

Les émeraudes de Gachalá, Colombie

Historique, genèse et découvertes paléontologiques

Pierre Vuillet⁽¹⁾, Gaston Giuliani⁽²⁾, Jean-Claude Fischer⁽³⁾, Pierre-Jacques Chiappero⁽⁴⁾

⁽¹⁾ pvuillet@yahoo.com, Consultant et gemmologiste chez C.I. Star Emerald Colombia Ltda, Bogotá.

⁽²⁾ giuliani@crpg.cnrs-nancy.fr, Chercheur à l'Institut de Recherche pour le Développement et détaché au CRPG-CNRS à Vandœuvre.

⁽³⁾ Professeur honoraire au Laboratoire de Paléontologie du Muséum national d'histoire naturelle, Paris.

⁽⁴⁾ chiapper@mnhn.fr, Laboratoire de Minéralogie du Muséum national d'histoire naturelle, Paris

Résumé : Récemment, des gastropodes fossilisés en émeraude ont été extraits de la galerie de Matecaña dans la région minière à émeraude de Gachalá. Dans cette étude qui fait appel à la géologie, minéralogie, gemmologie et paléontologie, la zone de production de Gachalá et l'histoire de sa découverte sont décrites. Vingt-quatre échantillons représentatifs des roches encaissantes, trois pierres facetées et vingt fossiles sont étudiés ; la genèse des événements provoquant la cristallisation de l'émeraude est expliquée en détail, les fossiles sont identifiés et le processus de substitution de la coquille par l'émeraude est exposé.

Abstract : Recently the Matecaña tunnel, located in the Gachalá emerald mining area, has reached a level producing some gastropods which shell has been replaced by emerald. In this study involving geology, mineralogy, gemmology and palaeontology, the Gachalá mining area and the history of its discovery are described. Twenty-four samples representative of the embedding rocks, three faceted stones and twenty fossils are studied; the genesis of the events responsible for emerald crystallisation is explained in detail, the fossils are identified and the phenomena leading to the substitution of the shell material is presented.

Mots-clés : albite, béryl, Chivor, Colombie, Émeraude, épigénisation, Gachalá, gastropode, métasomatose, Muzo, pyrite.

Key-words : albite, beryl, Chivor, Colombia, Emerald, epigenisation, Gachalá, gastropod, metasomatism, Muzo, pyrite.

INTRODUCTION

Dans l'Antiquité, l'émeraude était extraite de quelques rares mines historiques (Giuliani et coll., 2001). C'est au milieu du XVI^{ème} siècle seulement que l'émeraude envahit les cours princiers d'Europe et d'Asie, lorsque les Espagnols découvrirent les mines du Nouveau Monde situées dans l'actuelle Colombie. Ces mines furent exploitées grâce à une main d'œuvre indigène réduite à l'esclavage qui fut rapidement décimée. Depuis la création de la Colombie en 1819, ces régions minières qui ont produit de grandes quantités d'émeraudes, dont certaines sont considérées comme les plus belles du monde, ont été le théâtre de graves affrontements entre groupes rivaux (Dominguez, 1965; Uribe Alarcón, 1992; Claver Téllez, 1993). En 1990, sous l'égide de l'évêque de Chiquinquirá, un accord associant les différents groupes à l'exploitation de la mine de Coscuez a mis fin au dernier conflit majeur. Aujourd'hui, les mineurs s'opposent à la guérilla qui tente de s'implanter dans les zones minières.

Deux des auteurs ont parcouru à de nombreuses reprises et de façon indépendante les zones de production; l'un (GG) dans le cadre de missions scientifiques pour le compte de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), l'autre (PV) à la recherche de minéraux associés à l'émeraude tels que la fluorite (verte), l'eucrase (bleue)⁽¹⁾ et la parisite⁽²⁾. En 1994, les mineurs de la galerie de Matecaña, située dans la région de Gachalá, ont atteint un niveau minéralisé riche en petits fossiles de gastropodes⁽³⁾ pseudomorphosés en émeraude (figure 1). Suite à l'effondrement de la galerie en 1998, la production a cessé. Cet article présente brièvement les zones minières à émeraude, et plus particulièrement la région de Gachalá (généralement peu documentée ou simplement ignorée dans les nombreuses publications consacrées à l'émeraude colombienne). Il synthétise les modalités de genèse de l'émeraude des gîtes colombiens et enfin rend compte des premiers résultats de l'étude de ces gastropodes fossiles (d'espèces probablement nouvelles) dont le mode de fossilisation en émeraude était inconnu jusqu'alors.

STATUT ACTUEL DES MINES D'ÉMERAUDE DE COLOMBIE

Les mines d'émeraude de Colombie sont situées sur les versants Est et Ouest de la Cordillère orientale andine, à proximité de la capitale Bogotá. La zone de production est divisée en deux districts miniers distincts localisés respectivement dans la région du Territoire Vásquez et la vallée du fleuve Guavio (figure 2). L'exploitation des mines est confiée à différentes sociétés concessionnaires privées dont les nombreux actionnaires sont originaires des régions minières. Ces sociétés se sont constituées à partir de 1977 autour de personnalités locales très impliquées dans le commerce de l'émeraude lorsque la Banque de la République a abandonné le monopole de l'exploitation et la commercialisation de l'émeraude du Territoire Vásquez. Les régions minières ont toujours attiré une large population migrante qui se déplace de mine en mine au gré de la production et pratique l'exploitation illégale : la gúaquería. Les rares sociétés étrangères qui ont, dans un passé récent, tenté l'aventure se sont vite résignées à abandonner le pays devant les nombreuses difficultés liées à une présence plus que symbolique de l'Etat dans les zones minières.

L'exploitation minière est dirigée à tour de rôle par le représentant de chaque actionnaire de la société concessionnaire qui peut décider, sur ordre de son patron et contre l'avis des géologues et ingénieurs, d'abandonner un chantier pour poursuivre l'exploitation vers un autre objectif ignoré auparavant. En cas de découverte importante, le chantier est isolé et fortement gardé puis réouvert en présence des actionnaires et de leurs hommes de confiance qui procéderont à l'exploitation de la veine. Lors de ventes aux enchères, les lots de brut seront offerts aux seuls actionnaires qui se chargeront de la commercialisation, une part de la production revenant aux mineurs.

Dans la littérature existante, le nom des chantiers miniers et leur localisation géographique sont parfois



Figure 1. Les vingt fossiles et trois pierres facettées étudiés. Les fossiles sont recouverts d'une pellicule de schistes noirs et de limonite. Le fossile le plus à gauche pèse 15,24 cts. La pierre taillée centrale pèse 0,11 ct. En encart, un fossile vu de face et de dessus après nettoyage. Photo C. Monneret.



Pictavia et pseudomelania transformées en émeraude - De gauche à droite : 2,2 x 1,5 cm ; 1,1 x 1 cm ; 1,4 x 1 cm ; 1,9 x 1 cm ; 1,2 x 0,6 cm
Spécimens : R. Titeux - Photos : L.-D. Bayle

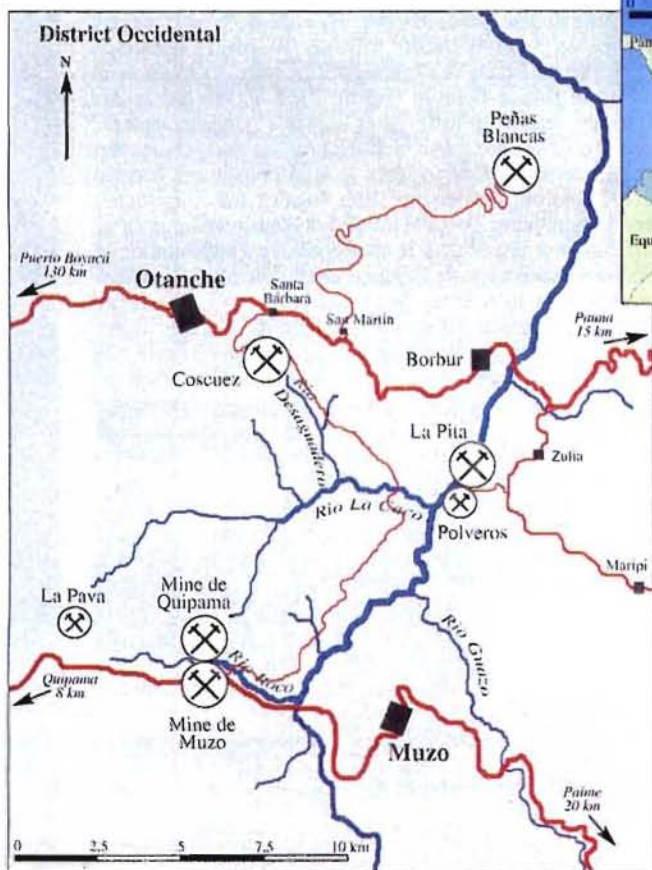
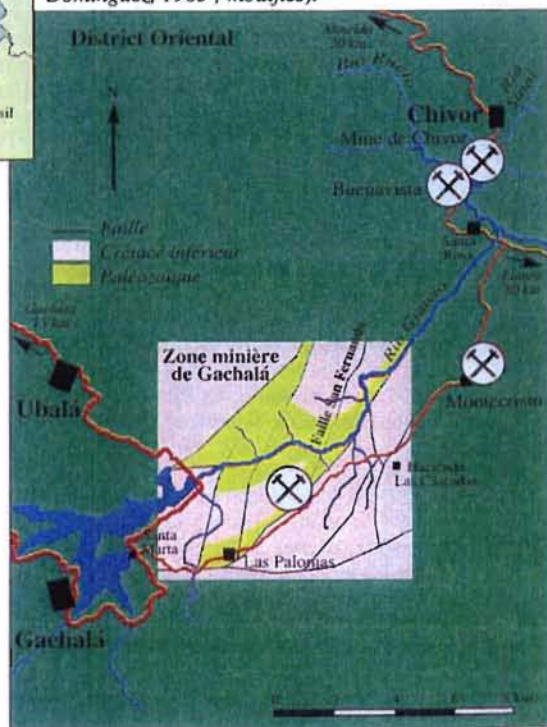


Figure 2. Les deux districts à émeraude de Colombie. Les mines principales sont reportées. (District Oriental d'après Ulloa et Camacho, 1975 ; Escovar, 1975 ; District Occidental d'après Restrepo, in Domínguez, 1965 ; modifiés).



confus ; certains chantiers situés dans des concessions différentes peuvent porter le même nom. De nombreux travaux ont été abandonnés après une exploitation infructueuse ou l'épuisement des veines à émeraude ; ils peuvent être provisoirement suspendus selon les disponibilités financières des investisseurs. Afin de stabiliser la production, Minercol, organisme gouvernemental qui gère la politique minière du pays et prélève une taxe à l'exportation de l'émeraude, n'accorde que très peu de nouveaux permis miniers ; de nombreuses mines sont donc exploitées de façon clandestine et leur localisation est incertaine. Le statut actuel des mines en production est décrit ci-dessous.

