

Les gisements d'émeraude de la Cordillère Orientale de la Colombie: Nouvelles données métallogéniques

G. Giuliani^{1,2}, C. T. Rodriguez³ and F. Rueda³

¹ ORSTOM. Universidade de Brasilia, Instituto de Geociências, 70140 Brasilia, Brasil

² Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, 15 Rue N.D. des Pauvres, BP 20, 54501 Vandoeuvre, France

³ Empresa Colombiana de Minas, calle 32, n° 1307, Bogotá, Colombia

Abstract. Emerald deposits of Colombia are confined to lower Cretaceous shales of the Eastern Cordillera. The tectonic pattern of the deposits is related to deep reverse and large regional fault systems. Hydrofracturing is the main factor controlling emerald mineralization. It permitted to the hydrothermal solutions to permeate through fractures but also along stratification planes forming in this case stratabound mineralizations. Emerald occurs in calcite veins, veinlets, pockets and brecciated zones associated mainly with pyrite, quartz, parisite, codazzite and fluorite. Emerald mineralization belongs to an epigenetic hydrothermal process. The alternance of arenite-shale formations in the Cretaceous probably played an important role in the accumulation of solutions and in the propagation of the hydrothermal channels. The origin of emerald involves chemical elements mobilized by the fluids in the Cr-V-Fe-Al-Si-bearing black shales. The source of beryllium remains a problem and is discussed in the paper.

Les gisements d'émeraude de la Cordillère Orientale de la Colombie se localisent au N-NE de Bogotá dans les départements de Boyacá et Cundinamarca. Ils définissent deux ceintures minéralisées (Forero, 1987) qui sont respectivement la ceinture orientale de la région Guavió-Guatèque et la ceinture occidentale de la région Vasquez-Yacopi (Fig. 1).

Ces minéralisations constituent un type de gisement unique au monde qui se distingue des traditionnelles associations de pegmatites et roches basiques-ultrabasiques (Van Landingham, 1984). D'une part, les gîtes se reconstruisent dans les formations sédimentaires du Crétacé inférieur et d'autre part, les classiques intrusions «granitiques» et/ou leur cortège d'aplopegmatites sont absents: la minéralisation est contenue dans des veinules, veines et brèches à calcite.

Ces différences majeures se retrouvent aussi au niveau des inclusions solides associées aux émeraudes: la présence constante de cubes de halite et l'absence de phases

solides micacées permet de les discriminer des émeraudes associées aux schistes à biotite (Sinkankas et Read, 1986).

La Colombie est le plus grand producteur mondial d'émeraude, et depuis la création en 1968 de l'ECOMINAS (Empresa Colombiana de Minas), organisme fiscalisateur, la quantité d'émeraude enregistrée et exportée légalement n'a cessé d'augmenter ces dernières années (Tableau 1). Ces gisements d'émeraude ont fait l'objet de nombreuses publications en Colombie (Forero, 1987) où la question sur l'origine des fluides minéralisateurs ainsi que celle du béryllium restent posées, les théories syngénétiques se confrontant aux théories épigénétiques.

Le but du présent travail est d'apporter une nouvelle contribution à la compréhension de ces gisements tant du point de vue géologique que métallogénique, par l'apport de nouvelles observations et données qui nous permettront de débattre sur l'origine possible des fluides minéralisateurs et du béryllium.

Cadre géologique et structural

Les deux ceintures à émeraude s'étendent sur une distance de 40 km de long et sont axés sur des linéaments régionaux orientés NE-SW.

La ceinture à émeraude orientale

Elle se situe dans la région de l'anticlinorium des Farallones (Ulloa et Rodriguez, 1976). Les séries sédimentaires

Tableau 1. Volume et valeur des exportations d'émeraude enregistrées par l'ECOMINAS de 1985 à 1987. Statistiques du secteur minier, n° 1, Janvier 1988, ECOMINAS, Bogotá

Années	Carats	Dollars (US \$)
1985	32.837.891	27.007.709.00
1986	50.491.097	36.272.993.27
1987	88.655.110	62.910.493.00

