennent des inclusions triphasées présentent une morphologie polygonale, avec une section de rapport  $\pm 1/1$  et sont cintrées dans leur longueur. Leurs extrémités ne sont en général pas digitées, mais peuvent s'étrécir en formant une pointe décentrée par rapport à l'axe de la cavité (figure 7). De telles inclusions triphasées sont peu fréquentes dans les autres gisements. Les cavités plates qui contiennent des inclusions triphasées sont souvent allongées et légèrement courbes, ce qui est peu courant mais fréquent dans nos échantillons de La Pita. Dans ce cas, leurs extrémités seules, sont digitées (Figure 8).

On observe des groupes d'inclusions multiphasées (gaz-liquide-solide ou gaz-liquide-solide-solide) en cavités plates, soit fortement digitées (ce qui est habituel), soit de morphologie très complexe. Ces groupes forment plus souvent qu'à l'habitude des plans homogènes. Les solides qu'on y rencontre sont la classique halite (NaCl; Bosshart, 1991), certainement de la sylvite (KCl; Giuliani et al., 1998) et probablement de l'albite (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) qui rétablit en lumière polarisée avec filtres croisés (Figure 9b). Comme à Chivor, on rencontre de fréquents cristaux de pyrite (figure 10). On rencontre également assez fréquemment des groupes de petites inclusions (sulfate de calcium?; Schwartz et al., 1996), parsemés de nombreuses petites fractures discoïdes (figure 11), et dans lesquels se rencontrent des cristaux plus importants, transparents et anisotropes, très probablement de l'albite. Les fractures en "couteaux" sont assez fréquentes (figure 12).

Les émeraudes que nous avons reçues pour étude étaient dans leur majorité traitées à l'aide de substances de remplissage: huile de cèdre et/ou résine synthétique (époxy). La mise en évidence de la nature de ces substances a été effectuée par imagerie de lumi-



**Figure 5 :** Les émeraudes vert intense de la Pita montrent un pléochroïsme marqué vert-bleu (rayon ordinaire) vert-jaune (rayon extraordinaire). La composante jaune du rayon extraordinaire se situe dans les maxima des valeurs rencontrées dans les émeraudes de Colombie.

The intense green emeralds from the Pita show a strong pleochroism bluish green (ordinary ray) yellowish green (extraordinary ray). The extraordinary ray yellow component is very strong for Colombian emeralds.

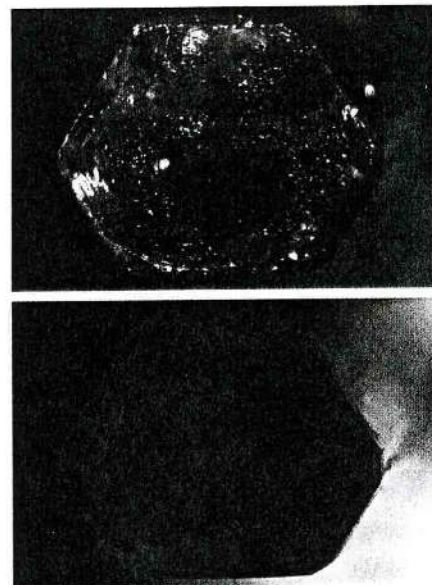
nescence U-VISIO® (figure 13: luminescence avec filtre d'observation de coupure des rouges, 13b: luminescence avec filtre d'observation étendu, 13c: lumière visible). Cet instrument est un microscope couplé à une source intense émettant à une longueur d'onde courte du domaine visible.

### Analyses chimiques

Plusieurs méthodes d'analyse chimique ont été utilisées: la microanalyse à dispersion d'énergie couplée à un microscope électronique à balayage (MEB), la microsonde électronique, et l'ICPMS-ablation laser.

Les analyses à dispersion d'énergie ont été effectuées sur un microscope électronique à balayage (MEB) JEOL-5800LV, équipé d'un détecteur à dispersion d'énergie PGT (Princeton Gamma Tech) IMIX-PTS, à l'Institut des Matériaux Jean Rouxel à Nantes. Ce détecteur utilise un cristal de Ge « haute résolution » (115 eV) et une fenêtre ultrafine en polymère. Le MEB opère avec une tension d'accélération de 20 kV, un courant de 1 nA, et un angle de vue du détecteur de 37°. Les résultats sont présentés dans le tableau I.

Pour la microsonde électronique, c'est la



**Figure 6a :** Figures de dissolution sur le plan "c". Les cristaux de l'échantillonnage présentent tous de telles figures. Episcopie, 20x.

