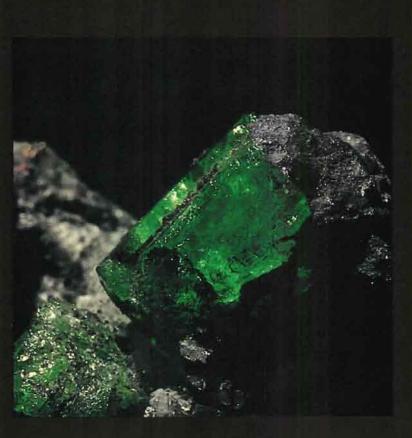
ASSOCIATION FRANÇAISE DE GEMMOLOGIE



L'émeraude



THE EMERALD

Couverture : Cristal primatique (5 mm de long) de la mine de Coscuez. Photo: H. CONGE. En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement, par photocopie ou tout autre moyen, le présent ouvrage sans autorisation de l'éditeur © Association Française de Gemmologie, Paris 1998 Dépôt légal n°33605

ASSOCIATION FRANÇAISE DE GEMMOLOGIE





L'émeraude

THE EMERALD

CONNAISSANCES ACTUELLES ET PROSPECTIVES

Éditeur

Didier GIARD

Co-Éditeurs

Gaston GIULIANI
Alain CHEILLETZ
Emmanuel FRITSCH
Eric GONTHIER

REMERCIEMENTS

évolution très complexe des techniques d'analyse et de reconnaissance des gemmes a amené l'Association Française de Gemmologie à nouer des liens privilégiés avec de nombreux centres de recherche.

A la suite de sa rencontre avec les chercheurs du CNRS-CRPG et de l'ORSTOM, installés à Nancy, une équipe mixte AFG/CNRS-ORSTOM s'est progressivement formée pour se plonger dans une aventure exceptionnelle, comprendre et ressentir «L'Émeraude» sous ses multiples aspects.

Nous fûmes confortés en étant rejoints dès le départ par les professeurs B. Lasnier et M. Spiesser de l'Université des Sciences de Nantes, de l'IMN et du CRG, ainsi que par le professeur P. Zecchini du Laboratoire de Cristallographie et Chimie Minérale de l'Université de Franche-Comté, P. Maitrallet Directeur du Service Public du Contrôle des diamants, pierres et perles de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris et la Galerie de Minéralogie du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris avec H.J. Schubnel.

Ce travail important est une initiative totalement française.

Il n'aurait pu être mené à bien sans la formidable réponse à notre sollicitation de la communauté internationale gemmologique et en particulier le Dr. E.J. Gübelin, le Dr. H. Hänni et Jean-Pierre Chalain, le Dr. D. Schwarz, le Dr. J. Kanis et E.J. Petsch, le Dr. A. Barot, le Dr. Grahame Brown, Y. Durlabhji, S.C. Poonglia, J.C.Michelou, M. Roditi, J.P. Cassedanne et tous les autres.

Notre ambition de publier en deux langues, français et anglais, a fortement mobilisé une équipe de traducteurs avec Dominique Maillard (Faculté d'Administration et Echanges de l'Université Paris XII-Val de Marne), Valérie Chabert, Sophie Gore, Karen Schmoker, Agnès Brand, Yann Giard.

L'équipe du Groupe de Communication Graphique Rosay autour de son Président J.R. Rosay doit aussi être grandement remerciée.

Le livre "L'Emeraude" s'inscrit dans une large démarche appelée **PROJET** ¹⁸O visant à lier Science et Recherche avec des applications économiques pratiques. Sur tous ces plans la collaboration entre l'Association Française de Gemmologie, le CNRS et l'ORSTOM est exemplaire.

Pour réaliser l'ensemble de notre programme - Tenue des **RENDEZ-VOUS GEMMOLOGIQUES DE PARIS** ®, parution du présent ouvrage et **PROJET** ¹⁸O - nous avons bénéficié du concours et du soutien de :

- Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie, Direction de la Recherche
- Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris
- Comité Professionnel de Développement de l'Horlogerie, Bijouterie, Joaillerie, Orfèvrerie (C.P.D.H.B.J.O.)
- Fédération de la Bijouterie, Joaillerie, Orfèvrerie et des Cadeaux
- Chambre Syndicale de la Bijouterie, Joaillerie, Orfèvrerie
- Chambre Syndicale nationale du Diamant, des Pierres Précieuses et Fines, des Perles fines et de Culture.

Enfin le Conseil de l'Association Française de Gemmologie, ses Administrateurs et ses anciens Présidents, ont sans faillir porté cette lourde charge sur leurs épaules avec en particulier le soutien actif de D. Piat, E. Ruskoné, P. Entremont

Les éditeurs

FOREWORD

awn was just breaking and the sun had not yet risen above most of the surrounding summits. Trooping in front of one of the numerous tunnel entrances piercing the mountain side, a gang of children was fixing tea and breakfast for the adults, with quick and accurate gestures. Scattered around the different mines, the children were indeed many to climb the steep slopes. Thus they were becoming one of the necessary links in the quest of these region's inhabitants who dreamt of mining the most beautiful emeralds. Gradually they would master the various techniques that are necessary to acquire power that is to say the green crystal.

With a continuous peal of laughter the «grown-ups» had just finished eating and walked the few steps leading to the mine entrance

To all it seemed that serious business was about to start and each child was hastily running down the neighboring slopes to join the little crowd of the score or so of people entering the tunnel.

The children were already familiar with the distinctive mine ambiance, with this jagged burrow where the sounds combined. The breath of the mountain wind blowing into the tunnel entrance, their giggles blending with their elders more serene and concentrated chuckles were finally overcome by the abysmal silence of the place where one could only make out the tinkle of the oil lamp or the smell of sulfur and pervading dampness.

Then the excitement went up a notch or two, with their games and imaginations merging into real life, with the mystery and the unknown maybe about to yield their beauties.

However on that particular day the usual scenario was upset. A week before the miners had discovered an extremely rich vein with big crystals.

Thus, it was no longer possible to allow the children to enter the mine at all time. Two men are pushing them harshly out of the way and locking on them the wooden and barred door that had just been set up.

Instantly, for all these youths the world just collapsed. Their imaginations had carried them away for a ride where green was king, where yellow and blue merged into their most beautiful harmony.

Their hearts had thumped quicker, as was the case for all who were about to live intense moments of pleasure in the present, and then reality had caught up hope.

Thirty or forty meters ahead the men who were piercing through the mountain were living up to the emerald adventure.

So, within their group, the children started exchanging long glances of resignation that turned into smiles of complicity and then brotherhood. Calmed, but with their hearts broken, they went about their games like all children in the world.

However questions kept rushing in score through their minds: how to find the right places where to dig, how to follow a vein properly, how to extract the emerald without damaging it and guessing which among the rough crystals would produce the most beautiful stone?

This book that is the outcome of the work of fifty - two authors and translators from eleven different countries and a large technical team is dedicated to all the children who we are with all their dreams and interrogations.

Why should human beings have striven over the past five thousand years to adorn themselves with the most diverse stones and gems, if not to conquer this «fragment of eternity» that is left to us by nature.

The rough, natural and unprepared stone that we adorn ourselves with brings to us, with the long look that we often give to it, complicity and pleasure along with beauty.

To provide everyone with a little piece of the dream, to travel, understand, recognize and prize is the purpose of this work.

To all the professionals of gems and jewelry, there is no greater aim than to impart emotion and pleasure through achieved work, creation and sharing. We invite you to set forth together, with serendipity, for an almost inaccessible mine like one of those countless, internal landscapes of the emerald or at the heart of the infinitely small with the scientists whose discoveries we relate, or maybe with the memory of one of those innumerable legends that tell us about this Precious Stone.

The Emerald is well worth it.

AVANT-PROPOS

e petit matin perce à peine et le soleil n'a pas encore surgit de la plupart des sommets environnants. Devant l'une des innombrables galeries perçées dans les flancs de la montagne, un groupe d'enfants avec des gestes précis et rapides prépare comme d'habitude le thé et le repas du matin pour les adultes. Ils sont nombreux ainsi autour des différentes mines à escalader ces pentes rudes et à devenir dès l'âge de sept ou huit ans l'un des chaînons nécessaires à cette quête du rêve de tous les habitants de la région : extraire les plus belles émeraudes. Progressivement ils domineront les divers savoirfaire nécessaires pour acquérir la puissance, c'est à dire le cristal vert.

Dans un continuel éclat de rire, les «grands» viennent de finir de se restaurer et font les quelques pas qui les mènent vers l'entrée de la mine. Pour tous, l'activité sérieuse va commencer et les enfants dévallent des pentes voisines à toute vitesse pour se joindre à la petite foule d'une dizaine de personnes qui pénètre dans la galerie.

Les enfants connaissent déjà bien l'ambiance particulière de la mine, ce tunnel irrégulier où les sons s'entrecroisent ; au souffle du vent de la montagne qui s'engouffre dans l'entrée, à leurs rires aïgus mêlés à ceux sereins et concentrés de leurs ainés, succède enfin le silence abyssal de l'endroit d'où ne ressortent que le bruit de la lampe à pétrole, l'odeur de sulfure et l'humidité ambiante.

Puis l'excitation monte de plusieurs crans, le jeu et l'imagination se fondent dans le véçu, l'inconnu et le mystère vont livrer peut-être leurs beautés.

Mais aujourd'hui ce scénario habituel est bouleversé. Depuis une semaine les mineurs ont découvert une veine extrèmement riche avec de gros cristaux. Il n'est plus possible de laisser les enfants pénétrer sans cesse à l'intérieur, et deux hommes les repoussent sans ménagement en refermant à clef devant eux la porte en bois et barreaux qui vient d'être posée.

Pour tous ces jeunes en un instant le monde vient de s'arrêter, leur imagination les avait fait galoper là où le vert est roi, où le jaune et le bleu trouvent leur plus belle harmonie. Leur coeur battait plus vite comme pour tous ceux qui vont vivre un moment

intense, une jouissance du présent, mais la réalité a rattrapé l'espoir. Trente ou quarante mètres plus loin perforant la montagne, les hommes eux, vivent l'aventure de l'émeraude.

Alors les enfants échangent un long regard de résignation, puis de connivence et de fraternité. Apaisés, mais le coeur meurtri, ils vont jouer comme le font tous les enfants du monde.

Et pourtant les questions n'en finissent pas de se bousculer dans leurs têtes : comment connaître les endroits où il faut creuser, comment savoir bien suivre une veine, comment pouvoir extraire l'émeraude sans l'âbimer et deviner parmi tous les bruts lequel donnera la plus belle pierre ?

Ce livre fruit du travail de 52 auteurs et traducteurs de 11 pays différents et d'une large équipe technique, est dédié à tous les enfants que nous sommes avec leurs rêves et leurs interrogations.

Pourquoi depuis plus de 5.000 ans les humains se sont-ils évertués à se parer des pierres et des gemmes les plus diverses, si ce n'est pour conquérir ce «fragment d'éternité» que la nature nous laisse.

La pierre naturelle dont nous nous parons, nous apporte dans le long regard que nous lui lançons souvent, la complicité et la jouissance avec la Beauté;

Donner à chacun un petit morceau du Rêve, pour Voyager, Comprendre, Reconnaitre et Aimer, est le dessein de cet ouvrage

Pour tous les professionnels des gemmes et de la joaillerie, il n'y a pas d'objectif plus ultime que de communiquer l'émotion et le plaisir au travers du travail bien fait, de la création et du partage.

Nous vous invitons à partir ensemble au hasard de la découverte, d'une mine presque inacessible, comme de l'un des innombrables «jardins» de l'émeraude, ou au coeur de l'infiniment petit avec les chercheurs dont nous relatons les découvertes, peut-être aussi avec le souvenir de l'une des nombreuses légendes qui parlent de cette Pierre Précieuse.

L'Émeraude le vaut bien.

Didier GIARD

SOMMAIRE

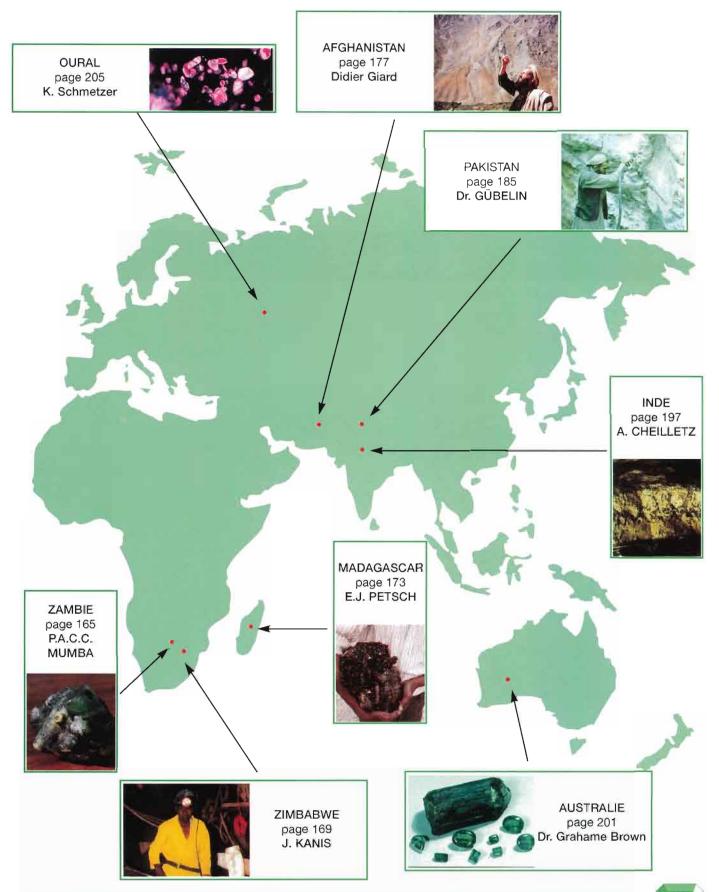
Remerciements	page 5
Foreword	page 6
Avant-Propos	page 7
Sommaire	page 8
Planisphère	page 12
La découverte de L'Eldorado	17
Jean-Claude Michelou	-
The discovery of Eldorado	page 26
Les représentations symboliques de	27
quelques émeraudes célèbres de l'histoire	
Erik Gonthier	
The symbolic representation	page 31
of famous emeralds in history	
•	
■La géologie des gisements	33
Alain Cheilletz	
Geology of emerald deposits	page 40
,	
Découverte du chrome et du béryllium	43
dans l'émeraude par Nicolas-Vauquellin-	
200 e anniversaire	
Michel Spiesser, Emmanuel Fritsch	
The discovery of chromium and beryllium	page 46
in emeralds by Nicolas-Vauquellin- 200 th anniversary	•
Cristallochimie du béryl : L'état des connaissances	47
Bernard Charoy	
English abstract	page 53
	, ,
■Vers une carte d'identité isotopique ¹⁸ 0/ ¹⁶ 0 des émeraudes	55
naturelles et synthétiques	00
Gaston Giuliani	
Towards a ¹⁸ O/ ¹⁶ O isotopic identity card of natural and	page 68
synthetic emeralds	

■De l'importance des inclusions solides et fluides dans la caractérisation des émeraudes naturelles et synthétiques	71
Dr. Dietmar Schwarz The importance of solid and fluid inclusions for the charaterization of natural and synthetic emeralds	page 77
Que peut apporter la spectrographie infrarouge dans l'étude des émeraudes ?	81
Pierre Zecchini , Phillippe Maitrallet How can infrared spectroscopy contribute to studing emeralds ?	page 94
Les fluides dans les émeraudes : leur étude par spectrométrie de masse Jean Louis Zimmermann, Gaston Giuliani et Alain Cheilletz	97
Fluids in emeralds : their mass spectrometric study	page 101
L'huilage dans les émeraudes : une tradition plus que bimillénaire Jean Paul Poirot	103
Détermination des substances de remplissage dans les émeraudes J.P. Chalain, Prof. Dr. H.A. Hänni et Dr. L. Kiefer	107
Determination of the nature of emeralds fillers	page 115
Le remplissage des fissures dans l'émeraude : le bon choix de «l'agent» incolore Eric Ruskoné	117
Émeraudes trapiches colombiennes Daniel Ohnenstetter, Gaston Giuliani, Osmar Bustos	119
Colombian trapiche emeralds	page 122
De la chimie de Lavoisier à la synthèse de l'émeraude Erik Gonthier	125
From Lavoisier's chemistry to the synthetic emeralds	page 128

Les nouvelles émeraudes synthétiques d'Asie : émeraude synthétique hydrothermale chinoise, émeraudes synthétiques par dissolution anhydre coréenne et taïwanaise	131
Emmanuel Fritsch, Mike Moon, Ten Shun-Tien Wu, Jun Sik Park New synthetic emeralds from Asia: chinese hydrothermal emerald, south korean and taiwanese flux synthetic emeralds	page 138
Émeraudes de Bactriane : mythe ou réalité, la vallée du Panjshir (Afghanistan) F.H. Forestier, D.H. Piat	139
The emerald of Bactriane : myth or reality, the Panjshir valley (Afghanistan)	page 145
La couronne des Andes Maurice-Émile Giard	147
The crown of the Andes	page 149
L'anneau du sacre de Napoléon Maurice-Émile Giard	148
Napoleon's coronation ring	page 149
Les émeraudes gravées Michel Duchamp	151
The engraved emeralds	page 153
Essai de datation d'un camée grâce à la gemmologie Michel Duchamp	155
Cameo dating test trough gemomogy	page 156
L'exploitation des mines d'émeraude et leur contexte socio-économique au Brésil Maurice Roditi, J.P. Cassedanne	157
The exploitation of emeralds mine in Brazil	page 163
Les mines d'émeraudes de Kamakanga en Zambie : vues sur l'avenir	165
P.A.C.C. Mumba, N.R. Barot The Kamakanga emerald mines of Zambia: a perspective	page 167
Les mines d'émeraude de Sandawana, Zimbabwe	169
J. Kanis, E.J. Petsch Sandawana emeralds mines, Zimbabwe	page 170

■Gisements d'émeraudes de Madagascar : Région de Mananjary E.J. Petsch, J. Kanis	173
Madagascar emerald occurrences in the Mananjary region	page 176
Le Bouzkachi des émeraudes. Les émeraudes de la vallée du Panjshir Didier Giard	177
The Buzkachi of emeralds. The emeralds of the Panjshir valley	page 183
■La présence d'émeraudes au Pakistan, la vallée de Swat Dr. Edward J. Gübelin	185
Jaïpur, une ville dédiée à l'émeraude	193
Didier Giard, Shikhar Chand Poonglia, Yogendra Durlabhji Jaïpur, the city of emerald	page 196
Les gisements d'émeraudes d'Inde Alain Cheilletz	197
The emeralds deposits of India	page 198
Les gisements d'émeraudes en Australie Dr. Grahame Brown	201
Les émeraudes de l'Oural Karl Schmetzer, Rudolf Biehler	205
■Problèmes spécifiques pour la taille et le poli des émeraudes Gérard Grospiron	209
English abstract	page 212
Le sertissage des émeraudes Sarkis Yozgadalian	213
La rétrospective bibliographique de l'émeraude des années 90 Gaston Giuliani	217
■Quelques points de repères Bernard Charoy, Alain Cheilletz, Gaston Giuliani	221
■Tableau synoptique comparatif des propriétés gemmologiques des gisements majeurs et des principales synthèses. (Extraits D.U.G) Nicolas Zylberman	227





ASSOCIATION FRANÇAISE DE GEMMOLOGIE A.F.G.

L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE GEMMOLOGIE

se propose de rassembler et coordonner les efforts de tous ceux qui s'intéressent à la gemmologie.

L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE GEMMOLOGIE

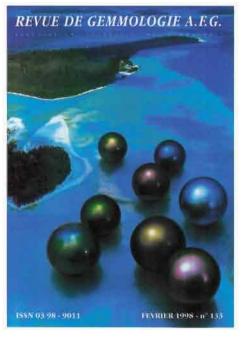
édite des documents d'information et publie divers travaux et planches de diapositives. Avec son club, «Le Cercle de l'Octaèdre», elle organise des conférences, voyages en Europe et dans le monde.

Depuis 1964, l'A.F.G.

publie **LA REVUE DE GEMMOLOGIE A.F.G.** dont le but est d'informer ses adhérents, ses abonnés et la communauté gemmologique internationale des grands sujets gemmologiques de l'heure



N° 132 - Octobre 1997



N° 133 - Février 1998

Pour tous Renseignements s'adresser à :

1'A.F.G.

48,rue du Faubourg Montmartre

75009 Paris - France

Tél.: 33 01 42 46 78 46 Fax: 33 01 40 22 09 77 e-mail: gemmes@animasoft.fr

Naturel, traité, imité?



Consultez

le Laboratoire du Service Public du Contrôle des Diamants, Perles fines et Pierres précieuses

2, place de la Bourse 75002 Paris Tél. 33 (0)1 40 26 25 45 – Fax 33 (0)1 40 26 06 75



CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE DE PARIS

La Découverte de l'Eldorado

Jean-Claude Michelou

a plus fameuse légende est celle de l'Eldorado et vient de Colombie. Ce nom était donné au chef Indien qui, une fois par an, recouvrait son corps de poudre d'or sur un enduit de miel. Il était ensuite conduit sur un radeau au centre du lac volcanique de Guatavita, à soixante-dix kilomètres au nord de Bogota. Les rameurs détournaient leur regard de l'« Eldorado », car personne ne devait le voir dans sa gloire magnifique. Aux premières lueurs du jour, l'« Eldorado » plongeait dans le lac, débarrassant son corps de l'or, en offrande aux Dieux. Au même moment, sur les rives, son peuple jetait des offrandes dans le lac, proportionnellement au rang tenu dans la société. Les riches jetaient ainsi des émeraudes et des objets en or.

La production d'émeraudes en Colombie est nettement antérieure à la conquête du continent. Les gisements étaient exploités par les Indiens Chibchas, ainsi que par d'autres tribus de moindre importance. Les indigènes utilisaient l'émeraude comme valeur d'échange, ainsi que comme ornement et offrande, lors des cérémonies religieuses. Le commerce sous forme de troc s'étendait du nord du Mexique jusqu'au Pérou. Au Mexique, en 1519, Hernan Cortes reçut parmi les cadeaux, offerts par l'empereur Moctezuma, de magnifiques émeraudes, qui s'ajouteront aux superbes spécimens obtenus dans les pillages de Tenochtitlan, la capitale aztèque. L'émeraude la plus célèbre de l'époque fut trouvée dans le temple de Tezuco. En forme de pyramide, elle tenait dans la paume d'un adulte. Cette pierre, vénérée par les Aztèques, était utilisée lors des sacrifices humains. Elle était placée sur le crâne du supplicié, et ses effets relaxants contribuaient, dit-on, à calmer la victime.

De nombreuses émeraudes furent également trouvées au Pérou par le conquistador Pizarro et ses hommes.

Mais c'est en Colombie, à Santa Marta, sur la côte atlantique, que les premières émeraudes tombent aux mains du conquérant Pedrarias, alors en route vers le Darien (aujourd'hui Panama). Les Espagnols tentent par tous les movens. mais en vain, de forcer les indigènes à révéler l'emplacement des mines. L'exubérance prodigieuse de la végétation élimine toute trace de travaux miniers. Ce n'est qu'en 1537 que, contre toute attente, un capitaine, Pedro Fernandez de Valenzuela, trouve l'emplacement du gisement de Chivor. Ces mines sont bientôt exploitées avec vigueur, dans des conditions inhumaines par une main d'oeuvre exclusivement indigène, réduite à l'esclavage.

Vingt ans plus tard, à une centaine de kilomètres de Chivor, le cheval d'un Espagnol trébuche sur une roche, et coince sous son sabot un cristal d'émeraude. Ainsi se trouve révélé l'emplacement du célèbre gisement de Muzo. En dépit de sanglants combats, les indiens avaient gardé leur secret. Les batailles reprennent de plus belle et, trois ans plus tard, en 1560, les Espagnols fondent la ville de Santa Trinidad de Muzo, consolidant ainsi leur présence dans la région. Trente-cinq ans plus tard, la population indigène, et avec elle la main d'oeuvre bon marché, est décimée, rendant l'extraction des émeraudes difficile. En 1675, Chivor est abandonnée et son emplacement perdu jusqu'en 1888.

Les gisements de Muzo sont exploités de manière sporadique jusqu'en 1828, quand le "Libertador" Simon Bolivar les déclare patrimoine national. Dans les années qui suivent, les mines sont exploitées sous contrat avec l'État par des compagnies espagnoles, anglaises, françaises et colombiennes avec des résultats peu satisfaisants, provoquant de longues périodes d'inactivité. Dans un nouvel effort pour organiser la production

Jean-Claude Michelou abandonne en 1976 une carrière internationale au sein d'une multinationale américaine et s'établit en Colombie où il fonde Inversiones U.S.S.A. Ltda, société de taille et négoce d'émeraudes.

■ Vue générale du site Las Animas à Muzo, la foule des chercheurs en bas de la concession. Photo Jean-Claude Michelou.

d'émeraudes, le gouvernement remet, en 1947, l'exploitation minière à la Banque de la République (Banque Centrale) pour une période de vingt ans.

Durant cette même période, toutefois, le gisement de Chivor reste exploité principalement par la famille Bronkie, conformément à une ordonnance royale encore en vigueur.

L'exploitation

Dans la première moitié des années 70, la demande internationale augmente considérablement et l'exploitation à ciel ouvert permet déjà d'extraire une quantité non négligeable de gemmes. Cependant, les mineurs indépendants (guaqueros) et les bandes armées organisées dévalisent systématiquement, soit par la corruption, soit par la force, les coffres des sites d'exploitation. Les convois transportant la production d'émeraudes vers Bogota, rendus indéfendables par la topographie et l'état des pistes de la région, sont souvent attaqués. Un marché parallèle s'installe à Bogota dans la fameuse rue 14 où les règlements de compte font rage.

La production officielle cesse presque complètement et l'anarchie s'installe. Dans la première partie de cette décennie, on compte près de 900 meurtres par an dans la seule région de Muzo. L'État finit par constater qu'il ne contrôle que 10% de la production et que l'exploitation et le commerce clandestin continuent à prospérer. Le niveau de violence dans les mines devient tel qu'elles sont officiellement fermées de 1973 à 1977. Dans l'impossibilité de contrôler la situation et les intérêts économiques, le gouvernement octroie, en 1977, des concessions privées d'exploitation aux gens de la région les plus "influents, puissants et décidés", tous vainqueurs d'appels d'offres préliminaires. La courte durée des premières concessions (cinq ans renouvelables) déclenche une prospection et une exploitation massives et effrénées. Les contrats de concession récemment reconduits par le gouvernement ont une durée de vingt-cinq ans renouvelables.

Les sites d'exploitation

Les émeraudes de Colombie représentent environ 50% de la production mondiale et 80% des émeraudes de qualité supérieure. Les gisements sont

situés dans la Cordillère des Andes Orientales, dans le département du Boyaca. Ils se divisent en deux zones principales : la zone de Réserve Nationale de Muzo, Coscuez et Pena Blanca, à 120 km au nord de Bogota, sur le versant occidental de la Cordillère en direction de la vallée du Magdalena, et la zone de Chivor, Somondoco et Gachala, à 100 km au nord-est de Bogota sur le versant est de la Cordillère en direction des grandes plaines pétrolières des "Ilanos".

La zone occidentale de Muzo et Coscuez

Les deux gisements sont situés sur deux versants d'un même massif et distants de quinze kilomètres l'un de l'autre. La légalisation, en 1977, du commerce des émeraudes permet l'adjudication des concessions minières aux différents clans locaux, qui contrôlent de fait chaque site. Une guerre sans pitié pour le contrôle de Coscuez commence entre les deux régions minières. Elle durera jusqu'en 1990 et fera près de 5000 morts.

Après la mort en 1984 de l'homme fort de Coscuez, Pacho Vargas, éliminé par ses ennemis. La guerre se radicalise et le clan local s'allie au Cartel de Medellin, sous la houlette d'un de ses plus redoutables chefs, Gonzalo Rodriguez Gacha, dit "le Mexicain", associé du tristement célèbre Pablo Escobar. C'est au tour de Coscuez de lancer l'offensive, pour la prise de Muzo. En 1988, le Mexicain fait assassiner le chef du clan de Muzo, Gilberto Molina. Les autorités abattent à leur tour le "Mexicain" en 1989, créant peu a peu l'espace nécessaire à un accord de paix, signé un an plus tard entre le tout puissant Don Victor Carranza, véritable patron des mines de Muzo, et de la principale concession de Coscuez, et les quatre barons locaux sous l'influence du célèbre Luis Murcia, dit "le Pékinois". L'Église catholique contribue à cette paix par la médiation de Monseigneur Alvaro Jarro, évêque de Chiquinquira. Il est sorti de son lit à cinq heures du matin par "El Pequines", venu de Coscuez, lui demander son intervention dans le processus de paix.

Les gisements de Muzo

La mine de Muzo est la plus célèbre de



Bulldozers en action, exploitation à ciel ouvert à Muzo. Photo J.C. Michelou.

Colombie, grâce aux tonalités chatovantes du vert profond de ses émeraudes. La végétation est exubérante et le climat, réputé malsain, favorise les infections et les maladies. Le gisement se divise en deux mines principales, Ouipama et Tequendama, louées sous formes de concessions à deux entreprises d'exploitation, Tecminas et Coexeminas. Jusqu'en 1995, les courtes échéances des contrats de location contribuent à l'exploitation effrénée et à l'emploi de techniques d'extraction inappropriées, encore utilisées aujourd'hui. Cependant, afin d'encourager les investissements nécessaires à l'amélioration des systèmes d'exploitation, l'État a renouvelé les contrats de concession pour une période de vingt-cinq ans. Le romantisme du mineur armé de sa pique et de sa pioche a cédé la place à des techniques modernes.

Exploitation à ciel ouvert

Dix à vingt bulldozers scalpent la montagne de haut en bas. Dynamite, marteaux-piqueurs sont utilisés. Lorsqu'une veine de calcite est mise au jour, ou qu'une petite poche est dégagée, le matériel lourd cède le terrain aux ouvriers qui attaquent la veine d'émeraude à l'aide de petites piques et de marteaux, sous le regard inquiétant de gardes armés et de représentants des

propriétaires de la société. Chaque pierre trouvée est soigneusement placée dans un petit sac qui sera ensuite mis à l'abri dans le coffre-fort de l'administration avant d'être inventorié par les "Patrons".

L'exploitation à ciel ouvert requiert une grande quantité d'eau. Des réservoirs situés au-dessus des zones de travail reçoivent l'eau de pluie et recueille l'eau de la rivière du bas à l'aide de pompes. L'eau est libérée pour laver les aires d'exploitation et les débarrasser des débris et gravats afin de dégager les matières contenant de l'émeraude. La grande quantité de boue produite sur ces terrains accidentés rend les travaux extrêmement dangereux, voire mortels pendant les périodes de fortes pluies. Les saisons sèches provoquent traditionnellement une réduction de l'exploitation à ciel ouvert, allant jusqu'à l'arrêt total. Dans certains endroits de la mine, le niveau du sol a augmenté de soixantedix mètres en quarante ans, l'amas de terres et de résidus recouvrant des zones exploitées jadis.

"El tambre" ou la ruée vers l'émeraude

À Muzo, les compagnies minières exploitent surtout les grosses veines, que l'on dégage à la dynamite, laissant les bulldozers pousser le courant de boue et les résidus vers la rivière, au bas de la mine. Cette opération s'appelle "El tambre" et s'effectue périodiquement. Elle provoquait jadis l'arrivée massive, sur le site, de 20 a 30 000 "guaqueros" (chercheurs de trésor). Ils sont encore aujourd'hui plusieurs milliers d'hommes, femmes et enfants qui tentent désespérément de faire fortune ou, au moins, de survivre. Au bas de ce torrent, ces mineurs indépendants, armés de pelles et de sacs à charbon rudimentaires, passent au crible le flot de boue d'eau et de pierres venu de la "concession", dans l'espoir de trouver une émeraude.

La plupart des "guaqueros" de la vallée dépendent de petits patrons, les "planteros", qui leur pourvoient un minimum de moyens (El Plante) pour travailler. Les patrons fournissent des motopompes et des dizaines de mètres de tuyaux conduisant l'eau du "Rio Minero" sur les aires de travail, afin de laver la

terre et les résidus refoulés par la concession. Une avance en liquide au "guaquero" lui permet d'attendre sa prochaine trouvaille, qu'il devra vendre à bas prix à son Patron

Les mineurs et leur famille vivent dans des baraques en planches accrochées aux pentes, jamais très loin du bas de la mine, où se concentrent magasins de fortune, bistrots et tripots, sans oublier l'incontournable

"arracheur de dents" et le photographe.

Les émeraudes récupérées par les mineurs indépendants représentaient, il y a encore peu de temps, 35 % de la production

totale des gisements. La consolidation du monopole minier, ainsi que la modernisation des concessions, rendent aujourd'hui cette forme d'exploitation insignifiante. Un grand nombre de ces Chasseurs de Fortune ont délaissé la vallée, chassés par le service d'ordre de la mine, ou simplement par simple appauvrissement.

L'exploitation en galeries

La Société Minière Tecminas, dont Victor Carranza est le principal actionnaire, a considérablement changé ses méthodes d'exploitation, au cours des huit dernières années. De nombreuses galeries, parfois longues de plusieurs centaines de mètres, et permettant même l'accès de Jeeps, ont été creusées à flanc de montagne. Les débris et résidus produits par les explosions sont amenés à l'air libre dans des wagonnets. Ils sont ensuite placés sur une bande transporteuse, lavés et triés afin de récupérer tout cristal d'émeraude.

En dépit du système d'aération, la température peut atteindre 45° centigrades au fond du tunnel, là où des ouvriers, recouverts d'une poussière noire qui ne laisse voir que yeux et dents, attaquent au marteau-piqueur les parois rocheuses, afin de découvrir une veine

terre des veines inaccessibles de l'extérieur. Des ascenseurs ou montecharges transportent mineurs et minerai destinés au lavage et au tri.

Tecminas pratique un programme social unique en son genre. Les 350 employés travaillent vingt et un jours d'affilée, suivis de neuf jours de congés pour rendre visite à leur famille. Une fois par mois, chaque ouvrier a le droit de

profondeur, sont le point de départ de galeries qui permettent d'exploiter sous

pour rendre visite à leur famille. Une fois par mois, chaque ouvrier a le droit de tenter sa chance sur le terrain. Une lame de bulldozer expose des cristaux d'émeraudes et l'équipe de travail se précipite sur le mur dans une folle ruée pour arracher quelques pierres. Après la mêlée, le représentant de la mine, généralement un membre de l'une des trois familles qui contrôlent Muzo, récupère, pour les propriétaires, les plus grosses et plus belles émeraudes. Le reste

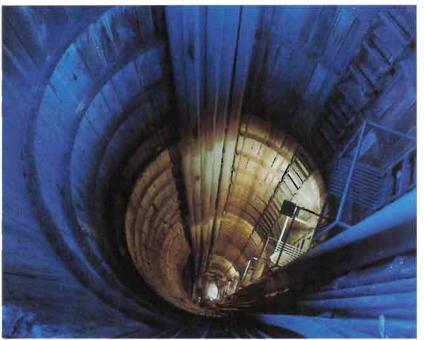
est laissé aux ouvriers en prime de bonne volonté.

Le gisement de Coscuez

La zone de Coscuez comprend les mines de Blancas. Penas Calceteros, La Chapa et Chizo Cuepar. Les émeraudes de Coscuez se caractérisent par leur couleur verte à la légèrement tonalité jaune. Le gisement de Coscuez, situé à quinze kilomètres de Muzo, est exploité en concession par la société Esmeracol (Esmeraldas de Colombia), comprend deux mines principales, el Silencio et el Diamante. La région était contrôlée

par quatre caciques jusqu'en 1990, et les accords de paix ont permis l'intégration des différents intérêts de la région et la restructuration de l'entreprise, sous l'égide du "roi de l'émeraude", Victor Carranza. Il est représenté localement par son principal et fidèle associé Pablo Elias Delgadillo.

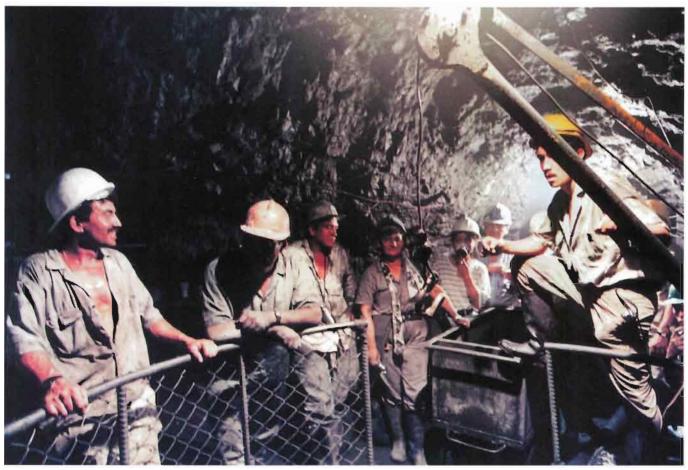
Coscuez est la source la plus prometteuse d'émeraudes. En 1997, la



Puits de 286 m de profondeur appelé Clavada, Muzo.

pourvue de cristaux. La veine est alors piquée méticuleusement à l'aide de petites piques et marteaux. Les cristaux, ainsi dégagés, sont placés dans le sac d'un contremaître comptable de confiance.

Tecminas et Coexminas pratiquent également l'exploration et exploitation par "clavadas". Des puits verticaux, allant jusqu'à plus de deux cents mètres de



À l'intérieur d'un tunnel à Coscuez. Photo Jean-Claude Michelou.

mine a produit 4 000 000 des 6 687 000 carats exportés par la Colombie. L'exploitation se fait à ciel ouvert et dans des galeries, dont la plus longue, "el oficial", pénètre la montagne sur plus d'un kilomètre et demi. Dès l'entrée de la mine, une paroi vertigineuse truffée de tunnels surplombe les installations de la concession. L'accès à ces galeries est périlleux et mieux vaut ne pas avoir le vertige. Les droits tacites d'exploitation de ces tunnels se répartissent entre les caciques de la région, "associés" désormais à Don Victor, et à la concession. De nombreux mineurs indépendants ont toujours accès à des "coupes" éloignées de l'administration. La répartition des marchandises, bien que contrôlée, laisse encore échapper dans les mains de petits opérateurs de grandes quantités d'émeraudes.

La mine de Penas Blancas opérée par la famille Quintero est connue pour sa production d'émeraudes «Trapiche» a son apogée dans les années soixante. A cette époque, ces pierres n'étaient pas considérées comme des émeraudes, et ce n'est qu'après plusieurs années de commercialisation à des prix dérisoires qu'elles obtinrent leur reconnaissance. Ces émeraudes taillées en cabochons comportent une étoile formée par l'emplacement inusuel d'inclusions : 6 lignes noires rayonnent à partir d'une couronne centrale. Le mot «Trapiche» provient de la roue de bois à rayons employée pour broyer la canne à sucre dans les moulins de la région.

Le nouveau gisement de Maripi

Situé à peu près à mi-chemin entre Muzo et Coscuez, un nouveau gisement, appelé Polveros, vient d'être mis en exploitation à l'initiative de Nelson Beltran, important opérateur de Bogota, et de Dario Campos, un des barons de Coscuez. La conformation de l'entreprise minière contrôlant ce secteur est en cours, et

pourrait céder la place, une fois de plus, aux familles et associations de la région. La mine de Polveros a déjà produit un certain nombre de cristaux commercialisables et pourrait constituer une nouvelle source d'émeraudes pour la Colombie.

La zone orientale de Chivor et Gachala

Le gisement de Chivor

La mine de Chivor, à proximité de Somondoco, s'étend à 2000 mètres d'altitude sur une zone désertique et peu attrayante. Les émeraudes de Chivor se caractérisent par leur pureté, une forte luminosité un peu métallique et une couleur qui va d'un vert pâle bleuté à un vert menthe. La région de Somondoco comprend également les sites miniers de Buena Vista, el Guali, El Cuatro et Mundo Nuevo, qui produisent tous des cristaux allongés parfaitement hexagonaux, appelés "canutillos". Un

phénomène naturel notoire dans beaucoup de ces cristaux, est la coloration de la pierre sur ses parois extérieures laissant l'intérieur incolore. Seule l'observation des bruts de forme allongés par leurs extrémités permet de percevoir ce que l'on appelle la couronne ou encore «entubada» (tube en espagnol). Seule l'expertise du lapidaire qui prendra soin par tous les moyens de garder la couleur sur l'extérieur ainsi que dans la culasse permettra d'en maintenir une réflexion homogène. Ce phénomène n'affecte cependant pas le prix de ces émeraudes, sauf si le manque de couleur est visible par la surface qui servira de table. La mine «El Oriente» à Chivor est exploitée en association avec une compagnie canadienne Compania Esmeraldas de Chivor S.A. cotée à la Bourse de Toronto. Les capitaux de la société sont vénézueliens et certains des actionnaires sont d'origine italienne. Le

directeur en Colombie est Américain d'origine cubaine. La compagnie détient les deux-tiers des parts de l'association, l'autre tiers appartenant à des Colombiens avec, comme principal actionnaire, Emesto Martinez. investissement initial de US\$ dix millions et l'injection de sept millions US\$ supplémentaires ont permis la mise en service d'engins pouvant percer jusqu'à trois mètres de tunnel par jour. L'exploitation se fait presque exclusivement par galerie, dont la plus longue atteint

déjà huit cents mètres, que l'on parcourt en voiture. L'administrateur, un ingénieur canadien au physique de bûcheron qui ne parle que quelques mots d'espagnol, a mis en place un bureau d'étude informatisé qui analyse en permanence la configuration géologique du terrain et du sous-sol. De jeunes ingénieurs et géologues colombiens maintiennent à jour, sur un immense plotter, relevés sismiques et géologiques, ainsi que plans et graphiques des tunnels et des puits.

Les cent mineurs et cinquante cadres et contremaîtres de Chivor semblent apprécier les conditions de travail et la qualité du campement installé par leur nouveau "Patron".

Cette mine est la seule à ne pas être sous l'influence, de près ou de loin, des groupes de Muzo. La montagne, qui ressemble aujourd'hui à un gruyère, est divisée en plusieurs mines exploitées par d'autres opérateurs. Dan, l'ingénieur canadien, a parfaitement compris l'importance des réunions hebdomadaires et avec ses voisins, s'assure périodiquement que l'orientation de ses tunnels n'empiète pas sans accord préalable sur une zone mal définie.

La région de Chivor s'est toujours distinguée par son climat de paix relatif. Dan et ses collaborateurs sont pourtant tous armés et ne quittent jamais le camp, même pour aller prendre un café au village. Exploitée depuis un peu plus de

Le gisement de Buena Vista et Gachala

La mine de Buena Vista, liée aux familles de Muzo/Quipama, est contrôlée actuellement par Julio Carranza, frère de Victor, et est exploitée en galeries et à ciel ouvert. Ses émeraudes sont d'un vert bleuté très brillant et peu soutenu en couleur.

La mine de Gachala, non loin de Chivor, comprend les sites de Las Cruces, El Diamante et El Toro, et produit des émeraudes souvent de grande dimension. Très brillantes et transparentes, elles sont d'un vert généralement pâle. La roche très dure rend l'exploitation difficile et les quantités produites sont aujourd'hui insignifiantes.

La commercialisation

Les émeraudes brutes :

La production des concessions minières est placée sur le marché essentiellement sous forme de ventes à vue, auxquelles sont invités un nombre restreint d'importants opérateurs étrangers, et quelques rares locaux, proches des "Patrons". En 1997, 85% du total des exportations d'émeraudes s'est fait en pierres brutes, laissant peu de matière au marché de Bogota. Les chiffres officiels sont cependant peu fiables, car les montants et les valeurs déclarées sont encore loin de la réalité. A Chiquinquira, à 180 km au nord de Bogota,

a lieu, chaque mercredi, un marché d'émeraudes brutes, où se revend une partie de la production indépendante de Coscuez et Muzo. L'offre n'a cessé de diminuer au fil des ans et Chiquinquira reste surtout célèbre pour sa cathédrale érigée à la gloire de la vierge du même nom, patronne des mineurs.

Le marché de Bogota s'approvisionne largement auprès de la production indépendante des sites de Muzo et Coscuez. Par mesure de sécurité, les



■ La ruée vers l'émeraude, les Guaqueros se bousculent pour la bonne place après le passage du Bulldozer (bas de la mine). Photo Jean-Claude Michelou.

deux ans, la nouvelle mine del Oriente est louée à l'État pour une somme mensuelle, dont le montant est gardé secret, et n'a pas encore beaucoup produit. En octobre 1997, une veine, perdue depuis, a néanmoins donné 2000 carats d'émeraudes de très belle qualité, et les perspectives prometteuses du gisement encouragent la Compania Ersmeraldas de Chivor S.A. à chercher des investisseurs potentiels.



Bataille pour l'émeraude après le passage du Bulldozer, Muzo. Photo Jean-Claude Michelou.

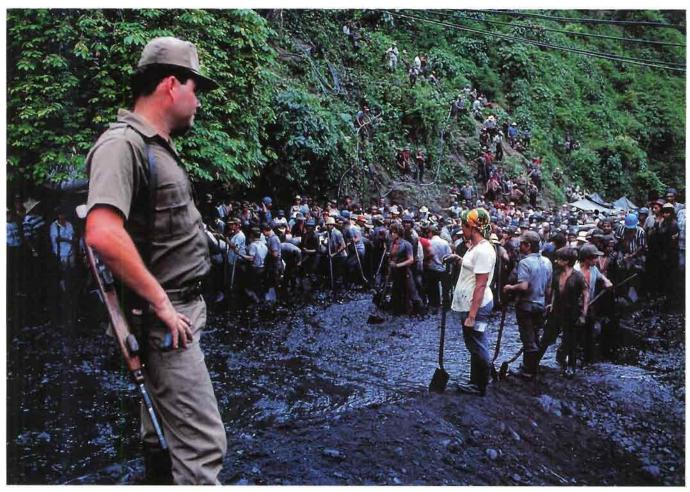
négociants ne prennent jamais seuls la route de la mine. Une mauvaise rencontre, un accident ou une simple crevaison peuvent prendre proportions inattendues. Rendez-vous est généralement fixé à quatre heures du matin, dans une des grandes stationservices de la sortie de Bogota. C'est en convoi d'au minimum deux Jeeps, avec à bord des passagers bien armés, que commence le voyage vers la mine. Il faut deux heures et demie de route goudronnée jusqu'à Chiquinquira. Là, on s'arrête pour un copieux petit déjeuner : soupe, jus de fruit, viande, pain et chocolat chaud. La seconde étape du voyage, environ cent vingt kilomètres, commence. L'asphalte fait place à une piste en terre, qu'il faudra emprunter pendant près de quatre heures. Après un passage à plus de 3000 mètres d'altitude, souvent dans les nuages ou la brume, la piste se scinde en deux : vers Coscuez à

droite, vers Muzo tout droit.

Une statue de la vierge de Chiquinquira domine l'embranchement des deux routes et semble bénir les voyageurs avant la grande descente vers les mines. La route plonge hors des nuages et révèle peu à peu un paysage grandiose de gigantesques montagnes aux pentes vertes et désertiques. L'état de la piste se dégrade au fil des innombrables virages en épingle à cheveux. Bananiers et bosquets de bambous remplacent les verts pâturages d'altitude. La route descend, remonte et redescend, accrochée à la paroi ruisselante de la montagne par un étroit promontoire qui surplombe des précipices de trois cents à quatre cents mètres de profondeur. Arrêt obligatoire : paysage et danger obligent. L'espace est à peine suffisant pour le passage d'un véhicule, dans de profonds sillons de boue remplis d'eau et creusés par des

roues de tous gabarits. La priorité va aux véhicules qui montent. Les voyageurs retiennent leur souffle ; le conducteur enclenche la double traction, le moteur hurle et le tout-terrain s'élance tel un patineur débutant. Passage en force à quelques centimètres du bord de l'abîme sans pour autant percuter la paroi. Durant la saison des pluies, l'enlisement est fréquent. Le sauvetage est opéré par les chauffeurs de camions pressés de dégager la voie pour continuer leur route. Sur la piste, pas d'arrêt repos : les "esmeralderos" porteurs d'argent frais sur une piste isolée, sont une proie tentante pour des montagnards mal intentionnés. Le retour vers Bogota a toujours lieu de jour, car il faut atteindre Chiquinquira et la route goudronnée avant la tombée de la nuit.

Grâce à Tecminas, on peut, depuis quelques années, se rendre aux mines de Muzo en trente-cinq minutes de vol de



Guaqueros ou mineurs indépendants sous l'oeil d'un vigile de l'armée, Muzo. Photo Jean-Claude Michelou.

Bogota jusqu'à Quipama, la petite ville natale de Victor Carranza, qui doit sa prospérité à la proximité du site minier. Il ne reste plus alors que cinquante minutes de piste à parcourir en taxi collectif 4x4, à travers le territoire de "la compagnie". À Muzo, comme à Coscuez, le logement est précaire et se trouve dans des pensions/hôtels de fortune, pour la plupart des visiteurs, ou dans le campement de la mine pour les privilégiés.

La quête du brut se fait de deux manières: à Muzo, auprès des guaqueros et des petits patrons indépendants qui proposent leur marchandise sur le bord du rio minero, appelé "la playa" (la plage), à Coscuez sur un terre-plein surplombant la mine, "el plano" (le plan); ou dans la Concession auprès des contremaîtres ou encore dans les bureaux des barons locaux, quand ceux-ci décident de vendre sur place.

Les prix à la mine dépendent de la production et de l'offre, et peuvent être prohibitifs par rapport à ceux du marché. Il arrive aux acheteurs de rentrer à Bogota les mains vides. Nombreux sont les petits patrons, qui vont à Bogota vendre les lots de brut réunis dans la semaine. Il arrive que les prix soient plus bas à Bogota qu'à la mine elle-même. Les vendeurs doivent s'adapter à la réalité du marché.

La place de Bogota

La plus grande partie des émeraudes brutes disponibles à Bogota sont acquises par des négociants, qui sous-traitent la taille auprès de dizaines de petits ateliers indépendants. Ceux, qui possèdent leur propre atelier, sont peu nombreux. Le prix moyen de la taille oscille entre US\$ 6 et US\$ 12 par carat taillé, selon la qualité de la marchandise.

La taille

Une émeraude perd entre les deuxtiers et les trois-quarts de son poids à la taille Les pierres sont d'abord mises en forme (ou mises en couleur) par le chef de taille, en accord avec le propriétaire de la marchandise. L'opération consiste à centrer la couleur de l'émeraude dans la culasse et à lui donner la forme optimale par rapport à ses défauts et à l'emplacement de la couleur. On polit ensuite les tables afin de déterminer où se trouvent les défauts et corriger, s'il y a lieu, l'orientation de la pierre. Les pierres sont ensuite placées à l'aide de cire chaude au bout d'un bâtonnet. Le lapidaire procédera ensuite au facetage des culasses et des tables avant de leur donner le poli final.

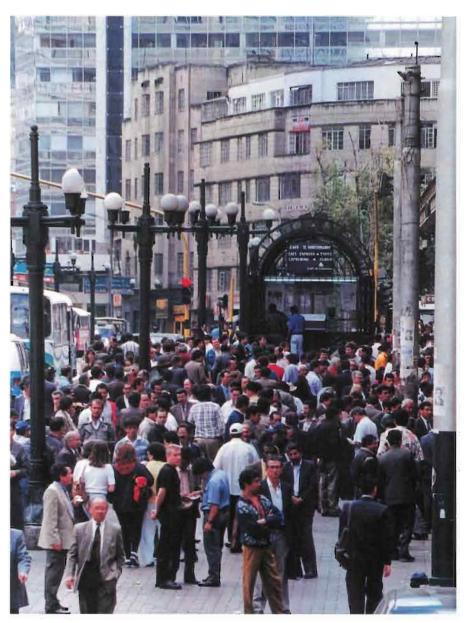
Le nettoyage et l'embellissement des émeraudes

Les émeraudes sont des pierres poreuses par nature, qui comportent des givres, que les explosions de dynamite ouvrent facilement, et dans lesquels pénètrent des particules et corps étrangers, provenant des disques de taille et des pâtes de polissage employées. Il faut alors les nettoyer, avant de les mettre en vente. Ainsi, les lots de pierres taillées sont envoyés dans des laboratoires de traitement, pour les embellir. Après un nettoyage à l'acide, les émeraudes sont plongées sous vide ou sous pression dans de l'huile transparente à même indice de réfraction. L'huile remplit les canaux et inclusions, dissimulant la plupart des défauts visibles à l'oeil nu. Les huiles fluides, telle l'essence de cèdre, ressortiront de l'émeraude au bout d'un certain temps, laissant réapparaître les défauts.

L'emploi de résines epoxy ou araldites s'est développé au cours des dernières années dans le but de fixer le traitement dans la pierre. Malheureusement, ces produits se polymérisent avec le temps et laissent dans les cavités où ils ont pénétré des marques blanches pratiquement impossibles à nettoyer. Ces procédés, qui changent l'aspect de la pierre, ont entraîné une perte de confiance sur les marchés internationaux envers les émeraudes, particulièrement celles de Colombie. L'embellissement des émeraudes, comme les autres pierres précieuses, est une pratique qui a toujours existé. Les milieux professionnels ont compris l'urgence d'en informer les utilisateurs, revendeurs, détaillants et les consommateurs. Plusieurs laboratoires recherchent en ce moment une formule, ou un produit, pouvant garantir la stabilité de l'aspect des pierres traitées. La crise de confiance dans l'émeraude de Colombie a largement contribué à la chute des exportations, de US\$ 458 millions en 1995 à US\$ 130 millions en 1997.

La commercialisation

La place de Bogota fonctionne comme une bourse ouverte. Pratiquement, aucun bureau de commercialisation ne maintient de stock d'émeraude. Quelques 2000 intermédiaires de ventes, les "comisionistas", sont chargés de faire la liaison entre l'offre et la demande. À Bogota, une quinzaine de bureaux de



■ La foule des comisionistas sur l'avenue Jimenez, quartier des émeraudes, en plein centre de Bogota. Photo Jean-Claude Michelou.

courtage regroupent la demande internationale, soit pour leur propre compte, soit pour celui d'acheteurs étrangers. Les quelques milliers de commissionnaires, véritables fourmis du négoce, colportent de bureau en bureau les lots d'émeraudes taillées, pour le compte de différents patrons. Ils présentent leur marchandise aux acheteurs et tentent d'en tirer le meilleur prix. Leur gain réside dans la différence entre le prix accepté par le patron et le prix réellement payé par l'acheteur. Ces bureaux d'achat sont exclusivement

fréquentés par des acheteurs étrangers chevronnés, qui reçoivent de surcroît, moyennant une commission de 5%, l'assistance de leurs hôtes afin de mener au mieux leurs transactions. La tache du "comisionista" n'est donc pas facile, et la difficulté du marché réduit de jour en jour son revenu. Quand un acheteur a terminé ses achats, le bureau de courtage se charge d'établir la facture commerciale, la déclaration officielle d'exportation avec la licence respective, et fait contrôler par l'office des mines (Mineralco) la conformité de la marchandise avec la

déclaration. Le négociant étranger pourra alors, soit emporter la marchandise avec lui, soit la faire transporter par un coursier spécialisé, soit encore la faire acheminer par une agence spécialisée en transport de valeur.

Les propriétaires des principales compagnies d'exploitation minière ont mis en place une filière de distribution directe d'émeraudes taillées de première qualité, qu'ils exportent directement vers les principaux marchés. Ils organisent même parfois des ventes aux enchères sur les places étrangères. Un monopole semble donc s'installer, étouffant chaque jour un peu plus la place ouverte de Bogota.

Le changement des méthodes d'exploitation et la réduction de l'offre à

Bogota, à l'instigation de Don Victor et de ses associés, fait partie d'une politique commencée il y a une dizaine d'années, dont le but est l'établissement d'une bourse d'émeraudes. Ce projet est officiel depuis le Congrès de l'émeraude, qui s'est tenu en février dernier à Bogota. Le gouvernement est soucieux d'améliorer l'image du secteur, et faire de l'émeraude un produit-type, haut de gamme, de la Colombie, comme l'est le café. Cette bourse sera, selon l'État, gérée par les secteurs publics et privés, et devrait réguler l'offre et la demande, tout en établissant des références en matière de qualité et de déontologie. Elle permettra ainsi une augmentation des prix tout en assurant une plus grande valeur ajoutée pour les pierres

colombiennes. Selon une première évaluation, la création de cette bourse pourrait coûter US\$ 100 millions et le gouvernement colombien encourage la participation d'investisseurs étrangers. Les détracteurs du projet prévoient cependant une bataille entre le secteur privé et les agences gouvernementales, et prédisent que la main de fer de Don Victor sur la production pourrait lui donner finalement le contrôle de la bourse.L'année 1998 sera sans doute décisive, et pourrait marquer la fin d'une époque, romantisme et aventure cédant la place à des méthodes modernes de production et de négoce des émeraudes de Colombie. Guaqueros et "comisionistas" sont probablement en train de vivre leurs dernières années.

THE DISCOVERY OF ELDORADO

by Jean-Claude Michelou

The most famous Colombian legend tells the story of the Indians chief Eldorado, who once a year, dived in the sacred lake of Guatavita, his body covered with gold powder. His subjects, then gathered on the lake 's shores and threw riches in the water, including emeralds, in a tribute to the gods.

Emerald extraction existed well before the Spanish conquest. The gems were used in barters with other Indians nations in central and south America. In 1519, in Mexico, The Aztecs Emperor Moctezuma gives Hernan Cortes the conquistador, Colombian emeralds.

However, in Colombia, the Spaniards tried in vain to force the natives to reveal the site of the emerald mines. Against all odds, Chivor was discovered in 1537, and mining began vigorously, using an exclusively indian slave labour. Twenty years later a Spanish horse stumbled on a rock and his rider discovered an emerald crystal stuck

under the animal's shoe. Thirty five years later, the indian population and with cheap labour was decimated and mining considerably reduced. In 1675, Chivor is even abandoned and the place is lost until 1888.. Meanwhile, Muzo sporadically and Coscuez were exploited until 1828 when the Libertador Simon Bolivar declares the mines nationnal heritage. After several years under foreign administration of different origin, with no satisfactory results, the government tried to reorganise the mines by placing them for a period of twenty years under the Central bank's administration.

Mining operation

In the first part of the 70s independents miners (guaqueros) organised armed gangs and raging corruption stop almost completely the official production. During this period, the region of Muzo accounts for

900 related murders every year. The government realise that 90 % of the whole production escapes from its control and then decides to close down the mines from 1973 to 1977, and gives 5 years mining concessions to the winners of preliminary biding who happen to be the most powerful and decided men of the area. Concession contracts are nowadays for a period of 25 years.

Located at some 80 miles from Bogota, the colombian emerald mines are divided in two zones refered to as Coscuez and Muzo to the north and Chivor to the north east. Colombia produces more than 50 % of the world's emeralds and 80% of the top quality stones.

LES REPRÉSENTATIONS SYMBOLIQUES DE QUELQUES ÉMERAUDES CÉLÈBRES DE L'HISTOIRE

Erik Gonthier

es pierres précieuses détiennent des pouvoirs infiniment plus /importants que leur valeur marchande, beaucoup pensent qu'elles émanent des forces cosmiques qui étendent leurs bienfaits à tous ceux qui savent les utiliser, non pas comme source de richesse, mais comme symbole. Ce sentiment difficilement expliquable chez l'Homme est lié au désir de se personnaliser, de se démarquer, de se singulariser. Il peut se manifester par un désir de possession d'objets hors du commun venus de contrées lointaines, ou encore ressenti comme la possibilité de posséder une partie de l'univers phantasmagorique, idéalisé : monde dont les limites ne peuvent être établies qu'en nous. Celà même explique parfois les déviances occultes de certaines personnes. L'émeraude fait partie de ces objets de rêves privilégiés porteurs de légendes et de superstitions. Comme bien d'autres gemmes, elle a participé à des rites et a été symbolisée. Elle a marqué la position politique de certains notables, comme par exemple la pierre sertie sur la bague d'Henri II roi d'Irlande qu'il reçut lors de son sacre en 1171. La présence de l'émeraude d'Henri II dans le déroulement des jeux politiques ne pouvait immanquablement que représenter le symbole des puissances royales. Il faut se souvenir que jusqu'au Haut Moyen-Age, les béryls étaient encore très rares et donc très coûteux et qu'il y avait peu de provenances. Les seuls gisements connus étaient ceux du Djebel Sikaït en Egypte et d'Habach. Les émeraudes d'Egypte des mythiques mines de Cléopâtre, avaient été découvertes vers 1500 avant JC par les Egyptiens, mais avaient été perdues dès l'Antiquité. Ce n'est qu'au XIXème siècle que leurs mines furent retrouvés. Puis les gisements d'émeraude de la vallée d'Habach en Autriche qui étaient déjà connues des Celtes.

Plus anciennement, certaines émeraudes gravées ont acquis une dimension historique. Parmi les plus célèbres émeraudes, les « émeraudes-portraits » de Cléopâtre, de Ptolémée, d'Adrien. La pierre est devenue témoin, l'icône de quelque chose et de quelque individu aux yeux des siècles. Même sous une forme plus simple, facettée, choyée par des générations d'historiens et de conservateurs, l'émeraude est l'un des plus prestigieux élément de références du passé; comme l'émeraude de Colombie rectangulaire et de très belle couleur de Louis XIV des collections de la Salle du Trésor de la Galerie de Minéralogie-Géologie du Jardin des Plantes. D'un poids de 17 carats et estimée à 12000 livres, elle fut achetée par Louis XIV. Elle devint la première des émeraudes de la Couronne en 1791. En 1774, cette pierre précieuse avait orné l'épaulette droite de la parure de couleur de Marie Leczinska. Paillonnée, cette gemme fut pourvue d'un paillon et montée en serti-clos sur un châton d'or ; c'est la seule pierre qui a subsisté des 4 émeraudes volées en 1895. Dans le fonds médiéval des Rois de France, il existe encore une autre grande émeraude de 51,5 carats. Taillée dans l'Antiquité, elle fut apportée vraisemblablement par Anne de Kiev lors de son mariage avec Henri I. Elle appartint à Louis IX (Saint Louis) qui la fit monter sur le lys central de la Sainte Couronne de France. Henri I l'offrit plus tard au Trésor de l'abbaye de Saint Denis pour le sacre des rois de France.

On peut pousser plus loin encore les considérations sur l'émeraude aux périodes historiques. Les rappels des passions d'appropriation ou de thésaurisation sont nombreux. Ainsi se sont constitués les trésors de la Sainte Russie (Fond diamantaire à Moscou), du musée de Topkapi Sarayi à Istanbul en Turquie, d'Iran, des maharadjahs. Pour les musulmans, l'émeraude est l'une des

Erik GONTHIER est Maître de Conférences au Museum d'Histoire Naturelle de Paris.

LE COLLIER DE LA LIBERTÉ

Maurice-Émile GIARD

Treize grosses émeraudes de forme poire, treize grosses émeraudes carrées, treize petites émeraudes carrées, toutes entourées de diamants, le tout monté sur un collier d'or et d'argent, tel se présente le fascinant Collier de la Liberté. Beaucoup de joyaux de grande valeur traînent avec eux leur légende. Voici celle de ce fabuleux collier. A t-elle un fond de vérité ? Si oui, elle jetterait un aperçu nouveau sur les relations que Benjamin Franklin eut avec la France à l'époque de la Guerre d'Indépendance des EtatsUnis. Si non, s'il ne s'agit que de l'un de ces récits fantasques qui accompagnent bien souvent l'histoire des grands joyaux, elle aura tout au moins le mérite de nous faire rêver et peut être de nous divertir.

Septembre 1777. Philadelphie vient d'être prise d'assaut. Dans la confusion qui s'ensuit, des bruits alarmants circulent sur la sécurité de Tadeusz Kosciusko, ce Polonais chevaleresque qui, tout comme Rochambeau et La Fayette, avait bondi vers l'Amérique pour défendre la cause de la liberté des peuples. Kosciusko, homme galant et galant homme, avait conquis le coeur de bien des femmes à la cour du roi Louis XVI, où il était fêté et adulé à l'envi. Parmi ces dames, se trouvait une comtesse, d'origine polonaise comme notre héros, célèbre par sa beauté. Un soir où elle assistait à un bal masqué, on annonça tout à la fois la prise de Philadelphie et la méconnaissance que l'on avait du sort du héros polonais. Envahie par un profond désespoir, elle ordonna à son cocher de la conduire aussitôt chez Benjamin Franklin qui résidait alors à Passy.

Il était assez tard lorsque elle parvint à destination. L'Ambassadeur corrigeait des épreuves d'imprimerie. La comtesse se présenta masquée. Fort surpris de



Coll. Van Cleef & Arpels

cette visite nocturne, Franklin la reçut cependant et s'enquit de ce qu'elle attendait de lui. La comtesse lui confia son désarroi. Avec un bon sourire, Franklin lui répondit que ses craintes n'étaient pas fondées, car les nouvelles qu'il venait de recevoir de Philadelphie ne pouvaient laisser aucun doute sur le sort de Kosciusko, qui était bien vivant.

Rassurée et toute à sa joie, la jeune femme voulut témoigner sa reconnaissance au grand homme. Se dépouillant de son collier d'émeraudes et de diamants, elle l'offrit à Franklin en lui disant : « Prenez-le ! il y a sur ce collier treize émeraudes en poire et deux fois treize émeraudes carrées, une de chaque sorte pour chacune des treize colonies américaines. Je vous en supplie, acceptez ce bijou et faites-en l'usage qui vous semblera bon au nom de la liberté ».

Franklin plaça chez des banquiers le Collier de la Liberté. C'est ainsi qu'il avait baptisé le joyau de la comtesse. La légende ajoute que, grâce à la somme qu'il en obtint, la cause américaine put triompher.

N'est-ce pas déjà là une belle histoire? Et pourtant, elle n'est pas terminée. Au cours de la période troublée suscitée par la Révolution française, le collier disparaît. Mystérieusement, il réapparaît en 1850, parfaitement intact, au Mont de Piété de Paris.

Les années passent sans que personne vienne, avec la « reconnaissance », dégager ce joyau qui avait servi une si noble cause. Lorsque le temps légal de conservation au Mont de Piété fut écoulé, le collier fut mis en vente. Les acquéreurs en furent, en 1925, les joailliers Van Cleef et Arpels, qui en sont toujours les heureux propriétaires.

Sources: Archives Van Cleef et Arpels HATEM Simone: L'Empire des perles et de pierres précieuses (Plon, Paris 1956).

pierres du Prophète. Citons, encore, celle du trésor de Vienne qui compte parmi ses collections un cristal d'émeraude acquis par la famille des Habsbourg et pesant 2205 carats. La présence des émeraudes dans les trésors d'Etat ajoute aux symboles de richesses et de pouvoirs qu'une nation impose à d'autres nations.

Un des exemples édifiant est celui du plateau en poirier laqué et écailles tenu par un personnage noir couronné, le « Maure au plateau d'émeraudes » de B. Permoser & Dinglinger (1723) sur lequel repose un groupe de magnifiques cristaux d'émeraude de Colombie sur gangue. Ce présentoire unique se trouve

actuellement au Grüne Guvölte de la ville de Dresde. A Vienne, dans la capitale autrichienne, a été apporté en 1880 un groupe d'émeraudes. Les pierres semblaient si remarquables, qu'elles furent prises dans un premier temps pour des fausses. Elles furent aussitôt envoyées au cabinet de curiosité du château d'Ambras

pour expertise et ne revinrent à Vienne que l'année suivante. Il s'agissait bien d'émeraude, mais surtout d'une reconstitution à partir de plusieurs cristaux naturels provenant de Muzo et de Chivor sur gangue (calcaire métamorphique) assemblés et collés par de la résine pour donner l'illusion d'un seul et même groupe. L'intention, à l'époque n'était pas de duper, mais de magnifier, de faire l'éloge de la pierre précieuse.

L'émeraude suivant le lieu du monde considéré et l'époque à laquelle elle appartient, est aussi porteuse de charges affectives, des craintes ou des espérances qu'une société peut avoir, comme la très grosse émeraude des Indiens Muiscàs colombiens qui fut adorée comme une véritable divinité. L'exemple le plus frappant est celui du regroupement le plus important d'émeraudes taillées sur une seule parure : celle de la couronne de la Nuestra Señora de la Conceptión. Les croyances populaires rapportent que cette couronne avait été offerte par la population colombienne Popayan, épargnée par l'épidémie de peste qui avait frappée la population locale pendant trois longues années. Vingt-quatre orfèvres auraient travaillé sans interruption pendant six années pour réaliser à partir d'un bloc d'or massif (lingot ?) ce joyau considéré comme l'un des plus précieux du Monde. Il est orné de 447 émeraudes, et représente un poids total en pierres estimé à environ 1500 carats. La plus importante de ces pierres aurait appartenue à l'Inca Atahualpa, sauvagement assassiné par Pizzaro en 1533. Dans l'Egypte ancienne, les émeraudes avaient leur déesse tutélaire qui figure sur une des parois du temple de Bérénice. Très rarement représentée, elle n'est apparue que sur un hémi-spéos probablement dédié aux divinités de la mine et qui avait été édifié au Ouâdî Sikaït même. Cette pierre précieuse était dédiée à Hathor. On la retrouve dédiée dans d'autres régions du monde à Aphrodite, à Vénus ainsi qu'à Cybèle (Ephèse).

Comme beaucoup d'autres substances précieuses, l'émeraude peut entraîner inexorablement les êtres vers les passions les plus grandes ou encore vers ces chimères qui détournent le sens des vérités et de la sagesse; comme si la possession absolue de ces pierres devait absolument rendre leur propriétaire heureux.



ARCH. PHOT. PARIS / S.P.A.D.E.M.

L'émeraude est un support matériel original qui a généré des inventions étonnantes, comme les fameux monocles de Néron destinés à augmenter son acuité visuelle, et qui n'étaient probablement que des béryls verts (aigue-marine); ou encore de création d'objets artisanaux dont les déclinaisons sont multiples. Ce béryl chromifère s'est inséré dans les domaines de l'art, des techniques, et des sciences; Jules César collectionnait les émeraudes à cause de leurs vertus curatives supposées. Défi au temps, à l'usure et à l'oubli, l'émeraude apparaît comme

une sorte d'anti-destin. La posséder apporte la preuve de la recherche d'éternité par les grands Hommes. La couronne de Charlemagne et la célèbre couronne de fer des rois Lombards toutes deux ornées d'émeraudes ont perdurées dans la mémoire des hommes comme des joyaux extraordinaires.

Il serait vain de tenter en quelques lignes de remémorer toutes les émeraudes historiques qui ont participé à l'édification de l'histoire de l'Humanité, mais on ne peut oublier les 5 fameuses « émeraudes » saisies par Hernan Cortes



Émeraude ayant orné le Lys frontal de la Sainte Courronne de France. Forme de taille du Bas-Empire Romain (51,60 carats). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. Photo: H. J. Schubnel

(1485-1547) lors du pillage du trésor du tlatoani aztèque Axayacatl (père de Montecuzoma II) enfermées dans le Teocalco à Mexico-Tenochtitlan. La malchance les lui fit perdre dans un naufrage lors d'une bataille contre les barbaresques au large d'Alger. Cortes qui avait fait graver ces émeraudes au Mexique, les exhibait fièrement à la Cour d'Espagne. Cortes avait espéré offrir ce joyau en cadeau de mariage à sa seconde épouse Juana de Zuniga. La présence de ces émeraudes montre que des échanges importants existaient entre les groupes socioculturels amérindiens et cela sur des distances considérables, puisqu'aucun gisement d'émeraude n'a pu à ce jour être mis en évidence au Mexique et en Amérique centrale. C'est seulement en 1545, après la conquête du Pérou (entre 1531 et 1536), que Pedro Fernandez de Valenzuela se fit révéler par les Indiens Chibchas la position du gisement colombien de la région du rio Somondoco, actuellement plus connue sous le nom de Chivor. Les Espagnols venaient de s'approprier les mines des plus belles émeraudes du monde. Avec les retours des régatiers du Nouveau Monde, l'émeraude en Europe allait désormais acquérir toutes ses lettres de noblesse, oubliant du même coup le prix du sang payé par les mineurs Muzos et Cajimas exploités de force. Les aspects qualitatifs des émeraudes de Colombie étant incomparables, ils furent la principale

cause de la désaffection progressive par les notables des grandes puissances des pierres plus givreuses d'Autriche. En 1993, la découverte de Victor Benilous au large de la côte de Floride, a permi de retrouver sur l'épave d'un galion, associé à des lots d'autres pierres précieuses, d'importants lots d'émeraudes et de bijoux, dont un cristal d'émeraude aux faces naturelles polies et de taille exceptionnelle baptisé par les nouveaux inventeurs: « Reine Isabelle ». Cette gemme de 964 carats aurait appartenue à Cortes. Objets d'admiration des hommes, les émeraudes sont présentes à tous les niveaux de la pensée collective au point d'avoir été choisies pour devenir le réceptacle d'un des symboles culturels les plus importants : le Saint Graal de Joseph d'Arimathie. Le Saint Graal, selon la légende, aurait permi de recueillir le sang qui coulait du flanc percé du Christ lors de sa crucifixion. Longtemps la quête principale des Chevaliers du roi Arthur, il était supposé être sculpté dans une énorme émeraude. Les historiens rapportent en fait que les armées de Napoléon qui avaient saisi l'un des nombreux vases dit « Saint Graal » dans une église de Turin, le fit restituer après avoir fait vérifier... que l'émeraude qui le constituait n'était qu'une pâte de verre de couleur verte. D'incroyables cristaux de béryl chromifère ont été sculptés par certains lithograveurs comme le montrent certains objets du

trésor du musée de Vienne qui conserve une coupe monolithe de 12 cm de haut taillée dans un cristal d'émeraude pesant 2680 cts. Ce cristal avait été acquis au XVIIème siècle par la famille des Habsbourg. Au British Museum, une émeraude de Muzo de très belle couleur, ayant la forme d'un prisme hexagonal parfait pesant 1384 carats, compte parmi les plus beaux cristaux d'émeraudes connues au monde.

L'émeraude, rêve de beaucoup d'entre nous, se trouve aujourd'hui banalisée avec la venue de nombreuses et remarquables imitations modernes. La crainte d'être trompé, dupé par ces véritables « clones » minérals va malheureusement à l'encontre de l'esprit des non initiés à la gemmologie. Le doute ressenti rend plus méfiant et le passage par un laboratoire d'expertise diminue la spontanéité et la charge émotionnelle des nouveaux acquéreurs.

Dessin réalisé au XVIIe siècle d'après le tableau de Pounbus II (Église de Saint-Nicolas-des-Champs, Paris).

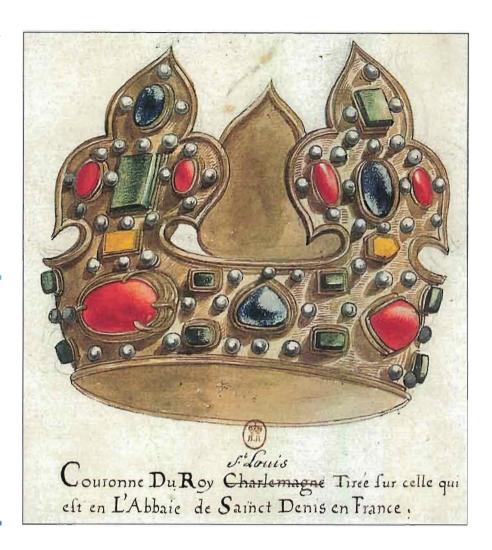
Bibliographie sommaire

1988 - MOREL B. : «Les joyaux de la Couronne de France» Fonds Mercator. Ed. Albin Michel. France

1990 - GONTHIER E.: « L'homme et le minéral » Histoire des moeurs. Tome 1. Encyclopédie de la Pléïade. NRF. Sous la direction de Jean Poirier. Éd. Gallimard.

1998 - GENDRON F.: «Les roches vertes en Mésoamérique. Archéologie du jade. » Thèse de Doctorat E.H.E.S.S. Paris

1998 - SCHUBNEL H.-J., CHIAPPERO P.-J. & GONTHIER E.: « Trésor du Museum » cat. de la galerie de Minéralogie-Géologie du Museum. Paris



THE SYMBOLIC REPRESENTATION OF FAMOUS EMERALDS IN HISTORY

by Erik Gonthier

The emeralds, source of dreams, carrier of legends and superstitions, have participated in rites and have borne many symbols. They have marked the political status of some notable, historical figures, such as the stone set in the ring of Henry II, King of Irelandastone that he received during his coronation in 1171.

Until the Early Middle Ages, beryl was still very scarce and therefore very expensive. It came from only a few sites. The only known deposits were those of Djebel Sikait in Egypt, the mythical mines of Cleopatra (discovered around

1500 BC by the Egyptians). After being lost in Antiquity, these mines were not rediscovered until the nineteenth century. Later, the emerald deposits that the Celts had known of, were exploited in the Habach Valley, Austria.

Some engraved emerald pieces have acquired a historic dimension like the "portrait-emeralds" of Cleopatra, Ptolemy or Adrian. The stone has become a witness, the icon of something or someone in the eyes of centuries. Some stones have gone down in history as factual references to the past. Consider, for instance, the rectangular

emerald from Columbia in the Jardin des Plantes Treasure Room collections. Louis XIV bought this piece weighing 17 carats and estimated at 12,000 livres, which became the first emerald of the Crown in 1791. In 1794, this stone adorned the right shoulder of Mary Leczinska's costume. It is the only remaining stone out of the four emeralds stolen in 1895. There still is a large ancient emerald of 51.5 carats in the Kings of France medieval collection. Ann of Kiev probably brought it at the time of her wedding with Henry I. It belonged to Louis IX

(Saint Louis) who had it set on the central jewel lily of the Holy Crown of France. Later Henry I offered the latter to the Saint Denis Abbey Treasure house for the Kings of France coronation ceremonies.

The reminders of the passions of appropriation or theorization surrounding precious stones are numerous. They have enabled the constitution of the treasures of Holy Moscow Diamond Russia (the Museum), of the Topkapi Sarayi of Istanbul, Turkey, of Iran, of the maharajahs--who consider the emerald as one of the Prophet's stones--of Vienna that boasts an emerald crystal that belonged to the Habsburg family and weighing 2205 carats. The presence of emeralds in the state treasures adds to the symbols of wealth and power that a nation imposes on other nations. One of the edifying examples could be the "Moor with the plate of emeralds" by B. Permoser and Dinglinger (1723), on which a group of Columbia emeralds lies in its gangue. and that stands at the Grüne Guvölte in the city of Dresden. In Vienna, a group of emeralds which at first were mistaken for fake ones was brought back in 1880. Sent back to the curiosity room in Ambras Castle for expertise, they were only returned to Vienna the following year.

The emerald also carries with it some emotive power related to place and time. It reflects the fears or expectations that a society may have. For example, the Colombian Muiscas Indians' very big emerald, which was worshipped as a true divinity, or the emerald in the Crown of the Nuestra Señora de la Conceptión that the Colombian Popayan population offered for being spared by a three long year plague epidemic. The biggest of these stones would have belonged to the Atahualpa Inca. The emerald is an original material medium that has generated astounding inventions--like Nero's famous monocles meant to increase his visual sharpness, which were probably made of green beryl (aquamarine)--or else the creations of handicrafts of a multiple variety. Julius Cæsar collected emeralds because of their supposed healing virtues. The desire to possess an emerald demonstrates the great men's quest for eternity. Charlemagne's crown and the famous iron crown of the Lombardy Kings were both adorned with emeralds.

One cannot forget the five famous "emeralds" seized by Hernan Cortes (1485-1547) during the pillaging of the treasure of the Aztec tlatoani Axayacatl (the father of Montecuzoma II) that had been locked in the Teocalco in Mexico-Tenochtitlan. Unfortunately he lost them in a shipwreck after a battle with Barbary pirates off Algiers. Cortes who had those emeralds engraved in Mexico used to display them proudly at the Spanish Court. Cortes had hoped to offer this jewel as a wedding present to his second wife Juana de Zuniga. The presence of these emeralds shows that important exchanges existed between the Amerindian socio-cultural groups--over considerable distances--since no emerald deposit has been proven in Mexico or Central America to this day. It is only in 1546, after the conquest of Peru (from 1531 to 1536) that Pedro Fernandez de Valenzuela forced the Chibchas Indians to reveal the location of the Colombian deposit in the Rio Somondoco region, better known now as Chivor. Thus the Spaniards had appropriated the mines with the most beautiful emeralds in the world. Victor Benilous discovered the wreck of a galleon off the Florida coast in 1993. making possible the salvage of an exceptional crystal that its new finders named "Queen Isabelle," along with sets of other precious stones, among them important sets of emeralds and jewels. This gem of 964 carats would have belonged to Cortes.

The Holy Grail of Joseph of Arimathaea, preserved in Torino would have been used to collect the blood that flowed from the pierced side of Christ during his crucifixion. For a long time, the main purpose of King Arthur's Knights quest. The Holy Grail would have been carved into a huge emerald. Historians report that the Emperor's armies that had seized it as a prestigious war treasure, brought it back to France. Once identified as being made of green molten glass, Napoleon returned the idealized object to the

Knights. Some lithogravers have sculpted incredible crystals. The treasure of the Vienna Museum boasts a twelve-centimeter high monolith cup cut in a crystal of emerald weighing 2,680 carats. This crystal came into the possession of the Habsburg Family in the seventeenth century. At the British Museum, there is one of the biggest known emerald crystals in the world-an emerald from Muzo with a very fine color and forming a perfect hexagonal prism weighing 1,384 carats.

The emerald, the dream of many among us, has become commonplace today with the coming of many and remarkable modern imitations. The fear of being deceived, fooled around by the veritable mineral "clones" runs unfortunately counter to the minds of people who are unfamiliar with gemology. The doubt these people feel makes them more suspicious and going through an expert laboratory diminishes the affectionate spontaneity of purchasers.

Translation: © Dominique Maillard & Sophie Gore

La Géologie des Gisements d'Émeraudes

Alain Cheilletz

ne fièvre nouvelle s'est emparée du monde des « esméralderos »: de nouveaux gisements sont mis en exploitation dans le monde, notamment en Afrique de l'Est et à Madagascar, les études sur les gisements indiens reprennent (en collaboration entre le Geological Survey of India et le BRGM), des investisseurs étrangers s'intéressent à nouveau aux gisements colombiens et comme nous le verrons, des indices nouveaux sont découverts dans des régions jusqu'alors vierges de toute trace d'émeraude. Un point sur les différents environnements géologiques permettant la formation de l'émeraude est donc aujourd'hui nécessaire. En effet, l'émeraude cristallise sous des conditions très distinctes suivant les gisements dans lesquels on l'exploite, en Colombie, au Brésil ou au Pakistan par exemple. Ces différences d'environnements géologiques produisent pourtant des cristaux d'émeraude en apparence identiques, pourquoi? Quels sont les processus génétiques à l'origine de ces superbes anomalies de la nature ? Pour répondre à ces questions, il est nécessaire, au préalable d'évoquer succintement la structure cristallochimique de l'émeraude.