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 34.826 ex 1

Cote : B M

PO9

21 OCT. 1991

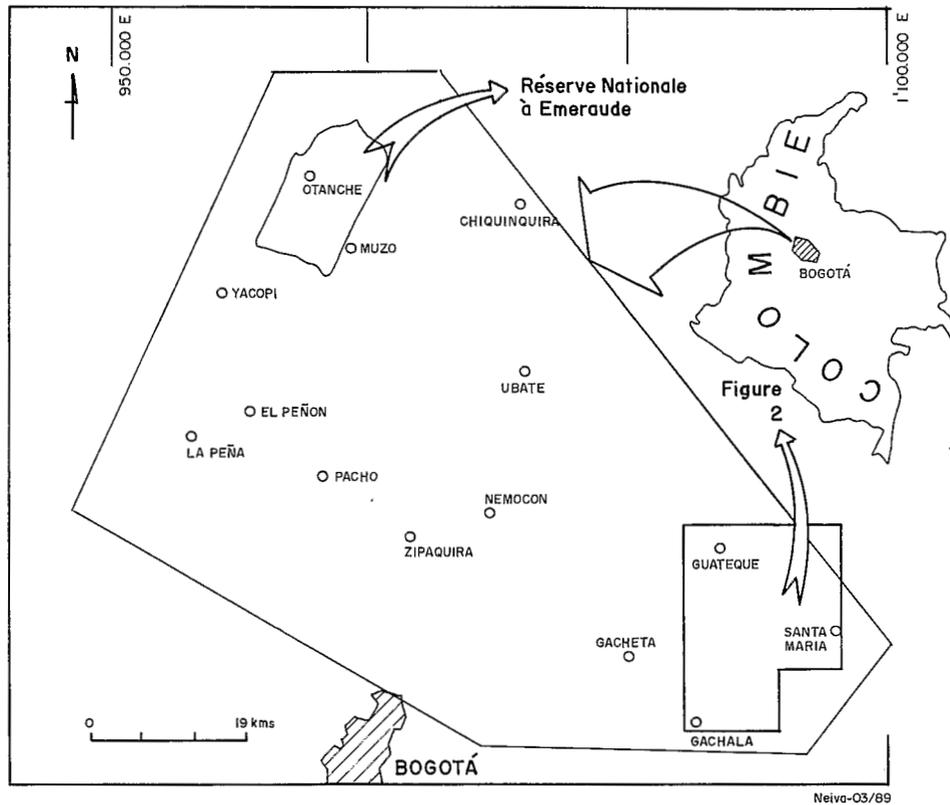


Fig. 1. Situation géographique des gisements d'émeraude de la Cordillère orientale de la Colombie. Localisation de la ceinture à émeraude orientale de la région de Guatèque et de la ceinture occidentale de la région de Yacopi

s'étendent du Paléozoïque (Groupe Farallones) jusqu'au Crétacé inférieur (Fig. 2). Elles sont affectées par une série de failles inverses, de direction N 20–30° et à plongement ouest, qui provoquent un soulèvement important des blocs paléozoïques. Les minéralisations à émeraude sont intimement liées à ces failles et sont associées dans la région du Guaviò aux unités du Groupe Caquezà (Berriasien à Hautérvien). En outre, les gîtes se localisent à l'intersection de ces accidents avec des failles de direction NW (Nations-Unies, 1975). Deux districts miniers peuvent être distingués:

Le district de Gachalà

Les formations minéralisées appartiennent au Groupe Caquezà et les gisements se distribuent suivant un axe de direction NE-SW. On y distingue les gisements de La Vega San Juan, Las Cruces, El Diamante, El Toro (Fig. 2).

Le district de Chivor

Le gisement de Chivor est situé en bordure de l'anticlinal de Miralindo et de la faille de Guacharos (Fig. 2). Le secteur se caractérise par une alternance de lutites grises siliceuses (LS) et de lutites noires riches en matière carbonée (LC) appartenant à la formation du Guaviò. Les exploitations à ciel ouvert (Secteurs Klein et Oriente) permettent de faire les observations suivantes: – bréchifications importantes développées au contact des LS et LC marquées par des fragments anguleux de lutites qui sont englobées par un ciment à calcite et pyrite: – brèches de