Etch patterns on the "c" plane. All crystals in the sampling present such patterns. Episcopy, 20x.

**Fig 6b.** En bordure de ce cristal, la luminescence rouge du chrome est plus intense en raison d'une plus grande concentration de cet élément. Ceci est fréquent à la Pita. Luminescence avec filtre étendu, 20x.

Running along the crystal, the red chromium luminescence is more intense because of a larger concentration of this element. Frequently found at La Pita. Luminescence with extended filter, 20x.

Cameca SX 100 de l'université de Clermont Ferrand qui a été utilisée. Les conditions d'analyse sont les suivantes: 15 kV, 50 nA, taille de sonde 10 microns, comptage 10s / élément, sauf 30 s pour le Cr, et les mesures sont résumées dans le tableau II.

Les mesures ICPMS - LA (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry - Laser Ablation) ou plus simplement ICPMS - ablation laser ont été effectuées sur un instrument à quadrupôle HP4500 au laboratoire Géosciences de l'université de Rennes 1 (voir tableau III). Le système d'ablation est un CETAC SLX200 utilisant un laser Nd : YAG (1064 nm) quadruplé, émettant à 266 nm, avec des spots laser de 200 microns. Une calibration externe a été réalisée sur des verres standards NIST (610-612-614-616) et les résultats normalisés à 65% de SiO<sub>2</sub>. 23 analyses ont été réalisées sur 3 cristaux.

Des échantillons différents ont été analysés par chaque technique. Ceci démontre à la

fois la variabilité possible entre ces échantillons, et la cohérence globale des résultats. Les teneurs relativement élevées et à peu près homogènes sur un échantillon de sodium (Na) et magnésium (Mg) sont typiques des émeraudes naturelles (Stockton, 1984), et des émeraudes colombiennes, même si la concentration en MgO est un peu élevée (1 à 1,2 comparé à 0,7, donné comme typique par Bosshart, 1991). Elles ne sont pas liées aux inclusions. Les autres alcalins, présents à beaucoup plus faible concentration, tel le potassium, K, le rubidium, Rb, et le césium, Cs, semblent suivre la même loi. Ces émeraudes contiennent très peu de fer, Fe, comme la plupart des émeraudes colombiennes (Bosshart, 1991).

Elles n'ont donc pas la nuance jaune qu'il induit. Aussi, le fer n'agit pas en poison de la luminescence. Le manganèse n'est présent qu'à l'état de traces.

Ainsi, seuls deux éléments chromophores sont détectés : le chrome (Cr) et le vanadium (V). On notera que le V domine toujours très largement le chrome. Il s'agit donc d'émeraudes vanadifères. Une zone vert foncé contient plus de 1,80% de  $V_2O_5$ , ce qui est exceptionnel. Les rapports V/Cr mesurés vont de 1,63 jusqu'à 4,82. Cela contraste avec la majorité des émeraudes colombiennes qui ont typiquement un rapport V/Cr de 0,3 (rapport Cr/V de 3 ; Bos-

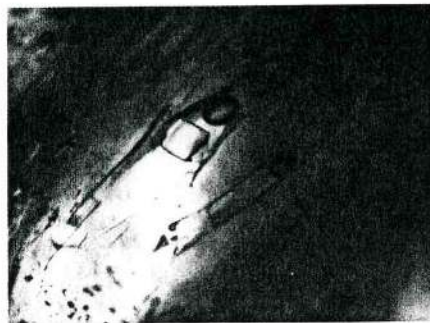
shart, 1991). Cette dominance du V explique en partie la faible luminescence des gemmes de la Pita, le V ne produisant aucune luminescence, contrairement au chrome.

L'analyse ICPMS révèle des proportions Cr-V-Mg qui sont celles des principaux gisements d'émeraudes à caractère vanadifère (tableau II). Le caractère "colombien" est marqué par de très faibles teneurs en Rb qui différencient ces pierres de celles d'autres gisements vanadifères comme l'Afghanistan et la Norvège en particulier. La combinaison de ces deux propriétés permet de reconnaître l'origine géographique d'une pierre de La Pita par ICPMS. Le rapport



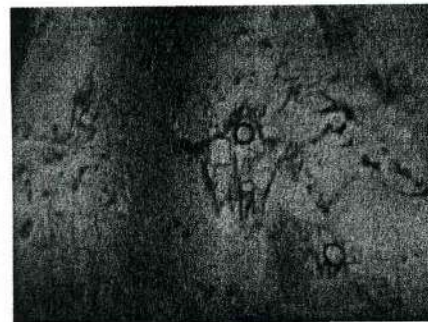
**Figure 7 :** Inclusion triphasée. Cavité de morphologie polygonale et courbée, fréquente à la Pita. Diascopie, partiellement polarisée, 100x.