Dans le Territoire Vásquez, région autrefois habitée par les Indiens de la tribu Muzo et située à 100 kilomètres au nord-ouest de la capitale Bogotá dans le département de Boyacá, le **District Occidental** regroupe les mines de Muzo, Coscuez, Peñas Blancas et La Pita. Cette région produit actuellement la presque totalité des émeraudes colombiennes. Les mines de Yacopí, mentionnées dans la littérature récente et situées à 35 kilomètres à l'ouest de Muzo ne sont plus officiellement exploitées. Des gisements de Muzo et Peñas Blancas sont également extraits des cristallisations particulières d'émeraude dite – émeraude trapiche⁽⁴⁾ – (figure 3) ainsi que du quartz hyalin de qualité similaire au quartz du massif de l'Oisans. L'émeraude chatoyante, très rare, est extraite d'une veine de Coscuez (figure 4). La parisite provient des mines de Muzo et La Pita et la fluorite verte gemme de la mine de Peñas Blancas (figure 5) (Vuillet, 2000). Les gisements du District Occidental sont exploités aujourd'hui presque exclusivement par puits et galeries après une exploitation intensive à ciel ouvert qui a progressivement arasé les montagnes et comblé les vallées. Vers 1992, quelques 30 000 guaqueros (mineurs indépendants) fouillaient les déblais rejetés dans le Rio Itoco par les bulldozers des sociétés concessionnaires ; ils ont déserté la région après l'abandon de l'exploitation à ciel ouvert. La zone minière de Muzo est formée des mines de Tequendama et Quípama distantes de quelques centaines de mètres et situées de part et d'autre du Rio Itoco. La mine de Tequendama est exploitée grâce aux puits Tequendama, Puerto Arturo et Volveré ainsi qu'aux galeries Trenta y Cinco, Chucaros et El Retorno. La mine de Quípama est exploitée grâce aux puits Palo Blanco, El Aguardiente, El Masato, aux galeries Pablo Sanchez et Matefique ainsi qu'au chantier à ciel ouvert El Zinchó. La production de la galerie La Pava, située sur la limite sud-ouest du périmètre minier est très sporadique. Dans la concession de Coscuez, parmi les quelques trois cents galeries creusées, seules quelques unes sont encore en activité parmi lesquelles La Paz, El Diamante, La Marranera, Gavilanes, Tentación, S.A., Sufrimiento, La Tabla et Tecnimur. La production de Coscuez, très importante entre 1990 et 2000, est généralement de qualité commerciale. La mine de Peñas Blancas, située sur la montagne Tambrias qui borde le Rio Minero, activement exploitée de façon clandestine entre 1960 et 1980, a fait l'objet d'un violent conflit entre bandes rivales. Les travaux actuels y sont réduits ; son isolement et les roches encaissantes calcaires très compactes y rendent le travail difficile. Les gisements de La Pita, mine située sur la rive droite du Rio Minero et dont la production depuis 1999 est considérable, sont exploités par deux galeries : Prominas de Zulia et Santa Rosa. Les émeraudes, de couleur similaire aux émeraudes de Muzo et Quípama, sont marquées par de nombreux givres et fractures internes. À proximité de La Pita, le gisement de Polveros, en activité depuis 1993, n'a jamais donné de production importante. Selon les acteurs majeurs de l'exploitation minière, cette zone qui était déjà prospectée au début du siècle dernier (Scheibe in Pogue, 1917) est la plus prometteuse à court terme ; une vingtaine de chantiers de reconnaissance y ont été ouverts récemment. Dans tout ce district, la couleur de l'émeraude s'accroît généralement vers la périphérie du prisme hexagonal {10.0} ; la dextérité du lapidaire est primordiale lors de l'orientation de la pierre facettée dans

le brut, afin de conserver la couleur la plus soutenue dans la culasse de la pierre.

Les mines de Chivor, Buenavista, Montecristo et Gachalá, dans la vallée du Guavio, forment le **District Oriental**. Les mines de Chivor (autrefois appelées mines de Somondoco), localisées dans le département de Boyacá, sont exploitées à ciel ouvert, par puits et galeries. Les chantiers principaux en activité sont : Alto de La Chula, El Sinai, La Gualí, El Oriente, Klein, El Coliflor, Cuatro, Matecaña, El Acuario, Gavilanes, La Guala, Las Palmas, San Francisco et San Gregorio. Le célèbre cristal d'émeraude Patricia découvert en 1921 et conservé à l'American Museum of Natural History de New York provient du gisement San Francisco. La Gualí a produit en 1993 de grandes quantités d'émeraude massive en blocs de plus de 1 kg utilisés pour la confection d'objets décoratifs. Les mines de Buenavista, Montecristo et Gachalá sont localisées dans le département de Cundinamarca. Les mines voisines de Chivor et Buenavista, situées de part et d'autre du Rio Rucio, produisent en général des émeraudes de bonne pureté dont les cristaux très longs et de faible section sont appelés canutillos par les mineurs (Vuillet et Rotlewicz, 2001). À proximité de Buenavista, les chantiers de Mundo Nuevo ne sont plus exploités à grande échelle. Les concessions La Vega de San Juan, Las Cruces et El Diamante sont les chantiers les plus célèbres de Gachalá. Les mines de Macanal et Achiote, situées au nord de Chivor sur les rives du lac artificiel du Rio Garagoa, ont été abandonnées. Les émeraudes produites dans ce district ont en général peu de défauts internes et la couleur est zonée le long du prisme hexagonal ; l'orientation des pierres facettées dans le brut produit des pierres allongées à forte sous-teinte bleue.

Les spécimens minéralogiques sur gangue les plus recherchés sont extraits du District Occidental. Ils présentent en général l'émeraude associée à la pyrite, la calcite cristallisée (incolore, blanche ou grise) et plus rarement la parisite et le quartz ; dans leur majorité, les cristaux d'émeraude sont terminés par le seul pinacoïde {00.1}. Les spécimens du District Oriental sont caractérisés par les associations émeraude, pyrite, calcite ou albite et parfois quartz et fluorite incolore ; les cristaux d'émeraude sont souvent tachés de limonite et terminés par des faces bipyramidales associées au pinacoïde. L'eulase bleue, extraite des mines de Gachalá (figure 6), est rencontrée sous forme de cristaux automorphes noyés dans une roche fortement transformée par l'altération météorique.

Afin de protéger les propriétaires et leurs filières d'approvisionnement, les courtiers de Bogotá ne dévoilent jamais l'origine exacte des marchandises qu'ils proposent à la vente. L'acheteur connaisseur n'aura cependant aucune difficulté à séparer à l'œil les émeraudes et spécimens minéralogiques des deux districts.

HISTORIQUE

Avant l'arrivée des Espagnols aux Caraïbes à la fin du XV^{ème} siècle, les émeraudes étaient troquées du Mexique au Pérou et jouaient un rôle important dans le rituel funéraire des Indiens Muisca de l'ethnie Chibcha qui peuplaient les altiplanos de la Cordillère des Andes (Dominguez, 1965 ; Rodriguez Vargas, 1992) (figure 7). En 1536, trois expéditions furent lancées simultanément par les Espagnols pour reconnaître, "pacifier" et s'approprier le territoire Muisca et le royaume légendaire de El Dorado. Jiménez de Quesada partit de Santa Marta sur la côte caraïbe vers le sud en remontant le fleuve Magdalena, Benalcázar se dirigea vers le nord depuis Cusco au Pérou, et Federmann entreprit la traversée du bassin de l'Orénoque vers l'ouest depuis la côte atlantique vénézuélienne. Jiménez de Quesada et sa troupe atteignirent l'altiplano habité par la tribu Bacatá quelques semaines avant les expéditions concurrentes et y fonda



Figure 3. Émeraudes trapiches extraites de Peñas Blancas noyées dans leur gangue ; dans la pierre taillée "en cabochon" provenant de Muzo, le prisme hexagonal central s'évase avec la croissance selon l'axe c du cristal. Notez les différents motifs : secteurs d'émeraude de forme trapézoïdale (cabochon et cristal brut) ou parallélépipédique (gangue) séparés de schistes noirs (cabochon) ou de matériau blanchâtre (gangue et cristal brut). Gangue 8 x 5 cm; cabochon 18 cts. Coll. : Digem - Photo : D. Rodríguez.



Figure 4. Émeraude chatoyante, 6 cts. environ. L'émeraude contient de fins tubes parallèles. Dans la pierre taillée "en cabochon" et sous éclairage ponctuel, une bande brillante, plus ou moins bien définie, mobile et perpendiculaire à l'orientation des inclusions tabulaires apparaît. Coll. et photo : V. Castañeda.



Figure 5. Octaèdre de fluorite de 835 g. La teinte rose pâle et la couleur verte concentrée dans des plans perpendiculaires à la base de l'octaèdre sont fréquentes à Peñas Blancas. Le lapidaire positionnera la zone de meilleure couleur dans la pointe de la culasse de la pierre. La fluorite verte taillée pèse 5 cts. environ. Coll. privée - Photo P. Vuillet.



Figure 7. Émeraudes découvertes dans une tombe préhispanique. Le bouton percé le plus à droite pèse 9 cts. approximativement. - Coll. privée - Photo P. Vuillet.

Figure 6. Cristal d'eclase bleue extrait de la région de Gachalá, hauteur 20 mm. Il est très rare de rencontrer des cristaux d'eclase entiers. Ce minéral présente un pléochroïsme très prononcé. La pierre taillée de style barion pèse environ 15 cts. Coll. privée - Photo P. Vuillet.

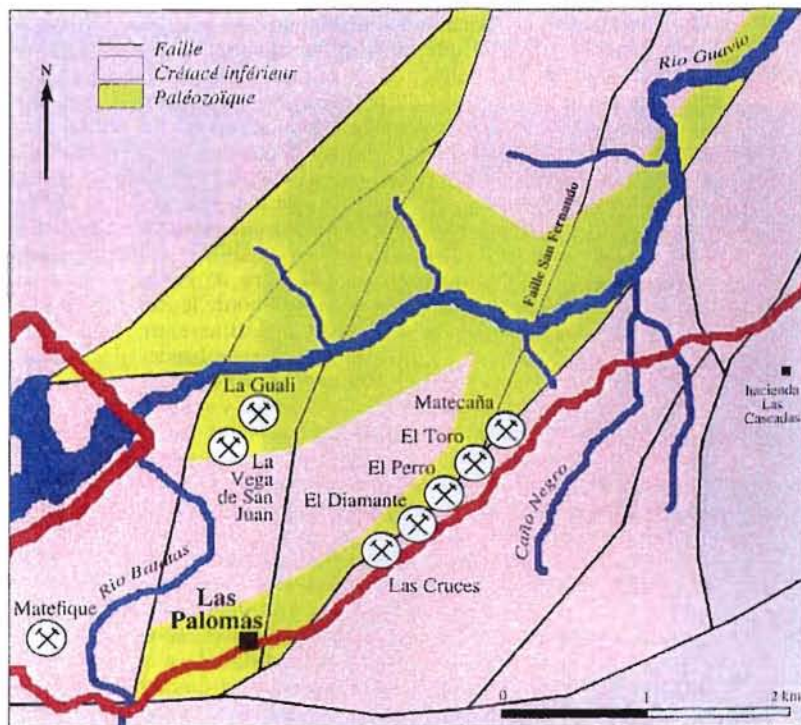


Figure 8. Encart de la figure 2. Localisation des gisements de Gachalá; ils sont situés au contact des schistes noirs du Crétacé inférieur et des formations métamorphiques du Paléozoïque sur la faille de San Fernando (d'après Ulloa et Camacho, 1975 ; Escovar, 1975 ; modifiés).

Santafé de Bogotá en 1538. Si les Espagnols ne découvrirent jamais El Dorado, ils s'emparèrent de la mine d'émeraude de Somondoco exploitée par la tribu Chio et située entre les rivières Sinai et Rucio à l'emplacement actuel du village de Chivor. Ils poursuivirent pour leur compte l'exploitation de la mine par galeries, tranchées et terrasses puis l'abandonnèrent vers 1672, une fois la main d'œuvre indigène décimée par les mauvais traitements. La forêt tropicale reprit ses droits et se referma rapidement sur les excavations ; l'emplacement exact de la zone minière tomba dans l'oubli. En 1896, le géologue Francisco Restrepo redécouvrit le site légendaire grâce à des indications géographiques contenues dans un manuscrit datant du début du XVII^{ème} siècle. L'emplacement de la mine y est décrit comme une montagne de la cordillère des Andes de laquelle les plaines de l'Orénoque sont visibles au travers d'un défilé (les gorges du fleuve Guavio, n. d. a.). Depuis, de nombreuses sociétés privées colombiennes et étrangères ont successivement exploité cette mine avec divers succès sous l'autorité de célèbres ingénieurs tels que Fritz Klein, Peter Rainier (voir encadré "Peter W. Rainier...") et plus récemment Willis Bronkie.

En 1953, à 15 kilomètres au sud-ouest de Chivor, des émeraudes ont été découvertes par hasard à proximité de la ferme La Vega de San Juan dans le canton de Gachalá (voir encadré "Les pierres vertes..."), (Anderton, 1955). La zone a depuis été activement prospectée et des émeraudes spectaculaires y ont été extraites (voir encadré "Les cristaux d'émeraude..."); la production culmina en 1970 (Bosshart, 1991). Suite à la mise en eau du barrage du Guavio en 1989, seule l'exploitation artisanale par puits et galeries, supervisée par les familles Quintero et Caranza, est aujourd'hui tolérée afin d'éviter que les déblais miniers n'endommagent le complexe hydroélectrique. Depuis 1998, la guérilla des Forces Armées Révolutionnaires Colombiennes (FARC) a investi cette région qui offre l'accès des plaines orientales (llanos) du bassin de l'Orénoque vers Bogotá...