plus faible extension (< mètre) associées aux veines (Fig. 3c). Les fragments sont toujours anguleux et leur taille varie du centimètre quelques dizaines de centimètres (Fig. 3d). Ils sont parfois imbriqués à les uns aux autres mais généralement, les éléments n'ont pas subi de déplacements et de rotations (Fig. 3b), et pourraient être facilement réajustés; – les veines observées se disposent généralement en échelon suivant une direction variant N 20–30° et N 120°. D'extension métrique, elles possèdent une épaisseur variant du cm à 20 cm (Fig. 3e). L'émeraude croît dans des cavités géodiques associée au quartz hyalin, calcite II, codazzite (Ca, Ce, La) (Mg, Fe, Mn) (CO₃)₂ et pyrite en dodécaèdres; – présence de zones pyriteuses stratiformes développées au contact des LS-LC. Ces bancs pyriteux (cm à 50 cm d'épaisseur) constituent les «niveaux amarillos» à émeraude de la mine de Chivor. Ils résultent de l'infiltration préférentielle de fluides hydrothermaux au long des plans de stratification S₀ des lutites (Fig. 3a).

La ceinture à émeraude occidentale

Du Nord au Sud, on distingue les districts miniers suivants: Peñas Blancas, Coscuez, Muzo, Yacopi qui sont situés dans les formations crétacées du Groupe de La Villeta, Paja et Rosablanca (Fig. 4).

Le district de Coscuez

Le gîte se caractérise par la présence d'éléments structuraux bien définis qui sont d'une part, l'existence d'une faille majeure (faille de Coscuez), de direction N 20°, et

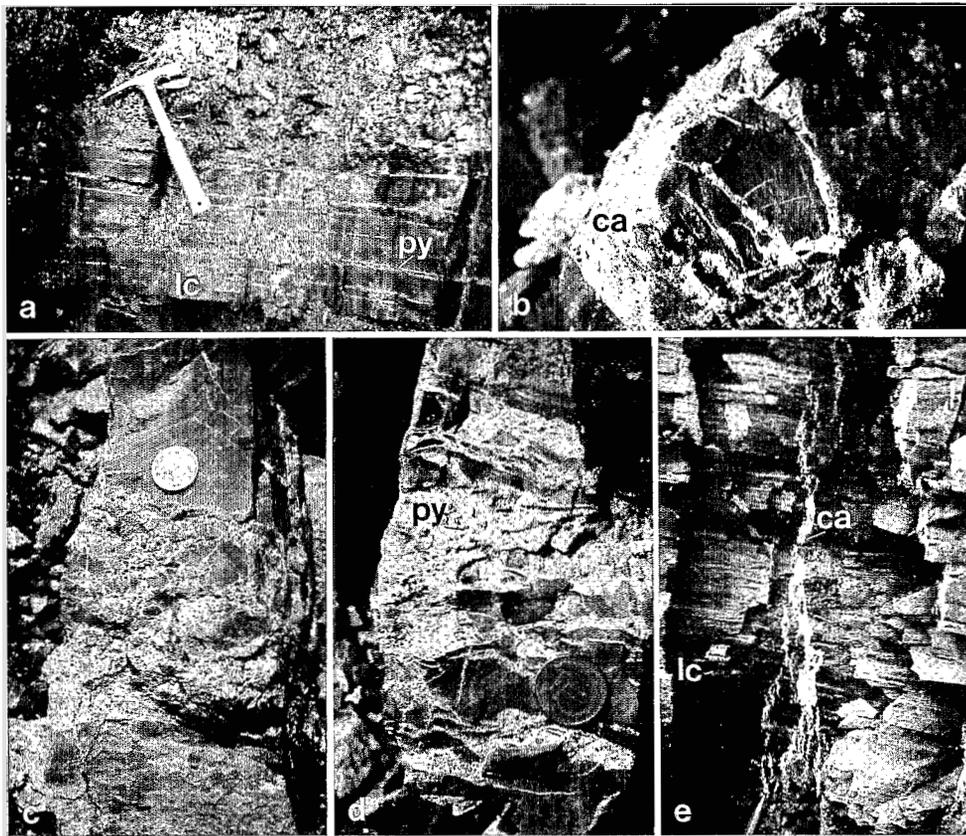


Fig. 3a-e. Mine de Chivor. a Zones pyriteuses stratiformes (Py) résultant de l'infiltration de fluides hydrothermaux au long des plans de stratification de lutites riches en matière carbonée (lc). b Brèche de fracturation hydraulique. Les éléments de lutite qui n'ont pas subi de déplacements et de rotations sont englobés par un ciment de calcite (Ca). c Bréchification type affectant les lutites (Secteur Oriente). d Détail des brèches associées aux veines de calcite. Les fragments de lutites sont toujours anguleux. La matrice est constituée de calcite et pyrite (Py). e Aspect type d'une veine à calcite (Ca) et émeraude qui recoupe les lutites (lc)