Le paradoxe de l'émeraude

Celle-ci constitue la variété verte (et très rarement transparente) d'un minéral somme toutes assez courant, le béryl, de formule Be₃Al₂Si₆O₁₈. La particularité de l'émeraude tient à la présence au sein de sa structure cristalline d'éléments traces chromophores (= qui confèrent sa couleur au minéral) comme le chrome ou le vanadium (Charoy, ce volume). D'autres éléments comme le fer ou les alcalins (Na et K) se rencontrent également en traces dans les émeraudes, contribuant à accroître la gamme des nombreuses variétés et tonalités de cette gemme. L'émeraude est un minéral rare car Cr-V d'une part, Be-alcalins d'autre part, ont des comportements géochimiques diamétralement opposés au cours de l'évolution terrestre. Ces processus sont connus sous le nom de différenciation des éléments, le premier groupe Cr-V ayant une affinité plutôt mantellique (dans les roches basiques et ultrabasiques, les teneurs en chrome peuvent atteindre 1%) alors que Be et alcalins se rencontrent plutôt dans les magmas différenciés de la croûte continentale (granites, rhyolites et pegmatites en particulier peuvent présenter des teneurs atteignant 600 ppm en béryllium). Le rassemblement de ces différents éléments chimiques a priori antagonistes nécessite donc des circonstances tout à fait exceptionnelles dans l'histoire de la terre, d'où le caractère paradoxal de l'émeraude.

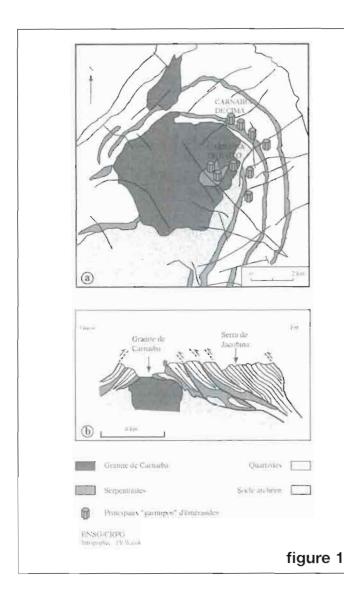
Les trois grands types de gisement d'émeraude

Les gemmologues ont pris l'habitude de distinguer les émeraudes au moyen des inclusions solides ou fluides qu'elles renferment (les fameux jardins) ce qui aboutit à une dichotomie regrettable entre "émeraudes de micas" et "émeraudes à inclusions triphasées type colombie". Les dernières observations réalisées par les plus grands spécialistes de cette gemme montrent que cette classification ne peut plus être retenue, les émeraudes de la vallée du Panjshir en particulier se révélant être également porteuses des inclusions triphasées type colombie (Giuliani, ce volume). En outre, le contexte géologique des différents gisements "d'émeraudes de micas" est extrèmement variable et doit être caractérisé beaucoup plus précisément pour servir de base à une classification plus efficace. Trois types de gisements d'émeraude peuvent en fait être distingués :

les gisements associés au magmatisme acide

Ils sont les plus nombreux et concernent la plupart des gisements brésiliens,

Alain CHEILLETZ est Maître de Conférences à l'École Nationale Supérieure de Géologie - INPL et au Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimique - UPR A9046 du C.N.R.S. à Vandoeuvre-lés-Nancy. E-mail : cheille@crpg.cnrs-nancy.fr



■ Photo 1 : Galerie d'exploration artisanale dans le Garimpo de Carnaibá au Brésil (Chantier Carnaibá de Baxo) en 1992.



■ Figure 1 : Géologie des gisements d'émeraude de Carnaibá au Brésil.

Les gisements de Carnaibá se situent à 400 km au nord-ouest de Salvador de Bahia. Découvert en 1963, l'émeraude est ici associée à la molybdénite (MoS₂). Ce gisement a assuré la totalité de la production d'émeraude du Brésil jusqu'en 1978, date de la découverte du gisement de Mina Belmont (Minas Gerais). Durant la période 1970-1983, la production d'émeraude a été de 294 tonnes et celle de molybdénite de 146 tonnes. Le gisement vu en plan (figure supérieure) et en coupe (figure inférieure) est situé au contact du granite de Carnaibá et des séries métamorphiques volcano-sédimentaires de la ceinture de roches vertes de la Serra de Jacobina chevauchant elle-même le socle archéen. Les nombreux petits gisements exploités sont situés dans l'auréole de métamorphisme de contact du granite dans ou à proximité des niveaux de serpentinite. Le mécanisme de formation de l'émeraude est dénommé métasomatose et est présenté sur la figure 2.

les gisements du Nigeria, de Zambie, du Zimbabwe, de Tanzanie, de Madagascar (un énorme groupe de 127 émeraudes agglomérées pesant 380000 carats a récemment été découvert dans ce pays), d'Inde, de Khaltaro au Pakistan (massif du Nanga Parbat-Hamarosh), d'Australie et d'Oural. A noter la découverte récente en Galice (Espagne) du petit gisement de Franqueira associé à des pegmatites d'âge hercynien dans un contexte géologique voisin de notre Massif Central (à quand la première émeraude dans le Limousin?). Tous ces gisements montrent une étroite association de l'émeraude avec un mica noir magnésien, le phlogopite, à l'exception des gisements du Nigeria dans lesquels le mica associé est plutôt ferrifère.

les gisements contrôlés par des accidents profonds.

Il s'agit essentiellement des gisements de Santa Terezinha (Goiás) au Brésil et de Swat (Mingora) au Pakistan. Les émeraudes sont associées à des minéraux de gangue formant des paragenèses beaucoup plus complexes que dans le cas des gisements liés au magmatisme acide. Parmi les associations les plus importantes, on peut citer le phlogopite (Santa Terezinha), le talc, les carbonates (Santa Terezinha, Swat), la fuchsite, la tourmaline et le quartz (Swat). Deux autres célèbres gisements d'émeraude appartenant à ce type sont aujourd'hui abandonnés : il s'agit d'Habachtal en Autriche et des gisements d'Egypte, ces derniers déjà exploités par les Pharaons. Les émeraudes de la vallée du Panjshir en Afghanistan sont elles encore énigmatiques du point de vue de leur environnement géologique. Redécouvertes lors de l'occupation soviétique, les quelques descriptions que nous en possédons (gisements associés à des zones de cisaillements himalayennes récentes; gangues montrant des associations à quartz, carbonates, pyrite, muscovite, phlogopite, albite, tourmaline) les rapprochent plutôt de leurs soeurs Pakistanaises (Swat).

les gisements encaissés dans les shales noirs

Il s'agit essentiellement des célèbres gisements Colombiens répartis en deux

bandes bordant les flancs de la Cordillère Orientale : zone orientale avec les districts de Chivor-Gachalá et zone occidentale avec les districts de Peña Blanca-Coscuez-Muzo et La Palma-Yacopi. La Colombie est aujourd'hui le premier producteur mondial de cette gemme, les exportations représentant en 1995 une valeur de 450 millions de \$ US, pour un tonnage déclaré de 8 millions de carrats.

Sur une superficie totale de 62 000 hectares disponibles, seuls quelques 3000 hectares sont actuellement couverts par des permis d'exploration ou d'exploitation; c'est dire l'importance du travail qui attend les géologues à la recherche des nouveaux gisements colombiens appelés à remplacer les gisements actuels en cours d'épuisement. Les mines souterraines ont aujourd'hui pris le relais des mines à ciel ouvert, notamment à Muzo et Coscuez, et un modèle géologique de formation des gisements, présenté au premier Congrès Mondial des Emeraudes tenu à Bogotá en février 1998 est maintenant établi pour servir d'outil conceptuel à la recherche des extensions des gisements actuels ainsi qu'au lancement des programmes de prospection.

Géologie des gisements et mode de formation des émeraudes

Les gisements associés au magmatisme acide

Pour illustrer ce premier cas, nous pouvons prendre l'exemple des gisements de l'Etat de Bahia au Brésil (Photo I et Figure 1). Ces gisements exploités aujourd'hui autour de la petite ville de Campo Formoso se développent au contact d'intrusions granitiques peralumineuses, à signature crustale, recoupant les séries métamorphiques volcanosédimentaires de la Serra de Jacobina. C'est l'écart de composition chimique entre ces deux familles de roches subitement mises en contact l'une de l'autre à des températures comprises entre 400 et 600°C qui va entraîner une réaction mobilisant tous les éléments chimiques (Figure 2). Le vecteur des transformations qui se produisent à l'état solide est le fluide qui imprègne la zone de réaction, le moteur étant les gradients de potentiel chimique de chacun des éléments mis en jeu. On aboutit alors à

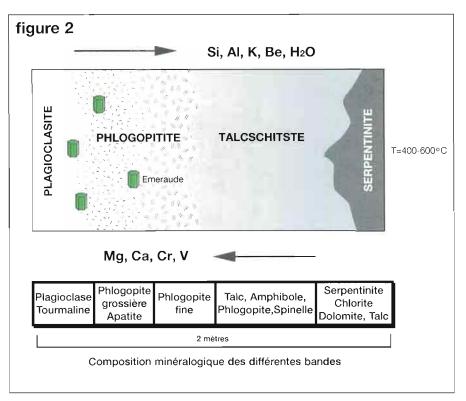


Figure 2 : La métasomatose

Illustration du mécanisme de la métasomatose lors de la formation des émeraudes du gisement de Carnaibá. Les fluides vecteurs des transformations sont issus de leucogranites différenciés et de leur cortège de pegmatite (aujourd'hui transformée en plagioclasite) située à gauche de la figure. Le moteur des transformations est représenté par les gradients de potentiels chimiques (schématisés par les flèches) des différents éléments provenant des deux roches (pegmatite et serpentinite) en contact. Le résultat des transformations est la formation d'une zone réactionelle constituée par des bandes parallèles (et symétriques par rapport à la plagioclasite) à composition minéralogique contrastée. L'émeraude précipite dans la bande des phlogopitites et plagioclasites. ENSG/CRPG infographie : Ph. Walek.

une transformation complète des roches originelles et à leur substitution par des assemblages minéralogiques nouveaux formés en général de cristaux de grande taille (supérieure au centimètre, d'où l'appellation quelquefois utilisée d'« émeraude de pegmatite » qui est à proscrire car source de confusion). Les zones de réaction sont en général disposées en bandes parallèles montrant une zonation minéralogique caractéristique. On appelle l'ensemble de ces transformations la métasomatose. On comprend mieux dès lors comment se résoud le paradoxe de l'émeraude évoqué précédemment : granite, pegmatites et fluides chauds introduisent K, Al et Be dans un milieu où abondent Fe, Mg, Cr permettent du même coup la cristallisation de nouvelles espèces silicatées dont la phlogopite et l'émeraude.

Les gisements contrôlés par des accidents profonds

Là encore, l'exemple d'un gisement brésilien, celui de Santa Terezinha, va nous servir de modèle (Photo 2). Découvert en 1981, ce gisement est aujourd'hui le plus important du brésil et peut-être au monde si l'on considère la quantité d'émeraude extraite (155 tonnes entre 1981 et 1988, dont malheureusement moins de 1% seulement est de qualité gemme). Dans ce gisement, la minéralisation en émeraude est stratiforme et est exclusivement contenue dans des schistes à talc et chlorite intercalés dans une épaisse série de schistes à chloritemuscovite. Deux types d'altération hydrothermale sont observés dans ces schistes en liaison avec le dépot de la minéralisation : une carbonatisation et



■ Photo 2 : Les gisements contrôlés par des accidents profonds : l'exemple du gisement de Santa Terezihna (Brésil). L'émeraude se développe dans les bandes sombres conjointement au remplacement métasomatique "lit par lit" des talc-schistes clairs par la biotite (phlogopite) et les carbonates. Il s'agit içi d'un gisement d'allure stratiforme.

une phlogopitisation, donnant naissance à deux types de minerai, le minerai carbonaté ou minerai riche (les teneurs en émeraude peuvent atteindre 800 g/m³) composé de dolomite, talc, phlogopite, quartz, émeraude et le minerai pauvre à phlogopite, quartz, carbonates, albite, talc et émeraude. Dans ce dernier, les cristaux d'émeraude sont petits (4-5 mm de diamètre) mais de bonne qualité. Deux faits géologiques majeurs sont à signaler, l'absence de granite au contact des zones d'altérations hydrothermales contrôlant le dépot de la minéralisation d'émeraude tout d'abord, la situation du gisement le long d'accidents cisaillants développés en bordure d'une zone linéamentaire recoupant l'ensemble de la province tectonique du Tocantins d'autre part. En outre, les études géochimiques conduites sur les émeraudes de ce gisement démontrent la présence de fluides à dominante aquo-carbonique d'origine métamorphique en relation avec le phénomène minéralisateur. Les scientifiques ne sont pas encore parvenus à un concensus à propos de ce type de gisement d'émeraude et deux modèles sont aujourd'hui proposés pour la source du béryllium : l'un évoque la circulation de fluides métamorphiques à la transition entre le faciès amphibolite et le faciès schistes

verts avec volatilisation du CO2 et libération du béryllium des roches métamorphiques encaissantes. Le deuxième modèle implique une source plus profonde pour le béryllium qui serait issu de la dévolatilisation de la croûte inférieure en voie de granulitisation. Les fluides enrichis en éléments légers migreraient alors à la faveur d'accidents crustaux jusque dans des niveaux réactifs où s'effectuerait le dépôt de l'émeraude. Dans le gisement de Swat au Pakistan, ces niveaux sont constitués par des serpentinites qui par réaction produisent dans certaines occurences des roches à talc-carbonate auxquels s'ajoutent la fuchsite et la tourmaline chromifère, et dans d'autres zones minéralisées des stockworks à quartz-magnésite-fuchsitetourmaline chromifère. La formation de ce gisement est structuralement contrôlée par un accident majeur appartenant à l'Arc du Kohistan, zone de suture entre les plaques indiennes et eurasienne. L'origine des fluides responsables de la minéralisation semble être métamorphique, mais les chercheurs n'excluent pas une certaine contribution magmatique. Le gisement d'Habachtal dans les Alpes autrichiennes présente lui aussi des caractéristiques géologiques similaires aux gisements de ce type, avec notamment une paragenèse à émeraude, talc, carbonate, actinote, chlorite et biotite développée dans une zone hautement tectonisée à lentilles de serpentinites et de gneiss. Son interprétation est cependant rendue difficile du fait de l'existence de déformations et recristallisations métamorphiques multiples caractéristiques de cette portion de la fenêtre des Tauern. Les gisements associés aux grandes zones de fracture apparaissent donc plus complexes du point de vue géologique que les gisements associés aux magmas granitiques. Développés dans des contextes géologiques variés, ils sont caractérisés par des spectres de minéraux de gangues très étendus, ce qui explique en particulier la variétés des inclusions solides rencontrées dans leurs émeraudes.

Les gisements encaissés dans les shales noirs

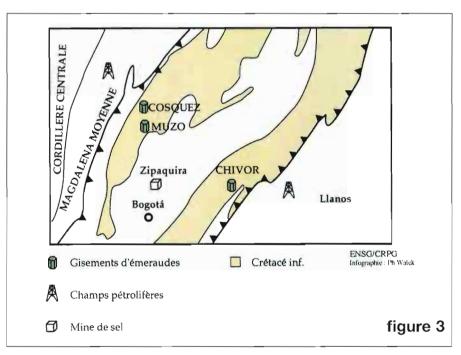
Le contexte géologique des gisements colombiens est bien évidemment totalement différent puisque ceux-ci sont encaissées dans les shales noirs du Crétacé inférieur de la Cordillère Orientale (Figure 3). Ces gisements sont uniques au monde et un modèle de formation est aujourd'hui proposé. Il a été élaboré grâce notamment à une étude de terrain approfondie qui font malheureusement cruellement défaut sur bons nombres d'autres gisements d'émeraude dans le monde. Ce modèle intègre un ensemble de faits, certains originaux, d'autres connus depuis longtemps, mais mal interprétés du fait d'une connaissance trop rudimentaire du contexte géologique des gisements. Soulignons à ce propos la très belle étude géologique de Pogue et Evantson au début du siècle, restée sans lendemain, mais qui esquissait déjà les pistes pouvant conduire à la solution de l'énigme. Le premier des caractères remarquables de l'émeraude de Colombie est la présence en son sein de cavités d'inclusions fluides triphasées à liquide, gaz et cube de sel. L'origine de ces inclusions est maintenant connue grâce à la mesure des rapports isotopiques ³⁴S/³²S des pyrites cristallisées en même temps que l'émeraude, ainsi que des rapports ¹⁸O/¹⁶O, ¹³C/¹²C des carbonates, D/H des silicates de la gangue (quartz, muscovite, albite) et de l'émeraude elle-même. Nous avons ainsi la preuve que trois cations au moins Na+, Cl- et S⁴⁺ ont pour origine le lessivage de

niveaux d'évaporites interstratifiés dans les séries du Crétacé inférieur. Les saumures alcalines dont la température atteint 300°C réagissent avec les shales noirs qui possèdent deux particularités intrinsèques qui vont se révéler déterminantes pour la genèse de la minéralisation. En effet, il s'agit d'abord de niveaux riches en matière organique (jusqu'à 3%), à la source de formation d'hydrocarbures en particulier, et qui possèdent donc des propriétés réductrices très fortes; c'est ensuite une série sédimentaire « poubelle » qui porte en réserve de très nombreux éléments chimiques, notamment le fer (entre 4 et 8 %), le calcium (sous forme d'intercalations carbonatées) et des éléments traces tels que le béryllium (entre 3 et 4 ppm), le chrome (entre 100 et 170 ppm), le vanadium (entre 140 et 300 ppm) et les terres rares.

La percolation des saumures hydrothermales chaudes entraîne un brutal mouvement d'échange fluide/roche par le biais d'une réaction chimique connue sous le nom de thermoréduction des sulfates (TRS); celle-ci fonctionne comme une réaction d'oxydo-réduction des sulfates d'origine évaporitique et de la matière organique des shales noirs (Figure 4). Les premiers sont réduits en hydrogène sulfuré et la matière organique oxydée en gaz carbonique. La réaction produit en outre d'importantes quantités d'hydrogène sulfuré et d'ions hydrogénocarbonates, lesquels par interaction avec le fer et le calcium extraits des shales noirs provoquent la précipitation des carbonates (calcite et dolomite) et d'un sulfure, la pyrite. La matière organique reprécipite sous forme de carbone hydrothermal (graphite désordonné s.s.) dans les veines. Béryllium, chrome et vanadium nécessaires à la formation de l'émeraude sont donc extraits des shales noirs au cours de la réaction et reprécipitent sous forme d'émeraude en compagnie d'un carbonate de terres rares accompagnateur typique des minéralisations du gisement de Muzo, la parisite. Un marqueur spectaculaire de ces transformations dans les shales noirs est constitué par les niveaux stratiformes d'albitite (roche constituée essentiellement d'albite qui est un plagioclase sodique) bien développés dans le gisement de Chivor par exemple et qui



■ Photo 3 : L'exploitation à ciel ouvert du gisement de Coscuez (zone occidentale) en 1995. La mine exploite en carrière et en travaux souterrains une écaille de lutites carbonées carbonatées (en noir sur la photo) qui constituent le réservoir principal de la minéralisation à émeraude. Cette unité est dominée par des bancs de calcaires (en jaune) redressés par une structure anticlinale due à une faille de déchirement sénestre (la faille de Coscuez) ayant fonctionné pendant l'épisode minéralisateur.



■ Fig. 3 : Les gisements d'émeraude de Colombie. Ils sont situés dans la Cordillère Orientale à 150 km au nord-est et au nord de la capitale Bogotá dans deux zones principales correspondant à la retombée de la chaîne sur la plaine des Llanos à l'Est et la vallée de la Magdalena moyenne à l'Ouest. Seuls les plus grands gisements sont indiqués sur la figure. L'association spatiale des gisements d'émeraude avec les diapirs de sels de la Savanne de Bogotá (gisements de Zipaquira et sa célèbre cathédrale de sel) et les puits de pétrole des Llanos et de la Magdalena moyenne s'explique par les conditions particulières et uniques au monde de formation des émeraudes de Colombie.

$$HCO_{3}^{-} + Ca^{++} = CaCO_{3} + H^{+}$$

$$calcite$$

$$Ra (CH2O)2 + SO4-- = C + 2HCO3- + H2S$$

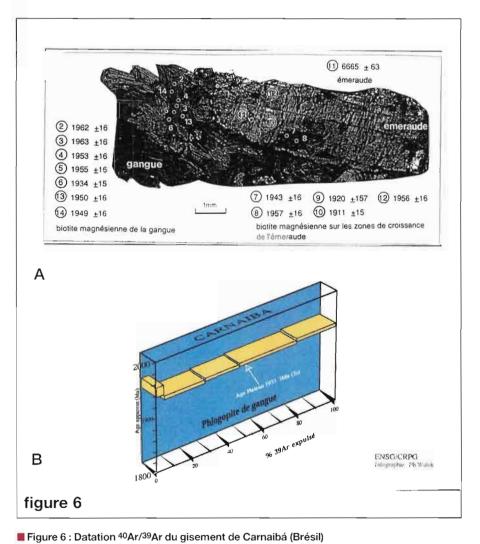
$$matière organique graphite$$

$$7H2S + 4Fe^{++} + SO4-- = 4 FeS2 + 4 H2O + 6H^{+}$$

$$pyrite$$

■ Fig. 4: Principales réactions chimiques conduisant à la précipitation des minéraux de gangue dans les gisements de Colombie. La première réaction est la réaction de thermoréduction des sulfates (TRS). Les deux

autres réactions produisent calcite et pyrite qui sont, en volume, les deux minéraux principaux de la gangue des gisements d'émeraude.

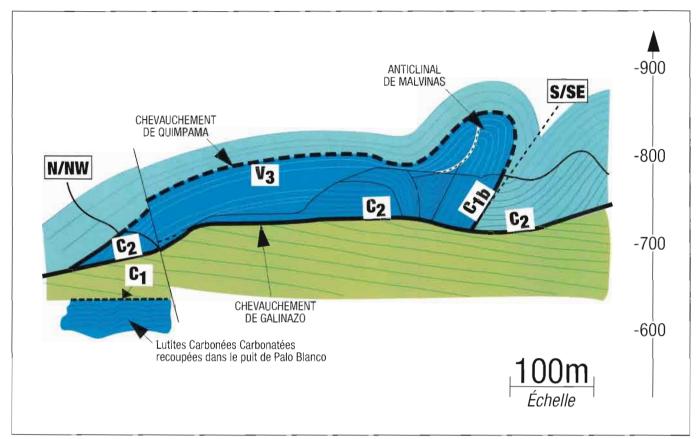


La figure A illustre la datation indirecte de l'émeraude par analyse d'inclusions solides (points 7 à 12) et comparaison avec l'analyse pontuelle des cristaux de la gangue (points 2 à 6 et 13, 14). Une analyse réalisée sur un cristal de la gangue par chauffage par palier (figure B) donne un résultat identique. La datation directe de l'émeraude (point 11 sur la figure A) est impossible par cette méthode du fait des quantités trop importantes d'argon 40 hérité piégé dans la structure du minéral.

résultent d'un échange cationique entre les saumures hydrothermales sources du sodium (Na) et les shales noirs lessivés.

Ce modèle géochimique écarte définitivement toute source magmatique pour les minéralisations d'émeraude de Colombie et les intègre de façon originale, au cycle de la matière organique du bassin sédimentaire de la Cordillère Orientale, d'où la liaison spatiale avec les gisements de pétrole (Figure 3).

Les travaux menés actuellement sur le terrain visent au moven d'études structurales détaillées à interpréter la géométrie des gisements. Des structures chevauchantes ont ainsi pu être mises en évidences à Muzo et Coscuez (Figure 5 et Photo 3). Elles se caractérisent par des répétitions de séries formant des empilements (duplex) accompagnés de plissement, dispositif favorable à l'accumulation sous pression des fluides hydrothermaux. Les plans de chevauchement sont matérialisés par des niveaux de brêche drainant la circulation des saumures hydrothermales. La mécanique à l'origine de ces déformations est liée aux mouvements de compression affectant le bassin de la Cordillère Orientale du fait de la poussée vers l'Ouest de la plaque sud-américaine. Ceux-ci se traduisent par des décollements focalisés dans les niveaux de moindre compétence constitués par les shales noirs du crétacé inférieur et leurs intercalations évaporitiques. Il s'agit là d'une tectonique de couverture (ou tégumentaire) bien connue dans les chaînes de montagne



■ Fig. 5 : Coupe géologique du front d'exploitation " Cincho " dans la mine de Muzo. La sructure représentée sur cette figure est extraite des modèles mis au point pour les gisements de la zone occidentale, Muzo et Coscuez (d'après Laumonier et al., 1996). Cette structure qui affecte les unités de shales noirs du Crétacé inférieur est organisée en écailles tectoniques constituant un empilement de type duplex prolongé par un anticlinal de rampe à son extrémité occidentale. Les contacts entre les unités tectoniques (C1, C1b et C2) sont soulignés par des brèches à

ciment hydrothermal jallonant les niveaux de décollement dans les shales noirs. Le drainage des saumures hydrothermales minéralisantes dans ces plans de mouvement est contemporain de l'apparition des structures tectoniques, ce qui constitue une originalité des gisements colombiens et un guide de prospection très intéressant à l'échelle régionale. Dans ce chantier "Cincho", l'unité centrale (U3; lutites carbonées carbonatées) constituait le réservoir principal de la minéralisation à émeraude, aujourd'hui presque totalement exploitée.

comme les Alpes ou le Jura où les niveaux de décollement correspondent aux couches de gypse triasiques. Dernière nouvelle : les éméraudes de Colombie ne constituent plus l'unique gisement de ce type au monde.

En effet, une communication au dernier congrès de l'Industrie Minérale Canadienne à Vancouver en 1997 relate la découverte d'un cristal d'émeraude de 30 carats dans les shales noirs protérozoïques des Monts Uinta dans l'Utah (USA). Les auteurs décrivent une association à pyrite, calcite fibreuse, shales décolorés et micas vert en tout point semblable à la paragenèse des gisements colombiens. En outre, l'absence de granite dans la région et les premières mesures

isotopiques du soufre conduisent les auteurs à rapprocher cet indice des gisements Colombiens. Prospecteurs, à vos marteaux, il y a d'autres "géants" à découvrir dans le monde.

Des émeraudes vieilles et jeunes

Nées dans des contextes géologiques très différents comme nous venons de le voir, les émeraudes sont le témoin de processus orogéniques majeurs intervenant dans l'écorce terrestre au cours de son histoire. Les techniques de datation des minéraux naturels de plus en plus performantes permettent aujourd'hui d'entreprendre des études de géochronologie dans des conditions de fiabilité satisfaisantes. En particulier, les méthodes K-Ar et 40Ar/39Ar, cette der-

nière couplée à une sonde laser (voir La Recherche 1989, N° 209) permettent l'analyse ponctuelle in situ de microinclusions (taille minimum 100 mm). Ces techniques furent utilisées avec succès pour la datation des émeraudes du Brésil et de Colombie.

Les datations effectuées sur les phlogopitites de 4 gisements et 6 indices d'émeraude du Brésil ont mis en évidence deux gammes d'âges, l'une à 2 Ga (1 Ga = 1 milliard d'années), l'autre entre 650 et 500 Ma (1 Ma = 1 million d'années). Une expérience originale a été réalisée pour dater directement les éméraudes du gisement de Carnaíba (Etat de Bahia) au Brésil par la méthode 40Ar/39Ar (Figure 6). L'émeraude contient de grandes quantités

d'argon 40 hérité des formations encaissantes ou des fluides minéralisateurs, ce qui rend ce minéral inapte à la datation directe. Nous avons utilisé les inclusions solides de phlogopite piégées à l'intérieur des cristaux d'émeraude au cours de leur croissance (les fameux "jardins") dont la mesure de l'âge absolu est rendu possible par l'utilisation de la sonde laser couplée à un spectromètre de masse ultrasensible. La comparaison des âges obtenus sur ces microinclusions, dont la taille approche la centaine de microns, avec ceux des cristaux de phlogopite plus gros de la gangue montre une bonne concordance, ce qui autorise la datation de ce gisement à 2 milliards d'années. Cette expérience prouve en outre que dans le cas des "émeraudes de micas", la datation de la gangue permet d'obtenir l'âge de formation de la gemme. Un âge Panafricain (autour de 500 Ma), donc équivalent à l'âge obtenu sur certains gisements brésiliens, aurait été déterminé pour les gisements de Madagascar et de Tanzanie.

La datation des gisements colombiens a été effectuée au moyen des cristaux de muscovite tapissant certaines veines de calcite donc contemporains de la formation des émeraudes. Les âges obtenus permettent de distinguer les gisements de la bordure Est (mines de Chivor), formés à la limite Crétacé - Tertiaire (65 Ma) de ceux de la bordure Ouest (Mines de Coscuez et Muzo) qui naquirent à la limite Eocène-Oligocène (32-38 Ma). Le gisement de Swat au Pakistan a été daté à 23 Ma et les

premières mesures réalisées sur les gisements d'Afghanistan donnent un âge à 28 ± 1 Ma qui reste cependant à confirmer. Le gisement d'émeraude le plus jeune est actuellement celui de Khaltaro au Pakistan, daté à 9 Ma.

Suivant leur provenance, les émeraudes sont donc vieilles ou jeunes sur l'échelle des temps géologiques; ces magnifiques cristaux sont en tout cas les témoins de processus orogéniques majeurs intervenant dans l'écorce terrestre, voire catastrophiques comme par exemple l'extinction des dinosaures synchrone de la formation des émeraudes de Chivor en Colombie.

GEOLOGY OF EMERALD DEPOSITS

by A. Cheilletz

Abstract: Emerald is a very rare paradoxal mineral whom crystallization depends on geological situation involving the meeting of incompatible (beryllium) and compatible (chromium and vanadium) elements. This is made possible through three kinds of situations representing the three types of emerald deposits: (1) deposits associated with acid magmatism. They are the most numerous and all characterized by reaction zones and metasomatic exchanges between differenciated leucogranites pegmatites with mafic or ultramafic wall rocks. Phlogopite represents the characteristic gangue mineral; (2) deposits associated with regional shear zones like Santa Terezinha de Goiás (Brazil) and Swat (Pakistan). Phlogopite, talc, carbonates, fuchsite, tourmaline are the most proeminent

gangue minerals in these deposits. A true connection of these deposits with magmatism is already not demonstrated. TheAfghanistani emerald deposits from the Panshir valley probably belong to this type; (3) deposits confined to black shales as the famous Colombian ones. The biggest deposits (Muzo and Coscuez for instance) will reach the end of their live in a next future. The hydrothermalsedimentary model available now for these unique deposits (see references herein) will be used for their further exploration and exploitation.

A wide range of ages has been obtained for these different types of emerald deposits depending on their regional geological environment. Brazilian deposits are characterized by two sets of ages of formation one at 2 Ga, the second one at 650-500 Ma.

Colombian emeralds are formed at the K/T boundary 65 Ma ago (Chivor deposit), and at the Eocene-Oligocene boundary 32-38 Ma ago (Coscuez and Muzo deposits). The youngest recorded emerald deposits are the Pakistani ones, Swat at 23 Ma and Khaltaro at 9 Ma.

Figure 1 : Geology of emerald deposits in Carnaibá-Brazil

The emerald deposits of Carnaibá are located 400 km NW of Salvador da Bahia. Emerald was discovered in 1963 and is associated with molybdenite (MoS₂). This deposit was the only producer in Brazil since the discovery of Mina Belmont (Minas Gerais). During the 1970-1983 period, the production of emerald reached 294 tons and molybdenite 146 tons. The deposit is presented in map (upper figure) and in cross section (lower figure); it is situated at the contact of the Carnaibá granite with the metavolcanosedimentary series of the Serra de Jacobina greenstone belt and the archaean shield. The numerous little exploitations are situated in the contactmetamorphic halo of the granite, in serpentinite levels. The mode of formation of emerald is called "metasomatism" and is presented schematicaly on figure 2.

Figure 2: Metasomatic mode of replacement during emerald formation in the Carnaibá deposit.

Fluids inducing the transformation of rocks are issued from differenciated leucogranites and pegmatites (today replaced by plagioclasolite) presented at the left-side of the figure. Chemical potential gradients (arrows) give the necessary energy to interchange the different elements from the two rocks. i.e. pegmatite and serpentinite. The result of this process is a replacement mechanism characterized by the formation of a parallel banding of contrasted mineralogical zones symetrically to the plagioclasolite. Emerald precipitated within the phlogopitite and plagioclasolite zones.

Photo 1 : Small exploration tunnel in the Carnaibá de Baxo garimpo in 1992.

Photo 2: Deposits associated with regional shear zones on the example of the Santa Terezinha deposit (Brazil). Emerald has grown within the dark bands corresponding to bed-to-bed replacement of talc-schists by phlogopite and carbonates. The deposit is stratiform.

Figure 3 : Colombian emerald deposits

They are situated in the foothills of the Eastern Cordillera, 150 km NE and N of Bogotá, respectively the Llanos plateau and the Middle Magdalena valley. Only the biggest deposits are indicated in the figure. The spatial association of emerald deposits with salt domes and oil wells is explained by the exeptional and unique mode of formation of the Colombian emerald.

Figure 4: The main chemical reactions involved with the precipitation of gangue minerals in the Colombian deposits. The first reaction is called thermoreduction of sulfates (TRS). The two other ractions produce calcite and pyrite which are in volume the two main gangue minerals.

Figure 5: Geological cross-section of the Quipama exploitation front in the Muzo Mine.

The geological structure presented here is taken from the models developped by Laumonier et al. (1996) for the Muzo and Coscuez mines in the western zone. This structure is organized as tectonic slices within the lower Cretaceous black shales; it constitutes a duplex pile prolongated by a ramp anticline at the western end. Contacts between the different tectonic units (Cn) are

byhighlighted breccia with hydrothermal cement filling up the decollement levels in the black shales. Draining of mineralizing hydrothermal brines along these movement planes is contamporaneous oftectonic movements. This constitutes the originality of the Colombian deposits and a good exploration guide. In this deposit, the central unit (\bar{U}_3) constituted the main emerald reservoir, today almost totally exploited.

Photo 3: The Coscuez open pit in 1995 (Western zone).

The mine operates a slice of carbonaceous black shales (in black on the photo) which represents the main reservoir of the emerald mineralization. This unit is overhung by limestone levels (in yellow) held up by an anticline associated to the Coscuez tear fault which was active during the mineralizing event.

Figure 6: ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Carnaibá deposit (Brazil).

The figure A illustrates the indirect dating of an emerald crystal by ponctual in situ phlogopite inclusions analysis (points 7 to 12) and comparison with gangue crystals (points 2 to 6 and 13, 14). An analysis performed on a single grain of the gangue by step heating (figure B) gives the same result. Direct dating of emerald (point 11 on figure A) is impossible by this method, due to important amounts of argon 40 trapped within the emerald crystal structure.

Bibliographie

Arif, M., Fallick, A.E. and Moo, C.J., 1996. The genesis of emeralds and their host rocks from Swat, Northwestern Pakistan: a stable-isotope investigation. Mineralium Deposita, 31, p. 255-268.

Cheilletz, A., Féraud, G., Giuliani, G. and Ruffet, G., 1993. Emerald dating through ⁴⁰Ar/³⁹Ar step-heating and laser spot analysis of sungenetic phlogopite, *Earth and Planetary Science Letters*, 120, 473-485.

Cheilletz, A., Féraud, G., Giuliani, G. et Rodriguez, C.T., 1994. Time-Pressure and Temperature Constraints on the Formation of Colombian Emeralds: an ⁴⁰Ar/³⁹Ar laser microprobe and fluid inclusion study, *Econ. Geol.*, v.89, p. 361-380.

Cheilletz, A. and Giuliani, G., 1996. The genesis of Colombian emeralds: a restatement, *Mineralium Deposita*, 31, 359-364.

Cheilletz, A, Giuliani, G., Branquet, Y., Laumonier, B., Sanchez, A.J.M., Féraud, G., et Arhan, T., 1996. Datation K-Ar et ⁴⁰Ar/³⁹Ar à 65 ± 3 Ma des gisements d'émeraude du district de Chivor-Macanal : argument en faveur d'une déformation précoce dans la Cordillère orientale de Colombie, *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 324, série II a, p. 369-377.

Cheilletz, A. et Giuliani, G., 1997. Comment se forment les émeraudes. La Recherche 303, Novembre 1997, p. 49-52.

Giuliani, G. Silva, L.J.H.D. and Couto, O., 1990. Origin of emerald deposits of Brazil.. *Mineralium Deposita*, 25, 57-64.

Giuliani, G., Sheppard, S.M.F., Cheilletz, A., et Rodriguez, C.T., 1992. Fluid inclusions and ¹⁸O/¹⁶O, ¹³C/¹²C isotope geochemistry contribution to the genesis of emerald deposits from the Oriental Cordillera of Colombia, C. R. Acad. Sci. Paris, v. 314, série II, p.269-274.

Giuliani, G., Cheilletz, A., Arboleda, C., Rueda, F. et Baker, J., 1995a. An evaporitic origin of the parent brines of Colombian emeralds: fluid inclusion and sulphur isotope evidence, *Eur. Jour. of Min.*, 7, p.151-165.

Giuliani, G., Cheilletz, A. et Vidal, Ph., 1995b. La datation isotopique des gemmes, *Analusis Magazin*e, v. 23, n°1, M34-M37.

Giuliani, G., Cheilletz, A., France-Lanord Ch. et Rueda, F., 1996a. Rôle de la matière organique dans la formation des gisements d'émeraude de Colombie, 16ème Réunion des Sciences de la Terre, Orléans, p. 124, Résumé.

Giuliani, G., Cheilletz, A. et Rueda, F., 1996b. La formation des gisements d'émeraude de Colombie, ORSTOM Actualités, n° 50, p. 18-24.

Giuliani, G., Cheilletz, A, Zimmermann, J.L., Ribeiro-Althoff, A.M., France-Lanord, C. et Féraud, G. 1997a. Les gisements d'émeraude du Brésil: Genèse et Typologie. *Chronique de la Recherche Minière* n° 526, p. 17-61, mars 1997.

Giuliani, G., France-Lanord C., Zimmeramnn, J.L., Cheilletz, A., Arboleda, B., Charoy, B., Coget, P., Fontan, F. Et Giard, D., 1997b. Fluid composition, dD of channel H₂O and d¹⁸O of lattice oxygen in Beryls: Genetic implications for Brazilian, Colombian and Afghanistani emerald deposits. *International Geology Review*, vol. 39, p. 400-424.

Hanni, H.A., 1988. Certitude de la détermination de l'origine des gemmes, revue de gemmologie A.F.G., décembre, n°97, p.4-5.

Kazmi A.H. and Snee L.W., 1989. Emeralds of Pakistan, ,Van Nostrand Reinhold Edit., 269 p.

Laumonier, B., Branquet, Y., Lopès, B., Cheilletz, A., Giuliani, G. and Rueda, F., 1996. Mise en évidence d'une tectonique compressive Éocène-Oligocène dans l'Ouest de la Cordillère Orientale de Colombie, d'après la structure en duplex des gisements d'émeraude de Muzo et Coscuez, C. R. Acad. Sci. Paris, t. 323, série II a, p. 705-712.

Rudowski, L., Giuliani, G. and Sabaté, P., 1987. Les phlogopitites à émeraude au voisinage des granites de Campo Formoso et Carnaíba (Bahia, Brésil), *C. R. Acad. Sci. Paris*, v. 301, série II, p.1129-1134.

Découverte du Chrome et du Béryllium dans l'Émeraude par Nicolas-Louis Vauquelin - 200e Anniversaire

Michel Spiesser¹,², Emmanuel Fritsch ¹,³

🤊 est dans l'émeraude que deux éléments nouveaux furent trouvés en 1798, il y a deux cents ans. Vauquelin, chimiste exceptionnel, trouvera dans l'« émeraude du Pérou» une nouvelle "terre" et un nouveau métal. Il va isoler la glucine (maintenant appelée oxyde de béryllium) dans une aigue marine, établissant en même temps que l'émeraude et le béryl sont une même espèce minérale. Le nouveau métal, le chrome, peu abondant dans l'émeraude, est identique à celui qu'il a découvert l'année précédente dans le plomb rouge de Sibérie (maintenant la crocoïte, une gemme de collectionneur).

Les hommes ont toujours été fascinés par la couleur des gemmes et ont cherché à savoir quel en était le facteur chromogène. Ceci n'a pu être possible que tout à la fin du dix-huitième siècle lorsqu'ils ont eu en main l'extraordinaire outil qu'est l'analyse chimique quantitative dans laquelle A.L. Lavoisier (1743-1794) a eu un rôle prépondérant. Cette méthode expérimentale s'est répandue en Europe et de nombreux chimistes vont l'utiliser tels le français N.L. Vauquelin (1763-1829), l'allemand M.H. Klaproth (1743-1817) et le suédois T. Bergman (1735-1784) pour ne citer que les plus importants.

Nicolas Louis Vauquelin est sans nul doute en France celui qui s'est le plus adonné à l'analyse des minéraux. Sa bibliographie sur ce sujet représente plus d'une centaine de publications. Il a été l'élève de A.F. Fourcroy (1755-1809) lui même collaborateur de Lavoisier. Vauquelin a dirigé un laboratoire où deux éminents chimistes M.E. Chevreul (1786-1889) et L.J. Thénard (1777-1857) ont effectué leurs premiers travaux. Thénard a été en particulier l'aide de Vauquelin dans ses analyses minérales. Vauquelin a analysé en 1798 une aigue marine (1) dans laquelle il a identifié une "terre nouvelle" la glucine. Pour les chimistes de l'époque, tous les minéraux sont des mélanges de terres c'est à dire d'oxydes non réductibles à l'état de métal à cette époque. Du temps de Vauquelin on connaît déjà sept terres à savoir la chaux, l'alumine, la silice, la magnésie, la strontiane, la zircone et la baryte. Dans cette analyse qu'il a effectuée personnellement il a montré tous ses talents d'excellent chimiste. Il n'est pas de ceux qui sous-traitent les travaux : voici ce qu'il dit au début de sa publication :

"L'analyse des minéraux surtout, est une de ces opérations auxquelles on attache peu d'importance et que les chimistes du premier ordre renvoient comme indigne de leur soins, à la manipulation de leurs élèves..."

Cette critique vaut pour le chimiste Bergman qui à Berlin, a conclu dans l'analyse du béryl à la présence seulement de silice, d'alumine et d'oxyde de fer.

Vauquelin va recueillir cette nouvelle terre après fusion alcaline de la pierre broyée en creuset d'argent, suivie d'une dissolution en milieu acide, puis de la précipitation sélective des divers constituants en milieu basique pour finir par des calcinations. L'opération était très délicate car elle supposait d'effectuer des précipitations séparées de l'alumine et de la glucine à des pH relativement voisins, ce qui avec les moyens de contrôle de l'époque démontre une très grande habileté, que n'avait sans doute pas l'élève de Bergman (Vauquelin, 1798a). La composition obtenue par Vauquelin est donnée dans le tableau 1 avec une comparaison par rapport à la formulation idéale de cette espèce minérale $Al_2Be_3Si_6O_{18}$.

Cette analyse montre qu'une partie de l'alumine est restée avec la glucine ce qui est normal, vu les difficultés de séparation de ces composés. La somme des pourcentages d'alumine et de glucine est bien correcte. Il conclura l'article en ces termes :

- 1 Institut des Matériaux de Nantes (CNRS),
- 2 Centre d'Histoire des Sciences François Viète, Université de Nantes
- 3 Service de la Formation Continue, Université de Nantes.

	Pourcentages de Vauquelin	Pourcentages théoriques	Pourcentages de Bergman
Silice	68	71	64
Alumine	15	20	27
Glucine	14	9	
Chaux	2		8
Oxyde de Fer	1		2
TOTAL	100	100	101

Tableau 1 : Comparaison de la composition
chimique d'une aigue marine obtenue par
Vauquelin et Bergman aux valeurs théoriques.
Table 1 : Comparison of the chemical
composition of aquamarine obtained by
Vauquelin and Bergman to theoretical values.

	Pourcentages de Vauquelin	Pourcentages théoriques	Pourcentages de Klaproth
Silice	64,60	71	66,25
Alumine	14,00	19	31,25
Glucine	13,00	9	
Chaux	2,56		
Oxyde de Chrome	3,50	1	
Oxyde de fer			0,50
humidité, matières volatiles	2 environ		
TOTAL	99,66	100	98

- Tableau 2: Comparaison de la composition chimique d'une « émeraude du Pérou » obtenue par Vauquelin et Klaproth aux valeurs théoriques.
- Table 2: Comparison of the chemical composition of an « emerald from Peru » obtained by Vauquelin and Klaproth to theoretical values

"Parmi les résultats que j'ai obtenu de l'analyse de cette pierre, le plus interessant pour les savans étant la découverte d'une terre nouvelle..." (sic)

Ses amis L.B. Guyton de Morveau (1737-1816) et A.F. Fourcroy (1755-1809) lui conseillent de donner le nom de glucine à cette terre, du grec ψλνκνσ doux, vu le goût sucré de ses sels. Rétrospectivement, on peut s'effrayer de cette pratique naïve de goûter les sels. En effet, nous savons aujourd'hui que le béryllium et ses sels sont extrêmement toxiques, entraînant entre autres la bérylliose qui est une forme de cancer qui peut se contracter par respiration des poussières ou ingestion des composés du béryllium. Précisons que les béryls, insolubles dans les conditions usuelles, ne sont pas toxiques. Récemment, la mort du synthétiseur russe Lebedev a été imputée par certains à une intoxication au béryllium. Cependant, Vauquelin était aussi pharmacien, comme beaucoup de chimistes de l'époque, et dans cette profession il est encore habituel de goûter ou sentir les produits.

La découverte de la glucine a fait de Vauquelin le découvreur de l'élément que nous appelons aujourd'hui béryllium et qui jusqu'à un temps récent (les années 1960) a été baptisé le glucinium en

France. Cette année 1998 est donc l'année du bicentenaire de cette découverte.

A cette même époque, Vauquelin essaye de résoudre un problème que lui a soumis un de ses amis le célèbre cristallographe R.J. Haüy (1743-1822) et qu'il expose de la manière suivante (Vauquelin, 1798a):

"Le citoyen Haüy ayant trouvé une conformité parfaite entre la structure, la dureté, la pesanteur du Béril et de l'émeraude, il m'engagea à comparer ainsi ces deux pierres, par les moyens chimiques pour savoir si elles étaient formées des même principes et dans des proportions semblables..."

C'est ainsi qu'il entreprend l'analyse d'une « émeraude du Pérou » (Vauquelin, 1798d). L'analyse confirme l'identité chimique entre émeraude et béryl. Vauquelin met de plus en évidence dans l'émeraude une petite proportion de chrome responsable de la couleur de cette pierre. L'analyse se révèle toujours avec un défaut d'alumine. Loin d'attribuer cette carence à une erreur de mesure, Vauquelin, sûr de la qualité de son travail, explique pour la première fois qu'une partie de l'émeraude est constituée d'une petite proportion "d'humidité et autres matières volatiles" selon ses propres termes. Ces impuretés, l'eau en

particulier, sont encore aujourd'hui souvent oubliées dans les analyses d'émeraude (Stockton, 1984). En effet, les techniques courantes aujourd'hui pour l'analyse chimique des gemmes (microsonde électronique, fluorescence X) ne permettent pas une mesure directe des volatils. Vauquelin a donc d'autant plus de mérite d'avoir fait cette remarque il y a deux siècles.

Le tableau 2 rend compte de son analyse ainsi que de celle du chimiste Klaproth. On notera que ce chimiste très célèbre de l'époque ne détecta pas le béryllium dans l'émeraude.

La quantité de chrome trouvée par Vauquelin est sans doute un peu forte. Les valeurs typiques de concentration de l'oxyde de chrome Cr_2O_3 dans l'émeraude sont comprises entre 0,5 et 2 % (Stockton, 1984). Rappelons que le chrome est l'élément que Vauquelin avait mis en évidence dans l'analyse d'un autre minéral "le plomb rouge de Sibérie" (Crocoïte) en 1797 (Vauquelin, 1798b; Spiesser, à paraître).

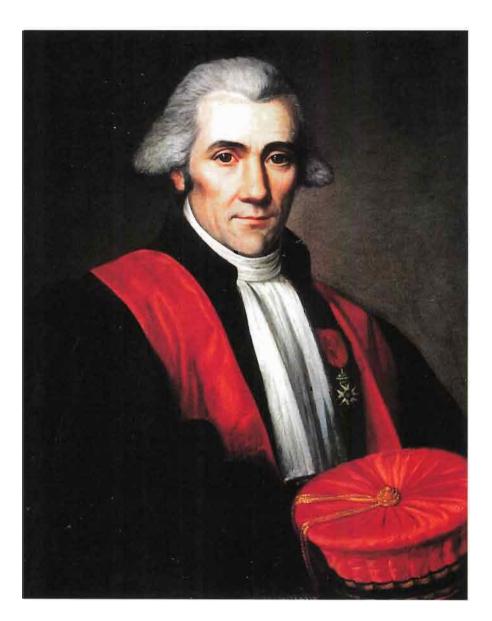
Vauquelin est aussi le découvreur du chrome, du grec κρομα, couleur, qu'il nomme ainsi sur les conseils de Fourcroy et Haüy vu la grande diversité des couleurs des composés qu'il donne à ses nombreux degrés d'oxydation. Vauquelin

■ Fig. 1: Portrait de Nicolas Louis Vauquelin. Bien qu'étant un des meilleurs chimistes de son époque, il est difficile de trouver un portrait de l'homme qui découvrit le béryllium et le chrome dans l'émeraude. Photo reproduite avec l'aimable autorisation de l'Académie Nationale de Pharmacie, Paris. ■ Fig. 1: Portrait of Nicolas Louis Vauquelin. Although he was one of the prominent chemist of his times, it is difficult to find a portrait of the man who discovered beryllium and chromium in emerald. Photo courtesy National Academy of Pharmacy, Paris.

a aussi montré la présence du chrome dans le rubis spinelle (Vauquelin, 1797-1798 &1798c) qui n'est rien d'autre qu'un rubis. Dans ce minéral, le chimiste Klaproth n'avait trouvé qu'alumine, silice et oxyde de fer (Vauquelin, 1798c).

Vauquelin travaillait et publiait beaucoup. Cependant c'était un homme discret, qui faisait peu parler de lui par ailleurs. Par exemple, il est rare de le trouver représenté sur des documents graphiques. La figure I est une reproduction de son portrait dans la galerie de l'Académie Nationale de Pharmacie.

Tous ces résultats font de Nicolas Louis Vauquelin le chimiste qui a montré que le fer est l'agent chromogène de l'aigue marine tandis que le chrome est celui des émeraudes et des rubis. Ses analyses seront très importantes car par la suite elle permettront les synthèses de ces gemmes par les chimistes parisiens à la fin du XIXème siècle (Spiesser, 1996). Il est donc de ce point de vue l'initiateur des émeraudes et rubis synthétiques. Deux cent ans plus tard, ses déductions prouvant un sens très aigu de la chimie fine sont toujours présentes - presque sans modifications - dans les bases de la gemmologie moderne.



Remerciements : Les auteurs remercient M. F. Bourillet de l'Académie Nationale de Pharmacie, Mme. F. Lari de l'Institut des Matériaux de Nantes et les documantalistes de la Médiathèque de Nantes.

The Discovery of Chromium and Beryllium in Emerald by Nicolas Louis Vauouelin: 200th Anniversary

by Michel Spiesser and Emmanuel Fritsch

Abstract: Nicolas Louis Vauquelin (1763-1829) discovered chromium and beryllium in emerald two hundred years ago. He analyzes "emerald from Peru" in 1798 and finds in it a new "earth" (an oxide that in those years could not be reduced to a metal) and a new metal. The new earth is called "glucine" because of its sweet test, and corresponds to beryllium oxide. The metal is chromium, which Vauquelin discovered the previous year in "red lead from Siberia" (the mineral and collector's gem crocoïte).

On a request from Haüy, the founder of modern crystallography, he compares the composition of beryl and emerald. He confirms Haüy's presumption that these two minerals represented the same species.

Vauquelin's analysis is outstanding quality, if one considers that he had only precision scales and his know-how in the very voung science of wet chemical analysis to help him. Vauquelin was a discreet man who did his analyses himself, unlike many of his well-known contemporaries. Perhaps it is why he was able to separate beryllium from aluminum oxide, although these two compounds precipitate at very similar pH values. Bergman and Klaproth, also very famous chemists of the time, found alumina but not glucine" when they had beryl or emerald tested, likely by one of their students (see Table 1 or 2 for comparison). Vauquelin also realized that he was missing approximately 2% of the emerald composition. He knew

this was not due to mistake or uncertainty, and correctly attributed this residue to volatiles (water essentially; see Table 2).

Vauquelin's discovery of the correct chemical composition of emerald had many consequences. It establishes the identity of emerald and beryl. It made clear that chromium was the coloring agent. It enabled the synthesis of beryl and emerald. It prompted the discovery of chromium in other gems such as ruby in the same year 1798.

Bibliographie

Spiesser M. (1996) Naissance de la synthèse des gemmes à la fin du XIXème siècle. Sciences et techniques en perpectives, Vol 34 Centre François Viète, Université de Nantes, Nantes, France. pp. 75-78.

Spiesser M. (1998) L.N. Vauquelin: La découverte de deux nouveaux éléments Le Chrome (1797) le Glucinium (1798). Bulletin de l'Union des Physiciens, à paraître.

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

Vauquelin N. L. (1797-1798) Analyse du rubis spinelle. Journal des Mines, Vol. 7, pp 81-92

Vauquelin N. L. (1798a). Analyse de l'aigue marine ou Beril et découverte d'une terre nouvelle dans cette pierre. Journal des Mines, fascicule XLI, germinal an VI, pp. 553-564.

Vauquelin N. L. (1798b) Mémoire sur la découverte d'un nouveau métal à l'état d'acide et d'oxide dans le plomb rouge de Sibérie, le rubis et l'émeraude, et d'une nouvelle terre dans l'émeraude et le beril" Journal de la société des pharmaciens de Paris pendant l'an VI de la République. pp 174-176

Vauquelin N. L. (1798c) Analyse du rubis spinelle. Annales de la.Chimie, Vol. 27, pp 3-18.

Vauquelin N. L. (1798d) Analyse de l'émeraude du Pérou. Annales de la Chimie, Vol. 26, pp 256-265.

Cristallochimie du Béryl : l'État des Connaissances

Bernard Charoy

Bernard Charoy ENSG et CRPG/CNRS, BP.20, 54501 - Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex

ersonne n'ignore que l'émeraude est la variété verte gemme du béryl (l'aigue marine étant la bleue et l'héliodore la jaune d'or). Et le béryl, de formule Al₂Be₃Si₆O₁₈, est un minéral qui, sans être trés courant, n'est pas une rareté. Il figure, parfois en quantités économiquement importantes, dans la paragenèse de la majorité des différents types de pegmatites dites "évoluées à éléments rares" (Cerny, 1991). Il peut être accessoire dans certains granites évolués (Charoy et Noronha, 1996). La couleur de l'émeraude est la conséquence d'une absorption selective de la lumière, due à Cr3+, métal de transition fortement chromophore et présent à l'état de traces dans le réseau cristallin. Alors pourquoi tant de béryl et si peu d'émeraude? Les deux éléments caractéristiques de l'émeraude, Be et Cr, ont un comportement diamétralement opposé au niveau de la croûte continentale. Certaines des conditions nécessaires à leur "mariage" sont présentées par ailleurs (Cheilletz, ce volume).

La littérature concernant le béryl (ou l'émeraude), son chimisme, sa structure, est pléthorique, et celle intéressant un minéral de structure voisine, la cordiérite (cyclosilicate d'aluminium, fer et magnésium), ne l'est pas moins, et la plupart des conclusions la concernant (notamment le contenu des canaux) peuvent être applicables au béryl même (Armbruster, 1986).

Le bilan présenté ici, sans prétendre être exhaustif, doit être considéré comme un inventaire, aussi complet que possible, des nombreuses recherches qui ont permis d'affiner la cristallochimie et la structure intime du béryl, et donc de l'émeraude.

I - Structure du béryl

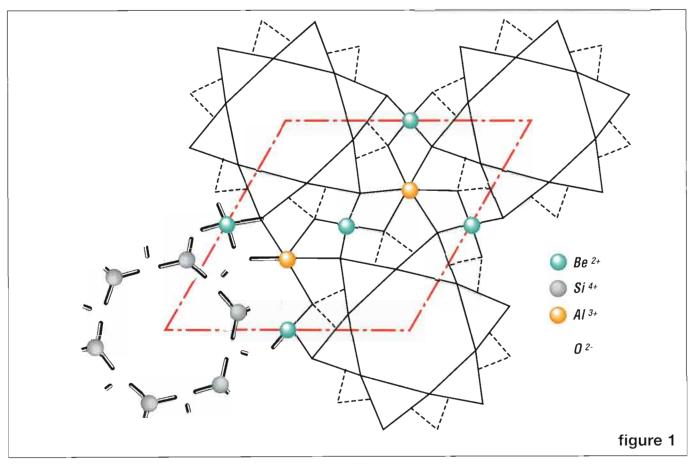
Le béryl cristallise dans le système hexagonal, groupe ponctuel holoèdre 6/mmm (A6/M, 3A'2/3M', 3A"2/3M", C). Les études diffractométriques fines sur monocristaux montrent l'absence des

réflections de type hhl et hol (I impair), confirmant le groupe spatial P6/mcc (Gibbs et al., 1968). La structure du béryl, établie par Bragg et West dès 1926, a été affinée par Gibbs et al. (1968) et détaillée récemment par Artioli et al. (1993). La structure est basée sur l'existence de « colonnes » d'anneaux hexagonaux réguliers à 6 tétraèdres SiO₄, régulièrement superposés normalement à A6, avec une rotation régulière de 30° entre 2 anneaux successifs d'une même colonne. Ces anneaux délimitent de larges canaux ouverts parallélement à 1'A6 (honeycomb structure ou structure en nid d'abeille). Cette structure est donc celle d'un cyclosilicate. Les colonnes sont reliées verticalement et latéralement par des tétraèdres BeO₄ et des octaèdres AO₆ (Al essentiellement), tous 2 distordus. Chaque octaèdre possède 3 arêtes en commun avec 3 tétraèdres BeO4 différents (figure 1).

Deux types d'oxygène doivent être différenciés: O(1) servant à relier les tétraèdres d'un même anneau hexagonal et O(2) formant les sommets des tétraèdres BeO₄ et des octaèdres AlO₆. Be est relié à 4 SiO₄, de même que chaque SiO₄ est relié à 2 SiO₄ et 2 BeO₄. L'ordonnancement des tétraèdres SiO₄ et BeO₄ se fait selon des chaines d'anneaux de 4 membres, agencées parallèlement à A6, avec une parfaite alternance de Si et Be (Gibbs et al., 1968). Al dans le béryl (Al et Cr dans l'émeraude) est relié à 6 anneaux voisins. La formule structurale stœchiométrique du béryl VIAI₂IV(Be₃Si₆)O₁₈, ce qui a fait dire à certains que la structure pourrait être rapportée à celle des tectosilicates (Gibbs et al., 1968). La maille unitaire comprend 4 anneaux superposés d'une même colonne. Les paramètres de maille a: 9,21 Å et c: 9,19 Å sont légèrement différents pour le béryl et l'émeraude, et varient également en fonction de l'état d'hydratation.

Bernard CHAROY, Docteur es sciences, est Maître de conférences à l'INPL (ENSG).

Il est spécialiste des granites hyperévolués et des pegmatites, de leur spécificité métallogénique et des altérations (hydrothermales s.l.) qui leur sont associées. Leur étude est menée à partir d'une minéralogie fine et de l'interprétation des fluides responsables.



■ Figure 1 : La structure du béryl en vue apicale: des anneaux héxagonaux de tétraèdres SiO₄, empilés parallèlement à l'axe C, perpendiculaires au plan de projection (0001) et reliés par Al³⁺ (octaèdre) et Be²⁺ (tétraèdre). Le diamètre relatif des ions a été respecté.

■ Figure 1: The structure of beryl in apical view: hexagonal silicate rings stacked parallel to the C-axis (normal to the drawing) are held together by Al³+ in octahedra and Be²+ in tetrahedra. The radius of ions has been respected.

Les canaux sont à "géométrie variable" selon leur allongement (bottleneck structure): une alternance d'étranglements au niveau des anneaux hexagonaux (site 2b de diamètre 2,8Å) et de domaines + "dégagés" entre les dits anneaux (site 2a de diamètre 5,1Å). Il y a donc 4 sites par maille unitaire: 2 sites 2a aux cotes (0,0,1/4) et (0,0,03/4) et 2 sites 2b aux cotes (0,0,0) et (0,0,1/2), schématisés dans la figure 2. Les 2 sites sont distants de 2,31 Å.

II - Substitutions cationiques dans le béryl

Les substitutions cationiques peuvent être nombreuses et concerner les différents sites structuraux. Les règles à respecter concernent les différences de rayon ionique (ne devant théoriquement pas dépasser 15%, selon la lère règle

cristallochimique de Goldschmidt) et de charge électronique (nécessitant une compensation de charge dans le voisinage immédiat, donc une substitution couplée ou l'introduction d'un cation surnuméraire). La quasi-totalité des béryls naturels et synthétiques ont leurs anneaux tétraédriques saturés par Si. Si le silicium est en excés, Si (0,42Å) va se substituer à Be (0,35Å), malgré l'importante différence de charges qui devra être compensée. La substitution la plus fréquemment rencontrée dans les béryls naturels intéresse le site octaédrique AlO₆ (Al₂O₃ montrant une variation importante: 11,7 à 18,9 % poids): les cations (Me) de taille comparable (Al3+: 0,51Å) les plus fréquemment rencontrés sont Mg2+ (0,65Å) et Fe²⁺ (0,74Å), avec Mn²⁺ (0.80Å), $Cr^{3+}(0.63\text{Å})$, $Fe^{3+}(0.64\text{Å})$, Ti^{4+}

(0,48Å) et V^{3+} (0,74Å) en quantités mineures ou traces (les rayons ioniques sont extraits de Wood et Nassau, 1968). La corrélation Al₂O₃-cations de substitution est excellente, caractérisant les béryls "octaédriques" (Aurisicchio et al., 1988). La déformation de l'octaèdre est relativement importante et cet accroissement entraîne la distorsion des tétraèdres des anneaux voisins. Cr et/ou V sont évidemment les éléments substituants caractéristiques dans les émeraudes. Dans le béryl, la longueur de la liaison Al-O est de 1,903 Å, celle de Cr-O est de 1,972 Å. La diminution du champ cristallin autour du Cr a comme conséquence une modification et un renforcement des domaines d'absorption de la lumière. Les électrons périphériques du Cr, en raison d'un changement d'orbitale, absorbent sélectivement les longeurs d'onde correspondant aux radiations des violet, jaune et rouge (avec dédoublement du spectre dans le rouge à 6800-6830 Å; Wood and Nassau, 1968), les restantes (bleu et vert) correspondant aux fenêtres de transmission. La couleur verte résultante, trés sensible pour l'oeil, est en partie oblitérée par une légère fluorescence dans le rouge. Les bandes de transmission dues à V³⁺ renforcent celles données par le seul Cr³⁺.

Les analyses de béryls naturels montrent souvent un déficit, parfois important, en Be par rapport aux 3 Be de la formule structurale unitaire. Le silicium peut partiellement se substituer au béryllium, mais la bonne corrélation négative Be-Li sous-entend que l'alcalin, malgré un rayon important (0,68Å), remplace préférentiellement Be dans les sites tétraédriques (Aurisicchio et al., 1988). Ce type de substitution caractérise les béryls "tétraédriques". Les paramètres intensifs (pression, température) ont une influence sur l'importance des substitutions. Les substitutions octaédriques sont réduites par l'augmentation de température et de pression. Une augmentation de pression facilite l'entrée du Li à la place du Be. Le paramètre c est directement corrélé à la taille du tétraèdre BeO₄, alors que le paramètre a l'est par les substitutions octaédriques. Le rapport c/a varie en fonction du type de substitution: 0,991-0,997 pour les béryls octaédriques, 0,997-0,999 pour les béryls"normaux" et 1,000-1,003 pour les béryls tétraédriques (Aurisicchio et al., 1988).

Des ions alcalins (Na⁺, Cs⁺ et, dans une moindre mesure, Rb⁺ et K⁺) entrent dans la structure du béryl pour compenser le déficit de charges dues aux substitutions tétraédriques et octaédriques précédentes (Goldman et al., 1978). En raison de leur taille, ils ne peuvent se loger ailleurs que dans les canaux ouverts de la structure. Armbruster (1988) considère ces alcalins comme partenaires nécessaires à des substitutions couplées: Na⁺+Be²⁺ →Al³⁺ ou Na⁺+Li⁺ →Fe²⁺, Mg²⁺.

Tous les béryls, naturels ou synthétiques, présentent une perte au feu non négligeable (volatiles de type H_2O essentiellement et CO_2). Les gaz rares peuvent également être présents à l'état de traces (Damon et Kulp, 1958). Un seul

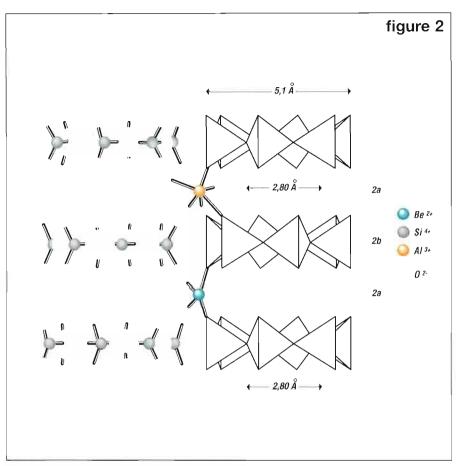


Figure 2: La structure du béryl en vue latérale (perpendiculairement à la figure 1) montrant les 2 types de sites 2a et 2b (intérieur et extérieur des anneaux) des canaux ouverts parallèles à C..

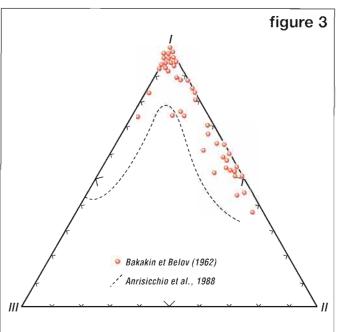
■ Figure 2: The structure of beryl in lateral view (perpendicular to that in figure 1) showing the hexagonal silicate rings and the bottleneck (2b) and open cage (2a) structure.

exemple naturel (béryl rouge d'une rhyolite de l'Utah) s'est révélé entièrement anhydre. La proportion d'eau est variable, jusqu'à 2.5% poids, et généralement entre 0,3 et 0,6 mole H₂O par formule unitaire (calculée pour 6 Si). Cette eau est relativement libre: elle peut être extraite par chauffage et réintroduite. Elle n'est donc pas structurale (radical hydroxyle OH incorporé à la charpente silicatée). Elle a un réel caractère zéolitique et elle est localisée dans les canaux ouverts de la structure. Il est évident que la différence dans la disponibilité spatiale des différents sites dans les canaux (positions 2a et 2b) va être déterminante dans la nature et l'orientation des ions compensateurs et des molécules qui vont y loger et/ou cohabiter. En raison de leur

taille, les molécules vont occuper les sites les plus larges (2a) alors que les alcalins (tout du moins Na) seront "relégués" dans les sites les plus étriqués (2b), comme le confirment les études les plus sophistiquées (diffraction neutronique, carte de densité électronique résiduelle, RMN, etc.).

Aurisicchio *et al.* (1988) ont démontré qu'un béryl naturel peut être considéré comme une solution solide du système ternaire entre les trois termes:

I) Al₂Be₃Si₆O₁₈.zH₂O (béryl stœchiométrique) 2) RfAlMe²⁺Be₃Si₆O₁₈.zH₂O (béryl octaédrique) et 3) RfAl₂Be₂LiSi₆O₁₈.zH₂O (béryl tétraédrique) donc à une formule générale du type



■ Figure 3: Distribution de la composition chimique de béryls dans le diagramme ternaire opposant les 3 types de béryl: normal (I), tétraédrique (II) et octaédrique (III); analyses de Aurisicchio et al., (1988) et de la littérature Balakin et Belov (1962).

■ Figure 3: Ternary diagram based on end members (normal, tetrahedra and octahedral beryls); data from Aurisicchio and al., (1988) and from the literature Balakin and Belov (1962).

Figure 4: Les 3 déformations fondamentales des molécules de H₂O et de CO₂ (la flèche double indique le moment vibratoire résultant).

Figure 4: The 3 fundamental deformations of water and CO₂ molecules (the double arrow indicates the resultant vibration vector).

Le de béryls dans le béryl: normal (I), sicchio et al., (1988)

members (normal, jurisicchio and al.,

(Rf)_{x+y}Al_{2-x}Me_xBe_{3-y}Li_ySi₆O₁₈.zH₂O, avec Rf correspondant aux alcalins logés dans les canaux (figure 3). Le maximum possible d'alcalins dans les sites 2b de la structure impose les limites suivantes: 0 <x+y< 1 et 0 <z<2-x-y. Les valeurs les plus fréquentes trouvées pour z sont comprises entre 0,3 et 0,6 (pfu) et sont > 0,5 pour la somme x+y.

Pour Staatz et al., (1965) et Cerny (1975), la composition du béryl (en termes de substitutions) dépendra étroitement de la composition, donc du degré de différenciation de la pegmatite dans laquelle il est présent.

III-Volatiles structuraux dans les canaux du béryl

L'étude par spectroscopie infra-rouge (IR) de la distribution de H₂O et CO₂ dans les canaux du béryl a fait l'objet d'une littérature abondante (références dans Charoy *et al.*, 1996). Il est depuis longtemps reconnu 2 types de moles H₂O, appelées types 1 et II, selon l'orientation de leur axe de symétrie par

rapport au plan (0001), celui des anneaux tétraédriques: respectivement, type I avec le vecteur H-H parallèle et type II perpendiculaire à l'axe du canal (Wood and Nassau, 1967 et 1968).

L'importance relative et la localisation de H₂O et CO₂ peuvent être approchées par la microspectroscopie IR in situ, sur sections minces cristallographiquement orientées, respectivement parallèles et perpendiculaires à l' A6 d'allongement. L'utilisation d'un polariseur tournant permet de connaître le type et l'orientation des molécules vibrantes par rapport aux éléments cristallographiques (Charoy et al., 1996). Schmetzer and Kiefert (1990) ont mené une approche statistique par spectroscopie IR sur différents lots d'émeraudes: 75 naturelles, 13 synthétiques par voie hydrothermale, 15 synthétiques par la méthode du flux. La méthode choisie, parce que peu gourmande en matériel (0.5 mg de poudre), était celle des pastilles au KBr. Le prélèvement de microéchantillons sur les faces convenablement répertoriées

permet, dans une certaine mesure, de palier l'inconvénient de la forte polarisation du béryl. Le domaine 3500-3800 cm⁻¹, correspondant aux bandes d'élongation de H2O, a été systématiquement étudié. Trois bandes principales d'absorption ont été discriminéés, appelées respectivement: A (3694 cm⁻¹), B (3592 cm⁻¹) et C (3655 cm⁻¹). La bande A correspond à l'eau de type I non liée aux alcalins, les bandes B et C à l'eau de type II liée aux alcalins : la bande B correspondant à la séquence H2Oalcalin-H2O, la bande C à la séquence H₂O - alcalin - □. L'existence et l'intensité relative de ces bandes peut être statistiquement corrélée à un type génétique d'émeraude. Cinq groupes ont ainsi été définis, correspondant à des conditions de croissance spécifiques: synthétiques ou naturelles, présence ou non d'alcalins dans le milieu de croissance, etc.... Il existe une bonne corrélation positive entre la teneur en alcalins (surtout Na) et l'intensité des bandes B et C. Aurisicchio et al., (1994)

H₂O Type I

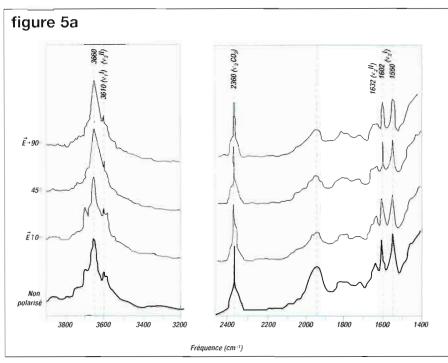
H₂O Type II

 V_3 CO_2

arrivent à des conclusions identiques: le type II devient dominant au fur et à mesure de l'augmentation des substitutions, donc de la nécessité d'ions alcalins comme compensateurs de charges. Par contre, il apparaitrait que les spectres des béryls contenant majoritairement les alcalins K, Rb ou Cs ne présentent que la bande A, et sont donc identiques à ceux présentés par les béryls pauvres ou dépourvus d'alcalins (prédominence du type I). La présence de Li entraîne un léger shift des maxima des bandes d'absorption, par rapport au seul Na.

Dans les canaux, le site 2a, à la cote (0,0,1/4) étant trop large pour stabiliser durablement une mole de H2O de type I en son centre, il est donc raisonnable de supposer une faible liaison hydrogène entre la mole H2O et un des 6 O (donc 6 orientations possibles équivalentes) de l'anneau (Gibbs et al., 1968). La majorité de études IR ont montré qu'il existe une bonne relation, voisine de 2:1, entre H₂O de type II et le contenu en alcalins. La conclusion en serait que chaque cation alcalin est flanqué de 2 molécules H2O, afin de compléter son polyèdre de coordination à 8O, les 6 autres étant les O pontants des anneaux tétraédriques (figure 6). Cet H₂O de type II, à cause de son moment dipolaire, sera moins mobile que l'autre type, en raison de cette liaison privilégiée avec l'alcalin central. Ce serait la raison pour laquelle ce type de H₂O est libéré à plus haute température (Aines et Rossman, 1984). Pour une simple raison d'encombrement, la molécule de CO₂ (5 Å) ne peut se loger que transversalement par rapport au canal.

Les différents types et modes de vibration de la molécule de H₂O: élongation symétrique v1, déformation v 2, élongation assymétrique v 3, et v 3 de la molécule de CO₂, ainsi que les modes de vibration résultant sont schématisés dans la figure 4. Elle permet d'apprécier la participation relative des types I et II, en fonction de l'orientation de la section cristalline (parallèle ou normale à A6) et de celle du vecteur électrique incident (Charoy et al., 1996). L'orientation du vecteur électrique permettra donc d'activer les vibrations qui seront en phase avec lui :



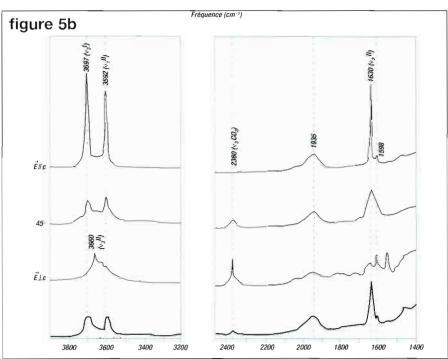
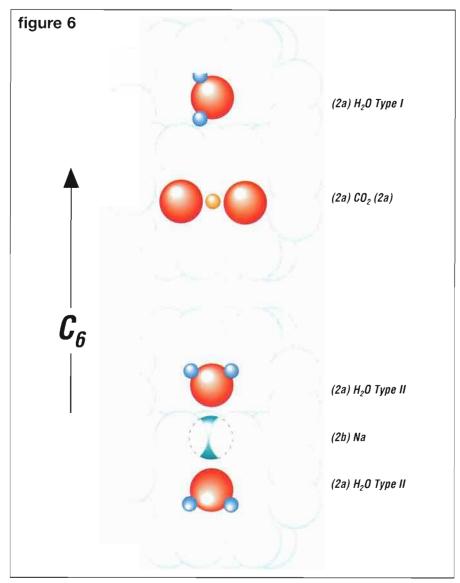


Figure 5 : Evolution des spectres IR (absorbance vs fréquence) obtenus sur 2 sections perpendiculaires d'un cristal de béryl, en fonction de l'orientation du vecteur électrique incident E. a) parallèle à C; b) perpendiculaire à C.

Figure 5: Evolution of infrared spectra (absorbance vs. wavenumber) from 2 perpendicular sections of a beryl crystal, according to the orientation of the incident electric vector E. a) parallel to C; b) normal to C.



■ Figure 6 : Schéma de la configuration du canal central d'un béryl montrant la localisation des 2 types de H₂O, du CO₂ et des ions alcalins (l'axe C est vertical). (modifié de Armbruster, 1986)

■ Figure 6: Schematic drawing of the channel configuration of a beryl showing the location of the 2 types of water molecules, CO₂ and alkalis (the C axis is vertical). (modified from Armbruster, 1986).

$$\begin{split} \vec{E}_{\text{I/C6} \rightarrow \text{v1}^{\text{II}} + \text{v2}^{\text{II}} + \text{v3}^{\text{I}}} \\ \vec{E}_{\text{LC6} \rightarrow \text{v1}^{\text{I}} + \text{v2}^{\text{I}} + \text{v3}^{\text{II}} + \text{v3}^{\text{CO}_2}} \end{split}$$

Les spectres d'absorption, dans les domaines de vibrations caractéristiques, ont été obtenus avec un microspectromètre Bruker IFS 88 à transformée de Fourier. La figure 5 montre ces spectres réalisés sur 2 sections perpendiculaires d'un béryl purement hydrothermal pauvre en alcalin provenant de l'Etat de Goiás, Brésil. Les longueurs d'onde des différentes bandes d'absorption et leur attribution sont reportées dans le tableau 1, où elles sont comparées à celles de la littérature. Leurs intensités respectives à 3698 et 3653 cm⁻¹ sont très voisines pour les 2 types de H₂O, ce qui signifie qu'elles sont en proportion quasiidentique (0,99 et 0,92 % poids). Du moins dans cet exemple, la relation Na-2H₂O de type II, si fréquemment invoquée (Hawthorne et Cerny, 1977; Sherriff et al., 1991), n'est pas vérifiée. La localisation du CO2 est définitivement tranverse au canal, et à priori, sans orientation privilégiée dans le plan (0001). Aucun pic à 3700 cm⁻¹, assigné au radical hydroxyle OH par Manier-Glavinaz et al. (1989) n'est exprimé. La présence possible de OH dans les canaux est d'ailleurs, pour une question de balance de charge électronique, fortement contestée par Sherriff et al., (1991), bien que reprise par Aurisicchio et al., (1994). La figure 6 schématise la structure du béryl, vue parallèlement à l'axe C. Elle montre 3 étranglements (site 2b) du canal central, ainsi que les probables localisations des 2 types de molécules de H2O, de l'alcalin et de la molécule de CO₂.

Cette technique de microspectroscopie IR in situ et à polarisation variable, a permis d'effectuer des profils transervaux sur des échantillons d'émeraudes colombiennes. Il apparait que, dans certains cas, H₂O et CO₂ sont anti-corrélés et dessinent une nette zonation cœur-bordure (B. Sabot, communication personnelle).

Comme affirmé dans l'introduction, cet "état des lieux" des études concernant le béryl s'est voulu aussi complet que possible. Par contre, il n'a pas été fait état des expériences à basses et hautes

températures (Aines et Rossman, 1984; Brown et al., 1986), dont les résultats confirment ceux enregistrés en conditions normales. L'approche particulière à haute température sera abordée par ailleurs (Zimmermann, ce volume).

		Wood and Nassau (1968)	Schmetzer et Kiefert (1990)	Charoy et al. (1996) in situ	Charoy et al (1996) KBr
	ν1	3555		3647-3610	3629
H ₂ O typel	ν2	1542		1602-1550	1605
	ν3	3694	Α	3697	3698
	ν1	3592	В	3592	3597
H ₂ O typell	ν2	1628		1637-1630	
,,	ν3	3655	С	3660	3654
CO ₂	ν3	2353		2360	2361

■ Tableau 1: Principales bandes de vibration ■ Main absorption bands for both types of obtenues pour les 2 types de H₂O et CO₂. Comparaison avec les données de Wood et Nassau (1968) et Schmetzer et Kiefert (1990). Kiefert (1990).

H₂O and for CO₂. Comparison with data from Wood and Nassau (1968) and Schmetzer et

Extended abstract

by Bernard Charoy

Emerald is the green, gem-quality variety of beryl Al₂Be₃Si₆O₁₈. Beryl is a relatively common accessory mineral in many pegmatites whereas emerald remains a rarity. The reason is because Be and Cr, both characteristic of the emerald chemistry, have an antagonistic behaviour in the crust. The literature concerning beryl is abundant and the aim of this paper is to summarize most of the recent research on refinements about its structure and crystal chemistry.

The structure of beryl

The crystal structure of beryl consits of stacked six-membered rings of Si tetrahedra parallel to (0001), crosslinked by Be tetrahedra and Al octahedra to form six-membered ring channels which may host alkalis and H₂O and CO₂ molecules. Be is linked to 4 Si and Al to 6 rings. The symmetry of beryl is hexagonal holoedral and space group P6/mcc and belongs to the cyclosilicate structural group. The cell parameters (4 rings along the C axis) are a: 9.21 to 9.29 Å and c: 9.19 to 9.24 A, according to the chemistry and hydration. 2 different sites are available in the channels: 2a position (the larger) between the six-membered rings and 2b position at the center of each ring. There are 4 sites by cell.

Cationic substitutions

Cationic substitutions are the rule in beryl. The main substitutions concern divalent and Li ions for Al in octahedral and Be in tetrahedral sites. Variations in Al2O3 contents are important: from 11.7 up to 18.9 wt %. Fe2+ and Mg2+ are the main isomorphous ions introduced in place of Al. The good correlation between Al and divalent cations characterizes "octahedral" beryls. The correlation between Li+ and Be²⁺ characterizes "tetrahedral" beryls. c/a ratios vary systematically with the type of substitution, allowing the definition of 3 beryl series which present a compositional gap. Both substitutions need the entry of alkali (mainly Na or Cs) into the channels. Loss of ignition is variable and results from the occurrence of water and CO2 molecules

in channels. Both are mobile and can be extracted by heating. Water is of zeolitic type.

Volatile molecules in channels

Two types of water molecules are discriminated, according to the orientation of their H-H vector: typeI parallel and typeII perpendicular to the channel axis. The infrared spectra of both types of water can be recognized from the specific frequencies of the fundamental molecular vibrations. The typeII will be rotated 90° by the action of a nearby alkali ion on the molecular electric dipole. Weak hydrogen bonds between H₂O molecules and alkali are certainly created to allow the alkali to complete its coordination polyhedron. This is the reason why type II water will be expelled at higher temperature.

Références

Aines, R.D., and Rossman, G.R. (1984) The high temperature behavior of water and carbon dioxide in cordierite and beryl. American Mineralogist, **69**, 319-327.

Armbruster, T. (1986) Role of Na in the structure of low-cordierite: a single-crystal X-ray study. American Mineralogist, **71**, 746-757.