LOCALISATION ET ACCES

Gachalá (latitude 4°42' N, longitude 73°31' O), chef-lieu municipal (6500 habitants), est située à 75 kilomètres en ligne directe à l'est de Bogotá. La région est accessible par une route goudronnée jusqu'au barrage du Guavio qui permet l'accès à la rive droite du lac artificiel. Sur le barrage, un contrôle militaire soumet le voyageur à une fouille minutieuse. A 4 kilomètres en amont du barrage, à Santa Marta, un chemin de terre conduit à main gauche vers le hameau de Las Palomas, porte de la zone minière de Gachalá. Les mines sont situées sur le flanc oriental de la montagne (altitude 2200 m approximativement) qui borde le fleuve Guavio. La végétation est luxuriante, le climat pluvieux et tropical. En remontant la vallée de Las Cruces, le voyageur passe successivement à hauteur des chantiers miniers Mata de Figue (Matefique), La Vega de San Juan, La Gualí, Las Cruces et El Diamante ; puis la route descend dans la vallée de Caño Negro bordée des mines El Perro, El Toro, Mata de Caña (Matecaña) et Montecristo pour finalement rejoindre le village de Chivor situé à 10 kilomètres plus au nord dans le département de Boyacá (figures 2 et 8).

GEOLOGIE ET GENESE

Cadre géologique

Dans la région de Gachalá, les minéralisations⁽⁵⁾ à émeraude sont contenues dans les roches sédimentaires du Crétacé inférieur⁽⁶⁾. Elles appartiennent à la formation Guavio, d'âge Berriasien⁽⁷⁾, qui est formée par une alternance de bancs calcaires massifs et de couches de schistes noirs⁽⁸⁾ riches en matière organique (Escovar, 1975 ; Ulloa et Rodriguez, 1976). Les gisements de

Matefique, La Vega de San Juan, La Gualí, Las Cruces, El Diamante, El Perro, El Toro et Matecaña se situent dans la formation Guavio à proximité de la faille de San Fernando (figure 8). Cette faille majeure sépare les calcaires de la formation Guavio des roches métamorphiques appartenant à la formation paléozoïque⁽⁹⁾ des Farallones. La minéralisation à émeraude est étroitement associée à la présence de failles parallèles à l'orientation des roches sédimentaires. Ces failles antérieures à la formation de la faille de San Fernando, ont permis la circulation des fluides minéralisateurs qui ont fortement altéré les schistes noirs. L'émeraude est reliée à la formation de brèches tectoniques hydrothermales⁽¹⁰⁾ développées dans le plan de ces failles. Elle se trouve soit dans des réseaux de veines et veinules à calcite, dolomite et pyrite, soit dans les brèches tectoniques hydrothermales (Branquet et coll., 1999).

Etude minéralogique et chimique

Cette étude porte sur 24 échantillons de roches encaissantes provenant des mines voisines de Las Cruces, El Toro et Matecaña. Ces échantillons sont représentatifs des schistes noirs (nombre d'échantillons n = 13), des schistes noirs altérés (n = 5), des brèches tectoniques hydrothermales (n = 4) et des veines (n = 2).

Les schistes noirs et l'altération hydrothermale

Les schistes noirs du Berriasien forment la roche hôte des émeraudes de Gachalá. Ce sont des roches argileuses à grain très fin qui peuvent contenir jusqu'à 2% poids de matière organique. Il s'agit d'une roche sédimentaire composée de constituants détritiques⁽¹¹⁾ (principalement quartz, micas et feldspaths ; tableau 1), de phases authigénétiques⁽¹²⁾ (matière organique, oxyhydroxides de fer et de manganèse) et de précipités biogéniques⁽¹³⁾. La teneur en béryllium (Be, un des constituants majeurs de l'émeraude - $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$) de ces roches (moyenne = 3,7 ppm⁽¹⁴⁾, n = 13) est similaire à la valeur moyenne définie pour les schistes noirs (Vine et Tourtelot, 1970).

La formation de l'émeraude est le résultat d'une interaction entre des fluides chauds (température de 300°C) et très salés (une salinité de 38% poids équivalent NaCl^{15}) et les schistes noirs (Beus, 1979 ; Kozłowski et coll., 1988 ; Cheilletz et Giuliani, 1996). La circulation de ces fluides est synchrone de la déformation tectonique qui a affecté les schistes noirs à la fin de l'ère mésozoïque⁽¹⁶⁾, il y a 65 millions d'années (Cheilletz et coll., 1997). Les failles et les plans de décollement⁽¹⁷⁾ ont servi de conduits hydrothermaux aux fluides minéralisateurs (Branquet, 1999). L'interaction fluide-roche est matérialisée par d'importants échanges d'éléments chimiques qui ont provoqué à proximité immédiate et/ou dans les plans des failles, la métasomatose hydrothermale⁽¹⁸⁾ des schistes noirs. Cette modification de la composition chimique globale de la roche originelle (roche mère) a conduit à la formation de roches nouvelles (roche fille), notamment des schistes noirs carbonatisés (enrichis en carbonates), des schistes noirs albitisés (enrichis en feldspath sodique de couleur blanche, l'albite - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) et des schistes noirs pyritisés (riches en pyrite - FeS_2).

Les schistes noirs et le béryllium (Be)

Ces différentes transformations pétrographiques et chimiques des schistes noirs seront illustrées par l'étude des roches hôtes de l'émeraude des mines de Las Cruces, El Toro et Matecaña. Dans ces trois mines, les roches mères sont des schistes noirs carbonatés à quartz, mica, feldspath, pyrite, chlorite, calcite et matière organique (tableau 1). Les analyses géochimiques montrent que ces roches (échantillons G1, G2, G3) contiennent plus de 5% de potassium (K_2O), peu de sodium ($\text{Na}_2\text{O} < 1\%$) et du calcium ($1,1 < \text{CaO} < 3,1\%$). Les teneurs en béryllium (Be) sont de l'ordre de 4 ppm (tableau 2). Les roches filles (échantillons G7, G9, G13, MAT10) sont appauvries en quartz mais enrichies en feldspath sodique (l'albite), en dolomite et pyrite (tableau 1). Les analyses géochimiques montrent un très net enrichissement en sodium (Na_2O

PETER W. RAINIER, EL MEESTER DE CHIVOR

Quand l'ingénieur des mines allemand Fritz Klein quitta la mine de Chivor en 1922, la concession minière changea plusieurs fois de main. Vers 1926, l'écossais Peter W. Rainier fut chargé par la société américaine propriétaire du permis de réactiver l'exploitation de la mine. Rainier est descendant d'une lignée d'aventuriers; il est l'arrière-arrière-petit-fils de l'Amiral Rainier (1741-1808) en mémoire duquel le Mont Rainier (alt. 4391 m) dans l'Etat de Washington ainsi que trois bateaux de la Marine Américaine ont été baptisés. Peter, né sous une tente au Swaziland, fut successivement chasseur d'éléphants parmi les tribus cannibales, prospecteur minier et engagé dans la Guerre des Boers puis la Première Guerre Mondiale en Afrique australe. Doté d'une solide expérience dans l'exploitation minière d'or au Mozambique, de diamants au Damaraland en Namibie et de charbon aux États-Unis, il avait déjà vécu de nombreuses aventures avant son arrivée à Chivor. Quelques mois lui suffirent pour convaincre les investisseurs new-yorkais du riche potentiel des formations de Chivor. À son apogée en 1929, Chivor compta jusqu'à 300 mineurs et Rainier avait dû batailler dur pour conserver la souveraineté de sa société sur la concession, la richesse du sous-sol ayant donné du courage à quelques personnalités locales considérant El Meester comme un intrus sur leurs terres. Au début de 1931, l'importante production de la mine déstabilisa un marché de l'émeraude déjà fragilisé par la grande dépression américaine et entraîna la fermeture de la mine; tous les efforts de Rainier pour réactiver l'exploitation échouèrent. Très attachés à la région du Guavio, Rainier et Margaret son épouse, avaient acheté l'hacienda Las Cascadas située dans la vallée de Caño Negro à mi-chemin entre Chivor et Gachalá; l'ambition de Margaret était d'y cultiver le thé, culture inconnue en Colombie à cette époque. Après son départ de Chivor, Rainier fut brièvement employé par le gouvernement colombien pour superviser l'exploitation des mines de Muzo. En 1938, après douze années vécues dans des conditions difficiles et le décès de Margaret, Rainier et ses trois enfants quittèrent la Colombie. Un nouveau défi attendait le Major Rainier de l'autre côté de l'Atlantique avec les Alliés dans l'Armée du Nil où il participa à la bataille de El-Alamein et prit part à la campagne de Tunisie. L'hacienda Las Cascadas produit toujours aujourd'hui un thé au goût savoureux. Rainier a laissé derrière lui plusieurs ouvrages autobiographiques et publications géologiques. Son livre, *Green Fire*, qui relate sa vie en Colombie, a été adapté à l'écran sous le titre *L'Émeraude Tragique* en 1954 par Andrew Marton; les rôles principaux sont interprétés par Stewart Granger, Grace Kelly et Paul Douglas.

Peter W. Rainier auteur : *My Vanished Africa* (1940), *Green Fire* (1942), *Pipeline to Battle - An Engineer's Adventures with the British Eighth Army* (1943).

jusqu'à 7,1%) en calcium, magnésium et fer (Fe_2O_3 jusqu'à 17,7%) par rapport à la roche mère (tableau 2). Le diagramme de la figure 9 nous permet de visualiser chimiquement l'altération hydro-thermale des schistes noirs. Celle-ci est marquée par une dérive géochimique des échantillons vers le point représentatif de l'albite (enrichissement en sodium et aluminium). L'enrichissement en albite qui est marqué par l'augmentation du rapport Na/Al des roches se corrèle avec une diminution générale de la teneur en béryllium (figure 10) : lors de l'altération hydrothermale, la quantité maximale de béryllium soutirée des schistes noirs est comprise entre 0,6 et 3,1 ppm (moyenne de $1,4 \pm 0,8$ ppm ; Giuliani et coll., 1999).

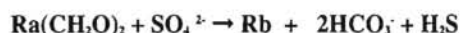
Mais où se trouve le béryllium mobilisable dans les schistes noirs ? La distribution du béryllium dans les différentes phases minérales des schistes noirs hydrothermalisés (albitisés) indique que le béryllium mobilisable se trouve dans les oxyhydroxydes de fer et de manganèse (Massot, 1997). La quantité de béryllium mobilisable (environ 0,7 ppm) constitue jusqu'à 18% poids du béryllium global contenu dans le schiste noir. Un bilan de masse appliqué à la zone hydrothermale des chantiers El Oriente et Klein à Chivor a montré que la quantité de béryllium mobilisable était suffisante pour permettre la cristallisation d'une quantité d'émeraude largement supérieure à la quantité déjà extraite de ces mines (Giuliani et coll., 1999). De même, le chrome et le vanadium, éléments chromophores de l'émeraude (ceux qui la teintent en vert), sont soutirés des schistes noirs lors de la métasomatose hydrothermale (Giuliani, 1997).

Les réactions chimiques responsables de la formation des minéraux des roches filles et des émeraude

Les études géochimiques et isotopiques⁽¹⁹⁾ réalisées sur les inclusions fluides piégées par les émeraude et sur les différents minéraux des roches filles ont démontré que le fluide minéralisateur était un fluide d'origine sédimentaire expulsé des parties profondes du bassin de la Cordillère orientale (Banks et coll., 2000 ; Giuliani et coll., 2000). Le fluide est riche en sels et en sulfates (saumures) car il a dissout au cours de sa circulation des niveaux d'évaporites⁽²⁰⁾ (formés de sels tels que l'halite - NaCl et de sulfates tels que l'anhydrite - CaSO_4) présents dans les formations sédimentaires du Berriasien. La réaction de ces saumures avec la matière organique des schistes noirs, à une température de 300°C , a provoqué la thermoréduction⁽²¹⁾ des sulfates (Ottaway et coll., 1994 ; Giuliani et coll., 1995, 2000).