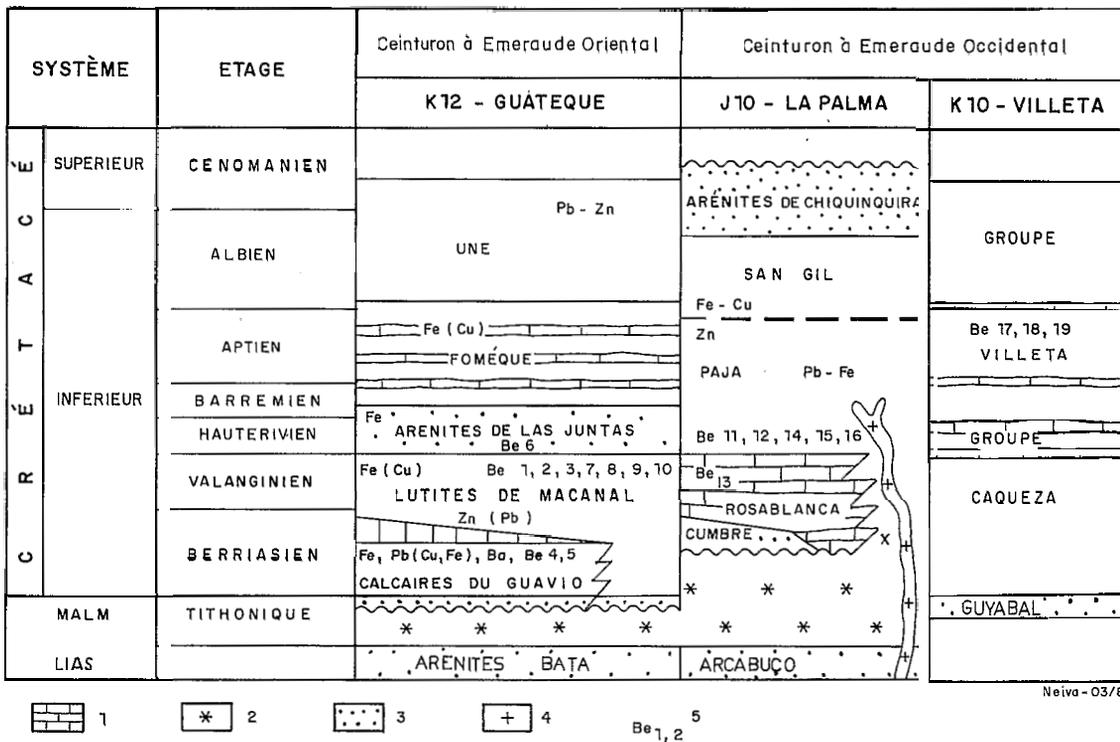


Fig. 4. Corrélation lithostratigraphique des différentes unités crétaées des ceintures à émeraude occidentale et orientale (Forero, 1987 modifié). Localisation des différentes minéralisations hydrothermales rencontrées dans les unités (Fabre et Delaloye, 1983 modifié). 1: formations calcaires; 2: épisodes sans sédimentation, stade d'érosion; 3: arénites; 4: intrusions basiques du Crétacé; 5:

occurrence et gisements d'émeraude: 1 - Achiote, 2 - Pavarano, 3 - Guali, 4 - Chivor, 5 - Buenavista, 6 - Mundo Nuevo, 7 - La Providencia, 8 - La Vega San Juan, 9 - Las Cruces, 10 - Sagrada Familia, 11 - Muzo, 12 - Coscuez, 13 - Peñas Blancas, 14 - La Corona, 15 - La Calichona, 16 - Penjamo, 17 - El Penon, 18, - Aposentos, 19 - La Mina Glorieta

Le district de Muzo

Il se compose de trois grands secteurs d'exploitation: Masato-Cincho exploité par la Société Tecminas; Porto Arturo-Tequendama exploité par Coexminas; Solis-Pavas.