Three-phase inclusion. Cavity of polygonal and bent morphology, frequently found at La Pita. Diascopy, partially polarized, 100x.



**Figure 8 :** Inclusions triphasées. Cavités plates et cintrées, fréquentes dans l'échantillonnage. Diascopie, partiellement polarisée, 100x.

Three-phase inclusions. Flat and arched cavities, frequent in the sampling. Diascopy, partially polarized, 100x.



**Figure 9a :** Inclusions multiphasées complexes, formant des plans homogènes. Les cavités contiennent jusqu'à trois types de solides. Fréquent à la Pita. Diascopie, 100x.

Complex multiphase inclusions forming homogeneous planes. Cavities contain up to three types of solids. Frequent at La Pita. Diascopy, 100x.

**Tableau I :** Microanalyses chimiques faites sur un détecteur à dispersion d'énergie couplé à un microscope électronique à balayage (MEB). Les deux échantillons sont les mêmes que ceux qui ont été étudiés en absorption optique.

Chemical microanalyses made with an energy-dispersive detector coupled to a scanning electron microscope (SEM). Those two samples have been studied using optical absorption.

Elément	383		384	
	% poids	% oxyde	% poids	% oxyde
O	42,16	0,00	42,52	0,00
Na	0,71	0,96	0,69	0,93
Mg	0,65	1,08	0,64	1,06
Al	7,58	14,32	8,10	15,31
Si	29,72	63,58	29,88	63,92
V	1,13	1,66	0,90	1,32
Cr	0,69	1,01	0,39	0,57
Fe	0,11	0,14	0,03	0,04

**Note :** Total d'environ 83% puisque l'on ne mesure pas le béryllium.

Total of about 83% since beryllium is not measured.



**Figure 9b :** Les mêmes inclusions multiphasées complexes. Le solide qui rétablit est probablement de l'albite. Fréquent à la Pita. Diascopie, polarisée, 100x.

The same complex multiphase inclusions. The birefringent solid is probably albite. Frequent at La Pita. Diascopy, polarized, 100x.

**Tableau II :** Analyses chimiques de 5 émeraudes de La Pita obtenues à la microsonde électronique. Noter l'abondance du vanadium par rapport au chrome. Ces analyses ne tiennent pas compte de la présence de faibles quantités d'eau.  
Chemical analyses of 5 La Pita emeralds obtained using an electron microprobe. Note the abundance of V compared to Cr. These analyses do not take into account minor amounts of water.

Elément (sous forme d'oxyde)	% poids d'oxyde					
	#01 bord (moy. 6 an.) vert foncé	#01 cœur (moy. 6 an.) très clair	#02 (moy. 6 an.) brut	#03 (moy. 8 an.) brut	#04 (moy. 8 an.) brut	#05 (moy. 5 an.) brut
Na <sub>2</sub> O	0.680	0.779	0.768	0.806	0.803	0.972
MgO	1.265	1.279	0.969	1.013	0.991	1.274
K <sub>2</sub> O	< 100 ppm	< 100 ppm	< 100 ppm	< 100 ppm	< 100 ppm	< 100 ppm
CaO	< 10 ppm	< 10 ppm	< 10 ppm	< 10 ppm	< 10 ppm	< 10 ppm
Cs <sub>2</sub> O	< 70 ppm	< 70 ppm	< 70 ppm	< 70 ppm	< 70 ppm	< 70 ppm
TiO <sub>2</sub>	< 20 ppm	< 20 ppm	< 20 ppm	< 20 ppm	< 20 ppm	< 20 ppm
FeO	0.050	0.035	0.028	0.038	0.026	0.068
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0.681</b>	<b>0.144</b>	<b>0.431</b>	<b>0.409</b>	<b>0.278</b>	<b>0.586</b>
MnO	< 20 ppm	< 20 ppm	< 20 ppm	< 20 ppm	< 20 ppm	< 20 ppm
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<b>1.866</b>	<b>0.407</b>	<b>1.415</b>	<b>1.598</b>	<b>1.350</b>	<b>1.767</b>
SiO <sub>2</sub>	64.929	64.034	65.722	66.331	65.719	65.316
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.595	16.930	16.611	16.547	16.712	15.544
BeO*	14.779	16.228	13.866	13.083	13.944	14.318
Nombre d'ions sur la base de 18 oxygènes						
Na <sup>+</sup>	0.12	0.14	0.14	0.14	0.14	0.17
Mg <sup>2+</sup>	0.17	0.17	0.13	0.14	0.13	0.17
Fe <sup>2+</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Cr <sup>3+</sup>	<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>
V <sup>3+</sup>	<b>0.14</b>	<b>0.03</b>	<b>0.10</b>	<b>0.12</b>	<b>0.10</b>	<b>0.13</b>
Si <sup>4+</sup>	5.88	5.80	5.96	6.01	5.96	5.92
Al <sup>3+</sup>	1.67	1.81	1.77	1.77	1.78	1.66
Be <sup>2+</sup>	3.22	3.53	3.02	2.85	3.04	3.12
[A <sup>+</sup> ]	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.18
Be	3.22	3.53	3.02	2.85	3.04	3.12
M	2.03	2.02	2.04	2.05	2.04	2.01
T	5.88	5.80	5.96	6.01	5.96	5.92
Σ cations	11.25	11.51	11.16	11.06	11.18	11.22