Réaction des schistes noirs avec les sulfates (CaSO_4) du fluide

Cette réaction d'oxydoréduction réduit les sulfates en hydrogène sulfuré (H_2S) et oxyde la matière organique ($\text{Ra}(\text{CH}_2\text{O})_2$) du schiste noir en gaz carbonique (CO_2). Elle produit de grandes quantités d'hydrogène sulfuré et d'ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-), lesquels, par interaction avec le fer et le calcium extraits des schistes noirs et présents dans le fluide, provoquent la précipitation des carbonates (calcite et dolomite), de la pyrite et du bitume rencontrés dans les roches filles et dans les veines à émeraude (figure 11). La réaction chimique générale peut s'écrire de la manière suivante :



Matière organique + sulfate → bitume + hydrogénocarbonate + hydrogène sulfuré



Hydrogénocarbonate + calcium → calcite



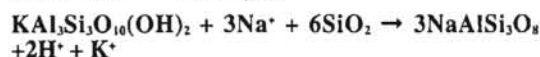
Hydrogène sulfuré + Fer + sulfate → pyrite + eau

Réaction des schistes noirs avec les sels (NaCl) contenus dans le fluide

L'interaction entre les saumures et les schistes noirs constitue l'épisode majeur de la phase d'albitisation ou de la métasomatose alcaline⁽²²⁾ des roches mères et de la mobilisation du béryllium, du chrome et du vanadium. Ainsi, le quartz des schistes noirs est mobilisé par les saumures. Les argiles des schistes noirs qui sont des mélanges de muscovite (mica blanc) et d'illite⁽²³⁾ sont transformées de la manière suivante :

Muscovite → albite

Roche mère → roche fille



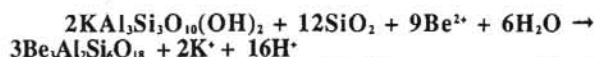
Muscovite + sodium + quartz → albite

À Gachalá, la présence d'oligoclase (feldspath sodique très proche de l'albite) est l'indicateur principal d'une possible minéralisation à émeraude. De plus, de nombreux fossiles formés d'albite et de pyrite sont présents dans les schistes noirs métasomatés du Crétacé inférieur. Ces niveaux contiennent également de la pyrite qui, soumise à l'altération tropicale actuelle, s'altère en limonite jaune. Les niveaux à albite et pyrite sont ainsi appelés niveaux amarillos ou niveaux jaunes (figure 12).

La précipitation de l'émeraude

La redistribution du béryllium et la précipitation de l'émeraude peuvent s'effectuer de la manière suivante :

- à partir de la muscovite du schiste noir



muscovite + quartz + béryllium + eau → beryl chromifère



Figure 12. Front de taille de la galerie de Matecaña. Les fossiles étudiés sont extraits d'un niveau de schistes noirs riches en limonite (niveau "amarillo"). Photo V. Castañeda.



Figure 14. La galerie d'accès aux fronts de taille. Les déblais sont évacués vers l'extérieur à l'aide de brouettes. La gaine de polyéthylène amène l'air frais. Photo V. Castañeda.

Figure 16. Le cobbing des déblais après lavage et triage. En arrière-plan, la vallée de Caño Negro. Photo V. Castañeda.



Figure 13. Le site de Matecaña. Les déblais, extraits de la galerie, sont déversés dans le ravin à l'entrée de la galerie. Les failles de San Fernando et de Matecaña sont matérialisées. À l'entrée de la galerie, les abris de tôles protègent le compresseur pneumatique et l'équipe qui veille à la sécurité de l'exploitation. Photo V. Castañeda.

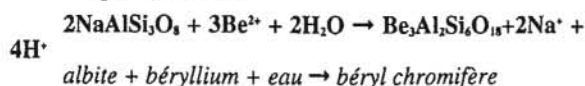


Figure 15. Émeraude sur gangue extraite du front d'exploitation principal de Matecaña. Les cristaux d'émeraude sont recouverts de carbonate. Spécimen 2,5 x 2 x 2 cm. Coll. V. Castañeda - Photo C. Monneret.



Superbe cristal d'euclase aux nombreuses faces 2,3 x 1,8 x 1,7 cm - Spécimen : R. Titeux. Photo : L.-D. Bayle

- à partir de l'albite



Ces deux réactions peuvent être illustrées par l'échantillon MAT10 (tableau 2 et figure 10) : un schiste noir albitisé et pyritisé qui contient des gastropodes pseudomorphosés (24) en émeraude et pyrite. Dans cet échantillon, la teneur en béryllium du schiste noir augmente avec le degré d'albitisation (Be = 16,2 ppm). Dans ce cas précis, le béryllium soutiré lors de l'albitisation est réutilisé localement au cours des réactions chimiques pour former l'émeraude : l'aragonite (CaCO_3) de la coquille a été dissoute par la percolation du fluide dans le schiste noir et remplacée par l'émeraude et la pyrite (voir plus loin). De même, certains remplissages internes des gastropodes sont à pyrite et émeraude.

LA GALERIE DE MATECANA

Matecana est une petite mine exploitée de manière artisanale par les habitants de Las Palomas. L'entrée de la galerie est située à 2100 mètres d'altitude dans la vallée de Caño Negro à 120 mètres approximativement au-dessous de la faille de San Fernando. L'objectif minier du chantier est d'explorer l'intersection de la faille de San Fernando (orientation NE-SO) avec la faille de Matecana (orientation E-O) (figure 13). L'équipe d'exploitation varie au gré des ressources financières des investisseurs de Bogotá et peut inclure de 3 à 10 mineurs. À proximité, un baraquement avec cuisine et dortoir fournit le gîte et le couvert au personnel. La méthode d'exploitation est classique, basée sur l'emploi de marteaux pneumatiques et cartouches explosives (figure 14). Quand des indices de présence d'émeraude apparaissent dans les gravats, le travail se poursuit à l'aide de pics. Depuis l'ouverture du chantier en 1993, deux fronts d'exploitation ont été creusés. Le front principal n'a produit que de petits cristaux d'émeraude opaque sans valeur commerciale communément appelée morralla (figure 15). Le front secondaire a atteint en 1994 un niveau de schistes noirs riche en limonite (figure 12) et en fossiles où l'émeraude s'est substituée à la coquille des

gastropodes. Les déblais sont évacués à l'aide de brouettes et déversés à l'entrée du tunnel (figure 13). Les mineurs et leur familles procèdent alors au lavage, triage et cobbing⁽²⁴⁾ (figure 16). La majorité des fossiles est détruite pendant cette opération et la matière la plus prometteuse est acheminée vers Bogotá afin d'être taillée puis vendue sur le marché local. La galerie secondaire, par manque d'étalement suffisant, s'est effondrée à la fin de 1998 et l'exploitation se poursuit aujourd'hui sur le front principal.

ETUDE GEMMOLOGIQUE ET GEOCHIMIQUE

Cette étude porte sur 3 émeraudes facettées et 20 fossiles (figure 1) qui ont été obtenus à Bogotá et sur le site de Matecana. Les échantillons ont été testés au moyen des appareils standard de gemmologie. Une inclusion solide a été identifiée grâce à la spectroscopie Raman. L'identification générale du matériau formant les fossiles est fondée sur la spectroscopie infrarouge en réflexion (Martin et coll., 1989). Cette méthode a été adaptée au spectroscope infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF) Nicolet Magna-IR 560 E.S.P. par le Pr. Zecchini du Laboratoire de Cristallographie de l'Université de France Comté, Besançon (étude non publiée). La microsonde ionique IMS1270 calibrée à partir des standards obtenus par spectrométrie de masse classique du CNRS de Vandœuvre a permis de mesurer le rapport des isotopes de l'oxygène ^{18}O et ^{16}O de l'émeraude et ainsi de caractériser la zone de production par comparaison avec les valeurs obtenues sur les autres gisements colombiens (Giuliani et coll., 1998). Les résultats des études gemmologiques et géochimiques des pierres taillées et des fossiles sont résumés dans le tableau 3.

Apparence visuelle

Les trois pierres taillées ont une couleur verte très saturée à forte sous-teinte bleue. Les fossiles sont recouverts d'une pellicule noirâtre d'oxydes de fer et de schistes noirs mêlés à des cristaux de pyrite qui dissimule partiellement la couleur de l'émeraude. La surface extérieure des fossiles est plus ou moins lisse.

Origine	Mine	Ech.	Quartz %	Mica %	Feldspath %	Chlorite %	Pyrite %	Dolomite %	Calcite %	Gypse %	Matière Organique %
Roche mère	El Toro	G1	32	30	8	15	5	-	4	3	1,29
		G2	32	19	15	8	4	-	10	-	1,04
		G3	32	27	9	10	5	-	4	2	1,23
Roche fille	El Toro	G7	19	17	43	7	9	-	12	-	1,40
	Matecana	G9	28	16	25	14	9	10	-	-	1,19
	Las Cruces	G13	30	15	28	7	4	6	12	-	1,40

TABLEAU 1. Composition minéralogique d'échantillons représentatifs des schistes noirs (roche mère) et des schistes métasomatisés (roche fille) des mines de El Toro, Matecana et Las Cruces. Les roches filles s'enrichissent notamment en dolomite, calcite, pyrite et feldspaths (albite). La quantité de matière organique a été déterminée par analyse chimique (voie humide) tandis que les autres phases minérales ont été mesurées par rayons X

Origine	Mine	Ech.	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	P.F. %	Total %	Be ppm	Cr ppm	V ppm
Roche mère	El Toro	G1	55,62	20,92	5,39	-	1,82	1,11	0,63	5,66	0,93	0,20	7,50	99,80	4	167	163
Roche fille	Matecana	G9	52,34	15,92	10,33	0,02	2,33	2,32	2,79	3,07	0,77	0,22	9,47	99,60	2,1	79	108
		G10	64,80	12,05	3,69	0,03	1,72	3,04	3,40	1,97	1,01	0,17	7,51	99,34	1,1	69	78
		Mat10	47,29	12,30	17,73	0,02	0,16	1,14	7,13	0,03	0,48	0,66	13,00	99,90	16,2	96	52
Veine	Matecana	G8	32,59	9,96	9,00	0,13	7,10	14,90	3,29	0,78	0,32	0,19	19,90	98,20	1,1	34	47
Brèche	Las Cruces	G15	28,17	8,25	11,91	0,20	7,28	14,70	4,76	0,05	0,22	0,22	21,20	97,00	<0,5	34	45

TABLEAU 2. Composition chimique d'échantillons représentatifs des schistes noirs (roche mère), des schistes noirs métasomatisés (roche fille), de veines à carbonates et de brèches tectoniques hydrothermales des mines de El Toro, Matecana et Las Cruces. Analyses obtenues par ICP-MS (CRPG/CNRS, Vandœuvre). P.F. : perte au feu ; Be : béryllium ; Cr : chrome ; V : vanadium

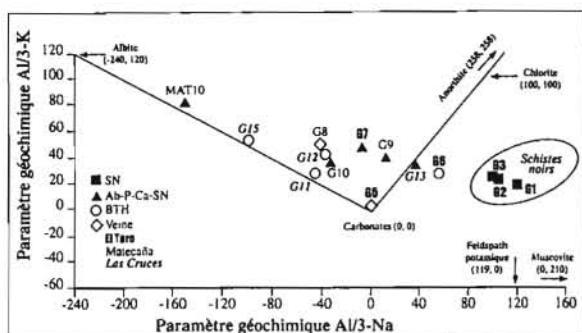


Figure 9. La métasomatose des schistes noirs par les fluides hydrothermaux (mines de El Toro, Matecaña et Las Cruces). Diagramme géochimique $Al_3 - K$ (aluminium/3 - potassium) versus $Al_3 - Na$ (aluminium/3 - sodium) qui permet de visualiser la tendance géochimique de l'altération depuis le domaine des schistes noirs (roche mère: échantillons G1, G2, G3) jusqu'au pôle de l'albite (roche fille: échantillons G7, G9, G13, MAT10). Tous ces échantillons ont subi également une calcitisation et une pyritisation (MAT10). G5 et G8 sont des veines à carbonates: G5 est une veine à calcite fibreuse et son point représentatif se trouve sur le pôle des carbonates, G8 est une veine à calcite, albite et pyrite et son point représentatif se trouve situé entre les pôles de l'albite et des carbonates. Les points G6, G11, G12 et G15 sont des brèches tectoniques hydrothermales à ciment de calcite, pyrite et albite.

Abbréviations: SN = schiste noir; Ab-P-Ca SN = schiste noir albitisé (Ab) et calcitisé (Ca) et contenant de la pyrite (P); BTH = brèche tectonique hydrothermale.

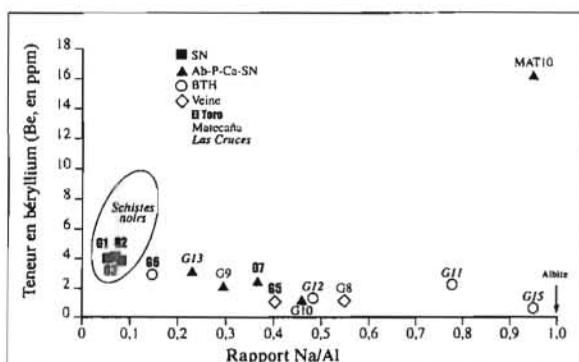


Figure 10. Le comportement du béryllium des schistes noirs au cours de la métasomatose alcaline.

Diagramme teneur en béryllium des roches (Be, en ppm) versus le rapport géochimique (Na/Al, sodium/aluminium) des roches mères et filles qui définit l'évolution géochimique des schistes noirs métasomatisés. Un rapport Na/Al = 1 correspond au pôle de l'albite et un rapport Na/Al = 0,05 correspond au domaine des schistes noirs. Durant la métasomatose sodique (à albite), le béryllium est soustrait des schistes noirs par le fluide hydrothermal. Pour l'échantillon MAT10, le béryllium est reconcentré par le fluide et participe à la formation de l'émeraude.