Les séries sédimentaires appartiennent à la formation Pajà (Fig. 4) qui dans le district comprend à la base des LC avec des intercalations de niveaux pyriteux, et au sommet des LS et des argilites. Les caractéristiques structurales et minéralogiques des différents secteurs sont identiques. Cependant, la paraspise devient le minéral accompagnateur typique de la minéralisation à émeraude.

Le district de la Palma-Yacopi

La mine de La Glorieta est exploitée par la Société Esmeralda depuis 1987. Les formations sédimentaires appartiennent au Groupe de La Villetta (Fig. 4) avec de la base vers le sommet: des «LC», «LS» et argilites. Le secteur se situe à proximité de la faille de la Mina, de direction NE qui est le prolongement de la faille de Coscuez. Dans la partie supérieure de la mine, on peut observer des bancs dolomitiques blancs, riches en lits pyriteux intercalés dans les «LS». Ces bancs sont parfois bréchifiés et leur texture est similaire à celle observée dans toutes les zones de «kaolin» associées aux districts à émeraude de la Cordillère orientale.

Les altérations hydrothermales et les brèches de fracturation hydraulique

Les nouvelles observations effectuées sur ces gisements nous permettent d'apporter une nouvelle contribution sur la signification de ces structures et altérations:

— Les gîtes étudiés sont systématiquement encaissés dans les niveaux de lutites noires riches en matière carbonée du Crétacé inférieure qui comprend à sa base, d'épaisseurs gréseuses ou conglomératiques. Dans la ceinture orientale, il s'agit des arénites du Guaviò (500 m d'épaisseur) et dans la ceinture occidentale, des arénites d'Arcabuço, Guyabal et du Groupe Caqueza (Fig. 4).

— Dans tous les gisements, les zones à «kaolin» sont considérées comme des zones d'albitisation des lutites: ce phénomène d'altération hydrothermale déjà signalé par Scheibe (1933, a, b), correspond au développement d'albite sur les épontes et dans les filons à calcite. Cette néoformation d'albite est responsable des anomalies géochimiques en sodium rencontrées en analyse de sols et de roches (Nations-Unies, 1975; Beus, 1979). La mine de La Glorieta nous a permis de vérifier que ces formations de «kaolin» correspondent à des intercalations de lentilles dolomitiques au sein des «LS» et/ou «LC» qui sont systématiquement bréchifiées.

— La minéralisation est associée à des zones bréchiques et à des veines-veinules à remplissage de calcite et/ou pyrite. Les brèches ont la particularité de montrer des éléments anguleux qui ont subi un éclatement sans déplacement. Les espaces entre éléments et les diverses fissures qui les recoupent sont cimentés par de la calcite

fibreuse. De nombreuses cavités persistent au sein de la calcite lesquelles sont tapissées par du quartz, calcite II, pyrite et émeraude. La texture bréchique observée et le colmatage constant de la fracturation avec des phases minérales distinctes montrent l'importance du rôle des fluides dans ce type de fracturation. Ces textures par implosion de la roche sont à rattacher à une fracturation hydraulique (Phillips, 1972) qui a lieu lorsque la pression des fluides était supérieure ou égale à la pression hydrostatique. De telles surpressions fluides peuvent être créées par un enfouissement, des mouvements tectoniques ou par une augmentation de la température (Gauthier-Lafaye et Weber, 1988). Le bassin sédimentaire du Crétacé inférieur de la Cordillère orientale de la Colombie se caractérise par une alternance de 6500 m de sédiments gréseux, pélitiques et carbonatés (Ulloa et Rodriguez, 1976). Lors de l'enfouissement, la formation de zones sous-compactées dans les séries argileuses a dû jouer un rôle important pour l'accumulation des fluides ainsi qu'au niveau d'unités imperméables situées au sommet d'unités poreuses, comme les arénites de la base du Guaviò.

Cependant, il est probable que la circulation de fluides hydrothermaux au long d'accidents profonds matérialisés par les failles inverses de direction NE-SW, et leur accumulation au niveau de zones imperméables, aient conduit localement (contact grès-shales) à la création des zones en surpression fluide.