Artioli, G., Rinaldi, R., Stahl, K., and Zanazzi, P.F. (1993) Structure refinements of beryl by single-crystal neutron and X-ray diffraction. American Mineralogist, **78**, 762-768.

Aurisicchio, C., Fioravanti, G., Grubessi, O., and Zanazzi, P.F. (1988) Reappraisal of the crystal chemistry of beryl. American Mineralogist, **73**, 826-837.

Aurisicchio, C., Grubessi, O., and Zecchini, P. (1994) Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group. Canadian Mineralogist, **32**, 55-68.

Bakakin, V.V., and Belov, N.V. (1962) Crystal chemistry of beryl. Geochemistry, 5, 484-500.

Brown, G.E., Jr., and Mills, B.A. (1986) High-temperature structure and crystal chemistry of hydrous alkali-rich beryl from the Harding pegmatite, Taos County, New Mexico. American Mineralogist, **71**, 547-556.

Cerny, P. (1975) Alkali variations in pegmatitic beryls and their petrogenetic implications. Neues Jahb. Mineral. Abh., 123, 198-212.

Cerny, P. (1991) Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. Geoscience Canada, **18/2**, 49-67.

Charoy, B., and Noronha, F. (1996) Multistage growth of a rare-element, volatile-rich microgranite at Argemela (Portugal). Journal of Petrology, **37**, 73-94.

Charoy, B., de Donato, P., Barres, O. and Pinto-Coelho, C. (1996) Channel occupancy in an alkali-poor beryl from Serra Branca (Goiás, Brazil): spectroscopic characterization. American Mineralogist, **81**, 395-403.

Damon, P.E., and Kulp, J.L. (1958) Excess helium and argon in beryl and other minerals. American Mineralogist, **43**, 433-459.

Gibbs, G.V., Breck, D.W., and Meagher, E.P. (1968) Structural refinements of hydrous and anhydrous synthetic beryl, $Al_2(Be_3Si_6)O_{18}$ and emerald $Al_{1.9}Cr_{0.1}(Be_3Si_6)O_{18}$. Lithos, 1, 275-285.

Goldman, D.S., Rossman, G.R., and Parkin, K.M. (1978) Channel constituents in beryl. Physics and Chemistry of Minerals, 3, 225-235.

Hawthorne, F.C. and Cerny, P. (1977) The alkali-metal positions in Cs-Li beryl. Canadian Mineralogist, **15**, 414-421.

Manier-Galvinaz, V., Couty, R. and Lagache, M. (1989) The removal of alkalis from beryl: structural adjustments. Canadian Mineralogist, 27, 663-671.

Schmetzer, K. and Kiefert, L. (1990) Water in beryl-a contribution to the separability of natural and synthetic emeralds by infrared spectroscopy. Jl. Gemm., **22/4**, 215-223.

Sherriff, B.L., Grundy, D.H., Hartman, J.S, Hawthorne, F.C., and Cerny, P. (1991) The incorporation of alkalis in beryl: Multi-nuclear MAS-NMR and crystal structure study. Canadian Mineralogist, **29**, 271-285.

Staatz, M.H., Griffiths, W.R., and Barnett, P.R. (1965) Differences in the minor element composition of beryl in various environments. American Mineralogist, **50**, 1783-1795.

Wood, D.L., and Nassau, K. (1967) Infrared spectra of foreign molecules in beryl. Journal of Chemical Physics, 47, 2220-2228.

Wood, D.L., and Nassau, K. (1968) The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy. American Mineralogist, **53**, 777-800.

Vers une Carte d'Identité Isotopique ¹⁸O/¹⁶O des Émeraudes Naturelles et Synthétiques

Gaston Giuliani ^{1,2}, Christian France-Lanord ², Pierre Coget ², Dietmar Schwarz ³, Franck Notary ⁴, Alain Cheilletz ^{5,2}, Marc Chaussidon ², Didier Giard ⁶, Daniel Piat ⁶, Pierre Bariand ⁷

- 1 : ORSTOM, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Paris, France.
- 2 : CRPG-CNRS, UPR 9046, BP20, 54501 Vandœuvre-lés-Nancy Cedex, France.
- 3 : Gübelin Gemmological Laboratory, Maïhofstrasse 102, 6000 Lucerne 9, Suisse.
- 4 : GemTechLab, 2 rue de Chantepoulet, 1201 Genève, Suisse.
- 5 : ENSG-INPL, Vandoeuvre-lés-Nancy, France.
- 6 : Association Française de Gemmologie,
- 48 rue du Fg de Montmartre, 75009 Paris, France.
- 7 : Université Pierre et Marie Curie,
- 4 Place Jussieu, 75230 Paris cedex 5, France.

L'expertise d'authenticité de l'émeraude

A l'aube du XXIème siècle, la confirmation de la matière, de la couleur et de l'origine géographique et géologique de l'émeraude reste une préoccupation majeure pour le gemmologue. L'expertise d'authenticité est confrontée d'une part, à l'absence de caractéristiques exclusives pour les émeraudes et d'autre part, à l'ingéniosité de l'homme à produire de manière industrielle une grande variété de cristaux synthétiques. L'expertise doit aussi affronter les problèmes posés par les mélanges de pierres d'origines différentes, survenus au cours des stades successifs de leur commercialisation ou cumulés dans les trésors anciens comme ceux de la Banque Markazi à Téhéran ou de Topkapi à Istanbul.

Les méthodes simples et non destructives d'authentification de la matière et de la couleur d'une émeraude (polariscope, dichroscope, réfractomètre, spectromètre à main,...) sont parfois insuffisantes pour distinguer une émeraude naturelle, d'une émeraude traitée ou d'une émeraude synthétique. Pour résoudre ces problèmes, il est nécessaire d'utiliser des techniques analytiques sophistiquées et coûteuses telles que résonnance magnétique nucléaire, spectrométrie à Effet Raman ou infra-rouge, fluorescence X (Analusis, 1995). Cependant, aucune de ces méthodes n'est suffisante et seulement leur convergence peut permettre la détermination de l'origine de la gemme.

L'absence d'une base de données intégrant l'ensemble des propriétés physiques, chimiques, cristallographiques et minéralogiques des émeraudes naturelles dont l'origine géographique est certifiée par le géologue ou le gemmologue, rend l'expertise des pierres brutes et taillées difficile. Cependant, on

ne doit pas perdre de vue que pour un même gisement, une émeraude peut changer de couleur, de transparence ainsi que de propriétés physiques. La notion de propriété exclusive, c'est-à-dire excluant toute autre possibilité d'origine. demeure l'argument recherché par l'expert. A titre d'exemple, les inclusions fluides à cubes de halite des émeraudes colombiennes (Sinkankas et Read, 1986) sont considérées comme uniques; cependant, des inclusions similaires sont désormais décrites pour les émeraudes d'Afghanistan (Bowersox et al., 1991; fig. 1), du Nigeria (Schwarz et al., 1996) et de Gravelotte en Afrique du Sud (Nwe et Morteani, 1993). Par conséquent, l'expert doit prendre garde aux propriétés caractéristiques trouvées dans une gemme et, pour avancer sur la connaissance approfondie de l'émeraude, il devra faire appel parfois à des moyens de recherche performants, capables d'identifier des traceurs atomiques et moléculaires nécessaires à l'authentification.

Cet article traite de l'utilisation des méthodes d'analyses isotopiques appliquées à l'émeraude. Les analyses consistent à mesurer les rapports des isotopes stables les plus abondants de l'oxygène (18O/16O), élément majeur de l'émeraude, sur un spectromètre de masse à source gazeuse. L'analyse des isotopes stables de l'oxygène est une méthode quantitative et destructive qui conduit à l'élaboration d'une carte d'identité isotopique ¹⁸O/¹⁶O de l'émeraude. Les rapports permettent isotopiques d'identifier l'origine de la plupart des émeraudes de qualité supérieure rencontrées sur le marché international ou de reconnaître les émeraudes synthétiques de type fondant anhydre et de type hydrothermal. L'analyse de nombreuses émeraudes, de provenances variées, nous a permis d'établir une carte isotopique mondiale. Grâce à la technique destructive, nous avons pu

A PROPOS DE L'AUTEUR

Gaston Giuliani, Docteur de l'INPL de Nancy, habilité à diriger des Recherches, est Chargé de Recherche à l'ORSTOM et détaché au CRPG-CNRS. De 1986 à 1991, il a abordé l'étude des gisements d'émeraude et d'or au Brésil et à partir de 1998, celle des gisements d'émeraude de Colombie dans le cadre d'un projet CEE. Spécialiste de l'étude des concentrations métallifères et des gemmes, il s'intéresse à la nature et à l'origine des fluides ainsi qu'aux intéractions fluides-roche à partir des inclusions fluides et des isotopes stables.

calibrer l'analyse isotopique de l'oxygène sur une sonde ionique CAMECA IMS 1270 à multicollection au CRPG (CNRS de Vandœuvre). Cette technique permet d'analyser directement la surface d'une gemme en ne creusant qu'un minuscule cratère de quelques microns de diamètre et de quelques dizaines d'angström de profondeur. Compte tenu des limites du pouvoir séparateur de l'oeil, cette méthode non destructive est applicable à la gemmologie.

Les émeraudes naturelles et synthétiques : où se localisentelles et pourquoi ?

L'émeraude, variété chromifère et vanadifère du béryl, de formule idéale Be₃Al₂Si₆O₁₈, est plus rare que le diamant et peut avoir une valeur commerciale mille fois supérieure à celle de l'or. La Colombie est le premier producteur mondial d'émeraude. De 1990 à 1995, le volume de gemmes colombiennes exportées a été de 23 millions de carats, soit environ 60% de la production mondiale (Mineralco, 1996). Les autres producteurs sont la Zambie (15%), le Brésil (10%), la Russie (5%), Madagascar (3%), le Zimbabwe (2%) et d'autres pays (5% dont l'Afghanistan et le Pakistan). Les émeraudes de Colombie sont estimées pour leur qualité exceptionnelle au même titre que celles d'Afghanistan, de Zambie et de Russie.

Les émeraudes naturelles se rencontrent dans deux types de gisements (fig. 2; Cheilletz et Giuliani, 1997; Giuliani et al., 1997a, b, c):

(1) celui associé classiquement à des pegmatites qui recoupent des roches mafiques-ultramafiques (parfois des roches sédimentaires) contenant les éléments chrome et vanadium (Sinkankas et Read, 1986; Schwarz, 1987; Kazmi et Snee, 1989; Giuliani et al., 1997a, b). L'émeraude se concentre dans des phlogopitites ou dans des plagioclasites qui résultent, respectivement, de la transformation simultanée de la roche mafique-ultramafique et de la pegmatite par la percolation d'un fluide hydrothermal (ou métasomatose hydrothermale; fig. 3);

(2) celui lié à la circulation de fluides hydrothermaux dans des zones de faille, de cisaillement ou de chevauchement, qui réagissent avec des roches mafiquesultramafiques ou sédimentaires.

Dans les deux types de gisements, les bilans chimiques de la métasomatose des roches mafiques-ultramafiques montrent généralement un apport par le fluide, d'alcalins et d'éléments comme AI, Si, K, Rb, Be, Nb, Cs, F, CI, P, S et un lessivage de Mg, Ca, Cr, V, Th, Terres Rares (Martin-Izard et al., 1995; Laurs et al., 1996; Giuliani et al., 1997a, b). Les fluides appartiennent au système chimique H_2O - (NaCl-CaCl₂) - [(Fe, Mg) Cl₂ \pm KCl] - CO₂ \pm (N₂-CH₄) et leur salinité est comprise entre 1 et 38% poids équivalent NaCl (Giuliani et al., 1997a; Zimmermann et al., ce volume).

Les procédés de base permettant la

synthèse d'émeraudes artificielles sont de deux types (figs. 3 et 4 ; Sinkankas et Read, 1986; Robert, 1987, 1989 ; Schwarz, 1987):

(1) l'un utilise les méthodes des fondants anhydres ("flux process") à des températures comprises entre 600 et 1200°C et à pression ambiante, notamment par évaporation (procédés Hautefeuille, Lennix), par transfert lié à un gradient de température (procédé Gilson par exemple), par réaction chimique (procédé Igmerald) ou par refroidissement lent;

(2) l'autre utilise la méthode hydrothermale en autoclave ("hydrothermal process"), à des pressions comprises entre 0,7 et 4,5 kbars et à des températures comprises entre 400 et 600°C. Ce procédé de synthèse qui fait réagir un fluide, à dominante aqueuse, avec un minéral (béryl ou émeraude) se rapproche des conditions physicochimiques rencontrées pour la formation des émeraudes naturelles (fig. 3).

L'émeraude et l'oxygène : Les isotopes de l'oxygène

L'oxygène est le constituant chimique le plus abondant de la croûte terrestre et le constituant majeur de l'émeraude (Charoy, ce volume). En effet, l'oxygène structural représente 45 poids% ou 65 atome% du minéral. L'oxygène possède trois isotopes stables, respectivement ¹⁶O 99,756 %, ¹⁷O = 0,039 %, ¹⁸O = 0,205 %, qui sont caractérisés par des différences de masse

- Fig. 1. La propriété exclusive d'une gemme illustrée par les inclusions fluides triphasées à cube (s) de halite : Emeraude de Colombie ou d'Afghanistan ? (A) - Emeraude de Coscuez (Colombie). Photo G. Giuliani; (B) - Inclusion fluide primaire piégée par une émeraude de Coscuez (v: phase vapeur, I: phase liquide, h: cristal de halite, s: cristal de sylvite, o : minéral opaque). Photo H. Conge; (C) : inclusion fluide triphasée d'une émeraude d'Oriente (Mine de Chivor, Colombie). Photo H. Conge; (D) - Cavité d'inclusion fluide contenant un précipitat de halite (h). Emeraude de Cincho (Mine de Muzo, Colombie). Photo réalisée au Microscope Electronique à Balayage (MEB) par A. Kholer (Université Henri Poincaré, Vandœuvre); (E) - Cavité d'inclusion fluide contenant des précipitats de sels notamment de halite (h) et de sylvite (s). Emeraude du Panjshir (Mine de Kendj Siakholo, Afghanistan). Photo MEB, A. Kholer; (F) - Cavité d'inclusion fluide contenant des précipitats de halite (h) et de sylvite (s). Emeraude de Tequendama (Mine de Muzo, Colombie). Photo MEB, A. Kholer; (G) - Cristaux de sylvite (s) et de halite (h) contenus dans des cavités d'inclusions fluides. Emeraude de Qalat (Afghanistan). Photo MEB, A. Kholer.
- Fig. 1. The exclusive property of a gem as illustrated by the threephase halite-bearing fluid inclusions. Colombian or Afghanistani emerald ? (A) - Coscuez emerald (Colombia). Photo G. Giuliani; (B) -Primary fluid inclusion trapped by an emerald of Coscuez (v : vapor phase, I: liquid phase, h: halite crystal, s: sylvite crystal, o: opaque mineral). Photo H. Conge; (C): Three-phase fluid inclusion from Oriente (Chivor mine, Colombia). Photo H. Conge; (D) - Fluid inclusion cavity containing a precipitate of halite (h). Cincho emerald (Muzo mine, Colombia). SEM microphotograph by A. Kholer (Henri Poincaré University, Vandœuvre); (E) - Fluid inclusion cavity containing precipitates of salts as halite (h) and sylvite (s). Panshir emerald (Kendjt Siakholo mine, Afghanistan). SEM Photo, A. Kholer; (F) - Fluid inclusion cavity containing precipitates of halite (h) and sylvite (s). Tequendama emerald (Muzo mine, Colombia). SEM Photo, A. Kholer; (G) - Sylvite (s) and halite (h) contained in fluid inclusions cavities. Khalat emerald (Afghanistan). SEM Photo, A. Kholer.

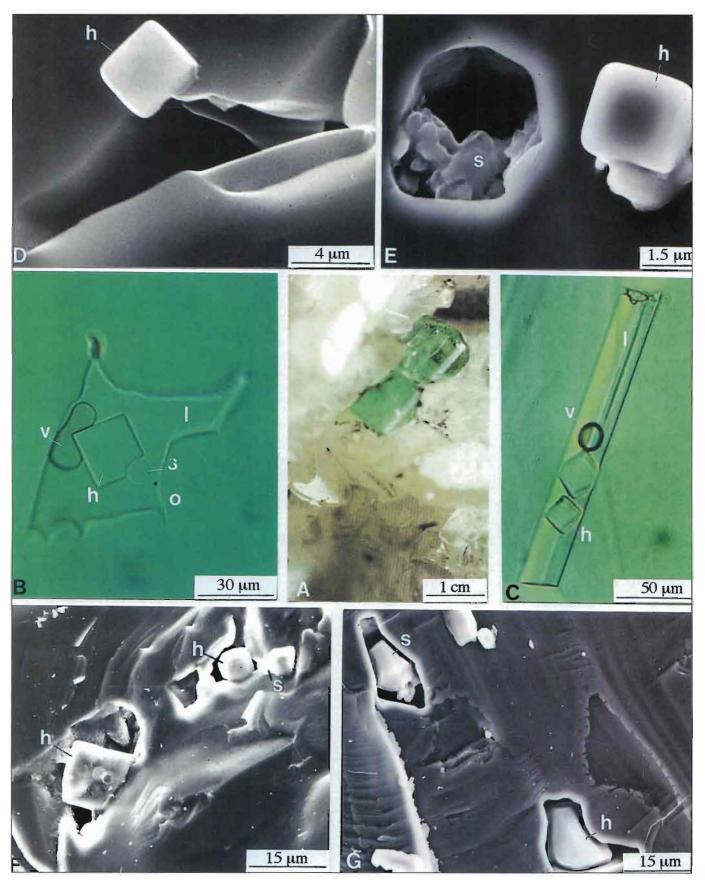
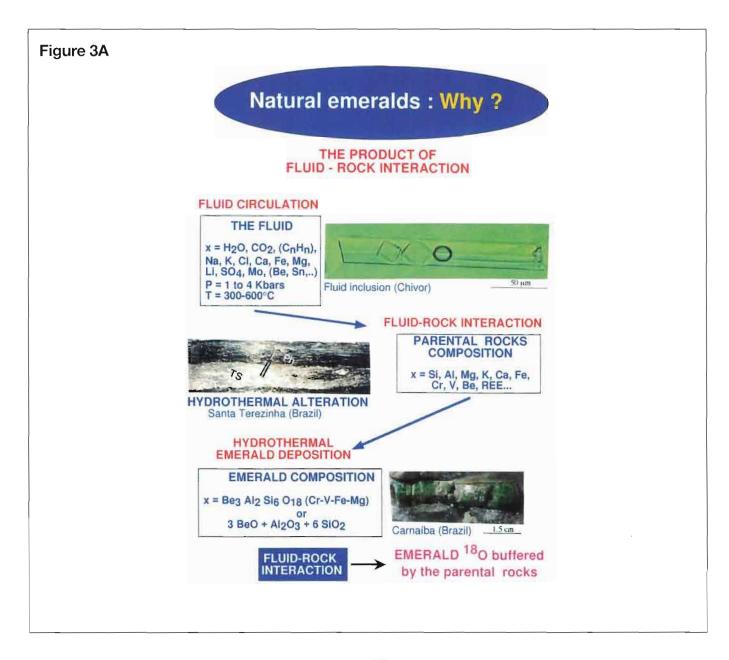
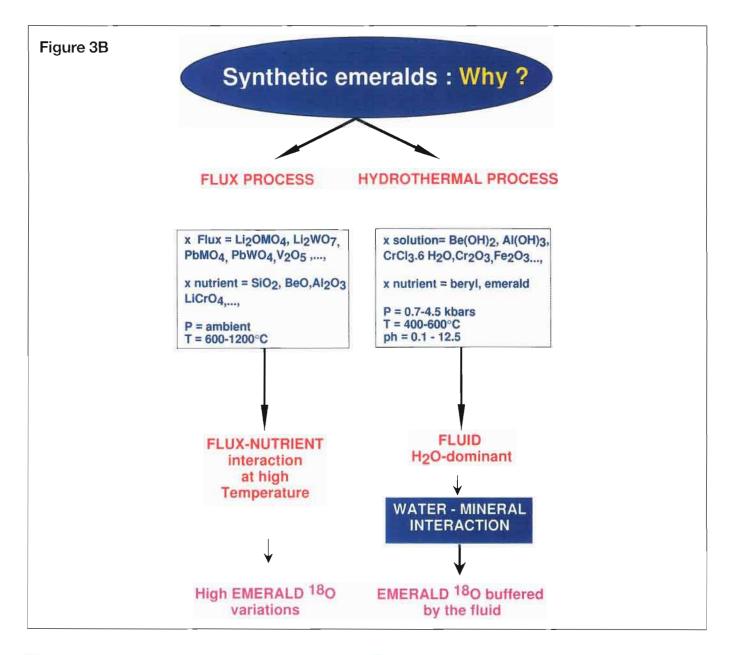


Figure 1



- Fig. 3. Les processus de formation des émeraudes naturelles et synthétiques.
- (A) Les émeraudes naturelles résultent d'une interaction fluide-roche. Le fluide originel est contenu dans les cavités d'inclusions fluides piégées par les cristaux d'émeraude (photo d'une inclusion triphasée colombienne). L'étude physico-chimique de ce fluide nous informera sur ses conditions de piégeage (pression et température) et sa composition (tableau). La roche percolée par le fluide a subi une altération hydrothermale illustrée par l'exemple du gisement de Santa Terezinha au Brésil (photo) où les talc-schistes (TS) sont transformés en phlogopitites (Ph). Les éléments chimiques apportés par le fluide ou extraits de la roche (Al, Si, K, Mg, Fe, Be, Cr, V, F, Cl,...) se combinent, sous les conditions P-T de circulation du fluide, et favorisent la cristallisation de l'émeraude dans la zone d'altération hydrothermale. La composition isotopique en oxygène de l'émeraude est contrôlée par celle de la (es) roche (s) hôte (s), avec un rapport fluide/roche peu élevé.
- Fig. 3. The formation processes of natural and synthetic emeralds. (A) Natural emeralds result from a fluid-rock interaction. The parent fluid is contained within primary fluid inclusions cavities trapped by emerald (photo of a colombian three-phase fluid inclusion). The physico-chemical study of the fluid allows to establish the P-T conditions of its entrapment and to define its composition (table). The infiltrated rock has suffered an hydrothermal alteration as illustrated by the Brazilian Santa Terezinha de Goiás deposit where the talc-schists (TS) were converted into phlogopitites (Ph). The chemical components carried by the fluids or leached out from the rocks (Al, Si, K, Mg, Fe, Be, Cr, V, F, Cl,...) combined together, at the P-T conditions of the fluid circulation, for the crystallization of emerald within the alteration zone. The oxygen isotopic composition of emerald is buffered by that of host rocks (condition of low fluid/rock ratio).



■ Fig. 3. Les processus de formation des émeraudes naturelles et synthétiques.

(B) - Les émeraudes synthétiques de type hydrothermal résultent d'une interaction fluide (eau dominante) - minéral. Ce processus se rapproche de celui des émeraudes naturelles. Cependant, la composition isotopique en oxygène de l'émeraude est contrôlée par celle du fluide (rapport fluide/minéral très élevé).

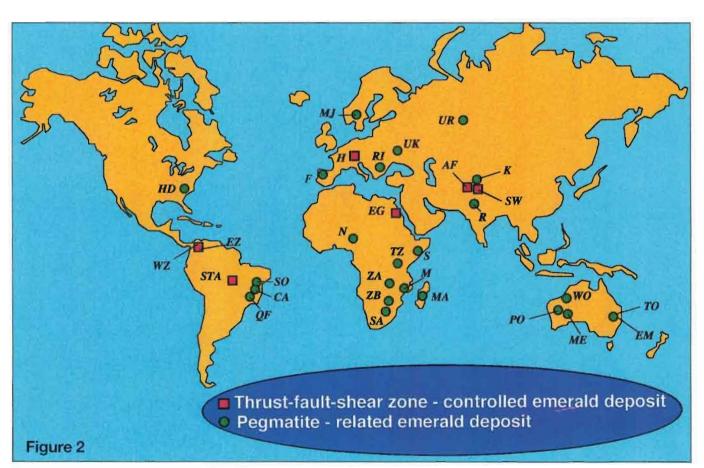
Les procédés de fabrication des émeraudes, de type fondant anhydre, utilisent généralement des oxydes à base de lithium et de molybdène qui ont la propriété d'abaisser la tension de vapeur, le point de fusion du système et assurent une cristallisation limpide de l'émeraude. Ces métaux notamment le molybdène sont très souvent exprimés sous la forme de molybdénite (MoS₂) dans les gisements d'émeraude de type pegmatite. Cette corrélation entre produits de synthèse artificielle utilisés et association minérale naturelle émeraude-molybdénite, montre qu' au cours de leur premières synthèses, Ebelman (1848) puis Hautefeuille et Perrey (1888) avaient utilisé sans le savoir des paramètres indispensables à la formation des émeraudes naturelles.

■ Fig. 3. The formation processes of natural and synthetic emeralds. (B) - Hydrothermal synthetic emeralds result from a fluid (water dominated) - mineral interaction. The formation process looks like that of natural emeralds. Nevertheless, the oxygen isotopic composition of emerald is buffered by that of the fluid (condition of high fluid/mineral ratio). Flux-process emerald manufacturing process uses generally lithium and molybdenum oxydes which lower the vapor tension, the melting point of the system and assume the purity of the emerald crystals. In natural emerald systems, molybdenum is found as molybdenite (MoS_2) within the pegmatite type emerald deposits. The correlation between the use of Mo-oxyde flux and the natural association emerald-molybdenite, shows that Ebelman (1848) then Hautefeuille and Perrey (1888), had used fortuitously some chemical parameters which exist for the crystallisation of natural emeralds.

importantes. On peut rappeler que les isotopes d'un même élément chimique possèdent le même numéro atomique Z (même nombre de protons dans leur noyau) mais une masse atomique A différente (nombre de neutrons différent). Les rapports isotopiques de l'oxygène 17O/16O et 18O/16O sont proportionels dans tout le système solaire et sont indépendants de l'âge du matériau considéré (homogénéisation des éléments d'où l'appelation d'isotopes stables). La composition isotopique, rapport d'abondance d'un isotope lourd (et rare: 18O) sur un isotope léger (et abondant: 16O) est généralement exprimée par l'écart « δ » (exprimé en pour mille, %) entre les rapports isotopiques de l'échantillon et d'un standard, soit : $\delta^{18}O = [^{18}O/^{16}O_{\text{échantillon}}/^{18}O/^{16}O_{\text{standard}} - 1] \times 1000$

Pour l'oxygène, le standard international correspond à l'eau de mer moyenne et est appelé SMOW (Standard Mean Ocean Water). Ainsi, un échantillon qui possède un δ¹⁸O de +10‰ est enrichi en ¹⁸O de 10‰ par rapport au standard. A titre d'exemple, les compositions isotopiques des roches granitiques, des roches mafiquesultramafiques et des calcaires sont comprises respectivement, entre +7 et

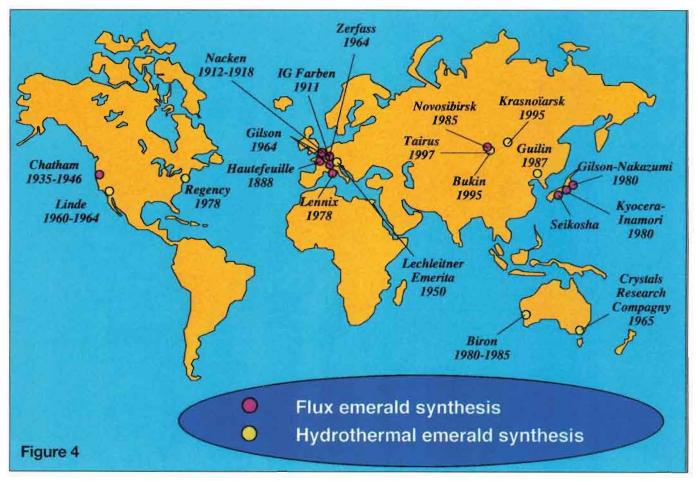
+13%, +5,5 et +8%, +20 et +30%. La différence relative de masse entre deux isotopes (quelques pour cent), fait que lors de réactions chimiques ou de changements de phase, ils ne se transfèrent pas toujours équitablement entre les produits de départ et d'arrivée. Ce fractionnement isotopique obéit aux lois thermodynamiques d'équilibre isotopique et dépend essentiellement de la température.



■ Fig. 2. Localisation des gisements d'émeraude dans le monde. ■ Fig. 2. Location of emerald deposits in the world.

<u>United-States</u> - Hiddenite (HD); <u>Colombia</u> - western emerald zone (WZ) : Muzo, Coscuez, Yacopi, Peña Blanca; - eastern emerald zone (EZ) : Chivor, Gachalá; <u>Brazil</u> - Carnaíba (CA), Socotó (SO), Santa Terezinha (STA), Quadrilátero Ferrifero (QF); <u>Norway</u> - Eidswoll-Mjosa-See (MJ); <u>Austria</u> - Habachtal (H); <u>Spain</u> - Franqueira (F); <u>Ukrain</u> (UK);

Bulgaria - Rila (RI); Russia - Urals (UR); Pakistan - Swat-Mingora (SW), Khaltaro (K); Afghanistan - Panjsher (AF); India - Rajasthan (R); Egypt - Djebel Sikaït (EG); Nigeria - Kaduna (N); Tanzania - Sumbawanga (TZ); Somalia (S) - Zambia - Miku (ZA); Mozambique - Morrua (M); Zimbabwe - Sandawana (ZB); South Africa - Leydsdorp (SA); Madagascar - Morafeno (MA); Australia - Wodgina (WO), Poona (PO), Menzies (ME), Emmaville (EM), Torrington (TO).



■ Fig. 4. Localisation de la fabrication d'émeraudes synthétiques ■ Fig. 4. Location of synthetic emeralds manufacturing since 1888. depuis 1888.

Méthodes d'analyse des isotopes de l'oxygène structural de l'émeraude

Deux techniques différentes sont utilisées pour l'analyse de l'oxygène :

(1) la première est destructive et correspond à la méthode classique d'extraction décrite par Clayton et Mayeda (1963). L'émeraude est placée sous vide dans un tube à réaction de nickel. L'échantillon est oxydé à chaud par un excés gazeux de pentafluorure de brome (BrF₅). La réaction libère la totalité de l'oxygène structural qui est ensuite transformé en gaz carbonique sur un barreau de graphite porté à une température de 750°C. Le gaz est purifié et mesuré au manomètre avant d'être collecté dans un tube échantillon. La composition isotopique du gaz carbonique est analysée sur un spectromètre de masse à gaz et la reproductibilité

des mesures est de 0,2%.

(2) la seconde en cours de développement est considérée comme non destructive. Elle utilise une sonde ionique IMS 1270 qui permet de mesurer directement sur une surface polie (pierre facetée par exemple) la composition isotopique de l'échantillon. L'émeraude est placée sous vide et elle est bombardée par un faisceau d'ions primaires (source césium) dont la focalisation détermine le diamètre de la zone analysée (de 0,2 à 400 mm). Les molécules arrachées à l'échantillon (quelques microns de diamètre et quelques dizièmes de microns de profondeur) sont triées par des secteurs électrostatique et magnétique puis analysés par des détecteurs qui comptent l'intensité des différentes masses. La sonde ionique possède 7 détecteurs d'ions lesquels permettent de mesurer plusieurs isotopes en parallèle et de se rapprocher de la précision analytique des spectromètres de masse classiques.

La carte d'identité isotopique ¹⁸O/¹⁶O des émeraudes naturelles

Les valeurs des $\delta^{18}O$ obtenues sur les émeraudes provenant de 62 indices et gisements sont compris entre +6,2 et +24,7%. Pour chaque gisement, les valeurs des δ18O sont cohérentes et représentatives depuis l'échelle d'une veine minéralisée jusqu'à celle d'un district minier. En effet, pour le gisement colombien d'Oriente (District minier de Chivor), la variation enregistrée sur 12 cristaux d'émeraude, prélevés dans une même veine à carbonates, ne dépasse pas 0,4%. De même, à l'échelle du district minier de Carnaíba au Brésil, les variations enregistrées pour les émeraudes provenant de 7 mines distinctes sont insignifiantes ($\delta^{18}O = +9.0 \pm 0.1\%$, n=7 mines). D'autre part, les quelques valeurs déjà publiées sur les émeraudes du Brésil (Fallick et al., 1994), de Swat et de Khaltaro au Pakistan (Arif et al., 1996; Laurs et al., 1996a) sont identiques à celles présentées dans cet article. L'ensemble de ces résultats montre que le $\delta^{18}O$ mesuré sur chaque cristal constitue une signature caractéristique de l'origine de l'émeraude.

Trois groupes de valeurs des δ^{18} O peuvent être distingués (fig. 5; Giuliani et al., 1998):

- (1) le premier groupe, compris entre +6,2 et +7,9‰, est défini par les émeraudes brésiliennes du Quadrilatère Ferrifère (gisements d'Itabira-Mina Belmont et de Capoeirana, Etat du Minas Gerais), d'Autriche (Habachtal), d'Australie (Poona) et du Zimbabwe (Sandawana);
- (2) le second groupe, défini par l'intervalle +8 à +12‰, concerne la plupart des gisements étudiés, notamment ceux de Zambie (Miku), Tanzanie (Sumbawanga), Russie (Oural), Madagascar (Morafeno), Pakistan (Khaltaro), Inde (Rajhastan) et Brésil (Carnaíba et Socotó);
- (3) le troisième groupe, caractérisé par des valeurs en δ^{18} O supérieures à +12‰, inclut les gisements de Colombie, de Terezinha Santa de (Brésil; $\delta^{18}O = +12.2 \pm 0.1\%$, n=4), d'Afghanistan (Kendj, Kalat, Gujari, Shabaki; $\delta^{18}O = +13.5 \pm 0.1\%$, n=5) et du Pakistan (district de Swat-Mingora; $\delta^{18}O = +15.7 \pm 0.1\%, n=9$). En Colombie, les émeraudes de la zone orientale (districts de Gachalá et de Chivor) possèdent des δ18O plus légers $(\delta^{18}O = +16.8 \pm 0.1\%, n=27)$ que ceux de la zone occidentale (districts de Muzo, Coscuez, Peña Blanca, Yacopí; δ¹⁸O = $+21.2 \pm 0.4\%$, n=17). En définitive, les δ^{18} O des émeraudes de ce troisième groupe sont très contrastés et les intervalles de valeur distincts (fig. 5). Ainsi, leur rapport ¹⁸O/¹⁶O peut être utilisé comme une propriété exclusive d'authentification.

La carte d'identité isotopique ¹⁸O/¹⁶O des émeraudes synthétiques

Les rapports isotopiques ¹⁸O/¹⁶O obtenus sur les émeraudes synthétiques permettent de distinguer sans ambiguité les cristaux fabriqués suivant le procédé

de type "flux" et ceux issus du procédé hydrothermal (fig. 6). Les valeurs des $\delta^{18}O$ des émeraudes de type "flux" sont comprises entre +4,0 et +19,7‰. A l'exception des émeraudes de fabrications Chatham ($\delta^{18}O=+12,9\pm0,3\%$, n=3), Zerfass ($\delta^{18}O=+9,25\pm0,05\%$, n=2) et Hautefeuille et Perrey ($\delta^{18}O=+19,7\pm0,02\%$, n=3), les valeurs isotopiques des autres types d'émeraude sont très fluctuantes. Ainsi, les émeraudes Lennix possèdent des $\delta^{18}O$ compris entre +4,0 et +8,8‰ (n=2), Gilson-Nakazumi entre +12,2 et +17,6‰ (n=3) et Inamori entre +7,6 et +12,95‰ (n=3).

Les valeurs des δ^{18} O des émeraudes de type hydrothermal sont négatives et comprises entre -9,0 et -0,95%. L'émeraude Regency, fabriquée à Pompton Lakes dans le New-Jersey (EUA), a une valeur de -1,6%. Les émeraudes synthétiques russes possèdent des valeurs des δ¹⁸O très légères, notamment celles fabriquées à Novosibirsk e.g., Tairus $(\delta^{18}O = -2, 1)$, Bukin $(\delta^{18}O = -0.95\%)$ et une Bidulite (aigue-marine synthétique hydrothermale dont le germe est une émeraude du même procédé; δ¹⁸O = -9,0%), et à Krasnoïarsk par exemple Krasno ($\delta^{18}O = -6.3\%$). Les émeraudes de fabrication Biron, synthétisées à Perth en Australie, possèdent un $\delta^{18}O$ de -5,0%. Les rapports isotopiques ¹⁸O/¹⁶O des différentes émeraudes hydrothermales analysées ne présentent pas de recouvrement de valeurs. Cependant, un nombre d'analyses complémentaires pour chaque procédé de fabrication est fiécessaire pour définir précisement l'intervalle de valeurs des $\delta^{18}O$ de ces émeraudes.

La carte d'identité isotopique ¹⁸O/¹⁶O des émeraudes et ses applications

Application à la géologie et à la géochimie des gemmes

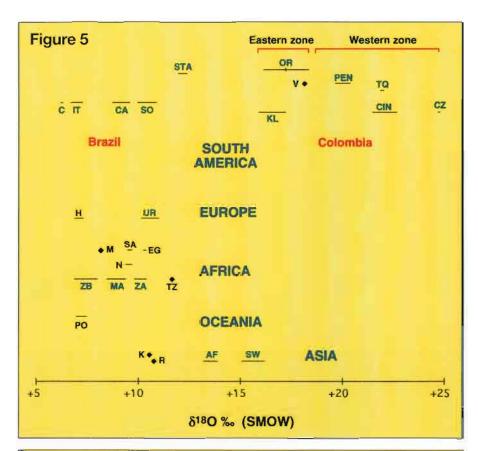
a) Ce travail a permis d'établir une carte de distribution des $\delta^{18}O$ de la plupart des indices et de tous les gisements repertoriés dans le monde (fig. 7). Les différentes valeurs des $\delta^{18}O$ obtenues sur les émeraudes résultent de l'interaction entre un fluide et une roche; la percolation du fluide hydrothermal s'effectuant suivant des plans structuraux préférentiels de la roche (faille, chevauchement, cisaillement, épontes des filons de pegmatite,...). Les roches percolées

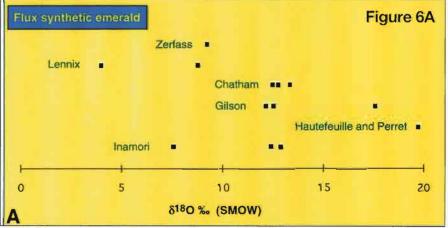
par les fluides possèdent des signatures isotopiques contrastées (pegmatite, roche mafique-ultramafique, roche sédimentaire) qui ont tendance à modifier la composition isotopique du fluide hydrothermal. Cette modification est dépendante de l'intensité de l'interaction fluide-roche, de la composition isotopique initiale des phases dissoutes et de la température du fluide.

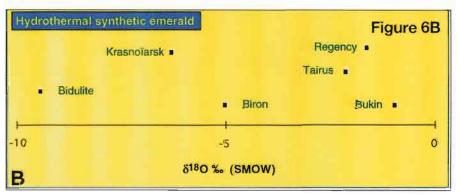
Les deux premiers groupes de valeurs des $\delta^{18}O$ (+6,2 < $\delta^{18}O$ < +12%) correspondent aux émeraudes provenant des gisements de type pegmatite (exceptés ceux d'Autriche et d'Egypte), encaissés dans des roches mafiquesultramafiques. Les $\delta^{18}O$ obtenus recouvrent les intervalles des $\delta^{18}O$ définis pour les roches mafiguesultramafiques (+5,0 < δ | 80 < +8%; Kyser, 1986) et les granites ($+5.5 < \delta^{18}$ O < +13‰; Sheppard, 1986). Ils signifient que la composition isotopique de l'oxygène du fluide hydrothermal a été tamponnée par celle de la roche encaissante où s'est formée l'émeraude, avec un rapport fluide-roche faible (Fallick et al., 1994; Giuliani et al., 1997c; 1998).

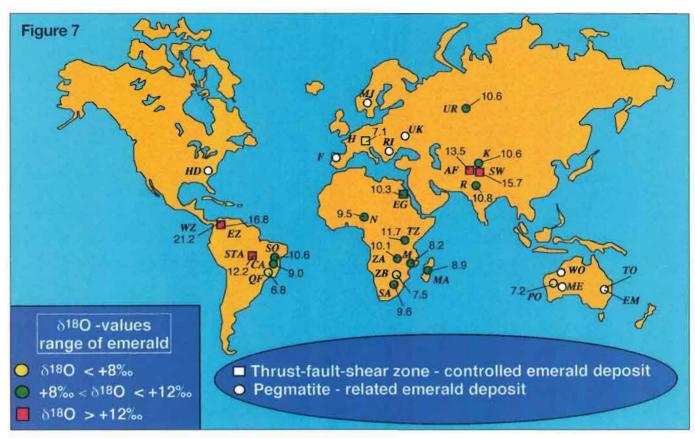
Le troisième groupe de valeurs (δ^{18} O > +12‰) correspond aux gisements dissociés des pegmatites mais reliés à la circulation de fluides dans des zones de faille. L'émeraude est contenue dans des roches qui ont des valeurs élevées en ¹⁸O comme par exemple, les talc-schistes carbonatés de Santa Terezinha de Goiás $(\delta^{18}O \text{ talc} = +10.8\%)$, les schistes à magnésite et talc de Swat (δ18O magnésite = +17,9%), les schistes noirs et les carbonates de Colombie (δ18O schistes noirs: $+16.2 < \delta^{18}O < +19.3\%$; δ^{18} O carbonates = +21,6%) et les roches sédimentaires d'Afghanistan. Les valeurs élevées des δ18O indiquent aussi un échange isotopique important entre le fluide hydrothermal et les réservoirs métamorphique ou sédimentaire enrichis en ¹⁸O. Pour les gisements d'Autriche (Habachtal) et d'Egypte (Djebel Sikaït), les encaissants sont des roches mafiquesultramafiques (serpentinites) qui ne sont pas spécialement enrichies en ¹⁸O (+5,0 $<\delta^{18}O<+8\%$); de ce fait, les émeraudes possèdent des valeurs comprises entre +7.1 et +10.3%.

- Fig. 5. Intervalles de valeur des δ^{18} O (‰ SMOW) obtenus sur différents indices et gisements d'émeraude. Les gisements qui produisent des émeraudes de qualité supérieure sont représentés en bleu.
- Fig. 5. δ^{18} O-values range of emerald for different occurrences and deposits. Asia: Pakistan - Swat (SW), Khaltaro (K); Afghanistan - Panjsher with the deposits of Kendjt, Khalat, Gujari, Shabaki (AF); India -Rajasthan (R). Oceania: Australia: Poona (PO). Africa: Egypt - Djebel Sikaït (EG); Nigeria - Kaduna (N); Tanzania Sumbawanga (TZ); Zambia - Miku (ZA); Mozambique - Morrua (M); Zimbabwe -Sandawana (ZB); South Africa - Leydsdorp, Cobra pit (SA); Madagascar - Morafeno (MA). Europe : Austria - Habachtal (H); Russia -Urals, Malysheva (UR). South America: Brazil - Quadrilátero Ferrífero (QF) with the deposits of Capoeirana (C) and Itabira-Belmont mine (IT), Carnaíba district (CA), Socotó (So), Santa Terezinha (STA); Colombia - western emerald zone: Muzo mines with Tequendama (TQ) and Cincho (CIN), Coscuez (CZ), Peña Blanca (PEN) - eastern emerald zone : Chivor district with the mines of Oriente (OR) and Klein (KL), Gachalá district with the mine of Vega San Juan (V). The deposits that produce emeralds of exceptional quality are listed in blue.
- \blacksquare Fig. 6. Valeurs des $\delta^{18}O$ (‰ SMOW) obtenues sur les émeraudes synthétiques de type fondant anhydre et de type hydrothermal.
- Fig. 6. δ18O-values range of flux and hydrothermal synthetic emeralds.









naturelles. Identification des gisements d'émeraude dans le monde Identification of the world's emerald deposits according to the variation suivant la variation des rapports isotopiques 180/160 moyens de l'émeraude (δ¹8O, ‰ SMOW). Voir la légende de la Fig. 2 pour la See caption of Fig. 2 for the location of emerald deposits. localisation des gisements.

■ Fig. 7. La carte d'identité isotopique ¹80/¹60 des émeraudes ■ Fig. 7. The ¹80/¹60 isotopic identity card of natural emeralds. of the average isotopic ¹⁸O/¹⁶O ratio of emerald (δ¹⁸O, ‰ SMOW).

Une application fondamentale des données isotopiques est la compréhension de la genèse des gisements d'émeraude. Les valeurs des δ^{18} O, couplées aux températures de formation de l'émeraude, nous permettront de discuter et parfois de déterminer, sans ambiguïté, l'origine (magmatique e.g., fluide issu d'un granite ou d'une pegmatite en cours de cristallisation; métamorphique e.g., fluide crustal superficiel ou profond voire mantellique) du fluide hydrothermal à partir duquel l'émeraude a cristallisé en équilibre (exemple des études réalisées sur les gisements de Swat au Pakistan par Arif et al. (1996); de Carnaíba et de Santa Terezinha au Brésil, de Colombie et d'Afghanistan par Giuliani et al. (1997c). b) Les valeurs des $\delta^{18}O$ des émeraudes synthétiques permettent de distinguer aisément les deux procédés de fabrication utilisés par l'industrie :

(1) Le procédé qui utilise des fondants anhydres possède des valeurs de $\delta^{18}O$ positives. L'émeraude résulte de l'utilisation de différents fondants (oxydes de molybdène et de lithium, de pentaoxyde de vanadium, de chromate ou de métaborate de lithium,...; Robert, 1989) qui sont contenus dans un creuset en platine. Dès la sursaturation du fondant anhydre, la cristallisation de l'émeraude par nucléation s'amorce et l'utilisation de lamelles cristallines de béryl ou d'émeraude (Procédé Gilson par exemple) qui servent de germe, permettent la croissance de monocristaux. La valeur en δ18O de l'émeraude synthétique dépendra des échanges isotopiques, à haute température (600 à 1200°C), entre les différents oxydes utilisés, du béryl (qui doit avoir une composition isotopique de béryl granitique soit +9,8 < $\hat{\delta}^{18}$ O < +11,5%; Taylor et al., 1992; Giuliani et al., 1997c) ou de l'émeraude nourriciers. Les fluctuations en $\delta^{18}O$ des émeraudes mises en évidence pour chaque procédé de fabrication e.g., Gilson-Nakazumi 5,4%; Lennix 4,4%, Inamori 5,4% montrent que soit les solvants, soit les fondants, béryls ou émeraudes utilisés, ont été modifiés ou changés au cours des différentes productions industrielles (entraînant des variations de la composition isotopique de l'émeraude au cours du temps). Nous pouvons avancer également l'hypothèse que fluctuations en ¹⁸O de l'émeraude peuvent être tout simplement dues à des variations des conditions expérimentales. En effet, une variation de la température de cristallisation peut favoriser l'apparition d'autres phases minérales que l'émeraude comme par exemple des aiguilles de phénacite, du quartz et de la phénacite, du béryl (phénomène péritectique); ces cristallisations provoquent

des fractionnements isotopiques de l'oxygène et par conséquent une fluctuation des valeurs isotopiques. A titre d'exemple, ce type d'inclusions solides est souvent observé dans les émeraudes de fabrication Lennix (Gübelin, 1987).

(2) Les émeraudes de synthèse hydrothermale analysées ont des valeurs en ¹⁸O négatives. L'émeraude est fabriquée dans un autoclave à des températures comprises entre 400 et 600°C et des pressions comprises entre 0,7 et 4,5 Kb (Schmetzer et al., 1997). Le constituant chimique majeur de l'expérimentation est l'eau (du robinet) et les différentes matières premières peuvent être le quartz, l'émeraude, les oxydes d'alumine et de chrome, le chlorure de chrome ainsi que des minéralisateurs comme le fluor et le chlore (Robert, 1989). Les conditions de croissance des émeraudes hydrothermales se rapprochent de celles des émeraudes naturelles. En effet, les différentes matières premières sont dissoutes par la solution hydrothermale aqueuse (importance du pH de la solution, de la présence d'une phase vapeur, gradient de température) et la dissolution des éléments (Si, Al, Be) se réalise dans les parties les plus chaudes de l'autoclave alors que la cristallisation s'effectue dans les parties moins chaudes. L'émeraude pousse alors à partir d'un germe cristallin disposé dans l'autoclave.

Ce processus de dissolution et cristallisation est à priori comparable aux processus mis en évidence dans les colonnes métasomatiques à mica noir (phlogopite) et émeraude du Brésil (Rudowski, 1989; Giuliani et al., 1997a, b) où les matières premières (feldspath, quartz, béryl et chromite) contenues dans la roche mafique-ultramafique et la pegmatite, sont redissoutes par un fluide hydrothermal, et redéposées dans des zones hydrothermales appelées "colonnes métasomatiques". La zonation de ces roches néoformées contenant l'émeraude est le résultat de fronts d'échanges chimiques entre le fluide et les minéraux de la roche dissoute (gradients chimiques) et de gradients de température.

Cependant, contrairement aux émeraudes naturelles, la composition isotopique en oxygène de l'émeraude synthétique est tamponnée par l'eau hydrothermale et non par la composition de la roche ou des minéraux de la roche hôte. En effet, les valeurs négatives des $\delta^{18}O$ doivent être reliées aux compositions isotopiques négatives des eaux utilisées dans la fabrication des émeraudes. Les villes de Novosibirsk et de Krasnoïarsk en Sibérie ainsi que celle de Pompton Lakes dans le New Jersey, ont des eaux météoriques marquées par des $\delta^{18}O$ très légers et compris entre -10 et -6‰. De même, des valeurs négatives doivent être attendues pour les émeraudes chinoises, l'eau de Guilin (Guangxi) possédant des $\delta^{18}O$ compris entre -6 et -4‰.

Cette différence majeure entre l'émeraude naturelle et celle de synthèse hydrothermale peut s'expliquer en considérant la formation de l'émeraude dans l'espace et dans le temps :

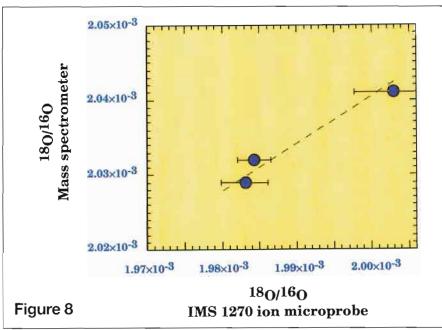
 dans la nature, le moteur des éléments, qui s'échangent entre le fluide et la roche en déséquilibre, est le mouvement du fluide (gradient de pression fluide). Les zones de remplacement de la roche sont exprimées si les solutions percolent suffisament lentement la roche à travers un système de pores intergranulaires (notion d'équilibre chimique local entre les constituants chimiques de la solution et du solide; Korzhinskii, 1970). L'oxygène du fluide initialement pauvre en ¹⁸O (si par exemple, le fluide est d'origine météorique ou marine) s'enrichit progressivement en oxygène par la recherche d'un équilibre isotopique avec les minéraux riches en 180 (silicates et carbonates) de la roche. L'importance du changement est reliée : (1) au rapport de la quantité d'oxygène échangeable entre le fluide et la roche; (2) à la température des échanges qui conditionne le fractionnement isotopique entre le minéral et le fluide; (3) à la composition isotopique initiale des phases dissoutes; (4) à la salinité du fluide qui augmente le fractionnement isotopique. Dans les synthèses hydrothermales, le fluide est assimilable à un bain liquide qui dissout des éléments nourriciers et qui les redéposent sur des germes cristallins. Le rapport fluide-minéral est très élevé et le fluide tamponne la composition isotopique du système, malgré les hautes températures de formation. Dans la nature, des exemples similaires ont été mis en évidence pour les eaux des systèmes géothermiques de Wairakei

 $(T_{eau} = 268^{\circ}C)$ et des Broadlands $(T_{eau} = 298^{\circ}C;$ Sheppard, 1986);

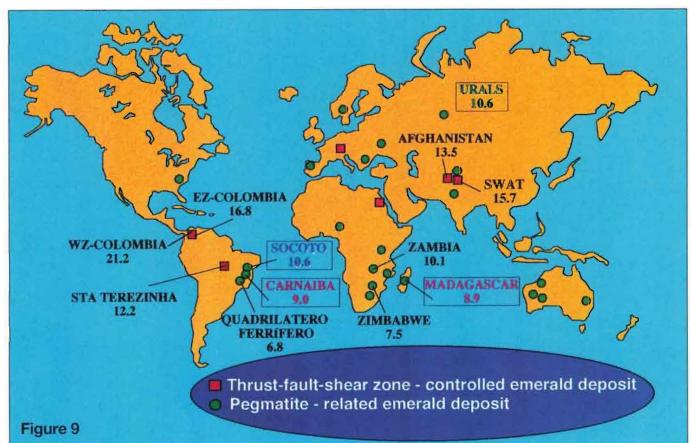
- le temps de résidence du fluide géologique peut atteindre le million d'années ("effet tampon" de l'encaissant, homogénéisation des rapports isotopiques des minéraux néoformés) alors que dans les synthèses hydrothermales, les cristaux peuvent pousser en 20 jours ("effet tampon" du fluide pour un rapport eauminéral élevé) pour le quartz (1 mm/jour) ou en 6 mois (0.5 mm/jour) pour l'émeraude (Schmetzer et al., 1997). c) Les données isotopiques de l'oxygène obtenues par la technique d'extraction classique nous a permis de calibrer la sonde ionique IMS 1270. La figure 8 montre les résultats préliminaires d'étalonnage des standards d'émeraudes analysés par la technique classique avec 5 à 9.10-3g d'échantillon détruits et par la sonde ionique avec seulement 2.10-11g consommés. Après cette première phase d'étalonnage, une précision de plus ou moins 0,5% sera atteinte par cette technique.

Application à l'industrie des gemmes

Les rapports isotopiques ¹⁸O/¹⁶O obtenus sur l'ensemble des échantillons étudiés nous permettent de dépister l'origine des émeraudes naturelles de qualité supérieure, trouvées dans le commerce des pierres précieuses (fig. 9) : émeraudes provenant du Quadrilatère Ferrifère au Brésil (Capoeirana, Mine Belmont : $\delta^{18}O = +6.8 \pm 0.4\%$), de Colombie (zone orientale : $\delta^{18}O = +16.8$ $\pm 0,1\%$; zone occidentale : $\delta^{18}O = +21,2$ ±0,5%), de Santa Terezinha de Goiás au Brésil ($\delta^{18}O = +12.2 \pm 0.1\%$), du Zimbabwe (Sandawana : $\delta^{18}O = +7.5$ $\pm 0.5\%$), de Zambie (Miku, $\delta^{18}O + 10.1$ \pm 0,3‰), d'Afghanistan ($\delta^{18}O = +13.5$ \pm 0,1‰) et du Pakistan (Swat : δ ¹⁸O $= +15.7 \pm 0.1\%$). Cependant, les émeraudes de Carnaíba (Brésil, $\delta^{18}O = +9,0$ ± 0,1‰) et de Morafeno (Madagascar, $\delta^{18}O = +8.9 \pm 0.1\%$) ainsi que celles des Monts Oural (Malysheva : $\delta^{18}O = +10.6$ \pm 0,2‰) et de Socotó (Brésil, δ 18O= +10,6%) ont des rapports 18O/16O voisins qui ne permettent pas de les authentifier.



- Fig. 8. Courbe de calibration pour la mesure des compositions isotopiques de l'oxygène dans les émeraudes, à partir des standards analysés par spectrométrie de masse classique et par microsonde ionique IMS 1270.
- Fig. 8. Calibration curve for the measurement of the oxygen isotopic composition of emerald obtained by standards analyzed, respectively by classical mass spectrometry and IMS 1270 ion microprobe.



■ Fig. 9. Valeurs moyennes des δ^{18} O des émeraudes naturelles de qualité supérieure qui sont échangées sur le marché international des gemmes. Les émeraudes de Carnaíba (Brésil) et de Morafeno (Madagascar) ainsi que celles des Monts Oural (Russie) et de Socotó (Brésil) qui ont des δ^{18} O voisins, ne peuvent pas être authentifiées.

■ Fig. 9. δ^{18} O-values of emerald of exceptional quality exchanged on the international gem market. Emeralds from Carnaíba (Brazil) and Morafeno (Madagascar) as well those of Ural Mountains (Russia) and Socotó (Brazil) which have the same δ^{18} O-values cannot be authentified.

Application archéologique : définition de la route de l'émeraude (fig. 10) au cours des siècles

Les premières émeraudes terrestres se sont formées durant l'Archéen (2 milliards et 970 millions d'années) dans la ceinture de roches vertes de Murchinson (gisement de Gravelotte, Afrique du Sud; Poujol et al.; 1997). Les brésiliennes de Carnaíba et de Socotó durant le Protérozoïque inférieur, il y a deux milliards d'années et celles de Capoeirana au Protérozoïque inférieur, il y a 500 millions d'années (500 Ma).

Les colombiennes du côté de Chivor ont 65 Ma, alors que celles de Muzo ont 38 Ma (Cheilletz, ce volume). Les émeraudes pakistanaises de Swat sont encore plus jeunes, avec un âge de 23.5 Ma (Dilles et al., 1994) et celles de Khaltaro se sont formées à 9 Ma (Laurs et al., 1996a). De 5 à 3 Ma, les descendants d'Abel et de Lucie foulaient peut-être déjà des émeraudes sur les sols de l'Afrique de l'Est, car des minéralisations sont connues en Tanzanie et désormais signalées en Somalie, à proximité de l'Ethiopie (Barot, 1998; communication congrès Bogotá).

A la même époque (5 Ma), des pegmatites à tourmaline gemme se formaient dans le massif d'Haramosh au Pakistan, à la suite d'un caprice de la collision continentale entre les plaques indienne et eurasiatique (Laurs et al., 1996b).

Plusieurs questions peuvent être posées : A quelle époque, l'homme s'estil intéressé à l'émeraude ? A quelle époque, l'émeraude a-t-elle été exposée aux problèmes du rayonnement solaire, de la taille et des traitements produits par l'homme ? Quel a été le tracé de la route de l'émeraude depuis la naissance de

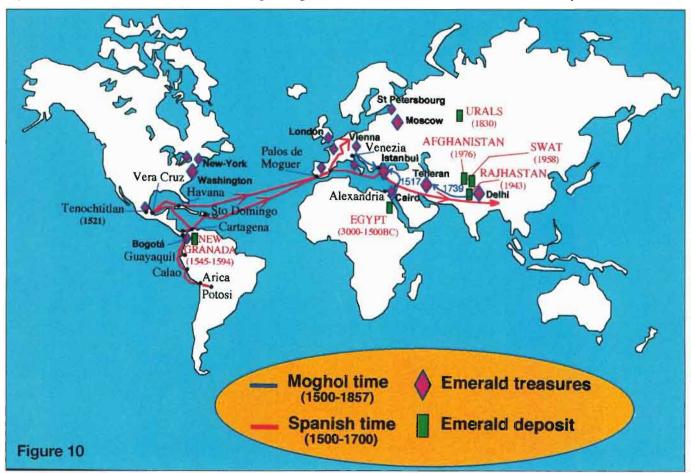


Fig. 10. Essai de reconstitution de la route de l'émeraude au cours des siècles, à l'époque des Moghols et de la Cour d'Espagne. La question suivante est posée : quelles sont les origines des émeraudes appelées « vieilles mines » qui se trouvent dans les trésors anciens de Téhéran, de Delhi et d'Istanbul ? les gisements d'Egypte (déjà exploités à l'époque des Pharaons), d'Afghanistan (à l'époque de Bactriane ?), de Colombie (les mines de Chivor redécouvertes par les Conquistadores en 1545 et celles de Muzo en 1594), d'Inde (gisements du Rajasthan), du Pakistan (gisements de Swat-Mingora) ou d'Oural ? Les frontières des pays cités sont celles d'aujourd'hui. La date officielle de la découverte ou de la redécouverte des gisements figure entre parenthèse. La plupart des musées internationaux où sont conservés des émeraudes brutes ou serties sur des objets anciens, sont également reportés.

■ Fig. 10. Attempt to map out the emerald route during the Moghol times and the Spanish court times. The following question is asked: what are the origins of emeralds called « old mines » which are found in the ancient treasures of Teheran, Delhi and Istanbul? from the deposits of Egypt (already mined since Pharaoes times), Afghanistan (at Bactriane times?), Colombia (the Chivor mines rediscovered by the Conquistadores in 1545 and those of Muzo in 1594), India (Rajhastan deposits), Pakistan (Swat-Mingora deposits) or Urals?

The natural frontiers of the quoted countries are actual. The official date of the discovery or rediscovery of these deposits is put in brackets. Also shown the main international museums where rough or set emeralds in art itens are collected.

Lucie? Bariand et Poirot (1985) retracent très bien les voyages agités de l'émeraude au cours de l'histoire de l'humanité. Depuis, les exploitations égyptiennes des Djebels Sikaït et Zabara à l'époque des Pharaons, l'épopée d'Alexandre le Grand en Asie Mineure qui chevaucha en passant par Alexandrie, Bactres et la vallée du Panjshir, jusqu'aux empereurs romains qui ont exploité les anciennes mines celtes d'Habachtal et les mines pharaoniques. A partir du XVIème siècle, les gisements de la Nouvelle Grenade sont exploités par la soldatesque espagnole et la route de l'émeraude suit une piste orientale depuis la Colombie jusqu'à Palos de Moguer, puis les cours royales d'Espagne et du Nord de l'Europe et enfin, les pays des épices (fig. 10). L'époque moghole sera une étape resplendissante pour la magnification de l'émeraude. Cette pierre, symbole d'immortalité, s'accumulera dans les trésors anciens qui ne manqueront pas de voyager du Caire à Istanbul en 1517, de Delhi à Téhéran en 1739. Le concept des émeraudes "des vieilles mines" ("old mines") naît alors; mais quels sont les emplacements géographiques de ces "vieilles mines": les mines Afghanes étaient-elles déjà exploitées à l'époque d'Alexandre le Grand? ou seulement (re-) découvertes par les soviétiques en 1976 ? L'émeraude de Bactriane : mythe ou réalité ? (Piat et Forestier, 1997). D'où proviennent les émeraudes accumulées depuis le XVIème siècle dans les trésors des musées d'Istanbul, Téhéran, Le Caire, Delhi, Moscou, Saint-Petersbourg, Washington, New-York, Toronto, Vienne, Paris, Tolède, Londres, Rome ? Des gisements de Colombie, d'Egypte, d'Autriche, d'Afghanistan, de Russie, d'Inde, du Pakistan ou des verriers de Venise?

Les méthodes gemmologiques simples et non destructives d'authentification de la matière d'une émeraude sont parfois insuffisantes pour confirmer l'origine

géographique et géologique de la gemme, l'expertise nécessitant l'utilisation de propriétés exclusives propres à chaque émeraude. Les analyses des isotopes stables de l'oxygène des émeraudes naturelles a conduit à la réalisation d'une première carte d'identité isotopique $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Les valeurs des $\delta^{18}\text{O}$ de la plupart des émeraudes, notamment celles qui peuvent appartenir aux émeraudes dites des "vieilles mines" et qui doivent se trouver dans les trésors anciens, sont très contrastées et les intervalles de valeurs isotopiques distincts. Ainsi, le rapport isotopique 18O/16O peut être utilisé comme une propriété exclusive d'authentification. L'origine des émeraudes des trésors anciens et la définition de la route de l'émeraude au cours des siècles, dépendra désormais de l'utilisation de la sonde ionique IMS 1270 qui permet de mesurer à l'échelle du micron, les compositions isotopiques de l'oxygène.

TOWARDS A 18O/16O ISOTOPIC IDENTITY CARD OF NATURAL AND SYNTHETIC EMERALDS

by Gaston Giuliani

Extended Abstract. Emerald is the oldest known gemstone having been mined since ancient times in Egypt and probably in Bactriane and Scythia. Emerald, the chromium-vanadium-rich variety of beryl (ideally Be₃Al₂Si₆O₁₈) is much more rare than diamond and has a value thousands of times more valuable than gold. Colombia has become the world's most important emerald producer (60% of the total production) followed respectively, by Zambia (15%), Brazil (10%), Russia (5%), Madagascar (3%), Zimbabwe (2%) and other countries (Pakistan and Afghanistan, 5%). Colombian emeralds

are prized for their exceptional quality as are those from Afghanistan, Zambia and Russia. Herein lies the necessity to certify the origin of emerald prior to its commercialization on the international Emerald is commonly market. characterized by its physical and chemical properties as well as by the nature of solid and fluid-bearing inclusions formed during its growth. Nevertheless, these gemmological features are often insufficient to certify the origin of gems. For example, halitebearing fluid inclusions commonly used as the main criterion for diagnosis of Colombian emeralds are also found in

Afghan, Nigerian and South African crystals. However, in the same mining district, emerald can change its habit, colour and transparency. Thus doubt or ambiguity always exists for determining the origin of emerald when disconnected from its geological environment.

Here, we present the stable oxygen isotopes analysis as a powerful tool for deciphering the origin of natural and synthetic emeralds. Oxygen is the most abundant chemical element in the Earth crust and is the main constituent of emerald (45 weight%). The isotopic ratio of the most abundant oxygen

isotopes (160 \approx 99.756% and 180 \approx 0.205%) is expressed as $\delta^{18}O$ (per mil, %) which is the relative difference between the ¹⁸O/¹⁶O ratio of the sample and that of SMOW standard (Standard Mean Ocean Water). Consequently, positive values of $\delta^{18}O$ indicate higher 180 compared to SMOW and vice versa. The extraction of framework oxygen from emerald was performed using standard techniques with BrF_5 as the reagent. The oxygen released from emerald is converted to CO2 in a graphite furnace and oxygen is measured using a mass spectrometer. The overall reproducibility is 0.2‰.

Naturals emeralds were collected from 62 deposits and occurences in 19 countries. The $\delta^{18}O$ -values of the different emeralds range fron +6,2 to +24,7%. Three groups corresponding to three sets of $\delta^{18}O$ -values are defined:

- the first group, in the range $+6.2 < d^{18}O < +8\%$, corresponds to emeralds from Brazil (Quadrilátero Ferrífero district), Austria and Australia;
- the second group, in the range $+8 < \delta^{18}O < +12\%$, concerns the majority of deposits, Zambia, Tanzania, Russia, Madagascar, Pakistan (Khaltaro), Brazil (Carnaíba and Socotó) and Zimbabwe;
- the third group, defined by $\delta^{18}O > +12\%$, includes the emerald deposits of Brazil (Santa Terezinha de Goiás), Colombia, Afghanistan and Pakistan (Swat-Mingora).

The different $\delta^{18}O$ -values obtained for emeralds are the result of fluid rockinteractions linked to pervasive fluidflow through contrasting geological environments. The hydrothermal fluid is always channeled by fractures which crosscut rocks of variable chemical composition such as granites and pegmatites, mafic-ultramafic rocks, sedimentary metamorphic orformations. These different rock types, which have different 180 isotopic signatures, will tend to modify the oxygen-isotopic composition of the pervasive fluid. This modification will depend on fluid-rock interaction intensity and will be complete under conditions of low fluid/rock ratio.

The first two $\delta^{18}O$ -groups (+6.2 < $\delta^{18}O$ < +12%) include the granitic-

pegmatite-related emerald type deposits and two thrust -and shear zonecontrolled emerald deposits (Austria and Egypt), all found in Cr-(V)-bearing mafic-ultramafic rocks. Emerald is contained within phlogopite schists developed in serpentinites or talc-schist rocks (range of d180 of these host $rocks: +5.0 < d^{18}O < +8 \%$). The third group characterized by $\delta^{18}O$ -values > +12%, corresponds to thrust, fault and shear-zone-controlled emerald type deposits which are disconnected from granites and pegmatites. Emerald is contained in 180-rich rocks such as carbonated-talc schists, talc-magnesite schists or black shales and carbonates. The high 180-enrichment of emerald indicates extensive isotopic exchange between the hydrothermal fluid and the sedimentary or metamorphic ¹⁸O-rich reservoir.

Synthetic emeralds derived by flux and hydothermal processes were also analyzed by the same isotopic technique. The $\delta^{18}O$ -values of emeralds obtained by flux process range between +4.0 and +19.7%. With the exception of Chatham ($\delta^{18}O = +12.9 \pm 0.3\%$), n=3), Zerfass ($\delta^{18}O = +9.25 \pm 0.05\%$), n=2) and Hautefeuille and Perrey emeralds $(\delta^{18}O = +19.7 \pm 0.02\%)$, n=3), the isotopic values of emeralds derived by the other types of process are very variable. Thus, Lennix emeralds have values between +4.0 and +8.8% (n=2), Gilson-Nakazumi between +12.2 and +17.6% (n=3) and Inamori crystals between +7.6 and +12.95% (n=3). The $\delta^{18}O$ -values of hydrothermally synthesized emeralds are lighter and vary between -9.0 and -0.95%. Regency emerald has a $\delta^{18}O$ value of -1.6%. Russian hydrothermal emeralds also have depleted 180-values: the analyzed emeralds were manufactured in Novosibirsk as Tairus ($\delta^{18}O = -2.1$), Bukin ($\delta^{18}O = -$ 0.95%) and a Bidulite ($\delta^{18}O = -9.0\%$) and those in Krasnoïarsk as Krasno $(\delta^{18}O = -6.3\%)$. Biron emerald manufactured in Perth (Australia) has a $\delta^{18}O$ of -5.0%. Hydrothermal synthetic emerald grows in a water-dominant flow system and the $\delta^{18}O$ of the fluid buffers the $\delta^{18}O$ of emerald under conditions of high fluid/mineral ratio.

In conclusion, the isotopic

composition of framework oxygen in emerald allows one to establish the first 180/160 identity card of natural and synthetic emeralds. Furthermore, these isotopic ratios permit the determination of the origin of emeralds of exceptional quality from the world's most important producers. In other words, the δ18Ovalue of emerald appears to be a fingerprint of its origin. Besides, the 18O-composition of natural emerald is a good indicator of its growth environment because the data suggest that during fluid-rock interaction, the $\delta^{18}O$ of the fluid in equilibrium with emerald is buffered by the host-rocks. The 180/160 ratios of emerald obtained by classical mass spectrometry will allow the calibration of the CRPG-CNRS IMS1270 ion microprobe (which requires only 2.10-11 g of material with a beam of 1 to 5 microns diameter) that will provide new insights into the authentification of the origin of ancient emeralds, in particular to map out the route of emeralds since Egyptian times and to test the myth or reality of the emeralds known as "old mines".

Références

Analusis Magazine (1995) - La gemmologie, 23, 1, 9-54.

Arif M., Fallick A.E., Moon C.J. (1996) - The genesis of emeralds and their host rocks from Swat, northwestern Pakistan: a stable-isotope investigation. Mineral. Deposita, 31, 255-268.

Bariand P., Poirot J-P. (1985). - Larousse des pierres précieuses fines, ornementales, organiques. Librairie Larousse, Ed., 264 p.

Bowersox G., Snee L.W., Foord E.E., Seal II R.R. (1991) - Emeralds of the Panjshir valley, Afghanistan. Gems and Gemology, 27, 1, 26-39.

Cheilletz A., Giuliani G. (1997) - Comment se forment les émeraudes. La Recherche, 303, 48-52.

Clayton R. N., Mayeda T. K. (1963) - The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis. Geochim. Cosmochim. Acta, 27, 43-52.

Dilles J.H., Snee L.W., Laurs B.M. (1994) - Geology, Ar-Ar age and stable isotopes geochemistry of suture-related emerald mineralization, Swat, Pakistan, Himalayas. in: GSA Annual Meeting, Seattle, USA, Abstracts, 26, 7, A-311.

Ebelman J.J. (1848) - Sur une nouvelle méthode pour obtenir des combinations cristallisées par la voie sèche. Annales de Chimie et de Physique, 22, 213-244.

Fallick A.E., Schorscher H.D., Machado G.A.A., Monteiro M.M.G., Ellam R.M. (1994). - A review of stable isotope (δ^{18} O, dD) studies of emerald deposits in Brasil. In: Annual Meeting Mineral Deposits Study Group, Exeter, (GB), p. 411.

Giuliani G., Cheilletz A., Zimmermann J-L., Ribeiro-Althoff A.M., France-Lanord C., Féraud G. (1997a) - Les gisements d'émeraude du Brésil : genèse et typologie. Chronique Recherche Minière, BRGM, 526, 17-60.

Giuliani G. (1997b) - Genèse des gisements d'émeraude du Brésil et de Colombie. Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches "Géosciences", C.R.P.G./C.N.R.S., Institut National Polytechnique de Lorraine, Vandoeuvre, 147p.

Giuliani G., France-Lanord C., Zimmermann J-L., Cheilletz A., Arboleda C., Charoy B., Coget P., Fontan F., Giard D. (1997c) - Composition of fluids, δD of channel H_2O and $\delta^{18}O$ of lattice oxygen in beryls : genetic implications for Brazilian, Colombian and Afghanistani emerald deposits. Intern. Geol. Review, 39, 400-424.

Giuliani G., France-Lanord C., Coget P., Schwarz D., Cheilletz A., Branquet Y., Giard D., Pavel A., Martin-Izard A., Piat D.H. (1998) - Oxygen isotope systematics of emerald - relevance for its origin and geological significance. Mineralium Deposita, (sous presse).

Gübelin E. (1987) - Diagnose des nouvelles synthèses d'émeraude. Rev. Gemmologie A.F.G., 92 et 93, 5-7, 7-11.

Hautefeuille P., Perrey A. (1888) - Sur la reproduction de la phénacite et de l'émeraude. C. R. Acad. Sci., Paris, 106, 1800-1802.

Kazmi A.H., Snee L. W. (1989) - Emeralds of Pakistan: geology, gemology and genesis. In: Kazmi A.H., Snee L.W., Ed., Karachi, Van Nostrand Reinhold Compagny, 269p.

Korzhinskii D.S. (1970) - Theory of metasomatic zoning. Clarendon Press, Oxford. 162 p.

Kyser T. K. (1986) - Stable isotope variations in the mantle. Reviews in Mineralogy, Mineral. Soc. Am., 16, 141-164.

Laurs B.M., Dilles J.H., Snee L.W. (1996a) - Emerald mineralization and metasomatism of amphibolite, Khaltaro granitic pegmatite hydrothermal vein system, Haramosh mountains, northern Pakistan. Can. Mineral., 34, 1253-1286.

Laurs B.M., Dilles J.H., Snee L.W. (1996b) - Geologic origin of gembearing pegmatites, Staknala, Haramosh massif, Pakistan. In: 11th Himalya-Karakorum-Tibet Workshop, Flagstaff, Arizona, Abstracts, 83-84.

Martin-Izard A., Paniagua A., Moreiras D. (1995) - Metasomatism at a granitic pegmatite-dunite contact in Galicia: the Franqueira occurrence of chrysoberyl (alexandrite), emerald, and phenakite. Can. Mineral., 33, 775-792.

Mineralco S.A. (1996). - La esmeralda : producto basíco de exportacion. Informe, Agosto 1996, 41 p.

Nwe Y.Y., Morteani G. (1993) - Fluid evolution in the $\rm H_2O\text{-}CH_4\text{-}CO_2\text{-}NaCl}$ system during emerald mineralization at Gravelotte, Murchinson greenstone belt, Northeast Transvaal, South Africa. Geochim. Cosmochim. Acta, 57, 89-103.

Piat D.H., Forestier F.H. (1997) - Bactrian emeralds. Gems and Gemology, 33, 302-303.

Poujol M., Respaut J.P., Robb L.J., Anhaeusser C.R. (1997) - New U-Pb-Pb data on the Murchinson greenstone belt, South Africa and their implications for the origin of the Witwatersrand basin. Economic geology research unit, University of the Witwatersrand, Information circular, 319, 21p.

Robert D. (1987) - Synthèse de l'émeraude. Monde et Minéraux, 80, 39-42.

Robert D. (1989) - Synthèses de l'émeraude. Rev. Gemmologie A.F.G., 100; 101, 4-5; 5-7.

Rudowski L. (1989) - Pétrologie et géochimie des granites transamazoniens de Campo Formoso et Carnaíba (Bahia, Brésil) et des phlogopitites à émeraude associées. Thèse Doctorat, Université Paris VI, 291 p.

Schmetzer K., Kiefert L., Bernhardt H-J., Beili Z. (1997) - Characterization of chinese hydrothermal synthetic emerald. Gems and Gemology, 33, 4, 276-291.

Schwarz D (1987) - Esmeraldas - Inclusões em gemas. Imprensa Universitária UFOP, Ouro Preto, 450 p.

Schwarz D., Kanis J., Kinnaird J. (1996) - Emerald and green beryl from Central Nigeria. J. Gemmol., 25, 2, 117-141

Sheppard S.M.F. (1986) - Characterization and isotopic variations in natural waters. Reviews in Mineralogy, Mineral. Soc. Am., 16, 165-183.

Sinkankas J., Read P. (1986) - Beryl. Butterworths Gem Books, 225 p.

Taylor R.P., Fallick A.E., Breaks F.W. (1992) - Volatile evolution in archean rare-element granitic pegmatites: evidence from the hydrogen isotopic composition of channel $\rm H_2O$ in beryl. Can. Mineral., 30, 877-893.

DE L'IMPORTANCE DES INCLUSIONS SOLIDES ET FLUIDES DANS LA CARACTÉRISATION DES ÉMERAUDES NATURELLES ET SYNTHÉTIQUES.

Dr. Dietmar SCHWARZ

Introduction

Les propriétés minéralogiques et gemmologiques généralement utilisées dans la distinction entre les émeraudes naturelles et synthétiques, respectivement dans la détermination de l'origine des émeraudes sont :

- les inclusions
- les propriétés optiques (indices de réfraction, biréfringence)
- les spectres d'absorption
 (Ultraviolet Visible proche et moyen Infrarouge)
- les analyses chimiques :
 - . concentrations absolues et valeurs limites de concentrations
 - . diagrammes des rapports de concentrations des différents éléments chimiques
 - . teneurs en éléments traces

Parmi ces propriétés, la détermination des inclusions - en général - reste l'examen de routine le plus commun et le plus important pour un gemmologue de laboratoire.

Classification des structures internes observées dans les gemmes

Les structures internes (inclusions et structures de croissance) d'une émeraude peuvent être classées de différents manières (par exemple) :

- (A) La "classification génétique" basée sur le moment de formation de ces structures par rapport à la croissance de l'émeraude (formation "protogénétique", "syngénétique", "épigénétique", "primaire", "pseudo-secondaire", "secondaire") est la méthode appropriée pour discuter des aspects génétiques de la croissance de l'émeraude.
- (B) La "classification "phénoménologique" est plus utile à l'interprétation des structures internes lorsqu'il s'agit de séparer les émeraudes naturelles des synthétiques. Elle est également utilisée

pour la caractérisation des émeraudes naturelles venant d'environnements génétiques différents (par exemple, les gisements colombiens liés aux schistes argileux noirs; les minéralisations liées à une pegmatite dans différents schistes métamorphiques au Brésil et en Afrique; les gîtes stratiformes dans les zones de cisaillement de Santa Terezinha/GO au Brésil et la "Swat Valley" au Pakistan; les minéralisations liées au "black wall" (schiste à mica noir) dans l'Habachtal autrichien). Les types d'inclusions les plus importants à considérer sont (a) les inclusions solides (généralement cristaux et agrégats cristallins); (b) cavités contenant des inclusions fluides (ce type présente une grande diversité en fonction de la taille, la forme et des combinaisons de différents matériaux présents dans l'inclusion (voir section 3b pour de plus amples détails); (c) différents types de fractures/fissures (d'un point de vue diagnostique, les plus importantes sont les "givres de guérison"); (d) les phénomènes de croissance (par exemple la zonation de couleur et les stries de croissance) et toutes formes de structures inhomogènes comme des concentrations locales de couleur, des phénomènes de corrosion, etc.

Importance des structures internes pour la caractérisation des émeraudes naturelles et synthétiques

Avant de discuter de l'importance des différents types d'inclusions dans la distinction entre les émeraudes naturelles et synthétiques ainsi que pour la caractérisation des émeraudes naturelles, nous devrions mettre l'accent sur le fait suivant : "Les inclusions reflètent toujours les conditions de croissance qui prévalaient pendant la formation du cristal-hôte". Bien sûr, parfois, des influences géologiques ultérieures (comme des événements tectoniques) peuvent

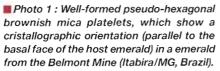
Dr. Dietmar SCHWARZ, Gübelin Gem Lab, Lucerne, Switzerland

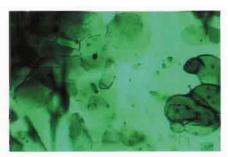
Traduction française: V. Chabert (DUG, université de Nantes)

et Dr E. Fritsch (professeur à l'université de Nantes).



■ Photo 1 : Plaquettes de mica pseudo hexagonales et bien formées dans une émeraude de la mine Belmont (Itabira/MG, Brésil).Elles présentent une orientation cristallographique parallèle à la face basale de l'émeraude hôte.





■ Photo 2 : Cristaux de mica brun, irrégulièrement arrondis, répartis dans le cristal hôte sans aucune orientation cristallographique (Mananjary, Madagascar). ■ Photo 2 : Irregularly rounded brown mica crystals, which are distributed in the host crystal without any cristallographic orientation (Mananjary, Madagascar).

influencer l'apparition de certaines inclusions. Pour les émeraudes formées dans un environnement naturel, les facteurs de contrôle les plus importants sont les suivants : nature de la roche encaissante (par exemple, roche carbonatée, schiste argileux noir, schistes métamorphiques); composition des fluides minéralisateurs impliqués dans le processus de croissance; conditions de pression/température (P/T). Les inclusions observées dans les cristaux synthétiques vont refléter les conditions particulièrement contrôlées utilisées dans les différentes méthodes de croissance: croissance dans un fondant (dissolution anhydre) ou croissance hydrothermale.

Inclusions solides

Comme indiqué précédemment, les différents types de structures internes observées dans une gemme dépendront toujours de l'environnement géologique/minéralogique dans lequel elle s'est formée. La majorité des gisements d'émeraude à travers le monde se trouvent dans différents types de schistes métamorphiques. Socoto et Carnaiba dans l'état de Bahia au Brésil; la mine Belmont et le garimpo Capoeirana dans la région Nova Era/Itabira du Minas Gerais, Brésil; les mines du Ndola Rural District dans le nord de la Zambie; les gisements de la chaîne Mweza au Zimbabwe (Sandawana par exemple); les minéralisations des montagnes russes de l'Oural sont plusieurs exemples de gisements de type "schiste".

La roche encaissante la plus commune des minéralisations d'émeraude sont les micaschistes. Ils présentent, en général, une composition biotite-phlogopite. Par conséquent, il n'est pas étonnant que les cristaux de mica de la série biotitephlogopite sont, de loin, les inclusions minérales les plus fréquentes des émeraudes. L'aspect, c'est à dire la forme, la couleur et la taille des inclusions de mica peut présenter une grande diversité (Photos 1, 2 et 3). De telles inclusions de mica vont prouver l'origine naturelle d'une émeraude mais elles ne donnent en général pas d'indication sur la provenance exacte et n'ont pas, par conséquent, de valeur diagnostique quant à une provenance spécifique.