Abbréviations: SN = schiste noir (roche mère); Ab-P-Ca SN = schiste noir (roche fille) albitisé (Ab) et calcitisé (Ca) et contenant de la pyrite (P); BTH = brèche tectonique hydrothermale.

Propriétés gemmologiques

Les masses trop faibles des pierres taillées (0,09; 0,11 et 0,12 ct) n'ont pas permis une mesure précise du poids spécifique PS avec la balance hydrostatique. Les fossiles (JR001-1: 11,71cts; JR001-2: 15,24cts; JR001-3: 4,57cts) ont donné des valeurs PS comprises entre 2,44 et 2,54. Ces valeurs sont faibles comparées aux valeurs publiées pour l'émeraude morralla de Chivor (2,593; Sinkankas, 1989). Durant la manipulation, les perméabilité et porosité du matériau ont été mises en évidence par un poids dans l'eau qui augmente régulièrement. L'indice de réfraction n des pierres taillées varie entre 1,576 et 1,578 pour n_o et entre 1,570 et 1,572 pour n_e avec une biréfringence $\Delta n = 0,006$. Ces valeurs sont comparables à celles publiées pour les émeraudes des gisements voisins (Chivor: n_o 1,577–1,580; n_e 1,571–1,574; Anderson, 1990). La lecture approximative de l'indice de réfraction

sur les fossiles a pu être obtenue grâce à la méthode d'observation à distance (Anderson, 1990) sur trois échantillons (JR001-1, JR001-2 et OTH118-3) et a donné des valeurs comprises entre 1,57 et 1,59. Sous filtre de Chelsea, les pierres taillées sont de couleur rouge-violet; les parties les plus vertes des fossiles ont une légère teinte rose. La luminescence rouge sous forte lumière visible transmise mentionnée par Kane et Liddicoat (1985) n'a pas été observée ici. Les émeraudes et fossiles sont inertes aux UV-courts et UV-longs. Le spectre d'absorption des trois pierres taillées, obtenu grâce à un spectroscope à prisme Beck muni d'une échelle des longueurs d'onde calibrée avec une lampe à sodium, est similaire au spectre de l'émeraude décrit dans la littérature (Anderson, 1990, Bosshart, 1991). Une raie à 477 nm est présente dans certaines directions. Les fossiles étant opaques, un vague spectre a pu être obtenu en réflexion grâce à un montage construit localement.

Microscopie et inclusions

En plus des trois pierres taillées étudiées, un des auteurs (PV) a pu observer récemment à Bogotá sous le microscope binoculaire 326 émeraudes taillées à partir de fragments de fossiles. Les concentrations de couleur et lignes de croissance fréquentes dans les émeraudes des autres gisements de Colombie sont absentes. Les fractures et givres de guérison sont rares.

Inclusions solides

Les inclusions solides observées sont similaires aux inclusions décrites dans les émeraudes de Colombie (Bosshart, 1991; Gübelin et Koivula, 1992; Rotlewicz, 2000): cristaux de pyrite, rhomboédres de calcite et agrégats de schiste noir (figures 17, 18, 20). Une pierre taillée contient des cavités hexagonales tabulaires (figures 19, 20, 21).

Inclusions triphasées

Sous grossissement maximal (x100), aucune inclusion triphasée (saumure, dioxyde de carbone - CO₂, cristal de sel - NaCl) n'a pu être observée dans les pierres taillées. Ce type d'inclusion est pourtant caractéristique des émeraudes de Colombie (Bosshart, 1991; Gübelin et Koivula, 1992; Romero, 1993). Par comparaison, un cristal automorphe⁽²⁶⁾ d'émeraude (1,1 x 0,5 x 0,4 cm) provenant du chantier El Diamante situé à moins de 1 kilomètre de la galerie de Matecaña contient une inclusion triphasée visible à la loupe 10X.

Spectroscopie IRTF en réflexion

Huit fossiles ont été analysés et les spectres obtenus correspondent aux spectres des béryls de la base de données de référence (figure 22). Les spectres en réflexion sont dépendants de la polarisation (orientation cristallographique), ce qui explique le léger écart constaté entre le spectre des échantillons et les spectres de référence.

Composition isotopique⁽²⁷⁾ de l'oxygène

L'oxygène a été extrait par la technique classique de libération de l'oxygène des silicates (Giuliani et coll., 1998). Cette technique est destructive et elle nécessite une quantité de 2 à 4 mg de matériau. Deux fragments d'émeraude provenant du remplissage interne de la coquille des gastropodes ont été analysés. Les valeurs des $\delta^{18}O$ mesurées sont respectivement de 14,9‰ et 15,35‰ et la valeur moyenne est $\delta^{18}O = 15,1 \pm 0,2\%$ (nombre d'échantillons: $n = 2$). Cette valeur élargit le domaine isotopique défini pour les émeraudes colombiennes du District Oriental ($15,9 < \delta^{18}O < 18,4\%$, $n = 27$; Giuliani et coll., 1998). En effet, les valeurs mesurées sur les émeraudes de Chivor (Klein; $\delta^{18}O = +16,3 \pm 0,3\%$, $n = 4$ et Quebrada Negra $\delta^{18}O = +15,9\%$, $n = 1$) représentaient jusqu'à présent les valeurs isotopiques les plus légères de Colombie. D'autre part, ces valeurs diffèrent nettement de celles mesurées pour les émeraudes de la mine La Vega de San Juan ($\delta^{18}O = 18,1\%$, $n = 2$).



Figure 17. Cristaux automorphes de pyrite. (x 100) - Photo : P. Vuillet.



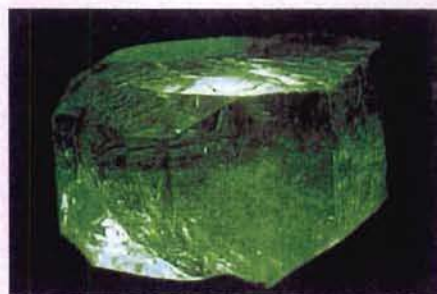
Figure 18. Rhomboèdre de calcite et agrégat de schistes noirs; immersion en alcool. (x 100) - Photo : P. Vuillet.



Figure 19. Cavité tabulaire. (x 100) Photo : P. Vuillet.

Les cristaux d'émeraude de Gachalá

Depuis sa découverte, la zone minière de Gachalá a produit des cristaux d'émeraude remarquables, principalement des mines La Vega de San Juan et Las Cruces. Les cristaux automorphes de qualité gemme et de grande dimension qui sont parfois extraits des mines ne sont que très rarement conservés en l'état car les gemmes taillées ont une valeur commerciale plus importante aux yeux des mineurs que les spécimens minéralogiques (Keller, 1981). Ils sont souvent baptisés dès leur découverte tels l'Emilia (7025 cts) et El Monstro (16020 cts, connu en Europe comme Émeraude de Muzo ; Bosshart, 1991) extraits de Las Cruces en 1969 et 1986 respectivement et dont les statuts actuels sont inconnus. Parmi les cristaux d'émeraude qui ont survécu en l'état, l'Émeraude de Gachalá, mise au jour à La Vega de San Juan en 1967, est décrite dans la littérature comme un des plus beaux cristaux d'émeraude gemme connus. Le prisme hexagonal est terminé par la combinaison du pinacoïde et de faces bipyramidales. D'un poids de 858 cts, il mesure 5 x 5 x 5 cm approximativement. Don de Harry Winston, le célèbre négociant américain, ce spécimen est exposé à la Collection des Gemmes du National Museum of Natural History (Smithsonian Institution) de Washington.



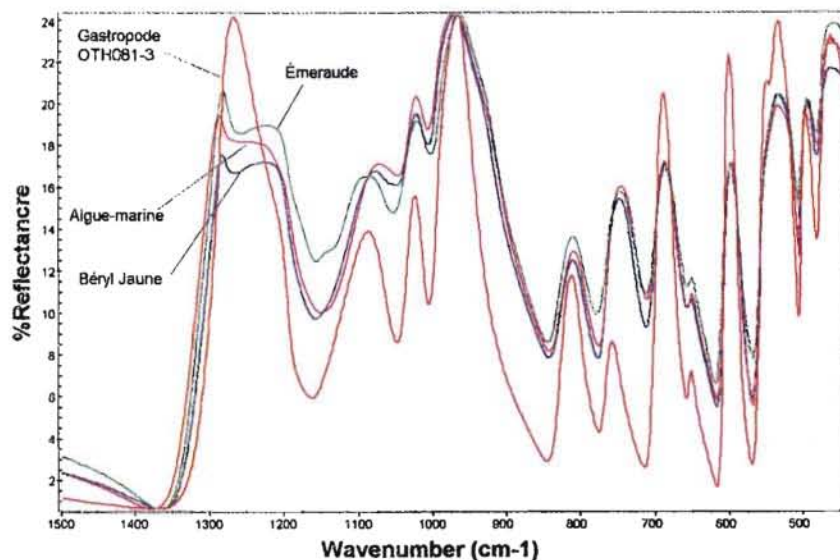
Émeraude de Gachalá - 5 x 5 x 5 cm
Coll. et Photo : NMNH (Smithsonian Institution)



Figure 21. Cavité hexagonale. Immersion en alcool. (x 100) - photo : P. Vuillet.

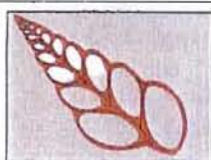


Figure 20. Cristal de pyrite. Sur la table de la pierre taillée à gauche, une empreinte de forme hexagonale. (x 100) - photo : P. Vuillet.



Search results	Index	Match	Compound Name	Library Name
1	78	94,23	Béryl jaune	gemmes et pierres de synthèse III
2	74	90,99	Aigue-marine	gemmes et pierres de synthèse III
3	77	89,19	Émeraude	gemmes et pierres de synthèse III

Figure 22. Spectre IRTF non orienté en réflexion du gastropode OTH081-3 dont la meilleure correspondance est celle des bérils de la base de données de référence du Laboratoire de Cristallographie de l'Université de Franche Comté, Besançon.



I: enfouissement post mortem du gastropode dans le sédiment initialement meuble (couleur grise) et remplissage partiel de la coquille par ce



II: dissolution de la coquille du gastropode en aragonite après induration du sédiment au cours des dépôts sédimentaires successifs au Crétacé inférieur, entre 135 et 96 millions d'années.



III: comblement par l'émeraude, par imprégnation des espaces laissés vacants (ici représentés en vert aplati). L'émeraude a précipité à partir du fluide hydrothermal minéralisateur qui a circulé dans le sédiment à gastropodes il y a 65 millions d'années.

Figure 23. Schéma en coupe des trois principales phases du processus de dissolution - substitution (exemple pris chez l'espèce du sous-genre *Oonita*).

Les mollusques gastropodes en émeraude

Le matériel examiné consiste en vingt spécimens de gastropodes prosobranches⁽²⁸⁾ de dimension centimétrique (figure 1), diversement déformés par compaction synsédimentaire⁽²⁹⁾. Tous sont incomplets, ayant été plus ou moins fragmentés lors de leur extraction (cobbing) du fait de leur fragilité et de leur inclusion dans une gangue de schistes noirs à pyrite. Ils présentent cette particularité, très remarquable et tout à fait exceptionnelle, que leur test⁽³⁰⁾ se trouve entièrement pseudomorphosé en émeraude, suivant le processus habituel de minéralisation par dissolution – substitution. Après enfouissement et dissolution du test en aragonite de ces gastropodes, les vides ainsi laissés dans la gangue et correspondant à l'épaisseur de leur test coquillier, se sont trouvés ultérieurement (après 70 millions d'années) comblés par l'émeraude qui a cristallisé à partir d'une solution hydrothermale, donnant ainsi une réplique théoriquement parfaite de la morphologie initiale externe des coquilles (figure 23).

Identification des gastropodes : ce matériel comprend trois formes (ici désignées A, B, C) génériquement bien distinctes, dont la forme C est largement dominante (figure 24).

Forme A : un spécimen (OTH118-4) à spire intacte mais à base et ouverture manquantes, pourrait être attribué au genre *Ataphrus* s. str. (super-famille Trochacea, famille Ataphridae) dont il présente assez exactement le galbe : sa spire un peu cyrtocône⁽³¹⁾ est formée de quatre tours convexes à surface lisse, séparées par une suture⁽³²⁾ linéaire. Il mesure : hauteur conservée – 10,0 mm ; largeur conservée – 12,0 mm ; angle de croissance – de 97° (premiers tours) à 92° (derniers tours). Le genre et sous-genre *Ataphrus* est connu du Jurassique moyen au Crétacé terminal dans les régions mésogéennes⁽³³⁾.