La propagation de ces fluides a pu s'étendre par répétition du phénomène de fracturation hydraulique (Phillips, 1972) avec migration du couloir d'alimentation, un même point étant soumis successivement à une fracturation puis implosion (Dauteuil et al., 1987). Ce schéma est illustré dans le cas des gisements de la Cordillère orientale, par la présence à la base des gisements de zones de brèches appelées anciennement «Cenicero» et «Cama» (Scheibe, 1933 a, b), et au sommet le système filonien équivalent des fameuses «Capas buenas».

L'hydrofracturation a permis le développement de l'infiltration hydrothermale le long de fractures mais aussi le long des plans de stratification des formations encaissantes. Cette percolation dans les strates a provoqué la formation des rubannements stratiformes à pyrite-calcite intercalés dans les «LC» ou les «LS» (cas de Chivor, Muzo et Yacopi).

Conclusions et discussion:

Origine syngénétique ou épigénétique des gisements

Le rapport des Nations-Unies (1975) ainsi que les travaux de Médina (1970) sont favorables à une hypothèse de préconcentration en béryllium dans les strates du Crétacé inférieur, notamment dans les LC avec remobilisation de cet élément par l'action de fluides hydrothermaux d'origine synsédimentaire (eaux connées).

De nombreux travaux dont ceux de Scheibe (1933), Oppenheim (1948), Restrepo (1959), Beus et Mineev (1972), Escovar (1975), Hall et al. (1976), Guerrero et Villanueva (1986) et Guerrero (1988) penchent pour une origine épigénétique avec apport du béryllium par des

solutions de nature pegmatitique ou du type hydrothermal de basse température, reliées au développement d'un important système géothermique.

Le problème épigénèse versus syngénèse est alimenté par l'absence d'un métamorphisme thermique bien que Scheibe (1933) décrit l'andalousite et le chloritoïde dans les formations encaissant les minéralisations, et aussi par l'absence d'intrusions granitiques spécialisées et de corps pegmatitiques. Des intrusions de diabases du Crétacé (Fabre et Delaloye, 1983) sont connues dans les districts à émeraude et Ulloa (1980), envisage leur participation comme flux thermique qui permettrait la circulation des fluides. Une troisième hypothèse envisagée par Mac Laughlin (1971) serait l'existence d'une relation avec la présence de dômes salins diapiriques qui intrudent les formations crétacées; en effet, des occurrences d'émeraude sont connues dans les mines de sel de Zipaquira et de Nemocon.

Le style tectonique particulier de la Cordillère orientale caractérisée par des chevauchements et d'importants décollements dans les niveaux du Crétacé (Rudkiewicz et al. 1988), est probablement un premier métallotecte à considérer dans la genèse des gisements d'émeraude de la Colombie. Le contrôle structural des gîtes par des failles inverses de direction NE-SW qui ont servi de conduit pour la circulation des fluides hydrothermaux est évident.

Un second facteur important est le contrôle lithologique des minéralisations et le rôle des formations arénites-lutites dans le développement et la propagation de ces conduits hydrothermaux par un mécanisme de fracturation hydraulique. Les shales jouent le rôle de niveaux imperméables permettant l'accumulation de quantités de fluides mais aussi le rôle de «roche magasin» riche en Cr, V, Fe, Al, Si, éléments incorporés dans la structure de l'émeraude. La question de l'origine du béryllium se pose: une origine sédimentaire ne peut être écartée (Médina, 1970). En effet, les concentrations en béryllium dans les LC sont de l'ordre de 3 à 5 p.p.m. (Escovar, 1975; Nations-Unies, 1975). Vu la quantité de béryllium contenue dans la structure du béryl (14% BeO) ainsi que le volume de béryl extrait des formations minéralisées (1 carat/m³), il apparaît qu'une telle concentration soit suffisante pour la précipitation du béryl (Kozlowski et al., 1988). Cependant, la présence d'éventuelles préconcentrations en béryllium dans les arénites et conglomérats de la base du Guaviò ne doivent pas être écartées. En effet, durant le Tithonique, le bassin sédimentaire a été alimenté par des apports détritiques provenant de la zone cratonique orientale (Escovar, 1975).