\* BeO par différence. BeO by difference

V/Cr > 1 mesuré sur ces émeraudes de La Pita est commun à l'ensemble des émeraudes Eocène-Oligocène colombiennes de la région de Muzo-Coscuez et constitue un marqueur intéressant (Peucat et al., en préparation).

#### Spectrométrie d'absorption UV-Visible-Proche infrarouge

Des spectres d'absorption ont été obtenus dans le domaine UV-Visible-Proche infrarouge pour deux échantillons bruts, présentant un prisme bien formé. Le spectromètre utilisé est un Varian Cary 5G au laboratoire de physique cristalline de l'Institut des Matériaux Jean Rouxel à Nantes. Il couvre ici le domai-

ne spectral 300-3000 nm, avec une bande passante spectrale de 0,5 nm, un échantillonnage tous les 0,5 nm, un temps d'accumulation de 0,1 s par point à une vitesse de défilement de 300 nm/mn. Des spectres en lumière polarisée ont été obtenus en utilisant des polariseurs en calcite gemme de type Glan-Taylor de 33 mm de long. Les spectres des échantillons 383 et 384 sont présentés sur la figure 14.

La spectrométrie d'absorption dans le domaine UV-Visible permet d'étudier l'absorption de la lumière par les gemmes, et donc de comprendre l'origine de la couleur. Dans la figure 15, les émeraudes de La Pita sont comparées en détail dans ce domaine avec deux matériaux de référence : l'émeraude synthétique

Chatham, strictement chromifère, et le béryl vert vanadifère de Salininhas, Minas Gerais, Brésil. Nous avons, pour ce faire, sélectionné l'orientation E perpendiculaire à c (rayon o). L'on remarque que les spectres des émeraudes de La Pita occupent une position intermédiaire entre ceux d'un béryl purement chromifère et purement vanadifère. Ceci est cohérent avec l'analyse chimique. Néanmoins un spectre très similaire (maxima à 434 et 603 nm) est proposé par Bosshart (1991) pour une émeraude colombienne ayant un rapport Cr/V d'environ 1,5, alors que nos échantillons ont un rapport Cr/V compris entre 0,4 et 0,6. La richesse des émeraudes de La Pita en vanadium explique leur nuance vert gazon (Michelou, 2001).

On remarquera aussi que les émeraudes de La Pita, puisqu'elles sont pauvres en Fe, sont presque aussi transparentes dans l'UV que l'émeraude synthétique Chatham. En effet, le Fe<sup>3+</sup> n'y produit qu'un épaulement à peine perceptible vers 375 nm.

La figure 16 compare cette fois les spectres de nos deux émeraudes de la Pita avec celui du béryl vanadifère dans le domaine proche infrarouge. Entre 1100 et 2000 nm une série d'absorptions bien connues sont dues aux vibrations de l'eau (Zecchini et Maitrallet, 1998). Les raies fines sont dues à de l'eau moléculaire piégée dans les canaux de la structure dans deux orientations privilégiées. Des bandes sous jacentes plus larges, nettes dans notre béryl vanadifère, sont dues à l'eau liquide des inclusions fluides. On constate que les trois béryls sont à peu près identiques, puisque ces absorptions sont indépendantes du rapport V/Cr. Comme pour toutes les émeraudes naturelles, l'eau de type II (molécule



**Figure 10 :** Cristaux de pyrite accolés. Inclusion fréquente à la Pita. Diascopy, 100x.

Pyrite crystals placed side by side. Inclusion frequently found at La Pita. Diascopy, 100x.