Forme B : le spécimen n° OTH081-8 est un fragment de spire avec remplissage interne de la base et de l'ouverture partiellement conservée (figure 25 (I)). Malgré son état très fractionnaire, il peut être attribué avec assez de certitude au genre et sous-genre *Pseudomelania* (*Oonia*) (super-famille Loxonematacea, famille Pseudomelaniidae) : ses trois derniers tours, relativement élevés, très faiblement bombés et apparemment lisses, sont séparés par une suture linéaire ; la base n'est pas ombiliquée⁽³⁴⁾ et la section interne de l'ouverture est ovale allongée, nettement plus haute que large. Il mesure : hauteur conservée – 12,0 mm ; largeur conservée – 6,2 mm ; angle de croissance des derniers tours conservés – 35°. Le sous-genre *Pseudomelania* (*Oonia*) est connu du Trias au Crétacé inférieur (étage Barrémien), mais l'espèce de Gachalá est de forme nettement plus étroite que celles jusqu'ici décrites dans le Tithonien et dans le Crétacé inférieur des régions mésogéennes.

Forme C : douze spécimens (JR001-1 et -2, OTH081-3 à -7, OTH118-2, -3, -5 et -6, VC001-1) appartiennent à une espèce des genre et sous-genre *Ampullospira* (*Pictavia*) (super-famille Naticacea, famille Globulariidae). La description sommaire et le schéma de reconstitution qui en sont donnés ici reposent sur les cinq meilleurs spécimens (OTH081-4, -5, et -7, OTH118-5 et JR001-2) : coquille à croissance régulière, formée de cinq à six tours faiblement bombés, lisses, séparés par une suture⁽³²⁾ finement canaliculée ; dernier tour occupant presque les deux tiers de la hauteur totale ; ouverture holostome⁽³⁵⁾ nettement plus haute que large, à bord columellaire⁽³⁶⁾ concave, épais, dont la callosité⁽³⁷⁾ obture presque totalement une étroite fente ombilicale, et à bord labral orthocline⁽³⁸⁾. Les dimensions maximales reconstituées de cette espèce (déformations compensées) sont : hauteur totale – 21,0 mm ; hauteur du dernier tour – 15,0 mm ; hauteur de l'ouverture – 12,0 mm ; largeur – 14,5 mm ; angle de croissance – 67,5°. Le sous-genre *Ampullospira* (*Pictavia*) est apparu dès le Trias mais cette espèce est nettement plus élancée qu'*Ampullospira* (*Pictavia*) *laevigata* (Deshayes, in Leymerie, 1842), de l'Hauteriviens du bassin parisien et qui est une des rares *Pictavia* post-jurassiques connues jusqu'ici.

Discussion

Il s'agit, pour ces trois formes de gastropodes, d'espèces très probablement nouvelles, qui n'ont été jusqu'ici signalées dans aucune autre localité de la formation Guavio, ni hors de cette formation, mais qu'il n'est pas possible de fonder nommément en raison de l'état de conservation insuffisant du matériel. Ces gastropodes sont certainement du même âge (Berriasien) que les ammonites trouvées dans les mêmes terrains de la zone minière de Chivor (Berriasellidae des sous-familles Berriasellinae et Neocomitinae ; Branquet, 1999).

Les trois attributions génériques qu'il a été possible d'établir (*Ataphrus* ?, *Pseudomelania* et *Ampullospira*) confèrent à cette faune de gastropodes une origine marine indiscutable, en mode de vie benthique vagile⁽³⁹⁾, sur plate-forme interne et sur paléosubstrats⁽⁴⁰⁾ meubles. Les spécimens examinés ne présentent en outre aucune trace d'usure clastique⁽⁴¹⁾, ce qui implique pour eux un paléobiotop⁽⁴²⁾ à hydrodynamisme⁽⁴³⁾ faible.

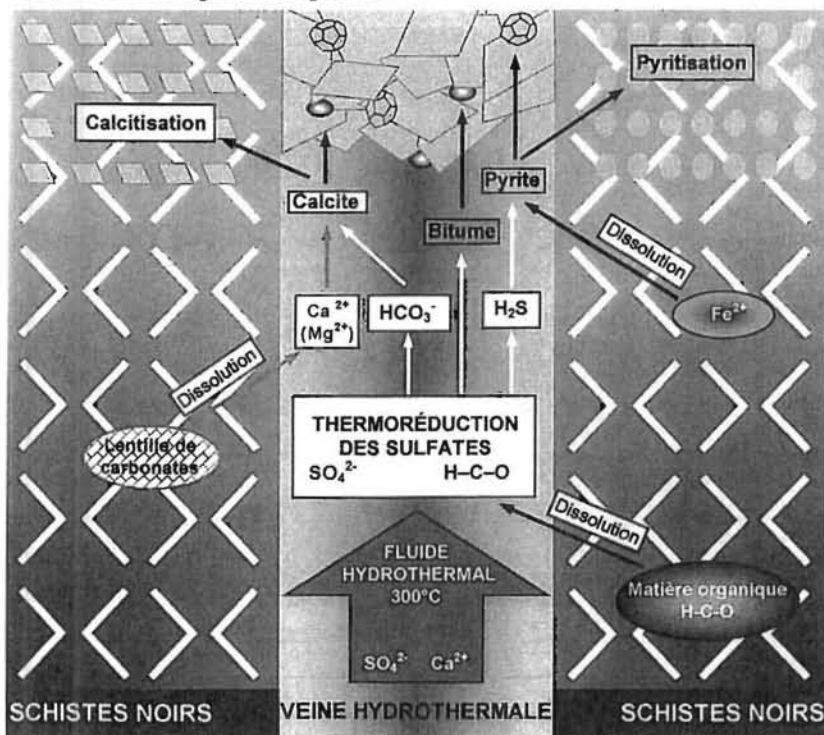


Figure 11. Schéma illustrant la thermoréduction des sulfates, processus responsable de la précipitation des carbonates, de la pyrite et du bitume présents dans les veines à émeraude. Cette réaction d'oxydoréduction réduit les sulfates (SO_4^{2-}) contenus dans le fluide hydrothermal en hydrogène sulfuré (H_2S) et oxyde la matière organique ($H-C-O$) en gaz carbonique (CO_2). Elle produit de grandes quantités d'hydrogène sulfuré et d'ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-) lesquels en se combinant avec le calcium (Ca^{2+}) et le fer (Fe^{2+}) provoquent la formation des carbonates (calcite et dolomite), de la pyrite et du bitume dans les veines. Cette réaction chimique provoque également la calcitisation et la pyritisation des schistes noirs.

CONCLUSION

Les auteurs ont voulu attirer l'attention du lecteur sur la zone minière de Gachalá, trop souvent ignorée dans la littérature relative à l'émeraude colombienne. Bien que la découverte d'indices de minéralisation à matériaux précieux soit souvent due au hasard, l'exploitation minière dans les régions isolées représente un réel défi et son succès est largement dépendant de la qualité des hommes présents sur le terrain. L'activité minière dans la zone de Gachalá connu son apogée dans la deuxième moitié du siècle dernier avec l'extraction de cristaux d'émeraude spectaculaires ; la construction du barrage du Guavio et l'instabilité politique dans la région ont amorcé son déclin.

Cette étude offre de façon exhaustive au lecteur les derniers développements concernant l'explication des mécanismes responsables de la cristallisation de l'émeraude dans les gisements de Colombie.

Les propriétés gemmologiques des pierres facettées dans les fossiles sont comparables à celles des émeraudes provenant des gisements de Chivor. Les inclusions solides sont identiques à celles isolées dans les émeraudes des autres gisements du District Oriental. Les pierres taillées étudiées ne présentent aucune inclusion triphasée caractéristique de l'émeraude colombienne; ce type d'inclusion a pu être observé dans une émeraude brute extraite d'un gisement voisin de la galerie de Matecaña. La composition isotopique de l'oxygène des émeraudes de Matecaña est très différente de celle du gisement de La Vega de San Juan. Les valeurs obtenues pour $\delta^{18}\text{O}$ élargissent le domaine isotopique précédemment défini pour les émeraudes du District Oriental.

Les fossiles pseudomorphosés en émeraude extraits de Matecaña sont uniques au monde et n'ont jamais été rencontrés dans d'autres mines colombiennes. L'existence probable de nouvelles espèces de gastropodes marins du Berriasien, inconnues à ce jour, a été mise en évidence. L'étude de fossiles en meilleur état de conservation pourrait confirmer cette découverte. L'absence d'usure clastique des fossiles est la conséquence d'un milieu marin à faible hydrodynamisme.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient particulièrement Victor Caranza chez Tecminas Ltda., Bogotá, pour les informations et anecdotes relatives à la découverte des mines de Gachalá. Fiona Rühmer, Londres, Jaime (Jimmy) Rotlewicz (gemtec@elsitio.net.co) chez Gemtec Ltda., Bogotá, et Victor Castañeda (victorghi@yahoo.com) chez Caracol Ltda., Bogotá, ont mis à la disposition des auteurs certains fossiles. M. Castañeda a également joué un rôle important lors de la collecte des informations sur le terrain. Les photos des inclusions ont été réalisées grâce à l'amabilité de Franck Notari (gemteclab@bluewin.ch) chez Gemteclab, Genève. Pierre Zecchini (pzeccini@univ-

fcomte.fr), Professeur Émérite des Universités, Pouilley Les Vignes, a enregistré les spectres IRTF. Claude et Philippe Monneret, Grand Châtel, ont digitalisé certains documents présentés. Jeffrey E. Post (post.jeffrey@nmnh.si.edu), conservateur de la Galerie des Gemmes au NMNH (Smithsonian Institution), Washington, a gracieusement autorisé la publication de la photo de l'émeraude de Gachalá. Denis Gravier (dgravier@aol.fr) chez Le Minéral Brut, Saint-Jean-Le-Vieux, et son épouse Danièle ont eu la gentillesse de relire le document original.

Ndlr : le terme d'**épigénisation** traduit encore plus précisément le phénomène de fossilisation des gastéropodes colombiens en émeraude. Dans les deux cas il s'agit bien de conservation de formes préexistantes : A, inertes et géométriques (anciens cristaux) sans apport de matière dans le cas de pseudomorphose (par métamorphisme, cordiérite en "pinite", grenat en chlorite), B, anciennes formes vivantes, fossiles, avec apport de matière par métasomatisme (ammonites pyritisées, oursins silicifiés).

LES PIERRES VERTES DE EL TURCO

Au milieu du siècle dernier, la famille Garzón de Gachalá possédait sur la montagne qui borde le Guavio, la ferme La Vega de San Juan; Julio Hurego, leur modeste métayer, y faisait la culture du maïs et l'élevage de bovins. Un jour, alors qu'il tirait du bois sur le flanc de la montagne avec son attelage, Julio trouva de petites pierres vertes dans les ornières creusées par les arbres entraînés par ses boeufs. Il avait entendu parler des émeraudes extraites des mines situées plus au nord de l'autre côté du fleuve, dans cette région habitée par des Indiens qui semaient la terreur chez les fermiers. Prudent, il cacha sa découverte et décida finalement de se confier à son ami Miguel Saleh, plus connu dans la région sous le nom de El Turco. Saleh, vendeur ambulancier, voyageait fréquemment de Bogotá à Gachalá avec sa mule chargée d'ustensiles de cuisine et d'outils agricoles destinés aux fermiers de la vallée du Guavio.

En 1951, El Turco rendit visite à Julio Cano et Bernardo Ome, deux associés dans le commerce de l'émeraude installés à Bogotá et leur vendit les pierres vertes de Julio Hurego sans en dévoiler la provenance. Jusqu'en 1953, El Turco visitait régulièrement les deux commerçants à son retour de Gachalá. Cano et Ome, ne purent identifier la provenance des émeraudes de El Turco.

La couleur profonde vert-bleu, les formes externes des cristaux et les dépôts de limonite fréquents dans les fractures étaient inconnus dans les émeraudes extraites des gisements exploités à l'époque. Ils décidèrent de faire suivre El Turco et sa mule... La rumeur courut en 1953 sur la Place du Rosaire de Bogotá, épicerie du trafic de l'émeraude, qu'une nouvelle mine produisait de grandes quantités d'émeraudes de belle qualité dans la région du Guavio.

De nombreux aventuriers prêts à tout pour s'emparer du butin envahirent la région de Gachalá. Le gouvernement colombien dut envoyer l'armée afin de reprendre le contrôle de la région et circonscrire la violence.