Dans le cas d'une origine profonde du béryllium (magmatique au sens large), les fluides ont dû subir des rééquilibres physicochimiques au cours de leur cheminement. L'important enrichissement en calcium des fluides hydrothermaux montre que ces fluides auraient lixivié de grandes quantités de calcium présent dans les formations calcaires du Guaviò, de la formation Pajá ou Rosablanca. Au cours, de ces interactions fluide-roche, les complexes de béryllium seraient restés stables et le béryl n'aurait pas précipité. Dans de telles solutions alcalines, le transport du béryllium s'effectuerait sous la forme d'hydroxy-carbonates chlorurés (Govorov et

Stunzhas, 1963). Les premières études d'inclusions fluides sur l'émeraude montrent la présence de sels (Roedder, 1972, Kozlowski et al., 1988). Ces fluides appartiennent au système H₂O-NaCl-CaCl₂-KCl-CO₂ et ils auraient été piégés à des températures de 400 °C pour une pression d'environ 2 Kb (Giuliani, en préparation). D'autre part, ces saumures s'observent aussi dans les carbonates, quartz, parisite et fluorine de tous les gisements. La présence constante de ces saumures peut s'expliquer soit par une préconcentration dans les formations sédimentaires, soit par un enrichissement en sel au cours d'un phénomène de démixion du fluide (ébullition).

Ces deux hypothèses sont à envisager mais la lixiviation de niveaux d'évaporites intercalés dans les lutites crétacées peut tout simplement expliquer l'enrichissement en sels du fluide hydrothermal. De telles saumures peuvent rendre compte de la forte concentration en calcium du fluide (pour des températures supérieures à 300 °C) et du phénomène d'albitisation rencontré dans les veines et brèches minéralisées. D'autre part, ces fluides riches en anions complexants tels que CO₃²⁻ sont responsables des mouvements de thorium, terres rares et yttrium observés dans les shales hydrothermalisés. L'important lessivage du stock des terres rares des shales noirs (Σ TR = 190 ppm, shale; Σ TR = 40 ppm, shale albitisé et/ou calcitisé) s'accompagne de leur partielle redistribution dans la parisite et la codazzite (Σ TR = 150 ppm).

Les districts miniers à émeraude sont toujours associés spatialement à des minéralisations à Cu, Pb, Zn, Fe (Fig. 4) qui sont du type disséminées ou associées à des fractures. L'origine de ces gîtes hydrothermaux est mal connue mais leur formation reflète l'existence d'une importante activité hydrothermale que Fabre et Delaloye (1983) relie à la mise en place continue d'intrusions basiques durant le Crétacé inférieur de la Cordillère orientale. Ainsi, le fonctionnement continu d'un système géothermique durant le Crétacé inférieur et l'existence d'accidents crustaux profonds peuvent être des facteurs favorables pour l'hypothèse de l'injection d'un magma riche en éléments hygromagmaphiles, et pour une origine magmatique du béryllium qui serait transporté par des fluides hydrothermaux de haute température.

Remerciements. Les auteurs tiennent vivement à remercier M. Vicente Giordanelli Duran, Directeur Général de l'ECOMINAS, qui a permis la réalisation de ce projet de visite et d'étude des mines de la Cordillère Orientale de la Colombie. De même, le chaleureux accueil et la disponibilité des gérants des mines de La Vega San Juan, Las Cruces, El Diamante, El Toro, Chivor, Coscuez, Quipama, Porto Arturo, Tequendama, Solis-Pavas, La Glorieta, ont fortement contribué au bon déroulement de la mission scientifique.

Contribution C.R.P.N° 831

Bibliographie

- Beus, A. A., Mineev, D. A.: Some geological and geochemical features of the Muzo-Coscuez emerald zone, Cordillera oriental, Colombia. Informe Ingeominas: 1-50. Bogotá (1972)
- Beus, A. A.: Sodium - a geochemical indicator of emerald mineralization in the Cordillera oriental, Columbia. Journ. Geochim. Exploration II: 195-208 (1979)
- Dauteuil, O., Raymond, D., Ricou, L. E.: Brèches de fracturation hydraulique dans la zone métamorphique des Pyrénées, exemples à l'Est du Saint Barthélémy. C.R. Acad. Sc. Paris, T. 304, Série II, n° 16: 1025-1028 (1987)