H<sub>2</sub>O allongée parallèlement à c ; Charoy, 1998) domine. Elle est associée aux ions alcalins (Na, etc.) et a des pics vers 1150, 1410 et 1895 nm. Ces absorptions sont beaucoup plus intenses que celles liées à l'eau de type I, abondante dans les synthétiques hydrothermaux (Zecchini et Maitrallet, 1998), et qui est presque absente dans nos échantillons.

#### Spectrométrie d'absorption infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Les spectres infrarouges des échantillons de la Pita ne présentent pas de critères qui puissent caractériser ce gisement. Dans le moyen infrarouge, ils sont identiques à ceux qui ont été présentés dans les publications sur les émeraudes de Colombie (Zecchini et Maitrallet, 1998). (Fig 17).

Un certain nombre d'échantillons étudiés avaient été préalablement traités à l'aide de

substances de remplissage: huile et/ou époxy. Les caractéristiques spectrales de ces produits (Zecchini et Maitrallet, 1998, Chalain, Hänni & Kiefert, 1998) apparaissent clairement (Fig 18). La région qui présente les absorptions caractéristiques des huiles et résines synthétiques se situe entre 2800 et 3100 cm<sup>-1</sup>. Les indexations des deux pierres traitées correspondent à celles qui ont été publiées par les auteurs cités plus haut.

A la figure 17, la séparation des rayons ordinaires et extraordinaires a été obtenue sans polariseur, en utilisant la polarisation induite par les miroirs parallèles de l'accessoire de réflectance diffuse. Pour un rayon donné, les spectres ainsi obtenus ne contiennent pas plus de signal de l'autre rayon que ce que peuvent induire les fractures et inclusions de l'échantillon lorsque l'on utilise un polariseur. A noter que l'analyse d'une gemme dans la géométrie particulière que nous utilisons,

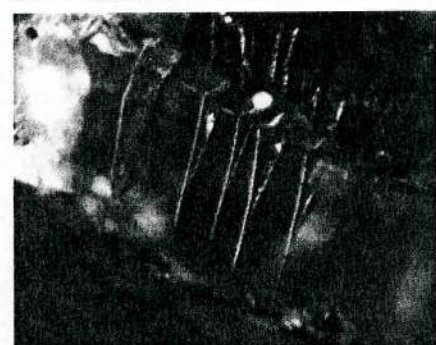
avec l'accessoire de réflectance diffuse, produit un spectre de transmission.

#### Conclusion

On voit que les émeraudes de La Pita sont des émeraudes colombiennes assez typiques de par certaines de leurs propriétés gemmologiques (indice, densité, luminescence UV, certaines inclusions, etc.). Cependant, elles ont d'autres caractères qui les distinguent des autres émeraudes colombiennes. Quelques inclusions peu courantes sont plus fréquentes dans ce gisement, par exemple des inclusions triphasées polygonales ou allongées et courbes. D'un point de vue chimique, elles ont des rapports isotopiques de l'oxygène caractéristiques, contiennent beaucoup plus de vanadium, et la combinaison de l'analyse par ICPMS-LA des éléments Mg-Cr-V-Rb permet d'identifier leur origine géographique.



**Figure 11:** Groupe de petites inclusions parsemées de nombreuses petites fractures discoïdes. Diascopy, 32x.  
Group of small inclusions strewn with numerous small discoidal fractures. Diascopy, 32x.



**Figure 12:** Fractures en "couteaux" rencontrées fréquemment dans l'échantillonnage. Episcopy, 100x.  
Knife-like fractures frequently found in the sampling. Episcopy, 100x.

**Tableau III :** Analyse ICPMS-ablation laser de trois émeraudes de La Pita. Les proportions Cr-V-Mg sont typiques des émeraudes vanadifères. Le caractère colombien est marqué par les très faibles teneurs en rubidium. La combinaison de ces deux caractéristiques permet donc d'identifier par ICPMS si une émeraude provient de La Pita.

ICPMS-LA analysis of 3 La Pita emeralds. Cr-V-Mg proportions are typical of V-containing emeralds. The Colombian character is marked by the very small concentration of Rb. The combination of these two characteristics allows to determine whether an emerald comes from La Pita.