(comm. pers. V. Caranza à PV, Janvier 2001)

Propriétés	Pierres taillées	Fossiles
Poids spécifique PS	Pierres trop petites pour obtenir une valeur significative	2,44 à 2,54
Indice de réfraction n	n_c 1,570 à 1,572 n_o 1,576 à 1,578	1,57 à 1,59
Biréfringence Δn	0,006	Non obtenue
Filtre de Chelsea	Rouge - violet	Légère teinte rose
Luminescence	Lumière visible: inerte UV-longes : inerte ; UV-courts: inerte	Lumière visible: inerte UV-longes : inerte ; UV-courts : inerte
Spectre d'absorption	Raies à 680, 662, 646, 637, 477 nm Bandes d'absorption à 400-470 et 570-610 nm	Vague spectre obtenu. Les bandes d'absorption sont diffuses.
Inclusions internes	Schiste noir, pyrite, carbonate, cavités tabulaires.	Les échantillons sont opaques
Isotopes de l'oxygène $\delta^{18}\text{O}$	Non mesuré	$15,1 \pm 0,2\text{‰}$ (n = 2)

TABLEAU 3. Propriétés gemmologiques et géochimiques des émeraudes de Matecaña.

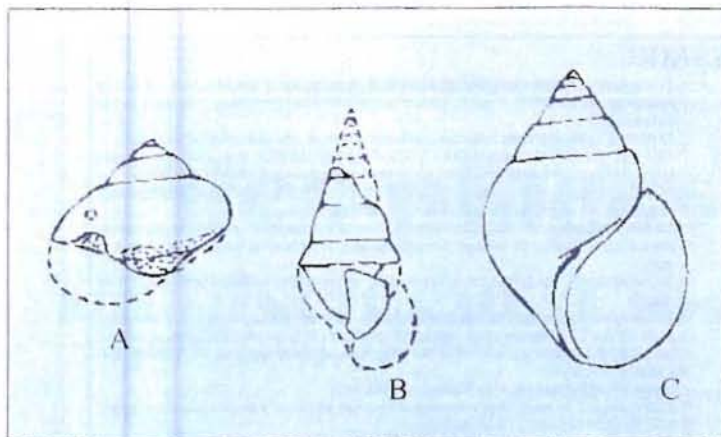


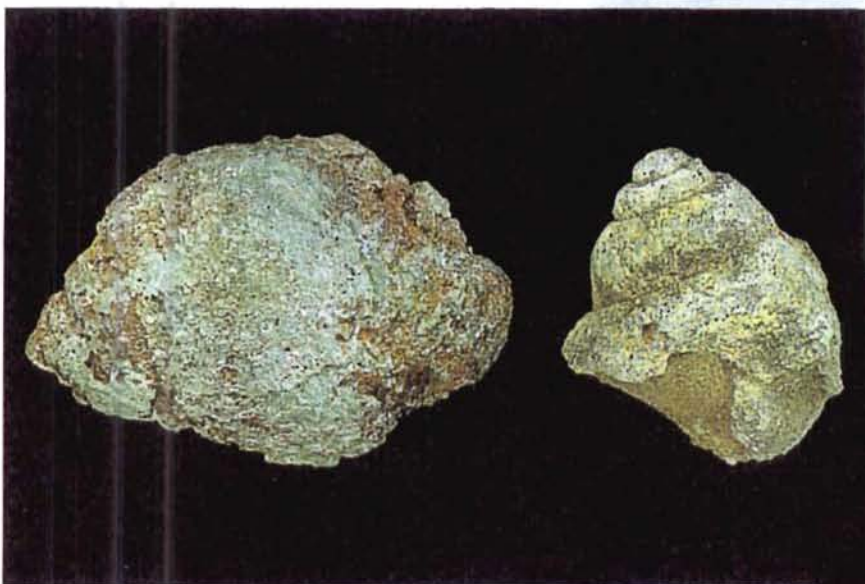
Figure 24. Gastropodes en émeraude de la mine de Matecaña.
A : *Ataphrus* ? sp., spécimen OTH118-4 vu du côté opposé à l'ouverture; x1,2.
B : *Pseudomelania* (*Oonia*) sp., spécimen OTH081-8 vu du côté de l'ouverture; x1,2.
C : Schéma de reconstitution d'*Ampullospira* (*Pictavia*) sp. vu du côté de l'ouverture, réalisé à partir des spécimens OTH081-4, -5 et -7, OTH118-5 et JR001-2; x1,2.



Ataphrus ? sp. transformé en émeraude - 1,1 x 0,7 cm
Spécimen : G. Emringer (MultiAxes) - Photo : L.-D. Bayle



Figure 25. Les gastropodes à émeraude.
I : spécimen OTH081-8 du genre et sous-genre *Pseudomelania* (*Oonia*). Fragment de spire avec remplissage interne de la base et de l'ouverture partiellement conservés (hauteur conservée: 12,0 mm).
II : spécimen OTH118-1 représentant la section d'un gastropode à remplissage d'émeraude (section 5,5 mm).
Photo H. Conge.



Pictavia transformée en émeraude - 2,2 x 1,5 cm et 1,5 x 1,2 cm
Spécimen : R. Titeux - Photo : L.-D. Bayle



Ataphrus ? sp. transformé en émeraude (microcristaux de pyrite bien visibles) - 1,1 x 0,7 cm
Spécimen : G. Emringer (MultiAxes)
Photo : L.-D. Bayle

GLOSSAIRE

- 1 **Eucrase** : silicate hydraté de couleur variable et généralement bleue en Colombie, de formule chimique : $\text{AlBeSiO}_4(\text{OH})$.
- 2 **Parisite** : minéral rare faiblement radioactif de couleur orange à brune. Dans le District Occidental, son association à l'émeraude est un critère diagnostique. Doit son nom à Ignacio Paris qui supervisa l'exploitation de la mine de Muza après la fondation de la Colombie. La parisite est un fluorocarbonate de terres rares légères (cérium, lanthane et néodyme) qui cristallise dans le système hexagonal.
- 3 **Gastropode** : classe de mollusques comprenant les genres qui possèdent un pied et une coquille unique plus ou moins enroulée en hélice. Gastropode (ou gastéropode) provient du grec γαστήρ (le ventre) et ποῦς (le pied).
- 4 **Émeraude trapiche** : La terminologie trapiche est utilisée pour certaines émeraudes de Colombie en raison de leur ressemblance avec les meules de pierre à rainures utilisées autrefois par les Indiens pour broyer la canne à sucre. Ces cristaux hexagonaux comportent en leur centre une partie hexagonale généralement presque incolore entourée d'une partie verte striée parallèlement aux côtés de l'hexagone et présentant ces modifications aux arêtes du prisme. L'arrangement en secteurs leur confère un aspect étoilé. Les cristaux présentent une intercroissance d'émeraude et de matériaux inclus (schistes noirs, ou plus rarement albite et carbonates).
- 5 **Minéralisation** : concentration locale de substances métalliques ou utiles.
- 6 **Crétacé inférieur** : le Crétacé est la dernière période de l'ère secondaire. Le Crétacé inférieur est l'époque située entre 130 et 95 millions d'années (Oudin et Oudin, 1990).
- 7 **Berrassien** : étage le plus ancien du Crétacé compris entre 135 et 131 millions d'années.
- 8 **Schiste noir** : roche sédimentaire de couleur noire, à grain très fin, en général argileuse ou marneuse.
- 9 **Paléozoïque** : synonyme de l'ère primaire (de 530 à 245 millions d'années; Oudin et Oudin, 1990).
- 10 **Brèche tectonique hydrothermale** : roche formée pour 50% au moins d'éléments anguleux de roches de dimension supérieure à 2 mm pris sur place dans un ciment. La fragmentation de la roche est d'origine tectonique et liée à une rupture due à des surpressions de fluides hydrothermaux ayant circulé dans les plans de failles.
- 11 **Détritique** : qui est formé de débris.
- 12 **Phase authigénétique** : phase ayant pris naissance dans la roche qui la contient.
- 13 **Précipités biogéniques** : précipités d'origine végétale ou animale.
- 14 **ppm** : abréviation de parties par million, utilisée notamment pour évaluer les teneurs en éléments dans les roches. L'équivalent est le millionième ou le gramme par tonne.
- 15 **38% poids équivalent NaCl** : salinité qui correspond à l'équivalent d'une solution d'eau douce ayant une concentration de 380 grammes de sel (chlorure de sodium - NaCl) par litre.
- 16 **Mésozoïque** : synonyme de l'ère secondaire (de 245 à 65 millions d'années; Oudin et Oudin, 1990).
- 17 **Décollement** : désolidarisation de deux couches ou terrains à la faveur d'une discontinuité ou d'une variation rapide des propriétés mécaniques.
- 18 **Métasomatose hydrothermale** : modification chimique globale des roches originelles liée à la circulation de fluides (eau principalement) à température élevée. Métasomatose provient du grec μετα (au-delà de) et βρω (corps).
- 19 **Isotopes** : éléments chimiques de même numéro atomique mais qui diffèrent par leur masse atomique.
- 20 **Évaporites** : dépôts sédimentaires riches en chlorures (sel gemme - halite, carnallite, sylvinite) et sulfates alcalins (gypse, anhydrite) obtenus par évaporation intense dans des lagunes ou des lacs salés.
- 21 **Thermoréduction des sulfates** : réaction d'oxydoréduction qui réduit les sulfates en hydrogène sulfuré (H_2S) et oxyde la matière organique contenue dans les roches en gaz carbonique (CO_2).
- 22 **Alcalin** : s'applique aux minéraux ou fluides riches en ions sodium et/ou potassium.
- 23 **Illite** : minéral argileux ($\text{KxAl}_2(\text{Si}_4-x\text{Al}_x\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) à caractéristiques minéralogiques proches de celles des micas blancs (muscovite : $\text{KAISi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).
- 24 **Pseudomorphose** : phénomène d'altération par lequel un minéral original parfaitement identifiable par sa forme, est remplacé par un minéral nouveau.
- 25 **Cobbing** : opération qui consiste à rompre au marteau les roches supposées minéralisées extraites de la mine pour mettre au jour le minéral précieux noyé dans la gangue.
- 26 **Automorphe** : s'applique pour un minéral se présentant sous la forme d'un cristal parfait.
- 27 **Composition isotopique de l'oxygène** : il s'agit du rapport d'abondance d'un isotope lourd (et rare : ^{18}O) sur un isotope léger (et abondant : ^{16}O) qui est généralement exprimé par l'écart δ (exprimé en pour mille, ‰) entre les rapports isotopiques de l'échantillon et d'un standard, soit : $\delta^{18}\text{O} = [^{18}\text{O}/^{16}\text{O}]_{\text{échantillon}} / [^{18}\text{O}/^{16}\text{O}]_{\text{standard}} - 1 \times 1000$. Pour l'oxygène, le standard international correspond à l'eau de mer moyenne et est appelé SMOW (Standard Mean Ocean Water).
- 28 **Prosobranchie** : sous-classe des gastropodes comprenant les genres caractérisés par des ctenies (branchies) situées dans la partie antérieure du corps, en avant du cœur.
- 29 **Compaction synsédimentaire** : tassement, en milieu aquatique et par expulsion de son eau interstitielle, d'un dépôt en cours de sédimentation.
- 30 **Test** : Ensemble des sécrétions formant la coquille d'un invertébré.
- 31 **Cyrtococonite** : adjectif désignant, chez les gastropodes, ceux dont la spire constitue un volume en forme de cône à angle progressivement décroissant.
- 32 **Suture** : ligne d'enroulement formée par la limite de recouvrement des tours de spire chez les gastropodes. La suture peut être "linéaire" (matérialisée par une ligne superficielle) ou "canaliculée" (située au fond d'un étroit sillon).
- 33 **Régions mésogénées** : régions maritimes situées, durant le Mésozoïque, entre les deux grands blocs continentaux : Eurasie - Amérique du Nord d'une part, Inde - Afrique - Amérique du Sud d'autre part.
- 34 **Ombilic** : chez les gastropodes, évidement de la columelle (columelle axiale de la coquille).
- 35 **Ouverture holostome** : chez les gastropodes, ouverture à bord régulièrement arrondi, dépourvu d'échancrures, de sinus ou de lobes.
- 36 **Bord columellaire** : chez les gastropodes, partie de l'ouverture limitée par la columelle, celle-ci constituant la columelle axiale de la coquille.
- 37 **Callosité** : épaississement basal, dépendant du bord columellaire, du test coquillier de certains gastropodes.
- 38 **Bord labral orthocline** : terme désignant le bord externe de la coquille des gastropodes lorsque celui-ci est parallèle à l'axe de la spire.
- 39 **Vie benthique vagile** : aptitude d'un organisme à vivre à l'état libre (non fixé) sur un fond aquatique.
- 40 **Paléosubstrat** : surface d'un milieu de vie fossile (terrain continental ou fond aquatique).
- 41 **Usure clastique** : altération (dégradation superficielle ou fragmentation) d'un corps minéral ou organique par l'effet de l'érosion marine.
- 42 **Paléobiotopie** : milieu de vie d'origine d'un ensemble d'organismes fossiles.
- 43 **Hydrodynamisme** : mouvement de l'eau créé par les courants et marées.