- Escovar, R.: Geología y geoquímica de las minas de esmeraldas de Gachalá, Cundinamarca. *Bol. Geol.*, 22 (3): 116-153 (1975)
- Fabre, A., Delaloye, M.: Intrusiones básicas cretácicas en las sedimentitas de la parte central de la Cordillera oriental. *Geol. Norandina*, (6): 19-28 (1983)
- Forero, H. O.: Esmeraldas. Publicaciones geológicas Ingeominas. Recursos minerales de Colombia. Tomo II: 557-605 (1987)
- Gauthier-Lafaye, F., Weber, F.: Le mécanisme de la fracturation hydraulique dans la métallogenèse de l'uranium en série sédimentaire. L'exemple du gisement d'Oklo, Gabon. In: Gisements métallifères dans leur contexte géologique. Document BRGM, n° 158, VI: 445-465 (1988)
- Govorov, I. N., Stunzhas, A. A.: Forms of transport of beryllium during the alkaline metasomatism. *Geokhimiya* 4: 383-390 (1963)
- Guerrero, R. J., Villanueva, A. G.: Cartografía geológica y prospección geoquímica en la mina de esmeraldas «El Indio», Muzo Boyacá. Universidad Nacional Bogotá. 114 p. (1986)
- Guerrero, R.J.: Informe final del estudio geológico y geoquímico de la mina de esmeraldas El Toro, Gachalá (Cundinamarca), 84 p. (1988)
- Hall, M. L., Ramirez, I. B., Hernandez, E. S., Bueno, J. A.: Minerología y geoquímica de las vetas esmeraldíferas de Muzo, Departamento de Boyacá con implicaciones en la prospección futura de esmeraldas en otras partes de Colombia. Informe Colciencias: 326 p., Bogotá (1976)
- Kozlowski, A., Metz, P., Jaramillo, H. A. E.: Esmeraldas from Somondoco, Colombia: chemical composition, fluid inclusions and origin. *N. Jb. Miner. Abh.*, 159: 23-49 (1988)
- Mac Laughlin, D., Arce, M.: Recursos minerales de parte de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Meta. *Bol. Geol. Ingeominas*. 19 (1): 1-102 (1971)
- Medina, L. F.: Consideraciones sobre la genesis de los yacimientos esmeraldíferos de Muzo. II Congr. Colombiano de Minas. Manizalés (1970)
- Nations-Unies, Ingeominas: Proyecto de esmeraldas. Informe Técnico final. Ingeominas, 71 p. Bogotá (1975)
- Oppenheim, V.: The Muzo emerald zone, Colombia S.A. *Econ. Geol.*, 43: 31-38 (1948)
- Phillips, W. J.: Hydraulic fracturing and mineralization. *Journ. Geol. Soc. London*. 128: 337-359 (1972)
- Restrepo, H.: Reconocimiento de las minas de esmeraldas de Muzo. *Bol. Geol.*, VII: 61-84 (1959)
- Roedder, E.: Composition of fluid inclusions. U.S. Geol. Survey. Prof. Pap. 440 JJ, 1-164 (1972)
- Rudkiewicz, J. L., Werner, Ph., Colletta, B., Hebrard F., Letourzey, J.: Tectonic style and deep crustal structure of the eastern Cordillera (Colombia) from a balanced cross section. VII Congr. Latino-americano, Belém, p. 333 (1988)
- Scheibe, R.: Informe geológico sobre la mina de esmeraldas de Muzo. *Comp. Est. Geo.*, T.1.: 169-198 (1933 a)
- Scheibe, R.: Informe sobre las esmeraldas de Nemocón. *Comp. Est. Geo.*, T.1: 223-228 (1933 b)
- Sinkankas, J., Read, P.: *Beryl*. Butterworths Gem Books, USA, 225 p. (1986)
- Ulloa, C., Rodriguez, E.: Geological del cuadrangulo K-12, Guatèque. *Bol. Geol.*, 22 (1): 1-55 (1976)
- Ulloa, C.: Ambiente geológico de los yacimientos esmeraldíferos en Colombia. *Bol. Soc. Geol. Perú*, 65: 157-170 (1980)
- Van Landigham, S. L.: *Geology of world gem deposits*. Van Nostrand Reinhold Publishers, USA, 406 p. (1984)

Received: October 17, 1989

Accepted: December 14, 1989