Dans plusieurs cas, la composition minéralogique du schiste encaissant présente des variations. Par exemple, les micaschistes peuvent contenir des teneurs variables en amphiboles de la série actinote-trémolite ou peuvent progressivement devenir des schistes pratiquement uniquement composés d'actinote-trémolite. Les émeraudes présentes dans de tels schistes vont naturellement voir leur teneur en inclusions d'actinote-trémolite augmenter. L'actinote-trémolite peut devenir l'inclusion minérale dominante de ces schistes. Les inclusions minérales des émeraudes d'un

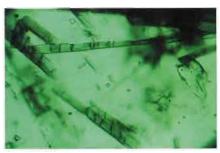


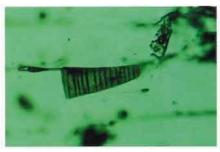
Photo 3: Des cristaux d'amphibole (actinote/trémolite), vert clair à vert foncé, sont les inclusions minérales dominantes d'une émeraude de Taua/Ceara, Brésil. Les autres inclusions minérales sont : des plaquettes de molybdenite (pseudohexagonales), bien formées, des cristaux d'allanite prismatiques, brun sombre (agrégats en gerbes) et des cristaux de mica brun, irrégulièrement arrondis.

■ Photo 3: Light- to dark-geen amphibole crystas (actinolite-tremolite) as dominant mineral inclusion in an emerald from Taua/Ceara, Brazil. Other inclusion minerals are: well-formed (pseudo-) hexagonal platelets of molybdenite, dark brown columnar crystals of allanite (sheaf-like aggregates), and irregularly rounded brownish mica crystals.

gisement particulier représentent normalement les principaux composants des roches encaissantes. Les micas de la série biotite/phlogopite sont les inclusions minérales dominantes des émeraudes des gisements suivants: Socoto et Carnaiba (état de Bahia, Brésil), la Mine Belmont et la région du garimpo Capoeirana (Minas Gerais, Brésil), Ndola Rural District (Zambie), la région de Mananjary au Sud-Est de Madagascar, le Transvaal, l'Afrique du Sud, le lac Manyara en Tanzanie, les montagnes de l'Oural en Russie, le Désert de l'Est en Egypte, Habachtal en Autriche. L'actinote/trémolite peut être l'inclusion minérale la plus importante des émeraudes de la localité brésilienne de Taua dans l'état du Ceara (Photo 4), ou dans quelques émeraudes de Madagascar. Les émeraudes et les béryls verts du Nigéria central se trouvent dans un type de mica peu commun. Ces cristaux bruns sombres, riches en Fer, ont très probablement une composition d'annite-sidérophyllite ou de zinnwaldite (Photo 5). Leur présence reflète l'environnement génétique particulier de ces roches qui se sont formées dans des épisodes de fin de cristallisation riches en éléments rares (greisens) de complexes annulaires des granites alcalins mésozoïques (Schwarz et al., 1996).

Les émeraudes de la chaîne Mweza au Zimbabwe (ancienne Rhodésie du Sud) sont devenues célèbres grâce à leur jolie et brillante couleur verte présente même dans les petits échantillons. Pour le gemmologue, les émeraudes de cette région (spécialement celles du Sandawana, la plus importante région minière) présente un séquence interne aussi impressionnante que typique (Photo 6): baguettes transparentes, incolores légèrement vertes ou brunes; cristaux en forme d'aiguilles ou légèrement courbes, dispersés de manière irrégulière à travers le cristal-hôte. Gübelin (1956) a identifié ces cristaux comme étant de la trémolite, Schwarz (1996) a découvert qu'une partie des inclusions des émeraudes de la région de Machingwe sont du chrysotile (dans cette région, la roche encaissante des émeraudes est parfois appelée "schiste à amiante" par les mineurs locaux). Finalement, en 1997, Zwaan et al. a identifié, dans des émeraudes de la mine Zeus (gisement minier Sandawana), de tels cristaux, longs, prismatiques en forme d'aiguilles, comme étant de l'actinote et de la cummingtonite, deux membres du groupe des amphiboles.

Les photos 4, 6 et 9 présentent des associations minérales internes, typiques des émeraudes prenant naissance dans des environnements génétiques différents et dans des roches encaissantes différentes (associations minérales externes). Les émeraudes des gisements de "schistes argileux noirs" de la Cordillère Orientale en Colombie ont pour inclusions minérales les plus communes, les minéraux accompagnateurs de l'émeraude dans les veines minéralisées (comparer Photo 7 et figure 1) : différents carbonates, quartz, albite, pyrite, muscovite et "particules" (carbonées) venant du matériau encaissant. Les émeraudes trouvées dans les schistes métamorphiques associés aux zones de cisaillement du gisement de Santa Terezinha (état de Goias, Brésil) présentent comme inclusions minérales dominantes: différents carbonates (Photo 8), du talc, du mica (biotite/phlogopite), de la pyrite (Photo 8) et des spinelles ferro-chromifères (Fe/Cr). Les émeraudes et les



- Photo 4 : Mica brun sombre en « feuillets» (probablement annite/sidérophyllite). La présence de ce type peu commun de mica en inclusions reflète l'environnement génétique particulier des émeraudes et béryls verts du Nigéria central.
- Photo 4: « Booklet » of dark brown mica (probably annite/siderophylite). The presence of this unusual type of mica inclusions reflects the special genetic environment for the emeralds/greens beryls of central Nigeria.

béryls verts des états du Kaduna et du Plateau au Nigéria central présentent une association d'inclusions minérales unique et typique de cette localité. Elle comprend des minéraux assez "exotiques": plusieurs fluorures (fluorite, boldyrevite, ralstonite; Photo 9) + des micas riches en fer (probablement annitesidérophyllite; Photo 5) + albite + ilménite + monazite.

Les inclusions solides peuvent également être communes dans les émeraudes synthétiques. Ces émeraudes sont synthétisées en grande quantité par différents fabricants. Les méthodes utilisées dans la production commerciale de ces émeraudes sont les suivantes (a) croissance dans un fondant (dissolution anhydre) et (b) croissance hydrothermale. La plupart des fondants utilisés pour la croissance de l'émeraude sont à base de molybdates, vanadates et composés chimiques similaires. Leurs rôles principaux sont (1) de permettre au cristal de croître à de relativement faibles températures et (2) de créer un milieu qui facilite la dissolution, le transport et la (re)cristallisation des éléments impliqués dans la croissance de l'émeraude. La plupart des fondants sont assez agressifs chimiquement. Ce fait nécessite l'utilisation



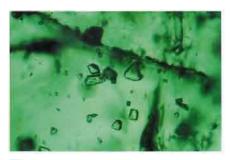
- Photo 5: Inclusion typique d'une émeraude originaire du champ minier de Sandawana. Les inclusions minérales qui contribuent à la série d'inclusions spécifiques de cette localité ont été identifiées comme étant de la trémlite (Gübelin, 1956), du chrysotile (Schwarz, 1996) et de l'amphibole (actinote et cummingtonite; Zwaan et al., 1997).
- Photo 5: Typical inclusion feature of an emerald originating from the Sandawana mining field in Zimbabwe. The mineral inclusions which contribute to this locality-specific inclusion scenario, have been identified as tremolite (Gübelin, 1956), chrysotile (Schwarz, 1996), amphibole (actinolite and cummingtonite; Zwaan et al., 1997).



- Photo 6 : Agrégats minéraux typiques (caractéristique spécifique de cette localité) dans des émeraudes de la Cordillère Orientale, Colombie. Ces agrégats se composent de très petites cristallites de carbonate, quartz, albite muscovite et particules noires du matériau hôte.
- Photo 6: Typical mineral aggregates (locality-specific character!) in emeralds from the cordillera Oriental, Colombia. These aggregates are composed of tiny crystallites of carbonate, quartz, albite, muscovite, and black particules of the host-rock material.



- Photo 7: Ces inclusions minérales observées dans une émeraude colombienne ont été identifiées comme étant du sulfate de calcium (Schwarz, 1996). La présence de cette inclusion soutient le modèle génétique qui lie les minéralisations d'émeraudes de la Cordillère Orientale à un grand massif d'évaporites découvert dans la même région géographique.
- Photo 7: These mineral inclusions in a Colombian emerald have been identified as Ca-sulfate (Schwarz, 1996). The presence of this mineral inclusion supports the genetic model which relates the emerald mineralisations of the Cordillera Oriental to large evaporite bodies found in the same geographic region.



- Photo 9 : L'association de différentes inclusions de fluorures comme la fluorite, la boldyrevite et la ralstonite reflète l'environnement génétique très particulier dans lequel se trouvent les émeraudes du Nigéria central (épisode de fin de cristallisation riche en éléments rares (greisen) de complexes annulaires de granites alcalins mésozoïques).
- Photo 9: The association of different fluoride inclusions such as fluorite, boldyrevite, and ralstonite reflects the very special genetic environment in which the emeralds of Central Nigeria are found (greisen process in Mesozoïc alkali granite ring complexes).



- Photo 8: Rhomboèdre de carbonate bien formé qui contient, lui-même, deux inclusions de pyrite. Région minière de Santa Terezinha, état de Goias, Brésil.
- Photo 8: Well-formed carbonate rhombohedron, which contains, itself, two pyrite inclusions. Santa Terezinha mining area in Goias.Brazil.

de métaux nobles pour les creusets (par exemple du platine ou de l'iridium) qui contiennent le fondant en fusion. La méthode hydrothermale utilise un récipient pressurisé appelé "autoclave" rempli d'une solution aqueuse, de composés nécessaires à la croissance de l'émeraude ainsi que de composés additionnels appelés "agents minéralisateurs". En général, l'autoclave est en acier. Pour protéger de l'action agressive de la saumure, il est souvent revêtu d'une couche de métal noble (de l'or en général).

Connaissant ces détails sur les méthodes de croissance, il est assez facile d'expliquer la présence de différents types d'inclusions solides dans les émeraudes synthétiques fabriquées par dissolution anhydre ou par la méthode hydrothermale.

- (a) Les "particules" de fondant : elles peuvent être de taille et de forme variable (comparer Photo 10). Elles sont de couleur blanc-gris ou blanc-brun. Les résidus de fondant forment souvent des givres de guérison en forme de voiles très fins ("drapeaux"; Photo 11); Parfois, elles présentent d'intéressantes structures comme celles montrées en Photo 12.
- (b) Les inclusions métalliques (ou oxydes de métaux) proviennent des métaux du récipient utilisés dans le processus de croissance:
- Platine. Normalement sous forme de lamelles (elles présentent souvent des formes à trois ou six faces bien développées) ou des aiguilles avec un fort éclat métallique (Photo 12).
- Des inclusions d'or ont été observées

dans des émeraudes synthétiques hydrothermales (Biron; Kane et Liddicoat, 1985). L'or forme de fines lames plates avec des contours triangulaires et hexagonaux, des aiguilles, des grains, des agrégats d'aspect granulaires et dendritiques. - Des lamelles hexagonales, opaques (probablement de l'hématite) ont été décrites dans des émeraudes synthétiques hydrothermales russes par Schmetzer (1988).

- (c) Des cristaux incolores, transparents de phénacite dont la forme varie (Photo 14). La phénacite peut former des cristallites, cristaux fins, prismatiques ou aciculaires. La phénacite est un silicate de béryllium (l'émeraude est un silicate de béryllium et d'aluminium). Elle se forme normalement aux dépens du béryl quand il y a un déficit local et temporaire d'aluminium pendant le processus de croissance ou lorsque la température devient trop élevée. La phénacite constitue souvent des inclusions "têtes de spicules", communes dans les émeraudes synthétiques (plus particulièrement celles fabriquées par la méthode hydrothermale; voir aussi "les inclusions fluides").
- (d) Les cristaux de béryl/émeraude. Ils sont pratiquement invisibles à l'observation en lumière "naturelle". Ils deviennent visible lorsque l'on utilise un filtre polarisé et que l'on met le cristal-hôte en position éteinte. Ces inclusions de béryl ont une orientation cristalline différente de celle du cristal-hôte et apparaissent plus ou moins brillantes lorsqu'elles sont observées sous ces conditions d'éclairement. Graziani et al. (1987) décrit une association peu commune: Des inclusions en tube remplies de fondant entourées de cristaux de béryl synthétique périphériques dans des émeraudes synthétiques Lennix (dissolution anhydre).
- (e) Du chrysobéryl se trouve parfois en inclusion dans des émeraudes hydrothermales, spécialement celles produites en Chine (Schmetzer, 1997). Il est fréquemment associé à des spicules en forme de cônes.
- (f) Des particules d'aspect rouge-brun et blanc de nature indéterminée (émeraude hydrothermale russe; Koivula et al., 1996).

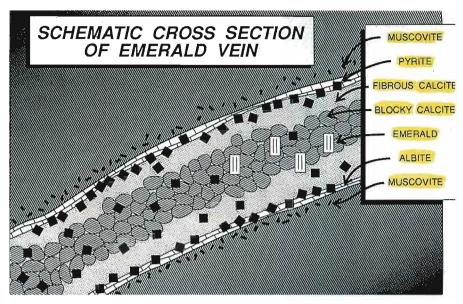
Inclusions fluides

Les inclusions fluides sont des substances de remplissage. Elles montrent une grande variété de composition et d'aspect.

Les cavités contenant des inclusions fluides présentent un aspect assez régulier ("cristaux négatifs"; Photo 14) ou sont d'une forme très irrégulière. Les cavités peuvent être allongées et orientées cristallographiquement ("tubes de croissance"); elles peuvent être isolées ou dispersées sur des plans de fissure ("givres de guérison"). De même que pour les inclusions solides, les inclusions fluides reflètent les conditions physiques et (géo)chimiques prévalant pendant la croissance du cristal. Comme exemples d'inclusions fluides observées dans des émeraudes, nous pouvons citer : les inclusions à deux phases, liquide-gaz ("l-g") ou liquide-liquide ("l-l"), inclusions à trois phases, solide-liquide-gaz ("s-l-g"), ou encore les inclusions dites "multi" ou "polyphasées" qui contiennent 4 phases différentes ou plus (par exemple, une inclusion à 4 phases "s-s-l-g" c'est à dire deux cristaux de nature différente dans une phase liquide et accompagnés d'une bulle de gaz).

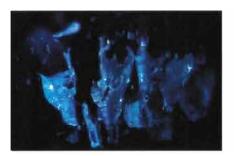
Les inclusions fluides sont présentes dans les émeraudes naturelles de tous environnements génétiques. La plupart des inclusions fluides (spécialement le type le plus commun, l'inclusion à deux phases "liquide-gaz"), ne sont pas vraiment d'une grande aide pour le gemmologue à la recherche d'une information pouvant lui indiquer l'origine d'une émeraude. Cependant, dans certains cas, les inclusions fluides présentent des aspects très typiques. Les inclusions fluides d'émeraudes les plus connues et les plus célèbres sont sans aucun doute les inclusions à trois phases ("solide-liquide-gaz") "classiques" des émeraudes colombiennes (Photo 15). Elles ont longtemps été considérées comme typiques de cette localité. Pourtant, comme le montre la Photo 18, beaucoup d'inclusions fluides observées dans les émeraudes et les béryls verts du Nigéria central semblent pratiquement identiques.

De plus, les émeraudes de la Cordillère Orientale de Colombie, des états Kaduna et Plateau du Nigéria central, celles du Mananjary à Madagascar (Photo 17), de la vallée du Panjshir en Afghanistan et plus spécialement encore, les émeraudes de la région Itabira/Nova Era dans l'état du Minas Gerais au Brésil présentent des inclusions fluides assez intéressantes. Les émeraudes de la mine Belmont et du

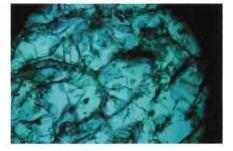


■ Figure 1 : Coupe shématique d'une veine d'émeraude dans la Cordillère Orientale, Colombie (de Ottaway, 19..). Tous les minéraux présents dans la veine minéralisée (= « association minérale externe ») peuvent être observés comme inclusions minérales dans les émeraudes colombiennes (= « association minérale externe »).

■ Figure 1: Shematic cross section of an emerald vein found in the Cordillera Oriental, Colombia (from Ottaway, 19..). All minerals present in the mineralised vein (= « external mineral association ») can be observed as inclusion minerals in the Colombian emeralds (= « internal mineral association »).

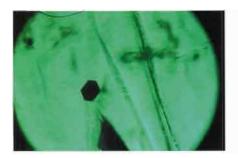


■ Photo 10: Résidus de fondant qui présentent des formes irrégulières et étranges dans une émeraude synthétique Chatham.
■ Photo 10: Flux-remnants showing irregular-bizarr forms in a Chatham synthetic emerald.

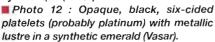


■ Photo 11: Givres de guérison très fins en forme de voiles (« drapeaux ») composés de résidus de fondant. La photo montre de tels givres dans une émeraude synthétique Zerfass. Les émeraudes fabriquées par dissolution anhydre, issues d'une production moderne (Chatham, Gilson, Kyocera, etc.) présentent, en général, des givres de guérison plus délicats. Leur nombre a également été réduit de manière significative dans les synthèses modernes.

■ Photo 11: Wispy veil-like healed fissures (« fingerprints ») which are composed of flux remnants. The photo shows such fissures in a Zerfass synthetic emerald. Flux-grown emeralds from modern production (Chatham, Gilson, Kyocera, etc.) show, in general, healed fissures which are more delicate. Also their number has been reduced significantly in modern syntheses.



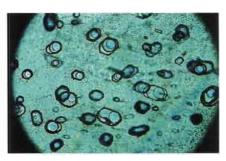
■ Photo 12: Plaquettes à six côtés, opaques et noires (probablement du platine) avec un éclat métallique dans une émeraude synthétique (Vasar).





■ Photo 13 : Cristaux prismatiques de phénacite (en partie en «amas») dans une émeraude synthétique Chatham.

Photo 13: Prismatic phenakite crystals (partly as « cluster» in a chatham synthetic emerald.



■ Photo 14 : Cristaux négatifs avec ds remplissages «I-g » et «I-I-g » (émeraude du Nigéria central).

Photo 14: Negative crystals with 'l-g'- and 'l-l-g'-fillings (emerald, Central nigeria).



■ Photo 15: Inclusions à trois phases «s-l-g» classiques dans une émeraude de Colombie. ■ Photo 15: Classic's-l-g'-three phase inclusions in a Colombian emerald.

garimpo Capoeirana (Itabira/Nova Era) présentent un choix remarquable d'inclusions fluides dans des cavités allongées orientées suivant la direction de l'axe c (Photo 19). Les émeraudes de Madagascar présentent des arrangements similaires des inclusions fluides primaires mais elles ne sont pas aussi variées que celles des émeraudes brésiliennes. Les émeraudes de Madagascar et de Zambie présentent des inclusions fluides primaires dans des cavités "rectangulairesprismatiques" (Photo 17). Les émeraudes de la vallée du Panjshir en Afghanistan sont caractérisées par la présence d'inclusions multiphasées (Photo 18).

Les émeraudes synthétisées par dissolution anhydre le sont dans un milieu anhydre. Par conséquent, ces émeraudes ne contiennent pas d'inclusions fluides avec une composante aqueuse "l". Cependant, les inclusions fluides fréquentes de ce type d'émeraudes sont des cavités qui contiennent du fondant solidifié ("vitreux") et une "bulle de retrait" (vide?), résultant de la diminution de volume du fondant pendant le refroidissement. De telles inclusions peuvent être désignées comme étant des inclusions à deux phases "s-g".

D'autre part, les émeraudes synthétiques hydrothermales cristallisent à partir d'une solution aqueuse, ce qui résultent en la formation d'inclusions fluides qui peuvent se trouver dans des cavités isolées de taille et de forme variable. Normalement, cependant, elles sont dispersées le long de givres de guérison ("voiles", "drapeaux"). L'aspect de ces givres et de leurs inclusions fluides peut être identique

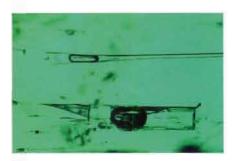
à celui observé dans les émeraudes naturelles. Les inclusions fluides des émeraudes synthétiques hydrothermales sont, en général, à deux phases de type "l-g". D'autres combinaisons de remplissage sont rarement observées:

- inclusions à trois phases "s-l-g" (Regency; Koivula, 1986);

- inclusions à trois phases probablement constituées de deux liquides non-miscibles et d'une phase gazeuse et inclusions à trois phases de type "s-l-g" avec un cristal fils doublement réfringent (émeraude hydrothermale russe; Schmetzer, 1988);

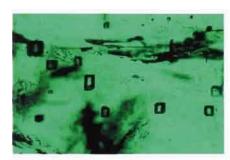
- inclusions à trois phases comparables à celles de quelques émeraudes colombiennes mais avec comme cristal fils du béryl synthétique (Lennix; Attanasio et al., 1989).

Des inclusions particulières, souvent observées dans les émeraudes synthétiques hydrothermales (et rarement observées dans les émeraudes fabriquées par dissolution anhydre) sont des vides sous forme de cônes associés à des inclusions cristallines ("nails"; "spicules"). Dans les émeraudes hydrothermales, ces vides sont généralement remplis d'un fluide et d'une bulle de gaz. La "tête" cristalline peut être de la phénacite, du béryl, du chrysobéryl ou même de l'or (Photo 19).



■ Photo 16: Inclusions à trois phases « s-l-g » de type « colombien » dans une émeraude nigériane.

■ Photo 16: 's-l-g'-three phase inclusions of the « Colombian type » in a Nigerian emerald.



- ■Photo 17: Cristaux négatifs remplis de fluide qui se forment habituellement comme inclusions à deux phases «I-g». Notez les contours carrés ou rectangulaires bien développés(Mananjary, Madagascar).
- Photo 17: Fluid filled negative crystals, which are usually formed as 'l-g-'-two phase inclusions. Note the well-developed rectangular or square outlines (Mananjary, Madagascar).



- Photo 18 : Cavités primaires avec des inclusions « multi » ou « polyphasées » dans une émeraude de la vallée du Panjshir en Afghanistan.
- ■Photo 18: Primary cavities with so-called « multi » -or- « polyphase » inclusions in a emerald from the Panjshir Valley in Afghanistan.



- Photo 19 : Émeraude synthétique hydrothermale Regency qui présente un germe incolore à partir duquel « partent » de nombreuses inclusions (« nails »).
- ■Photo 19: Regency synthetic hydrothermal emerald showing a colorless seed plate from which numerous nail-like inclusions « start ».

THE IMPORTANCE OF SOLID AND FLUID INCLUSIONS FOR THE CHARACTERIZATION OF NATURAL AND SYNTHETIC EMERALDS

by Dr. Dietmar Schwarz

Introduction

The mineralogical/gemmological properties normally used in the separation of natural from synthetic emerald, resp. in the origin determination of natural emeralds are

- inclusion features
- optical characteristics (refractive indices; birrefringence)
- absorption spectra (UV-vis-NIR-MIR)
- chemical data
 - . absolute concentrations and concentration ranges
 - . ratio diagrams
 - . trace-element fingerprints.

Among these properties, the interpretation of the inclusion features - in general - is still the most common and most important routine examination for the gemmologist in the laboratory.

Classification of the internal features in gemstones

The internal characteristics (inclusion and growth features) of an emerald can be classified in different manners (e.g.):

(A) The «genetic classification» is based on the time of formation («protogenetic», «syngenetic», «epigenetic»; «primary», «pseudosecondary», «secondary» formation) is the appropriate method for the discussion of genetic aspects of emerald growth.

"phenomenological Theclassification" is more useful for the interpretation of the internal features when dealing with the separation of synthetic and natural emeralds, and also for the characterization of natural emeralds originating from different genetic environments (e.g. the Colombian deposits related to black shales; the pegmatite-related mineralisations inmetamorphic schists in Brazil and Africa; the stratabound deposits in shear-zones of Santa Terezinha/GO, Brazil and the Swat Valley in Pakistan; the "black wall" related mineralisations in the Austrian Habachtal).

The most important inclusion types to be considered are (a) solid inclusions (normally crystals or crystal aggregates); (b) cavities containing fluid inclusions (this type shows a great variability regarding size, shape, and "filling combinations" (see chapter 3b for details); (c) different types of fractures/fissures (the most important ones, from a diagnostic standpoint, are the so-called "healed fissures"); (d) growth phenomena (e.g. colour zoning, growth striae). Additional internal characteristics are twin-lamellae, partitioning and cleavage planes, "intersection-tubules", and all forms of inhomogeneities like local colour concentrations, corrosin phenomena, etc.

The importance of internal features for the characterisation of natural and synthetic emeralds

Prior to discussing the importance of the different inclusion types for the separation of natural and synthetic emeralds, and for the characterisation of natural emeralds, we should put emphasis on the following fact: "Inclusion features always reflect the growth conditions that prevailed during the formation of the host crystal". Of course, sometimes, later geological influences (like tectonic events) may influence the appearance of certain inclusions. For emeralds formed in a the most natural environment, important controlling factors are : nature of the host rock (e.g. carbonate rock, black shale, metamorphic schists) ; composition of the mineralising fluids involved in the growth process; P/T/xconditions. Inclusion features observed in crystals grown in the laboratory will reflect the specially controlled conditions of the growth method applied: flux-growth or hydrothermal growth (for synthetic corundums also pulling, flame fusion, and floating zone).

Solid inclusions

As mentioned above, the different types of internal characteristics observed in a gemstone will always depend on the geological/mineralogical environment in which it has been formed. The majority of the world's emerald deposits are hosted in different types of meta-morphic schists. Representatives of the so-called «schist-type deposits» are, for example, Socoto and Carnaiba in the Bahia State of Brazil; the Belmont Mine and the Capoeirana garimpo in the Nova Era/Itabira region of Minas Gerais, Brazil; the mines of the Ndola Rural District in Northern Zambia; the occurrences of the Mweza Range in Zimbabwe (e.g. Sanda-wana); the mineralisations in the Russian Ural Mountains.

The most common host rocks of emerald mineralisations are micaschists, that, in general, show a biotite-phlogopite composition. Consequently, it is no surprise that mica crystals of the biotite-phlogopite series, are -by far- the most frequent mineral inclusions in emeralds.

The aspect, i.e. shape, colour, and size of the mica inclusions may show an enormous variability (Photos 1, 2, and 3). Such mica inclusions will prove the natural origin of an emerald, but, in general, they do not give an indication of the exact provenance, therefore, they do not have a locality-specific diagnostic value.

In many cases, the composition of the schist-host rock shows variations in its mineral composition. For example, mica-schists may contain variable amounts of actinolite-tremolite or may gradually pass into almost pure actinolite/tremolite schists. In emeralds originating from such schists, the amount of actinolite/tremolite inclusions will, of course, also increase, and this mineral may become the dominating inclusion mineral (Photo 3).

The most frequent inclusion minerals in emeralds from a certain deposit are, normally, those, which are the main components of the surrounding host rocks. Micas of the biotite/phlogopite series are the dominant mineral inclusions in emeralds from the following occurrences:

Socoto and Carnaiba (Bahia State, Brazil), Belmont Mine and garimpo area of Capoeirana (Minas Gerais, Brazil), Ndola Rural District (Zambia), Mananjary region of SE Madagascar, Transvaal, South Africa, Lake Manyara / Tanzania, Ural Mountains / Russia, Eastern Desert / Egypt, Habachtal / Austria. Actinolite/tremolite may be the most frequent inclusion mineral in emeralds from the Brazilian locality of Taua in the Ceara State (Photo 3), or in some emeralds from Madagascar (Photo 3). The emeralds and green beryls from Central Nigeria are hosts of a quite unusual type of mica. These dark-brown, Fe-rich crystals are most likely in the com-positional range of annite-siderophyllite or zinnwaldite (Photo 4). Their presence reflects the special genetic environment for these stones that have been formed in greisen associations of Mesozoic alkali granite ring complexes (Schwarz et al., 1996).

Emeralds from the Mweza Range in Zimbabwe (the former Southern Rhodesia) became famous because of their nice brilliant green colour even in small samples. For the gemmologist, emeralds from this region (especially from the most important Sandawana mining area) present an internal scenario that is as impressive at it is typical (Photo 5): transparent colourless or slightly greenish or brownish rod-, needle-like, or slightly curved crystals are dispersed in an irregular manner throughout the host crystal. Gübelin (1956) identified these crystals as tremolite, Schwarz (1996) found that part of these inclusions in emeralds from the Machingwe area are chrysotile (the host rock of the emeralds in this area is sometimes called «asbestos schist» by the local miners). Finally, in 1997, Zwaan et al. identified such long-prismatic or needle-like crystals in emeralds from the Zeus Mine in the Sandawana mining field as the am-phibole group members actinolite and cummingtonite.

Photos 3, and 5 to 9 show typical internal mineral associations in emeralds originating from different genetic environments and different types of host rocks («external mineral associations»). Emeralds from the «black shale deposits» of the Cordillera Oriental in Colombia show, as the most common solid inclusions those minerals that accompany the emeralds in the mineralised veins (compare Photo 7 and Figure 1): different carbonates, quartz, albite, pyrite, muscovite, and (carbonaceous) «particles» from the host rock material. Emeralds found in the metamorphic schists of the shear zone-associated Santa Terezinha deposit in Goias/Brazil show as dominant mineral inclusions: different carbonates (Photo 8), talc (Photo 8), mica (biotite/phlogo-pite), pyrite (Photo 8), and Fe/Cr-spinels (Photo 8). Emeralds and green beryls from the Kaduna and Plateau States in central Nigeria show a unique and localityspecific mineral inclusion association, including some quite «exotic» minerals (Photo 9): several fluorides (fluorite, boldyrevite, ralstonite; Photos 9 and 9) (probably Fe-rich micas annite/siderophyllite; Photo 4) + albite + ilmenite + monazite.

Solid inclusions may also be quite common in laboratory-grown emeralds. Synthetic emeralds are produced in large quantities by different crystal growers. The methods applied in the commercial production of emeralds are (a) fluxgrowth, and (b) hydrothermal growth.

Most flux materials used in synthetic emerald growth are based on molybdates, vanadates and similar chemical compounds. Their main functions are (1) to allow crystal growth at relatively low temperatures, and (2) to create a medium that facilitates dissolution, transport and (re)- crystallisation of the components involved in emerald growth. Most flux-

materials arequite aggresive chemically. This fact requires the use of noble metals for the crucibles (e.g. platinum, iridium) containing the molten flux. The hydrothermal method uses a pressurized container called «autoclave» filled with an aqueous solution and the components necessary for emerald growth, as well as some additional compounds, called mineralizers. The autoclave, in general, is made of steel. To protect it from the aggresive brine, it is often «lined» with a noble metal (normally gold).

With these details about the growth methods of synthetic emeralds in mind, it is relatively easy to explain the presence of the different types of solid inclusions observed in flux- and hydrother-mally grown crystals.

(a) Flux «particles», these may show a large variation in size and shape (compare Photo 10).

Their colour is normally greyish- or brownish-white. Flux remnants often form wispy veil like healed fissures («fingerprints»; Photo 11); sometimes they present interesting textures as is shown in Photo 12.

(b) Metallic inclusions (or metal oxides) originating from the container metals used in the growth process.

. Platinum. Normally in the form of platelets (these show often well-developped three- or six-sided forms) or «needles» with a strong metallic lustre (Photo 12).

. Gold inclusions have been observed in hydrothermally grown synthetic emeralds (Biron; Kane and Liddicoat, 1985). It forms thin, flat plates with hexagonal and triangular outlines, needles, grains, or granular/dendriticappearing aggregates.

. Opaque hexagonal platelets (probably hematite) have been described in Russian hydrothermal synthetic emeralds by Schmetzer, 1988.

(c) Colorless-transparent phenakite crystals of varying shape (Photo 13). Phenakite may form crystallites, slender prismatic or acicular crystals. Phenakite is a beryllium-silicate (emerald is a Be-Al-silicate). It normally forms at the expense of beryl when there is a local or

temporary Al-deficit during the growth process, or when the temperature gets

too high.

Phenakite is often the «head» of naillike inclusions which are common in synthetic emeralds (especially in those grown by the hydrothermal method; see also «Fluid inclusions»).

(d) Beryl/emerald crystals. These are almost invisible under «normal» lighting conditions. They normally become visible when using polarized filter and rotating the host crystal into the «dark» position. Those beryl inclusions which have a crystal orientation different from that of the host crystal appear more or less bright under these condition.

Graziani et al. (1987) describe an unusual combination: flux-filled tubelike inclusions, surrounded by peripheral synthetic beryl crystals in Lennix flux-grown emeralds.

(e) Chrysoberyl is sometimes seen as an inclusion in hydrothermally grown emeralds, especially in those produced recently in China (Schmetzer, 1997). It is commonly associated with cone-shaped spicules.

(f) Tiny red-brown and whiteappearing particles of undetermined nature (Russian hydrothermal emerald; Koivula et al., 1996).

Fluid inclusions

Fluid inclusions are cavity fillings that show a large variation in composition and aspect. The cavities containing fluid inclusions may show a quite regular aspect («negative crystals»; Photos 14) or they are of a very irregular shape. The cavities may be elongated and crystallographically oriented («growth tubes»); they may be isolated or dispersed over fissure planes ("healed fissures"). In a similar way as do the solid inclusions, fluid inclusions reflect the physical and (geo-)chemical conditions during crystal growth. Examples for fluid inclusions observed in emeralds are: liquid-gas («l-g») or liguid-liguid $(\alpha l-l)$ two-phase inclusions, solid-liquid-gas («s-l-g») three-phase inclusions, or the so-called «multi»- or «poly-phase» inclusions which contain 4 or more different phases, for example, a«s-s-l-g» four-phase inclusion, this means two crystals of different species embedded in a liquid phase and accompanied by a gas bubble.

Fluid inclusions are present in

natural emeralds from all genetic environments. Most fluid inclusions, especially the most common type, the «liquid-gas» 2-phase inclusions, are not very helpful for the gemologist when searching for information allowing to identify the origin of an emerald. However, in some cases, fluid inclusions may show very typical aspects. The best-known and most famous fluid inclusions in emeralds are, without any doubt, the «classical» 3-phase inclusions («solid-liquid-gas») of the Colombian emeralds (Photo 15).

These have been considered, for a long time, as locality-specific features. However, as Photo16 shows, many fluid inclusions in the emeralds and green beryls from central Nigeria have fluid inclusions that look practically identical.

Besides the emeralds from the Cordillera Oriental in Colombia and the Kaduna/Plateau States in central Nigeria, especially the emeralds from the Itabira/Nova Era region in Minas Gerais, Brasil (Photo 19), those from the Mananjary region in Madagascar (Photo 17), and those from the Panjsher Valley in Afghanistan show quite interesting fluid inclusion. Emeralds from the Belmont Mine and the garimpo Capoeirana (Itabira/Nova Era) show a remarkable variation of fluid inclusions in elongated cavities that are oriented in direction of the c-axis (Photo 19). Madagascar emeralds may show similar arrangements of primary fluid inclusions, but they do not show the variation of their Brazilian counterparts. Madagascar Zambian emeralds often present inclusions primary fluid «rectangular-prismatic» cavities (Photo 17). Emeralds from the Panjsher Valley in Afghanistan are characterized by the presence of multi-phase inclusions (Photo 18).

The synthetic flux emeralds are grown in an anhydrous medium. Consequently, these emeralds do not contain fluid inclusions with an aqueous l-component. Frequent inclusions in flux-grown emeralds are, however, cavities that contain solidified ("glassy") flux material and a "contraction bubble" (vacuum?), resulting from the volume decrease of the flux material upon cooling. Such

inclusions may be designated as 's-g'-two-phase inclusions.

On the other hand, synthetic hydrothermally grown emeralds crystallize from an aqueous solution which results in the formation of fluid inclusions that may be present in isolated cavities of varying size and shape. Normally, however, they are dispersed over healed fissures («veils», «fingerprints»).

The aspect of these healed fissures and their fluid inclusions can be quite similar to those observed in natural emeralds. Fluid inclusions in hydrothermally grown emeralds are, normally, of the two-phase 'l-g'-

type. Other filling-combinations are rarely seen:

- . 's-l-g' three-phase inclusions (Regency, Koivula, 1986);
- . three-phase inclusions probably consisting of two immiscible liquids and

one gaseous phase, and three-phase inclusions of the 's-l-g'-type, with a doubly refractive daughter crystal (Russian hydrothermal emerald; Schmetzer, 1988);

. three-phase inclusions, comparable to some Colombian emeralds, but with synthetic beryl as daughter crystal (Lennix; Attanasio et al., 1989).

A special inclusion type, often seen in

hydrothermally grown synthetic emeralds (and rarely observed in synthetic flux emeralds) are cone-shaped voids, associated with crystalline inclusions («nails»; «nail-head spicules»). In hydrothermal emeralds, these voids are generally filled with a fluid and a gas bubble. The crystalline «head» may be phenakite, beryl, chrysoberyl, or even gold (Photo 19).

Bibliographie

Attanasio D., Flamini, A., Graziani G., Martini, M., Scandale E. (1989) Further observations on the Lennix synthetic emerald. Z.Dtt.Gemmol. Ges. 38(1):1-10.

Graziani, G., Gübelin, E., Martini, M. (1987) The Lennix synthetic emerald. Gems & Gemology 23(3):140-147.

Gübelin E. (1958) Emeralds from Sandawana. J.Gemm, 6(8): 340-354.

Hänni, A, Schwarz D., Fischer M. (1987). The emeralds of the Belmont Mine, Minas Gerais, Brazil. J. Gemm., 1987, 20(7/8):446-456)

Kane R.E., Liddicoat Jr., R.T. (1985) The Biron hydrothermal synthetic emerald. Gems & Gemology, 21(3):156-170.

Koivula, J. (1986) Three-phase inclusions in « Regency » synthetic hydrothermal emerald Z. Dt. Gemmol.Ges. 35(3/4):97-99.

KoivulaJ.I., Kammerling R.C., DeGhionno D., Reinitzl., Fritsch E., Johnson, M.L. (1996) Gemological investigation of a new type of Russian hydrothermal synthetic emerald. Gems & Gemology, 32(1):32-39.

Schmetzer K. (1988) Characterization of Russian hydrothermally-grown synthetic emeralds. J.Gemm., 1988, 21(3):145-164.

Schmetzer K., Kiefert, L., Bernhardt, H.J., Beili Z (1997) Characterisation of Chinese hydrotermal synthetic emerald. Gems & Gemology, 33(4):276-291.

Schwarz D., Hänni,H A., Martin Jr F L., Ficher,M. (1988). The emeralds of Fazenda Boa Esperanca, Taua, Ceara, Brazil: occurrence and properties J.Gemm., 1988, 21(3):168-178.

Schwarz D, Eidt T (1989) The Brasilian emeralds and their occurrences: Carnaiba, Bahia J Gemm. 21(8) 474-486

Schwarz D.(1989) The discovery of a new emerald occurrence in Brazil: Capoeirana (Nova Era), Minas Gerais. The Australian Gemmologist, February 1989: 4-5

Schwarz D. (1990) Die brasilianischen Smaragde und ihre Vorkommen : Santa Terezinha de Goias/GO. Z.Dt.Gemmol.Ges. 39(1):13-44.

Schwarz D. Eidt T., Couto P.A. (1990) The Brazilien emeralds and their occurrenses: Socoto, Bahia J. Gemm. 22(3) 147-163.

Schwarz D. Kanis J., Kinnaird J. (1996) Emerald and green beryl from Central Nigeria. J. Gemm. 1996, 25(2):117-141.

Schwarz D. (1996) Smaragdgenese. Abschlussbericht. Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Bonn (unpublisched).

Zwaan, J.C., Kanis J., Petsch, E.J. (1997) Update on emerald from the Sandawana Mines, Zimbabwe. Gems & Gemology 33(2): 80-100.

QUE PEUT APPORTER LA SPECTROGRAPHIE INFRAROUGE DANS L'ÉTUDE DES ÉMERAUDES ?

Pierre ZECCHINI¹ et Philippe MAITRALLET²

- 1 Laboratoire de Cristallographie et Chimie Minérale, Université de Franche-Comté, F. 25030 BESANCON cedex
- 2 Service du contrôle des diamants, pierres et perles de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris, 2, Place de la Bourse, F. 75002 PARIS

a spectrométrie par transformée de Fourier, plus simplement dénommée IRTF, a permis de reprendre et de développer avantageusement les travaux effectués antérieurement en gemmologie à l'aide d'un spectromètre dispersif à double faisceau, avec tous les atouts supplémentaires qu'apportent cette technique : l'énergie et la vitesse de travail. Les deux différents modes d'observation que sont la réflexion et la transmission, peuvent être utilisés pour l'identification des espèces minérales, pour la détermination de leur origine naturelle ou de synthèse et pour révéler les traitements éventuels subis par les pierres. La dimension et la forme de la pierre à mesurer ne posent pas, dans la majorité des cas, de problèmes particuliers. Certes l'observation est grandement facilitée si cette pierre est libre.

Certaines mesures pourront être considérées par le gemmologiste utilisant les méthodes classiques de caractérisation des espèces minérales comme non indispensables à la reconnaissance de celles-ci. Toutefois, certaines pierres, de forme particulière ou plus rarement utilisées en bijouterie, peuvent être difficiles à déterminer; alors la spectrométrie infrarouge devient le moyen rapide et sûr de l'identification. Aussi, dans cette présentation de l'application de la spectrométrie infrarouge à l'observation des béryls, toutes les étapes susceptibles d'être exploitées, seront exposées.

La réflexion et la transmission sont les deux manières de mesurer une pierre. Un spectre de réflexion traduit le pouvoir réflecteur de l'échantillon en fonction de la longueur d'onde. La pierre joue tout simplement le rôle de miroir. Ce spectre de réflexion dépend de très nombreux paramètres parmi lesquels, les plus influants sont : l'indice de réfraction, le coefficient d'extinction, la structure du minéral, sa composition chimique, et même l'orientation de la face exposée si

le réseau cristallin n'est pas cubique. Toutes les informations n'étant recueillies qu'à partir de la surface des pierres, l'étude devient possible sur des échantillons totalement opaques. Le spectre de réflexion peut être considéré comme l'empreinte digitale d'une espèce minérale et est donc principalement utilisée pour une identification rapide de celleci. Le spectre de transmission traduit le "contenu" de l'échantillon. Le faisceau infrarouge traversant la pierre, la propriété fondamentale nécessaire est sa transparence au rayonnement infrarouge. Alors, au coté des absorptions propres au minéral étudié, toutes les impuretés, telles que l'eau ou le dioxyde de carbone, l'effet de traitements physiques ou chimiques, sont également à l'origine des absorptions mesurées.

La spectrométrie infrarouge nécessite d'avoir des références, à la fois pour l'identification des espèces minérales et pour l'identification des traitements. Toutefois, certaines absorptions caractéristiques de groupements d'atomes, restent indépendants de la nature de l'échantillon qui les renferment. Cette propriété fondamentale de la spectrométrie de vibration est la base de l'interprétation des spectres infrarouge.

Pour l'étude par transmission des pierres facettées, l'utilisation d'un condenseur - collecteur de faisceau est recommandé. Cet accessoire ainsi que le type d'échantillons mesurés, en majorité des pierres facettées pour la joaillerie, ne permettent pas une exploitation correcte de l'effet de la polarisation du faisceau infrarouge sur les spectres. Aussi, les spectres présentés par la suite, ne sont que les spectres obtenus en lumière naturelle. Pour l'étude par réflexion, l'accessoire montré sur la figure 1, est d'emploi aisé, en particulier pour l'identification de pierres de très petites dimensions, de pierres montées ou de taille cabochon.

P. ZECCHINI : Laboratoire de Cristallographie et Chimie minérale, Professeur à l'Université de Franche-Comté

P. MAITRALLET: Directeur du Service du contrôle des diamants, pierres et perles de la Chambre de Commerce et d'Industries de Paris.

Partie 1 : la spectrométrie par réflexion

Les spectres de réflexion représentatifs de quelques émeraudes sont montrés dans la figure 2. Les différences entre ces spectres sont dues principalement à l'orientation de la face observée par rapport au faisceau incident, une polarisation du faisceau infrarouge étant induite par l'échantillon. Bien que ces spectres apparaissent différents, leur similitude est suffisante pour permettre l'identification rapide de l'espèce minérale, et ce quelle que soit l'orientation de la face observée. Le spectre de réflexion peut fournir des informations sur l'orientation approximative de la table par rapport à l'axe optique du cristal, par simple comparaison avec les spectres de référence donnés sur la figure 3. De plus, les spectres de réflexion n'indiquant un pouvoir réflecteur positif qu'à partir de 1320 cm⁻¹ ainsi qu'une valeur minimale du pourcentage de réflexion entre 1000 et 950 cm⁻¹ correspondent toujours à des pierres naturelles. Ces deux points particuliers ne permettent toutefois pas d'identifier les pierres de synthèse bien que la valeur positive du pouvoir réflecteur est alors toujours mesurée dès 1350 cm⁻¹ et que le minimum du pourcentage de réflexion se situe toujours entre 1000 et 1050 cm-1. En effet, certaines gemmes peuvent conduire à ce type de pouvoir réflecteur. Ces observations sont indiquées sur la figure 2.

Partie 2 : la spectrométrie par transmission

La spectrométrie par transmission apporte toutes les informations nécessaires à la caractérisation des émeraudes:

- •• son origine, naturelle ou de synthèse
- •• si la pierre est artificielle, son procédé de fabrication, anhydre ou hydrothermal
- •• l'imprégnation éventuelle, la nature du produit utilisé et l'évaluation de la quantité retenue dans la pierre.

Quelques spectres de transmission représentatifs d'émeraudes sont présentés sur la figure 4. Les différentes bandes d'absorption, caractéristiques de la gemme, sont les suivantes :

•• une absorption très forte, le plus souvent totale entre 3300 et 4000 cm⁻¹ correspondant principalement à l'eau moléculaire contenue dans les canaux des béryls

- •• une seconde absorption forte, due à l'eau moléculaire dite de type II, vers 5275 cm⁻¹
- •• une absorption très fine généralement observée à 2357-2359 cm-1. Cette absorption est due au dioxyde de carbone piégé dans la pierre. Si la quantité de dioxyde de carbone est importante, un second pic d'absorption peut apparaître à 2291-2293 cm-1. Celui-ci permet toujours l'identification de dioxyde de carbone même si l'absorption du faisceau par la gemme est totale vers 2357 cm-1.

L'absence totale de ces précédentes absorptions est caractéristique des émeraudes de synthèse produites par un procédé anhydre, figure 5.

Dans la figure 6, l'absorption due à l'eau de type II, plus faible entre 5260 et 5275 cm⁻¹ que dans les pierres naturelles, permet d'identifier une émeraude de synthèse obtenue par méthode hydrothermale. De plus, de part et d'autre de cette bande d'absorption, deux autres bandes d'absorption plus larges mais très bien marquées, apparaissent, l'une entre 5080 et 5110 cm⁻¹, l'autre entre 5440 et 5460 cm⁻¹. Elles sont dues à l'eau de type I. La plupart des pierres de synthèse hydrothermale montrent également plusieurs bandes d'absorption entre 2500 et 3500 cm⁻¹, non observées sur les spectres des gemmes. Ces absorptions supplémentaires peuvent être un moyen d'identification du fabricant.

Pour deux types d'émeraudes de synthèse en provenance de Russie et d'Australie, figure 7a, une absorption fine est mesurée à 2359 cm-1. Cette absorption peut être attribuée au dioxyde de carbone qui a pu être capté au cours de la synthèse. Toutefois, l'allure des spectres est très différente dans le domaine 2400-2250 cm-1, figure 7b, l'absorption étant toujours beaucoup plus importante dans la gemme que dans l'émeraude de synthèse. De plus, pour ces pierres de synthèse, aucune absorption n'est observée vers 2291 cm⁻¹. Ainsi ces deux différences permettent toujours d'exploiter l'absorption par le dioxyde de carbone comme critère d'identification de la pierre naturelle.

Les spectres infrarouge de certaines émeraudes de Colombie présentent une similitude avec ceux mesurés pour les pierres de synthèse hydrothermale dans le domaine de l'absorption due à l'eau entre 5460 et 5080 cm⁻¹, figure 8. La teneur en eau de type II apparaît ici plus faible que dans une pierre naturelle et de plus, pour ces gemmes, les deux absorptions dues à l'eau de type l, et signalées précédemment comme caractéristiques des pierres de synthèse, sont ici assez nettement marquées. Ce type de spectre est associé aux émeraudes à faible teneur en alcalins. Dans ce cas particulier, seule l'absorption due à la présence de dioxyde de carbone permet de bien authentifier la gemme. Si l'absorption devient très forte au voisinage de 2350 cm-1, comme pour les gemmes présentées sur la figure 9a, la présence des absorptions dues au dioxyde de carbone peut être révélée par une dilatation du spectre, figure 9b: l'absorption à 2293 cm⁻¹ est alors bien identifiée.

Partie 3 : l'imprégnation des émeraudes

La spectrométrie infrarouge est un outil puissant pour l'identification des différents composés pouvant être utilisés pour l'imprégnation des émeraudes. La présence du produit est révélée même s'il est en faible quantité car le faisceau infrarouge traverse la pierre. Jusqu'à ce jour, les composés utilisés pour le remplissage des fractures des émeraudes sont des composés organiques, huiles "naturelles"ou résines de synthèse. Par conséquent, les vibrations très sensibles des groupements carbone - hydrogène qui constituent l'essentiel de la structure de ces produits, peuvent être mesurées. Chacun de ces composés, pur, a un spectre qui lui est propre, figure 10. La partie du spectre permettant d'obtenir le maximum d'informations sur la constitution de la chaîne carbonée se trouve essentiellement entre 400 et 2000 cm⁻¹. Compte tenu de l'absorption importante du faisceau infrarouge par le béryl dans cette gamme de nombre d'ondes, l'étude en transmission n'est donc pas possible dans ce domaine. Par contre, une plage de mesure reste accessible, celle entre 3200 et 2700 cm⁻¹, puisque dans cette partie du spectre, les absorptions propres au béryl naturel sont faibles si la mesure est réalisée en lumière non polarisée ou très bien identifiées en lumière polarisée comme le rappelle la figure 11. Dans

					Ab	sorption	ns carac	téristiqu	es				
Composés	supérieures à 3000 cm ⁻¹			inférieures à 3000 cm ⁻¹									
huile de cèdre						2953		2929				2867	
métacrylate		3021		2995		2952		2929			2906	2845	
huile d'olive							2936					2882	
huile (Israël)						2955				2917		2849	
opticon	3056	3038			2965			2929				2872	
palm oil	3056	3038			2965			2927				2872	
traces de doigt						2954			2922			2870	2852
Indian Jobbin			3009			2955			2925			2871	2854
huiles colorées (Indes)			3009			2955			2926			2871	2854
Groom*	3057	3037	3005		2965				2927			2871	2853

Tableau 1 : Absorptions observées dans différents composés

Précision meilleure que 2 cm⁻¹, dépendant toutefois de la quantité de produit dans la pierre. En caractères gras, l'absorption relative la plus intense du composé dans ce domaine. Le groom apparaît comme un double traitement, huile et résine type opticon.

cette gamme spectrale, les absorptions caractérisant les différents composés étudiés sont notées dans le tableau 1.

Le spectre infrarouge de composés organiques au voisinage de 3000 cm-1 montre que, pour les groupements méthyle, méthylène, et méthine qui constituent l'essentiel de la chaîne carbonée des huiles naturelles, les vibrations des groupements C-H sont toujours mesurées à un nombre d'ondes inférieur à 3000 cm-1, tableau 2.

Par contre, dès qu'un cycle aromatique est présent dans la structure de la molécule organique, les vibrations de la liaison C-H du cycle sont toujours mesurées au dessus de 3000 cm⁻¹. Les intensités de ces absorptions sont généralement plus faibles que celles des C-H de la chaîne linéaire. Cette valeur de 3000 cm⁻¹ constitue donc une frontière entre deux types de composés, les composés dits aliphatiques, auxquels appartiennent les huiles naturelles, et les composés aromatiques auxquels appartiennent en particulier, les résines de synthèse.

Pour la résine synthétique de type opticon ou le "palm oil", deux absorptions nettes sont mesurées à 3055 et à 3037 cm⁻¹ ce qui correspond à l'existence d'un cycle aromatique dans ces composés. Pour les huiles colorées, l'absorption au nombre d'ondes le plus élevé n'est située qu'à 3009 cm⁻¹. Cette

Groupe		anti symétrique	symétrique
CH ₃ -	méthyle	2962	2872
- CH ₂ -	méthylène	2926	2853
- CH	méthine	2890 (tre	es faible)

■ Tableau 2 : vibrations C-H dans les composés aliphatiques

absorption détectée dans les huiles colorées pures est probablement liée à la présence du colorant - naturel ou artificiel - dont la chaîne carbonée renferme très certainement un cycle aromatique, et qui serait présent en quantité importante dans l'huile pure. Cette absorption n'apparaît pas sur le spectre d'une huile incolore.

Ainsi, la différentiation entre les huiles naturelles et les résines et huiles synthétiques peut être faite. Une étude préalable sur le composé pur est nécessaire pour, dans un premier temps, permettre une mesure précise des pics d'absorption qui le caractérisent. Pour tout composé nouveau qui serait utilisé pour l'imprégnation; si des absorptions sont mesurées au dessus de 3010 cm⁻¹, elles devront être attribuées à un composé aromatique, ce qui, dans le cas précis de l'imprégnation des émeraudes, correspondrait à la présence de résine ou d'huile synthétique. Dans les conditions de

mesures actuelles, il semble très difficile de différencier une huile naturelle d'une huile de synthèse aliphatique ces deux composés possédant une structure chimique pratiquement identique.

Différents composés connus ont été identifiés dans des émeraudes naturelles. Les figures 12 à 15 montrent quelques exemples des effets induits par la présence de ces composés sur les spectres infrarouge entre 3200 et 2700 cm⁻¹.

Pour mettre en évidence les effets de l'imprégnation sur les spectres infrarouge, les pierres sont toujours disposées sur le porte-échantillon du condenseur de façon telle que le faisceau incident soit perpendiculaire à la table, la largeur de faisceau étant limitée à 5 mm par une fenêtre. En admettant que l'importance de l'épaisseur soit bien supérieure à l'effet du changement de la forme de la culasse entre deux pierres de masse différente, il est possible de définir l'absorption de la bande la plus intense, à

2926 cm⁻¹ pour les huiles ou à 2965 cm⁻¹ pour les résines, par millimètre de hauteur de pierre. Les résultats obtenus à partir des figures 16 et 17, sont donnés dans le tableau 3 pour des émeraudes huilées et dans le tableau 4 pour des émeraudes résinées. "L'indice d'imprégnation" calculé permet de traduire correctement les différences des absorptions observées sur chacun des spectres, soit dues à l'huile, figure 18, soit dues à la résine, figure 19. La référence choisie ici correspond à une pierre de taille cabochon pans russes et de masse moyenne sur laquelle aucun traitement n'a été détecté.

Conclusion

Les différents points abordés montrent

l'importance de la spectrométrie infrarouge par transformée de Fourier dans l'étude des émeraudes. Chacune des étapes peut être effectuée de façon totalement non destructive. La spectrométrie par réflexion donne très rapidement l'espèce minérale et l'orientation approximative de la table. Ce paramètre peut s'avérer utile à l'expert pour comprendre une orientation particulière choisie par le lapidaire, pour obtenir un meilleur rendu de la couleur. Elle permet, dans la majorité des cas, d'identifier simplement et rapidement, une pierre naturelle. La spectrométrie par transmission permet de déterminer l'origine naturelle ou de synthèse de la pierre, et pour la pierre de synthèse son procédé de fabrication. C'est un outil fondamental dans l'étude de l'imprégnation puisqu'elle permet non seulement de révéler le type de produit utilisé, huile naturelle ou résine de synthèse, mais aussi de l'identifier si une référence est disponible. L'intensité des bandes d'absorption caractéristiques des composés permet d'apprécier la quantité de produit retenu par la pierre et de traduire celle-ci sous la forme d'un indice d'imprégnation.

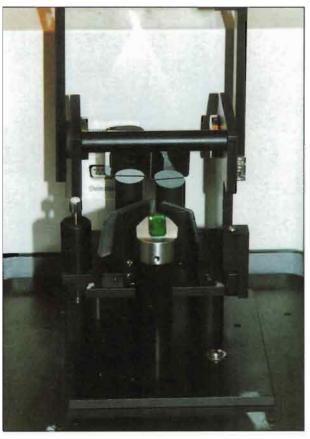
Mots clés : spectrométrie infrarouge, gemmologie, béryls, émeraudes, traitements.

pierre	absorbance à 2926cm-1	hauteur de la pierre en mm	absorbance par mm	indice d'imprégnation
r éféren ce	0.022	6.9	0.0031	1
huilée 1	0.115	3	0.0383	12.0
huilée 2	0.028	3	0.0093	2.9
huilée 3	0.262	3	0.0873	27.3
huilée 6	0.036	3	0.0120	3.7
huilée 5	0.050	3	0.0166	5.2
huilée 7	0.230	3	0.0766	24.0

■ Tableau 3 : taux d'absorbance correspondant à l'imprégnation d'émeraudes huilées* (* huiles naturelles)

pierre	absorbance à 2965cm ⁻¹	hauteur de la pierre en mm	absorbance par mm	indice d'imprégnation
référence	0.016	6.9	0.0023	1
Brésil 1	0.163	3	0.0543	23.4
Colombie 5	0.0654	4	0.0163	7.0
Colombie 6	0.0600	4	0.0150	6.4
Colombie 3	0.0489	4	0.0122	5.2
Colombie 1	0.0433	4	0.0108	4.6
Brésil 2	0.033 9	2.5	0.0135	5.8

■ Tableau 4 : taux d'absorbance correspondant à l'imprégnation d'émeraudes résinées, résine ou huile de synthèse)



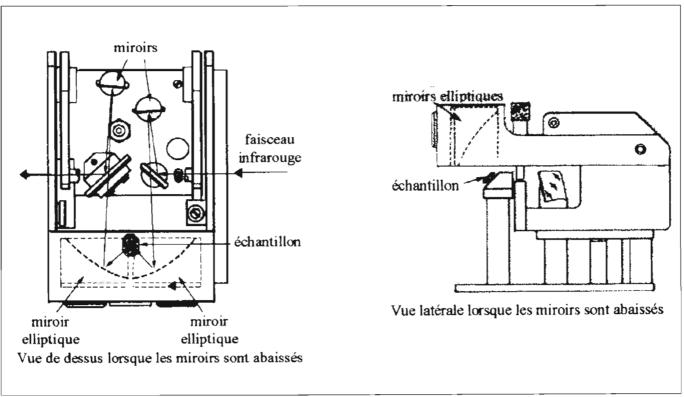
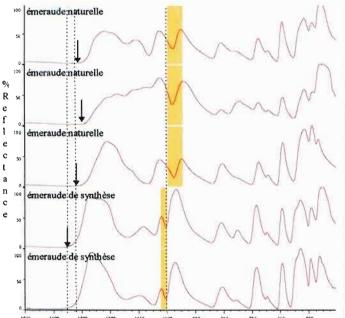
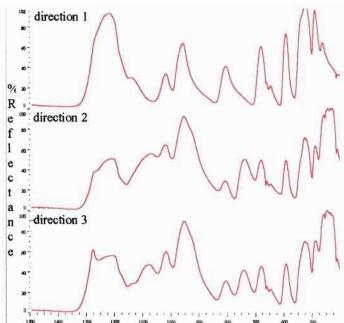


Figure 1 : accessoire de réflexion



■ Figure 2 : Spectres en réflexion d'émeraudes naturelles ou de synthèse



■ Figure 3 : Spectres en réflexion d'un béryl naturel suivant la face observée :

direction 1 : lame taillée perpendiculairement à l'axe optique direction 2 : face latérale, axe optique placé horizontalement direction 3 : face latérale, axe optique placé verticalement.

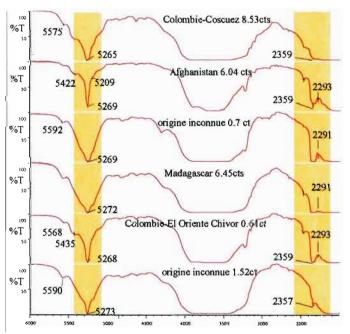
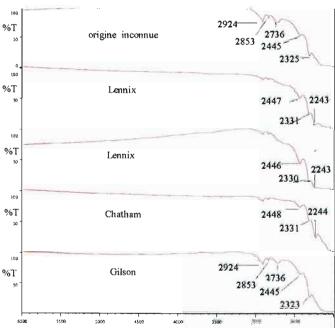
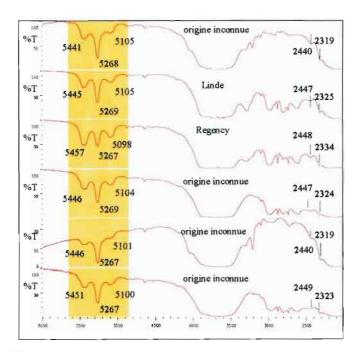


Figure 4 : Spectres en transmission d'émeraudes naturelles



■ Figure 5 : Spectres en transmission d'émeraudes provenant de différentes synthèses anhydres. Les absorbions observées semblent indiquer une fabrication Gilson pour la pierre inconnue.



■ Figure 6 : Spectres en transmission d'émeraudes provenant de différentes synthèses hydrothermales

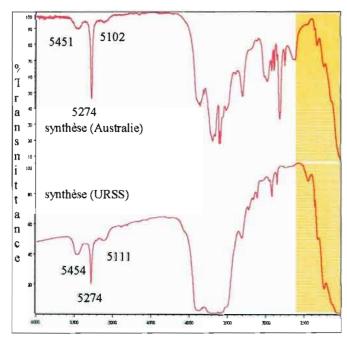
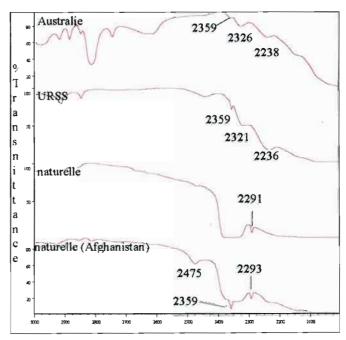


Figure 7 : a) Spectres en transmission d'émeraudes provenant de deux synthèses hydrothermales dans lesquelles la présence de dioxyde de carbone est supposée.



b) L'expansion du spectre met bien en évidence les différences de la transmission entre les pierres de synthèse et les gemmes, dans le domaine 2500 à 2000 cm¹.

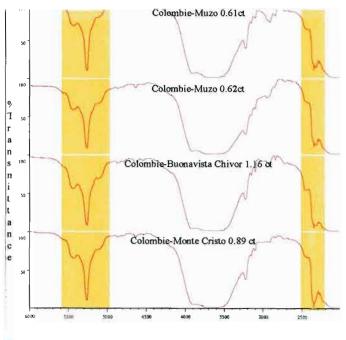
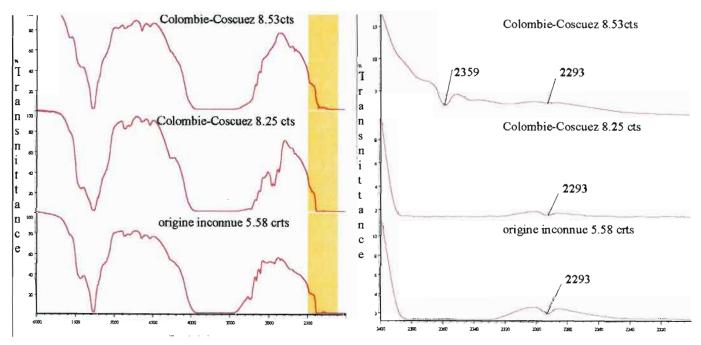
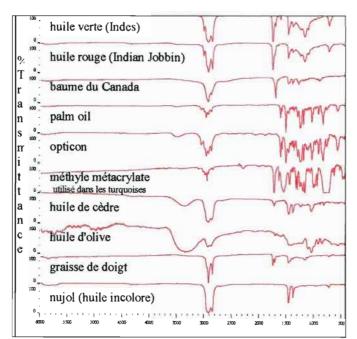


Figure 8 : Spectres en transmission d'émeraudes de Colombie

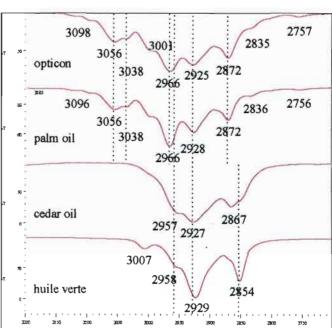


■ Figure 9 : Spectres en transmission d'émeraudes naturelles ayant une forte absorption vers 2350 cm⁻¹. Une expansion du spectre permet de révéler la présence de dioxyde de carbone à 2293 cm⁻¹.

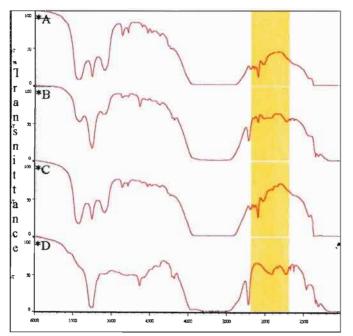




a) par simple comparaison des spectres IR entre 2000 et 400 cm⁻¹, il est possible de différencier tous ces produits. Les positions des absorptions entre 3200 et 2700 cm⁻¹ sont reportées dans le tableau 1.

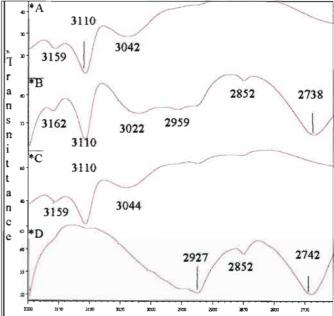


b) entre 3200 et 2700 cm⁻¹, l'opticon et le "palm oil" se différencient de l'huile verte ou de l'huile de cèdre. Mais les deux résines ne sont pas discernables dans ce domaine.



■ Figure 11 : Spectres en transmission d'un béryl naturel. Effet de la polarisation

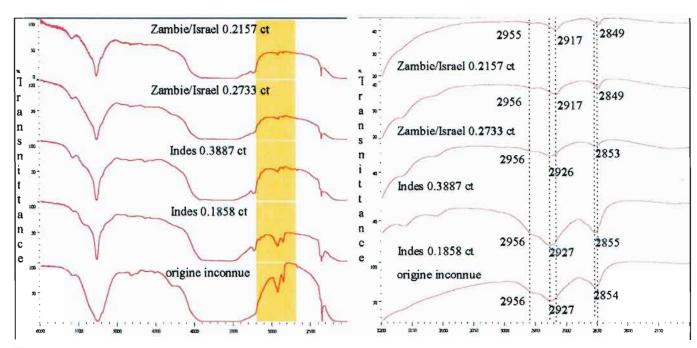
*A: faisceau non polarisé, dirigé parallèlement à l'axe optique



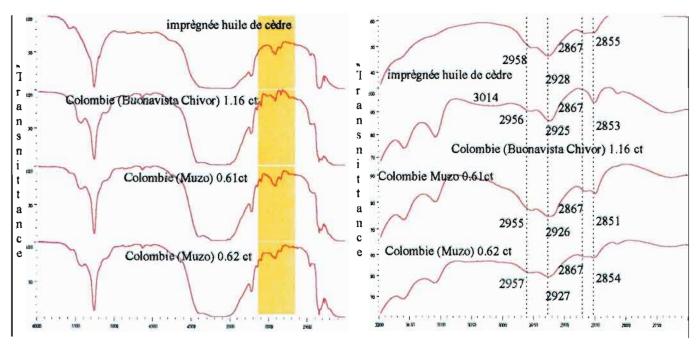
*B: faisceau non polarisé, dirigé perpendiculairement à l'axe optique

*C: axe c vertical, polarisation verticale

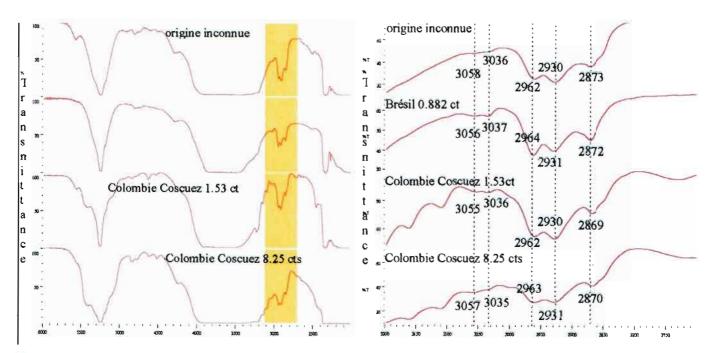
*D: axe c vertical, polarisation horizontale.



■ Figure 12 : Spectres en transmission d'émeraudes huilées. Les huiles utilisées peuvent révéler le marché. Les absorptions caractéristiques sont mesurées à 2926 et 2855 cm⁻⁻¹ pour les pierres en provenance des Indes, à 2917 et 2849 cm⁻¹ pour celles en provenance d'Israël.

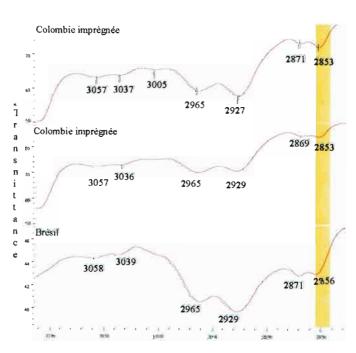


■ Figure 13 : Spectres en transmission d'émeraudes traitées à l'huile de cèdre. L'absorption à 2867 cm-1 permet de différencier ce type de traitement d'une imprégnation à l'huile (Indes ou Israël).

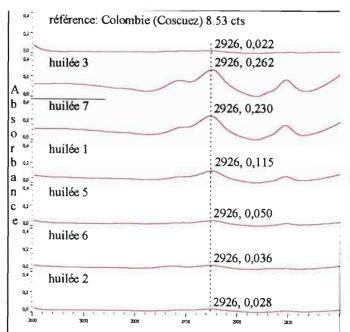


■ Figure 14 : Spectres en transmission d'émeraudes mettant en évidence la présence de résine de synthèse.

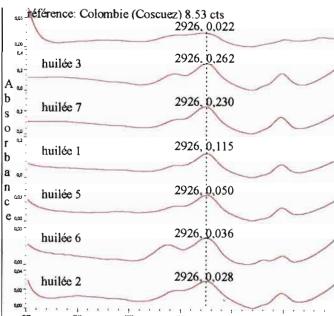
Les absorptions à 3056 , à 3036 et à 2965 cm $^{\!-1}$ permettent d'identifier le traitement à l'opticon.



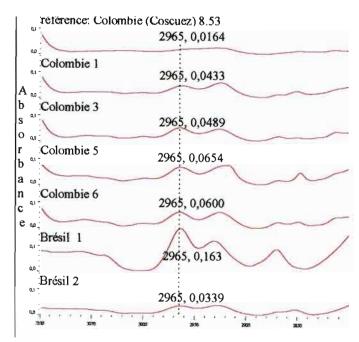
■ Figure 15: Spectres en transmission d'émeraudes ayant subi plusieurs traitements. En plus des absorptions dues à l'opticon ou équivalent à 3056, à 3036 et à 2965 cm⁻¹, l'absorption à 2853 cm⁻¹ indique un traitement à l'huile.



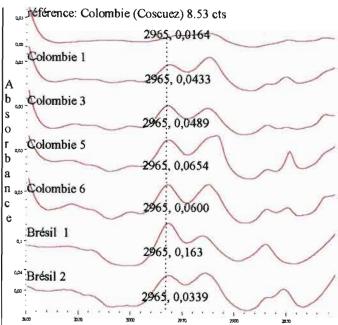
■ Figure 16 : Indice d'imprégnation d'huile : après normalisation des spectres de transmission et correction automatique de la ligne de base permise par le logiciel utilisé, l'absorbance à 2926 cm⁻¹ peut être déterminée. Une émeraude de bonne hauteur, non traitée, est choisie comme référence.



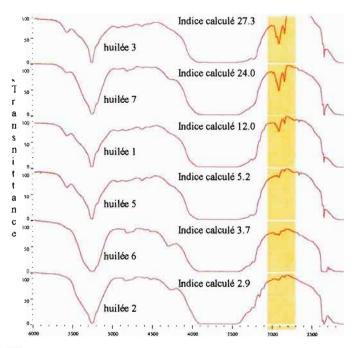
a) absorbance : échelle identique pour chacun des spectres b) absorbance : expansion maximale pour chacun des spectres



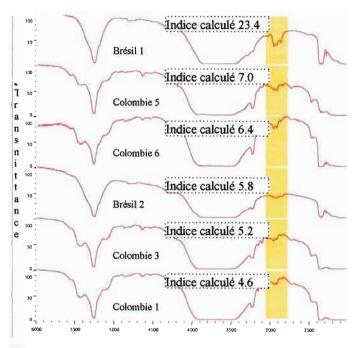
■ Figure 17 : Indice d'imprégnation de résine : après normalisation des spectres de transmission et correction automatique de la ligne de base permise par le logiciel utilisé, l'absorbance à 2965 cm⁻¹ peut être déterminée. Une émeraude de bonne hauteur, non traitée, est choisie comme référence.



a) absorbance : échelle identique pour chacun des spectres b) absorbance : expansion maximale pour chacun des spectres



■ Figure 18: Spectres en transmission d'émeraudes huilées. Les valeurs numériques de l'indice d'imprégnation calculé traduisent bien les absorptions relatives mesurées sur chacun des spectres.



■ Figure 19 : Spectres en transmission d'émeraudes résinées. Les valeurs numériques de l'indice d'imprégnation calculé traduisent bien les absorptions relatives mesurées sur chacun des spectres.

How can Infrared Spectroscopy Contribute to studying Emeralds?

by Pierre Zecchini

Fourier - Transform infrared spectroscopy is a powerful technique for analyzing gemstones. Two different reflectance techniques transmission - can be used to determine the mineral species, their origin - natural or synthetic -, the growth process - anhydrous or hydrothermal -, the typical treatments such as heating or impregnation. These differentiations can be performed on large stones as well as on small faceted samples. For emeralds, many of these possibilities can be exploited to yield more than the classical observations. In the following steps, all the aspects of the application of this technique will be presented, even if, some of them, can be partly considered of little use in identification for a gemologist.

What is reflectance spectroscopy and what is transmission spectroscopy? A reflection spectrum is obtained by using the sample as a mirror for the infrared beam. The reflection spectrum of a stone is dependent on many various parameters : at least, its refractive index, its absorption coefficient, its group space, its chemical formula and the orientation of the measured face. Consequently, this spectrum is like the finger print of the mineral species; the results obtained are only given by the surface of the stone. On the contrary, the transmission spectrum gives information on what is within the sample. The infrared beam goes through the crystal and collects data on impurities, water content, absorptions induced or modified by physical treatments. For faceted stones, a beam condenser is necessary to collect the maximum of energy on the detector. This accessory and the shape of the faceted stones for jewelry do not allow to use easily a significant polarized beam.. For reflectance spectroscopy, the reflectance accessory shown in figure I, is one of the easiest to use.

Part 1: reflection spectroscopy

In figure 2, representative spectra of emeralds are illustrated. As beryl crystallizes in the hexagonal system, the orientation of the sample has an important effect on the reflectance spectra, so different spectral shapes can be observed depending on the orientation of the cut polished faces of a stone relative to its optical axis. Nevertheless, these shapes are sufficient for determining this mineral species. Moreover, they can be very useful to approximate the orientation of the table relative to the optical axis by comparison with the reference spectral shapes given in figure 3. As noted in figure 2, for these natural emeralds, a positive reflection value starts just over 1300 cm⁻¹ and, the minimum reflectance value in the 1000 cm-1 region, is between 950 and 1000 cm⁻¹. These two particular points can be used for characterizing quickly a natural emerald but they do not permit to identify synthetic stones. Even if for artificial emeralds, the first positive reflection value is close to 1350 cm-1 and the minimum reflectance value near 1000 cm⁻¹ is higher than 1000 cm⁻¹. some particular natural emeralds can give a too close reflectance spectrum, then a wrong identification remains possible..

Part 2: transmission spectroscopy

This technique gives all the necessary data for fully characterizing an emerald: This technique gives all the necessary data for fully characterizing an emerald:

- •• whether its origin is natural or not whether its origin is natural or not
- •• whether the stone is artificial or not, the synthesis process used whether the stone is artificial or not, the synthesis process used
- •• if it was impregnated, the filling and its amount can be identified.

Most representative transmission spectra of natural emeralds are shown in figure 4.

Different absorption bands characterize the natural samples :

•• a wide and deep absorption between approximately 3200 and 4000 cm⁻¹ due to the water contained within the beryl due to the water contained within the beryl

- •• a strong absorption of the type II molecular water was measured near 5275 cm⁻¹
- •• a very sharp absorption was in most cases observed at 2357 cm⁻¹. This absorption is due to carbon dioxide within the natural crystal. In some cases, the absorption band related to carbon dioxide in natural beryl can be so strong that it reaches the bottom of the spectra. The sharp absorption is not readily visible and its position cannot be measured with enough precision for it to be used in identification. However, in this case, another small, sharp absorption remains clearly visible at 2991 cm⁻¹.

A lack of these particular absorptions differentiates a synthetic emerald from an anhydrous flux growth process, figure 5.

In figure 6, the hydrothermal processes can be identified because the absorption due to the type II water between 5260-5275 cm⁻¹ is weaker than in natural beryl and, moreover, on each side of this absorption, there are two other absorptions due to type I water: one between 5080 and 5110 and the other between 5440 and 5460 cm⁻¹. Also, many more or less strong absorption bands were detected between 2500 and 3500 cm⁻¹ according to the manufacturer. These absorptions were never visible in a spectrum of natural emerald.

In synthetic emeralds from Russia and Australia shown in figure 7(a, b), an absorption can be detected at 2359 cm-1. It could be identified as the carbon dioxide absorption. This small, sharp absorption could indicate that carbon dioxide has been introduced during the hydrothermal growth process. However, in these cases, the shape of the absorption spectrum is very different in this range and, moreover, the absorption at 2291 cm-1 is not visible. It can be inferred from both these remarks that carbon dioxide can always be used for identifying natural species.

In some particular emeralds from Colombia with a low alkali content, the absorptions in the 5080-5460 cm⁻¹ region can raise doubts on the origin,

figure 8. Then, the point to look at for an accurate identification of the natural crystallization, is the absorptions due to carbon dioxide, figure 9(a, b).

Part 3: transmission spectroscopy and filling of emeralds

Infrared spectroscopy is also a powerful technique for identifying of the filling in the emerald. As a wide infrared beam can be sent through the sample, each added compound is measured, even if a low amount was used. Each filling has been until now, a - natural or synthetic - organic compound. Consequently, the carbonhydrogen vibrations can be detected. On figure 10, oils and synthetic resins give strong and specific absorption bands over the full infrared range, between 6000 and 400 cm⁻¹ when these compounds are studied alone. But as the limiting value of transmission of the beryl is above 2000 cm⁻¹, it is impossible to identify these compounds by using the range 2000-400 cm⁻¹. However, the transmission spectral shape of the beryl shows a window between 2700 and 3200 cm⁻¹ free from beryl absorption if natural infrared beam light is used, figure 11. Then, the absorptions measured in this spectral region are only due to the fillings, table 1.

The C-H stretching region, which ranges from 2750 to 3300 cm⁻¹, is the most useful region for interpretation. A simple and classical rule can be applied: for aliphatic compounds, C-H stretch occurs to the right of 3000 cm⁻¹, table 2. If a compound has aromatic hydrogens, the C-H absorption is to the left of 3000 cm⁻¹. For the synthetic resins, the two absorptions at 3055 cm⁻¹ and at 3037 cm⁻¹ indicate that the C-H vibrations are due to aromatic compounds.

For natural colored oils, the highest absorption band is observed just over 3000 cm⁻¹, at 3009 cm⁻¹. As this absorption is not detected on the spectrum of a colorless oil, is this absorption not an effect of the colored compound used? Consequently, natural oils are differentiated from resins and artificial oil, and if references are available, there are sufficient differences in the various absorption bands to permit the identification of each family of oils or each family of resins. For unknown new fillings, the absorptions detected above 3010 cm⁻¹ must be attributed to aromatic compounds, according to synthetic products.

Various compounds were observed within emeralds. Figures 12 to 15 show

various examples of the consequences of the impregnation on infrared spectra in the 2700-3200 cm⁻¹ region. To quantify the impregnation measured on the infrared spectrum, a "filling index" has been defined for oils at 2926 cm⁻¹ and for resins at 2965 cm⁻¹. Figures 16 and 17 and tables 3 and 4 show the results. The filling indexes give a good idea of the relative absorption detected on the infrared spectra, figures 18 and 19.

Conclusion

As shown by the various results, numerous points can be revealed by using Fourier-Transform infrared spectroscopy for studying emeralds. Every step is without damage for the stone. Reflection spectroscopy is easy to use. The transmission technique is a little more difficult to perform than reflectance if the emerald is mounted or faceted. The use of a beam condenser can overcome this difficulty and facilitate measurements. The sensitivity of this technique and the particular spectral shape of the natural beryl permit the natural or artificial fillings used so far to be identified. An attempt is made for evaluating the filling content.

publications

WICKERSHEIM K.A. and BUCHANAN R.A., (1959). "The near infrared spectrum of beryl". Am. Mineral., vol. 44, pp. 440-445.

SUNAGAWA I., (1964). "A distinction between natural and synthetic emeralds". Min. Notes, vol. 49, pp. 785-792.

WOOD D.L., NASSAU K., (1967). "Infrared spectra of foreign molecules in beryl." Journal of Chemical Physics, vol. 47, n° 7, pp. 2220-2228.

WOOD D.L. and NASSAU K., (1968). "The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy." Am. Mineral., vol. 53, pp. 777-800.

VIERNE R., et BRUNEL R., (1969). "Spectres de réflexion infrarouge de minéraux monocristallins ou en poudre". Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristal., 92, pp. 409-419.

GERVAIS F. ET PIRIOU B., (1972). "Etude des spectres de réflexion infrarouge du béryl dans la région 280-1400 cm-1". C.R. Acad. Sc. Paris, T. 274, série B, pp. 252-255.

ADAMS D.M. and GARDNER I.R., (1974). "Single-crystal vibrational spectra of beryl and dioptase" J. Chem. Soc., Dalton Trans., pp. 1502-1505.

ZECCHINI P., (1979). "Etude de l'absorption infrarouge du quartz d'origine naturelle ou de synthèse". Revue de Gemmologie, a.f.g., n°60, pp. 14-19.

ZECCHINI P. et MÉRIGOUX H., (1980). "Etude de l'absorption infrarouge des quartz hyalins et colorés, naturels ou de synthèse: application à la gemmologie", C.R. Acad. Sci. Paris, 290, 291-294

NASSAU K., NASSAU J., (1980). "The growth of synthetic and imitation gems". In Freyhart H.C., Ed. Crystals: Growth Properties and Applications, vol. 2, Springer, Berlin, pp. 1-50.