Isotopes Teneur en ppm	E78 Moyenne 13 anal.	E79 Moyenne 5 anal.	E80 Moyenne 5 anal.	Moyenne sur 23 mesures	Ecart type de cette moyenne
Li <sup>7</sup>	18	19	18	18	1
Be <sup>9</sup>	68218	69859	68904	68724	2513
Mg <sup>24</sup>	4886	4170	4660	5155	635
Mg <sup>25</sup>	5433	4441	5146		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(27)</sup>	156090	171934	158889	166077	8225
SiO <sub>2</sub> <sup>(29)</sup>	Standardisé à 65%				
P <sup>31</sup>	24	26	25	25	2
K <sup>39</sup>	17	3	37	18	46
Sc <sup>45</sup>	122	54	95	101	34
Ti <sup>47</sup>	6	4	6	6	2
V <sup>51</sup>	1119	659	996	992	255
Cr <sup>53</sup>	867	316	663	703	326
Mn <sup>55</sup>	2	1	3	2	5
Fe <sup>57</sup>	385	281	335	352	57
Zn <sup>66</sup>	1	0	2	1	2
Ga <sup>69</sup>	49	37	46	46	8
Ga <sup>71</sup>	49	37	46		
Rb <sup>85</sup>	2	2	2	2	0
Sr <sup>88</sup>	1,3	0,2	2,7	1	4
Cs <sup>133</sup>	8	6	7	7	2

**Note :** Na n'a pas pu être dosé car il sature dans le standard. P est mal dosé car il ionise mal en ICPMS. Ca n'est pas dosable car c'est un majeur dans le standard. Co, Ni, Cu, Zr, La, Ce, Gd, Pb, Th, U analysés mais non détectés.

**Note :** Na was not measured because it saturates in the standard. P is poorly analysed because it does not ionize well in the ICPMS process. Ca cannot be measured because it is a major in the standard. Co, Ni, Cu, Zr, La, Ce, Gd, Pb, Th, U were analysed for but not detected.



**Figure 13a :** Résine synthétique dans une fracture. Luminescence avec filtre de coupure des rouges, 100x.

Synthetic resin in a fracture. Luminescence with cutting filter for reds, 100x.



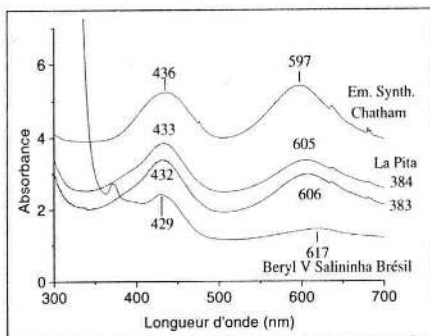
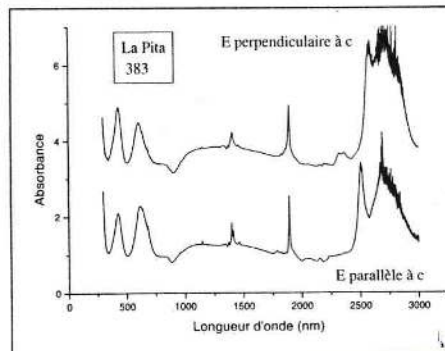
**Figure 13b :** Résine synthétique dans une fracture. La couleur rouge est due à la luminescence du chrome. Luminescence avec filtre étendu, 100x.

Synthetic resin in a fracture. The red colour is due to chromium luminescence. Luminescence with extended filter, 100x.



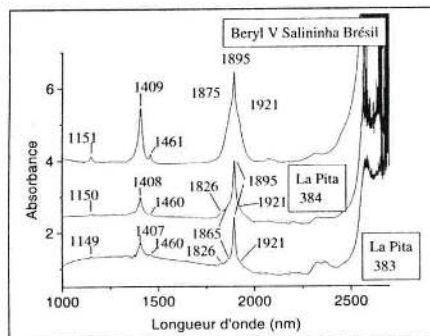
**Figure 13c :** Fracture contenant de la résine synthétique. Episcopie, 100x.

Fracture containing synthetic resin. Episcopy, 100x.



**Figure 15 :** Absorption des émeraudes de la Pita dans le domaine visible, pour la lumière polarisée avec E perpendiculaire à c. Ces courbes sont comparées à celle d'une émeraude strictement chromifère (émeraude synthétique Chatham) et à celle d'un béryl strictement vanadifère (béryl V de Salininha, Brésil). Cela démontre le caractère intermédiaire des gemmes de La Pita.