Bibliographie

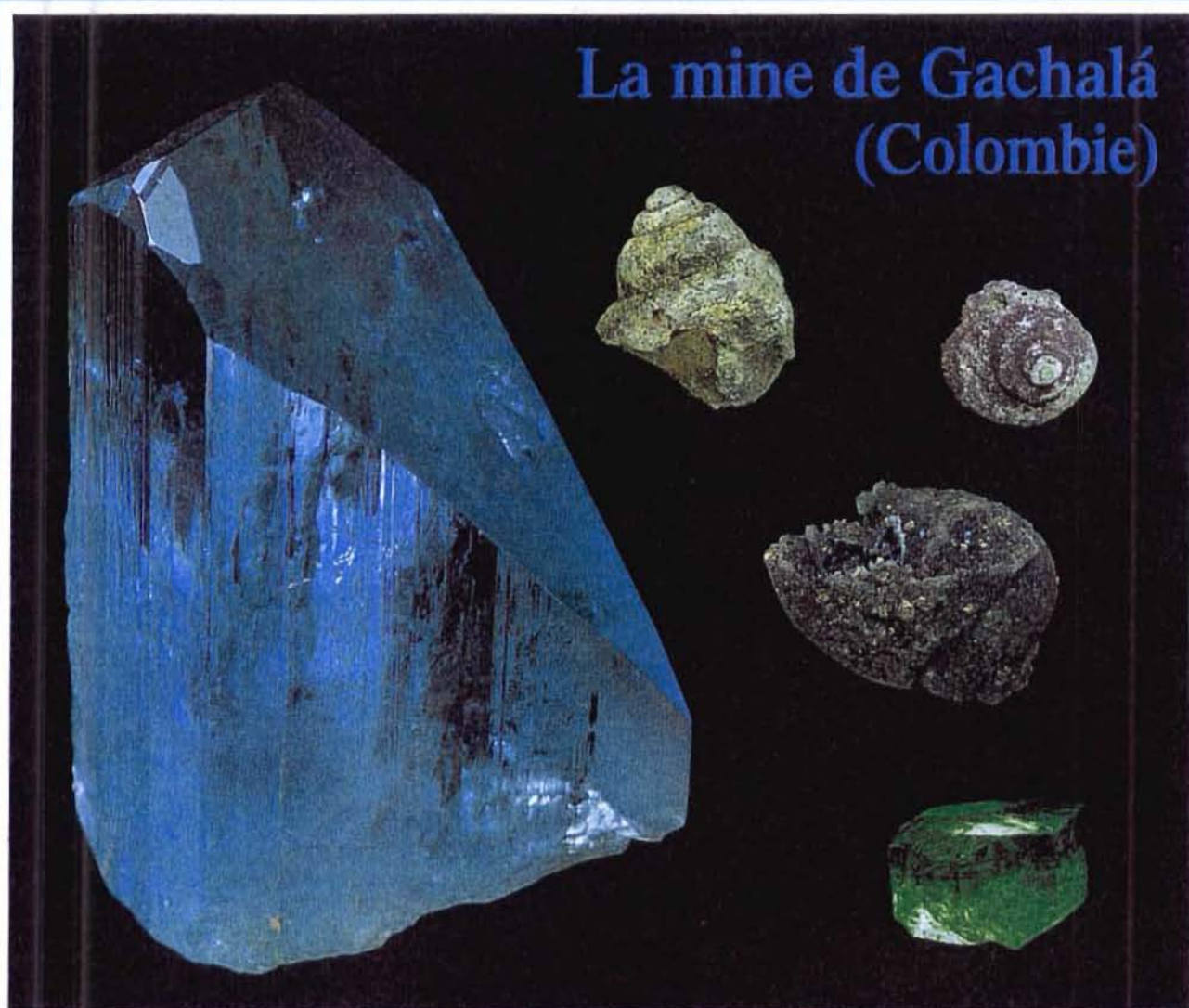
- ANDERSON B. W. (1990). Gem testing - 10th ed. / rev. by E. A. Jobbins, Ed. Butterworths, Londres. Royaume-Uni, 240 p.
- ANDERTON R. W. (1955). The new Gachalá emerald mine in Colombia. *Gems & Gemology*, 8, pp. 195-196.
- BANKS D. A., GIULIANI G., YARDLEY B. W. D., CHEILLETZ A. (2000). Emerald mineralisation in Colombia: fluid chemistry and the role of brine mixing. *Mineralium Deposita*, 35, pp. 699-713.
- BEUS A. I. A. (1979). Sodium - a geochemical indicator of mineral mineralisation in the Cordillera Oriental, Colombia. *Journal of Geochemical Exploration*, 11, pp. 195-208.
- BOSSHART G. (1991). Emeralds from Colombia. *Journal of Gemmology*, Part 1, 22(6), pp. 355-361, Part 2, 22(7), pp. 409-425, Part 3, 22(8), pp. 500-503.
- BRANQUET Y., LAUMONIER B., CHEILLETZ A., GIULIANI G. (1999). Emerald in the Eastern Cordillera of Colombia : Two tectonic settings for one mineralization. *Geology*, 27(7), pp. 597-600.
- BRANQUET Y. (1999). Étude structurale et métallogénique des gisements d'émeraude de Colombie : contribution à l'histoire tectono-sédimentaire de la Cordillère Orientale de Colombie. *Thèse de Doctorat INPL, Nancy, France*, 295 p.
- CHEILLETZ A., GIULIANI G. (1996). The genesis of Colombian emeralds: a restatement. *Mineralium Deposita*, 31, pp. 359-364. Fotó, Colombia, 611 p.
- DOMÍNGUEZ R. (1965). Historia de las esmeraldas de Colombia. *Impreso en Gráficas Ducal, Bogotá, Colombia*, 297 p.
- ESCOVAR R. (1975). Geología y geoquímica de las minas de esmeraldas de Gachalá, Cundinamarca. *Informe No. 1684, Bol. Geol.* 22(3), Ed. Instituto Nacional de investigaciones geológico-mineras, Bogotá, Colombia, pp. 121-153.
- GIULIANI G., CHEILLETZ A., ARBOLEDA C., CARRILLO V., RUEDA F., BAKER J. H. (1995). An evaporitic origin of the parent brines of Colombian emeralds : fluid inclusion and sulfur isotope evidence. *Eur. J. Mineral.* 7, pp. 151-165.
- GIULIANI G. (1997). Genèse des gisements d'émeraude du Brésil et de Colombie. *Thèse d'habilitation*, INPL, Nancy, France, 147 p.
- GIULIANI G., FRANCE-LANORD C., COGET P., SCHWARZ D., NOTARI F., CHEILLETZ A., CHAUSSIDON M., GIARD D., PIAT D., BARIAND P. (1998). Vers une carte d'identité isotopique 18O/16O des émeraudes naturelles et synthétiques. In *L'Émeraude*, Ed. Association Française de Gemmologie, Paris, France, pp. 55-77.
- GIULIANI G., BOURLÈS D., MASSOT J., SIAME L. (1999). Colombian emerald reserves inferred from leached beryllium of their host black shales. *Exploration Mining Geology*, 8(1/2), pp. 109-116.
- GIULIANI G., FRANCE-LANORD C., CHEILLETZ A., COGET P., BRANQUET Y., LAUMONIER B. (2000). Sulfate reduction by organic matter in Colombian emerald deposits: chemical and stable isotope (C, O, H) evidence. *Economic Geology*, 95, pp. 1129-1153.
- GIULIANI G., CHAUSSIDON M., FRANCE-LANORD C., SAVAY-GUERRAZ H., CHIAPERO P.-J., SCHUBNEL H.-J., GAVRILENKO E., SCHWARZ D. (2001). L'exploitation des mines d'émeraude d'Autriche et de la Haute Égypte à l'Époque Gallo-romaine: mythe ou réalité? *Revue de Gemmologie AFG*, 143, pp. 20-24.
- GÜBELIN E. J., KOIVULA J. I. (1992). Emerald and its inclusions. In *Photoatlases of inclusions in gemstones. ABC Edition, Zurich, Suisse*, pp. 244-245, pp. 249-253.
- KANE R. E., LIDDICOAT JR. R. T. (1985). The Biron hydrothermal synthetic emerald. *Gems & Gemology*, 21, pp. 156-170.
- KELLER P. C. (1981). Emeralds of Colombia. *Gems & Gemology*, 17, pp. 80-92.
- KOZŁOWSKI A., METZ P., JARAMILLO H. A. E. (1988). Emerald from Somondoco, Colombia: chemical composition, fluid inclusion and origin. *Nouvelles Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 159, pp. 23-49.
- LEYMERIE A. (1841-1842). Mémoire sur le terrain crétacé du département de l'Aude, contenant des considérations générales sur le terrain néocomien. *Mémoire de la Société Géologique de France*, 4 (1841), pp. 291-364, 3 pl., 5 (1842), pp. 1-34, 18 pl.
- MARTIN F., MÉRIGOUX H., ZECCHINI P. (1989). Reflectance infrared spectroscopy in gemology. *Gems & Gemology*, 25, pp. 226-231.
- MASSOT J. (1997). Les schistes noirs: origine du béryllium de l'émeraude de Colombie. *Mémoire de DEA INPL, Nancy, France*, 39 p.
- Oudin G.-S., Oudin C. (1990). Échelle numérique des temps géologiques. *Géochronique*, 35, pp. 12-21.
- OTTAWAY T. L., WICKS F. J., BRYNDZIA L. T., KYSER T. K., SPOONER E. T. C. (1994). Formation of the Muza hydrothermal deposit in Colombia. *Nature*, 369, pp. 552-554.
- POGUE J. E. (1917). The emerald deposits of Muza, Colombia. *Transactions of the American Institute of Mining Engineers*, 55, Arizona meeting, September, 1916.
- RAINIER P. W. (1942). Green Fire. *Blue Ribbon Books*, Garden City, N.Y., 296 p.
- ROMERO F. (1993). Mineralogia, inclusões fluidas e gênese de esmeraldas das jazidas de Chivor, Coscuez, Muza, Pacho e Yacopí, Colômbia. *Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Brazil*, 134p.
- RODRÍGUEZ VARGAS G. (1992). Esmeraldas de Colombia. *Ed. Colina, Bogotá*, 175 p.
- ROTLEWICZ J. (2000). Les inclusions de pyrite dans l'émeraude de Colombie. *Revue de Gemmologie AFG*, 140, pp. 16-17.
- SINKANKAS J. (1989). Emerald and other beryls. *Ed. Geoscience Press, Prescott, AZ*, 665 p.
- ULLOA C. M., CAMACHO R. G. (1975). Mapa geológico del cuadrángulo K - 12, Guatemala Colombia. *Ed. Instituto Nacional de investigaciones geológico-mineras, Bogotá, Colombia*, 1 pl.
- ULLOA C. M., RODRÍGUEZ E. M. (1976). Geología del cuadrángulo K-12, Guatemala. *Boletín Geológico*, 22, pp. 3-56.
- URIBE ALARCÓN M. V. (1992). Limpiar la tierra, guerra y poder entre esmeralderos. *Ed. Cinep, Bogotá, Colombia*, 150 p.
- VINE J. D., TOURTELOT E. B. (1970). Geochemistry of black shale deposits - A summary report. *Economic Geology*, 65, pp. 253-272.
- VUILLET P. (2000). La fluorite verte de Peñas Blancas. *Revue de Gemmologie AFG*, 140, pp. 21-25.
- VUILLET P., ROTLEWICZ J. (2001). Les inclusions en double hélice dans les émeraudes de Colombie. *Revue de Gemmologie AFG*, 143, pp. 15-18.

Fonds Documentaire IRD

Cote: B* 29768 Ex: 2

le Règne Minéral

Minéralogie - Géologie - Paléontologie



La mine de Gachalá
(Colombie)

Les gemmes au cœur des conflits du 3^{ème} millénaire

Sainte-Marie-aux-Mines 2002



Les saphirs des
plages vendéennes



010035220

NUMERO

46

Juillet
Août
2002

L'hématite spéculaire du puy de Tunisset (Puy-de-Dôme)