LEUNG C.S., MERIGOUX H., POIROT J.P., ZECCHINI P., (1982). "Use of infrared spectrometry in gemmology"13 th General Meeting of the International Mineralogical Association. (1986.) In Morphology and Phase Equilibria of Minerals. Proceedings of the 13 th General Meeting of the International Mineralogical Association. Varna 1982, vol. 2, Sofia, Bulgaria, pp. 441-448.

SCHRADER H.W., (1983). "Contributions to the study of the distinction of natural and synthetic emeralds". Journal of Gemmology, vol. 15, n° 8, pp. 422-434.

LEUNG C.S., MÉRIGOUX H., POIROT J.P. et ZECCHINI P., (1983) "Sur l'identification des pierres fines et de synthèse par spectroscopie infrarouge". Revue de Gemmologie, a.f.g., n°75, pp.14-15.

ZECCHINI P., MERIGOUX H., y ARA-RAMIREZ O., (1985). "La espectroscopia de reflexion IR en el estudio de cristales."Rev. Uis. Inv. Bucaramanga, Colombia, 15 (1), pp. 5-23.

CALAS G., (1986). Méthodes spectroscopiques appliquées aux minéraux. S.F.M.C., vol. 1 et 2, Paris.

FRITSCH E., STOCKTON C.M., (1987). "Infrared spectroscopy in gem identification." Gems and Gemology, vol. 23, n° 1, pp. 18-26.

STOCKTON C.M., (1987). "The separation of natural from synthetic emeralds by infrared spectroscopy". Gems and Gemology, vol. 23, n° 2, pp. 96-99.

ZECCHINI P., MERIGOUX H. and MARTIN F., (1989). "Reflection infrared spectroscopy in gemology". Gems and Gemology, vol. XXV, n° 4, pp. 226-231.

SCHMETZER K., (1989). "Types of water in natural and synthetic emerald". Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte, vol. 1989, n° 1, pp. 15-26.

SCHMETZER K., KIEFERT L., (1990). "Water in beryl: A contribution to the sperability of natural and synthetic emeralds by infrared spectroscopy". Journal of Gemmology, vol. 22, n° 4, pp. 215-223.

AURISICCHIO C., GRUBESSI O., ZECCHINI P., (1994). "Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group". Canadian Mineralogist, vol. 32, pp. 55-68.

KOIVULA J.I., KAMMERLING R.C., DeGHIONNO D., REINITZ I., FRITSCH E., JOHNSON M.L., (1996). "Gemological investigation of a new type of Russian hydrothermal synthetic emerald". Gems and Gemology, vol. 32, n° 1, pp. 32-39.

Les Fluides dans les Émeraudes : Leur Étude par Spectrométrie de Masse

Jean Louis Zimmermann, Gaston Giuliani et Alain Cheilletz

Jean Louis Zimmermann ¹, Gaston Giuliani ^{2,1} et Alaiu Cheilletz ^{3,1}

- 1 : CRPG-CNRS, UPR 9046, BP 20, 54501 Vandoeuvre-lés-Nancy Cedex, France.
- 2 : ORSTOM, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Paris, France.
- 3: ENSG-INPL, Vandoeuvre-lés-Nancy, France.

¶ i la microspectroscopie Infra-Rouge permet de caractériser deux types d'orientation des molécules d'eau ainsi que celle du gaz carbonique dans les canaux des béryls (Wood et Nassau, 1968; Charoy et al., 1996; Charoy, ce volume), par contre, elle ne peut pas déterminer leurs compositions qualitative et quantitative. Outre les canaux, les fluides peuvent être piégés dans les inclusions. Deux types d'inclusions fluides sont définis : - les inclusions primaires, témoins des fluides originels qui sont piégés dans les zones de croissance du cristal; - les inclusions secondaires qui correspondent à des circulations de fluides postérieures à la formation du cristal, remplissant des fractures cicatrisées (fig. 1). Cependant le contenu de ces inclusions ne représente guère plus de 0,1 % poids de l'ensemble des fluides (Taylor et al., 1992). Ainsi, les fluides originels à partir desquels les émeraudes ont cristallisé se trouvent piégés dans les canaux structuraux et dans les inclusions primaires.

Les méthodes d'analyses ponctuelles et non destuctives comme la microthermométrie et la spectrométrie Raman permettent d'étudier les inclusions fluides dans les minéraux transparents comme l'émeraude (Dele-Dubois et al., 1980; Nwe et Grundmann, 1990; Souza et al., 1992). Toutefois, elles ne sont pas utilisables pour l'analyse des fluides occlus dans les canaux. La spectrométrie de masse et la chromatographie en phase gazeuse permettent d'analyser le contenu fluide des inclusions et des canaux; elles présentent, malheureusement, l'inconvénient d'être destructives puisqu'il faut extraire les fluides sous vide, soit par écrasement, soit par chauffage des échantillons.

La méthode analytique

Aprés broyage, des grains d'émeraude, de l à 2 mm de diamètre, sont

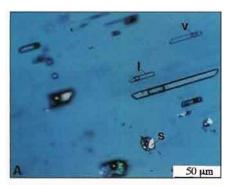
sélectionnés sous la loupe binoculaire. Puis, ils sont placés dans un four d'extraction en silice, relié à une ligne de séparation et à un spectromètre de masse. Les échantillons sont préalablement chauffés à 100 °C sous vide, pendant la nuit, afin d'éliminer les gaz adsorbés. Les gaz occlus sont libérés par étuvage sous vide, séparés par des pièges sélectifs, puis analysés par couplage manométrie - spectrométrie de masse quadrupolaire, au moyen d'un spectromètre de masse Balzers QMG 420 (Zimmermann et al., 1988; 1997).

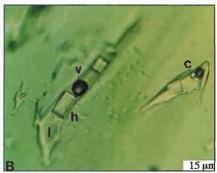
Deux types d'expérience ont été mises en oeuvre: 1) L'étuvage linéaire, de 100° C à 1150° C, qui permet de suivre en continu le départ des fluides. Les courbes obtenues donnent, pour chaque fluide, le taux de libération en fonction de la température. Les points d'inflexion et les maxima correspondent aux températures de désorption, de décrépitation des inclusions et d'ouverture des canaux. Le poids d'échantillon utilisé est d'environ 0,005g, soit 0,025 carat. 2) Les analyses par paliers successifs de température fournissent pour chaque palier, la composition qualitative et quantitative de la phase fluide extraite. Ces paliers sont déterminés à partir des résultats des analyses par chauffage continu. Pour les émeraudes et les béryls six paliers ont été retenus, à 400, 550, 720, 900, 1000 et 1150 °C. Pour chaque fluide, les teneurs globales sont égales à la somme des teneurs mesurées à chaque palier. Les poids d'échantillons analysés sont compris entre 0,02 et 0,05 g, soit entre 0.1 et 0.25 carat.

Les échantillons étudiés

Les émeraudes de Colombie, qui ont fait l'objet d'études récentes (Cheilletz et Giuliani, 1996; Giuliani et al., 1997 a; Zimmermann et al., 1997), proviennent des gisements de Vega San Juan, Guala, Klein, Oriente, Palo Aranado, situés dans

Jean Louis ZIMMERMANN, Docteur ès-Sciences Physiques, Chargé de Recherche au CNRS, est Responsable du Laboratoire d'analyse des gaz permanents du CRPG. Il est spécialisé dans l'étude de l'eau et des fluides piégés dans les roches et les minéraux, ainsi que dans les datations à partir des isotopes de l'argon.





■Fig. 1: Inclusions fluides primaires piégées par les émeraudes: A - émeraude de Coqui (Etat de Ceará, Brésil); I = phase liquide, v = phase vapeur, s = solide. (Photo: A.Cheilletz); B - émeraude d'Oriente (Colombie, zone à émeraude occidentale); h = cristal de halite, c = carbonate.

(Photo: G.Giuliani)

■ Fig. 1 : Primary fluid inclusions trapped by emeralds: A - Coqui emerald (Ceará State, Brazil); I = liquid phase, v = vapor phase, s = solid. (Photo : A.Cheilletz) B - Oriente emerald (Colombia, Western emerald zone); h = halite crystal, c = carbonate. (Photo : G.Giuliani)

la zone orientale de la Cordillère et des gisements de Yacopi, Coscuez, Pava, Cincho et Tequendama (mines de Muzo), localisés dans la zone occidentale.

Les émeraudes du Brésil appartiennent, d'une part, aux gisements de type pegmatite comme ceux de Carnaíba (Etat de Bahia), de Capoeirana (Etat de Minas Gerais) et de Pela Ema (Etat de Goiás), d'autre part, aux gisements de type zone de cisaillement comme ceux de Santa Terezinha et d'Itaberai (Etat de Goiás).

L'émeraude Afghane (vallée du Panjshir) est issue du gisement de Gujari, de type zone de cisaillement.

Les deux béryls proviennent des granites de Mangualde (Viseu, Portugal) et de Tamanrasset (Algérie).

Le béryl de Lassur (massif d'Aston, Pyrénées, France) a été échantillonné dans une veine à béryl-carbonate-pyrite qui est encaissée dans des roches dolomitiques dépourvues d'intrusifs granitiques.

Les résultats expérimentaux

Les courbes de libération continue des fluides (fig. 2 et fig. 3) mettent en évidence trois domaines correspondant aux différentes positions des fluides dans les émeraudes : 1 - les gaz adsorbés qui sont extraits entre 100 et 200° C; 2 - la décrépitation des inclusions fluides dont le taux maximum se situe autour de 400° C; 3 - l'ouverture des canaux structuraux, entre 700 et 900° C, où la plus grande quantité des fluides est libérée. Ces courbes montrent que la majeure partie des gaz se trouvent dans les canaux comme l'ont déja signalés plusieurs auteurs (Damon et Kulp, 1958; Zimmermann, 1972; 1981; Fallick et Barros, 1987).

Les analyses par paliers de température confirment ces données (fig. 4) et indiquent la composition de la phase fluide piégée dans les échantillons (tableau 1).

Les deux premiers paliers à 400° C et 550° C (fig. 4,) concernent le départ des fluides occlus dans les inclusions fluides; le volume de ces fluides ne dépasse pas 3 %, du volume total. Les inclusions fluides sont essentiellement aqueuses (3 < H₂O < 65 μmole/g ou 0,005 à 12 g %) avec des teneurs en CO₂ plus faibles (tableau 2). Toutefois, le rapport molaire CO₂ / H₂O dépasse 12 pour l'émeraude de Santa Terezinha qui possède des inclusions à CO₂, et 3 pour l'émeraude de Yacopi, riche en inclusions solides de carbonates (inclusions > à 100 microns).

Les teneurs en azote des inclusions fluides sont similaires pour toutes les émeraudes de Colombie, voisines de 5 µmole/g (0,014 g %); pour celles du Brésil, elles se situent autour de 7 µmole/g, à l'exception de Santa Terezinha (28 µmole/g soit 0,08 g %) et de Pela Ema (46 µmole/g soit 0,13 g %). Pour l'émeraude de Gujari ainsi que pour les béryls, les teneurs sont proches de celles des émeraudes de Colombie, comprises entre 3 et 6 µmole/g (0,008 à 0,017g %).

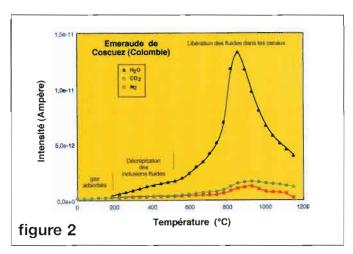
La majorité des fluides piégés dans les canaux structuraux est extraite aux paliers de 720° C et de 900° C (tableau 1), (fig. 4 et fig. 5); au dessus de 900° C, hormis du gaz carbonique, il ne reste quasiment plus de fluides.

Globalement, dans les canaux, la composition molaire (ou volumique) de la phase fluide est la suivante: H₂O (80 à 96 %), CO₂ (2,5 à 10 %), N₂ (0,8 à 12 %) à l'exception du gisement de Pava (Colombie, zone occidentale) (15,6 %), CH_4 (0,05 to 0,8%) et composés organiques (< 0.05 %), gaz inertes (< 0.1 %). Les gaz inertes (Rayleigh, 1933; Damon et Kulp, 1958), y compris le néon qui est dix fois moins abondant que l'hélium et l'argon, ne représentent guère que 0,001 à 0,1% du volume de l'ensemble des fluides. Parmi les composés organiques, seul le méthane, le plus abondant, peut être formellement identifié et quantifié; la présence des autres est reconnue par leurs masses de dissociation, ils constituent moins de 0,1 % du volume total.

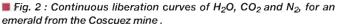
Les implications minéralogiques et géologiques

Les courbes de libération continue ainsi que les histogrammes obtenus lors du chauffage par paliers ne permettent pas de distinguer, dans les canaux des béryls et des émeraudes, les molécules d'H₂O de type I (vecteur H-H parallèle à l'axe du canal) de celles de type II (vecteur H-H perpendiculaire à l'axe du canal). En effet lorsque la température dépasse 400° C, les molécules d'eau ne sont plus liées; elles se comportent alors comme un gaz, sans orientation préférentielle dans les canaux (Aines et Rossman, 1984). Les cations alcalins situés au centre des anneaux (Si,Al)₆ O₁₈ obstruent les canaux. Ils seraient, en outre, entourés de deux molécules d'eau de type II (Hawthorne et Cerny, 1977; Aines et Rossman, 1984). Charoy et al. (1996; ce volume) ne confirment pas cette donnée; ils trouvent, pour un béryl de Goiás (Brésil), des quantités similaires pour les deux types de molécules d'eau.

L'étroite corrélation qui existe entre les teneurs en eau des canaux et les teneurs en sodium (Zimmermann et al., 1997), est vérifiée pour toutes les émeraudes et les béryls quelles que soient leurs origines (fig. 6). Un calcul réalisé à partir de l'équation de la droite de corrélation donne une moyenne de 1,65 mole d'H₂O pour un ion sodium.



■ Fig. 2 : Courbes de libération continue $d'H_2O$, CO_2 et N_2 d'une émeraude de la mine de Coscuez.



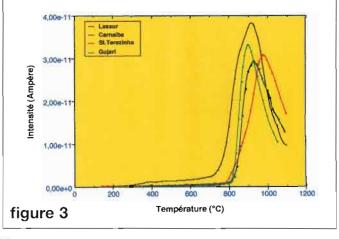


Fig. 3 : Courbes de libération continue de l'H₂O de trois émeraudes et d'un béryl de différentes origines.

■ Fig. 3 : Continuous liberation curves of H₂O for three emeralds and one beryl from different origins.

Par ailleurs, l'étude des rapports isotopiques D/H (Deutérium/Hydrogène ou δD) de l'eau des canaux permet de déterminer l'origine géologique (magmatique, métamorphique ou sédimentaire) du milieu originel de cristallisation des émeraudes (Fallick et Barros, 1987; Taylor et al., 1992; Giuliani et al., 1997 a, b).

Nous avons vu que le départ du gaz carbonique se poursuivait après celui de l'eau, comme c'est également le cas dans les cordiérites (Zimmermann, 1981). Ceci est dû au fait que la molécule linéaire du $\rm CO_2$ (diamètre : 4,96 Å), transverse au canaux (Charoy, ce volume), et plus grande que celle de l'eau (diamètre: 2,76 à 3,3 Å selon les auteurs), est libérée moins facilement. L'analyse isotopique du carbone du $\rm CO_2$ ($\rm ^{13}C/^{12}C$) ou $\rm \delta^{13}C$) permet de préciser l'origine du carbone, qui peut être soit sédimentaire (organique ou carbonates), soit magmatique (Giuliani et al., 1992).

La présence de méthane dans les inclusions fluides n'a pas été détectée par spectroscopie Raman. Apparemment, ce gaz est concentré dans les canaux (tableau. 1). Certaines émeraudes en renferment des quantités relativement importantes (gisement de Pava en Colombie, CH₄: 2,2 µmole/g); ce gaz provient probablement de la décomposition des inclusions de graphite piégées dans l'émeraude Colombienne (Giuliani et al., 1993).

En ce qui concerne les relations entre les fluides des émeraudes et la situation géologique des gisements, il apparaît que les émeraudes de la zone orientale de Colombie sont plus pauvres en fluides, notamment en eau (1,35 à 1,55 g %), que celles de la zone occidentale qui en contiennent environ 20 à 25 % en plus (1,63 à 2,20 g %). Cependant, ces valeurs se situent dans les domaines définis pour les béryls pegmatitiques et granitiques (1,2 à 2,25 g %, Deer et al., 1986) ainsi que pour les béryls des filons de greisen et de quartz (1,8 - 1,9 g %, Hall et Walsh, 1971).

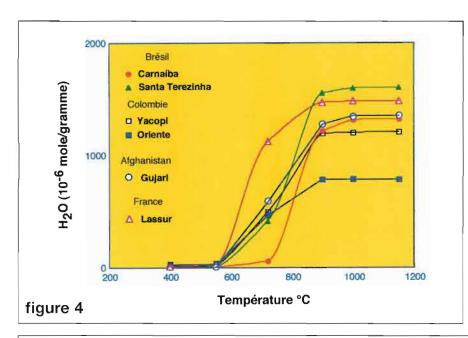
Les teneurs en fluides, particulièrement en eau, sont plus élevées pour les émeraudes du Brésil (2,35 à 3,3 g %) qui appartiennent à des gisements associés soit à des pegmatites, soit à des zones de cisaillement; elles se situent dans le domaine des valeurs publiées par Fallick et Barros (1987), Banerjee (1995) et Giuliani et al. (1997 b) pour ces types de gisement. Pour l'émeraude afghane de Gujari, la teneur en eau (2,21 g %) se situe à la limite supérieure de celles des émeraudes colombienne de la zone occidentale, mais sensiblement en dessous de celles des gisements du Brésil.

Les variations de la composition des béryls sont liées aux substitutions isomorphiques, notamment dans les sites octaédriques des émeraudes (Charoy, ce volume). Ces substitutions perturbent l'équilibre électrostatique des cristaux et doivent être compensées par des ions alcalins dans les canaux structuraux, ces ions entraînant l'incorporation de l'eau dans ces canaux (Taylor et al., 1992).

Cette cristallochimie complexe a des conséquences importantes sur les propriétés physiques des béryls; il est en effet admis que l'augmentation des teneurs en alcalins, en métaux de transition, en H₂O et en CO₂ augmente l'indice de réfraction et diminue légèrement la biréfringence des cristaux (Cerny et Hawthorne, 1976; Deer et al., 1986; Schmetzer et al., 1991).

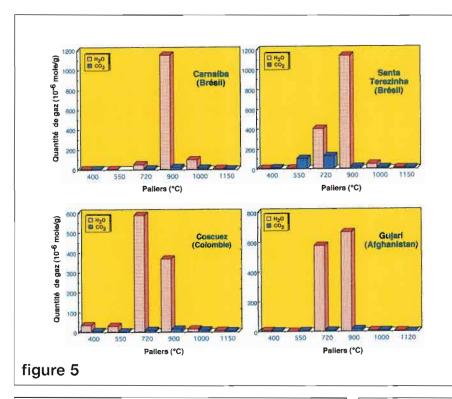
Conclusions

Les analyses par spectrométrie de masse ont permis de caractériser les compositions qualitative et quantitative des phases fluides occluses dans les inclusions fluides et dans les canaux stucturaux des émeraudes de différentes origines. Les fluides des inclusions et des canaux ont la même composition qualitative. Toutefois, les fluides des inclusions représentent seulement 3 % des teneurs totales, les canaux piégeant la quasi totalité des fluides. Pour l'émeraude, l'eau s'avère être le constituant majeur de la phase fluide piégée (80 à 96 % du volume total) suivi du gaz carbonique (2,5 à 10 %) et de l'azote (0,8 à 12 %). Par ailleurs, les émeraudes colombiennes possèdent les teneurs en fluides les plus basses de toutes les émeraudes analysées, notamment de celles du Brésil et d'Afghanistan, ainsi que de celles publiées dans la littérature.



- Fig. 4 : Analyses par paliers de température : fractions d'eau libérées après chaque palier pour des émeraudes du Brésil et de Colombie, ainsi que pour un béryl de Lassur (France).
- Fig. 4: Step-heating analyses: cumulative water quantities released after each step from emeralds of Brazil and Colombia, and also from a beryl of Lassur (France).
- Tableau 1 : Quantités (grammes %) des principaux fluides piégés dans les canaux des émeraudes et des béryls de différentes origines géologiques.
- 1- Mines de Muzo 2- Mines de Chivor
- Quantities (grams %) of the mains fluids trapped in channels for emeralds and beryls from different geological origins.

				Tableau 1			
Gisements	H ₂ O	CO ₂	N ₂	CH₄	He	Ar	Na ₂ O
	ḡ%	g%	g%	g%	g%	g%	ģ%
		Color	bie, zone o	ccidentale , ch	evauchement	_	_
Yacopi	2,17	0,43	0,17	0,001	1.10-4	0,5.10-4	0,77
Pava	1,63	0,20	0,5	0,004	0,4.10-4	-	0,31
Coscuez	1,76	0,13	0,05	0,001	0,7.10-4	1,8.10-4	0,47
Teguendama ¹	1,80	0,21	0,25	0,003	1,7.10-4	2,5.10-4	0,57
Cincho ¹	1,73	0,19	0,15	0,001	0,6.10-4	1,9.10-4	0,45
			Colombie,	zone orientale	, faille		
Vega	1,36	0,09	0,29	0,003	2.10-4	3.10-4	0,24
Oriente ²	1,40	0,13	0,064	0,007	1.10-4	2,5.10-4	0,25
Palo Aranado ²	•	0,14	0,09	0,002	0,7.10-4	2,3.10-4	0,31
Guala ²	1,43	0,19	0,07	0,003	2,2.10-4	3,2.10-4	0,22
Klein ²	1,47	0,15	0,27	0,002	0,8.10-4	0,5.10 ⁻⁴	0,27
			Brés	sil , pegmatite			
Carnaíba	2,37	0,21	0,033	0,002	2.10-4	8,4.10-4	1,20
Capoeirana	2,57	0,28	0,07	0,012	3.10-4	9.10-4	1,41
Pela Ema	2,90	0,48	0,30	0,05	3,5.10-4	14.10-4	1,94
			Brésil , zo	ne de cisaillen	nent		
Sta Terezinha	2,88	0,72	0,06	0,002	_	2,4.10-4	1,99
Itaberai	3,29	0,52	0,25	0,037	4.10-4	7,5.10-4	2,20
			Afghanistan	, zone de cisail	llement		
Gujari	2,21	0,36	0,04	0,016	0,35.10-4	0,4.10-4	0,72
			Portugal,	béryl de pegm	atite		
Mangualde	1,70	0,26	0,025	0,005	-	-	0,46
			Algérie	, béryl de gran	ite		
Tamanrasset	1,65	0,30	0,03	0,007	0,3.10-4	2,4.10-4	0,43
			France, bér	yl dissocié de ç	granite		
Lassur	2,65	0,40	0,06	0,006	0,4.10-4	4,4.10-4	1,49



- Fig. 5 : Histogrammes de libération de l'H₂O et du CO₂, obtenus à partir des analyses par paliers de température, pour deux émeraudes du Brésil, une émeraude de Colombie et une émeraude d'Afghanistan.
- Fig. 5: Histograms of H₂O and CO₂ liberation obtained during step-heating analyses for two emeralds from Brazil, one emerald from Colombia and another from Afghanistan.
- Fig. 6: Teneurs en eau des canaux en fonction des teneurs en Na₂O pour les émeraudes et les béryls de différentes origines géologiques (R² = 0,966).
- Fig. 6 : Channel H_2O contents versus Na_2O contents for emeralds and beryls from different geological origins ($R^2 = 0.966$).
- Tableau 2 : Rapports moléculaires CO₂/H₂O dans les inclusions fluides des émeraudes et des béryls de différentes origines géologiques.
- CO₂/H₂O molecular ratios in fluid inclusions for emeralds and beryls from different geological origins.

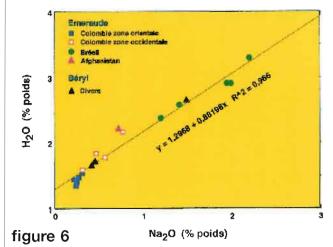


	Table	au 2	
Colombie Zone occidental	CO ₂ /H ₂ O	Brésil	CO ₂ /H ₂ O
Yacopi	3,08	Carnaíba	1,30
Pava	0,79	Capoeirana	0,06
Coscuez	0,10	Pela Ema	0,75
Tequendema	0,95 S	anta Terezinha	12,1
Cincho	0,86	Itaberai	0,03
Colombie Zone orientale	CO ₂ /H ₂ O	Autres gisements	CO ₂ /H ₂ O
Vega	0,56	Gujari	0,51
Oriente	0,13	Mangualde	0,85
Palo Aranado	0,10	Tamanrasset	0,53
Guala	0,28	Lassur	2,30
Klein	0,07		

Fluids in emeralds: Their mass spectrometric study

by Jean Louis Zimmermann

Abstract - Quadrupolar mass spectrometric study is used to characterize the qualitative and quantitative composition of fluids trapped in fluid inclusions and structural channels within emeralds and beryls from different geological environments. Emeralds come from

Colombian deposits located within faults and thrust faults, Brazilian deposits linked either in pegmatites or in shear zones, and Afghanistani shear zone-hosted deposits. Beryls come from a pegmatite of Mangualde (Portugal), a granite of Tamanrasset (Algeria) and a carbonates vein of Lassur (France).

Fluids in channels and in fluid inclusions have the same qualitative composition whatever the origins of beryls and emeralds. The fluids in inclusions correspond to only 3 % of the whole content, the major part being located in the structural channels. The bulk molecular composition of the fluid

phase is: H_2O (80 to 96 mole %), CO_2 (2.5 to 10%), N_2 (0,8 to 12%), CH_4 (0,05 to 0.8%), organic compounds (< 0.05%) and inert gases (< 0.1%). However, the Brazilian Santa Terezinha shear zone-related emerald contains abundant CO_2 , up to 13% of the total fluids. On the other hand, in Brazil, the channel H_2O content of the shear zone emeralds (2,9 < H_2O < 3,3 wt %) is higher than the range defined for the

pegmatite type emeralds $(2,35 < H_2O < 2,9)$ wt %). On the contrary, the Colombian emeralds have the lowest H_2O content found for all beryls. The contents of emeralds from the Western Colombian zone $(1,6 < H_2O < 2,2)$ wt %) are higher by about 20 % than those from the Eastern ones $(1,35 < H_2O < 1,55)$ wt %) The mass spectrometric studies show that the CO_2 molecules larger than those of H_2O are

less easily extracted from the channels. Moreover, there is a strong linear correlation between the channels H_2O content and the sodium content (Na_2O), whatever the geological environments. This would indicate that the alkaline ions which plug the channels and which participate in the electrostatic equilibrium of the crystals, have incorporated water in these channels and consequently other fluids.

Références

Aines, R. D., Rossmann, G. R., 1984, The high temperature behavior of water and carbon dioxide in cordierite and beryl: *Amer. Mineral.*, v. 69, p. 319-327.

Banerjee, A., 1995, Investigation of fluid inclusion in emeralds of different geological origin by microchemical analysis and IR-reflexion spectroscopy: *ECROFI XIII, Sitges (Spain), v. 18-1, p. 18-19.*

Cerny, P., Hawthome, F.C., 1976, Refractive indices versus alkali contents in beryl: general limitations and applications to some pegmatitic types: *Can. Mineralog., v. 14, p. 491-497.*

Charoy, B., De Donato, P., Barres, O., Pinto-Coelho, C., 1996, Channel occupancy in an alkali-poor beryl from Serra Branca (Goiás, Brazil): spectroscopic characterization: *Amer. Mineral.*, v. 81, p. 395-403.

Cheilletz, A., Giuliani, G., 1996, The genesis of Colombian emeralds: a restatement: *Miner. Depos., v. 31, p. 359-364.*

Damon, P. E., Kulp, J. L., 1958, Excess helium and argon in beryls and other minerals: *Amer. Mineral.*, v. 43, p. 433-459.

Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J., 1986, Disilicates and Ring silicates, in Rock-Forming Minerals. 1B: London, Longman.

Dele-Dubois, M. L., Poirot, J. P., Schubnel, H. J., 1980, Identification de micro-inclusions dans des rubis et émeraudes de synthèse par spectroscopie Raman: *Rev. Gemm. A.F.G.*, v. 88, p. 15-17.

Fallick, A. E., Barros, J. G., 1987, A stable-isotope investigation into the origin of beryl and emerald from the Porangatu deposits, Goiás state, Brazil: *Isotope Geosci.*, v. 66, p. 293-300.

Giuliani, G., Sheppard, S.M.F., Cheilletz, A., Rodriguez, C.T., 1992, Fluid inclusions and ¹⁸O/¹⁶O, ¹³C/¹²C isotope geochemisrty: Contribution to thegenesis of emerald deposits from the Oriental Cordillera of Colombia: *C.R.Acad.Sci.(Paris)*, v. 314, p. 269-274.

Giuliani, G., Cheilletz, A., Dubessy, J., Rodriguez, C. T., 1993, Chemical composition of fluid inclusions in Colombian emerald deposits: *Proc. Eight Quadriennal IAGOD Symposium, Ottawa (Canada), p. 159-168.*

Giuliani, G., France-Lanord, C., Zimmermann, J. L., Cheilletz, A., Arboleda, C., Charoy, B., Coget, P., Fontan, F., Giard, D., 1997 a, Fluid composition, dD of channel $\rm H_2O$, and $\rm d^{18}O$ of lattice oxygen in beryls: genetic implications for Brazilian, Colombian, and Afghanistani emerald deposits: *Intern. Geol. Rev., v. 39, p. 400-424.*

Giuliani, G., Cheilletz, A., Zimmermann, J. L., Ribeiro-Althoff, A. M., France-Lanord, C., Féraud, G.,1997 b, Les gisements d'émeraude du Brésil: genèse et typologie: *Chron. Rech. Min., n° 526, p. 17-61.*

Hall, A., Walsh, J. N., 1971, The beryls of the Rosses district, Donegal: *Mineral. Mag.*, v. 38, p. 328-334.

Hawthorne, F. C., Cerny, P., 1977, The alkali-metal positions in Cs-Li beryl: Can. Mineralog., v. 15, p. 414-421.

Nwe Y.Y., Morteani G., 1993, Fluid evolution in the H₂O-CH₄-CO₂-NaCl system during emerald mineralization at Gravelotte, Murchinson greenstone belt, Northeast Transvaal, South Africa: Geochim. Cosmochim. Acta, v. 57, 89-103.

Rayleigh, J. W. S., 1933, Beryllium and helium. I. The helium contained in beryls of varied geologic ages: *Proc. Roy. Soc. (London), v. A 142, p. 370-381.*

Schmetzer, K., Bernhardt, H.J., Biehler R., 1991, Emeralds from the Ural mountains, USSR: Gems and Gemology, v. XXVII, p. 86-99.

Souza de J.L., Mendes J.C., da Silveira Bello R.M., Svisero D.P., Valarelli J.V., 1992, Petrographic and microthermometrical studies of emeralds in the "Garimpo" of Capoeirana, Nova Era, Minas Gerais State, Brazil: *Mineral. Deposita*, v. 27, p. 161-168.

Taylor, R. P., Fallick, A. E., Breaks, F. W., 1992, Volatile evolution in archean rare-element granitic pegmatites: evidence from the hydrogen isotopic composition of channel H₂O in beryl: Can. Mineralog., v. 30, p. 877-893.

Wood, D. L., Nassau, K., 1968, The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy: *Amer. Mineral.*, v. 53, p. 777-800.

Zimmermann, J. L., 1972, L'eau et les gaz dans les principales familles de silicates. *Mém. Sci. de la Terre, Nancy, n° 22, 188 p.*

Zimmermann, J. L., 1981, La libération de l'eau, du gaz carbonique et des hydrocarbures des cordiérites. Cinétique des mécanismes. Détermination des sites. Intérêt pétrogénétique: *Bull. S.F.M.C.*, v. 104, p. 325-338.

Zimmermann, J. L., Jambon, A., Guyetand, G., 1988, Manometric and mass spectrometric analysis of fluids in geological materials: *Geochem. J.*, v. 22, p. 9-21.

Zimmermann, J. L., Giuliani, G., Cheilletz, A., Arboleda C., 1997, Mineralogical significance of fluids in channels of Colombian emeralds: a mass-spectrometric study: Intern. Geol. Rev., v. 39, p. 425-437.

L'HUILAGE DES ÉMERAUDES : UNE TRADITION PLUS QUE BIMILLÉNAIRE

Jean-Paul POIROT

çmagarbha » serait, selon le Littré, le mot sanscrit d'où dérive smaragdos, smaragdus, lequel désigne une petite gemme verte. Une certaine suffisance issue du scientisme, analogue à la suffisance des technocrates, fait suspecter les auteurs anciens de confondre toutes les pierres présentant les mêmes couleurs. Une lecture rapide de quelques citations sorties de leur contexte pourrait certes le faire croire. Dans la traduction des notes critiques du traducteur anglais Hill auteur de la version anglaise du "Peri Lithon", jointe à la première version française de cette oeuvre de Théophraste publiée en 1754, il est notamment mentionné: "il y a nombre d'écrivains qui citent les anciens sans les avoir jamais lus".

Théophraste (372-287 av. J.C.), disciple d'Aristote, précepteur d'Alexandre le Grand qu'il suivit dans ses conquêtes est sans ambiguïté lorsqu'il parle de l'émeraude : "L'émeraude est rare, et d'une masse vraiment peu importante. Il convient de ne pas croire les commentaires des rois d'Égypte, selon lesquels ils auraient reçu du roi de Babylone une émeraude de quatre coudées de long et de trois coudées de large". C'est de même sans équivoque qu'il parle des pierres vertes des mines de cuivre : "les fausses Ψευδησ émeraudes Σμαραγδοσ pseudo-émeraudes des traductions) se trouvent dans les mines de cuivre de Chypre" et servent à souder l'or. Par contre, "les émeraudes utilisées dans du ciment (pour orner des coupes etc.) viennent du désert Bactriane". Ce sont là certainement les nouveaux gîtes d'émeraudes qui viennent d'être redécouverts dans la région du Panjshir en Afghanistan, et "on va les chercher lorsque soufflent les vents étésiens", c'est à dire lors de la saison d'été. Et une forte indication est donnée, montrant que du temps d'Alexandre le Grand les émeraudes étaient déjà traitées : "il y a aussi quelque travail pour la clarifier, car elle n'est pas parfaitement limpide (Λαμπρα, lampra d'une couleur brillante, claire, limpide, superbe) à l'état brut".

Ceci nous est bien expliqué dans l'« Histoire de la nature », encyclopédie publiée en 79 de notre ère par Pline l'Ancien, amiral commandant la flotte de Misène (proche de Naples). Il donne tout d'abord une description du vert de l'émeraude: "Nous regardons avidement les herbes et les frondaisons verdoyantes : l'émeraude est vraiment agréable car rien n'est vert par comparaison." Il nous parle ensuite des diverses espèces (genera) d'émeraude, en soulignant que le nom donné à ces espèces est un qualificatif formé sur le lieu de son gisement (nous retrouverons cette terminologie au XIXème siècle) : il y a douze espèces d'émeraudes, la plus noble étant celle de Scythie du vert le plus profond, avec peu de défauts. Ce pourrait être les gisements d'Oural retrouvés en 1830 par un charbonnier, ou ceux d'Autriche, exploités par l'évêque de Salzbourg pendant tout le Moyen-Age : compte tenu de la rareté des gemmes dans l'Antiquité, il n'est pas nécessaire que des travaux miniers anciens demeurent sur le gisement; ainsi nuls travaux anciens ne se trouvent sur les gîtes de saphirs du Velay, célèbres au Moyen-Age que les paysans allaient ramasser dans les champs après les orages, et même l'exploitation du XIXème siècle n'y a pas laissé de traces. Pline donc énumère ensuite d'autres espèces d'émeraudes, celles de Bactriane "retirées dit-on, de bloc de marbres lorsque soufflent les vents étésiens" (ce pourrait être les émeraudes d'Afghanistan), et celles d'Égypte, "aux environs de Coptos" (retrouvées en 1816 par l'explorateur Frédéric Caillaud). Pline écrit alors : "les autres espèces proviennent des mines de cuivre ; la principale en est l'émeraude de Chypre", nommée plus loin

J.P. POIROT est l'ancien directeur du service du contrôle des diamants, pierres et perles de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris et membre du comité d'examen de la F.E.E.G.

"Chalcosmaragdos" et mise au nombre des "Tanos", terme déjà utilisé par Théophraste pour qualifié les "fausses émeraudes", il n'y a donc aucune ambiguïté. De plus, émeraude et aiguemarine sont identifiées comme deux variétés d'un même minéral : nombreux sont ceux qui considèrent le béryl comme de même nature que l'émeraude... Les plus estimés des béryls, ont le vert d'une mer claire (viriditas puri maris)".Une excellente indication nous est aussi donnée quant à l'huilage : "les émeraudes qui ne sont pas totalement vertes sont améliorées par le vin et l'huile". C'est une confirmation des écrits de Théophraste, qui sera encore précisée dans des textes du IVème siècle. Au temps de Vespasien, les imitations étaient déjà fort courantes, et Pline l'indique bien dans son texte: "les Indiens, et d'autres, ont vraiment imaginé d'imiter les gemmes, et plus particulièrement le béryl, en teignant le cristal" (cristallum: quartz cristal de roche; ce sont les actuels rubasses).

A l'époque de Constantin (306-337), le papyrus de Stockholm décrit mieux l'huilage de l'émeraude, en deux recettes identiques intitulées respectivement "polissage de l'émeraude" et "opération de l'émeraude": "exprimez le jus des poireaux, mêlez- y de l'huile en quantité égale dans un cruchon neuf, cuisez trois jours pour que la pierre absorbe". C'est là une recette employée couramment de nos jours, qui consiste à faire tremper longuement des émeraudes givreuses dans une huile (amande douce, santal, etc.) tiédie pour que, plus fluide, elle pénètre mieux.

Au Xème siècle, André, évêque de Césarée confirme que toutes les émeraudes sont huilées : "de couleur verte, l'émeraude est nourrie avec de l'huile afin de conserver sa transparence et sa beauté : aussi est-elle l'attribut de Jean l'Évangéliste, qui absolvait avec une huile divine les âmes déprimées par le pêché".

Le lapidaire de Marbode, évêque de Rennes au XIème siècle, est aussi sans ambiguïté quant à l'huilage :

(Smaragdus) "Perficit in viridem magis exactumque colorem

Ablutus vino viridique percunctus olivo".

(L'émeraude parfait sa meilleure verte

lorsqu'elle est purifiée au vin et ointe d'huile).

Tous les lapidaires du Moyen-Age reprendront ensuite ces vers, non sans avoir indiqué l'importance de la couleur et de la propreté pour l'évaluation d'une émeraude, et avoir aussi agrémenté cette description des nombreuses "vertus" de cette gemme : aider aux accouchements et préserver de la luxure sont parmi les vertus les plus constamment alors attribuées à l'émeraude. Ainsi vers la fin du XIIème siècle le lapidaire de Modène décrit l'huilage de l'émeraude :

Vers 253

Or apregne qui ne le set : Prengne del vin et si le let Et puis l'ogne d'ole d'olive, Plus sera vers que nule cive : De çou sa colors renouvele,

Vers 258

Plus en est vers et plus est bele.

Quant aux vertus de l'émeraude, après avoir dit qu'elle permet de voir l'avenir, enrichit, donne l'autorité, fait gagner les procès, protège des maladies, soigne les yeux, protège de la tempête et de la foudre, le lapidaire de Berne termine par ces vers :

Vers 387

Qui bailleroit une esmeraude A fame qui seroit trop chaude, Sachies que de sa legerie

Vers 390

Laisseroit une grant partie.

Ecrit vers 1250, le lapidaire de Saint Louis apprend à estimer l'émeraude, et décrit ses vertus spirituelles :

Vers 221

Li sage qui ne sont pas nice Prisent moult plus celes de Syce Qui sont sans bouillon et sans vainne. Moult est bone esmeraude plainne,

Vers 225

Nette et pure et sans pucerons.

Vers 827

La fine esmeraude esmerée De fine verdour coulorée Senefie la grant verdure

Vers 830

De la grant foi qui tous jors dure

Au XIIIème siècle le lapidaire de Cambridge confirme toujours l'huilage :

Vers 243

Ki sa verdur velte bien guarder En vin la cuvient a laver E puis uindre d'olie d'olive

Vers 246

Ki si seit verz cum une cive.

Le même conseil est donné par le célèbre Mandevile, au XIVème siècle : "Se celle piere piert sa clarteit, se la tempreis en vien et la froteis bien de drap et oindeis d'oile d'olive et elle recouverat sa clarteit".

Vers 1450, le lapidaire du roi Philippe reprend les enseignements précédents: "Elle n'a cure de luxure et si homme ou fame mariés brisent leur promesse de mariage et il aient la pierre sur eux, sans nul faulte la dicte pierre brisera et fendra en deulx ou plusieurs parties...

Elle garde de tempeste et de luxure. Et se l'en la lave en vin et puis l'oindre d'uille vert, elle en devient plus belle et plus plaisante".

C'est apparemment en 1669 que l'huilage est mentionné pour la dernière fois par Robert de Berquen, dans "Les merveilles des Indes orientales et occidentales": "pour la (l'émeraude) conserver en sa beauté, et luy redonner son lustre, il faut seulement ou la tremper dans le vin, ou l'en froter, et la laisser quelque temps dans l'huile verte".

Il est curieux qu'ensuite aucun lapidaire, aucun joaillier ne mentionne plus l'huilage, tandis que la nomenclature binomale semble se codifier. Au début du XIXème siècle, l'abbé Haüy montre définitivement que le minéral émeraude comporte deux variétés : l'aigue-marine et le béryl. La nomenclature des joailliers évolue, et, en 1881, Jannetaz est tout à fait explicite : "les noms des pierres désigne plutôt leur couleur que leur nature. Le tableau suivant indique les noms principaux adoptés pour les différentes couleurs :

Violet : Améthyste
Bleu : Saphir
Vert : Émeraude
Jaune : Topaze
Rouge/orangé : Hyacinthe
Rouge : Rubis

On est obligé d'ajouter une épithète à ces noms pour distinguer les pierres les plus estimées de celles qui ont une moindre valeur. Celle d'orientale représente, en général, les variétés que le

corindon fournit à tous ces groupes". Et Jannetaz dresse des tableaux récapitulatifs où le "nom des lapidaires" est rapproché du "nom des minéralogistes": "émeraude du Pérou = émeraude, émeraude du Brésil = tourmaline" auxquels il faudrait ajouter aussi "émeraude des croisés = péridot" que l'on trouve dans les trésors d'églises. Cette terminologie dont la signification s'oublie dès le premier quart du XXème siècle devient une source d'erreurs, de confusions, voire d'escroqueries, avec la découverte des nouveaux gisements, aussi le B.I.B.O.A (Bureau International de la Bijouterie Orfèvrerie Argenterie) demande-t-il à ses adhérents dès 1935 d'utiliser les noms minéralogiques; actuellement la C.I.B.J.O.(Confédération Internationale de la Bijouterie Joaillerie Orfèvrerie) en laquelle s'est transformé le B.I.B.O.A en raison des événements 1939-1945 publie une liste des noms et variétés autorisés dans le commerce.

Une intéressante indication est donnée par Rambosson en 1884 sur les gîtes d'émeraudes colombiens : "un fait aussi très digne de remarque est l'extrême fragilité d'une certaine espèce d'émeraude imprégné de son "eau de carrière". On a soin d'enfermer ces cristaux à mesure qu'on les extrait, et encore tout humides, dans des vases de terre où ils se dessèchent très lentement. Cette

précaution même ne suffit pas toujours pour les empêcher de se craqueler, et quelquefois de se rompre spontanément".

C'est depuis une dizaine d'années seulement que la question de l'huilage des émeraudes est réapparue dans les discussions professionnelles, bien que l'huilage ait toujours été utilisé par les lapidaires pour des raisons techniques. Il est vrai que certains exploitants ont utilisé de brutaux coups de pressions pour mieux faire entrer de l'huile dans les givres de leurs émeraudes, givres dont les lèvres s'écartent par cette brutalité, si bien que ces émeraudes ainsi traitées perdent facilement leur huile, et "transpirent" alors dans les vitrines des bijoutiers.

D'autres ont remplacé les huiles fluides traditionnelles par des huiles plus visqueuses comme l'huile de cèdre. Remarquons au passage, que ces huiles sont souvent décomposées par les acides utilisés en joaillerie pour nettoyer les bijoux, ce qui provoque des dépôts noirs de carbone; un tel accident peu aussi ce produire si l'émeraude est chauffée (vers 300-400 °c) par inadvertance.

Pour boucher les givres et ainsi éviter leurs désagréables reflets blanchâtres, de nombreux apprentis sorciers utilisent des époxy-esters, résines de type "araldite" dont le durcissement est calculée pour être très lents, afin de permettre à cette matière de bien pénétrer les givres par

capillarité, alors qu'elle est suffisamment fluide ; mais de telles résines ne polymérisent pas à volume constant, ce qui provoque des tensions qui, pour minimes qu'elles soient, fragilisent néanmoins l'émeraude. Et quelle sera l'évolution de ces résines avec les ans ? De plus, les lapidaires ont constaté que leur présence rendait difficile, sinon parfois impossible, le repolissage d'une émeraude ainsi traitée. Parfois, le contact de la meule en rotation avec des émeraudes ainsi traitées suffit à libérer des tensions internes ce qui provoque une légère ouverture des givres plastifiés, et évidemment l'apparition d'un très désagréable reflet blanchâtre. Sans prendre parti quant au bien fondé ou au mal fondé du traitement des émeraudes. il est néanmoins certain que le traitement par les époxy-esters est une erreur préjudiciable à tous. Il est difficile de nettoyer des givres ainsi traités, car il faut un produit fluide qui attaque l'époxyesters sans le décomposer et en le dissolvant. Des essais effectués à l'université de Besançon semblent montrer que l'utilisation prolongée d'acide acétique concentré chaud donne de bons résultats. Pourquoi ne pas se contenter de l'huilage bimillénaire qui a donné satisfaction à des générations d'amoureux de la splendeur verte de l'émeraude?

Détermination des Substances de Remplissage Dans les Émeraudes

J-P. Chalain, Prof. Dr. H.A. Hänni et Dr. L. Kiefert

Introduction

L'émeraude est une variété de béryl vert. Elle doit sa couleur à la présence de chrome, de vanadium et, dans une moindre mesure, de fer.

La pureté de l'émeraude est altérée par des givres de guérison (voiles, givres secs), des décollements cristallins (généralement parallèles aux faces du prisme), des fractures basales, diverses fissures et de nombreuses inclusions (cristallines, ou fluides à deux ou trois phases...).

Obturer les fissures de l'émeraude à l'aide de diverses substances incolores a pour but d'améliorer sa pureté apparente, durablement ou non. Les produits utilisés peuvent être : des huiles (naturelles ou synthétiques), des résines (naturelles ou à base de résines naturelles) et des colles ou résines artificielles (tableau 1).

L'observation des émeraudes au microscope binoculaire permet souvent de déceler la présence de tels traitements. Observer les émeraudes sous rayonnement ultraviolet (UV) permet même d'apprécier l'étendu du traitement.

Identifier la nature des substances de remplissage dans les émeraudes repose sur des techniques de laboratoire. Les premières analyses de ces substances effectuées en spectrométrie infrarouge à la SSEF Institut Suisse de Gemmologie datent de 1988 (Hänni, 1988). A partir de 1993, répondant à une demande formulée lors du congrès ICA de Tel Aviv, le Dr. Hänni se chargeait d'étudier l'adaptabilité et le vieillissement de ces mêmes substances (tableau 2 ; Hänni, 1995). À ce jour, ce laboratoire possède dans sa base de donnée :

- une trentaine de substances de remplissage analysées en spectrométrie infrarouge, et en spectrométrie Raman,
- une cinquantaine d'analyses d'émeraudes obturées par des substances préalablement identifiées,
- plus de sept cents analyses de substances

identifiées dans des émeraudes en spectrométrie infrarouge et/ou en spectrométrie Raman.

Traitement des fractures

La pureté d'une émeraude est affectée par la visibilité des inclusions cristallines -cristaux, cristaux négatifs, givres de guérison etc.- et des fractures. Ces dernières sont abondantes dans les émeraudes colombiennes. Les inclusions cristallines sont plus fréquentes dans les émeraudes d'autres provenances (Brésil, Russie, Zimbabwe-Sandawana, Afghanistan, Inde, etc.). Il n'existe pas aujourd'hui de traitement pour éliminer les inclusions cristallines dans les émeraudes.

Les fractures ouvertes des émeraudes sont remplies de substances (air, par exemple) dont l'indice de réfraction est différent de celui de l'émeraude. Aussi, la lumière pénétrant l'intérieur de l'émeraude est-elle réfléchie sur la fracture comme sur la surface d'un miroir. Obturer l'intérieur de la fracture, à l'aide d'une substance dont l'indice de réfraction est proche de celui de l'émeraude, a pour effet de laisser la lumière pénétrer à travers la fracture presque sans déviation. L'effet miroir est alors atténué, la visibilité de la fracture est grandement réduite.

En Colombie, au Brésil et dans la plupart des autres pays producteurs, les traitements sont pratiqués directement sur le brut. Pour diminuer leur viscosité les résines artificielles sont chauffées. La pénétration de la substance est favorisée par différentes techniques de pressurisation (presses hydrauliques, pompe à vide [figure1]). Les colombiens nomment cette technique « oiling » (Ringsrud, 1983), ce qui prête confusion pour des acheteurs non avertis qui croient ces émeraudes seulement huilées.

Les marchands d'émeraudes accordent aujourd'hui une importance à la nature de la substance de remplissage. Alors que les huiles, qu'elles soient naturelles ou

J-P. Chalain, DUG, Responsable des Diamants la SSEF Institut Suisse de Gemmologie.

Le Prof. Dr. H.A. Hänni, FGA, Directeur de la SSEF Institut Suisse de Gemmologie.

Le Dr. L. Kiefert, FGA, Responsable des Pierres de Couleur et des perles au sein de la SSEF Institut Suisse de Gemmologie. <u>Huiles</u>: Les huiles sont des corps gras d'origine animale, végétale ou minérale. Elles sont liquides à température ambiante. Elles sont parfois synthétisées par l'homme. Chimiquement ce sont des esters d'acides carboxyliques à longue chaîne, saturées ou non - dits acides gras - et d'un trialcool en C₃, le glycrol. La plupart des corps gras végétaux sont des huiles.

Baume du Canada: C'est une résine naturelle (oléorésive) sécrétée par le Baumier du Canada (Abies basalmea Miller). Cette substance est une térébenthine jaune pâle dont la teinte fonce avec le temps tandis que sa viscosité augmente. Pour améliorer certaines de ses propriétés physiques, les entreprises commercialisant le Baume du Canada lui ajoutent parfois diverses substances chimiques synthétiques, dans ce cas il n'est plus 100% naturel.

<u>Résines artificielles</u>: Ce sont des colles synthétiques à base de résines thermodurcissables (par ex. résines époxydes) ou thermoplastiques (par ex. colles polyacryliques - polymérisation à l'aide d'un activateur). De nombreuses colles peuvent être mélangées entre elles (colles mixtes). Les résines artificielles n'ont pas d'équivalents naturels.

Résines époxydes: Elles permettent des assemblages mécaniques résistants entre matériaux minéraux, métalliques ou organiques. Elles sont liquides ou solides à température ambiantes, suivant la longueur de leur chaîne moléculaire. Elles réagissent avec les corps polyfonctionnels acides ou basiques appelés "durcisseurs" pour donner des produits durs et infusibles. L'absorption infrarouge des vibrations moléculaires cycliques (aromatiques) est caractéristique de cette famille de résine. Les résines époxydes n'ont pas d'équivalents naturels. (d'après B. Sivry)

■ Tableau 1 : Définition sommaire de différents types de substances utilisées dans le remplissage des fissures d'émeraude

Nom commercial	Référence fabricant	Fabricant
Résines époxydes et	autres résines à durcisseur :	:
Araldit Araldit Araldit Laromin Palmoil Scandiplex Opticon	By 158 XW 396 Dy 026 SP C 260 Epon 828 82 224	Ciba-Geigy Ciba -Geigy Ciba -Geigy BASF Shell Tempelmann Hughes
Résines durcissant au	ıx UV :	
Araldit Loctite Heliobond Silux Scotchbond Demotec 200	XB 5102 302 5515 7502 A	Ciba-Geigy Loctite Vivadent 3M 3M MPI

■ Tableau 2: Liste de différentes résines artificielles analysées dès 1988.

synthétiques, semblent bien admises par certains marchands, les résines artificielles utilisées dans le traitement des émeraudes depuis une quinzaine d'années sont aujourd'hui moins appréciées. Les raisons de ces différentes « cotes d'amour » appartiennent aux marchands. Même si les résines artificielles ont un rôle de consolidation que n'ont pas les huiles, aucun de ces traitements n'est durable. L'huile très peu visqueuse a tendance à s'écouler rapidement, mais elle peut être remplacée assez facilement; les résines artificielles collent parfaitement aux fissures mais, après décomposition, elles sont difficilement remplaçables surtout quand la pierre est aux mains du consommateur final.

Le remplissage des fractures d'émeraude par des substances colorées modifie

à la fois, leur pureté et leur couleur. Ce traitement, surtout pratiqué en Inde, est facilement mis en évidence au microscope binoculaire. Dans ce dernier cas, identifier la substance colorée n'est pas nécessaire, car conformément à la règlementation CIBJO, la désignation de l'émeraude sera systématiquement accompagnée de la mention « traitée ». Dans sa version 1997, la CIBJO recommande une information générale sur les traitements à l'aide de substances incolores (CIBJO, 1997). Les substances incolores dans les fractures des émeraudes sont plus difficiles à mettre en évidence que les substances colorées. En effet, certaines substances ont un indice de réfraction si proche de celui de l'émeraude (tableau 3) qu' à l'oeil nu, la fracture disparaît presque totalement... pour un temps.

Observation des fractures

Alors qu'une observation à la loupe 10 x n'est pas toujours suffisante, une minutieuse observation au microscope binoculaire permet de déceler la présence d'une substance de remplissage dans une émeraude. La conclusion que l'on peut tirer d'une telle investigation pourra être exprimée ainsi : « Modification de la pureté évidente » ou en anglais : « Evidence of clarity enhancement ». L'observation méticuleuse des fractures sera une étape essentielle avant toute analyse. Identifier la nature de ces substances nécessite des techniques d'analyse spectroscopique nouvelles pour de nombreux laboratoires de gemmologie.

Les fractures observées au microscope binoculaire

Les éclairages utilisés sont : la lumière réfléchie, le fond noir et/ou la fibre optique. Cette dernière permet, bien sûr, un éclairage puissant et ponctuel, mais surtout, une observation plus facile dans différentes orientations (Kammerling et al., 1991). Tenir l'émeraude à l'aide de brucelles fines permet de ne pas opacifier la surface de la pierre avec les traces de graisse laissées par les doigts et ouvre un champ beaucoup plus large à la fibre optique pour éclairer l'intérieur de la pierre.

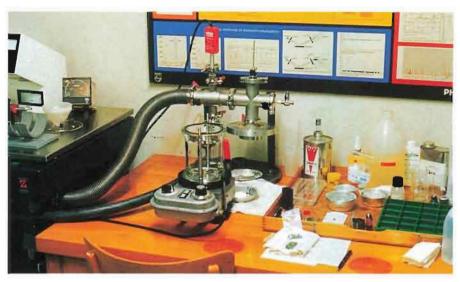
Les liquides naturels dans les fractures

La détection de liquides naturels n'est pas à négliger, car ils pourraient être confondus avec des substances de remplissage artificielles. Leur existence laisse supposer que la pierre ne présente aucune fracture affleurant en surface (c'est en général le cas des émeraudes de pureté exceptionnelle), ou que la pierre n'a pas été traitée. Les fissures présentant des liquides naturels (saumure) sont souvent disposées dans le plan basal du cristal. Elles sont parfois orientées parallèlement aux faces du prisme (plans de décollement). Il n'est pas rare d'y observer différentes phases liquides, voire solides. Leur géométrie est relativement plane. En éclairage fibre optique, de telles fissures prennent un aspect irisé. Un éclairage rasant peut mettre en évidence les différentes phases caractéristiques. Il n'est pas rare d'y observer des figures contrastées à l'aspect finement dendritique.

Les substances de remplissage artificielles

Les substances artificielles pénètrent dans des fractures en forme de volute, cet aspect étant différent de la géométrie des fractures décrites plus haut. Les liquides qui y sont infiltrés ont un indice de réfraction proche de celui de l'émeraude et, en fonction de l'épaisseur de la fissure, ils créent des effets de dispersion de la lumière qui rappellent les « effets flash» décrits pour les fissures de diamants traités par les procédés Koss, Yehuda, Goldmann, etc. (Kammerling & al., 1994). Si l'huile crée des effets « flash » orangés, les « flashs » changeant rapidement de couleur en fonction de l'orientation de l'éclairage et/ou de l'observation (figure 2) semblent l'exclusivité des résines artificielles. Suivant l'orientation de la fibre optique, le flash paraîtra orange, puis violet, puis bleu...Mais, ces flashs multicolores ne sont pas toujours présents dans les fissures traitées par les résines artificielles. Des flashs uniquement oranges y sont parfois observés. La présence des substances artificielles est souvent trahi par un remplissage incomplet de la fracture. Le liquide présente alors un aspect dendritique grossièrement vermiculé; s'y ajoutent parfois des bulles de gaz.

■ Tableau 3: Classification des différentes substances identifiées en spectrométrie infrarouge. Leurs indices de réfraction sont donnés à titre indicatif (d'après W. Weber).



■ Figure 1 : Cellule de traitement reliée à une pompe à vide sur platine chauffante. Cet appareil est installé au département de minéralogie de l'Université de Bâle pour consolider les roches trop difficiles à tailler. Pour traiter une émeraude, on place la pierre dans la cellule au dessus de la substance de remplissage, on fait le vide, on descend la pierre dans la substance réchauffée, on remet l'ensemble à pression ambiante. Sous l'effet de la pression, le liquide pénètre à l'intérieur de toutes les fissures ouvertes de la pierre.

■Vacuum chamber on heating stage. This system is in use at the Institute of Earth Sciences of Basel University to harden porous rocks to make them workable. For emerald treatment, the cleaned stones are evacuated above the filler, and then lowered into the substance. Normal pressure is admitted when the liquid has penetrated into all open fissures and fractures. Copyright SSEF Swiss Gemmological Institute.

indice réfraction

1	Epoxy-p	héno	lique
---	---------	------	-------

Epotek 306	1.588		
Epofix HQ	1.544		
Araldit BY 158	(non communiqué)		
Scandiplex	1.559		
Akemi E	1.519		
Opticon 224	1.553		
Palmoil	1.571		

Poly-isobutylène styrolisé (durcis aux UV)

Emfil 5	1.515
Emfil 9	1.515
Emfil 20	1.516
Emfil 30	1.515

3 Polyester aliphatique insaturé (ester d'acide acylique) (durcis aux UV)

Vitralit 6127	(non communiqué)
Vitralit 6164	1.451
Loctite 302	1.485
LV 15	1.472
Demotec	1.462

4 Polyester styrolisé

Depex 1.527

5 Amine aliphatique (durcisseur)

Laromin C 260 1.500

Notes: Pour comparaison les indices de réfraction de l'émeraude varient entre 1,57 et 1,60.



■ Figure 2 : Flash multicolore dans une fissure d'émeraude traitée à l'Opticon.
 Ce flash est créé par la dispersion de la lumière qui passe à travers une fissure traitée à l'aide d'une résine artificielle dont l'indice de réfraction est proche de celui de l'émeraude.
 ■ Figure 2 : Colour flashes in an Opticon treated fissure of an emerald.

The colours are due to a dispersion effect. The artificial resin has a refractivity power close to that of emerald. Copyright SSEF Swiss Gemmological Institute.



Figure 3 : Huile décomposée à l'intérieur d'une fissure d'émeraude.

Pour diverses raisons (après un nettoyage dans un bain aux ultrasons par exemple), les substances utilisées dans le traitement des fissures se décomposent. Elles laissent alors la fissure nettement visible. La décomposition de la substance de remplissage n'est pas l'apanage des résines artificielles comme le montre cette photographie.

Figure 3 : Decomposed oil on the fissure plane of an emerald.

For various reasons it is possible that filling media dry out or may decompose. Heat, solvents, ultraviolet may be the reasons for disintegration, resulting in an usually whitish appearance which may be easily visible. Copyright SSEF Swiss Gemmological Institute.

Lorsque les substances de remplissage sèchent, elles s'opacifient, les fissures traitées deviennent alors parfaitement visibles (figure 3), d'où la nécessité aujourd'hui d'identifier leur nature.

Les fractures observées aux UV

Les lampes à UV longs (365 nm), utilisées en gemmologie, sont utiles pour la détection des émeraudes fracturées et remplies. Comme de nombreuses matières organiques, la plupart des substances utilisées pour traiter les fractures des émeraudes (huiles et résines) ont une réaction de fluorescence aux rayons ultraviolets. En cela, elles peuvent parfois se distinguer des liquides naturels décrits plus haut. Mais, la genèse des émeraudes colombiennes étant en partie liée à des roches d'origine organique (Cheilletz et al., 1997), il n'est pas exclu que certains liquides, présents naturellement dans les fractures, aient une fluorescence également.

Les huiles ont en général une réaction de fluorescence jaunâtre, alors que les résines artificielles, lorsqu'elles réagissent, ont une réaction blanchâtre. Loin d'être un critère d'identification fiable, l'observation de cette fluorescence permet surtout d'apprécier la position et la quantité de fractures traitées (figure 4). En effet, les fissures étant alors bien visibles, il est possible de classer l'étendue du traitement dans une des trois catégories réclamées par les marchands : insignifiant, modéré, significatif (réunion ICA, Tucson, 1998). Ce critère ne remplace pas le jugement des marchands à qui il appartient d'évaluer la pureté des pierres. Ainsi, une unique fracture traitée, de très petite dimension et située au centre de la table d'une émeraude, répondra au critère insignifiant, bien qu'après son éventuelle décomposition la visibilité de la fissure aura un impact non négligeable sur la pureté de la pierre.

L'observation des fissures d'émeraude sous rayons ultraviolets permet aussi de parfaitement positionner une fissure traitée dans la pierre. Ceci est une étape importante pour préparer une analyse spectroscopique ponctuelle à la Microsonde Raman ou en spectrométrie infrarouge en transmission.

Analyse des substances de remplissage

Constitution d'une banque de données

Les premières analyses, réalisées en spectrométrie infrarouge à Transformée de Fourrier (IRTF) sur des substances de remplissage pures, collectées par la SSEF Institut Suisse de Gemmologie, ont été effectuées entre 1988 et 1995 par un ingénieur chimiste spécialiste des analyses spectrométriques infrarouge appliquées à l'identification de substances organiques (tableau 3). Dès cette époque, il a été montré que le liquide dénommé « Palm Oil », surtout utilisé en Colombie est, contrairement ce que son nom suggère, une résine artificielle époxyde, fabriquée par la Compagnie « Shell » et nommée Epon 828 (Hänni, 1988).

Dès lors, selon leurs propriétés chimiques, on distingue :

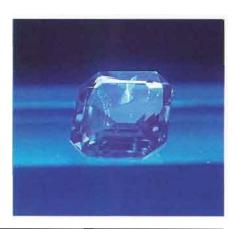
- les huiles.
- le baume du Canada,
- les résines artificielles (tableau 1).

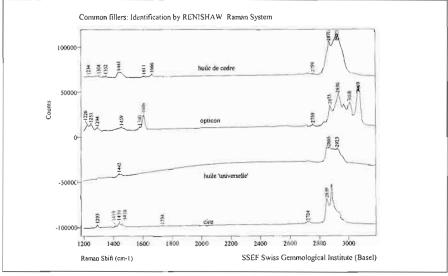
D'autres matières, comme la cire, les durcisseurs de résines artificielles, les différentes poudres de polissage utilisées dans la taille des émeraudes (poudre de diamant, poudre d'oxyde de chrome), ont été également étudiées et introduites comme référence dans la banque de données.

Les premières analyses IRTF de substances de remplissage pratiquées sur des émeraudes datent de la même époque. Pour affiner sa méthode d'identification, la SSEF a fait l'acquisition d'une microsonde Raman en 1995. Une deuxième banque de données a été constituée, cette ■ Figure 4 : Détermination, sous exposition aux rayons UV, de la position des fissures traitées dans une émeraude.

L'observation des fissures sous la lampe UV longs (365 nm) permet à la fois de situer la position d'une fissure traitée et de juger l'étendue du traitement.

■ Figure 4: Fissures filled with artificial resin made visible under UV radiation. The observation under long wave UV radiation delivers a fine method of judging the amount of treatment and finding the best spot for taking the spectral analysis for filler identification. Copyright SSEF Swiss Gemmological Institute.



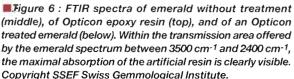


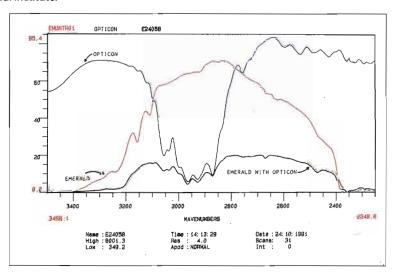
■ Figure 5: Extrait du catalogue Raman SSEF des substances de remplissage des émeraudes. Ces quatre spectres indiquent que l'analyse Raman des substances de remplissage est suffisamment discriminante pour permettre leur identification. Ces analyses seront souvent complétées par une analyse en spectrométrie infrarouge

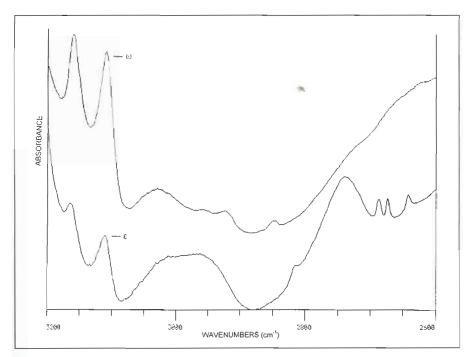
Figure 5: Part of the SSEF reference spectra collection of emerald fillers.

The four spectra of fillers show that the course of the curves allows a discrimination of the substances, thus an identification of products is possible by comparison. Copyright SSEF Swiss Gemmological Institute.





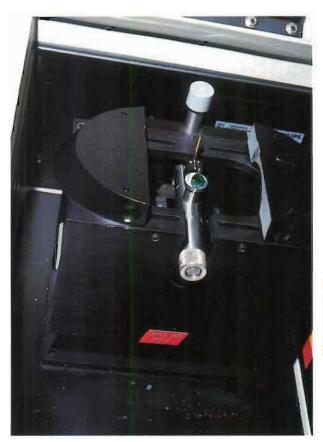




■ Figure 7 : Deux spectres IRTF orientés (e et w) d'une émeraude non traitée.

Dans cette fenêtre de transmission l'absorption infrarouge est grandement affectée par l'orientation cristalline de l'échantillon.

■ Figure 7: Two oriented FTIR spectra of untreated emerald. The e and w vibrations of the emerald show distinct variations within the spectral area defining the "transmission window" between 3500 cm-1 and 2400 cm-1. Copyright SSEF Swiss Gemmological Institute.



fois-ci en spectrométrie Raman (figure 5). Six mois plus tard, l'identification des substances de remplissage dans les émeraudes était faite en routine au laboratoire, sur la base de la banque de données IRTF et de la banque de données Raman.

D'une manière générale en minéralogie, l'expérience de laboratoire montre que les analyses IRTF et Raman sont très complémentaires. Certaines substances indécelables en IRTF sont identifiées grâce aux analyses en spectrométrie par diffusion Raman. Et inversement, certaines substances difficiles à identifier en spectrométrie Raman (par exemple, l'huile dans les émeraudes donne un spectre difficilement interprétable lorsque l'échantillon est soumis à une excitatrice laser à argon) sont en revanche facilement mises en évidence en IRTF. Selon la position des fractures à analyser à l'intérieur des émeraudes et la quantité de substance présente, une méthode spectrométrique plutôt que l'autre sera choisie.

Le mélange de différentes substances est également identifiable. Un produit apparu en 1997 aux Etats-Unis, commercialisé sous le nom de « Gematrat », présente les caractéristiques spectroscopiques d'un mélange d'huile et de résine artificielle.

Analyses des substances de remplissage en spectrométrie IRTF

Le spectromètre infrarouge Transformé de Fourier utilisé à la SSEF est un Philips PU9800. En spectrométrie IRTF, l'émeraude présente une fenêtre de transmission entre 3500 cm⁻¹ et 2400 cm⁻¹ (figure 6). Bien que les substances organiques analysées en IRTF soient plus facilement identifiées par leur absorption

■ Figure 8 : Accessoire de réflectance diffuse utilisé en spectrométrie infrarouge à la SSEF. L'émeraude est posée sur un miroir. Le faisceau infrarouge passe à travers presque toute la pierre. Contrairement aux analyses effectuées à l'aide de la microsonde Raman, cet accessoire permet d'avoir une analyse globale en IRTF.

Figure 8: Diffused reflectance accessory used at the SSEF together with the Phillips (PU9800) FTIR spectrometer.

The stone is placed on a polished steel mirror and the infrared beam, after finding a random path into and out of the stone, gets focused and directed on the detector. In contrast to the micro-method of analysis with Raman spectrometry, this type of FTIR analysis represents a macro-method giving an average result. Copyright SSEF Swiss Gemmological Institute.

infrarouge dans la région 1700 - 1600 cm⁻¹, la région 3500 - 2400 cm⁻¹ sera utilisée pour les identifications des substances de remplissage des émeraudes. En transmission et en réflectance diffusée. l'absorption de l'émeraude est totale pour des énergies inférieures à 2400 cm⁻¹. Les liaisons moléculaires des substances organiques (groupements carbone hydrogène [C-H] et les cycles aromatiques) utilisées pour traiter les fractures d'émeraudes présentent des absorptions dans cette même fenêtre. En spectrométrie IRTF, dans le cas d'une émeraude traitée, les absorptions dues aux vibrations moléculaires de la substance de remplissage viennent se superposer au spectre d'absorption de l'émeraude.

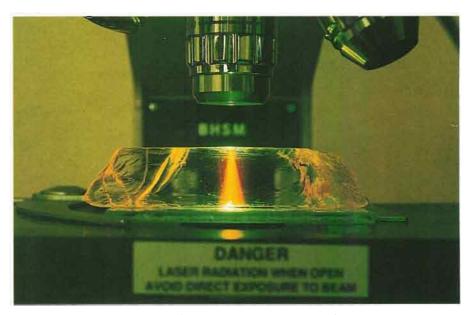
L'utilisation des spectres de référence des différentes substances intervient à ce stade. Les spectres d'absorption de l'émeraude non traitée sont également indispensables. Dans la fenêtre de transmission infrarouge (3500 cm⁻¹ - 2400 cm⁻¹), certaines vibrations (notamment O-H) sont orientées, elles modifient notablement l'aspect du spectre en fonction de l'orientation de l'échantillon (figure 7).

Absorption

Les analyses IRTF en absorption donnent des résultats interprétables lorsque le faisceau peut être focalisé sur une fracture dont la position est préalablement repérée (aux UV par exemple). Les échantillons analysés en absorption sont en général de grande dimension (plus de 5 ct), ce qui réduit les difficultés liées à la déviation du faisceau qui passe à travers la pierre, puis en ressort par l'une ou l'autre facette. La principale difficulté de cette méthode consiste, tout à la fois à :

- focaliser le faisceau sur la fracture,
- orienter le faisceau transmis sur le détecteur et,
- conserver une énergie du faisceau transmis suffisante.

Cette manipulation peut prendre plusieurs dizaines de minutes pour un seul échantillon. Il peut arriver, qu'une analyse en absorption, effectuée sur une émeraude traitée, ne donne aucun résultat. En effet, le parcours du faisceau à l'intérieur de la pierre n'est pas parfaitement maîtrisé. Le faisceau peut très bien passer à côté de la fracture traitée. Il est intéressant de noter ici qu'une analyse récente, effectuée par



■ Figure 9 : Faisceau laser focalisé à travers un cristal de spodumène. Le point focal du faisceau laser définit le volume du matériel analysé (quelques micron cube). Ici la mise au point est faite juste sous la surface supérieure de l'échantillon. Photographie réalisée par T. Ostertag.

■ Figure 9: Laser beam focused into a spodumene crystal.

This picture demonstrates how the beam at its narrowest point is able to analyse in the depth of a transparent medium. The excited volume is in the region of a few cubic microns. Photo by Thomas Ostertag.

cette méthode sur du brut colombien parfaitement exempt de fractures traitées, a révélé la présence de très faible quantité de liaisons C-H. Ces analyses ont été effectuées sur un échantillon parfaitement nettoyé (d'éventuelles traces de graisse laissées par les doigts du manipulateur étant parfaitement décelables en spectrométrie IRTF). Or, on sait que des traces de matière organique (CH₄) naturellement présente dans des émeraudes colombiennes ont été décrites. Celles-ci prennent place dans les saumures des inclusions fluides à plusieurs phases et surtout dans les canaux structuraux (Zimmermann & al., 1997).

Réflectance diffuse

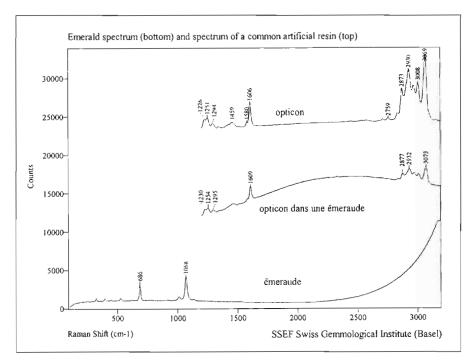
De par sa conception, l'outil dit de réflectance diffuse utilisé en spectrométrie IRTF (figure 8) présente l'avantage de faire passer le faisceau dans la plus grande partie de la pierre. Contrairement aux analyses en absorption, il n'est donc pas nécessaire de chercher une orientation particulière de la pierre, le faisceau devant être uniquement focalisé sur le miroir de l'outil. Ceci représente un gain de temps appréciable.

Par contre, la dimension des pierres analysables est limitée aux dimensions de l'appareil. Des pierres de plus de 40 ct entrent difficilement dans l'appareil!

Du fait que le faisceau interagit avec un volume plus grand, une perte d'énergie non négligeable du faisceau réfléchi est imputable à l'emploi de cet outil. Quand aucune substance de remplissage n'est identifiée à l'aide de cet outil, alors que la présence d'un traitement est visible au microscope binoculaire, il est nécessaire d'effectuer une analyse plus localisée, à l'aide de la microsonde Raman.

Analyse des substances de remplissage en microspectrométrie Raman

La microsonde Raman utilise la SSEF est un système Raman Renishaw 1000 équipé d'un détecteur CCD Peltier et d'une source laser à argon ionisé (514 nm), d'une puissance de 25 mW. Les objectifs montés sur le microscope sont des Olympus série BH à grossissement x5, x10, x20, x50. En effectuant une analyse en mode étendu, il est possible d'enregistrer un spectre de 100 à 9000 cm⁻¹ avec une résolution de 2 cm⁻¹ (Hänni et al., 1997).



■ Figure 10 : Spectres Raman de l'Opticon (en haut), de l'émeraude (en bas) et de l'Opticon dans une émeraude (au centre). L'analyse Raman d'une fissure traitée à l'Opticon révèle distinctement la présence de la substance de remplissage.

■ Figure 10: Raman spectra of Opticon epoxy resin (top), of emerald without treatment (bottom), and of an Opticon treated emerald (middle). The valuable peaks are in the 1200 to 1800 cm-1 area and around 2800 cm-1 to 3200 cm-1 where the vibrations of organic fillers are visible. Copyright SSEF Swiss Gemmological Institute.

Après avoir analysé toutes les substances disponibles au laboratoire de la SSEF, nous avons conclu qu'elles présentent des spectres significativement différents, donc, qu'elles sont identifiables par cette méthode (figure 5). L'analyse des substances dans les émeraudes donne un recouvrement des spectres Raman de l'émeraude et des substances facilement interprétables (figure 10). Toutes les analyses Raman des substances de remplissage dans les émeraudes donnent des résultats corroborés en spectrométrie IRTF.

L'analyse Raman se fait en focalisant un faisceau laser à l'intérieur d'une fracture d'émeraude remplie. Cette analyse est ponctuelle, contrairement à la spectrométrie IRTF en réflectance diffuse. Il convient donc au préalable de parfaitement positionner la fracture à analyser (grâce à une observation aux UV par exemple). Malgré tout, cette opération délicate à mettre en oeuvre n'aboutit pas toujours et doit être renou-

velée en plusieurs endroits. Le temps passé peut être alors considérable.

Pour l'analyse des substances de remplissage en spectrométrie Raman, deux régions sont intéressantes : 1200 - 1700 cm⁻¹ et 2800 - 3100 cm⁻¹. La dernière région est parfois masquée par une très forte fluorescence, mais elle est exploitable en spectrométrie IRTF. Par contre, la première région, inexploitable par les moyens IRTF en place au laboratoire, est la base de toutes les déterminations faites en spectrométrie Raman (Kiefert et al., 1996).

Par le biais de cette analyse focalisée (figure 9), la microsonde Raman apporte une sensibilité inégalée en spectrométrie IRTF par absorption non focalisée. Là où un traitement est décelé à l'aide de la binoculaire et où les analyses IRTF sont inefficaces pour identifier la substance de remplissage, bien souvent la microsonde Raman apporte une réponse positive (figure10).

Conclusion

Il est aujourd'hui possible d'identifier la nature des substances de remplissage des émeraudes grâce à la spectrométrie Raman et à la spectrométrie infrarouge. Ces techniques modernes sont complémentaires des observations que l'on peut effectuer au microscope binoculaire ou aux UV. Pour un observateur exprimenté, ces dernières peuvent aider à déceler la présence d'un traitement par remplissage des fissures ouvertes, sans toutefois conduire à en identifier la nature.

Les analyses des substances de remplissage des émeraudes sont parfois délicates à interpréter en raison :

- des variations des absorptions infrarouges de l'émeraude en fonction de l'orientation du cristal,
- des substances de remplissage qui, à l'intérieur d'une même émeraude, peuvent être mélangées.
- de la présence de traces de substances organiques naturelles dans les inclusions des émeraudes non traitées.
- du remplissage éventuel de fissures par des résines artificielles non époxydes (tableau 3) et donc sans liaisons aromatiques.

Il arrive dans environ 5% des cas, que des identifications n'aboutissent pas. Ces cas se produisent en général lorsqu'on observe au microscope binoculaire des substances de remplissage opaques dénaturées, qui ont perdu leurs caractéristiques chimiques originelles.

Il y a sur le marché actuellement un grand nombre d'émeraudes dont les fissures sont obturées par des résines artificielles. Il existe des processus pour éliminer ces substances. Après « nettoyage », la pureté des émeraudes est grandement diminuée. Un nouveau traitement s'impose alors,... avec une huile ou du baume du Canada.

Remerciements

Les auteurs souhaitent vivement remercier E. Fritsch pour ses conseils avisés lors de la relecture de l'article, ainsi que G. Giuliani, P. Zecchini, W. Weber, R. Naftule, A. Sofiov et D. Piat.

DETERMINATION OF THE NATURE OF EMERALD FILLERS

by J-P. Chalain, Prof. Dr. H.A. Hänni et Dr. L. Kiefert

Abstract: For many centuries, fissures of emeralds have been filled with oils and other natural substances to enhance their clarity. For approximately 15 years, the substances used also comprise various artificial resins, mainly epoxy resins. The various substances have different stability, but none of the treatments is permanent. Oils are the most volatile of the fissure filling media used, but they can easily be cleaned out of the stone and refilled. Artificial resins, on the other hand, are much more durable, but they also decompose with

time and are then hard to remove. Because of this, the trade often requires an identification of these substances. The SSEF Swiss Gemmological Institute has been a pioneer for such identifications (Hnni, 1988). Identification can be performed by Infrared and/or Raman spectroscopy. The first step in fissure filler identifications is a visual observation in the microscope and under long-wave UV-light to estimate the presence or absence of a filler as well as its position in the stone. Afterwards an identification is performed with one or

both of the above mentioned methods. At the SSEF laboratory, these two methods are applied in a complementary way where Infrared spectroscopy is used as a macro methods and Raman spectroscopy as a micro method. Once a spectrum is obtained with either one of the instruments, it is compared to the extensive data bank of either Infrared or Raman spectra of the pure filler substances. The present paper gives an overview of common emerald fillers and describes in detail their identification with Infrared and Raman spectroscopy.

Références et bibliographie

Bosshart G. (1991) Emeralds from Colombia (Part II). Journal of Gemmology, 22, 409-425.

Cheilletz A. et Guiliani G. (1997) Comment se forment les émeraudes- La Recherche vol. 303 48 - 52.

CIBJO (1997), Livre des gemmes, UBOS Bern, 96-97.

Epstein D.S. (1989) The Capoeirana emerald deposit near Nova Era, Minas Gerais, Brazil. Gems & Gemology, vol. 25, No.3, 150-158.

Federman D. (1998) Emerald on Trial Modern Jeweler January 1998.

Hänni H.A. et al. (1997) A Raman microscope in the gemmological laboratory: First experiences of application. Journal of Gemmology, 25, 6, 394-406.

Hänni H.A. (1988) An oil well in garden? Swiss Watch & Jewelry Journal, march 1988.

Hänni H.A. (1992) Identification of fissure-treated gemstones - Journal of Gemmology, 23 (4), 201-5.

Hänni H.A. (1993) Hydrothermal synthetic emeralds from Australia: Emeralds and pink beryls. Swiss Watch and Jewelery Journal, 1/1993, 133-136.

Hänni H.A. (1995) ICA Emerald enhancement: which filler is best. ICA Conferences, Tockyo.

Hänni H.A. et al. (1996) How to identify fillings in emeralds using Raman spectroscopy. Jewellery News Asia - sept. 96

Hänni H.A., Kiefert L. Chalain J-P. & Wilcock I. (1997). A Raman microscope in the gemmological laboratory: First experiences of application. Journal of Gemmology, vol.25, 6, 394-406.

Hurwit K.N. (1989) Gem Trade Lab Notes. Emerald with plastic-like filling. Gems & Gemology, vol. 25, No.2, 104.

Johnson M. et al. (1998). How to detect clarity enhancement in emeralds - Modern Jeweler January 1998.

Kammerling R.C. (1993) Gem Trade Lab Notes. Emerald with large filled etch channels. Gems & Gemology, vol. 29, No.4, 280.

Kammerling R.C., Koivula J.I., Kane R.E., Maddison P., Shigley J.E., Fritsch E. (1991) Fracture filling of emeralds. Gems & Gemology, vol. 27, No.2, 70-85.

Kammerling R.C., Maddison P., Johnson M.L. (1995) Gem Trade Lab Notes. Emerald with unusual flash-effect colors. Gems & Gemology, vol. 31, No.1, 54.