Absorption of La Pita emeralds in the visible range, for light polarized with E perpendicular to c. These curves are compared to those of a strictly Cr-containing emerald (Chatham synthetic emerald) and to that of a strictly V-containing beryl (Salininha). This demonstrates the intermediate character of La Pita emeralds.

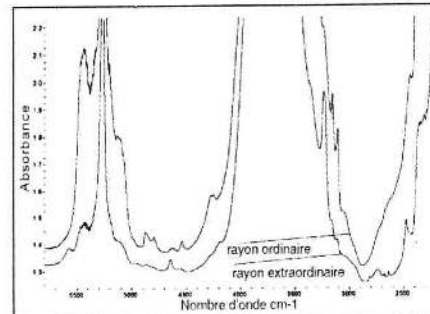


**Figure 16 :** Absorption des émeraudes de la Pita dans le domaine proche infrarouge. Elles présentent des absorptions liées essentiellement à un type d'eau moléculaire, caractéristique des émeraudes (et béryls) naturels.

Absorption of La Pita emeralds in the near-infrared range. They exhibit absorptions attributed essentially to one type of molecular water, typical of natural emeralds and beryls.

**Figure 14 :** Spectres d'absorption UV-Visible proche-infrarouge en lumière polarisée de deux émeraudes de La Pita. Les analyses chimiques correspondantes figurent dans le tableau I. On voit entre 300 et 800 nm la zone d'absorption des chromophores détaillée dans la figure 15, et entre 1000 et 2000 nm, la zone d'absorption de l'eau moléculaire, détaillée dans la figure 16.

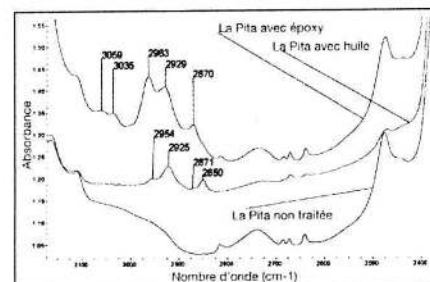
UV-Visible-Near Infrared absorption spectra of two La Pita emeralds, obtained using polarized light. Corresponding chemical analyses are found in table I. Between 300 and 800 nm is the absorption range for color-inducing elements, detailed in figure 15, and in the range 1000 to 2000 nm, the absorption zone for molecular water, detailed in figure 16.



**Figure 17 :** Spectre dans le moyen infrarouge d'une émeraude non traitée de La Pita, Colombie. Rouge : rayon ordinaire, violet : rayon extraordinaire.

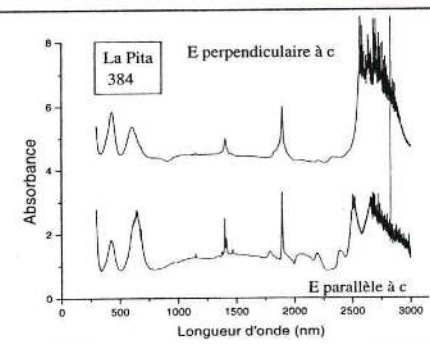
PARAMETRES D'ACQUISITION : NICOLET NEXUS 100 scans. Résolution : 4.00 cm<sup>-1</sup>, Accessoire : Réflectance diffuse.

Mid infrared spectrum of an untreated emerald from La Pita, Colombia. Red : ordinary ray, purple : extraordinary ray. COLLECTION PARAMETERS : NICOLET NEXUS Scans: 100. Resolution: 4.00 cm<sup>-1</sup>. Accessory : Diffuse reflectance.



**Figure 18 :** En rouge : La Pita, non traité, rayon extraordinaire. En violet : La Pita imprégné avec époxy, rayon extraordinaire, absorptions caractéristiques : (2850 < 2870), 2929, 2963, 3035 et 3059 cm<sup>-1</sup>. En bleu : La Pita, imprégné avec huile de cèdre, rayon mixte extraordinaire / ordinaire, absorptions caractéristiques : (2850 > 2871), 2922 et 2954 cm<sup>-1</sup>.

Red: La Pita, untreated, extraordinary ray. Purple: La Pita, impregnated with epoxy, extraordinary ray, characteristic absorptions: (2870>2850), 2929, 2963, 3035 and 3059 cm<sup>-1</sup>. Blue: La Pita, impregnated with cedar wood oil, extraordinary/ordinary mixed ray, characteristic absorptions: (2850>2871), 2922 and 2954 cm<sup>-1</sup>.