Kammerling R.C., McClure S.F., Johnson M.L., Koivula J.I., Moses T., Fritsch E., Shigley J.E. (1994) An update on filled diamonds: identification and durability. Gems & Gemology, vol. 30, No.3, 142-177.

Kane R.E. (1990) Gem Trade Lab Notes. Emerald with filled fractures. Gems & Gemology, vol. 26, No.1, 95-96.

Kazmi A H., Snee L W (Eds) (1989) Emeralds of Pakistan: Geology, Gemology and Genesis. Van Nostrand Reinhold, New York.

Kiefert L. et Hnni H.A. (1996). Detection of fissure fillings in emeralds using a Raman Microscope. Proceedings of 2nd Australian Conference on Vibrational Spectroscopy. Queensland University of Technology p.73-74.

Koivula J.I., Kammerling R.C., Fritsch E., Johnson M.L., DeGhionno D. (1994) Gem News. New emerald treatment/polishing systems from Israel. Gems & Gemology, vol. 30, No.2, 122-132.

Laskovenko A.F., Zhernakov V.I. (1995) An update on the Ural emerald mines. Gems & Gemology, vol. 31, No.2, 106-113.

Ostertag T. (1996). Spezielle Anwendung der Raman-Spektroskopie in der Gebieten der Mineralogie, Petrologie und Gemmologie. Diplomarbeit, Freiburg im Breisgau.

Ringsrud R. (1983) The oil treatment of emeralds in Bogota, Colombia. Gems & Gemology, vol. 19, 149-56.

Shida J. (1991) Enhanced emeralds - How it must be dealt with. ICA Gems News, Hawaii meeting, lecture and abstract.

Sivry B. (1985) Colles et adhsifs Encyclopaedia Universalis Corpus 5, 74-78.

Themelis T. (1990) Oiling emeralds. Cornerstone, July, 21-24

Weber W. (1994). Communication personnelle.

Wood DL., Nassau K. (1968). Characterisation of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy. American Mineralogist, 53, 777-800.

Zimmermann J.L., Giuliani G., Cheilletz A. et Arboleda C. (1997). Mineralogical Significance of fluids in channels of Colombian emeralds: a mass-spectroscopic study. International Geology Review, vol.39, 425-437.

LE REMPLISSAGE DES FISSURES DANS L'ÉMERAUDE : LE BON CHOIX DE L'« AGENT » INCOLORE.

Éric Ruskoné

a C.I.B.J.O, I.C.A. après son Congrès de Belo-Horizonte, la réunion de Tucson en février dernier, et le Congrès de Bogota, en mars, ont, en une année, marqué la volonté commune des producteurs, consommateurs et laboratoires à trouver une solution à cet épineux problème.

Colombiens, Brésiliens, Indiens, Israéliens ont vu leurs exportations chuter de façon vertigineuse. La Colombie en a fait une affaire d'état. Ses exportations étaient en 1995 de 480 millions de Dollars. Celles-ci ont chuté progressivement pour passer à 130 millions en 1997!

I.C.A. cherche à relancer le marché de l'émeraude en organisant une vaste campagne de promotion aux États-Unis, avec l'appui des producteurs.

Ce problème, dont les conséquences financières sont importantes, ne tient qu'à une question de bon sens, et d'éthique. En effet, ce n'est certainement pas la différence de prix entre un bidon d'huile de cèdre et de résine synthétique époxy -828- (dite « huile de palme ») qui justifie le choix de ces producteurs.

Devant cette mobilisation générale, quelles peuvent être les tendances à venir et les solutions à apporter afin d'assainir le marché de l'émeraude?

Les usages et les règles sont orientés par la pratique

Les usages et les règles en vigueur tendent actuellement en faveur de l'« agent » incolore. La C.I.B.J.O. et I.C.A. règlementent ou autorisent de cette façon le traitement des émeraudes. Seule la France, pour quelques mois encore, interdit, par sa législation (décret de 1968) cette pratique. Heureusement, cette situation va bientôt changer et notre commerce pourra s'effectuer d'une façon plus saine et normale, mais surtout en harmonie avec les règles européennes et internationales.

Érik RUSKONÉ est lapidaire à Paris, Président d'honneur de l'Association

Française de Gemmologie et membre

du Comité Directeur de l'I.C.A.

L' « agent incolore »

Le choix du terme « agent incolore » permet de regrouper un grand nombre de produits pouvant remplir les fissures des émeraudes : ce sont les huiles naturelles ou synthétiques, les résines naturelles ou synthétiques, les résines époxy et tous autres produits naturels ou artificiels incolores. L'effet bénéfique de ces produits se caractérise par leur indice de réfraction, leur durabilité, leur réversibilité et surtout leur stabilité, qui évite toute polymérisation pouvant affecter ainsi l'émeraude.

Jusqu'à présent, l'idée était d'informer le consommateur d'un remplissage quelconque, mais en aucun cas de le préciser. Actuellement certains laboratoires sont équipés de sonde Raman ou de spectromètre infrarouge, ce qui permet d'identifier en quelques minutes la nature exacte des produits de remplissage.

Depuis 1980, l'évolution importante des techniques de remplissage a fait apparaître sur le marché de nouveaux produits dangereux pour l'émeraude et impliquant de nombreuses conséquences pour l'acheteur (physiques, financières et commerciales). Ce sont, en général, toutes les résines naturelles et synthétiques et principalement les résines époxy.

Les conséquences physiques: avec le temps, au bout de quelques mois, ils deviennent blanchâtres, jaunâtres voire brunâtres, ils durcissent et apparaissent opaques, rendant la pierre nuageuse ou laiteuse. Cet effet de polymérisation entraîne des conséquences sur les propriétés même de l'émeraude en la fragilisant. Elle devient sensible à la chaleur (éclatement des fissures), aux chocs (taille, serti). Un mélange de ces produits peut lui être néfaste.

En résumé, ce traitement est dangereux, mais aussi fatal, car il est irréversible. De plus, une résine ayant polymérisé est indestructible et ne peut polymérisé est indestructible et ne peut être dissoute dans les minuscules fissures de l'émeraude.

Les conséquences financières : le but de ces produits est d'améliorer de façon considérable l'aspect de la gemme traitée. Depuis une dizaine d'années, les Colombiens envahissent le marché international avec des émeraudes de moindre qualité, qu'ils ont pu nettement améliorer. Le taux d'amélioration est souvent de 20 à 30 % supérieur à la normale. Les Brésiliens ont pu à nouveau exploiter certaines mines, comme celle de Santa Teresina dans l'état de Goias, en les rentabilisant grâce à ces traitements.

Sans revenir sur les conséquences physiques énoncées ci-dessus, ces matières sont largement surévaluées, et je considère, comme d'ailleurs beaucoup de mes clients, ces traitements comme inadmissibles pour des pierres de grande valeur.

Les conséquences commerciales : elles sont avant toutes morales vis à vis du consommateur. Le produit de remplissage doit être sain pour l'émeraude et n'engendrer aucun effet secondaire. De plus, il doit être à tous moments réversible. Le renom d'une Maison peut être en jeu, aussi il est plus important de savoir le préserver. Un produit naturel de grande valeur est d'autant plus crédible s'il ne contient pas de matières synthétiques telles les résines époxy.

Ces traitements peuvent être psychologiquement néfastes sur le consommateur averti. En résumé, afin d'être crédible et respecté, il vaut mieux vendre un produit sain.

Les tendances du marché de l'émeraude

Compte tenu de ces réflexions, le marché risque de se diviser en deux catégories :

- Les petites marchandises bon marché pour la grande consommation.
- Les pierres de centre d'un certain prix pour la haute Joaillerie.

Il est possible que, dans le premier cas, l'évolution technique de ces traitements ne prête pas à conséquence, bien au contraire. Dans le second cas, une tendance naturelle va s'orienter vers la transparence, excluant catégoriquement tout remplissage avec des résines synthétiques. Ces gemmes seront, pour plus de garantie, accompagnées de certificats établis par des laboratoires reconnus. Cette évolution préservera les investissements des stocks, mais aussi l'image d'honnêteté et d'intégrité qui est nécessaire à la confiance du consommateur.

Conclusion

Le « parapluie » des règles et des usages professionnels, concernant le remplissage des fissures dans les émeraudes, s'est largement ouvert sous la pression internationale. Les intérêts économiques, les facilités commerciales, les demandes sans cesse grandissantes et pressantes face à une offre s'appauvrissant, la crainte de retombées judiciaires ont favorisé, principalement, cette évolution vers ces pratiques.

Ce « parapluie » saura dans un proche

avenir se refermer progressivement et naturellement vers une exigence commerciale sans cesse grandissante, par souci d'honnêteté et d'intérêt face au consommateur. Pour les émeraudes de centre d'une certaine valeur, l'huile pourrait rester le produit de remplissage de référence excluant ainsi toutes résines synthétiques.

Les émeraudes qui contiennent des résines synthétiques de façon irréversible subiront une décote de 20 à 30 % par rapport à un remplissage traditionnel avec de l'huile. Ceci est déjà le cas dans l'esprit de beaucoup de nos clients. Le marché sera alors naturellement assaini.

Seule la matière saine saura révéler sa propre richesse et la nature restera à nouveau maître de sa beauté.

ÉMERAUDES TRAPICHES COLOMBIENNES

Daniel Ohnenstetter, Gaston Giuliani, Osmar Bustos

Daniel OHNENSTETTER ¹, Gaston GIULIANI ², Osmar BUSTOS ³ 1: CRPG-CNRS, BP 20, 54501-Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France 2: ORSTOM et CRPG-CNRS, BP 20, 54501-Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France 3: Guazo Ltda, Apartado Aereo 30883,

Bogotá, Colombie

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

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

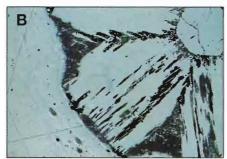
des veines à carbonates. Les émeraudes trapiches de Muzo et de Peña Blanca ont par la suite été décrites par Chaudari (1969), Nassau et Jackson (1970) et O'Donoghue (1971). D'après Tripp et Hernandez (1970, cité dans Sinkankas et Read, 1985), les trapiches de Peña Blanca ont été découverts par un fermier,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

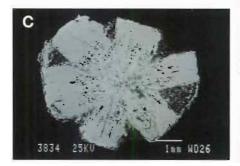
L'arrangement textural en six secteurs, leur confère un aspect étoilé (astéride). Ces cristaux ont la particularité de présenter une intercroissance de béryl et du matériel inclus ou interstitiel qui peut être de différente nature. Pogue (1916 a, b) avait décrit du matériel carboné disposé le long des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

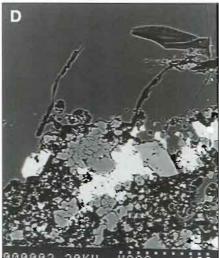
D'après Webster (1983), les émeraudes trapiches de Chivor et de Peña Blanca sont givrées avec des stries internes et un nucléus vert alors qu'à Muzo, le prisme central est opaque. De magnifiques cabochons d'émeraudes trapiches de 5,5 et 6,9 carats sont conservés au National Gem Collection de la Smithsonian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

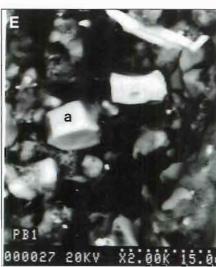
Daniel OHNENSTETTER, Docteur ès-Sciences Naturelles et Chargé de Recherche CNRS au CRPG, est spécialiste de l'étude des minéralisations liées aux roches basiques et ultrabasiques, ainsi que de la caractérisation des minéraux par cathodoluminescence.











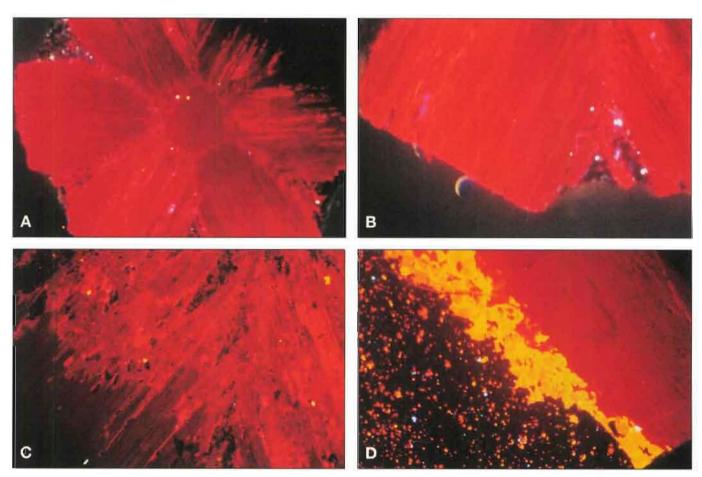
■ Fig. 1. Photographies en lumière transmise (A) et réfléchie (B) d'un cristal d'émeraude trapiche de Peña Blanca. Noter sur la photo A, le prisme hexagonal central limpide et les prismes trapézoïdaux verts avec des stries et sur la photo B, l'aspect plumeux des inclusions. Largeur du cristal: 2,5 cm;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

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

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

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

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



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

- A Emeraude trapiche de Peña Blanca présentant un coeur hexagonal et trois prismes trapézoïdaux rouge sombre qui correspondent aux zones translucides, les autres prismes plus jaune-orangé correspondent aux zones vertes à l'oeil nu. Noter que les inclusions entre les prismes sont non luminescentes à l'exception de certains points brillants qui sont des apatites. Largeur de la photo 4 mm;
- B Détail du prisme trapézoïdal de gauche. Noter les stries parallèles à l'allongement du prisme. Largeur de la photo 2 mm ;
- C Dissolution et recristallisation dans une émeraude trapiche de Muzo. Largeur de la photo 2 mm ;
- D Filonnet de calcite en jaune orangé (luminescence due au Mn²+) recoupant une émeraude trapiche de Coscuez au contact entre le matériel inclus et le prisme trapézoïdal. Largeur de la photo 2 mm.

Fig. 2. Cold cathodoluminescence image of colombian trapiche emeralds.

- A Trapiche emerald from Peña Blanca showing a central hexagonal prism and three trapezoidal prisms of red colour corresponding to the clear part of the crystal under nacked eyes, the three others prisms with red-orange colour correspond to green colour emeralds. Note that the included material between the trapezoidal prisms is non-luminescent except some small bright spots corresponding to apatites. Width of the photograph 4 mm;
- ${\it B}$ Detail of the trapezoidal prism from the left. Note the parallel striation to the border of the trapezoidal prism. Width of the photograph 2 mm ;
- C Dissolution and recrystallization in a trapiche emerald from Muzo. Width of the photograph 2 mm ;
- D Calcite veinlet crosscutting a trapiche emerald from Coscuez at the boundary between a trapezoidal prism and the included material. Width of the photograph 2 mm.

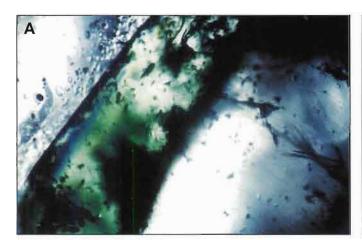
en évidence les phénomènes de polarisation de la lumière émise par les cristaux sous le bombardement électronique.

Burns et al. (1965) ont identifié le rôle du Cr³⁺ comme le principal activateur de la cathodoluminescence, en émettant dans le rouge (Fig. 2 et 3). Des zonations de croissance dans les émeraudes de Carnaíba (Brésil) ont été mises en évidence par CL par Mariano (1974 cité

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

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

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



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



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

systématique (Fig. 1, 2, 3, 4) sous divers modes d'observation de ces cristaux afin de mieux comprendre leurs mécanismes de croissance et de zonation. On peut noter que la cristallisation est de type squelettique, donc ces cristaux se forment rapidement. Ils réagissent avec d'une part, l'encaissant "les schistes noirs" et d'autre part, avec le fluide hydrothermal. On peut ainsi observer des phénomènes de dissolution et de recristallisation (Fig. 2C). La complexité des inclusions doit être soulignée (Fig. 1 D et E). L'analyse spectrale en CL a permis de mettre en évidence des différences notables entre prisme hexagonal central et prismes trapézoïdaux. Les béryls translucides n'ont pas de réponse spectrale car l'intensité d'émission de CL dépend des teneurs en Cr3+ (Fig 2, 3 et 4). L'imagerie CL couplée avec l'analyse in situ des mineurs à la microsonde électronique est un outil puissant pour voir en détail les zonations en vanadium et chrome dans les zones de surcroissance de ces minéraux (Fig. 4). On peut mettre ainsi en évidence par le découplage de ces éléments traces, que le Cr³⁺, responsable de la lumière rouge émise par ces cristaux, ne suit pas toujours les profils de concentration en vanadium. Ceci suggère ainsi un phénomène de diffusion sélective à partir du front métasomatique créé par l'avancée du fluide.

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

Remerciements

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

COLOMBIAN TRAPICHE EMERALDS

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

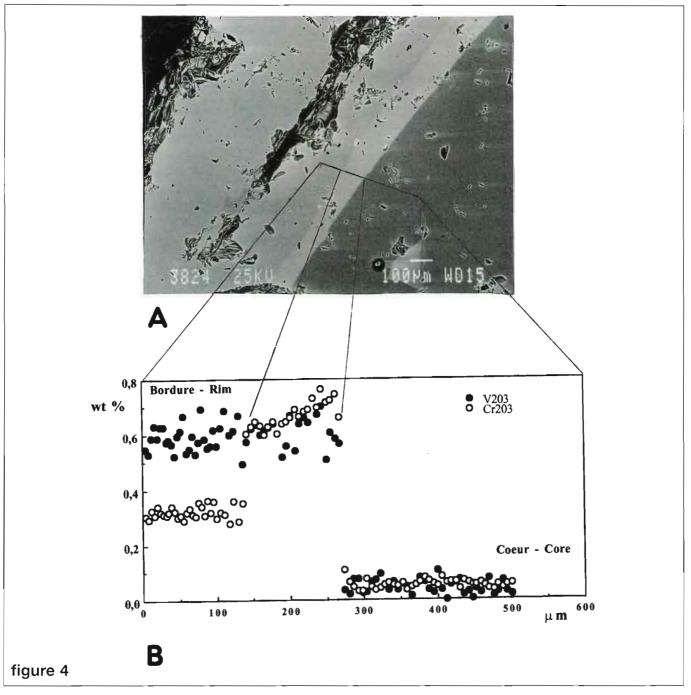


Fig. 4. A - Image CL obtenue au microscope électronique à balayage montrant les deux surcroissances dans une émeraude trapiche de Muzo. L'échelle est indiquée en micromètres sur la photo; B -Traversées effectuées dans la même zone (données microsonde électronique). Les teneurs en V₂O₃ exprimées en pourcentage poids d'oxydes (wt%) sont plus élevées vers la bordure du cristal et plus pauvres au coeur; les teneurs en Cr₂O₃ soulignent les deux zones visibles sur l'image CL. Le liseré entre la surcroissance verte et la zone limpide est marqué par un enrichissement en chrome, le coeur étant appauvri.

Fig. 4. A - Scann emerald from Muzo on the photographs a trapiche emerald cent (wt%) are enrichiser entre la surcroissance verte et la zone limpide est marqué par un enrichissement en chrome, le coeur étant appauvri.

■ Fig. 4. A - Scanning electron microscope CL image of a trapiche emerald from Muzo showing two overgrowth zones. Scale indicated on the photographs; B - Scanning through two overgrowth zones of a trapiche emerald from Muzo. The contents of V_2O_3 in weight per cent (wt%) are enriched in the rim of the crystal whereas the contents of Cr_2O_3 underline the two growing zones, with an enrichment in the border between the green overgrowth zone and the depleted core zone of the crystal.

Références

Barbin V, Schvoerer M (1997) Cathodoluminescence et géosciences. Comptes Rendus Acad. Sci. Paris, 325, 157-169.

Bernauer F (1926) Die sogennanten Smaragaddrillinge von Muzo und ihre optische Anomalien. Neues Jahrbuch Mineral., Abt A, 54, 205-242.

Bertrand E (1879) Compte-rendu de la séance du 13 février 1879. Bull. Soc. Minéral. France, 2, 31.

Burns G, Geiss EA, Jenins BA, Nathan MI (1965) Cr³⁺ fluorescence in garnets and other crystals. Physics Review, 139, 687-693.

Chaudari MW (1969) An unusual emerald. Schweiz Min. Petr. Mitt., 49, 569-575.

Crookes W (1879) Contributions to molecular physics in high vacua.—Magnetic deflection of molecular trajectory.- Laws of magnetic rotation in high and low vacua.- Phosphorogenic properties of molecular discharge. Phil. Trans. Royal Soc. London, 170, 641-662.

Escobar R, Mariano AN (1976) On the origin of Colombian emeralds. 2nd biannual meeting of the Min. Soc. Am., Tucson, résumé (cité dans Marshall, 1988).

Henn U, Bank H (1996) Trapichartige Korunde aus Myanmar. Zeitsch. Deutschen Gemm. Gesell., 45, 23-34.

Koivula JI, Kammerling RC, Fritsch E (1994) Gem news: "Trapiche" purple-pink saphire. Gems and Gemology, 30, 197.

Leverenz HW (1950) An introduction to luminescence of solids. John willey ed., New York, pp 559.

Mariano An (1974) UNDP Emerald Project, Colombia, (cité dans Marshall, 1988).

Marshall DJ (1988) Cathodoluminescence of Geological Materials. uwi Hyman éd., Boston, pp 146.

McKague HL (1964) Trapiche emeralds from Columbia. Gems and Gemology, 11, 210-213 et 223.

Müllenmeister HJ, Zang J (1995) Ein Trapiche-Rubi aus Myanmar (Burma). Lapis, 20, 50.

Nassau K, Jackson KA (1970) Trapiche emeralds from Chivor and Muzo, Colombia. Amer. Min., 55, 416-422.

Nichols EL, Howes HL, Wilber DT (1928) Cathodoluminescence of incandescents solids. Carnegie Institution of Washington pub. 384 pp 350. (Carnegie)

O'Donoghue MJ (1971) Trapiche emerald. J. Gemmology, 12, 329-332.

O'Donoghue M (1988) Gemstones. Chapman et Hall éd., London, pp 372.

Pagel M, Barbin V, Blanc Ph, Ohnenstetter D (1998) Cathodoluminescence in Geosciences. Springer Verlag éd., Berlin, (à paraître).

Pohnalo J (1989) Mikrospektralphotometrie des Edelstein-Kathodolumineszenz. Z. Dt. Gemmol. Ges., 38, 63-84.

Pogue JE (1916a) The emerald deposits of Muzo. Trans. Amer. Instit. Mining Metallurg. Eng., 55, 910-934.

Pogue JE (1916b) The emerald deposits in spanish America. Bull. Pan-Amer. Union, Washington, 43, 706-720.

Post JE (1997) The National gem collection Smithsonian Institution. Harry N. Abrams Inc., New York, pp 144.

Rémond G, Cesbron F, Chapoulie R, Ohnenstetter D, Roques-Carmes C, Schvoerer M (1992) Cathodoluminescence application to the microcharacterization of mineral materials: a present status in experimentation and interpretation. Scanning Microsc., 6, 23-68.

Scheibe R (1926) Die Smaragdlagerstätte von Muzo (Kolombien) und ihre nähere Umgebung. Neues Jahrb. Mineral., Abt. B, 54, 419-447.

Schiffman CA (1968) Unusual emeralds. J. Gemmology, 11, 105-114.

Schmetzer K, Hänni HA, Bernhardt HJ, Schwarz D (1996) Trapiche Rubies. Gems and Gemology, 32, 242-250.

Sinkankas J, Read P (1985) Beryl. Butterworths éd, London, pp 225.

Tripp EJ, Hernandez LH (1970) The complete trapiche emerald picture. Lapidary J., 24, 96-104.

Webster R (1983) Gems. Their sources, description and identification. 4 éme éd. réviséee par Anderson BW, Butterworths, London, pp 1006.

Wiedeman e (1888) Wienakad., 34, 146

DE LA CHIMIE DE LAVOISIER À LA SYNTHÈSE DE L'ÉMERAUDE

Erik Gonthier

e développement des connaissances scientifiques et l'évolution des techniques depuis le XVIIIe siècle ont permis d'envisager dès le XIXe siècle la synthèse des minéraux et des gemmes. L'émeraude en ce sens fut tout particulièrement concernée. L'histoire des sciences nous rapporte certains aspects épistémologiques qui recentrent les pensées évolutives de la recherche scientifique expérimentale, principalement celles qui ont contribuées à créer des « doublures » artificielles extrêmement réalistes.

Les recherches sur la fabrication synthétique des gemmes ont débuté en France sous l'impulsion de plusieurs savants de renom qui se succédèrent dans les grandes institutions. Pour l'enseignement de la chimie au Jardin du Roy, Louis-Leclerc comte de Buffon (1707 -1788) était entouré de collaborateurs chimistes éminents, parmi lesquels, Guillaume François (1703-1770) et Hilaire Marin Rouelles (1718-1799), Pierre Joseph Macquer (1718-1784), puis Antoine François Fourcroy (1755-1809) (1). Fourcroy, aidé d'un assistant Nicolas Louis Vauquelin (1763 id. - 1829) qui donna une grande impulsion à la chimie moderne de Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794), chimie que Martin Heinrich Klaproth (1743-1817) fondateur de l'analyse minérale propagea de son côté en Allemagne. Dès 1797, et à la demande de l'abbé René-Just Hauy (1743-1822), Père de la Cristallographie mathématique, Vauquelin, dans un minéral, réalisa les premières analyses chimiques du béryl. Vauquelin découvrit ainsi le « glucine ou glucinium » nouveau corps simple connu actuellement sous le nom de « Béryllium » (2). Cette découverte fondamentale concourt aux découvertes ultérieures en matière de chimie minérale.

Les collections du Laboratoire de Minéralogie du Muséum conservent près de 1500 minéraux synthétiques anciens.

Certaines synthèses d'oxydes et de silicates sont extrêmement intéressantes pour l'histoire de la Gemmologie, en particulier les synthèses de Pierre Berthier (1782-1861). Il avait obtenu des diopsides synthétiques en 1824, année où Seybert, élève américain de Hauy, avait réussit l'analyse du cymophane (chrysobéryl). En 1853, le Muséum recevait en donation de madame Ebelman, une série de cristaux obtenus par son époux Jacques-Joseph Ebelman (1814 -1852) (3) qui avait réussi vers 1848, à synthétiser des cristaux lamellaires de rubis synthétiques, des cristaux octaédriques de spinelles roses et bleus et du chrysobéryl. Ebelman avait en outre provoqué la cristallisation artificielle de béryls verts à partir d'une solution de leurs constituants dans l'acide borique fondu. Ses recherches furent poursuivies par d'autres savants pour trouver un solvant convenable et mettre au point un procédé hydrothermal plus proche des conditions de formation naturelle des cristaux.

Durant la deuxième moitié du XIXe siècle, la synthèse des gemmes fut un sujet qui tourmenta l'esprit de quelques chercheurs. Marc A.A. Gaudin, avant 1869, avaient permis d'obtenir, par fusion directe à la flamme à haute température, de fines esquilles cristallines d'alumine sans belle coloration rouge. Ces dernières malheureusement s'opacifiaient au cours de leur refroidissement.

Quelques années plus tard, en 1888, Paul-Gabriel Hautefeuille entreprit de nombreuses expériences de synthèse de gemmes. Il a consigné certains de ses résultats dans des tubes de verres bouchonnés réunis dans un coffret en bois. Le Muséum conserve 26 de ces tubes avec entre autres cinq synthèses différentes d'émeraudes : «émeraude ferrifère», «émeraude lithique», «émeraude magnésienne», «émeraude chromifère», «émeraude avec phénacite» (voir photo). Une étiquette contenue dans la boîte

Erik GONTHIER est Maître de Conférences au Museum National d'Histoire Naturelle, de Paris.



■ Photo 1 : Glucine (Béryl synthétique) - Fusion de 8 g glucine, 10 g silice, 35 g carbonate de potasse. Photo Jean Lossel



■ Photo 2 : Émeraude synthétique cristaux anciens nourris par MM Hautefeuille et Perrey. Photo Jean Lossel

indique que le tube « d'émeraude chromifère reproduite chimiquement par monsieur Hautefeuille, Professeur à la Faculté des Sciences » avait été exposé par le passé dans une vitrine de la Galerie de Minéralogie-Géologie. Il faut signaler le degré de perfectionnement des expériences de P-G. Hautefeuille et de A. Perrey (4), car les fondants employés pour leurs synthèses de corindon et de silicates de béryllium sont parfois semblables à ceux employés aujourd'hui (vanadates et molybdates alcalins) de même pour les modes opératoires : proportions convenables de l'oxyde de béryllium, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de chrome comme colorant, le tout dans du molybdate de lithium. Hautefeuille et Perrey, en obtenant une solution sursaturée de béryl qui fut maintenue à 800°C firent cristalliser, à partir d'un germe, des cristaux de béryl verts atteignant 1,4 mm de longueur, en 15 jours à 3 semaines.

Hautefeuille et Perrey sont à l'origine d'un procédé raté dans ses expériences, qui a pourtant permis de nombreuses productions industrielles. En 1877, Edmond Fremy et son collègue C. Feil avaient travaillé sur les problèmes de synthèse des corindons destinés à la joaillerie et aux fabricants d'horlogerie. Ils mirent au point un corindon vert commercialisé sous l'appellation erronée « Emeraude de synthèse ». Le sens « synthèse » fut même annoncé à l'époque par certaines personnes peu scrupuleuses comme une localité où venaient d'être découvert un nouveau gisement de gemmes... Ainsi,

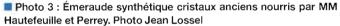
des imitations trompeuses, voire frauduleuses, dont la composition chimique n'était pas en rapport direct avec la véritable composition chimique de la gemme concernée commencèrent-elles à être proposées aux bijoutiers. Leurs noms commerciaux évocateurs, sans rapport avec les réalités scientifiques, s'appuyaient sur les apparences naturelles. Les pierres synthétiques allaient envahir peu à peu le marché de la gemmologie. A partir de 1930, les organisations syndicales (B.I.B.O.A.) (6) édictèrent des nomenclatures pour corriger les abus en matière d'appellations.

Activement commercialisées à partir de 1945, des émeraudes synthétiques ont été ainsi fabriquées notamment par voie anhydre par Chatham (Etats-Unis) après 1940, Gilson (France) depuis 1963, Zerfass (Allemagne) depuis 1964, etc. Elles se distinguent par des constantes physiques différentes des émeraudes naturelles et une teinte due uniquement à d'importantes traces de chrome. Elles sont souvent très luminescentes sous les ultraviolets pour éviter les confusions liées au mot « création », un décret édicté en 1968 interdit la traduction littérale de « Chattham created emerald », car, en France, une « émeraude création Cartier», par exemple, est une émeraude naturelle montée sur un bijou pensé, dessiné et réalisé par Cartier.

Vers 1928, le Professeur Nacken mit au point un procédé par dissolution hydrothermale proche des conditions des formations naturelles. A partir d'une solution acqueuse alcaline d'oxydes mis sous 1000 Atmosphères et 370 - 400°C., il obtint des cristaux artificiels de 10 mm de diamètre sur 2 à 3 mm de longueur. Dans ce procédé particulier, outre une légère différence de température provoquée entre la base et le sommet de l'autoclave, Nacken faisait régner des conditions telles, que l'eau maintenue dans un état supercritique à l'instar des conditions physico-chimiques, soit assez proches de filons pneumatolytiques et pegmatitiques. Les cristaux artificiels s'y développent à partir d'un germe. L'industrie allemande en 1928, mit au point un procédé de synthèse des émeraudes artificielles dont les produits ne furent commercialisés qu'une dizaine d'années plus tard sous la dénomination « Igmerald ». En Autriche, en 1964, la firme Lechleitner reprit ce procédé en faisant cristalliser de l'émeraude synthétique autour d'un noyau d'aigue-marine naturelle, puis entre des lamelles de béryl naturel, créant ainsi «Igmerald» et « Emerita ». Ce type de plaquage d'émeraude synthétique par dépôts épitaxiques de béryl synthétique (« synthetic-coated béryl») autour d'une gemme naturelle, fut distribué par la firme Linde Air Products Co (USA) dès 1965. Peu après, cette firme fabriquait et commercialisait des émeraudes synthétiques monocristallines convaincantes, avant de céder son procédé à la société « Regency ».

D'autres firmes développèrent aussi cette fabrication, telle Inamori Division of Kyocera (IDK) au Japon, qui lança vers 1975 sur le marché international, une émeraude issue de ce même procédé







■ Photo 4 : Synthèse d'émeraude. Émeraude chromifère reproduite chimiquement par Hautefeuille en 1888. Photo Jean Lossel

hydrothermal connue sous le nom de « Crescent Vert ». Biron en Australie, qui installé à proximité du gisement d'émeraudes de Poona, prétendait « purifier » ces émeraudes particulièrement chargées ; ces émeraudes synthétiques furent même parfois présentées comme « émeraudes de Poona recristallisées ». Dans les années 80, sur ce même procédé, une émeraude synthétique opaque « emeraldolite » apparut sur le marché de la gemmologie. Elle ne fut taillée qu'en cabochons, parfois gravée.

La production d'émeraudes synthétiques de plus en plus propres et suffisamment volumineuses pour être taillées à facettes eut un rapide succès commercial. Le rêve de posséder une gemme taillée comme l'émeraude était désor-

mais réalisable, chacun pouvait, s'il le désirait, changer une pierre naturelle cassée ou perdue par une synthèse « convaincante ». Le bijou gagnait en qualité esthétique tout en devenant socialement « correct », puisque la dénomination de la pierre d'imitation portait le nom « émeraude », même s'il était suivit de « synthétique ». L'émeraude synthétique en tout cas dévalorisait définitivement les verres trop communs et les inévitables doublets grenat-verre largement répandus sur le marché de la gemmologie de l'époque.

De multiples ateliers fabriquent, montent des émeraudes synthétiques, tant par voie anhydre que par voie hydrothermale. Les conditions physicochimiques exactes sont bien évidemment

tenues secrètes, ce qui permet à chacun de prétendre à une production plus convaincante que celle du voisin. La Russie, la Chine sont ainsi dans le concert des producteurs d'émeraudes synthétiques... L'état actuel des connaissances en matière de fabrication de cristaux synthétiques d'émeraude, peut faire penser que si les principaux procédés de cristallisation ont été déjà été au point, l'avenir laisse entrevoir encore bien des surprises. Si la réalisation quasi surréaliste des imitations n'a pas encore tout dévoilé, on peut imaginer que la conjugaison des procédés de fabrication ajoutera à la qualité gemmologique des pierres artificielles.

- (1) Fourcroy devint le premier titulaire de la Chaire de Chimie en 1793, l'une des douze chaires créées lorsque la Convention Nationale réforma l'ancienne Institution Royale pour en faire le « Muséum d'Histoire Naturelle »
- (2) L'usage anglo-saxon a imposé le nom béryllium dans la littérature moderne, ce qui ne diminue en rien la découverte de Vauquelin, lorsqu'il a prouvé par la chimie l'identité du béryl et de l'émeraude que Hauy avait déjà réuni dans la même espèce, par la cristallographie, à l'extrême fin du XVIIIème siècle. Signalons aussi quelques autres analyses chimiques de
- Vauquelin et plus particulièrement celle d'un silicate d'aluminium et de Béryllium bien connu des gemmologistes: l'euclase.
- (3) Jacques-Joseph Ebelman (1814-1852) Administrateur de la Manufacture de Sèvre, a surtout laissé son nom dans l'histoire des sciences pour les notables progrès qu'il a réalisés pour améliorer la fabrication de la porcelaine
- (4) Comptes-rendus de l'Académie des Sciences Tome CV; annales de l'Ecole Normale Supérieure, 2ème série, tome IX, p. 396, et Bull. de la Ste Française de Minéralogie, n°4, 1890, p. 141 à 149.Une année permet d'obtenir
- un cristal de 2 cm de long très chargé en inclusions similaires à celles trouvées dans les émeraudes synthétiques du procédé Hautefeuille et Perrey.
- (5) Compte-rendu des séances du Journal scientifique (1878) & abstract Mineralogical Magazine of the Mineralogical Society of England (1878)
- (6) B.I.B.O.A.: Bureau International de la Bijouterie, Orfèvrerie, Argenterie.
- (7) 1998 (Fév.) Poirot Jean-Paul & Erik Gonthier: « Le contrôle des perles à partir de 1929 au Laboratoire Gemmologique Français (du laboratoire syndical au laboratoire CCIP). Revue de Gemmologie n°133.

FROM LAVOISIER'S CHEMISTRY TO THE SYNTHETIC EMERALD

by E. Gonthier

Research onthe synthetic manufacturing of gems started in France under the impetus of several scientists teaching chemistry at the King's Garden in Paris. At Abbot René-Just Hauy's request, Vauquelin carried out the first chemical analysis of a mineral--the beryl--as early as 1797. Vauquelin discovered "glucinium"--a new simple body currently known under the name "beryllium." This fundamental discovery concurred to later discoveries in the field of mineral chemistry. The Museum boasts about 1,500 old synthetic minerals, among which some very interesting monoxide and silicate syntheses in the history of gemology-particularly Pierre Bertier's syntheses. Bertier (1782-1861) created synthetic diopsides in 1824. In that year Seybert--an American disciple of Hauy--was able to analyze cymophane (chrysoberyl). In 1853, the Museum was presented with the set of crystals produced around 1848 by Jacques-Joseph Belman. These were flaky crystals (synthetic rubies, octahedral crystals of pink and blue spinels and chrysoberyl). Furthermore, Ebelman about the artificial brought crystallization of green beryl. He started with a solution of their constituents in molten boric acid. Other scientists pursued Ebelman's research hoping to discover another suitable solvent and inventing an hydrothermal system closer to the natural conditions of crystal formation.

Before 1869, Marc A.A. Gaudin had been able to produce tiny, alumina splinters that did not have a good-looking red color, by direct fusion under a high temperature flame. Unfortunately, the splinters became more and more opaque in the process of coloring.

In 1888, Paul-Gabriel Hautefeuille stored some of his products in corked test tubes placed together in a wooden

casket. The Museum boasts 26 of these tubes with among other things five different emerald syntheses: the "ferrous emerald," the "lithium containing emerald," the "magnesia containing emerald," the "chrome containing emerald," the "phenacite containing emerald." One must stress the degree of sophistication of P-G Hautefeuille and A Perrey's experiment. Indeed, the fluxes they used for their corundum and beryllium silicate syntheses are somehow similar to some of today (vanadates and alkaline molybdates). Their operating processes are somewhat similar too: mixing appropriate proportions of beryllium monoxide, silica, alumina and chromium monoxide--used for coloring--in lithium molybdate. Hautefeuille and Perrey were able to produce an over saturated beryl solution. maintained it at a temperature of 800° C and, using a germ, managed to crystallize 1.4mm long green beryl crystals, within 15 days to 3 weeks.

In 1877, Edmond Fremy and his colleague C. Feil, who were working on the synthesis of the corundum pieces appropriate for jewelry and clock making, produced a green corundum that they commercialized under the name of "Synthetic Emerald." Unscrupulous people trumpeted the "Synthetic Emerald" idea as if it designated the new location of a gem deposit....Thus, deceptive, indeed fraudulent imitations, the chemical composition of which was not in direct relation with the real chemical composition of the gem, were offered to jewelers. Their evocative commercial names, which had nothing to do with scientific realities, were backed up by sheer natural appearances.

Actively commercialized since 1945, synthetic emeralds have been produced-notably by the anhydrite method by Chatham (United States),

Gilson (France) since 1963 and Zerfass (Germany) since 1964, etc. They can be distinguished by physical constants differing from those of natural emeralds and by a shade of color exclusively due to important traces of chrome. They often are very luminescent under ultraviolet. With a mind to preventing any confusion linked to the word "creation," a statutory order enacted in 1968 forbids the literal translation of "Chattham created phrase emerald", since in France, a "Cartier Creation emerald" for example, is a natural emerald set on a jewel. imagined, designed and produced by Cartier

Around 1928, Professor Nacken invented a method based on hydrothermal dissolution close to the conditions of natural formations. From a watery alkaline solution of monoxides under 1000 Atmospheres and at a temperature of 370-400° C, he obtained 2-3 mm long artificial crystals of 10 mm in diameter. In 1928 German industry elaborated a method to produce artificial synthetic emeralds that were not commercialized until ten years later under the appellation of "IGMERALD." In 1964 in Austria, the Lechleitner company took up the method again by crystallizing the synthetic emerald around a natural aquamarine core, then between strips of natural beryl, thus "IGMERALD" creating and "EMERITA." This type of synthetic emerald plating by coating synthetic beryl on a natural gem was distributed by the American firm LINDE AIR PRODUCTS Co. as early as 1965. Shortly after, this firm manufacturing and commercializing monocrystalline synthetic emeralds the appearance of which was convincing. It then sold the manufacturing process patent to the firm "REGENCY." Other companies also developed this manufacturing process, such as the Japanese firm INAMORI DIVISION of KYOCERA (IDK). Around 1975, this firm launched on the international market an emerald produced by the same hydrothermal process that came to be known under the name "Green Crescent." The Australian firm BIRON, which located its facilities close to the Poona emerald deposit, claimed that it was able to "purify" the impurity-laden local emeralds. Those synthetic emeralds were even heralded as "re crystallized Poona emeralds." Thanks to this manufacturing process, an "emeraldolite"--an opaque synthetic

emerald--made its appearance on the gemology market in the eighties.

Many workshops manufacture and set synthetic emeralds, either by the anhydrite method or the hydrothermal process. The specific physico-chemical conditions are of course kept secret. Thus everyone can claim that their products have a more convincing appearance than those of their neighbors. Hence Russia and China have entered the club of synthetic emerald producers....The emerald crystals manufacturing current knowledge may allow one to think that

if the major crystallization processes have already been invented, the future may still have many surprises in store. If the near-surrealistic creation of imitations has not revealed everything yet, one may imagine that the conjunction of the various manufacturing processes will add to the gemological quality of artificial stones.

Translation: © Dominique Maillard & Sophie Gore

LES NOUVELLES ÉMERAUDES SYNTHÉTIQUES D'ASIE : ÉMERAUDE SYNTHÉTIQUE HYDROTHERMALE CHINOISE, ÉMERAUDES SYNTHÉTIQUES PAR DISSOLUTION ANHYDRE CORÉENNE ET TAÏWANAISE

Emmanuel Fritsch, Mike Moon, Ten Shun-Tien Wu, Yan Liu, Jun Sik Park

Emmanuel Fritsch¹, Mike Moon², Ten Shun-Tien Wu³, Yan Liu², Jun Sik Park¹,⁴

- 1 Service de la Formation Continue, Université de Nantes, et Institut des Matériaux de Nantes (IMN, CNRS), Nantes, France
- 2 GIA Research, Carlsbad, Californie, Etats Unis
- 3 International Gem Inc., Kaohsiung, Taiwan, Republic of China.
- 4 Laboratoire de gemmologie, Université de Nantes, France

Dr. Emmanuel FRITSCH est professeur au Service de la Formation Continue de l'Université de Nantes et à l'Institut des

Mrs. Mike MOON et Yan LIU sont chercheurs au GIA Research à Carlsbad, Californie, USA.

Matériaux de Nantes (IMN - CNRS).

Mr. « Ten » SHUN-TIEN WU est président de International Gem Inc., à Kaohsiung, Taiwan, et y dirige également une école de gemmologie.

Mr. Jun SIK PARK a effectué un diplôme d'Université de Gemmologie (DUG) à l'Université de Nantes.

is à part le Japon, l'Asie n'a pas été historiquement un producteur important de gemmes synthétiques. Cette situation est en train de changer. Le développement économique spectaculaire de la façade pacifique de l'Asie a amené avec lui le développement parallèle d'industries de luxe, dont la bijouterie. Suite à cette évolution, on voit apparaître de nouvelles gemmes synthétiques venant d'Asie non japonaise. En particulier, la Chine produit depuis plusieurs années des gemmes de grande qualité (quartz synthétiques incolores et colorés, synthèses Verneuil diverses par exemple) mais peu connues car elles n'ont pas de nom spécifique (Fritsch, 1996).

Nous avons étudié les propriétés gemmologiques de trois nouvelles émeraudes synthétiques venues d'Asie nonjaponaise. La première est l'émeraude synthétique hydrothermale « Guibao » fabriquée à Guilin, région touristique du Sud de la Chine, et qui est disponible sur le marché depuis cinq ans. La seconde est l'émeraude produite par dissolution anhydre à Séoul en Corée du Sud, qui est en passe de devenir commerciale. La troisième est l'émeraude expérimentale également par dissolution anhydre produite au département des Sciences de la Terre de l'université Chun Kung à Taiwan.

Matériaux et méthodes

Les échantillons sont décrits en détail pour chaque producteur dans les paragraphes ci dessous et dans le tableau l. La figure l montre quelques émeraudes typiques de ces productions. Les propriétés gemmologiques ont été déterminées avec du matériel standard : l'indice de réfraction a été mesuré sur un réfractomètre GIA GEM Instruments. La densité a été estimée grâce à une série de liqueurs denses de GIA GEM Instruments, ou mesuré par la méthode pycnomètrique. La luminescence au rayonnement

ultraviolet (UV) a été observée sous une lampe UV longs (365 nm) et UV courts (254 nm) de GIA GEM Instruments.

La spectrométrie d'absorption moyeninfrarouge a été effectuée sur des spectromètres Nicolet à transformée de Fourier de type 20 SX ou 60SX, avec une résolution de 4 cm⁻¹.

Les analyses chimiques quantitatives ont été effectuées sur un microscope électronique à balayage (MEB) JEOL-5800LV, équipé d'un détecteur à dispersion d'énergie PGT (Princeton Gamma Tech) IMIX-PTS. Le MEB opère avec une tension d'accélération de 20 kV et un courant d'un nA. Les standards utilisés étaient soit des éléments purs, soit des composés simples. Les données expérimentales ont été corrigées. La précision de la mesure est de l'ordre de 1 à 2 % suivant les échantillons. Des mesures qualitatives ont également été obtenues par fluorescence X à dispersion d'énergie sur un spectromètre Tracor Spectrace 5000.

Émeraude synthétique hydrothermale chinoise « Guibao »

Deux d'entre nous (EF et YL) ont visité en 1995 l'Institut de Recherche de Géologie pour les Ressources Minières (abrégé en anglais par les chinois CNNC) à Guilin, dans la province de Guangxi en Chine (People's Republic of China ou P.R.C.). Nous y avons rencontré le professeur Zeng Jiliang (figure 2) et son équipe qui ont développé une méthode originale de croissance d'émeraude synthétique par voie hydrothermale. Le nom du professeur Zeng n'est pas toujours facile à reconnaître car il fait l'objet de translitérations différentes : il peut être épelé, suivant les textes, Zeng, Zheng ou Geng. La recherche en vue d'obtenir des émeraudes hydrothermales a commençé en 1987. Les premiers cristaux furent obtenus en 1990 (Geng & Ou-Yang, 1995).

A cause de problèmes financiers, ces émeraudes ne furent commercialisées qu'en 1993 par la Guilin Farsight Synthetic Crystal Co. Ltd, sous le nom d'émeraude Guibao. Ce nom est la contraction du nom de la ville de Guilin, et du mot chinois pour les gemmes (« baoshe », approximativement; Fritsch, 1996). D'autres noms sont apparemment utilisés actuellement, notamment émeraude GJL (Guangxi Jewellery Limited) du nom de l'entreprise commercialisant ce produit en ce moment (Schmetzer, 1997). La production en 1994 était de l'ordre de 1000 cts, avec 50% de pierres taillées de plus d'un carat. Le prix s'échelonne entre 70 et 110 US\$ par carat (prix de gros) et le rendement de la taille est de 25% (Geng & Ou-Yang, 1995). La production est actuellement de l'ordre de 7500 ct par an, et devrait se développer

(Schmetzer et al., 1997). Une partie de la production est incorporée dans une ligne de bijouterie produite localement.

Les chercheurs du CNNC étaient limités dans la taille des pierres obtenues par les dimensions relativement modestes des autoclaves disponibles à leur institut (moins de 50 cm utiles de long ; figure 3). Lorsqu'ils obtinrent leurs premiers cristaux, l'épaisseur d'émeraude synthétique de part et d'autre du germe était insuffisante pour obtenir des pierres de dimensions intéressantes du point de vue commercial. Ils ont alors décidé de scier cette épaisseur d'émeraude synthétique et de l'utiliser comme germe pour une deuxième croissance, après polissage (Fritsch, 1996). Ceci donne donc des cristaux verts de part en part, dans lesquels des

pierres d'un poids allant jusqu'à plusieurs carats pouvaient être taillées, sans zone incolore, bien que la trace du germe se voit pour un gemmologue exercé. Cette technique a depuis été utilisée par les russes.

D'aprés le professeur Zeng, ces émeraudes sont produites dans 18 autoclaves plaqués intérieurement d'or (Geng & Ou-Yang, 1995). La température de croissance est d'environ 600°C. La pression est très élevée (4,5 kbar; Schmetzer et al., 1997). Toujours d'après le professeur Zeng, le milieu de croissance est une solution très concentrée d'acide chlorhydrique. Les germes sont au départ des béryls naturels presque incolores du Nord Ouest de la Chine. Dans la deuxième phase, la première pousse d'émeraude synthétique est utilisée comme germe. A l'époque de notre visite, tous les cristaux avaient des germes synthétiques, ce que nous pûmes vérifier sur les produits qu'il nous présenta, et qui sont étudiés dans cet article. Le taux de croissance est de 1,55 ct par jour, soit environ 0,65 mm d'émeraude déposé par

■Fig. 1: Quelques émeraudes synthétiques typiques des nouvelles productions d'Asie non japonaise. Deux cristaux de gauche: émeraude synthétique de Corée du Sud. A droite et en haut: émeraudes synthétiques chinoises Guibao (un cristal et 3 pierres taillées). Au centre et en bas: un prisme d'émeraude synthétique de Taiwan. Photo A. Cossard.

■ Fig. 1: Some synthetic emeralds typical of the new productions from non-Japanese Asian countries. Two crystals on the left: synthetic emerald from South Korea. Right and top: Chinese Guibao synthetic emeralds (one crystal and three faceted stones). Center and bottom: one prism of Taiwanese synthetic emerald. Photo by A. Cossard.

jour perpendiculairement au germe (Geng & Ou-Yang, 1995) ou environ 0,5 mm par jour (Schmetzer et al.,1997), ce qui est plus important que les valeurs données pour les émeraudes hydrothermales russes et australiennes. Bien

qu'originellement quelques cristaux furent faits avec du vanadium et du fer comme agents chromigènes (Geng & Ou-Yang, 1995), maintenant seuls des cristaux dopés au chrome sont produits (Schmetzer et al., 1997).

Les laboratoires sont d'un confort rustique. Un jardin potager se trouve juste à l'extérieur du laboratoire de croissance (la terre arable est rare en Chine), dans une cour intérieure. Seules les pièces où sont les autoclaves et les consoles électroniques extérieures de contrôle se rapprochent du concept d'un laboratoire moderne. Ce manque de moyens est largement compensé par l'ingéniosité de nos collègues chinois, qui ont acquis une réputation internationale dans le domaine de la croissance cristalline. Ceci est vrai pour l'ensemble de la Chine, car ces remar-

ques pourraient s'appliquer tant aux laboratoires de l'Institut de Recherches sur les Cristaux Synthétiques dans la campagne juste au dehors de Pékin, grand centre de croissance cristalline, qu'à l'Institut de Géochimie de Canton, où pourtant est produit une améthyste synthétique d'excellente qualité. D'ailleurs le laboratoire du professeur Zeng travaillait à l'époque à l'élaboration d'un rubis synthétique hydrothermal, synthèse difficile. Il nous en montra un unique exemplaire, dont il se déclara peu satisfait. Ces travaux viennent juste d'aboutir.

Nous avons étudié cinq émeraudes Guibao, un cristal de 4,72 ct et quatre pierres taillées allant de 0,13 à 1,23 ct. Ces échantillons furent obtenus par nous-mêmes directement du professeur Zeng en 1995. Le cristal présente

une morphologie typique pour les émeraudes synthétiques hydrothermales. Le germe est taillé suivant une face pyramidale, inclinée d'environ 30° par rapport à l'axe optique. Ceci a été confirmé par les observations



■ Fig. 2: Prof. Jiliang Zeng debout devant les consoles de contrôle des autoclaves dans lesquels l'émeraude synthétique hydrothermale Guibao est conçue. Photo Y. Liu. ■ Fig. 2: Prof. Jiliang Zeng stands in front of the electronic controls for the autoclaves in which the Guibao hydrothermal synthetic emerald is grown. Photo by Y. Liu.

cristallographiques détaillées de Schmetzer et ses collègues (1997). Ceci amène un cristal très distordu par rapport au prisme hexagonal des cristaux naturels. Une face irrégulière se forme parallèlement au germe. Elle est limitée d'un côté par une face du prisme et de l'autre par le pinacoïde (plan perpendiculaire à l'axe optique). D'autres faces, moins importantes, peuvent apparaître également.

Les propriétés gemmologiques ont été déterminées pour les pierres taillées. Leur couleur est un vert émeraude typique, très légèrement bleu. Le pléochroïsme, classique, montre un vert légèrement jaune et un vert légèrement bleu. La réaction au filtre de Chelsea est rouge modéré à fort. Les gemmes sont bien sûr uniaxe négatives. les indices de réfraction sont de 1,570 à 1,571 (n_p) et 1,576 à 1,578 (n_g), pour une biréfringence de 0,006 à 0,007. La densité est de 2,69 à 2,70 (un des échantillons

était trop petit pour faire une mesure significative). Ces valeurs sont typiques pour une classe d'émeraude synthétique hydrothermale. La fluorescence rouge à rouge très légèrement orangé aux radiations ultraviolettes est homogène, faible à très faible pour les longueurs d'ondes longues ou courtes. Suivant les échantillons, on peut observer une luminescence rouge faible à forte induite par la lumière visible, lorsque l'échantillon est placé sur la base d'un spectroscope ou éclairé par une fibre optique ou un crayon lampe par exemple. Bien qu'elle n'ait pas été mentionnée jusqu'à présent (voir Geng & Ou-Yang, 1995 ou Schmetzer et al., 1997), cette fluorescence, presque jamais observée dans des émeraudes naturelles, est peut être un des moyens les plus simples d'identifier l'émeraude comme étant synthétique. Le spectre est typique de toutes les émeraudes, naturelles ou synthétiques.

L'observation au microscope révèle assez facilement la présence du germe, ou de surfaces de croissances parallèles à ce plan. Dans plusieurs échantillons, le germe est marqué de part et d'autre par une zone riche en petites inclusions incolores à blanches. Ces petits cristaux sont essentiellement constitués de béryl ou de chrysobéryl d'après Schmetzer et ses collègues (1997). L'existence de chrysobéryl est un fait nouveau, puisque

dans d'autres émeraudes synthétiques hydrothermales, les inclusions équivalentes sont typiquement de la phénacite. La pierre ronde de 0,61 ct montre de façon très nette deux plans de spicules en contact avec le germe. Les spicules sont presque perpendiculaires au germe. Ils forment des cônes très effilés dans lesquels on peut voir des inclusions biphasées (liquide + bulles).

On voit dans certaines directions des figures de croissance ondulées, parfois en forme de chevron, typiques des émeraudes hydrothermales synthétiques. Ces marques représentent la trace laissée par la face de croissance irrégulière parallèle au germe. On note la présence de petites inclusions composites blanchâtres, rappelant un peu de la mie de pain. Parfois on peut observer des lignes formées d'inclusions submicroscopiques juxtaposées (« stringers »). Bien entendu, certaines pierres contiennent des givres de guérison typiques.

La spectrométrie d'absorption moyeninfrarouge démontre la présence d'absorption caractéristiques à approximativement 2745, 2815, 2885, 2625 et 2920 cm⁻¹. Ces pics sont identiques à ceux observés dans les émeraudes Linde, Regency et Biron (ainsi que Pool et Agee) par de nombreux auteurs. Ils seraient dus à des vibrations impliquant le chlore, provenant de l'acide chlorhydrique utilisé



■ Fig. 3: Les petits autoclaves utilisés pour la croissance de l'émeraude synthétique hydrothermale chinoise Guibao. Photo Y. Liu.

Fig. 3: Small autoclaves used for the growth of the Chinese Guibao hydrothermal synthetic emerald. Photo by Y. Liu.

dans la solution de croissance (Schmetzer et al., 1997).

Une analyse chimique obtenue à partir du MEB montre des pics nets seulement pour le chrome et non pour le vanadium ou le fer, ce qui démontre que déjà en 1995, c'était le seul élément colorant utilisé pour cette production. La teneur en chrome mesurée est comprise entre 0,44 et 0,76% en masse de Cr₂O₃, et celle de chlore est de 0,18 à 0,29 % en masse de l'élément. Ces valeurs sont typiques et concordent avec celles de Schmetzer et ses collègues (1997).

Émeraude synthétique coréenne par dissolution anhydre

L'émeraude synthétique de Corée du Sud est un produit en cours de commercialisation, provenant de l'Institut des Céramiques de Corée (Korean Ceramic

Institute) à Séoul. A ce jour, il n'existe que des documents en coréen sur ce projet. Cet article représente donc la première description en langue occidentale de ce nouveau matériau synthétique.

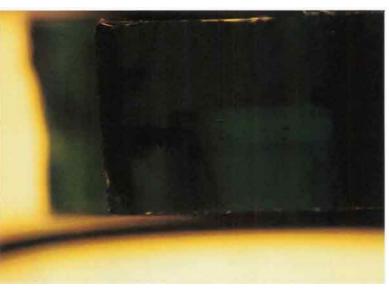
Ce projet représente une collaboration entre l'Institut des Céramiques de Corée et une compagnie privée, Samjo. Environ 35 millions de francs ont été investis sur une période de quatre ans (1991 à 1995) pour développer une méthode de croissance de l'émeraude synthétique pour la joaillerie. L'équipe est dirigée par le Dr. Choi. Le but est d'obtenir une émeraude valant 10 à 15 \$/ct pour l'exportation aux Etats Unis. Chatham

Created Gems de San Francisco a été pressenti pour la mise sur le marché de cette émeraude synthétique. La production en 1996 s'élevait à 20 000 ct et était annoncée aux alentours de 60 000 ct pour 1997.

Comme leurs collègues chinois, les coréens ont fait preuve d'invention et ont imaginé des variantes originales d'une méthode de croissance très classique, la dissolution anhydre. La particularité du procédé coréen est qu'il y a renouvel-

lement permanent du milieu de croissance (Moon, 1996). Ceci permet d'amener au cristal en continu les éléments dont il a besoin pour se développer, au lieu d'avoir une décroissance en concentration de ces éléments lorsque la cristallisation se produit en milieu non renouvelé. Ceci permet, au moins en théorie, l'obtention de cristaux plus gros. Bien qu'une alimentation extérieure constante du creuset n'ait pas été appliquée jusqu'à présent pour des gemmes, cette astuce avait déjà été utilisée pour l'obtention de très gros cristaux de fluorures (environ 100 kg) par des chercheurs russes.

Le système de creuset en platine utilisé se scinde en deux zones principales (Moon, 1996). Dans la zone « chaude » s'opère la mise en solution du béryl commun, utilisé comme



■ Fig. 4: Germe d'émeraude dans un cristal d'émeraude synthétique coréenne de 1,56, difficiles à obtenue par dissolution anhydre. Photomicrographie E. Fritsch. 60x. de les faces non

■ Fig. 4: Emerald seed crystal in a Korean flux synthetic emerald. Photomicrograph E. Fritsch. Magnification 60x.

nutriment, à une température d'environ 1030°C. La solution enrichie émanant de la zone chaude s'écoule vers la zone froide à une vitesse de 10 ml/mn et est maintenue à une température de 990°C. La zone « froide » est à une température inférieure de 50°C à 100°C à celle de la zone chaude (typiquement 930°C) : c'est là que se produit la sursaturation de la solution qui permet la croissance. Le liquide apprauvri sortant de la zone froide retourne vers la zone chaude où il

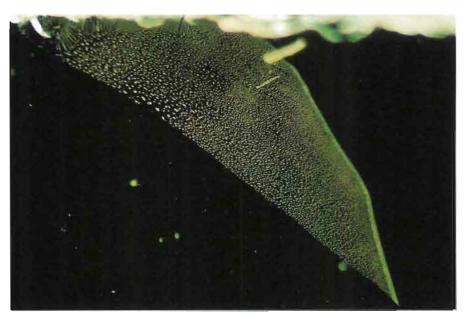
est a nouveau enrichi en constituants du béryl (Park, 1998). La température moyenne est contrôlée automatiquement pour optimiser les conditions de croissance (Moon, 1996; Kim, 1995). La croissance s'effectue sur des germes, ce qui n'est pas courant. Ce germe est orienté suivant le pinacoïde ou une face du prisme. Cette dernière orientation semble privilégiée. Le fondant utilisé est un mélange d'oxyde de molybdène (MoO_3) et d'oxyde de vanadium (V_2O_5) , avec environ un quart d'oxyde de lithium (Li₂O) et de petites quantités d'oxyde de potassium (K2O), ou sodium (Na2O), niobium (Nb_2O_5) et bore (B_2O_3) . Apparemment, seul le chrome est introduit comme élément chromigène (Kim, 1995). Les vitesses de pousse sont de l'ordre de 1 mm par mois perpendiculairement au germe (Moon, 1996).

> Les 3 échantillons que nous avons étudié sont tous bruts, et vont de 0,63 à 4,27 ct (Tableau 1). Deux ont clairement été obtenus sur un germe. Le troisième, un cristal automorphe bien formé, semble être le résultat d'une nucléation spontanée à l'intérieur du creuset. Leur couleur est vert légèrement jaune. Le pléochroïsme peu marqué va d'un vert jaune à un vert légèrement bleu. Les cristaux apparaissent rouge sous le filtre de Chelsea. Les indices de réfraction sont de l'ordre mesurer sur les faces non polies de nos échantillons. Sur l'un d'entre eux, nous avons pu déterminer qu'ils

étaient d'environ 1,555 (n_p) et 1,561(n_g) (biréfringence: 0,006). Park (1998) a trouvé les valeurs suivantes: $n_p = 1,569$ et $n_g = 1,572$. La densité est de 2,66 à 2,67 (Kim, 1995). Ces valeurs sont plus faibles que pour les gemmes naturelles, et typiques d'émeraudes synthétiques obtenues par dissolution anhydre.

La propriété peut être la plus remarquable de cette nouvelle synthèse est sa luminescence aux radiations ultraviolettes. Aux ondes longues, on observe une fluorescence orangée-rouge, nettement différente de la fluorescence rouge pur typique de certaines émeraudes synthétiques (comme celle de Taiwan par exemple, voir ci dessous). De plus, cette fluorescence présente une certaine turbidité, c'est à dire que la pierre n'est plus complètement transparente lorsqu'elle luminesce. Aux ondes courtes, on observe une fluorescence jaune qui semble être concentrée juste en dessous de certaines surfaces sommitales du cristal. Il est possible que cette fluorescence jaune soit active aux ondes longues et se combine avec la fluorescence rouge classique des émeraudes due au chrome pour donner la fluorescence orange observée. La luminescence rouge excitée par la lumière visible est faible à forte suivant les échantillons, et constitue également un moyen simple d'identification.

Au microscope 1'on observe des givres en voile typique des gemmes synthétiques obtenues par dissolution anhydre (figure 4). Ceux-ci peuvent être hachurés perpendiculairement à l'axe optique, marquant des figures de croissance parallèle au pinacoïde. D'autres figures de croissance se voient également, mais plus difficilement, parallèles aux faces du prisme primaire ou secondaire. Des inclusions submicropeuvent scopiques former « stringers » rectilignes. La trace du germe, également en émeraude sur l'unique échantillon où il était visible, est assez discrète (figure 5). Ce germe est taillé parallèlement à la face basale (0001), et contient de petites inclusions transparentes, semblables à celles trouvées dans les parties résultant de la croissance sur germe. Il est donc probablement constitué d'émeraude synthétique. Sur les deux surfaces de croissance parallèles au germe se trouvent les affleurements de dislocations vis formant des pyramides arrondies très plates; elles sont le témoin d'une croissance lente et régulière. Enfin en lumière diffusée, la couleur n'est pas totalement homogène, mais forme des traînées plus foncées parallèles dans le plus mince échantillon. Ces traînées pourraient être les fantômes colorés des pyramides plates de croissance observées sur la surface (ceci est connu dans l'améthyste synthétique). Une extinction anormale entre polariseurs croisés révèle



■ Fig. 5 : Voile d'inclusions de flux typique dans une émeraude synthétique coréenne. Photomicrographie E. Fritsch. 60x.

Fig. 5: Typical flux inclusion veil in a Korean flux synthetic emerald. Photomicrograph E. Fritsch. Magnification 60x.



■ Fig. 6 : « Bulle » allongée parallèlement à l'axe optique dans une émeraude synthétique de Taiwan obtenue par dissolution anhydre. Photomicrographie E. Fritsch. 63x.

Fig. 6: « Bubble » elongated parallel to the optic axis in a Taiwanese flux synthetic emerald.

Photomicrograph E. Fritsch. Magnification 63x.

des contraintes résiduelles importantes. Une telle caractéristique a déjà été décrite pour des émeraudes synthétiques faites par la méthode du fondant sur germe.

La spectrométrie d'absorption infrarouge montre l'absence d'eau, ce qui est normal pour une gemme obtenue par dissolution anhydre (Park, 1998). La spectrométrie à dispersion d'énergie, obtenue au MEB ou par excitation X, montre la présence de chrome et fer comme éléments colorants dans tous les échantillons. De plus, l'échantillon le plus mince montre un signal important pour le vanadium, qui colore également le béryl en vert. Ce vanadium provient peut être de la modification chimique d'une partie du fondant, qui est vanadifère. Les teneurs en chrome sont de l'ordre de 0,35 à 0,60 % en masse de Cr₂O₃, celles de vanadium vont jusqu'à 0,91% en masse

de V_2O_3 , et celles de fer s'étendent de 0,10 à 0,26% en masse de Fe_2O_3 .

Émeraude synthétique taiwanaise par dissolution anhydre

Les échantillons étudiés nous ont été fournis par le professeur Shu-Yang Yu département du des Sciences de la Terre de la National Chun Kung University à Tainan, dans le sud de Taiwan (Republic Of China, ou R.O.C.). Ce projet est pour l'instant expérimental seulement. Comme pour l'émeraude synthétique coréenne, il n'existe à l'heure actuelle que des documents en chinois concernant cette nouvelle émeraude synthétique, et le présent article est le premier sur le sujet en langue occidentale.

Le but du professeur Yu est d'obtenir des émeraudes de qualité gemme. La croissance s'effectue de façon classique par dissolution anhydre. Le fondant utilisé est un mélange PbO + V₂O₅. Les béryls sont colorés en introduisant dans le fondant différents mélanges d'oxyde de chrome (Cr₂O₃) avec ou sans fer (Fe₂O₃; Lin & Wu, 1996). Le creuset est

en platine. La température dans la zone de croissance atteint 1200 à 1300°C. La vitesse de refroidissement est faible (0,5 à 4 °C/heure). Les meilleurs résultats sont obtenus pour les vitesses les plus lentes, et lorsque du fer est ajouté au chrome. La croissance dure plusieurs semaines (18 à 32 jours typiquement; Nan, 1996).

Les cristaux obtenus se présentent sous forme de prismes hexagonaux bien formés, vert foncé. Ils sont généralement petits (jusqu'à 5 millimètres typiquement; Nan, 1996), mais un cristal atteignant 9,2 g (46 ct) a été obtenu en 1996 (Lin & Wu, 1996). Plusieurs de ces pierres ont été taillées en taille émeraude, mais donnent des gemmes de petite taille, de dimension maximum inférieure à 6 mm.

Nous avons étudié plus particulièrement cinq cristaux (voir Tableau 1), obtenues par dissolution anhydre. Cette émeraude est rouge sous le filtre de Chelsea, et rose sous le filtre à émeraudes d'Hanneman. Le spectre au spectroscope à main est typique d'une émeraude. les pierres sont inertes aux radiations ultraviolettes longues et courtes. Certains cristaux montrent des dépôts sur leur surface ressemblant à des résidus de fondant qui fluorescent jaune aux ondes courtes. Cinq types d'inclusions ont été décrits. Bien qu'il soit difficile de traduire ces termes techniques, il semblerait que les auteurs aient décrit:

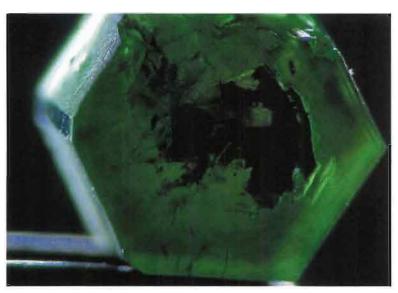
- des givres de guérison
- des inclusions très foncées, presque noires, sans forme, avec des bulles
- des cristaux: prisme vert de béryl, silicate de béryl, et alexandrite
- des fibres ou canaux parallèles à l'axe optique

- des petits points blancs Lin et Wu (1996) ont également obtenu un spectre infrarouge montrant que cette nouvelle émeraude synthétique ne contient pas d'eau. Ceci n'est pas une surprise puisque ces émeraudes sont obtenues par dissolution anhydre (id est, sans eau).

Notre étude confirme en général ces propriétés, sauf pour la fluorescence. Nous ne donnerons donc ici que des observations qui ne sont pas déjà fournies par Lin & Wu. Les cristaux sont tous des prismes hexagonaux modifiés par de petites faces d'un prisme secondaire. Leur surface est parfois rompue par l'affleurement d'une ou plusieurs bulles, parfois assez larges (plus d'un

millimètre). Ceci n'est pas courant dans les émeraudes synthétiques obtenues par dissolution anhydre. Le pléochroïsme est peu marqué, et va du vert au vert bleu.

Les pierres que nous avons étudiées fluorescent rouge aux ondes longues, avec des intensités assez fortes mais variable d'une pierre à l'autre. Ceci est probablement à relier à différentes combinaisons d'éléments colorants.



■ Fig. 7: Inclusion noire sous forme de plaquette irrégulière (peut être résidu de fondant) d'un type rencontré fréquemment dans les émeraudes synthétiques de Taiwan. Photomicrographie E. Fritsch. 33x.

■ Fig. 7: Black, irregular, platelet-like inclusion (possibly a flux remnant) of a type frequently observed in Taiwanese flux synthetic emeralds. Photomicrograph E. Fritsch. Magnification 33x.

sélectionnés comme étant représentatifs de l'échantillonnage qui nous est parvenu. Leur couleur est un vert foncé assez bleuté.

Lin et Wu (1996) ont décrit les propriétés gemmologiques de ces gemmes. L'indice de réfraction de ces cristaux est de 1,56 à 1,57. Leur densité va de 2,674 à 2,990. Ces valeurs de densité sont anormalement élevées pour des émeraudes

A côté de la luminescence jaune décrite par Lin & Wu (1996), on retrouve aux ondes courtes pour une pierre une luminescence rouge, mais faible et limitée à un secteur. La luminescence rouge causée par la lumière visible n'est observable que dans une seule des cinq pierres.

Les inclusions les plus spectaculaires et les plus spécifiques de cette nouvelle synthèse sont certainement les « bulles » et les inclusions en nuages globulaires. Les « bulles » montrent une grande variété de formes, allant d'un aspect presque sphérique à une morphologie de cristaux négatifs arrondis. Ces derniers sont allongés selon l'axe optique, et ont des extrémités plates, perpendiculaire à l'axe optique (figure 6). Elles ne contiennent apparemment aucun matériau visible. Elles sont inconnues dans d'autres types d'émeraudes, naturelles ou synthétiques.

Certains cristaux montrent des zones nuageuses approximativement sphériques, constituées de l'agglomération de myriades de petites inclusions brunâtres. Ces « globules » sont aisément visibles au microscope, et atteignent parfois plus d'un millimètre de diamètre. Une analyse qualitative au MEB dans cette zone révèle l'absence de silicium, et des quantités importantes d'aluminium, oxygène, chrome, avec un peu de vanadium et de fer. Il pourrait s'agir d'un mélange d'oxydes correspondant à une phase précipitée indésirable.

Nous avons observé peu de cristaux inclus, mais de nombreuses inclusions très foncées ou noires à éclat presque métallique, sous forme de plaquettes aux formes irrégulières (figure 7), ainsi que sous forme allongée squelettique. Les premières pourraient être des inclusions de fondant, et les secondes des résidus du creuset. La surface du pinacoïde montre de petites pyramides arrondies très plates, typiques de l'affleurement de dislocations vis. Ceci signifie que la croissance s'est effectuée régulièrement suivant ces dislocations, résultant en une bonne qualité cristalline. Ici encore, la spectrométrie d'absorption infrarouge révèle l'absence d'eau, comme pour les autres émeraudes obtenues par la méthode du fondant. Une analyse chimique en spectrométrie à dispersion d'énergie sur le MEB révèle que du vanadium, du chrome et du fer sont présents comme éléments colorants

Emeraude synthétique hydrothermale chinoise Guibao. Guibao Chinese hydrothermal synthetic emerald	Taille ou forme	Masse (ct)	Dimensions (mm)
.,	Cristal	4,72	13,6 x 10,1 x 4,2
	Brillant rond	0,61	5,6 - 5,5 x 4,0
	Emeraude	0,22	4,1 x 3,1 x 2,2
	Poire	0,13	$4,0 \times 3,0 \times 2,3$
Emeraude synthétique coréenne obtenue par dissolution anhydre. South Korean flux synthetic emerald.			
,	Prisme aplati	1,86	$7 \times 6,7 \times 4,4$
	Portion de cristal en croix	4,27	18,3 x 11,5 x 3
Emeraude synthétique taiwanaise obtenue par dissolution anhydre. Taiwanese flux synthetic emerald.	Tranche fine	0,63	11,6 x 5,5 x 1,3
,	Prisme	0,84	4,8 x 4,4
	Prisme	1,90	5,5 x 6,8
	Prisme	0,22	2,1 x 3,1
	Prisme Prisme	0,07 0,05	2,3 x 2,2 2,1 x 1,6

■ Tableau 1 : Caractéristiques des échantillons étudiés

Table 1 : Characteristics of the samples studied

potentiels, alors que nous savons que le vanadium n'est pas introduit volontairement. Là encore, le vanadium pourrait provenir du fondant. Les concentrations de chrome sont comprises entre 0,41 et 1,59 % en masse de Cr_2O_3 , celles de vanadium entre 0 et 2,34 % en masse de V_2O_3 , et celle de fer entre 0 et 0,71 % en masse de Fe_2O_3 . Ces teneurs élevées en chrome et vanadium expliquent la couleur très foncée de ces émeraudes. Les faibles teneurs en fer permettent de comprendre l'existence d'une fluorescence rouge aux ultraviolets.

En conclusion, ces nouvelles émeraudes synthétiques asiatiques montrent la vitalité de la croissance cristalline dans cette région du monde. La qualité est ici proportionnelle à l'impact commercial, réel ou potentiel, de ces productions. Elles émanent de trois pays dont la croissance économique a été très significative lors de la dernière décennie, même s'ils traversent actuellement une crise profonde de « réajustement ». Du point de vue gemmologique, elles offrent toutes une nouveauté. L'émeraude Guibao contient des inclusions de chrysobéryl, et des germes d'émeraude synthétique. Elle est facilement reconnaissable par un grand nombre de propriétés, une des plus simples étant sa fluorescence rouge dans un faisceau de lumière visible concentrée. L'émeraude synthétique coréenne a une fluorescence rouge orangé aux ondes longues tout à fait unique pour l'instant. L'émeraude synthétique de Taiwan montrent des inclusions peu ordinaires, en « bulles » ou « globules ».

Remerciements

Les auteurs remercient M. Joseph Ip pour son aide à traduire des documents en chinois et M. Hong June Gie pour les traductions du coréen. Ils sont reconnaissants à Mrs. Alain Barreau et Benjamin Rondeau pour leur aide lors des analyses au MEB.

New Synthetic Emeralds from Asia: Chinese Hydrothermal Synthetic Emerald, South Korean and Taiwanese Flux Synthetic Emeralds.

by Emmanuel Fritsch, Mike Moon, Ten Shun-Tien Wu, Yan Liu, Jun Sik Park

Abstract: New synthetic emeralds are coming out of Asia. The Guibao hydrothermal synthetic emerald is grown in Guilin, China. It has been marketed since 1993. It uses synthetic emerald seeds in order to grow larger gems of solid green color. It shows all the expected characteristics of an hydrothermal synthetic emerald grown in a hydrochloric acid solution: irregular growth features (including « chevrons »), medium values of RI and SG, typical mid-infrared absorption spectrum with 5 absorption bands between 2500 and 3100 cm-1. In addition it contains chrysoberyl inclusions near the seed, which form the start of spicule-like, two phases inclusions. In equivalent synthetics, phenakite is typically playing this role. They appear red under the Chelsea filter, and fluoresce a moderate red in longwave and shortwave ultraviolet radiation. This new synthetic emerald can be identified most easily as a synthetic by the red luminescence it emits when excited with the concentrated visible light of a fiber optic or penlight. Dr. Choi and his team at the Korean Ceramic Institute are developing a flux-grown synthetic emerald in South Korea together with the Samjo company. Production is intended to be exported to the US. To grow larger crystals the team uses a feed-back system to constantly replenish the solution around the growing crystals with emerald constituents. This necessitates a two zones furnace. In the hot zone, at about 1000 to 1050 °C, natural beryl is dissolved in solution and the coloring agents are added. The solution is transported to the growth zone, which is the « cool » zone, about 50 to 100°C cooler, where it becomes supersaturated and makes the emerald crystals grow. The gems grow on a seed, apparently made of synthetic emerald. They show typical properties for fluxgrown emeralds: low RI and SG, flux veils, absence of water absorptions in the mid-infrared. Also visible under magnification are growth features parallel to the prism and pinacoid faces, giving a Venetian blind aspect to some of the flux veils. They appear red under the Chelsea filter. However, they show an atypical red-orange fluorescence in longwave ultraviolet radiation. In short wave ultraviolet radiation, there is a moderate to weak vellow fluorescence.

Prof. Yu is developing a process to grow synthetic emerald at the Chun

Kung National University in Tainan, southern Taiwan. This production is strictly experimental at the moment. The crystals are grown in a PbO + V₂O₅ flux. They are dark green prisms, due to unusually high concentrations of chromium and vanadium (the latter not voluntarily introduced as a coloring agent, but present as part of the flux). They have gemological properties typical of flux-grown synthetic emerald: low RI and SG, flux veils, absence of water absorptions in the mid-infrared. They are dark red under the Chelsea filter. They show a moderate to strong red luminescence under longwave ultraviolet radiation. In addition, they show two types of unusual inclusions. First, spherical clouds of tiny brownish inclusions, up to 1 mm in diameter, that have not been described before to our knowledge. Second, they display a number of bubbles, also up to 1 mm in maximum dimension. They bubbles can be spherical or elongated, some resemble rounded negative crystals elongated along the c axis with flat terminations perpendicular to the c axis.

Bibliographie

Fritsch E. (1996) Chinese synthetics: the anonymous crowd. Jeweler's Circular Keystone, Vol. 167, No. 3, pp. 51-52.

Geng G.L.& Ou-Yang C.M. (1995) How to identify hydrothermal synthetic emerald from China, Jewellery News Asia, No. 130, pp. 92 & 94.

Kim M.-K.(1995). Development of synthetic emerald single crystal growth used beryl materials (en coréen). Rapport joint Institut de Technologie pour les Céramiques - Samjo au Ministère du commerce et de l'industrie. 123 pages.

Lin C.& Wu S.-T. Ten (1996) Gemological Properties of synthetic emeralds. Taiwan Jewelry, Vol. 25, pp. 130-132.

Moon H. (1996) Première réussite en Corée de la synthèse de l'émeraude (en coréen). Precious Metals and Jewelry, Vol. 4, No. 6, pp. 108-109.

Nan J. (1996) A study on the controlling parameters in the flux growth process of emerald crystals. Mémoire de maîtrise. National Chun Kung University, Tainan, Taiwan (R.O.C.), 97 p.

Park J. S. (1998) Etude de la gemmologie en Corée du Sud: gemmes naturelles et synthétiques coréennes. Enseignement et situation de la gemmologie. Mémoire de Diplôme d'Université de Gemmologie, Université de Nantes, France, 69 p.

Schmetzer K., Kiefert L., Bernhardt H.-J., Zhang B. (1997) Characterization of Chinese hydrothermal synthetic emerald. Gems & Gemology, Vol. 33, No. 4, pp. 276-291.

ÉMERAUDES DE BACTRIANE : MYTHE OU RÉALITÉ, LA VALLÉE DU PANJSHIR (AFGHANISTAN)

F.H.FORESTIER & D.H. PIAT

es auteurs modernes ont émis les plus grands doutes sur l'existence d'émeraudes en Bactriane affirmée par les auteurs antiques.(1) La découverte, entre 1970 et 1980, de gisements d'émeraude de grande qualité sur le versant Est de la vallée du Panjshir remet ces opinions en question.

Les textes de Théophraste concernant Smaragdos

Vers 314 av. J.C. un auteur grec, Théophraste, rédige le plus ancien traité de minéralogie qui nous soit parvenu. Plusieurs passages concernent des substances minérales vertes, recherchées, qu'il appelle smaragdos. La notion moderne d'espèce minérale n'existant pas à son époque, le mot smaragdos recouvre tous les minéraux verts à valeur ornementale connus, qu'ils soient gemmes ou non.

L'organisation des textes de Théophraste apportant des informations sur « smaragdos » ne semble pas avoir retenu l'attention des commentateurs. Dans les deux passages où il en traite, Théophraste rapporte deux ensembles de traditions :

1.) Un fond comun antique, fait de «on dit » venant d'Egypte et de Chypre, sur lequel il projette les plus grands doutes (2). 2.) Plus loin, il revient à l'émeraude en exposant des données précises concernant l'émeraude de Bactriane, pour laquelle il semble transmettre un témoignage sinon oculaire, du moins de première main, qu'il sépare nettement des ragots chypriotes (3): «On trouve donc à Chypre l'émeraude et le jaspe. Mais les émeraudes dont on se sert pour orner les coupes et autres vases d'or viennent de la Bactriane vers le désert; on y va à cheval pour les chercher au temps des vents étésiens ou des vents d'est annuels : on les voit dans ce temps là parceque les sables sont agités avec violence par ces vents, cependant les pierres que l'on y trouve ne sont pas grosses ». La valeur réelle du témoignage de Théophraste sur la Bactriane n'apparait que si nous nous penchons sur la vie de leur auteur.

Qui était Théophraste?

Né entre 372 et 370 av. J.C. à Eresos (île de Lesbos), Théophraste aurait suivi l'enseignement de Platon. Il aurait rencontré Aristote avant 348 ou 347 et serait entré dans le cercle de ses amis et disciples. En 343, Aristote est appelé par Philippe II, roi de Macédoine, comme maître auprès de son fils Alexandre. Théophraste accompagna Aristote à la cour de Macédoine, y séjourna pendant trois années auprès d'Alexandre puis suivit Aristote à Stagyre où il s'établit jusqu'à ce que le futur Alexandre le Grand succède à son père sur le trône de Macédoine. Alexandre étant mort en 323, c'est moins de dix ans plus tard que Théophraste rédigea son traité de minéralogie. Il put ainsi disposer d'informations de première main sur les contrées lointaines traversées par son élève (5, 6).