## Références

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

Branquet Y. (1999) Etude structurale et métallogénique des gisements d'émeraude de Colombie : contribution à l'histoire tectono-sédimentaire de la Cordillère Orientale de Colombie. Thèse de Doctorat de l'INPL, 295 p.

Charoy B. (1998) Cristallogénie du béryl : l'état des connaissances. *L'Émeraude*. D. Giard (Editeur), G. Giuliani, A. Cheilletz, E. Fritsch et E. Gonthier (coéditeurs), Association Française de Gemmologie, Paris, France, pp. 47-54.

Giuliani G. (2001) La composition isotopique de l'oxygène des émeraudes de la mine de La Pita. *Revue de gemmologie afg*, No. 143, pp. 13-14.

Giuliani G., France-Lanord C., Coget P., Schwartz D., Notari F., Cheilletz A., Chaussidon M., Giard D., Piat D., Bariand P. (1998) Vers une carte d'identité isotopique O18/O16 des émeraudes naturelles et synthétiques. *L'Émeraude*. D. Giard (Editeur), G. Giuliani, A. Cheilletz, E. Fritsch et E. Gonthier (coéditeurs), Association Française de Gemmologie, Paris, France, pp. 55-70.

Gübelin E.J. & Koivula J.I. (1986) Photoatlas of inclusions in gemstones, ABC éditions, Zürich, 532 pp.

Michelou J.-C. (2001) Les nouvelles mines de La Pita (Colombie) 1ère partie. *Revue de gemmologie afg*, No. 143, pp. 9-13.

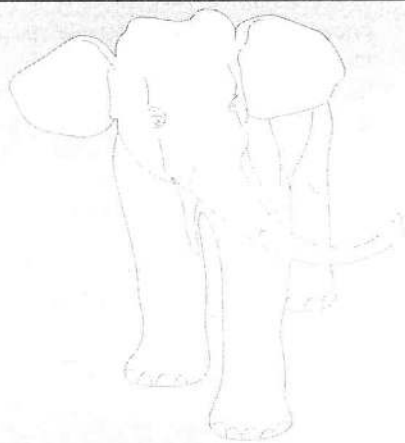
Schwartz D., Kanis J., Kinnaird J. (1996) Emeralds and green beryl from central Nigeria. *Journal of Gemmology*, Vol. 25, No. 2, pp. 117-141.

Stockton C.M. (1984) The chemical distinction of natural from synthetic emeralds. *Gems & Gemology*, Vol. 20, No. 3, pp. 141-145.

Zecchini P., Mairallet P. (1998) Que peut apporter la spectrographie infrarouge dans l'étude des émeraudes ? *L'Émeraude*. D. Giard (Editeur), G. Giuliani, A. Cheilletz, E. Fritsch et E. Gonthier (coéditeurs), Association Française de Gemmologie, Paris, France, pp. 81-95.

Zylberman N. (1998) Tableau synoptique comparatif des propriétés gemmologiques des gisements majeurs et des principales synthèses (extraits DUG). *L'Émeraude*. D. Giard (Editeur), G. Giuliani, A. Cheilletz, E. Fritsch et E. Gonthier (coéditeurs), Association Française de Gemmologie, Paris, France, pp. 227-233.

J.-P. Chalain, H.A. Hänni, L. Kiefert, (1998), Détermination des substances de remplissage dans les émeraudes, *L'émeraude*, Giard Didier, Giuliani Gaston, Cheilletz Alain, Fritsch Emmanuel, Gonthier Erik, Association Française de Gemmologie, Paris, France, pp 107 - 115



# XAVIER FARAH

74, RUE LA FAYETTE, 75009 PARIS  
TÉL. : 01 42 46 20 13



ÉMERAUDES  
RUBIS  
SAPHIRS  
DIAMANTS

# ETS. WALTON

MAISON FONDÉE EN 1903

## INSTRUMENTS DE GEMMOLOGIE

FOURNITURES POUR DIAMANTAIRES, LAPIDAIRES,  
BIJOUTIERS, JOAILLIERS, PERLIERS  
ECRINS - LOUPES - PRECELLES - TAMIS  
BOÎTES POSTALES  
PLIS POUR PIERRES PRECIEUSES

3, RUE BUFFAULT  
75009 PARIS

TÉL. : 01 48 24 72 71  
FAX : 01 42 85 48 30