Géographie de la Bactriane en 314 av. J.C. (7)

La Bactriane est la région de plaine, cernée de hautes montagnes, occupant le N de l'Afghanistan, drainée par l'Amou Daria, 1'Oxus antique, dont les flots atteignaient la mer d'Aral. Les grecs ne savent pratiquement rien de la géographie de la Bactriane avant l'expédition menée par Alexandre le Grand de 330 à 325 av. J.C., peu avant la rédaction du Peri lithon. La ville principale en était Bactres, aujour-d'hui Balkh.

La conquête d'Alexandre apporta nombre d'informations, car parti à la conquête de l'Orient, celui-ci n'oublia pas ses maîtres, ni les connaissances d'histoire naturelle qu'il en avait reçu. La tradition dit qu'il leur envoya à

F.H. FORESTIER est le fondateur du laboratoire de Petrologie et de Minéralogie de l'Université de Nantes.

Daniel PIAT, négociant à Paris, est le Président Fondateur de l'Association Française de Gemmologie.



Photo 1 : la vallée du Panjshir à l'endroit où elle est la plus large.

Photo 1 : Panjshir Valley. Photo Didier Giard.

plusieurs reprises des échantillons des produits des régions qu'il traversait.

Alexandre, ayant fondé en 329 Alexandrie du Caucase indien (Begram) à 60 km au N d'Orthospana (Kaboul), au débouché de la vallée du Panjshir sur la plaine de Kaboul, il remonta avec son armée le cours du Panjshir, franchit le col de Khawak à 4300 m d'altitude, pour redescendre la vallée de l'Andarab afin d'atteindre Drapsaca (Baglan ou Kunduz ?) pour capturer son ennemi Bessus. Ainsi passa-t-il à un kilomètre des gisements d'émeraude du Panjshir. Coïncidence, mais non preuve que l'émeraude de Bactriane est bien celle du Panjshir.

L'association des émeraudes de Bactriane au Panjshir est signée par la mention que fait Théophraste des vents étésiens (8). Ceux-ci ne peuvent être associés à la présence d'émeraude qu'en un seul point d'Afghanistan: le débouché de la vallée du Panjshir dans la plaine, au N de Kaboul. On y trouve à la fois les débris des émeraudes de l'amont charriés avec les convois d'alluvions et le tri des sables par les vents étésiens, saisonniers et continus dans la plaine de Kaboul.

Trois siècles après Théophraste, Pline l'Ancien reprend ses données au livre 37 de son Histoire naturelle (9). Il existe pour Pline 12 sortes de smaragdos qui se

répartissent en deux familles :

1.) celle du béryl moderne, de diverses nuances de vert et de diverses limpidités. Ces minéraux sont durs, acquièrent un beau poli, les gisements où ils sont gemmes sont rares. Trois sont connus dès l'Antiquité : la Scythie (Oural), la Bactriane, Coptos (Egypte pharaonique). Les pierres en sont petites, mais de première qualité (10).

2.) celle rassemblant les minéraux hydroxylés et carbonatés du cuivre (11).

Puis l'émeraude de Bactriane tomba dans l'oubli, du moins en Occident. J.B. Tavernier accentua cet oubli en écrivant dans la seconde partie de ses Voyages (12): « Enfin, pour ce qui est de l'émeraude, c'est une erreur ancienne de croire qu'elle se trouve originairement dans l'Orient... je suis assuré que jamais l'Orient n'en a produit, ni dans la terre ferme, ni dans ses îles et qu'en ayant fait une exacte perquisition dans tous mes voyages, personne ne m'a sçu marquer aucun lieu de l'Asie où elles se trouvent» (13).

Découverte de l'émeraude du Panjshir

Histoire de la découverte

La découverte d'émeraudes dans la vallée du Panjshir, révélée par les géologues russes, remonterait aux années 1970. Dans l'été 1990, un américain Gary W. Bowersox, put faire une reconnaissance sur place avec l'agrément du commandant Ahmed Shah Masood dont les Mudjahiddin contrôlaient la vallée du Panjshir. En 1995, Didier Giard et Daniel Piat purent examiner à leur tour plusieurs des gisements d'émeraudes de la même vallée; en 1996 nouveau voyage de Didier Giard, seul. Des films et photos pris à cette occasion permettent de se faire une idée des gisements.

Localisation des gisements, leur altitude, leur accès

La zone minière des émeraudes du Panjshir est à 113 km au NE de Kaboul sur les pentes méridionales de la chaîne de l'Hindou Kouch, au SE et au-dessus de la rivière Panjshir, dans les montagnes du versant E. En ce point la rivière coule à 1800 m d'altitude. Les émeraudes sont dans des formations affleurant entre 3000 et 4000 m d'altitude (14), ce qui demande aux mineurs une marche d'approche de plusieurs heures sur des pentes de 30 à 40°, trop abruptes et dangereuses pour des chevaux ou mulets (15).

Le contexte géologique.

La vallée du Panjshir coïncide avec une zone de fracture majeure séparant deux plaques d'écorce ; la plaque eurasienne au NO et le fragment de plaque «Cimmeria» au SE. C'est au S de cette zone de suture que l'on trouve les émeraudes afghanes. On pense que les émeraudes du Panjshir se sont formées pendant le métamorphisme induit par la collision continentale. Ce métamorphisme régional a fourni la chaleur et la quantité de fluides nécessaire aux réactions et à la cristallisation.

Les émeraudes du Panjshir se formèrent au Crétacé et au Tertiaire (60 MA), pendant la dernière phase d'activité ignée, lors de la formation des pegmatites et des dépôts hydrothermaux. Les roches hôtes de l'émeraude forment une séquence stratifiée métasédimentaire d'âge paléozoïque qui fut métamorphisée à un degré équivalent au faciès schistes verts supérieur.

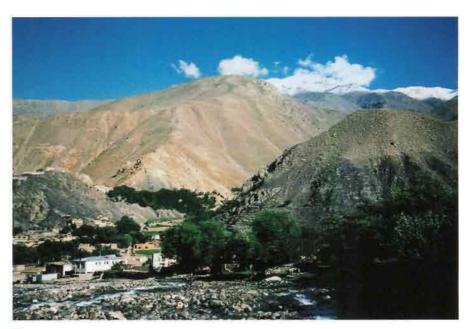
Les émeraudes du Pandjshir se trouvent dans des skarns carbonatés: sur 16 km de large des calcaires ordoviciens sont recoupés de sills et de dykes basiques. Ces roches métasédimentaires ont subi une altération hydrothermale et sont recoupées par des filons de quartz et ankérite porteurs des émeraudes. De la pyrite est présente par endroits. On trouve aussi des émeraudes dans des zones de cisaillement silicifiées qui contiennent phlogopite, albite, tourmaline et pyrite.

L'approvisionnement ancien de l'Inde en émeraudes.

L'histoire de l'émeraude peut se scinder en deux périodes : avant et après 1500. Cette date se situe entre celle de la découverte de l'Amérique et celle des gisements d'émeraude du grand Pérou [Colombie] qui très vite en exportera massivement vers l'Inde où la demande était grande : "The emerald has been in use amongst the Hindus from time immemorial : They use it profusely in ornaments and fancy articles..." (16)

Wojtilla (p. 222) nous dit: «.... We are justified to say that the knowledge of precious stones had been on a very high level in India preceding the time of the Greek conquest; and comparing it to the other countries of the ancient East we can see that in this respect India was in a unique situation.» (17)

Les premiers textes concernant les gemmes en Inde sont les Ratnapariksa ou lapidaires en sanskrit et prakrit. Dès 1896, L. Finot donna une édition critique et une traduction française de quelques-uns



■ Photo 2 : le village minier de Khendj et l'entrée de la passe qui mène aux mines d'émeraude.. Photo Didier Giard.

Photo 2 : Mining Village of Khendj.

d'entre eux, malheureusement peu datables :

- Ratnapariksa de Buddhabhatta
- Agastimata

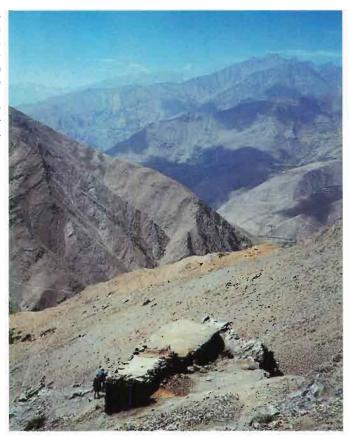
Selon Finot, ces deux textes seraient postérieurs au VIe siècle ap. J.C., ils s'inspireraient d'un modèle antérieur commun, perdu. L'auteur édite à la suite d'autres textes, moins complets. Nous avons ensuite un traité de minéralogie, d'importance majeure : celui d'al Biruni rédigé en « arabe », qui vient seulement d'être traduit en anglais, mais publié au Pakistan (1989). Son auteur, né en 973 ap. J.C. (362 de l'Hégire) à Kath, localité du district de Khwarizm, au S de la mer d'Aral, est décédé à Ghazni, au S de Kaboul, en Afghanistan en 1051. Il composa son traité vers 1048 ap. J.C. Un chapitre y est consacré à l'émeraude. Il n'y parle que de l'émeraude d'Egypte.

En 1984, S. Rajeswara Sarma donne une traduction anglaise de Rayanaparikkha, inconnu de Finot, d'après un manuscrit de Takkura Pheru en langue prakrite (sanskrit médiéval). Ce texte est daté de 1315 par son auteur. Sarma date le Ratnapariksa de Buddhabhatta du V-VIe s. ap. J.C. (p. 14), il précise que l'auteur de l'Agastimata est légendaire.

Ces très anciens textes parlent des gisements d'émeraude alors connus des Hindous en ces termes : dès que la bile d'un être mythique fut tombée à terre, « cet endroit de la terre situé au-delà du pays de Barbara, sur les confins du désert, près du rivage de la mer, devint par elle une mine d'émeraude ». Finot commente ce passage ainsi (p. XLIII-XLIV) : «l'émeraude a pour origine la bile de l'Asura Bala que Garuda laissa tomber sur la terre. Le gîte de cette pierre est indiqué en termes assez vagues. C'est une montagne située « au-delà du pays de Barbara, sur les confins du désert, près du rivage de la mer. D'après l'Agastimata (287) cette montagne, célèbre dans les trois mondes, est «dans le pays des Turuskas, aux environs du rivage de la mer, là sont les mines d'émeraude, les meilleures qui soient (288).» «Ces indications pourraient se référer à la montagne des émeraudes de la géographie classique, le djebel Zabarah, qui se trouve en effet non loin du bord de la mer rouge, dans le voisinage du désert de Nubie (Egypte). Quant au gisement de Maghada (Agastiya RP 76), il peut également être réel : on a signalé une mine d'émeraude à Hazaribagh, dans le Bengale.» (18)

Photo 3: Vue depuis les mines de Khendj (3200 m d'altitude). En contrebas, la vallée du panjshir, en haut à droite, la passe de Khawak.

■ Photo 3: View from Khendj mines, at the bottom the Khawak Pass. Photo Didier Giard.



Selon Takura Pheru (1315): «Big emerald gems occur in Avalinda, on Mt Malaya, in Vavara country on the sea coast, and in the neck and chest of Garuda.» Sarma commente ensuite: «All the texts place the source of emerald outside India...» Est-ce bien sûr?

J. Filliozat (1974) montre que Malaya est le mot par lequel les Tamouls de Taprobane (=Ceylan) désignent une montagne. C'est en Tamoul que s'explique le nom de Maleus chez Pline.

D'après Ptolémée, il y a un Malaya (pic d'Adam) à Ceylan où la présence de gemmes est surabondante, mais où l'on ne signale pas d'émeraudes (Gübelin, 1968). Avalinda devrait donc être recherché dans le Kerala, le déterminant de la localisation étant la présence d'émeraudes. Les autres localisations proposées par Filliozat ne semblent pas gemmifères et ne peuvent être retenues.

Dans le pays de Barbara, devenu chez Takura Pheru « Vavvara près de la côte de la mer », la minéralogie nous incite à voir le Mt Zabara (Egypte). C'est le gisement des Pharaons, oublié, puis redécouvert en 1817 par le nantais F. Caillaud. Le troisième gisement faisant allusion à l'anatomie de Garuda est légendaire.

En conclusion, sous réserve d'informations apportées par al Biruni, les gisements de Scythie et de Bactriane connus dans l'Antiquité sont inconnus des Hindous qui ne citent que de rares sources d'émeraude dont la production semble incompatible avec la quantité de pierreries présentes dans les trésors médiévaux des Hindous fortunés que nous allons maintenant examiner.

L'émeraude dans les trésors orientaux

Il est de tradition moderne d'attribuer aux meilleures émeraudes présentes dans les trésors des Indes, ou en provenant, une origine colombienne. Pourtant l'accumulation en ce pays de grandes quantités de pierres précieuses : rubis, émeraudes, diamants, est bien antérieure à la découverte de l'Amérique et des gisements colombiens d'émeraude (après 1520).

D'où venaient alors les émeraudes existant anciennement en Inde?

Vers 1025 ap. J.C., à l'époque d'al-Biruni, les trésors des rajahs et hommes fortunés de l'Inde étaient entreposés dans la forteresse de Kangra (près Nagarkot), située sur un éperon enneigé réputé imprenable. Le sultan Mahmud en fit le blocus et emporta la place, d'immenses stocks de joyaux, d'argent monnayé et en lingots, furent chargés sur des chameaux... Le butin fut étalé dans la cour du palais à Ghazni (Afghanistan) : « les joyaux, les perles et les rubis brillaient comme des étincelles, les émeraudes comme si elles étaient de jeunes brins de myrthe, il y avait des diamants aussi gros que des grenades... ».

Même en tenant compte de l'exagération des chroniqueurs, les dépouilles durent être colossales. Tout le monde se précipita à Ghazni pour contempler l'incroyable richesse de l'Inde.

C'est peu de temps après qu'al Biruni, qui était au service dudit sultan, écrivit son fameux traité des gemmes. Disposant de l'accès au trésor, il était le mieux placé pour connaître des gemmes qu'il pouvait observer à loisir.

En 1315 ap. J.C., Takkura Pheru, J'un des gardes du trésor d'Ala ad Din, décrivit ces trésors : « The boxes were full of valuable and gems, the excellence of which drove the onlookers mad. Every emerald (zabarjad) sparkled in the light of the sun, or rather, the sun reflected back the light of the emerald... » (21).

L'histoire ne permit point à ces richesses de demeurer à Delhi. En 1739, lors du sac de Delhi par les Perses, l'ensemble du trésor partit pour Téhéran où ses restes demeurent aujourd'hui et constituèrent les joyaux de la couronne d'Iran et un gage de la monnaie de ce pays.

D'autres épaves de ces trésors aboutirent à diverses époques à Constantinople où elles sont aujourd'hui conservées au musée de Topkapi. Le trésor des Tsars de Russie dut aussi recueillir des pierres de cette origine. (22) (23)

Conclusions

La découverte et l'exploitation d'émeraude de belle qualité dans la vallée du Panjshir (Afghanistan) depuis les années 1970 rendent tout leur intérêt historique aux mentions de Théophraste qui signalait ce gisement dès 314 av. J.C.

L'information de cet auteur ne pouvait provenir que de l'armée d'Alexandre le Grand qui avait remonté la vallée du Panjshir en 329 av. J.C., venant de Begram (Alexandrie du Caucase), et franchi le col de Khawak à 4300 m d'altitude. Elle était passé à moins de deux km à vol d'oiseau des gisements en place.

Dès l'an 1000, les trésors Hindous regorgent d'émeraudes et autres pierres précieuses, les trésors des grands royaumes d'Asie possèdent de superbes émeraudes bien avant la découverte de l'Amérique. Les restes les plus impor-

tants de ces trésors sont aujourd'hui en Iran, en Turquie...

Comme l'écrivait J. Sinkankas (1981), eu égard aux quantités et qualités d'émeraudes décrites dès l'époque médiévale, tant en Inde qu'en Perse ou ailleurs, il est impossible d'imaginer que toutes venaient d'Egypte, alors que ces gisements étaient déjà, sinon tombés dans l'oubli, du moins épuisés.

En conséquence, force est d'admettre qu'une partie des sources véritables de l'émeraude indienne au moyen âge ne fut pas connue des rédacteurs de lapidaires (réserve faite pour al-Biruni), d'où les affirmations de J.B. Tavernier en 1676.

Même si l'on n'a pas encore de trace

archéologique en place d'une exploitation antique de l'émeraude « en roche » au Panjshir, notre recherche montre qu'historiquement rien ne s'oppose à ce que ces gisements aient été l'une des sources des émeraudes asiatiques antérieurement à la découverte de l'Amérique.

C'est une étude systématique des émeraudes historiques par les techniques développées ici même par G. Giuliani et al. qui permettra de savoir d'où provenaient réellement les émeraudes dites « from old mines».

NOTES

- (1) Parmi les avis exprimés citons :
- E.R. Caley et J.F. Richard (1956) traducteurs du texte de Théophraste en anglais considèrent comme peu vraisemblable la présence d'émeraude en Bactriane. D.E. Eichholz (1965 p. 112), dans le commentaire de sa traduction anglaise du texte grec de Théophraste, souligne d'abord que Pline a fait un contresens en traduisant ce passage en latin, puis suppose que Théophraste désigne par le mot smaragdos une substance qu'il ne savait pas nommer et qui pouvait être une turquoise. E. de Saint-Denis (1972 p. 150) dans le commentaire de sa traduction française du livre 37 de l'Histoire naturelle de Pline l'Ancien, semble se ranger à l'avis d'Eichholz: «l'émeraude de Bactriane, selon Eichholz, est un mythe ». P. Bariand et J.P. Poirot (1985 p. 138): «il est certain que ces indices (du Panjshir) n'étaient pas connus des anciens». J. Sinkankas (1986 p. 11) sans apporter d'éléments nouveaux, se range à l'avis d'Eichholz : « the Bactrian smaragdus is therefore a fiction ». D'autres auteurs comme G. Bowersox (1995) attribuent la première mention de l'émeraude de Bactriane à Pline, sans même remonter à Théophraste.
- (2) Eichholz § IV 23 à 27, p. 65-67; de Mély § 32 à 34, p. 5
- (3) Eichholz § V135, p. 71; de Mély § 63, p. 6; version française de la traduction de Hill, 1754, § 63

- (4) Sur la vie de Théophraste, voir en bibliographie.
- (5) Aristote aurait écrit lui-même un traité antérieur, mais de Mély montra que le lapidaire attribué pendant tout le Moyen âge à Aristote était apocryphe : il est d'origine arabe. Le manuscrit arabe est à la Bibliothèque nationale de France (supplément 876 : Le livre des pierres d'Aristote, de Luca ben Serapion.)
- (6) Transmission du texte de Théophraste. Des textes aussi anciens que ceux de Théophraste ne nous sont pas parvenus sans vicissitudes. Les plus anciennes versions qui en subsistent sont celles de trois manuscrits grecs datés du XIIIe au XVe s. conservés au Vatican. Eichholz, qui a fait l'étude critique des manuscrits subsistants, conclut : les 13 manuscrits connus appartiennent à la même famille car tous montrent les mêmes lacunes.
- Le texte de Théophraste s'est transmis en grec, mais aussi en latin par Pline. Il ne semble pas y avoir de version arabe, tout au plus quelques citations fragmentaires par certains auteurs arabes.
- La première édition imprimée de Théophraste (en grec), ou édition « princeps » est due aux Aldes (Venise, 1497). Elle occupe une partie du volume 2 consacré aux oeuvres d'Aristote et de Théophraste.
- (7) sur la géographie de la Bactriane, voir en bibliographie

(8) Les vents étésiens. La description du gisement d'émeraude de Bactriane fait référence aux « vents étésiens ». De quoi s'agit-il?

L'expression est utilisée en méditerranée orientale pour désigner des vents du N soufflant par longues périodes. D'après Pline (livre II, § 124 et 127), en Asie les vents étésiens soufflent du N-NE, leur durée est de 40 jours à partir du 20 juillet. Un témoin oculaire récent écrit : « Un autre vent fameux est celui de Parwan, au N de Kaboul. On le rend responsable des sables mouvants de la région. Trait original, ce vent possède son contraire - le vent renversé - qui arrive d'un point opposé, droit vers l'Hindou Kouch, où se déchargent en pluie les nuages qu'il a drainés » (Anne Yelen, 1977, p. 153).

Les reliefs de l'Hindou Kouch dépassant l'altitude de 5000 m, les cours d'eau sont torrentiels et l'érosion intense. Les convois d'alluvions n'étant freinés par aucune végétation, arrivent à la dépression de Kaboul où ils sont soumis aux vents étésiens qui vannent littéralement les sables (sables mouvants), ce qui amorce un classement naturel des minéraux.

L'observation rapportée par Théophraste du dégagement des émeraudes par le vent ne peut avoir été inventée. Rappelons qu'au IXe s. ap. J.C., au Yémen, dans les régions sans eau, on triait l'or contenu dans des sables aurifères en le vannant au vent dans des tamis de forme et de maille appropriée (al Hamdani, Traité de l'or et de l'argent).

La petite taille des émeraudes ainsi récoltées traduit la fragilité du minéral. Arrachées de leur roche mère à l'amont de la vallée, elles sont concassées au cours de leur transport alluvionnaire. N'arrivent à la plaine que de petits morceaux, reconnaissables en raison de leur vive couleur.

Théophraste ne parle pas d'exploitation en roche de l'émeraude, mais de sa récolte occasionnelle dans les sables. On ne peut exclure que les travaux de terrassement ayant accompagné la fondation d'Alexandrie du Causase (Begram ?) aient contribué à mettre en évidence l'émeraude dans les sables des environs.

(9) E. de Saint-Denis, trad. fançaise, § 17 à 20, p. 61 à 66.

Pline introduit dans son texte un contresens relevé par Hill dès le XVIIIe siècle: Théophraste écrit que les petites émeraudes (de Bactriane) sont serties sur les pièces d'orfèvrerie et les bijoux pour contribuer à leur ornementation, alors que Pline comprend « qu'elles sont incluses dans des fentes du rocher ».

- (10) Ces trois gisements ont été oubliés ou perdus pendant des millénaires. En 1817, F. Caillaud retrouva celui d'Egypte (jebel Zabarah), vers 1830 la découverte dans l'Oural du gisement de Takovaïa-Izumrud pourrait correspondre à celui de Scythie, tandis qu'en 1970 la découverte des émeraudes du Panjshir jetait une lueur nouvelle sur l'existence réelle de celles de Bactriane.
- (11) L'allusion à la grande taille d'un bloc suffit pour que nous le rapportions à cette famille de minéraux du cuivre (malachite), ou même à d'autres substances (fluorine verte...).
- (12) Tavernier, Voyages... 1676, vol 2, p. 322
- (13) Ferrier, Voyages... 1860, vol. 2, p. 13 En 1845, un capitaine français J.P. Ferrier, parcourant la région comprise dans le triangle Hérat, Kaboul, Kandahar, note dans son voyage publié en Angleterre en 1856, puis à Paris en 1860 : «Les richesses minérales de cette contrée sont très grandes, on y trouve... des rubis et des émeraudes, mais aucune mine n'est exploitée...».

L'éditeur du texte anglais, H.D. Seymour, ajoute en note : «This requires explanation : the well-known Balass ruby so called from Badakshan, which is NE of Badakshan, and emeralds are found

still farther to the east. But in the part of the range which intervenes between Kabul and Herat, precious stones are unknown ».

Cette note est ambigue. Le gisement du rubis balais (spinelle) est bien au NE du Badakshan (environs de Kharog sur l'Amou Daria). Par contre « still farther to the east » pourrait désigner les émeraudes de la rivière Swat (Pakistan), mais ce gisement n'est exploité qu'à partir de 1958, ou les indices de la région de Chitral (?). On ne peut toutefois écarter les émeraudes du Panjshir, si la localisation est évaluée à partir de Kaboul.

- (14) Bowersox dénombrait, en 1994, six exploitations actives dans une zone de 60 x 8 km s'étendant entre les villages de Khenj au S et d'Aru au N. Ce sont les mines de Khenj, Mikeni, Butak, Buzmal, Bakhi, Darun. D. Giard en a reconnu cinq. On trouve les meilleures émeraudes aux environs de Khenj et de Mikeni, dans des dykes ou sills de gabbros-diorites très altérés.
- (15) Conditions d'exploitation. Malgré l'altitude et la neige l'exploitation est continue pendant toute l'année, l'émeraude étant une source de revenus indispensable à ces populations. Elle se fait par tirs de mine qui détériorent les cristaux et accroissent les pertes de matière précieuse. Les techniques sont artisanales, ce qui évite une exploitation trop rapide risquant un épuisement prématuré des gisements, mais elles sont en train de changer.
- (16) S.M. Tagore, Mani Mala, 1879, t. 1, p. 407-410
- (17) Dans l'Introduction de l'édition critique des notes de gemmologie hindoue de Thakkura Pheru (1315 ap. J.C.) S. Rajeswara Sarma rappelle : « It is a well known fact that in the early centuries of the Christian era, Kaveripattinam was an important center of the maritim gem trade. The Tamil classic Shilappadikaram, written about the end of the second century after Christ, contains a beautiful description of the gem market of Madurai, where gems mined in south India, pearls harvested in the gulf of Mannar, sapphire and rubies imported from Ceylan, rubies imported from Burma may have been sold » (p. 14)
- (18) Finot, p. XLIV, d'après Mallet, Records Geol. Surv. India, VII, 43
- (19) Finot, Introduction XXXVIII
- (20) S. Lane-Poole (1991) précise: « Dans

leur migration vers le sud, les Turcs se lièrent aux X° et XI° siècles aux tribus afghanes. Le sultan Mahmud entreprit, à partir de sa capitale Ghazni (au S de Kaboul), la conquête de l'Inde par le NO. Entre 1000 et 1025 ap. J.C. il fit 16 campagnes en Inde.

- (21) traduction anglaise de Rayanaparikkha, commentée par S. Rajeswara Sarma, 1984, p. 16.
- (22)Dès le Moyen âge il y aurait eu en Iran des émeraudes exceptionnelles. Selon Zina Vezel (1991) le Jawhar-nama-i-Nizami, rédigé en 1195-96 ap. J.C. par un joaillier anonyme probablement originaire du Khorassan, raconte: «En 1192 (588 de l'Hégire), le sultan Ala al-Din Tekesh me fit venir auprès de lui à Sarakhs et ordonna que l'on apporta du trésor (royal)... une émeraude de teinte rayhani. Elle était de forme carrée, présentait une surface polie et (était) sans défauts. Grande comme la surface d'une paume de main, elle était enchassée dans une monture d'or... et pesait environ 30 Mithqual-s. Sur le dessus était gravée l'image d'un roi sur son trône ».

Vesel, 1991, p. 100: Un mithqual correspond à 4,3-4,6 g; 30 mithquals font donc environ 130 g, soit 650 carats.

(23) Bretschneider (1910, t. 1, p. 176) Bretschneider (1910, t. 1 p. 173 « Appendix II: A chinese mediaeval account of western precious stones») rapporte que : « In the Cho keng lu, notes on different matters referring to the time of the mongol dynasty, written by a learned Chinese in the fourteenth century, an article is found entitled Hui-hui shi t'ou (Precious stones of the Mohammedans). He knows three kinds of emeralds (celles qui sont d'un vert profond, celles qui sont de qualité moyenne, enfin les vert pâle, de qualité inférieure.) Cet auteur rappelle que «La Chine et spécialement la capitale (Pékin) est très riche en pierres précieuses, mais comme très peu d'entre elles sont extraites dans ce pays il est évident qu'elles y ont été importées de l'extérieur. Il suppose que la plupart des beaux rubis, saphirs, émeraudes, etc... vendus à Pékin et provenant pour la plus grande part de l'établissement de princes et nobles appauvris, vinrent en Chine dans les temps anciens et spécialement au temps où l'Asie occidentale fut dévasté et pillée par les Mongols».

The Emerald of Bactrian: Myth or Reality The Panjshir Valley (Afghanistan)

by F.H. Forestier and D.H. Piat

The discovery and exploitation of good quality emerald in the Panjshir Valley (Afghanistan) in the nineteenseventies refreshed the historical interest for Theophrastus who mentioned this deposit as early as 314 BC.

This author's knowledge could not but come from Alexander the Great's army, which had marched up to the Panjshir Valley in 329 BC, on its way from Begram (Alexandria of Caucasus). Alexander crossed over the 4,300 meter high Kawak and marched past the deposits within less than 2 kilometers as the crow flies.

Hindu treasures abounded with emeralds and other precious stones as early as the year 1,000. The great Asian kingdoms' treasures boasted superb emeralds long before America's discovery. The largest remainders of

these treasures are in Iran and Turkey today...

As J. S. Sinkankas pointed out in 1981, if one considers the quantity and the quality of the emeralds that were described as early as the medieval times, either in India, Persia or elsewhere, it is impossible to imagine that these stones all came from Egypt, since the Egyptian deposit had already at least been exhausted, if not already fallen into oblivion.

As a consequence, one must admit that a part of the real sources of Indian emeralds in the Middle Ages were not known by the writers of treatises on gems, hence the assertions of J.B. Tavernier in 1676.

Even if one has not yet found any archeological remnants of an ancient mine of encrusted emeralds in Panjshir,

current studies show that historically, there is no reason to believe that these deposits would not have been one of the sources of Asian emeralds prior to America's discovery.

Only a systematic study of historical emeralds by the techniques that G. Giuliani and his colleagues develop here will allow us to assess precisely where the emeralds deemed to come "from old mines" really came from.

Translation: © Dominique Maillard & Sophie Gore

Bibliographie

Alexandre le Grand, 1962, recueil d'articles par divers auteurs, dont Robert Flacelière (Alexandre le Grand élève d'Aristote).

Hachette, Paris (Bibl. Lyon Part-Dieu nº 93703)

ARRIEN 1984, *Histoire d'Alexandre*. L'Anabase d'Alexandre le Grand et l'Inde, traduit du grec par Pierre Savinel, suivi de Flavius Arrien entre deux mondes, par Pierre Vidal-Naquet.

Collection Arguments. Les Editions de Minuit, Paris

AZIZ Abdul 1942, *The imperial treasury of the indian Mughuls*. Lahore, private publication. Reprinted 1972 by Idarah-I-Adabiyat-I-Delhi. Delhi, 572 p.

BARIAND P. & POIROT J.P. 1985, Larousse des Pierres précieuses. Paris, Larousse, in 4° 264 p.

BIRUNI, M. ibn A., al- 1989, The book most Comprehensive in Knowledge on Precious Stones: al-Biruni's Book on Mineralogy (Kitab al-Jamahir fi manifat al Jawahir).

One hundred Great Books of Islamic Civilisation, Natural Sciences n° 66, Islamabad, Pakistan Hijra council, edited by Hakim Mohammad Said, 355 p.

BOWERSOX G. et al. 1991, *Emeralds of the Panjshir Valley, Afghanistan*. Gems and Gemology, Spring 1991, p. 26-39

BOWERSOX Gary W. & CHAMBERLIN Bonita E. 1995, Gemstones of Afghanistan.

Geoscience Press o,c. Tucson, Arizona, USA, 220 p. in 4°.

BRETSCHNEIDER E. 1910, Precious stones of the Mohammedans. in: Mediaeval researches from Eastern Asiatic sources. Fragments towards the knowledge of the geography and history of central and western Asia from the 13th to the 17th century.

London, Kegan Paul, Trench, Trübner & C° Ltd., 2 vols. in 8° (Bibl. Musée Guimet, Paris, n° 33776 (24 V)).

CHAUVET Michel 1989, *Frédéric CAILLAUD. Les aventures d'un naturaliste en Egypte et au Soudan. 1815-1822*; 373 p. in 4°, Edit. ACL-Crocus, St Sébastien près Nantes (redécouverte des mines d'émeraude du Mt Zabarah, Egypte).

EICHHOLZ D.E. 1965, *THEOPHRASTUS Peri lithon*. Edited with introduction, translation (in english) and commentary.

Oxford, Clarendon Press, 141 p. in 8°

Encyclopedia Universalis 1996, articles « Afghanistan » (histoire), «Sanscrites» (langue et littérature)

FERRIER J.P. 1856, Caravan journeys and wanderings in Persia, Afghanistan, Turkistan and Baloochistan, translated (in english) by captain William Jesse, edited by H.D. Seymour M.P.

London, John Murray, 2 vols. in 8°

(Bibl. municipale de Lyon Part-Dieu, nº 422515)

FERRIER J.P. 1860, Voyages en Perse, dans l'Afghanistan, le Beloutchistan et le Turkestan. Paris, E. Dentu, 2 vols. in 8° (Bibl. municipale Lyon Part-Dieu, n° 307200)

FILLIOZAT Jean 1974, *Pline et le Malaya*. Journal Asiatique, publié par la Sté Asiatique, Paris, t. CCLXII, p. 119-130

FINOT Louis 1896, *Les lapidaires indiens*. Paris, E. Bouillon éd. 1 vol. in 8° 280 p. et Bibliothèque des hautes études. Sciences philologiques et historiques, 111e fasc.

FORTENBAUGH W.W. et al. 1992, *Theophrastus of Eresus. On his life and work,* (Theophrastus in the Arabic tradition)

Rutgers University studies in classical humanities vol. 2, in 8°, Transaction Books, New Brunswick (USA) and Oxford (U.K.)

GUBELIN E. 1968, *Die edelsteine der insel Ceylon.* 1 vol. 152 p. in 8° Imprimerie Corbaz, Montreux, Suisse

LANE-POOLE Stanley 1991, Mediaeval India under Muhammedan Rule (A.D. 712-1764) London, T. Fisher Unwin Ltd.

Reprint (?) 1991, Sang e Meel publications, Chowk Urdu Bazar, Lahore, Pakistan.(Bibl. D. Piat)

MARYHOFER M.1970, *Kurzfasstes etymologisches Wörterbuch des Alt-Indischen.* Heidelberg (ouvrage paru par livraisons) (Bibl. Musée Guimet, Paris)

MEEN V.B. & TUSHINGHAM A.D. 1968 *The crown jewels of Iran* Toronto, University of Toronto Press. 159 p.

MELY (F. de) 1902 Les lapidaires de l'Antiquité et du Moyen Age. T. III, Les lapidaires grecs. Traduction. Paris, Leroux; (Théophraste, traduction française du Peri lithon, p. 1-12)

PLINE l'ANCIEN Histoire naturelle, livre 37, voir SAINT-DENIS (E. de)

RAWLINSON H.G. 1912, *Bactria. The History of a forgotten Empire.* Probstain & C°, London

(Bibl. Musée Guimet, Paris, nº 36135)

SAINT-DENIS (E. de) 1972, *Pline l'Ancien, Histoire naturelle*, traduction française du livre 37. Paris, Les Belles Lettres.

SARMA Sreeramula Rajeswara 1984, *Thakkura Pheru's Rayanaparikkha.* A medieval prakrit text on gemology.

Viveka publications, Aligarh. (Bibl. Musée Guimet, Paris, n° C II, 65806, 40 VII)

SINKANKAS John 1F986 Beryl

Butterworth Gem Books, London... (Emerald and Beryl in Antiquity, in mediaeval and modern Europ)

SINKANKAS John 1993, Gemology, an annotated bibliography. The Scarecrow Press Inc. Metuchen N.J. & London, 2 vols, in 4°

TAGORE Souindro Mohun 1879, *Mani-Mala, A treatise on gems.* Reprinted 1996 in Nairobi, Kenya, with a new foreward by Dr. N.R. Barot, 2 vol. petit in 8° .

TARN W.W. 1951, *The Greeks in Bactria and India.* Cambridge. University Press, 2nd edition, 3 cartes hors-texte (Bibl. Universitaire Lyon II n° 81334).

TAVERNIER Jean-Baptiste 1676, Les six voyages de Jean-Baptiste Tavernier, écuyer, baron d'Aubonne, qu'il a fait en Turquie, en Perse et aux Indes... Paris, Gervais Clouzier et Claude Barbin, 2 vol.

VESEL Ziva & GRENET Frantz 1991. *Emeraude royale. Le Zumurrud et le Zabarjad chez les auteurs iraniens.* Extrait de : Studi orientali, vol. X, Universita di Roma, Yad-Nama in memoria di Alessandro Bausani, vol. 2, Bardi Editore, Roma, p. 100-115.

WARD G. 1983, *The Maharadjas*. Treasures of the world, Chicago, Stonehenge Press, 176 p.

WHIBLEY Leonard 19.. A companion to Greek Studies. 4th edit. Hafner publishing C° , New York-London

(Bibl. Universitaire Lyon II n° 875 COM).

WOJTILLA GY. 1973 Indian precious stones in the ancient east and west. Acta Orientalia Scientiarum Hungaricae, t. XXVII (2) p. 211-224 (Bibl. Musée Guimet, Paris 62807, cart. A 43).

YELEN Anne 1977, *Tout sur l'Afghanistan*. Guide-reportage Nathan, Paris F. Nathan, 208 p, in 8°.

LA COURONNE DES ANDES

Maurice-Émile Giard

a Couronne de la Sainte Vierge Marie, Reine des Andes, plus communément appelée Couronne des Andes, est assurément le plus fabuleux joyau d'or et d'émeraudes que l'on connaisse au monde.

L'histoire commence à Popayan, ville située à 1760 mètres d'altitude, près du rio Molino et au pied du volcan Purace. Elle est le chef-lieu de l'actuel département du Cauca, en Colombie. Sa population est, de nos jours, de 180 000 habitants.

Popayan fut fondée en 1536 par un aventurier espagnol Sebastian de Benalcazar, né à Benalcaz (Estrémadure), vers 1495. Après avoir exploré l'isthme de Panama, il part pour le Pérou avec les trois frères Pizarro (Pizarre, en français), s'empare de Quito après la mise à mort du dernier Inca Atahualpa (1533), passe en Colombie, revient au Pérou pour rechercher le mythique Eldorado, retourne finalement en Colombie et est nommé par Diego Pizarro gouverneur de la province de Popayan où il fonde la ville du même nom sur les ruines d'une ancienne cité inca. Administrateur habile, il a cependant laissé le souvenir d'un homme cruel et sans scrupule. L'assassinat de Francisco Pizarro en 1541 lui fait perdre son poste. Il décède à Popayan en 1550.

Entre-temps, la nouvelle cité avait si bien prospéré que le Pape Paul III l'avait élevée au rang d'évêché et le roi d'Espagne Charles ler (l'empereur Charles-Quint) lui avait accordé le droit de posséder ses propres armoiries.

En 1590, un grand malheur s'abat sur la région: la peste, « ce mal qui répand la terreur ...» fait rage pendant trois ans. La mortalité est effrayante. L'évêque ordonne des prières. Est-ce grâce à elles, est-ce plutôt dû au fait qu'en raison de son altitude la cité est isolée, toujours est-il que sa population est épargnée. Dans leur enthousiasme et pour manifester à la Madone leur gratitude, les habitants de

Popayan décident de lui offrir « une couronne qui surpasserait en beauté, en grandeur et en valeur celle de n'importe quel monarque terrestre, sans quoi elle ne constituerait pas un présent digne de la Reine des Cieux ». Et, de fait, on n'en vit iamais une qui lui soit comparable. Commencée en 1593, 24 joailliers mirent six ans pour la fabriquer. Sculptée et ciselée dans un bloc d'or de 50 kg à l'origine, on y sertit 453 émeraudes volées aux incas, pesant au total 1521 carats. La plus belle d'entre elles avait été arrachée par les Espagnols à Atahualpa. Des arches de la couronne pendaient 17 pierres en forme de pendeloques. On fit venir d'Espagne des lapidaires pour polir et tailler les pierres qui étaient portées à l'état brut par les Incas. Lorsqu'elle fut terminée la couronne fut placée sur la tête de la statue de la Vierge, dans la cathédrale, au cours d'une cérémonie qui se renouvela rituellement chaque année.

Sa renommée attira bien vite la convoitise des voleurs et des pirates qui montèrent plusieurs expéditions pour s'en emparer. Pour la protéger, on créa la Confrérie de l'Immaculée Conception qui existe encore aujourd'hui. Chaque fois que les pillards survenaient, les membres de la Confrérie, des jeunes gens pour la plupart, enterraient précipitamment la couronne ou la transportaient au plus profond de la jungle. Ce ne fut pas sans dommage. A la longue, elle finit par se bosseler sans que pour autant une seule émeraude soit dessertie.

La Couronne des Andes devint pour les Sud-Américains un objet de légende, un symbole presque égal à celui du Saint Graal pour les Européens, au point que l'on disait que ceux qui l'avaient contemplée apercevaient alors les effluves même de la foi.

Après une longue odyssée, la couronne parvint aux Etats-Unis où elle se trouve toujours. Elle a été exposée en Europe en 1968.

Maurice-Émile GIARD est Président d'Honneur de la Chambre Syndicale de la Bijouterie, Joaillerie et de l'Orfèvrerie et Vice-Président Honoraire de la Chambre de Commerce et de l'Industre de Paris.

L'Anneau du Sacre de Napoléon

Maurice-Émile Giard

ors du couronnement de l'empereur Napoléon let, le 2 décembre 1804, le pape PieVII bénit deux anneaux qui furent remis à leurs Majestés. Celui de l'Empereur était orné d'une émeraude de 5,14 carats fournie par le Trésor et symbolisait la révélation divine. Celui de l'Impératrice Joséphine, orné d'un rubis de 5,33 carats également fourni par le Trésor, était considéré comme un symbole de joie. Les deux anneaux furent montés par le joaillier Marguerite et coûtèrent, or et façon comprise, 48 francs or chacun.

Napoléon avait refusé de recevoir la couronne des mains du pape et s'était couronné lui-même pour ne pas laisser entendre qu'il tenait sa couronne du pape et de l'Eglise. Il était nécessaire cependant qu'un lien matériel existât entre le Saint-Siège et la Nation française, ne serait-ce que pour permettre au nouvel empereur de dire et d'écrire : « Nous, ... par la grâce de Dieu... » Seul l'anneau bénit par le Pape répondait à cet impératif. On ne sait pas ce que devinrent ces deux bijoux après le Sacre mais ils ne réintégrèrent pas le Trésor des Joyaux de la Couronne. Ils ne figurent d'ailleurs pas dans l'inventaire de 1811. Mais le 18 avril 1946, coup de théâtre! Le joaillier genevois Lucien Baszanger (descendant du joaillier héros malheureux de l'affaire dite du Collier de la Reine) remit, au cours d'une cérémonie officielle dans la Galerie d'Apollon, au Louvre, à M. Marcel Naegelen, Ministre français de l'Education nationale et des Beaux-Arts, un anneau qu'il offrait à la France et qui passait pour avoir été celui du Sacre de Napoléon ler. Il est ainsi décrit : un anneau d'or avec une émeraude de 20 carats intaillée d'armoiries.

Il était précisé que, par l'impératrice Marie-Louise, l'anneau était passé dans les mains de la Maison d'Autriche. Bien des décennies plus tard, suite à la menace hitlérienne, grâce au joaillier genevois qui l'avait acquis, on avait pu lui faire quitter l'Autriche. Dans son discours de remerciement, M. Naegelen n'hésita pas à dire : « Votre geste généreux, M. Baszanger, vous classe parmi les grands donateurs de nos musées ... Ce geste a d'autant plus de valeur que vous n'avez pas été le simple acquéreur de l'anneau du Sacre, mais que vous avez contribué à le sauver : lorsque l'anneau était encore en Autriche, Hitler était tout puissant et avait interdit la sortie de tous les souvenirs historiques qui étaient demeurés dans la Famille des Habsbourg ... (Ce faisant) ... Vous avez su servir la noble cause de la Liberté ». L'anneau offert par Lucien Baszanger fut, dès lors, exposé dans la Galerie d'Apollon avec les trésors subsistants de la monarchie française.

Nul ne s'était avisé à l'époque qu'il ne pouvait pas s'agir de l'anneau du Sacre puisque l'émeraude du bijou offert à la France par Lucien Baszanger pesait 20 carats alors que celle qui ornait l'anneau porté par l'Empereur n'en pesait que 5,14. Il fallut attendre 24 ans pour que la vérité apparaisse. Dans un article paru en 1970 dans la revue allemande Der Tappert, le baron Pinoteau, secrétaire général de l'Académie Internationale d'Héraldique, après avoir remarqué qu'une émeraude de 5,14 carats ne pouvait pas se transformer en une gemme de 20 carats, démontra que l'anneau impérial n'était en fait qu'une belle bague du XIXème siècle et que les armoiries intaillées n'étaient pas celles de l'Empereur mais celles de la Famille Yengalytchev, princes russes d'origine tartare. Il fallut cependant attendre 1975 pour que le pseudo anneau du Sacre soit retiré de la Galerie d'Apollon.

À ce jour, nul ne sait ce que sont devenus les anneaux portés par Napoléon et l'impératrice Joséphine lors de leur couronnement. Existent-ils toujours et si oui, quel en est (ou quels en sont) le ou les heureux possesseur(s)?

Bibliographie

- BAPST Germain Histoire des Joyaux de le Couronne (Hachette, Paris 1889)
- FONTANES (J. de) Le retour de l'anneau du Sacre de Napoléon 1er (Paris 1950).
- HATEM Simone L'empire des perles et des pierres précieuses (Plon, Paris 1856).
- MASSON Frédéric Le Sacre et le Couronnement de Napoléon et de Joséphine, impératnce et reine (Ollendorf,Paris).
- MOREL Bernard Les Joyaux de la Couronne de France (Marcator- Albin Michel 1988).
- VEVER Henri La Bijouterie française au XIXème siècle, Tome 1 (Floury, Pans 1 906).

THE CROWN OF THE ANDES

by M.E. Giard

The Crown of Holy Virgin Mary, Queen of the Andes, more commonly known as the crown of the Andes is surely the most fabulous gold and emerald jewel that is known in the world.

The Spanish adventurer Sebastian de Benalcàzar founded Popoyan a little Colombian city situated at 1760 meters high in the mountains. It prospered so much that it was elevated to the status of bishopric by Pope Paul III and Spanish Emperor Charles V granted it the right to possess its own coat-of-arms.

In 1590, a great calamity befell on the region: plague raged there for three years. The mortality rate was frightening. The bishop ordered prayers to be offerd and the city was spared.

To express their gratitude to the Madonna, the inhabitants of Popayan decided to offer her "a crown that would surpass in beauty, greatness and worth the crown of any terrestrial monarch, without which it would be a present worthy of the Queen of Heaven."

Starting in 1593, twenty-four jewelers worked for six years to produce it. Sculpted and chiselled in a block of gold originally weighing fifty kilos, they set in 453 emeralds weighing a total of 1,521 carats. These emeralds had been stolen from the Incas--the Spaniards had snatched away the most beautiful of them from Atahualpa.

The Crown's fame quickly roused the

lust of thieves and to protect it they created the "Brotherhood of the Immaculate Conception," which still exists today.

The Crown of the Andes became an object of legend for the South Americans, a symbol almost equivalent to the Holy Grail for the Europeans.

Translation : © Dominique Maillard & Sophie Gore

Bibliographie

- WILSON Mab Pierres précieuses (Traduction de Raymond Albeck). (B. Arthaud, Paris-Grenoble 1968).
- GUBELIN Dr E. Pierres précieuses (Editions Silva, Zurich 1969).

NAPOLEON'S CORONATION RING

by M.E. Giard

During the coronation ceremony of Emperor Napoleon I, on 2 December 1804, Pope Pius VII blessed two rings that he handed over to their Majesties. The Emperor's was adorned with a 514 carats emerald symbolizing the divine revelation, Empress Josephine's was adorned with a 543 carats ruby which was considered a symbol of joy.

One does not know what became of those two jewels after the Coronation, except that they were not entered in the inventory book of 1811.

In the course of an official ceremony on 18 April 1946, Geneva jeweler Lucien Baszanges presented the French Minister of Education and Fine Arts, Marcel Naegelen, with a ring that he was offering to France. Supposedly, the ring would have been Emperor Napoleon I's coronation ring. It was described like this: "a gold ring with a 20 carat engraved emerald with a coat of arms.

There was a mention that Empress Marie-Louise had put the ring in the House of Austria's hands and that after Hitler's coming to power, Baszanges had managed to take it out of Austria.

In 1970, the truth came out in an article published in the German review Der Tappert by Baron Pinoteau. The Baron pointed out that a 5.14 carats emerald could not turn into a 20 carat piece and furthermore that the engraved coat of arms was not the Emperor's, but

the Yengalytchev family's--a princely Russian family of Tartar descent.

In 1975 the ring was removed from the Louvre Apollo Gallery, where it had been since 1946.

Nobody knows what became of the rings worn by Napoleon and Empress Josephine.

Translation: © Dominique Maillard & Sophie Gore.

LES ÉMERAUDES GRAVÉES

Michel Duchamp

l est bien difficile de savoir quand furent gravées les premières émeraudes? Trouvera t-on un jour des émeraudes colombiennes gravées par les Incas ou les Aztèques dans les tombes que les archéologues américains explorent depuis une trentaine d'années? Peutêtre, puisque la glyptique leur était connue, avec le jade, l'améthyste, le cristal de roche, plusieurs siècles avant notre ère... Les tombes incas nous réservent peut-être des surprises, puisque leur territoire leur a fait vénérer les lumineuses émeraudes de Muzo et de Chivor qui, ensorcelant les guerriers portugais, les ont poussé de Santos vers Diamantina et Ouro Preto, leur faisant confondre pour un temps les tourmalines avec les béryls verts. Il fallut attendre le XXe siècle, pour que de vraies émeraudes au chrome soient découvertes dans le nord du Brésil. sans que ces pierres atteignent le velouté de celles de la Cordillère.

Le béryl vert au chrome est particulièrement rebelle avec ses fêles et ses inclusions, aussi les intailles et les camées sont peu nombreux, les pierres signées par quelques audacieux étant rarissimes. Les pierres gravées sur de belles émeraudes méritent la patience du collectionneur ou de l'amateur pour qu'il les trouve sur son chemin.

C'est en Égypte que les premières émeraudes seront travaillées, comme ornements sur les bijoux des pharaons. La Bible nous assure, que le pectoral du grand-prêtre commandé par Salomon avait une émeraude parmi les douze pierres, qui représentaient chacune une tribu d'Israël, et qui étaient gravées avec le nom de chaque tribu.

Hérodote nous parle du sceau en émeraude du tyran Polycrate de Samos, dont l'anneau était si fameux, qu'il nous valut une aventure extraordinaire. Un devin, le sage Amasis, lui avait annoncé une mort prochaine, les dieux ne lui étant plus propices, comme ils l'avaient été jusqu'alors. Polycrate, prenant très au sérieux cet avertissement, prit la décision de jeter à la mer, en offrande aux dieux pour conjurer le sort, ce qu'il avait de plus précieux, son sceau en émeraude, alors qu'il se savait menacé par les troupes du pharaon d'Égypte. Or le jour même, un pêcheur lui apporta en présent un beau poisson, alors qu'il donnait un grand festin. Quelle ne fut pas sa stupeur, en lui ouvrant le ventre, comme il servait ses invités, de découvrir sa bague, que l'animal avait avalée! Les dieux refusaient son offrande... Le pharaon l'ayant appris par ses espions, ce fut le satrape perse qui l'attaqua et le mit à mort, sans coup férir.

On prétend que Néron utilisa une émeraude comme monocle : la pierre devait être assez grosse et très claire. Était-elle gravée ? Il semble vraisemblable que non... Ce devait être un caprice de l'empereur, soucieux d'offrir ce geste théâtral à la foule de l'amphithéâtre ?

Nous avons rencontré de petites intailles antiques en émeraude d'intensité variable. Les pierres sont de faible couleur et n'ont pas la vie des émeraudes colombiennes et des récentes gemmes brésiliennes. Lors de la vente du baron Pichon, Feuardent, qui était l'expert, signalait une intaille en émeraude, qu'il donnait pour antique. Notons qu'il s'agit alors de pierres de poids très faible et d'une qualité, qui ne peut se comparer avec celles dont nous allons parler.

Si les graveurs antiques nous ont laissé des aigues-marines bien gravées, tel n'est pas le cas des émeraudes de même époque. La raison essentielle est, comme nous l'avons dit pour les saphirs, les spinelles et, à fortiori les rubis, le manque de diamants, l'émeri de Naxos prenant trop de temps pour un travail fort risqué.

Tout change avec les émeraudes colombiennes : elles sont plus homogènes, même si leurs givres caractéristiques permettent de classer leur lieu de

Michel DUCHAMP, spécialiste de la glyptique, est « Follow of jewellery Historian Society ».

production, et l'usage de l'égrisé de diamant s'est généralisé avec les pierres venues des Indes.

Une très grande intaille moghole

gravée en caractères arabes superbes a fait la une d'un journal de gemmologie américain, après être passée dans une grande vente internationale, il y a quelques années. Les caractères fastueux, d'une parfaite. régularité donnaient à cette gemme un caractère exceptionnel. Les courbes et les pointes de cet alphabet sinueux donnent une beauté que l'on ne trouve pas sur les prières rédigées en allemand de Salomon Philipp Abraham... Comme sur les pages calligraphiées du Coran, l'écriture est déjà à elle seule une oeuvre d'art. Quant à la couleur de l'émeraude, elle permet d'avancer, sans analyses, qu'elle est colombienne.

Plus pâle, nous avons rencontré une émeraude gravée en camée à tête de Christ, dans la collection du Metropolitan Museum de New York, probablement italienne du XVIIe siècle...

La Schatzkammer de Vienne possède un buste à droite de Léopold 1er, signé sur la troncature par D. Vogt F., originaire de Breslau, datant de la fin du XVIIe (Eicler-Kris, n°497). Le portrait est assez fidèle, sans toutefois avoir le talent de celui sur cristal de roche de son compatriote Seidlitz,

qui figure parmi les trésors du Musée de Stuttgart, après avoir fait partie de la prestigieuse collection Wolff.

Le grand graveur Jaeger a exécuter pour Catherine II, deux portraits en intaille, dont celui du Musée de Moscou est signé (Photo 1). Le second, offert en 1775, par la souveraine à son amant Orlov, sur une pierre de 19,4 carats, entourée de vingt-deux diamants, s'est vendu à Genève en 1975, chez Christie's,

320 000 FS.

À la fin du XVIII^e, plusieurs graveurs français se sont risqués à réaliser des portraits de femmes, notamment celles qui



Photo 1 : Catherine II. Intaille par Jaeger. Vente Christie's. Coll. part. fin XVIIIe

constituaient un collier offert par Turgot, dont deux camées se sont vendus récemment par Maître Tajan, l'un remonté en bague, l'autre en pendentif, probablement à la suite d'un partage familial.

De cette époque, date également un collier, avec de multiples camées, ayant appartenu, non pas aux de Mongolfier, comme l'annonçait le catalogue, mais à leurs parents les Seguin, savants éminents de l'Institut de France, qui furent de

grands et brillants collectionneurs du fait de leurs relations familiales avec les Lubormiski et les Bourbon-Sicile. Un camée en émeraude offert par Charles

> Seguin à sa filleule, Maria Wodzicka, fille du Président de la République de Pologne, a disparu dans la tourmente de 1940. Nous avons relaté, dans « l'oeil » de novembre 1992, l'identification et l'historique complet du camée en émeraude gravée, sans le signer par J.B. Salmson, lors d'une exposition internationale de 1855, où il fut primé et acheté, par un des financiers de Napoléon III. Ayant transitée par une antiquaire de nos amies, nous avions pu photographier, en 1986, cette pièce superbe, avant qu'elle n'attire l'attention de H. Schubnel, qui la publia dans son livre « Pierres de Lumières » en 1987, ce qui relança notre recherche, et qu'elle ne soit vendue à Genève en 1989 par Sotheby's.

> Nous avons depuis croisé d'autres émeraudes gravées à têtes de femmes, sûrement du XIXe, et savons que Salmson signa une émeraude au portrait du Roi d'Espagne, vendu par Christie's. Nous ignorons qui a pu graver le très romantique visage de jeune fille que présentait, à la Biennale de Paris de 1986, un antiquaire belge de Bruxelles, qui en demandait 242000 FF (Photo 2).

C'est probablement la plus belle pierre que nous avons eue en mains à ce jour. Il s'agit bien de « pierres de rêve »!

THE ENGRAVED EMERALDS

by Michel Duchamp

It is quite difficult to establish when the first emeralds were engraved. Will one ever find Colombian emeralds that were engraved by the Incas or the Aztecs, in the tombs that the American archeologists have been exploring for the past forty years? Maybe one will. They had known glyptics for several centuries before our era, along with jade, amethyst and rock crystal....

It is in Egypt that the first emeralds were chiselled into ornaments on the pharaoh's jewels. The Bible tells us that the high priest's chest plate ordered by Solomon, contained one emerald among the twelve stones; each stood for a tribe of Israel with its name engraved on it

Herodotus tells us about the emerald seal of Samos Tyrant Policrates, whose ring was so famous that it generated a wondrous story. A seer, the wise Amasis, had foreseen his near death. The gods were no longer propitious, as they had been up to then. Policrates, taking this warning very seriously, came to decide that he should cast into the sea--as an offering to the gods--to ward off his misfortune, the most precious thing he

had - his emerald seal - and this although he knew he was threatened by the pharaoh of Egypt's armies. However on the very day the deed was accomplished, a fisherman presented him with a large fish for a large banquet he was offering. How astonished he was, when the fish's belly that was being cut open to be served to the guests revealed his seal that the beast had swallowed! Indeed the gods were refusing his offering....On hearing the story from his spies, the pharaoh ordered the Persian satrap to do away with him, which he did without meeting any opposition.

A very large Moghol gem, engraved with superb Arabic characters, ran front page in an American gemology journal after being sold at a large international auction a few years ago. The sumptuous characters with a perfect consistency gave this particular gem an exceptional appearance. The curbs and tips of this sinuous alphabet conjured a beauty that one did not find on the German prayers by Solomon Philip Abraham. As on the calligraphic pages of the Coran, the scripture in itself is already a work of

art. As to the shade of the emerald, one may deem without any chemical analysis that it was of Colombian origin.

At the end of the eighteenth century French engravers risked the making of women's portraits. Among the engraved portraits are those of the ladies whom Turgot presented with necklaces. Two of these emerald cameos - one set on a ring, the other as a pendant--were recently sold by Auctioneer Tajan, probably after the dividing of a family heritage.

We have no idea who engraved the young woman's very romantic face that was displayed at the 1986 Paris Biennial by a Belgian antique dealer who was asking 242,000 FF. for it. It is probably the most beautiful stone that one could hold in one's hand up to this day. Engraved emeralds are indeed "dream stones."

Translation: © Dominique Maillard & Sophie Gore



■Photo 2 : tête de jeune fille. Biennale de Paris, 1985.Fin XIXe? Coll. part.

Essai de Datation d'un Camée Grâce à la Gemmologie

Michel Duchamp

ans nos différents articles publiés dans la revue de gemmologie, l'A.F.G., nous essayons de faire découvrir à nos lecteurs la beauté des pierres gravées. Aujourd'hui, grâce à l'amitié et à la compétence de Philippe Maitrallet, directeur du Laboratoire de Contrôle des pierres précieuses de la Chambre de Commerce de Paris, nous avons pu résoudre une partie des problèmes que nous posait une émeraude d'environ cinq carats, gravée en haut relief, représentant une tête de Christ.

L'aspect extérieur. La technique primitive de gravure au tranchet, le visage du Christ tel que l'artiste l'a réalisé, pouvait permettre une attribution à une gravure carolingienne ou byzantine, car on notait certaines ressemblances avec les icônes orthodoxes de cette époque, sans vouloir se référer au Saint Suaire de Turin, à cause des discussions que ce document suscite encore (bien que l'on sache maintenant que l'Anatolie le connaissait vers le IVe siècle de notre ère).

rhénane, région comme Constantinople, a eu, en effet, entre le IXe et le XIIe siècle de notre ère, d'excellents graveurs, auxquels on doit les saphirs gravés du Kunsthistorisches Museum de Vienne et de nombreuses intailles sur cristal de roche (savamment étudiées par Genevra Kornbluth (1). Ces graveurs ont travaillé pour les souverains sur cristal de roche et sur pierres précieuses. c'est à ceux de Constantinople, plus près des gisements de Ceylan et de l'Himalaya, que l'on doit, sauf rares exceptions, les saphirs, rubis, spinelles, qui ne pouvaient être gravés en période romaine, à cause de la rareté du diamant. C'est en période Renaissance que, le commerce avec les Indes s'étant intensifié, les graveurs ont eu, dans de meilleures conditions, les diamants et les corindons nécessaires.

Par contre, les émeraudes, bien décrites par Pline (Hist. Nat.), de dureté

inférieure aux corindons, étaient connues en Égypte au temps de la XXIe dynastie, nous dit le spécialiste américain Benjamin Zucker (2), venant, non pas d'alluvions, mais de gîtes « in situ » en Égypte du sud, le long de la Mer Rouge, à Jebel Zubara, de l'Oural ou de l'Inde. Elles ont été gravées en période grecque et romaine, celle qu'utilisait en bague le tyran Polycrate de Samos, ayant passé à l'histoire, sans que l'on sache ce qu'elle est devenue, après que son propriétaire l'eut retrouvée dans le ventre d'un gros poisson servi à sa table (3). Ces gemmes étaient généralement d'un vert pâle, ce qui pouvait à première vue être le cas de la tête de Christ, que nous avions à soumettre à l'expérience amicale de P. Maitrallet.

L'examen au binoculaire à grossissement 50X mettait en évidence des inclusions en trois phases: libelle (bulle de gaz) + liquide + solide dans des espaces en losanges typiques d'une émeraude de Colombie (cf. Inclusions AFG, n°16, photo Alain et Claire da Cunha). Ce premier indice était définitivement confirmé par un examen en fluorescence à rayons X, où l'expert retrouvait le « pic » du chrome et un faible « pic » de fer, écartant ainsi une émeraude africaine, où ce pic aurait été beaucoup plus prononcé.

Nous pouvions, soit nous orienter vers un travail de la Renaissance, soit vers une copie moderne. La facture écartait cette dernière solution. Le copiste n'aurait pas utilisé une émeraude pâle avec un canalicule encombré de givres ou d'eau et de cristaux, qu'il a éliminé d'un coup de tranchet (comparer avec la photo d'un béryl brésilien qui possède ce type d'inclusions). Il aurait pris une émeraude sans défaut de même couleur. Par contre, en période Renaissance, de nombreux camées ont été gravés en « Voile de Véronique ». Cette gravure peut avoir été réalisée par un artiste italien qui connaissait le suaire de Turin. La collection Gilhou avait une bague, dont le camée

en sardoine représentait son exposition, au XVIe siècle, telle qu'elle avait eu lieu en octobre 1578, lors du pèlerinage de Saint Charles Borromée à Turin. Cette pièce a fait ensuite partie de la collection Ralph Harari décrite alors par les spécialistes anglais John Boardman et Diana Scarisbrick, qui supposaient qu'elle a pu être donnée à une personnalité assistant, lors d'un mariage officiel de la famille de Savoie, à une des expositions exceptionnelles de cette relique (4).

La gemmologie a donc ici apporté une contribution essentielle à la glyptique, repoussant une datation carolingienne ou byzantine, alors que le style « frustre » pouvait imposer à une telle conclusion.

Notes

- 1- Genevra Kornbluth: «Engraved gems of the Carolingian Empire »; The Pensylvania State University 1995.
- 2 Benjamin Zucker et Bethsabée Suesmann : « Gemmes et joyaux ».

Genève 1988.

- 3 C.W. King: « Handbook of Engraved Gems ». Londres 1885. 2e édition, p; 135, se référant à Hérodote.
- 4 John Boardman, Diana Scarisbrick : « The Ralph Harari collection of Finger Rings ». London 1977. Cette bague a passé sur le marché depuis, mais, sauf erreur de notre part, a été « ravalée », à cause d'un prix de réserve trop élevé.

CAMEO DATING TEST THROUGH GEMOLOGY

by Michel Duchamp

The external appearance and the primitive chiseling technique, the manner in which the artist made it, could have lead one to identify it as a Carolingian or Byzantine engraving. It bore some likeness with that period's orthodox icons without wanting to mention the Holy Shroud of Turin because of the controversy surrounding it (although we now know that Anatolians were aware of it in the 4th century A.D.

Indeed from the 9th to the 12th century A.D., the Rhine region and excellent Constantinople had engravers, who can be credited with the sapphires engraved Kunsthistorishes Museum of Vienna, and many rock crystal engravings (meticulously studied by Geneva Kombluth). These engravers worked for royalty with rock crystal and precious stones. Constantinople engravers, who were closer to Ceylonese and Himalayan deposits, can be paid tribute--except for a few pieces--for the engraved sapphires, rubies and spinels which could not have been engraved during the Roman era, due to the scarcity of diamond. Through the Renaissance, trade with the Indies increased and engravers could procure the necessary diamonds and corundums.

Examination through a microscope of fifty fold magnification revealed three phases: gas bubbles, plus liquid, plus solid in diamond-shaped particles typical of Colombian emerald. This first clue was decisively confirmed by an x-ray fluorescence test through which an expert identified the large quantity of chrome coupled with a small quantity of iron thus discounting its African origin in which case it would have contained far more iron.

Therefore we could either deduce this as a Renaissance original or as a modern copy. The cost of the stone excluded the latter. The imitator would not have used a pale emerald with a capillary containing frost or water and crystals that he chipped off with an engraving knife. (To be compared with the photo of a Brazilian beryl which has these three types of capillaries). He would have taken a faultless emerald of the same color. On the other hand at the Renaissance many cameos were engraved with "Veronica's veil." This engraving could have been produced by an Italian artist who knew of the shroud of Turin.

Thus gemology has provided a vital contribution to glyptics rejecting a Carolingian or Byzantine dating whereas the "coarse" style could have lead to such a conclusion.

Translation: © Dominique Maillard & Sophie Gore

L'Exploitation des Mines d'Émeraude et leur Contexte Socio-Économique au Brésil

Maurice Roditi, J.P. Cassedanne

il existe au Brésil quatorze localités où de l'émeraude soit connue, à ce jour seulement cinq sont en exploitation. Les autres ont été abandonnées, soit en raison de l'exiguïté du gisement, soit de la mauvaise qualité des pierres extraites, soit enfin comme à Salininha (Bahia), parce que le gîte a été recouvert par les eaux d'un grand barrage.

Nous nous proposons d'examiner dans le court travail qui va suivre, l'exploitation des gisements d'émeraude, ainsi que leur aspect sociologique et commercial. Un aperçu de la législation minière en général précèdera l'exposé afin de mieux permettre de saisir la diversité de ses applications aux gisements examinés. Quelques termes et appellations techniques seront reportés en portugais afin d'aider des compilations bibliographiques éventuelles.

Selon le code minier brésilien il n'existe que deux modes d'exploitation: le « garimpo » et la concession précédée d'un permis de recherche.

Le garimpo est une exploitation artisanale primitive. Il tire son nom de ceux qui le pratiquent : les garimpeiros, mot qui désignait pendant la période coloniale les contrebandiers recherchant clandestinement du diamant dans les zones d'accès interdit. Théoriquement le travail d'extraction doit uniquement être fait en surface, de façon manuelle (à l'aide de pics, pioches, pelles, brouettes, batées etc.). Dans son acceptation pure l'exploitation est un peu en retard sur celle du temps d'Agricola. Mais en fait, on tolère l'utilisation de petits engins mécaniques : pompes, dragues de suction (surtout en alluvions), compresseur et même localement bulldozer. Quant aux explosifs, si l'usage de la dynamite est théoriquement interdit, on le remplace par de la poudre noire et des mélanges « maison ». Comme puits, souvent profonds, et galeries, souvent très longues,

partent de la surface, ils sont également tolérés (gîtes de pierres dites précieuses et or en particulier). Toutes les tolérances précédemment énumérées permettent de concevoir qu'entre un garimpo assez mécanisé et une concession qui l'est peu, il n'y a techniquement aucune différence. Il suffit, pour devenir garimpeiro de demander une carte officielle, valable sur tout le territoire national, puis de se conformer à l'usage, c'est à dire ne pas travailler dans les zones d'exclusion (qui seront citées plus bas) et, hors des terrains appartenant à l'Union, d'obtenir l'accord du propriétaire du sol. Déterminer et localiser celui-ci n'est pas toujours évident. L'accord verbal ou passé devant notaire stipule toujours une redevance dont le pourcentage varie selon la région et le produit extrait. Les garimpeiros vendent directement le fruit de leur travail, oubliant souvent de régler l'impôt théoriquement perçu à la source. Ils travaillent seuls ou par petits groupes, souvent sous la dépendance d'un patron comme le fait sera précisé plus bas.

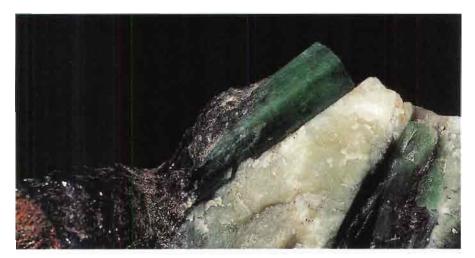
Un décret récent vient d'interdire l'exploitation de l'émeraude par les garimpeiros isolés. Ceux-ci doivent dorénavant s'organiser en coopératives.

Permis de recherche et délivrance de concession rappellent par beaucoup de points les dispositions des codes miniers d'autres pays.

Le permis de recherche (pedido de pesquisa) peut être requis par tout individu, sans distinction de sexe, présentant la documentation suivante:

- document d'identité prouvant sa nationalité brésilienne,
- document prouvant que ses ressources financières permettent de réaliser la recherche
- un projet précisant le minerai ou minéral recherché et comment sera réalisée la dite recherche,
- une carte générale de localisation avec un point d'attache accepté par le Service

RODITI Maurice - FGA
CASSEDANNEJ.P., professeur
honoraire de l'Université de Rio de
Janeiro



■ Photo 1 : Émeraude sur gangue de la mine de Carnaiba (état de Bahia, Brésil). Le cristal d'émeraude, de 3 cm de long, a cristallisé au contact d'une phlogopite (schiste à phlogopite, de couleur noire et d'origine hydrothermale) et d'une plagioclasite (pegmatite totalement hydrothermalisée et transformée en une masse blanche constituée de feldspaths). Photo : Hervé Conge.

des Mines (église, confluent, école etc.), - une carte détaillée de la zone requise dont la surface ne peut dépasser 400 hectares, ses limites, parfois zigzagantes devant toujours être de directions NS et EW.

Le permis de recherche est valable deux ans et un rapport fournissant toutes les données acquises remis au Service des Mines à la fin de cette période. Si ce rapport n'est pas satisfaisant ou si la recherche se continue, un délai supplémentaire de deux ans, non renouvelable, peut être accordé. Durant le temps que le permis est en vigueur on tolère la vente du minerai (ou des gemmes) extrait, pour payer les dépenses de fonctionnement.

Cinq permis au maximum peuvent être attribués à la même personne qui, avant de formuler sa demande devra vérifier que la surface sollicitée n'a pas déjà fait l'objet d'une demande, qu'elle n'est pas située dans une zone de captage d'eau, n'appartient pas à un Parc National ou à une « zone de protection du milieu ambiant » (rien ne pouvant y être extrait, ni minéral ni végétal) ni finalement à une zone urbaine ou prévue telle.

Il convient de noter que des permis peuvent être sollicités par des prêtenoms, des membres de la famille, des connaissances ou de petites sociétés avec leurs multiples filiales, conduisant à l'hégémonie de groupes ou d'individus sur certaines régions ou certains produits minéraux. D'autre part il est commun de demander le permis de recherche pour une autre substance que celle désirée (la correction sera faite plus tard). Ceci a pour but de dérouter les concurrents et surtout d'éviter les invasions par des milliers de garimpeiros comme cela s'est vérifié dans des gîtes d'or, d'émeraude (Itabira à ses débuts) ou d'alexandrite.

L'attribution d'une concession (alvara de lavra) devrait suivre naturellement la fin du permis de recherche. Son obtention nécessite:

- que le demandeur soit une firme, une société, une coopérative, le directeur ou le président d'un établissement dûment enregistré aux Ministères des Finances et du Commerce,

- un projet minier détaillant le mode d'exploitation et comportant impérativement la démonstration des réserves, - un projet très complet de récupération du milieu ambiant, durant et après l'exploitation.

Il y a évidemment diverses taxes à payer, comme pour le permis de recherche. Le titulaire de la concession devra remettre un rapport annuel de ses activités, production, ventes etc., le plus complet possible. Une concession est allouée pour un temps indéfini, mais son titulaire ne peut arrêter son exploitation pour plus d'un an (même si le prix international du produit extrait est très bas), sous peine de caducité. Les projets miniers et de milieu ambiant sont réalisés, à des prix trés élevés, par des

agences spécialisées.

On notera que dans de nombreux gisements (gemmes et pegmatites par exemple), il est impossible de fournir d'avance les réserves totales avec précision, d'où des données inventées qui ne sont même pas de la science-fiction. D'autre part quelques grattouillages permettent d'affirmer que si le rythme de production a baissé, l'exploitation du gîte est toujours en activité. Achat et vente de gisements qui n'ont jamais rien produit de notable sont localement des activités florissantes. La pudeur ne permettra pas de mentionner tractations et corruption à divers niveaux. Finalement, le salaire mensuel minimum légal est de 120 reais (à peu près 100 US dollars). Il est très peu respecté. Les cinq mines d'émeraude en activité sont localisées dans trois Etats ; elles seront successivement étudiées : à Bahia (Carnaiba et Socoto), à Minas Gerais (Itabira et Capoeirana) et à Goias (Santa Terezinha).

Carnaiba et Socoto (Bahia)

Ces deux gisements sont connus sous les noms de garimpos de Carnaiba et Socoto en raison de leur mode d'exploitation et, centralisant toutes les activités socio-économiques de la région, sont actuellement responsables pour l'essentiel de la production brésilienne d'émeraude. Géographiquement voisins, ces deux garimpos se sont développés de façon similaire, le premier à partir de 1964 et le second à partir de 1983. Ils ont toujours été exploités par la méthode du « garimpagem » (exploitation utilisant les méthodes des garimpeiros -voir l'introduction). Près de 10000 personnes habitant environ 2000 maisons vivent dans la région minière, en partie d'ailleurs sur les terrains déjà exploités au sommet des Serras de Carnaiba et Socoto qui dominent les quartiers encore en cours d'exploitation. Chaque parcelle à être exploitée (corte) est soigneusement délimitée en surface, puis un document déposé chez un notaire de Campo Formoso (la ville la plus proche) rend officielle la délimitation de la surface requise ainsi que l'accord du propriétaire du sol. L'exploitation (servico), partant des rares affleurements minéralisés existants, ou le plus souvent en aveugle, descendra par puits jusqu'à atteindre la couche productrice (linha), dans laquelle



■Photo 2 : La mine d'émeraude de Santa Terezinha de Goias, Campos Verdes (état de Goias, Brésil). Vue partielle du garimpo de Trecho Velho. Photo : Gaston Giuliani.

seront tracées chambres, galeries et descenderies tortueuses. En surface les parois entre les excavations des propriétaires voisins sont très minces (damas). Au fond, par manque de relevés topographiques, il est fréquent qu'une galerie recoupe celle du voisin, ayant dépassé l'aplomb de la limite de surface. Si un désaccord naît, il est résolu par le délégué local, choisi par les garimpeiros travaillant dans ce quartier, et considéré comme leur leader et juge sans appel.

Dans l'organisation du travail, on peut distinguer plusieurs catégories d'occupation : le propriétaire ou l'associé (dono ou socio), l'administrateur (administrador), le contremaître (fiscal), le mineur (cortador), le déblayeur (dessarrolhador) et le manoeuvre (carreteleiro) chargé d'évacuer minerai et déblais. Souvent il convient d'ajouter treuilliste (guincheiro) et mécanicien (mecânico). Ces fonctions sont plus différenciées dans les chantiers importants ou de géologie complexe, que dans les petits. Le propriétaire, avec ou sans associé, assure toutes les dépenses. Il possède souvent plusieurs cortes et parties de quartier.

L'administrateur, homme de confiance du propriétaire, partage avec celui-ci la responsabilité de l'orientation technique de l'exploitation. Il devient en outre surveillant pendant les périodes de production de gemmes. Les autres employés sont des ouvriers parmi lesquels le mineur est le plus respecté. Tous sont rénumérés par le propriétaire, chacun recevant en général un petit pourcentage sur la production. Un pourcentage plus élevé est réservé à l'administrateur et au contremaitre.

L'extraction de l'émeraude, très particulière, est réalisée dans tous les « serviços » de la même manière : l'abattage est manuel, sans utilisation d'aucun explosif. Toute la roche minéralisée abattue est triée par le propriétaire ou l'administrateur, qui séparent la partie jugée riche. Celle-ci est transportée à la bouche de l'exploitation où elle est lavée, concassée en douceur puis soigneusement examinée afin d'en séparer les cristaux d'émeraude. La partie jugée pauvre lors du triage au fond est laissée aux ouvriers ou à leurs parents et connaissances afin qu'ils puissent y rechercher les rares émeraudes pouvant y exister.

Les rejets stériles empilés à la sortie des exploitations et les dépôts récents formés par les torrents temporaires descendant des serras voisines passent dans le domaine public. Exerçant une activité de peu de prestige, vieillards, femmes et enfants, les « faisqueiros » (du mot faisca = petit éclat), retournent les déblais, cassent les blocs rocheux restants ou lavent les dépôts récents à la recherche de quelques pierres oubliées.

Le commerce de l'émeraude commence à la bouche de chaque exploitation. Les petites productions des faisqueiros et des "cortes" peu minéralisés sont vendues à de petits acheteurs ambulants (compradores de boca de serviço) qui les repassent à des intermédiaires. Ceux-ci trient et sélectionnent les pierres pour

former des lots qu'ils proposeront aux acheteurs finaux. Les productions importantes passent des mains des propriétaires à celles d'acheteurs mais étrangers, toujours l'intervention d'un intermédiaire. Les acheteurs ambulants sont des garimpeiros, souvent petits commerçants, propriétaires ou associés d'un serviço, alors que les acheteurs finaux sont des représentants de lapidaires/joailliers brésiliens ou d'exportateurs de pierres brutes. Les ventes finales sont faites au propre garimpo ou à Campo Formoso, l'absence de sécurité ayant fait diminuer l'importance de la ville de Rio de Janeiro dans le scénario des ventes internationales.

Toute la population des garimpos participe à la commercialisation de l'émeraude, car chaque habitant est un acheteur en fait ou en puissance. Les transactions se réalisent dans la rue ou dans les divers bureaux d'achat éparpillés dans les villages nés sur les garimpos.

Finalement, on notera que très peu d'émeraude, dans les deux garimpos, est taillée par des lapidaires autonomes.

Itabira et Capoeirana (Minas Gerais)

Itabira (Mina Belmonte). Ce gîte a d'abord été exploité par garimpagem jusqu'en 1981, date à laquelle une concession a été octroyée à la Société Belmonte Gemas Ltda qui appartient à une vieille famille de la région. Le passage d'un garimpo désordonné et libre à une zone concédée, clôturée, a

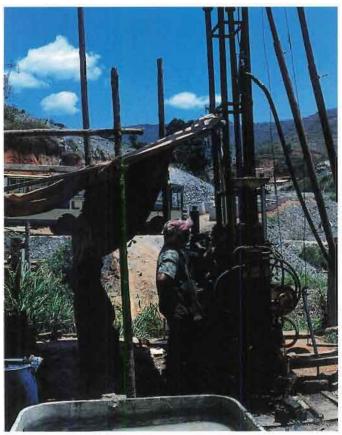


Photo 3 : Machines à sonder, mine de Nova Era. Photo 3 : Drilling machines, Nova Era Mine. Photo sandra Scalie.

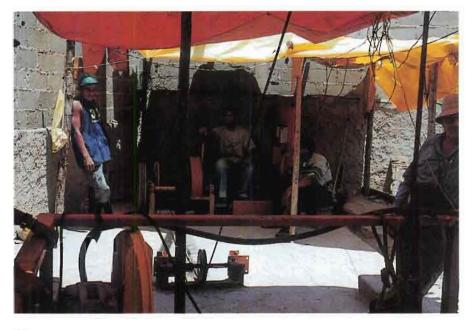


Photo 4 : Devant le puits, mine de Nova Era.

Photo 4 : In front of the pit, Nova Era Mine. photo Sandra Scalie.



Photo 5 : Descente dans le puits, mine de Nova Era.

Photo 5 : Going down the pit, Nova Era Mine. Photo Sandra Scalie.

évidemment causé quelques troubles locaux. La mine est mécanisée et exploitée à ciel ouvert; le minerai extrait est traité dans une usine installée à côté de la carrière. Après lavage et séparation granulométrique mécanique, les gemmes sont triées manuellement. Les employés sont payés au mois et bénéficient des avantages sociaux exigés par la loi. Seuls les trieurs reçoivent un petit pourçentage sur les pierres qu'ils ont permis de récupérer.

Les émeraudes extraites, toutes negociées par les propriétaires, sont classées en grandes pierres de qualité exceptionnelle et autres. Les premières sont envoyées à Sao Paulo, où elles sont taillées par l'intermédiaire d'un contrat d'exploitation de main-d'oeuvre. Les autres émeraudes, de qualité inférieure, brutes, sont divisées en lots. Ceux-ci sont vendus à de petits commerçants, lapidaires et exportateurs nationaux, sans l'interférence d'intermédiaires.

Capoeirana (Nova Era). Ce gîte a été découvert par hasard, à la fin de 1988, par des garimpeiros dans le municipe (commune) de Nova Era, d'où son nom primitif. D'abord exploité par garimpagem, ce gîte a produit en 1989 plusieurs centaines de kilogrammes d'émeraude brute, dont un fort pourcentage était utilisable pour la taille. Après une série de conflits entre les centaines de garimpeiros travaillant anarchiquement, chacun sur la surface qui lui appartenait, une

Coopérative a été imposée par le Service Mines. Celle-ci dénommée Cooperativa dos Garimpeiros de Nova Era gère en fait une concession par l'intermédiaire d'un président. Des parcelles de cette concession (lotes) sont cédées aux requérants, après examen de leurs capacités techniques, financières et morales, afin qu'ils exploitent la dite parcelle et tout le minerai situé à sa verticale. Une modeste contribution est exigée annuellement par la Coopérative. L'exploitation de chaque lot se fait par les méthodes habituelles (puits, galeries, chambres), par un propriétaire (chefe de turma) et ses ouvriers. La rénumération de ceux-ci varie selon les accords passés entre les deux parties : certains ouvriers reçoivent la nourriture et un pourcentage sur la production, d'autres un salaire journalier et un pourcentage, d'autres enfin un salaire hebdomadaire associé à quelques avantages sociaux.

Les émeraudes produites, une fois triées, sont vendues aux agents de grands lapidaires ou exportateurs nationaux, eux-mêmes souvent représentants de groupes internationaux spécialisés dans le commerce des émeraudes en brut. Ces transactions s'effectuent dans les grands centres de commercialisation: Sao Paulo, Belo Horizonte et Rio de Janeiro.

Santa Terezinha (Goias)

Ce gîte, voisin de la ville de Santa Terezinha de Goias (d'où son nom primitif), dans la région centrale du Brésil, a été découvert par hasard en 1981. A ce jour près de 5000 personnes y sont directement ou indirectement liées à la production de l'émeraude. Cet afflux de population a fait naître une ville nouvelle : Campos Verdes, à 20 km de Santa Terezinha. Elle est devenue récemment le siège d'une nouvelle commune dont le territoire a été retranché de celui de Santa Terezinha.

L'exploitation s'est toujours faite par garimpagem, bien qu'à ce jour certaines firmes passent au régime de la concession, utilisant une demande qui avait été formulée par l'Association des Garimpeiros de Santa Tetezinha de Goias, à l'époque de la découverte.

L'exploitation est réalisée par les mêmes procédés que dans les gîtes précédemment étudiés : puits et galeries étroites et irrégulières et grandes



Photo 6 : Bruts d'émeraude, mine de Nova Era

Photo 6: Emeralds rough, Nova Era Mine. Photo Sandra Scalie.

chambres creusées dans la couche minéralisée. De nombreux puits d'extraction dépassent 150 mètres de profondeur, certains étant équipés de cages. La division du travail rappelle celle décrite à Carnaiba avec des salaires identiques. On notera cependant que le « schiste minéralisé » étant très friable, après désagrégation mécanique (avec un appareil rudimentaire appelé mixer) ou manuelle, les émeraudes sont récupérées manuellement sur un tamis. Les employés occupés à ce triage recoivent un pourcentage sur les gemmes qu'ils ont séparées.

Il convient de noter à Santa Terezinha un type particulier de commercialisation du minerai : souvent à la bouche des puits le schiste minéralisé est vendu par brouettes, le propriétaire ne s'occupant plus de la récupération des gemmes. L'achat est évidemment aléatoire. Le contenu des brouettes est concassé doucement (avec de courts batons de bois) et le minerai lavé sur un tamis pour permettre de séparer aisément les émeraudes.

Les émeraudes obtenues par le lavage du minerai précèdent et celles des petits garimpos sont achetées par des petits intermédiaires, marchands ambulants (capangueiros), qui trient les pierres avant de les vendre aux acheteurs finaux. Les propriétaires de quartiers riches ou importants trient eux-mêmes leurs émeraudes et les vendent aux acheteurs finaux, sans intermédiaires.

Une loi destinée à favoriser le commerce extérieur précise que l'émeraude destinée à l'exportation est exempte de toute taxe et impôt. Cependant comme la gemme est produite loin des aéroports internationaux, il faut la transporter jusque là. En conséquence les acheteurs, généralement avec l'aide d'une firme exportatrice, la présentent à l'Agence du Ministère des Finances la plus voisine du gisement afin d'obtenir un document (nota fiscal de trânsito) qui leur permettra de voyager avec les pierres jusqu'à la ville où se trouve l'aéroport d'embarquement. La taxe perçue est de l'ordre de 12 % de la valeur déclarée (généralement inférieure à la vraie évidemment). La société exportatrice (à Rio de Janeiro ou Sao Paulo) se charge généralement des formalités douanières avant le départ de l'acheteur qui doit encore payer en taxes diverses 4,96 % (à ce jour), toujours sur la valeur déclarée. En outre, quelques opérations illicites permettent de frauder le fisc.

L'essentiel des émeraudes extraites au Brésil est taillé à Jaipur aux Indes, une moindre quantité à Ramat-Gan à Israël et pour un très faible pourcentage dans le triangle Sao Paulo - Minas Gerais - Rio de Janeiro.

PROPRIÉTÉS GEMMOLOGIQUES DES ÉMERAUDES

Gisement	n _p	ng	Δ x 10 ₃	Densité	Inclusion	cr ₂ o ₃	FeO	V ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O %
Taua	1,570 à 1,582	1,577 à 1,589	6 à 8	2,67	Particules liquides et poussières formant parfois des nuages denses responsables pour les manque de transparence. Inclusions minérales (biotite/phlogopite, molybdénite, apatite).	0,19	1,05	0	2,48	1,84
Salininha	1,566 à 1,584	1,571 à 1,590	5 à 8	2,69	Fractures de cicatrisation parallèle à c. Inclusions triphasiques, Nuages laiteux, Inclusions minérales (calcite, talc, phlogopite).	0	0,46	0,30	2,20	1,69
Socotó	1,579 à 1,582	1,587 à 1,590	7 à 9	2,67 - 2,72	Tubes et phénomènes de croissanse très nets (zones, stries, rubannement). Inclusions biphasiques fréquentes, rares triphasiques, Nombreuses inclusions minérales.	0,31	0,79	0	1,95	1,26
Carnaíba	1,566 à 1,582	1,572 à 1,590	5 à 8	2,672,72	Flocons et étoiles composés d'infimes inclusions fluides, Inclusions minérales : biotite/phlogopite surtout, phénomènes de croissance, Inclusions biphasiques.	0,45	0,69	0	2,06	1,62
Açude Socêgo	1,576	1,584	8	2,80	Lamelles de biotite, Grains de quartz.			6 7		
Brumado	1,568 à 1,576	1,573 à 1,582	5 à 7	2,68	Goethite et lépidocrocite en houppes suivant c, Aiguilles d'actinote en touffes.	0,06	0,52		0,95	1,15
Pela Ema	1,570	1,576	6	2,74	Fins canaux parallèles à c & paillettes de mica, Grosses inclusions biphasiques. Fissures courbes en aile de papillon.					
Porançatu	1,580	1,587	7	2,71-2,72	Nombreuses inclusions biphasiques. Canaux allongés parallèles à c & cristaux négatifs. Nombreuses inclusions solides : phlogopite, pyrite, apatite.	0,6	1,6	1,06	2,53	2,19
Mara Rosa	1,578	1,585	7	2,77	Inclusions biphasiques, Voiles perpendiculaire à c et d'hydroxydes de fer.					
Santa Terezinha	1,580 à 1,590	1,588 à 1,600	6 à 10	2,66-2,71	Nombreuses inclusions minérales : picotite, carbonates, pyrite, talc, biotite/phlogogite etc Peu d'inclusions fluides, généralement biphasiques.	0,66	1,07	0	2,90	1,96
Fazanda das lages	1,580	1,586	8	2,70	Aiguilles et prismes de rutile typiques, Rhomboedres de carbonates blanc à gris, Inclusions biphasiques ; Inclusions minérales : pyrite, talc etc					
Pirenópolis	1,579	1,586	7	2,77	Nombreuses inclusions minérales : biotite, actinote, Zircons entourés de tentes de tension.	0,21	061		2,64	1,77
Santana dos Ferros					Nombreuses inclusions minérales : dolomie, talc, rutite, actinote, Tube de croissance, Fractures planes parallèles à la base donnant zonation.	0,07	0,47		0,41	0,34
Mine Belmont (Itabira)	1,574 à 1,582	1,580 à 1,590	6 à 9	2,71-2,74	Beaucoup d'inclusions fluides de divers types, Nombreux tubes de croissance, Fractures en forme de disque, Inclusions de biotite/phlogopite, les autres minéraux étant rares.	0,19	0,46	0	0,88	1,89
Nova Era	1,576 à 1,578	1,582 à 1,584	6 à 7	2,66-2,71	Beaucoup d'inclusions fluides de divers types ; Nombreux tubes de croissance, Inclusions minérales : biotite/phlogopite, carbonates, feldspath.	0,51	0,63		1,78	0,99

THE EXPLOITATION OF EMERALD MINE IN BRAZIL

by Maurice Roditi and J.P. Cassedanne

There exist fourteen Brazilian emerald sites; however only five are currently exploited. There are two mining systems in Brazil.

- The garimpo--a mom-and-pop mining system--is based on a nationwide, simple registration scheme. Theoretically, the mining must be a surface-scratching affair, but the use of mechanical devices is also common. The garimpeiros directly sell the fruit of their labor. However, they now have to organize in cooperatives for practical mining purposes.

- The claim, which is granted after a mining permit.

In Bahia State, the Carnaiba mine has been exploited as early as 1964 and the Socoto mine since 1983. They are both garimpos. Around ten thousand people live in the mining district. Digging is a manual affair without the

use of explosives. The bulk of the mineralized rock is sorted out by the mine owner--or his foreman--who separates the part that is deemed rich from the rest. Then, they take the rich portion to the site's entrance to be washed and sorted. The poor portion is left to the workers and their relatives or friends. Each person living in the mining district participates in the commercialization process by being either a buyer or an intermediary.

In Minas Gerais State, Itabira is a claim that has been the property of the Belmonte Gemas Ltad. The mine operates mechanically and open-sky exploited. The extracted mineral is processed in a nearby plant.

The Capoeirana Mine, located in the Nova Era Borough, was tentatively discovered by garimpeiros in 1988. The Cooperativa dos Garimpeiros de Nova Era manages the claim by assigning lots to garimpeiros. The exploitation is conducted through classical methods: pit, galleries and rooms.

In Goias State, Santa Terezinha Mine was discovered in 1981. Five thousand people live around it. Exploitation is carried out in the same way as in other mines but many pits can be more than 150 meter-deep. The mineralized schist is very friable and often sold by the barrow-load at the pit's exit, since the owner does not care for the sorting of gems.

The bulk of the Brazilian emeralds is cut in Jaipur, a lesser quantity in Ramat-Gan, Israel, and a small percentage in the Sao Paulo-Minas Gerais-Rio de Janeiro triangle.

Translation : © Dominique Maillard & Didier Giard

Bibliographie

CASSEDANNE. J.P. (1984) - As esmesaldas Do Brasil. Brasil Relojoeiro e Joalheiro. Ano XXV n° 283, p. 76-82, Sao Paulo.

CASSEDANNE J.P. & BARROS J.C, (1986) - Quelques gîtes d'émeraude de Goias. Revue de Gemmologie AFG. n° 88, p. 9-12.

CASSEDANNE J.P. & SAUER D.A. (1984) - The Santa Terezinha de Goias emerald deposit. >Gems & Gemology. Vol. XX, Spring, p. 4-13.

EPSTEIN D.T. (1989) - The Capoeirana emerald deposit near Nova Era, Minas Gerais, Brazil. Gems & Gemology. Vol. XXV, Fall, p. 15O-158.

MARTINS S. (1994) - Emerald quality and quantity up at Nova Era. ICA Gazette. August, p. 5 $\,$

SAUER D.A. (1982) - Emeralds from Brazil. In Proceedings Intern Gemological Symposium (Ed. Dianne M. Eash). GIA, New York Santa Monica.

SCHWARZ D. (1987) - Esmeraldas. Inclusoes em gemas. Impr. Universitaria. Univ. Fed. de Ouro Preto, 439 p. NB.: du même auteur, pour plus de détail gemmologiques, on peut consulter en allemand: Zt. Deutch. Gemm. Ges.: 37 n° l/2. p. 31-47; n°3/4, p. 89-112 et 146-167 (1988), 39 n°l, p.13-44; n°4,p.233-272(1990), 40 n° 4, p. 241-246 (1991)

LES MINES D'ÉMERAUDES DE KAMAKANGA EN ZAMBIE : VUES SUR L'AVENIR

P.A.C.C. Mumba et N.R. Barot

a Zambie est connue en Afrique Centrale pour ses gîtes de cuivrecobalt dans le Copperbelt (Fig 1) et ce fait a conduit le pays à une monoéconomie; d'autres secteurs contribuent, dans une moindre mesure, à la croissance économique générale du pays. La découverte de gîtes d'émeraude dans le Copperbelt lui a offert une chance unique de diversifier ses activités minières. Dans le passé, on trouvait peu d'informations sur l'existence d'une région riche en émeraude aujourd'hui populaire sous le nom de région de l'Emeraude Kafubu. Historiquement, les premières émeraudes de Zambie provenaient de la mine Miku découverte vers 1928. La production de Miku commença en 1967, depuis, l'activité de celle-ci est très irrégulière. Ce site est situé dans la zone nord de la région minéralisée. La mine Kamakanga est située à environ 5 km au sud de Miku et son nom vient d'une colline voisine appelée Kamakanga- le perchoir des pintades (makanga) - ainsi nommée par la population locale. Les gîtes de Kamakanga furent découverts en 1974. Une licence d'exploitation fut attribuée à un partenariat de Nkumbula, Lutangu et Rao regroupés dans une compagnie appelée Nkuralu Gem Prospecting and Mining Company Limited, en 1976. De fait, le Kamakanga Group of Emerald Mines est dirigé conjointement par la Kuber Mineral and Metal Mining Company Limited et la Nkuralu Gem Prospecting Company sous la présidence de M. Bhagwatilal Dahyabhai Rao. Les mines s'étendent sur 400 ha de terrains boisés. La mine de Kamakanga est une des mines d'émeraude pionnière dans la région de Kafubu produisant des émeraudes de grande qualité qui portent localement leur propre nom commercial de «type-Kamakanga».

La région minière active de Kafubu est située à l'intérieur d'une unité géologique appelée la ceinture mobile du Lufilien (780 my); c'est un arc caractéristique qui s'étend sur plus de 600 km, en gros, selon un axe préférentiel NO-SE, du nord-est de l'Angola et qui se termine en Zambie Centrale. La minéralisation est limitée à des roches d'âge mésoprotérozoiques du Supergroupe de Muva (1000-1400 my). La géologie comporte une variété de micaschistes quartzifères qui alterne avec des talcschistes mafiques et cette succession est, à son tour, pénétrée de veines de tourmalinite (tourmaline quartzifère). Le talcschiste est la source des chromophores Cr, V, Fe tandis que les filons de tourmalinite sont les sources de solutions riches en Be. Les émeraudes apparaissent sous forme d'aggrégats cristallins dans les zones de contact (zones métasomatiques) entre les filons et le talcschiste, minéral-hôte. Du point de vue minéralogique, les zones métasomatiques se composent de biotite, phlogopite, tourmaline noire, un peu d'amphibole (tremolite, actinolite) et quartz. L'épaisseur des couches varie beaucoup, de quelques centimètres à environ trois mètres. Souvent la minéralisation se poursuit dans les micaschistes quartzifères bruns sus-jacents.

Les cristaux d'émeraude de qualité exceptionnelle pèsent de 0,2 à 4 g. Lorsque la taille s'accroît, la qualité de la matière décroît. La couleur varie du vert bleuté, vert clair, vert grisâtre, vert vif à vert foncé. Un faible pourcentage de matière transparente et bien cristallisée présente, après la taille, un éclat brillant.

En général, les exploitations se font à ciel ouvert. Pour le moment, la compagnie exploite deux mines principales : les mines de Kamakanga et de Kafubu. La mine de Kamakanga a environ 500 m de long, près de 200 m à son point le plus large, et a été creusée sur une profondeur de 42 m. Ici la forme de la mine suit la direction générale d'une multitude de filons de tourmalinite qui soit pénètrent,

P.A.C.C. MUMBA1 et N.R. BAROT2

- 1- Lecturer in Mineral Exploration and Mining Geology, School of Technology, Copperbelt University, P.O. Box 21692, Kitwe, Zambia
- 2 Managing Director, Kuber Mineral and Metal mining Company, P.O. Box 21672, Kitwe, Zambia

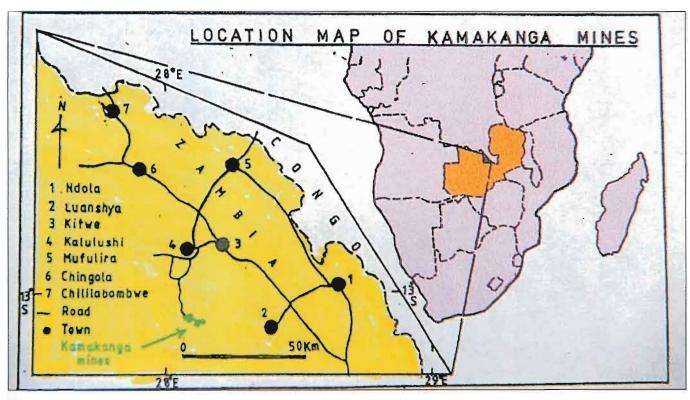


Figure 1 : Carte du Kamakanga Group of Emerald Mines dans la Province du Copperbelt en Zambie

soit courent en parallèle le long de la bande des talcschistes.

La mine de Kabufu vient juste d'être ouverte et a atteint une profondeur de 10 m environ. La technique d'exploitation utilise des excavatrices qui creusent les roches tendres des micaschistes quartzifères et les chargent sur des wagons basculants à chenilles. Si le talcschiste est dur et les filons de tourmalinite épais, on travaille à l'explosif et la zone est passée au crible pour y détecter les émeraudes avant que le déblai soit chargé et transporté à la décharge. On utilise des burins et des marteaux pour extraire les émeraudes de la roche. Le minerai est mis en sac et transporté dans la chambre-forte où, après traitement, il est conditionné en fonction de sa dimension, de sa couleur, de sa transparence. Le produit est alors prêt à être mis sur le marché. De 1993 à aujourd'hui, la production d'émeraude a augmenté d'une façon constante. Les mines de Kamakanga vendent des émeraudes aux acheteurs internationaux d'Inde, d'Israël, de Thailande (Bangkok), de Hong Kong, des U.S.A. et de nombreux pays européens.

Les six dernières années, l'inventaire de l'équipement minier sur la mine de Kamakanga s'est fortement accru et compte quatorze (14) excavatrices à chenilles, quatre (4) wagons basculants à chenilles, quatre (4) bulldozers, trois (3) compresseurs, quatre (4) générateurs d'électricité, une (1) installation de forage au diamant et de nombreux véhicules de service. Un atelier de mécanique, avec une surface de 1400 m², a été construit. La compagnie fait maintenant l'entretien de son équipement sur la mine au lieu de l'envoyer à 60 km, à Kitwe. Cette expansion s'est réalisée les six dernières années. Une étude sur la possibilité d'une installation de lavage a été faite. Lorsque celle-ci sera opérationnelle, dans un proche avenir, la compagnie espère récupérer efficacement de petites émeraudes, jusqu'à 3 mm, en traitant les graviers et les composantes du minerai.

Les programmes de la compagnie comprennent l'exploration détaillée des parts restantes des concessions de Kamakanga pour une planification cohérente de l'exploitation minière dans le futur. Sur la mine de Kamakanga, la minéralisation persistant en profondeur, la compagnie évalue progressivement les informations techniques sur la faisabilité économique future d'une possible exploitation minière souterraine. Les conditions difficiles du terrain devraient attirer l'attention sur le fait que la combinaison de nappes phréatiques anormalement hautes et de roches schisteuses faiblement compétentes pourrait causer des effondrements de terrains lors de progressions souterraines Une compilation des recherches détaillées géologiques et gemmologiques sur les mines de Kamakanga est en cours et sera prochainement publiée. La compagnie regarde l'avenir avec un optimisme serein.

Traduction: Agnès Brand.

figure 2 : Cristal d'émeraude de Kamakanga sur gangue.

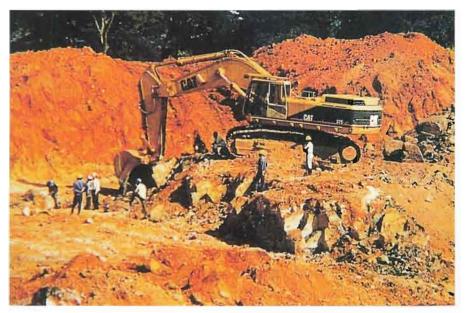


Figure 3: Une excavatrice à chenilles creusant sur la mine de Kamakanga

THE KAMAKANGA EMERALD MINES OF ZAMBIA A PERSPECTIVE

by P.A.C.C. Mumba and N.R.Barot

ABSTRACT: Kamakanga mine is one of the pioneer emerald mines in Zambia which produces emeralds locally branded as the « Kamakangatype ». The mineralized district is located within the Lufilian mobile belt and mineralization is restricted to Mezoproterozoic rocks. Emeralds are recovered from metasomatic zones developed between tourmalinite veins and the mafic talc schists. Mining is done by excavators digging the soft mica-schists and loading onto dump trucks. Hard rocks are drilled and blasted. From 1991 to date, emerald production has been steadily increasing. Kamakanga emeralds are sold to buyers from India, Israel, Thailand, etc. The inventory of mining equipment has increased. A mechanical workshop has been constructed. Plans are on the drawing board to construct a modern washing plant. The company's future plans include conclusive exploration of its properties, gathering all the necessary data and start planning for the possible underground operations as mineralisations persist with depth...

The company is optimistic for a bright future.

LES MINES D'ÉMERAUDE DE SANDAWANA, ZIMBABWE

J. Kanis et E.J. Petsch

Histoire

Depuis la découverte de la première émeraude le 7 octobre 1956 par deux prospecteurs Laurence Contat et Cornelius Oosthuizen, les mines de sandawana ont fourni durant quatre décennies des émeraudes de belle qualité.

La première concession fût appelée « Vulcan » mais une découverte plus importante fût faite l'année suivante le 17 mai 1957 quand un ouvrier de Vulcan trouva un cristal d'un vert émeraude profond à 2,5 km au nord-ouest du site d'origine. Cette nouvelle découverte devint la fameuse mine Zeus qui aujourd'hui est une mine souterraine moderne profonde de 152 m avec quatre puits verticaux sur environ 700 mètres. La longueur totale des tunnels dépasse maintenant les 40 km (photo 1).

Au début Zeus était une mine à ciel ouvert, d'une profondeur de 15 m. C'est parce que cet endroit était si riche en émeraude qu'il fût surnommé « la Banque d'Angleterre » (photo 2).

Les années suivantes les études menées par les géologues de sandawana conduisirent à la découverte de divers gisements d'émeraudes à l'intérieur d'une concession minière longue de 21 km le long du versant sud de la « Mweza Greenstone Belt « dans le district de Mberingwe à environ 360 km sud-sud-ouest de la capitale Harare et à 145 km au nord de Beitbridge la ville frontière avec l'Afrique du Sud.

Le nom sandawana se rapporte à cette zone minière. Selon la coutume locale le nom de sandawana proviendrait d'un animal qui provoquait des éclairs rouges de rouille sur l'herbe mouillée. Pouvoir posséder l'un des cheveux roux de l'animal amenait fortune et longue vie. Voilà pourquoi l'on dit que posséder une émeraude de sandawana apporte à son possesseur la réussite (Böhmke, 1982).

La compagnie Sandawana Mines

(Pvt) Ltd. dans laquelle le gouvernement zimbabwéen est actionnaire minoritaire, a son siège à Harare. A la mine même la société emploie environ 400 ouvriers. Un village a été crée à cet endroit avec de nombreuses installations comme une école primaire, une clinique, une salle polyvalente, un centre sportif, un club de football, un magasin général et une bonne piste d'attérissage pour les petits avions. La mine ne peut être visitée que sur invitation.

Géologie

Les émeraudes de sandawana sont géologiquement parmi les plus vieilles du monde, la datation de leur formation se situant à environ 2,6 milliards d'années (Mkweli et al.; Rollinson et al., 1995).

De nombreuses petites pegmatites porteuses de béryllium et de lithium ont pénétré dans l'Archéenne Mweza greenstone belt dont la composition est très élevée en magnésium et chrome.

Les fluides présents dans la zone de contact pegmatite/greenstone ont incorporé du béryllium et du chrome et se sont déplacés le long des zones de cisaillement dans lesquelles les émeraudes ont pu cristalliser.

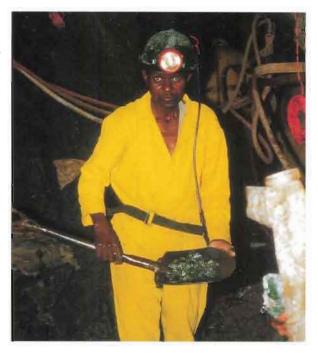
On peut trouver des émeraudes tout au long des 21 km de la ceinture de sandawana en creusant des tranchées et en faisant des sondages à partir de la surface. C'est ainsi que l'on découvrit les nouveaux gisements d'Orpheus, Aeres-3 ET ZOP-4, respectivement à 10 km au sud-ouest, 3 km au nord-est et 400 m au nord-est de la mine de Zeus. A l'heure actuelle des puits de prospection ont été creusé dans ces trois localités pour de nouvelles investigations.Beaucoup d'endroits, le long de cette ceinture où des émeraudes ont déjà été trouvées par des creusements de tranchées, restent encore à explorer.

La zone de chevauchement Umlali entre le craton Zimbabwe recouvert par

Dr. J. KANIS est géologue et consultant international pour les gisements de pierres précieuses et fines.

Photo 1 : L'une des galeries de la mine Zeus.

■ Figure 1: Rich emeraldbearing rock is cobbed underground on site at Zeus mine. Photo by E.J. Petsch.



l'ultramafique chromifère greenstone belt et la ceinture mobile continentale de roches blanches (et acides) du Limpopo se prolonge vers le nord-est sur au moins 450 km. C'est le long de cette zone de contact que non seulement l'on trouve les gisements d'émeraudes de sandawana, mais aussi celui de Machingwe à 12 km au nord-est de Zeus. (Kanis et al., 1991). Certains de ces gisements ont été décrits par Anderson (1976, 1978).

La production

Les rivières Mwenezi et Mutsime coulent à travers la zone minière et des barrages ont été construits sur ces deux rivières. L'eau ainsi disponible toute l'année est vitale pour toutes les installations de la mine, qu'elles soient industrielles ou domestiques.

L'équipement est une unité de lavage/triage en tambour standard d'une capacité de traitement supérieure à 500 tonnes de minerai par mois, par roulement de 8 heures, 5 jours par semaine. Le goulot d'étranglement est cependant les lentes chaines mobiles sur lesquelles il faut examiner le minerai déjà trié et en extraire à la main les émeraudes.

Par la suite, des «cobbers » avec des pinces aux bouts en tungstène et des outils de clivage libèrent les émeraudes de la gangue avec le minimum de dommages. Une nouvelle technologie permet de récupérer des émeraudes de 1,6 à 6,2 mm avec la méthode de séparation par gravitation. Le module DMS (dense media separation) permet ainsi de récupérer des émeraudes qu'autrement les trieurs manuels laisseraient échapper.

les marchés

Les émeraudes de sandawana sont très connues pour leur magnifique couleur d'un vert vif, dûe à la forte teneur en chrome et à la relative faible concentration de fer. La taille moyenne des émeraudes taillées est petite (0,05 à 0,25 ct), mais même sur les plus petites têtes d'épingles de 1 mm, leur teinte est si intense qu'elle rend les émeraudes de sandawana uniques au monde. Plus rarement on peut trouver des pierres jusqu'à 1,50 ct.

Tous les bruts sont classés à la mine selon la taille, la couleur, et l'intensité, pour partir ensuite vers les marchés internationaux. Des ventes aux enchères régulières sur invitation ont lieu à Harare pour la majorité des lots de bruts. Des émeraudes taillées à Harare au siège de la société minière sont aussi exportées.

Les recherches permanentes faites dans la zone laissent à penser qu'une production régulière pourra être maintenue pour encore de nombreuses années.

Sandawana Emeralds Mines, Zimbabwe

by J. Kanis and E.J. Petsch

Abstract

Zimbabwe's Sandawana mines have been producing fine quality emeralds since the discovery in 1956 and exploration results indicate that regular production can be maintained for many years to come. Today the company employs over 400 workers at Sandawana, where a well planned township exist and many amenities for staff and workers are available. The main mining section along the 21 km long concession is at Zeus, where a modern underground mine has been developed with 4 shafts over a 700 m strike. The deepest level reached is 152 m. Smaller mines along the 21 km long Sandawana belt are Orpheus. ZOP-4 and Aers-3, but many other sections, where emeralds have been found by trenching, still have to be explored. The Sandawana emeralds are geological one of the oldest in the world. Their emplacement dates back to around 2.6 billion years, during a major deformation event, when beryllium- and chromium-bearing pegmatites intruded into the Archean Mweza greenstone belt, which is highly magnesium- and chromium rich in composition.

After mining, the ore is processed in a washingiscreening plant and scanning and handpicking of emeralds is done along slow moving conveyor beits. The recovery of emeralds from the small ore fraction 1.6-6.2 mm is based on gravity separation and done by a DMS Module (dense media separation).

The average size of cut stones is small (0,05-0.25 ct) and stones above 1.5 ct are rare. Their splendid vivid green colour, even to a pin-head particle of 1 mm is due to a high chromium and low iron content. This made Sandawana emeralds unique in the worid.

The bulk of rough emeralds is sold at regular auctions in Harare, whilst all faceted stones are exported from Harare to overseas clients.



■ Photo 2 : La mine de Sandawana, et plus particulièrement celle de Zeus, originellement à ciel ouvert, avec au centre « la Banque d'Angleterre », les bureaux, magasins et habitations des mineurs.

■ Figure 2: Bird's-eye view of Sandawana mine, Zeus section, with the original open pit called «Bank of England» in the centre. Buildings in the foreground are offices, workshop and processing plant. The employees' township is visible in the background. The granitic mountains at the horizon are part of the Limpopo mobile belt. Photo by J. Kanis.



■Photo 3: Chaîne mobile d'où les tireurs extraient les émeraudes manuellement.
■Figure 3: Different ore fractions from storage bins on slow-moving conveyor belts are scanned for emeralds by hand-pickers. Emeralds are deposited in locked boxes by each sorter. Photo by J. Kanis.

References

Anderson S.M. (1976) A note on the occurrence of emerald at Mayfield farm, Fort Victoria,

Rhodesia. Journal of Gemmology, Vol.15, No.2, pp.80-82. Anderson S.M. (1978) Notes on the occurrence and mineralogy of emeralds in Rhodesia.

Journal of Gemmology, Vol.16, No.3, pp.177-185.

Bohmke F.C. (1982) Emeralds at Sandawana. In Gemstones, Report of the Sixth Annual Commodity Meeting, Institution of Mining and Metallurgy (IMM), London, U.K., pp.A110A122.

Gubelin E.J. (1958) Emeralds from Sandawana. Journal of Gemmology, Vol.6, No.8,pp.340354

Kanis J., Arps C.E.S., Zwaan P.C. (1991) 'Machingwe': A new emerald deposit in Zimbabwe. Journal of Gemmology, Vol .22, No.5, pp.264-272.

Mkweli S., Kamber B., Berger M. (1995) Westward continuation of the craton-Limpopo belt tectonic break in Zimbabwe and new age constraints on the timing of the thrusting. Journal of the Geological Society, London, Vol.152, pp.77-83.

Rollinson H., Blenkinsop T. (1995) The magmatic, metamorphic and tectonic evolution of the Northern Marginal Zone of the Limpopo belt in Zimbabwe. Journal of the Geological Society, London, Vol.152, pp.65-75.

Zwaan J.C., Kanis J., Petsch E.J. (1997) Update on Emeralds from the Sandawana Mines, Zimbabwe. Gems & Gemology, Vol. 33, No.2, pp.80-100.

GISEMENTS D'ÉMERAUDES DE MADAGASCAR RÉGION DE MANANJARY

E.J. Petsch et J. Kanis

Histoire

Madagascar est connue pour ses pierres depuis le XVIe siècle. C'est peu de temps après la conquête de l'île par les français, que le Capitaine Jean Fonteneau déclara en 1547 avoir fait les premières découvertes (Sinkankas, 1981). En 1668, la Compagnie des Indes envoya M. de Fay pour effectuer l'inventaire des pierres de l'île, mais son rapport ne fût pas très favorable. A partir du moment où l'on découvrit en 1888 la ceinture de pegmatites au sud d'Antsirabe, Madagascar devint très connue pour ses différentes gemmes et les premières exploitation régulières démarrèrent à partir de 1904.

L'émeraude n'est que l'une parmi les 50 variétés de gemmes que l'on trouve à Madagascar, mais peu a été publié que se soit par des gemmologues ou des géologues sur les gisements d'émeraudes de l'île. La découverte des émeraudes dans la région de Mananjary sur la côte est de Madagascar est relativement récente. Behier (1962) mentionne qu'un prospecteur avait trouvé des petits fragments d'émeraudes dans l'alluvion. Sinkankas en 1981 confirme qu'il s'agit de la source authentique d'émeraude à Madagascar. Par ailleurs Levat (1912) avait déjà mentionné un dépôt d'émeraude de qualité moyenne à Madagascar, mais sans fournir d'informations plus détaillées. Quand à Lacroix en 1922 dans son ouvrage de référence sur la minéralogie de Madagascar, il n'a même pas mentionné l'existence d'émeraudes à Mananjary. Jusqu'à la fin des années 30, l'un des plus importants prospecteurs de pierres fut Léon Krafft, originaire d'Alsace; en 1965, sa fille Mme Liandat qui a une profonde connaissance de la géologie et des mines de l'île indique à l'un des auteurs (E.J.P.) la présence de gisements d'émeraudes près de Mananjary.

Le nom de Jeannot Andrianjafy d'Antananarivo, un prospecteur aven-

turier, sera à jamais associé à l'exploitation initiale et au développement des gisements d'émeraudes à Mananjary. C'est grâce à ses efforts et à ses investissements importants, que plusieurs gisements d'émeraudes de la région purent être exploités. L'auteur (E.J.P.) devint ami avec M. Jeannot comme avec Mr. Jacques Grégoire d'Antananarivo et sans leur aide précieuse il lui aurait été impossible de se déplacer, d'explorer et faire tant de découvertes à Madagascar. Car voyager à cette époque dans l'île était très incertain et les voitures fiables rares. Visiter les gisements d'émeraudes exploré par Mr. Jeannot (Exploitation minière Sté Quartz) en 1976 près d'Ambodibakoly était alluvionnaire et l'on découvrit en 1978 que la source originelle de ces émeraudes provenait d'un schiste noir de biotite. L'auteur visita cette mine en 1980 alors que toute l'extraction était faite manuellement. Il s'agissait de petites émeraudes mais de très belle qualité.

A partir du village de Kianjavato, il fallait un jour de marche pour atteindre le gisement situé à environ 50 km à vol d'oiseau au sud-est de Mananjary. A cause de conditions d'exploitation difficiles la mine fut fermée en 1982 et le travail se reporta sur un nouveau dépôt, celui de Morafeno, à 8 km au sud du village d'Irondro dans une région montagneuse (photo 1). L'auteur (E.J.P.) visita Morafeno cette même année et très vite ce gisement devint la mine d'émeraudes la plus riche de Madagascar. De 1983 à 1990, Morafeno produisit plusieurs milliers de kg d'émeraudes de qualités et de tailles différentes. De grands cristaux de plus d'un kg n'étaient pas exceptionnels (photo 2). Mr Jeannot exploita Morafeno comme une mine à ciel ouvert utilisant bulldozers et pelleteuses et au moment du sommet de la production il employait plus de 1000 ouvriers (photo 3). Les villageois pouvaient chercher librement les émeraudes dans les rejets

E.J. PETSCH est Président de la maison Julius Petsch Jr., marchand et tailleur de pierres à Idar-Oberstein (Allemagne).



Photo 2 : Bloc d'émeraudes de Morafeno avec la biotite noire sur la surface des cristaux.

■ Photo 2: Large emerald cluster of Morafeno mine. Note black biotite on crystal surfaces. Photo by E.J. Petsch.



Photo 3: Mine à ciel ouvert à Morafeno. Mineurs travaillant dans les poches de schistes biotites.

■ Photo 3 : Opencast minig at Morefano. Miners working in the emerald-bearing black biotite schist. Photo by E.J. Petsch

des chantiers comme cela se pratique en Colombie (photo 4). Au début de 1989, un gisement voisin à Ambodibonary, fût développé. L'émeraude était extraite avec de grandes difficultés et se trouvait dans une gangue très dure. La couleur était vert bleuté et donc les prix pratiqués à la vente étaient assez bas. Bien que cette mine demanda de gros efforts, les résultats furent décevants catastrophiques économiquement. Par la suite, Mr. Jeannot découvrit d'autres gisements dans une région comprise à l'intérieur des villages de Kianjavato, Irondro, Mananjary et Manankara. On estime que la zone d'émeraude est supérieur à trente km². Les différents gisements sont les suivants :

Ambodibakoly, Ankadilairna, Morafeno, Ambalahosy, Morarano, Ambodibonary, Ambodirofina, Amdodifandrika et Amdodizainana.

Extraire des émeraudes à Mananjary est difficile à cause du manque d'infrastructure, du manque de routes accessibles particulièrement durant la saison des pluies et les télécommunications sont inexistantes. Les techniciens et les pièces de rechanges pour faire fonctionner les équipements doivent venir d'Antananarivo; pour toutes ces raisons l'exploitation est très coûteuse.

Depuis 1993, la production a considérablement baissée en particulier à cause du manque d'argent. Mais nous pensons qu'avec une bonne expertise géologique et des méthodes de travail correctes mises

en place, l'exploitation pourrait devenir intéressante. Sans aucun doute, Mananjary recèle d'énormes potentialités pour peu qu'expertise et investissements se conjuguent pour redynamiser ces mines.

Géologie

Les gisements d'émeraude de Mananjary apparaissent durant le groupe inférieur du précambrien du « système du Volibory» appelé « groupe de Mananjary », qui se compose de micaschistes, de gneiss, de schistes verts et de migmatites. La carte géologique de Madagascar (Besnarie, 1964) décrit le système du Volibry comme : « Complexe Supérieur surtout amphibolique du Vieux Précambrien ». Les mesures de Galena ont daté le système du Volibry comme ayant un âge de 1 890 millions d'années. La formation d'environ 30 km de large du Groupe de Mananjary dans lesquels on trouve des émeraudes est prise en sandwich entre, un complexe massif de migmatite le long du côté est qui appartient au vieux système Graphite daté entre 2430 et 2140 millions d'années, et une formation plus jeune volcanique/basaltique Crétacéenne sur le côté est. Ces basaltes se retrouvent parallèlement à la côte Malgache sur au moins 500 km.

Au sein de la Formation du Groupe de Mananjary se produit diverses grandes intrusions granitiques qui ont environ 550 millions d'années et font parties de l'ère Pan Africaine.

Il est sur que les pegmatites granitiques, en relation avec ces plutons granites, étaient porteuses de béryllium et se sont retrouvées dans les amphibolites voisines qui étaient riches en chrome. Les fluides pegmatitiques dans les zones de contact ont amalgamé le béryllium et le chrome ce qui a permis la cristallisation d'émeraudes ; des processus métamorphiques et métasomatiques durant l'ère Pan Africaine ont joué un rôle dans cette formation où l'amphibolite par exemple, était altérée dans du schiste biotite. Les émeraudes sont encastrées dans ces « poches » de schistes biotites, souvent accompagnées par des restes pegmatitiques (figure 3).

Quand l'auteur (J.K.) visita la mine de Morafeno en juillet 1997, toutes les activités avaient cessées mais l'énorme « poche » biotite qui avait tant produit dans le passé était toujours très visible (et avec des émeraudes!). Ce serait une opération minière simple de ré-ouvrir la mine de Morafeno avec une galerie dans la colline suivant le schiste biotite porteur d'émeraude. Dès lors la vieille mine à ciel ouvert deviendrait une mine souterraine.

Pour des détails intéressants sur les aspects internes des émeraudes de Mananjary, il convient de consulter l'article du Dr. Schwarz publié dans « Gems and Gemology », (1994).

Les marchés

Dans le passé, la majorité des bruts de



■ Photo 4 : Villageois à la recherche d'émeraudes.

Photo 4 : Local villagers washing waste dump material searching for emeralds. Photo by E.J.Petsch.

Manajary étaient exportés vers le marché indien, seul un faible pourcentage était taillé sur place. L'exportation des émeraudes brutes est contrôlée par le Département des mines à Antananarivo.

Bien qu'ils s'efforcent de pratiquer à l'exportation des prix minimums, ceuxci sont irréalistes compte tenu des prix réels des marchés internationaux. De là, les mineurs malgaches illusionnés par cette politique, sont amenés, eux-même, à proposer des prix excessifs.

Traduction: Yann Giard.

Références

Besairie H. (1964) Carte Géologique de Madagascar 1/1.000.000. Hanni H.A., Klein H.H. (1982) Ein Smaragdvorkommenin Madagascar. Z. D. Gemmol. Ges.,31, pp.71-77.

Lacroix A. (1922) Minéralogie de Madagascar. Augustin Challamel, Paris.

Levat M.D. (1912) Richesses minerales de Madagascar. Dunod & Pinat, Paris.

Schwarz D., Henn U. (1992) Emeralds from Madagascar. Journal of Gemmology, Vol. 23, No. 3, pp.140-149.

Schwarz D. (1944) Emeralds from the Mananjary Region, Madagascar: Internal Features.

Gems & Gemology, Vol. 30, No.2, pp.88-101.

Sinkankas J. (1981) Emeralds and other Beryls. Chilton Book Co., Radnor, PA.

Thomas A. (1993) The emerald mines of Madagascar. South African Gemmologist, Vol.7, No.3, pp. 3-11.



Photo 1 : Mine de Morafeno, à 8 km au sud d'Irondro.

Photo 1: Morafeno emerald mine in mountainous terrain, 8 km south of Irondro. Photo by E.J. Petsch.

MADAGASCAR EMERALD OCCURRENCES IN THE MANANJARY REGION

by E.J. Petsch and J. Kanis

Abstract

Emerald mining in Madagascar started in all seriousness when Mr. Jeannot Andianjafy, an Antananarivo prospector, developed an alluvial emerald occurrence in the Mananjary region near Ambodibakoly in 1976. Two years later he discovered the primary source, a biotite schist yielding small, but very good gem quality emeralds. This mine closed down in 1982 and mining operations moved to a new deposit called Morafeno, which became soon the richest emerald mine in Madagascar. This mine produced between 1983 and 1990 several thousands of kg of emeralds including many crystals weighing over 1 kg each.

Over the years Mr. Jeannot (Exploitation Minière Sté Quartz)

developed nine different emerald deposits in the Mananjary region, e.g. Ambodinary. This deposit was developed in 1989, but as the emeralds were too bluish green, eventually operations had to close down. In general emerald mining in the Mananjary region is very costly due to lack of infrastructure, poor telecommunications and expensive technical maintainance, specially spare parts. For these reasons, plus lack of capital and technical expertise, the emerald production slowed down after 1993 and has ceased at present.

However, the emerald potential of this region is still enormous and it is hoped that with new capital and expertise these mines will be revitalized in future.

Emeralds in this region occur in

Précambrian amphibolites belonging to the lower group of the 'Système du Volibory'. Granitic pegmatites related to the 550 m.y. old granitic plutons in the region were responible for the beryllium transport. These pegmatites intruded the older amphibolites, whereby pegmatitic fluids in the contact zones incorporated beryllium and chromium. Subsequently emeralds crystallized. Emeralds are embedded in biotite schist, an alteration product of the amphibolites.

Mananjary emeralds used to be exported to Indian markets, controled by the Mines Departement. A small percentage was cut locally.

LE BOUZKACHI DES ÉMERAUDES LES ÉMERAUDES DE LA VALLÉE DU PANJSHIR

Didier Giard

e plus important gisement connu d'émeraudes en Afghanistan se trouve dans la vallée du Panjshir à 130 km au Nord de Kaboul.

Il produit des émeraudes de qualité exceptionnelle, auxquelles seules les émeraudes de Colombie peuvent être comparées. La découverte de ces émeraudes date du début des années 1970 mais un débat s'est instauré ces dernières années suggérant que certaines des grandes émeraudes indiennes de la période des Grands Moghols proviendraient d'Afghanistan et en remontant plus loin qu'Alexandre le Grand lors de sa conquête de la Bactriane (vaste territoire regroupant la partie Nord de l'Afghanistan actuel et la partie Sud de l'Ouzbékistan, du Turkménistan et du Tadjikistan) ramena des minéraux verts, peut-être des émeraudes.

L'argumentaire général de ce débat est énoncé dans le présent ouvrage par F.H. Forestier et Daniel Piat. De même le développement de la carte d'identité des émeraudes (v. article de Gaston Giuliani) permettra sans doute dans le futur de nouveaux éclaircissements sur cette question.

L'exploitation des émeraudes du Panjshir est fortement liée au positionnement géographique et stratégique unique de l'Afghanistan, aux caractéristiques sociologiques particulières de ce pays et au long processus de guerre qui s'y déroule depuis vingt ans.

L'Afghanistan, pays charnière

L'histoire de l'Afghanistan remonte à plus de 5000 ans. Chaînon intermédiaire entre l'Asie du sud-ouest, le souscontinent Indien, l'Asie Centrale et même l'Extrême-Orient (routes de la soie), l'Afghanistan est l'un des grands « boulevards de la civilisation ». Déjà 3000 ans av. J.C. des caravanes venant de Bactriane transportaient entre autres choses du lapis-lazuli extrait des mines

du Badarkshan (Nord de l'Afghanistan). La dynastie Achémide (premier grand état iranien), Alexandre le Grand et ses successeurs avec la civilisation grécobactrienne, l'ère des nomades, les influences bouddhistes, indiennes et chinoises, imprégnèrent fortement l'ensemble du pays. Puis l'Islam s'imposa avec ses grandes dynasties, des Ghaznévides aux Grands Moghols (jusqu'en 1719).

C'est durant cette période que l'étattampon d'Afghanistan vit le jour, grâce à la volonté de l'ethnie dominante des Pashtouns. A la fin du XIX^e siècle « l'émir de fer » Abdur Rahman parvint à établir les contours géographiques de l'Afghanistan actuel.

Pour un temps l'Afghanistan cessa d'être le théâtre du « Grand Jeu » selon l'expression de Rudyard Kipling dans son roman Kim, c'est à dire le lieu de la partie d'échecs entre russes et britanniques. La Russie tsariste cherchant à descendre vers le Sud et s'ouvrir la voie vers les mers chaudes, la Grande-Bretagne cherchant avant tout à contrôler un territoire lui permettant de protéger son fabuleux Empire des Indes. Chacun de ces deux empires étant arrivés au point extrême de ses conquêtes, l'Afghanistan représentait le point d'équilibre empêchant de nouveaux affrontements.

Une mosaïque d'ethnies

L'ethnie dominante Pashtoun avec ses formes d'organisation propres modèlera une grande partie de la vie sociale du pays. Dès lors la différence de perception entre les Pashtouns et les non-Pashtouns plus ou moins forte selon les périodes, deviendra une réalité incontournable influençant les comportements des uns et des autres.

Parmi les sept grands groupes ethniques, trois ont une plus grande importance:

- les Pashtouns représentant de 35 à 40% de la population, cette ethnie est à la fois

Didier GIARD est joaillier, Président de l'Association Française de Gemmologie et Conseiller du Commerce Extérieur de la France.



Photo 1 : La passe du Panjshir. Photo 1 : Panjshir Pass. Photo Didier Giard.

en Afghanistan et au Pakistan où son influence est grande dans les milieux dirigeants.

- les Tadjiks, 25 à 30% de la population, qui sont les persanophones d'Asie Centrale, très fiers de leur culture millénaire, contrastant à leurs yeux avec la rusticité des Pashtouns. Les Panjshiri sont des Tadjiks.

- les Hazaras avec 16 à 20%, descendants de nomades mongols, ils sont chîtes au contraire de la majorité des pashtouns et Tadjiks qui sont sunnites. Ils vivent dans le centre à Bamyan et à l'Ouest à Mazari-Charif la ville où se trouve le tombeau d'Ali, le gendre du Prophète.

Le système d'organisation sociale de ces ethnies est patriarcal, c'est la principale source d'autorité.

Au delà des différences ethniques viennent se superposer des clivages religieux (sunnites-chîtes et entre traditionalistes, fondamentalistes et ceux qui sont plus ou moins modérés), de forme de vie (citadins et ruraux), de position sociale (notables, intellectuels, modernistes) et d'option politique (monar-

chistes, républicains, islamistes).

L'état d'esprit afghan

L'état d'esprit afghan est symbolisé et explicité par le Bouzkachi, jeu national. Bouzkachi signifie: empoignade, traînage de chèvre. C'est un jeu ancien qui comporte trois acteurs : les chevaux, les cavaliers appelés Tchopendoz et la carcasse en général d'une chèvre. La règle du jeu est simple : à un endroit est tracé le « Hallal » cercle de justice, la dépouille de la chèvre s'y trouve. Au signal, les cavaliers se précipitent tous ensemble pour l'arracher du sol, la porter sur leur cheval et galoper sans qu'aucun autre cavalier ne puisse rattraper le porteur de la carcasse. Lorsqu'il n' y a plus personne en mesure de le rejoindre, le cavalier jette la carcasse au sol et a gagné. Il n'y a pas de limite de territoire ni de temps, cavaliers et chevaux sont prêts à lutter jusqu'à la tombée du jour quelque soit la distance. Plus récemment le jeu sera codifié avec des limites de territoire et un affrontement par équipe.

Le Bouzkachi est la grande métaphore

de l'âme afghane. Il représente la compétition chaotique, incontrôlable et sans limite. Il y a des gagnants et des perdants. Certains ne gagnent jamais, personne ne gagne longtemps. L'important pour le compétiteur étant de contrôler le déroulement du Bouzkachi, passer pour ce faire des alliances temporaires avec tel ou tel autre cavalier au beau milieu de la mêlée afin d'éliminer un concurrent. Seul celui qui porte la carcasse possède l'autorité temporaire. Dans une société sans règles, le Bouzkachi permet à celui qui possède la ruse, l'intelligence et la force, de s'accaparer le contrôle sur les autres et tenter de le conserver aussi longtemps qu' il le peut. La chèvre change de maître au cours du jeu, elle part progressivement en lambeaux et est le symbole de notre vie qui se déchiquette au fur et à mesure qu'elle avance.

Le Bouzkachi est si révélateur de l'âme afghane que ce jeu, qui n'est pas à l'origine Pashtoun, a été accaparé par le pouvoir royal pour en faire le symbole de l'héritage national. Le roi n'était

souvent le roi de tous les afghans que le jour du Bouzkachi royal.

Le grand Bouzkachi

Il commence en 1978 lorsque le Président Daoud (qui avait écarté du pouvoir son cousin le roi Zaher Shah en 1973) fût renversé à son tour par les communistes qui ne purent réussir à imposer leur autorité sur le pays et durent faire face à un soulèvement populaire de plus en plus important. Toutes les conditions furent alors réunies pour que l'on appelle à l'aide le « grand parti frère » et l'intervention soviétique eût lieu dans la nuit de Noël 1979 avec la 105e division aéroportée sautant sur Kaboul. Elle ne rencontra aucune résistance, les conseillers militaires soviétiques avaient fait enlever dix jours auparavant les batteries des tanks de l'armée afghane sous prétexte de vérifier leur résistance au gel!

Sans organisation, sans chef, sans armes et avec la présence dès 1981 de 115000 militaires soviétiques, toute possibilité de lutte semblait impossible. Progressivement pourtant, elle s'organisera. Au départ avec les simples fusils de chasse personnels, puis avec les armes dérobées aux soldats ennemis, enfin avec l'aide occidentale. La « Jihad », guerre sainte contre l'occupant était lancée, elle trouvera son aboutissement le 2 février 1989 par le retrait final de l'armée soviétique. Un gouvernement communiste survivra à Kaboul jusqu'au 16 avril 1992, où les moudjahidins pénètreront dans Kaboul avec à leur tête les tadjiks du célèbre commandant Massoud.

Depuis cette époque, le Grand Bouzkachi continue. Il est suscité, provoqué par les grandes puissances mondiales et régionales, qui veulent avoir leur part du contrôle des routes commerciales traversant l'Afghanistan et des pipe-lines à y construire. Pour ce faire ils s'appuient tout à tour sur les différentes ethnies (v. & précédent) et les multiples clans à l'intérieur de ces ethnies. Il y eût par exemple « huit batailles de Kaboul » entre Juillet 1992 et Mai 1996, guerres civiles aux alliances mouvantes, qui n'ont fait que meurtrir et anéantir la pauvre population de cette ville avant que les Talibans en septembre 1997 ne lui imposent un joug autoritaire, extrémiste et borné.

Dans le Grand Bouzkachi, le monde



Photo 2 : Vallée de Khendj avec les mines d'émeraudes.
 Photo 2 : Khendj Valley with emerald mines. Photo Didier Giard.

entier joue -en dehors des afghans et malgré eux- mais ce jeu provoqué se déroule à l'intérieur du pays selon les règles afghanes ancestrales. Voilà pourquoi le conflit est interminable.

De même pour les émeraudes, le marché est incontrôlable car il est imprégné du Bouzkachi, le temps ne compte pas. Certains y jouissent d'un grand prestige (personnalité propre, rôle pendant la résistance) ce qui leur offre parfois des opportunités. Malgré la valeur financière des émeraudes, rien ne se construit avec une perspective à long terme. Les alliances et stratégies sont fluctuantes, évolutives, claniques et même intra-claniques.

La vallée du Panjshir

L'entrée de la passe du Panjshir est située en territoire tadjik à 82 km de la sortie de Kaboul, vers le nord-nord-ouest. Pour y arriver il faut prendre la grande route bitumée qui mène vers le tunnel de Salang et Mazar-i-Sharif. Actuellement c'est la grande zone de combats entre les forces de la coalition et les Talibans. Auparavant c'était le verger de Kaboul, avec de magnifiques fruits et légumes à profusion. La richesse ici c'est l'eau qui descend des montagnes.

Un système souterrain inventé il y a 3000 ans permet une forte irrigation. Après 75 km de route, l'on traverse Djaboul-Seraj, noeud militaire stratégique, le bitume disparait pour laisser place à la piste. Le dernier village avant l'entrée du Panjshir est Gulbahar (« Fleur de Printemps »).

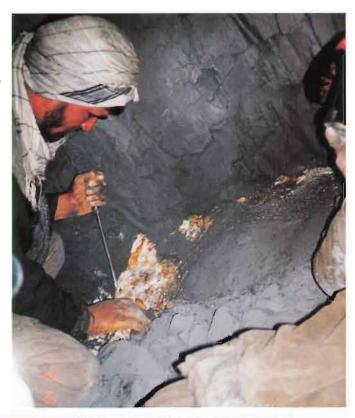
Il faut 5 km pour franchir l'extraordinaire passe du Panjshir (Photo 1) et déboucher ensuite dans la vallée.

Deux légendes expliquent le nom du Panjshir: panj veut dire cinq et shir, lion: - un pays étranger demanda au roi d'Afghanistan de lui envoyer cinq cents guerriers. Il n'en envoya que cinq mais ce furent des panjshiri en disant, qu'il vaut mieux avoir cinq lions que cinq cents renards, d'où leur nom de vallée des cinq lions.

- ou bien, le roi de la région plaça ses cinq fils pour garder les cinq chemins qui mènent à la vallée; tels des lions ils la protégaient.

Lord Elphinstone note dans son ouvrage écrit au début du 19° siècle qu' « une force spéciale émane de cette vallée, différentes des autres régions tadjikes. Ils sont quasiment indépendants par-rapport au roi, mais tenus en grande sujétion par leurs propres chefs. Ils sont

■ Photo 3a: Mine de Siakholo (Khendj), sur la veine d'émeraude. Photo D. Giard ■ Photo 3a: Siakholo Mine, on the emerald vein.





■ Photo 3b : Les mineurs de la mine de Siakholo. ■ Photo 3b : Miners from Siakholo mine. Photo Didier Giard.

courageux, violents et incontrôlables. Leur souhait principal est de ne surtout pas mourir dans un lit. Ce sont d'excellents soldats d'infanterie, redoutables en montagne, mais qui souvent gâchent leurs capacités dans de grandes dissenssions internes ». Près de deux siècles plus

tard cette citation reste exemplaire.

La vallée du Panjshir est très célèbre grâce à ses émeraudes et au fameux commandant Ahmed Shah Massoud le « lion du Panjshir », héros de la résistance face aux soviétiques.Né en 1954, il fût éduqué au lycée français de Kaboul et commenca des études à l'Institut Polytechnique de Kaboul. Au début de la résistance il a 26 ans et malgré son jeune âge il parviendra progressivement à convaincre anciens et jeunes de sa région natale du Panjshir qu'il était possible de mener une guerre efficace contre les soviétiques selon les principes de la guérilla. Malgré des moyens énormes engagés par ces derniers (11 offensives majeures et jusqu'à 600 vols/jour par rotations de bombardiers TU 116), la vallée résista, Massoud obligeant même les soviétiques à plusieurs cessez-le-feu. Dès l'été 1985 le Panjshir était en partie pacifié. Durant la résistance la grande force de Massoud fût de faire cautionner par les autorités religieuses l'organisation du Panjshir en vingt unités militarociviles avec chacune un commandant militaire (et ses unités mobiles), un gestionnaire, un responsable de la justice et des spécialistes pour les questions de l'agriculture, l'irrigation, l'approvisionnement, la santé, les hopitaux, l'éducation et les petites unités de production. Cet ensemble s'appelle le Qarargah.

Dès la sortie de la passe du Panjshir de part et d'autre de la rivière les bons effets de ce système sont immédiatement visibles, la vallée est superbement cultivée et la plus grande partie des traces de la guerre ont été effacées.

Les émeraudes du Panjshir

Géologie

L'Hindou-Kouch est constitué par un système de deux vallées longues et étroites, le Ghorband et le Panjshir, le long desquelles se sont formées presque à angle droit de nombreuses vallées. La vallée du Panjshir coïncide avec la zone de suture mésozoïque d'Herat-Panjshir qui sépare la plaque eurasienne au nordest du fragment microcontinental connu sous le nom de Cimmeria au sud-est (Kazmi et Snee, 1989; Bowersox et al. 1991). Les roches de la zone de suture ont été transportées vers le sud par une zone de chevauchement complexe appelée la faille de l'Hindou Kouch composée par différentes failles dont celle du Panjshir. Les gisements d'émeraude se localisent dans cette vallée du Panjshir sur une zone de 16 km² (mais en fait sûrement davantage). Les tremblements de terre incessants dans la zone prouvent que le soulèvement est toujours en cours (faille active) ce qui contribue à renforcer l'encaissement des gorges.

L'émeraude est contenue dans des veines à quartz-carbonates et pyrite qui recoupent des roches métasédimentaires du Paléozoïque (grès, carbonates et schistes d'âge ordivicien à silurien) ainsi que des dykes de porphyre quartzifère et des sills gabbroïques. Les encaissants des veines minéralisées sont fortement silicifiées et on y rencontre la biotite, l'albite, la tourmaline et la pyrite.

Lors de l'épisode minéralisateur ces zones silicifiées ont probablement servi de drains aux circulations de fluides hydrothermaux. En effet, les réseaux de veines de quartz à ankérite-pyrite et émeraude sont étroitement associées aux zones d'altération hydrothermales marquées notamment par la calcitisation, albitisation, biotitisation et la carbonatisation.

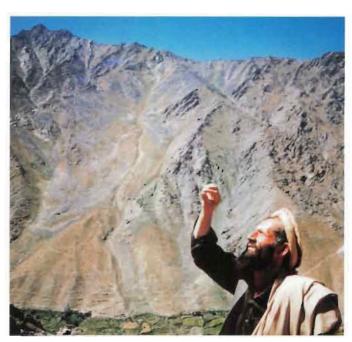
Une autre caractéristique majeure des émeraudes du Panjshir est la présence d'inclusions fluides primaires à cubes de sel, comparables à celles trouvées dans les émeraudes de Colombie. Elles sont à trois phases (halite, liquide et gaz), d'autres sont multiphasées (halite, liquide, gaz, C0² liquide et minéraux de saturation.(v. articles d'Alain Cheilletz, Gaston Giuliani et Dietmar Schwarz).

Les mines

Après 15 km de piste dans le Panjshir l'on arrive à la vallée de Roha. La maison familiale du commandant Massoud se trouve dans cette zone et à droite de la rivière à plusieurs heures de marche a été découvert assez récemment le gisement d'émeraudes de Manjaour.

50 km plus loin, et par une route non carrossable qui ne permet que du 15 km/heure, apparaît la petite ville minière de Khendj. C'est le lieu de résidence de l'Omer Panjshir (chef du Panjshir). Les mines d'émeraudes connues se situent toutes à partir du versant droit de la rivière. Pour y aller il faut laisser les voitures et partir à pied.

Khendj est à environ 2240 m d'altitude (Kaboul est à 1800 m). Il faut quatre heures de marche pour accéder aux premières mines (altitude de 3050 à 4000 m) en particulier celles de Siakholo, puis Gulnao et Butizor. Le long de la rivière 5,5 km après Khendj se trouve l'autre ville minière de Saphaidshir. De là il faut d'abord traverser la passe de Saphaidshir (haut lieu de la résistance) pendant deux



■ Photo 4 : Depuis Zarakhil, l'ensemble des mines de Qalat, avec le commandant des mines de Saphaidshir.

■ Photo 4: From Zarakhil, view on Qalat Mountain with Saphaidshir mines commander. Photo Didier Giard.



Photo 5 : La vallée de Mokoni. Photo 5 : Mokoni Valley. Photo Didier Giard.

heures pour déboucher sur la magnifique vallée de Mokoni (Photo 5), de part et d'autre de cette vallée de hautes montagnes avec à droite les mines de Qalat (Photo 4) où les émeraudes sont exploitées jusqu'à 4000 m et à gauche la montagne de Zarakhil avec les mines de

Syareg, Chakmak Sang, Gujari et Lekhino. Les émeraudes se trouvent jusqu'à 4500 m. En revenant le long de la rivière Panjshir et en poursuivant la route sur 7 km, se situe la troisième vallée d'émeraudes avec Buzmal et l'ensemble des mines de Dasht-é-Rivat.La vallée du

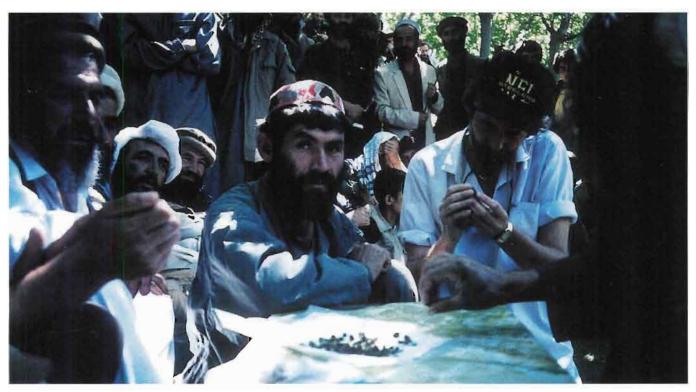


Photo 6a : La Buly. Photo 6a : The Buly.

Panjshir en tout fait 120 km jusqu'au col d'Anjuman.

C'est au tout début des années 70 qu'un jeune berger trouve par terre des émeraudes à Buzmal. Une délégation de géologues soviétiques est dans le Panjshir en 1972-73 et est restée cinq mois dans la montagne. Les villageois les observaient de loin, cachés. Lorsque les géologues quittaient un endroit ils laissaient des repères afin de pouvoir revenir là où ils estimaient qu'il y avait présence d'émeraudes. Ainsi dès les années 70 les habitants ont pu commencer à travailler dans la montagne. Certaines des plus belles émeraudes jamais extraites le furent en 1977.

L'auteur a rencontré un homme qui travaille toujours sur la mine de Butizor et qui avait déjà commencé l'exploitation en 1973. C'est à partir de 1984 que les moudjahidins ont pu tirer des revenus des émeraudes pour financer leur effort de guerre.

La production est apportée à trois centres: Khendj, Saphaidshir et Dasht-é-Rivat. L'administration locale y perçoit 10% de taxes. Le point culminant de la production fût en 1990 où l'administration perçut pour 1 million de \$U.S., les mineurs étaient nombreux dans la montagne car ils pensaient que la guerre allait bientôt

finir et le commerce pouvoir reprendre librement. D'environ 2000 mineurs à cette époque, leur nombre a progressivement diminué pour s'établir en 1995/96 à environ 500/800 mineurs. L'année 1997 a vu un redémarrage de l'exploitation. Les mines sont souterraines et sans étayage. Le matériel est rudimentaire à cause du coût d'abord et surtout de la difficulté de transport, mais aussi de l'isolement de la vallée. Les accidents sont nombreux d'autant plus que les galeries sont creusées à la dynamite avec peu de précaution. Malheureusement cette pratique détériore la plupart des pierres. Les mineurs travaillent toute l'année même l'hiver. Durant cette période ils redescendent simplement des endroits les plus élevés et travaillent dans les galeries situées vers les 3000 m.

A côté du commandant militaire et du chef collecteur du Panjshir, chaque grande vallée a son commandant de mine. Celui-ci doit veiller au bon déroulement des travaux, à l'harmonie des relations entre les mineurs, contrôler les vols, organiser les « bulys » etc. La Buly est la vente aux enchères hebdomadaire (en général le jeudi) qui se tient à Khendj et Saphaidshir. Les mineurs y

exposent leur production pour la vente. Le sous-sol appartient à l'état qui octroie des concessions aux marchands importants de la vallée. Chaque mine a ses mineurs attitrés qui seuls ont le droit d'y travailler et se partagent un % de la production.

Seul un panjshiri peut travailler dans les mines, seul un panjshiri peut acheter aux Bulys. Les grandes familles de la vallée essayent ensuite de vendre les émeraudes par Kaboul (avant l'occupation des Talibans), par le Pakistan et Peshawar, par les républiques d'Asie Centrale, éventuellement directement dans les grands pays d'achat

Partout le réseau panjshiri est à la base du système, le « fait ethnique » est ainsi bien démontré, personne ne peut l'occulter. Il est la condition nécessaire et suffisante de l'ensemble. L'organisation de la distribution des émeraudes devient ainsi un Bouzkachi particulier où un étranger à la vallée peut difficilement expliquer les tenants et les aboutissants. Les grands commandants peuvent y jouer un rôle important, mais pas toujours.

Ici les règles des marchés internationaux ne s'appliquent pas forcément. Le Bouzkachi est un royaume fascinant qui ne se laisse pénétrer que lentement.



Photo 6b: La fin de la Buly. Photo 6b: End of the Buly. Photo Didier Giard.

The Buzkachi of Emeralds The Emeralds of the Panjshir Valley.

by Didier Giard

Afghanistan is a key country, a buffer state between Central Asia and the Indian sub-continent. It was previously one of the crucial route of the Silk Roads. The endless war that is raging at the moment is a consequence of the country's exceptional geographical position, which explains foreign appetites.

The most important emerald deposits are located in the Panjshir, some 130 kilometers north of Kabul.

The first emeralds were found in the early seventies. A short time after, Soviet geologists conducted a fairly large survey of the potential emerald deposits in the region. The villagers who had observed the geologists moves and found their geological landmarks in the mountains started digging for their own purposes.

The resistance war against the Soviets boosted the emerald production. Under a young commander's leadership, named Ahmed Shah

Massud, Panjshir organized itself, both militarily and in civilian life to resist the occupant. Emerald mining developed since it was an important source of revenues for the Mudjahidin. The production peak was in 1990, when everyone thought that the war would soon end and trade grow.

There are three valleys, located on the Panjshir River's right bank, producing emeralds: Khendj, Saphaidshir and Dasht-e-Revat. The number of miners fell from about two thousand miners in 1990 down to somewhere between five hundred and eight hundred in 1995-1996. These miners work 3,000-4,500 meter high in the mountains, with very rudimental means, since one can only climb to the mines on foot.

The Panjshir Fall is a suture area between the Eurasian plate, in the north-east and the Cimmeria micro continental fragment, in the south-east. This area linked with the Karakorum's Thrust helps the flow of fluids. The mineralization takes place in quartz veins containing pyrite and ankerite. Another major characteristic of Panjshir emeralds is the presence of three-phase fluid inclusions with salt cubes, that compare with those in Colombian emeralds.

The bulk of the upstream commercialization is entirely controlled by the Panjshir people; first at the auctions (buly) that take place in the valley, then when they take them out of the country to Pakistan or to the Central Asian republics.

Translation: © Dominique Maillard & Didier Giard

Bibliographie

BOWERSOX Gary W., CHAMBERLAIN Benita E.: Gemstones of Afghanistan - Geoscience Press - 1995.

BOWERSOX Gary W., SNEE Laurence W., FOORD Eugène E., SEAL II Robert R.: Emeralds of the Panjshir Valley, Afghanistan - Gemsand Gemology - Spring 1991, p 26 à 39.

GIULIANI G., CHEILLETZ A., RUEDA F.: La formation des gisements d'émeraudes de Colombie - ORSTOM - Actualités n° 50 - 1997.

GIULIANI G. : Genèse des gisements d'émeraudes du Brésil et de Colombie - Mémoire d'habilitation à diriger des recherches - INPL - ORSTOM - CRPG - CNRS - 1997.

LORD ELPHENSTONE: An account of the Kingdom of Caubul - Indus publications - First published 1815.

KAZNI A., SNEE L.: Emeralds of Pakistan - Geology, Gemology and Genesis - Van Nostrand Reenhold Company - 1989.

LA PRÉSENCE D'ÉMERAUDES AU PAKISTAN, LA VALLÉE DE SWAT

Dr. Edward J. Gübelin

L'article du Dr. Gübelin est déjà paru dans la revue Lapis.

Traduction : Karen Schmoker. Toutes les photographies de cet article sont du Dr. Gübelin

sébruitement de la découverte de gisements d'émeraudes dans la vallée de Swat date de l'année 1958. Des chevriers trouvent des cristaux verts sur les pentes montagneuses au nord de Mingora et les amènent au souverain régnant, Prince Miamgul Jahanzeb, qui n'identifie pas les pierres. Il reçoit des visites de Bombay à qui il montre les pierres et qui les identifient rapidement comme des émeraudes. Miamgul Jahanzeb déclare rapidement la montagne zone interdite et engage (seulement en apparence) des personnes pour les rechercher. Il est peu probable qu'il en soit devenu riche. Cette situation d'amateurisme dure jusqu'à 1968, lorsque le Pakistan aboli le système féodal et incorpore les différentes principautés. Pendant les six années suivantes les mines dépendent de la compagnie « Industrial Development Corporation of Pakistan ». Cette dernière exploite les installations et exploitations, qui sont toujours petites et peu en accord avec les usages miniers, pendant encore deux ans. En février 1979, la «Gemstone Corporation of Pakistan » est créée. Elle réorganise totalement l'entreprise selon des principes modernes et la développe d'après des connaissances scientifiques, une conséquence du recrutement de géologues et d'ingénieurs des mines.

Les mines prospectées appartiennent à une ceinture riche en émeraudes, qui de la périphérie ouest des montagnes de la vallée de Swat (contrefort oriental du massif Hindukusch), de la ville de Mingora s'étend sur une longueur d'environ 30 km vers le nord par Charbagh, Makhad, Malam, Gujar Kili, Bazarkot jusqu'à Bar Kotkai. Cette région est prise dans une large zone appartenant au faciès schiste vert (amphibolitique) qui – de la frontière afghane au nord-ouest s'étale jusqu'au coude Indus – représente le nerf de l'arc insulaire du Kohistan.

Les mines d'émeraudes actuellement exploitées se situent vers Mingora (Saidu) ainsi que vers Gujar Kiki et vers Makhad, sur les deux versants du col Shangla. Le premier gisement est le plus grand des trois. Il se trouve à environ 1 km au nord de la ville de Mingora (72 22' E et 34 47' N). Il enceint une région d'environ 720 000 m² (entourée de barbelés sur plusieurs kilomètres et contrôlée par 7 tours de garde) dans les limites de laquelle les mines (1,2 et 3) sont exploitées.

Géologie

La ceinture d'émeraudes est sousiacente à des schistes lustrés sombres et sus-jacente à des schistes verts, plus clairs (chlorite, trémolite) qui sont eux mêmes superposés à un contact tectonique composé d'amphibolites. Cette unité rocheuse montre plusieurs zones de cisaillements qui suivent partiellement le contact schistes verts, schistes lustrés. Des lentilles fortement tectonisées et fissurées de matériel ultramafique ainsi qu'une roche carbonatée à talc la constituent. La couche intermédiaire comportant des émeraudes est du schiste à talc, elle mesure environ 50 m d'épaisseur et est composée de schiste à talc gris vert clair avec des rhomboèdres de dolomite. Ces derniers sont riches en fer et sont souvent altérés en limonite. Cette dernière va remplir les cavités rhomboédriques.

Les schistes à talc sont souvent traversés par des veines de serpentinite. Les zones plus profondes du schiste à talc sont imprégnées de veines de quartzites hydrothermales, de poches à calcite et d'enrichissements de mica à chrome verts (fuchsite). La fuchsite apparaît surtout dans les zones fortement cisaillées et tectonisées de la ceinture d'émeraudes. A part cela, la chromite, l'hématite et la magnétite sont présentes.

Dans la région des mines d'émeraudes

Dr GÜBELIN Dr h.c., C.G., FGA, gemmologue DGG, Professeur Honoraire de l'Université de Stellenbosch.



Photo 1 : Vallée de Swat. Photo E.J. Gubelin.

vers Mingora, les couches abhorrent un pendage vertical.

Les parties qui sont traversées par des veines de quartz et de calcites sont considérées comme lieux de minéralisation des émeraudes. Ceux-ci se trouvent principalement le long de zones de cisaillements dans les carbonates à talc et dans les veines de quartz. Les cristaux d'émeraudes qui se trouvent dans les veines de quartz sont fortement fissurés tout comme ces derniers, tandis que les émeraudes qui ont cristallisé dans les schistes à talc plus mous, sont intacts. L'apparition de plus en plus fréquente de veines de quartz et de calcite en profondeur est un indice de l'action des solutions hydrothermales, qui proviennent du grano-diorite adjacent. Elles ont été enrichies en chrome lors du passage dans les roches basiques. Ces fluides ont permis la cristallisation d'émeraudes dans les schistes calcaires (les horizons sous et susjacents ne contiennent pas d'émeraudes). A l'intérieur des zones minéralisées, les émeraudes sont concentrées dans des poches ou dans des nids auxquels sont associées des inclusions de quartz laiteux et de calcite d'origine hydrothermale.

Les données géologiques décrites cidessus permettent la déduction suivante: la présence d'émeraudes est réduite aux formations de basse température (surtout dans les veines de quartz et de calcite). Les roches ultramafiques contenant du chrome sont en liaison étroite avec les roches comprenant des émeraudes. En conclusion, les solutions hydrothermales ont traversé des ultrabasites comportant du chrome, celle-ci ont dissout le chrome, et par la suite, ont permis la cristallisation de minéraux à chrome dans les zones de contact fortement cisaillées, entre le schiste à talc et entre le schiste lustré.

Les mines

A la suite de la formation de la Gemstone Corporation of Pakistan Ltd en 1979, les prospections et les mines sont dirigées par des scientifiques. Pour chaque mine, un géologue et un ingénieur des mines portent la responsabilité du perfectionnement et du succès des travaux. Le progrès des mines et de la production ainsi obtenu est satisfaisant. Par l'amélioration des méthodes d'exploitation, les mines sont devenues sans danger pour les mineurs en même temps que le rendement quantitatif et qualitatif s'est accru.

Toutes les mines d'émeraudes sont exploitées a ciel ouvert. Les trois mines 1, 2, et 3 actuellement encore isolées l'une de l'autre, devraient bientôt être reliées par des terrasses, afin qu'une seule exploitation minière soit crée sur tout le flan de la colline. Les morceaux ne comportant pas d'émeraudes sont retirés par explosion, les roches dégagées sont ensuite soigneusement examinées à l'aide de pics pneumatiques pour détecter tout enrichissement en émeraudes. Trois aspects potentiels des gisements doivent surtout êtres considérés :

de larges zones de cisaillement teintes de rouge et de brun par la pénétration d'un matériel riche en fer sont des lieux de formation potentiels. L'émeraude y est accompagnée de grumeaux de talc mous et blancs. Des veines de quartz sont présentes. Les cristaux d'émeraudes se caractérisent par des formes cristallines parfaites et des couleurs puissantes; mais ils mesurent rarement plus que 1 ct.

des assemblages de structures de joints (sutures) sont occasionnellement des foyers de formation. La paragenèse minérale comprend des émeraudes, du quartz, de la dolomite et du talc vert clair.

de plus, des émeraudes se sont formées le long de zones de contact du schiste à talc avec a) du micaschiste, b) des veines de serpentinite et c) du schiste à talc qui est d'un vert plus clair, plus dur et plus compact.

Toutes ces combinaisons de roches ont un effet positif sur la formation des émeraudes, parce que les espaces interstitiels plus larges facilitent la croissance des cristaux. Du quartz hydrothermal et de la dolomite (ankérite) les accompagnent fréquemment.

Le problème des déchets n'est toujours pas résolu sur les grandes mines d'émeraudes de Mingora, ils sont chargés dans des wagonnets à l'aide de pelles et sont vidés sur les déjà trop vastes collines de déblais.

Traitement des émeraudes

Des échantillons de roches contenant des émeraudes sont brisés par des marteaux, proches des mines (les cristaux d'émeraudes ainsi libérés sont recueillis dans de petites caisses cadenassés) afin d'être mis en menus morceaux et travaillés dans les locaux de triages. Les exemplaires dignes d'être polis sont taillés dans les bâtiments prévus à cet effet et appartenant à la Gemstone Corporation. Selon la qualité, ils sont taillés en cabochons ou en styles facettés tels que : baguettes, carrés, gouttes ou brillants.

Les émeraudes de moindre qualité ne se différentient pas de ceux d'autres mines, par contre, les bons jusqu'aux meilleurs exemplaires se distinguent par leur vivacité, leur grande transparence et leur forte couleur verte et peuvent se comparer aux émeraudes de Muzo.

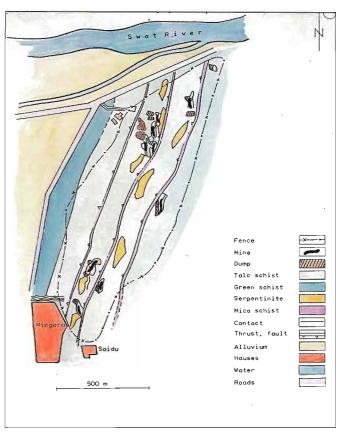
Caractéristiques des émeraudes du Pakistan

Couleur: Les indices de couleur 22: 6:3 jusqu'à 21:5:3 et les normes de couleur Xc 15.5; Yc 25.7; Zc 14.0 jusqu'à Xc 16.2; Yc 25.1; Zc 21.2 selon la carte des couleurs DIN 6164 sont les moyens les plus fréquents de définir les tons plus ou moins clairs des émeraudes de bonne qualité. Une grande quantité de pierres de Mingora de 60 ct., taillées et de couleur choisie ont été posées devant l'auteur. Ces pierres ont facilement supportés une comparaison avec les émeraudes de Muzo. L'intensité de la couleur et les nuances sont déterminées par la relativement grande concentration en chrome et en fer et de leur rapport. Malheureusement les pierres de plus de 1 ct. sont peu fréquentes et celles de plus de 2 ct. sont considérées comme des raretés.

Chimie: comme les éléments principaux de l'émeraude naturelle sont connues et leurs pourcentages ne varient que très peu d'une mine à l'autre et afin d'avoir une plus grande compréhension de la coloration xénochromatique, donc du pourcentage des éléments de transitions colorants, une analyse des éléments traces a été entreprise au moyen de la microsonde électronique. Les résultats de cette analyse en comparaison avec d'autres analyses partielles ou complètes de pierres de différentes origines sont données dans la table I. Les éléments traces sont d'une grande importance parce que leur rapport quantitatif peu déterminer leur lieu d'origine.

L'étude des compositions sus mentionnée montre que le chrome et le fer sont en quantités remarquables dans les émeraudes du Pakistan tandis que le apparemment vanadium manque complètement. Le chrome et le fer sont indubitablement responsables, non seulement de la couleur, mais aussi des différentes propriétés physiques. Tandis que le contenu en chrome justifie l'appellation émeraude pour le béryl vert, le contenu en fer supprime la fluorescence inhérente au chrome. Les hautes valeurs caractéristiques en MgO (2.6%) et en Na2O (2.1%) sont remarquables.

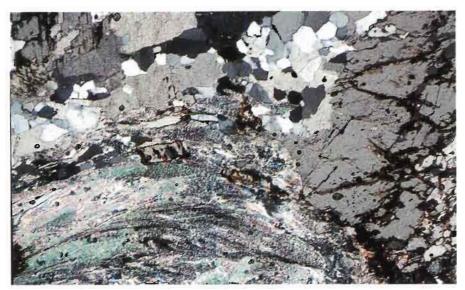
Constantes optiques : Les indices de réfraction sont déterminés en lumière monochromatique de sodium gazeux (589.3 & 589.3 nm) sur un spectromètre



■ Figure 2 : Dans la zone défendue des émeraudes au nord de Mingora, trois complexes de débris sont créés : n°1 dans le Nord, n°2 au milieu et n°3 au sud (environ 100 m de Mingora). La représentation permet de constater que les émeraudes apparaîssent dans la zone des schistes à talc.



■ Photo 3 : Des cristaux d'émeraudes courbes sur du quartz. La pierre jaune en bas à droite est de la dolomite. Photo Dr E. Offerman, Arlesheim.



■ Photo 4 : La lame mince montre les composants essentiels : talc (multicolore), dolomite avec des veines limonitiques et un peu de quartz (blanc). Les grains noirs sont de la magnétite. Photo E.J. Gubelin.



■ Photo 5 : Aperçu général du complexe de déblayage n°1 environ 1 km au nord de la ville de Mingora. Les parties supérieures des collines sont formées de schiste vert (amphibolite). Photo E.J. Gubelin.

à spinelle Rayner dont l'échelle permet une interpolation exacte des 3 décimales (marge d'erreur (0.0005). Ils donnent une valeur arithmétique moyenne de n(= 1.5887 et n(= 1.5963 avec n(= -0.0075 sur 70 lectures. Ces valeurs sont parmi les plus hautes valeurs du quotient de réfraction mesurées sur une émeraude (cf. Tabelle de comparaison II) et cellesci peuvent être considérées comme une caractéristique des émeraudes du

Pakistan. Le dichroïsme est distinct et change entre un bleu vert IJ c et un vert jaune I c.

Le spectre d'absorption est en général défini par la ligne du chrome usuelle se trouvant dans le rouge autour de 683, 680, 662, 646, et 637 nm ainsi que par la ligne du fer dans le bleu vers 477.4 et 472.5. L'inhabituelle concentration élevée en fer est perceptible dans le spectre d'absorption. A la grande

surprise générale, la bande d'absorption dans le bleu de 425–430 nm avec un maximum d'absorption de 427 nm observée en premier par Kane (1980/81) mais sans lieu d'origine défini, a pu être observé. Cette puissante bande d'absorption, probablement engendrée par la forte quantité de fer, peut en association avec d'autres propriétés tels que la réfraction, la double réfraction, la densité et les inclusions être reconnu comme indice témoignant de l'origine de la vallée de Swat.

Luminescence: Même si, les émeraudes du Mingora apparaissent rougeâtres à rouge à travers le filtres de Chelsea et brillent rouge à orange dans le fluoroscope de Stokes (double filtre) ils ne réagissent ni aux UV à courtes ondes ni aux UV à longues ondes. La lumière aux ondes courtes (2350 nm) est même entièrement absorbée, ce qui, avec l'absence de luminescence est due au grand contenu en fer. La valeur moyenne de la densité de 70 échantillons donnent une moyenne arithmétique de D = 2.777 (ce qui correspond assez bien aux valeurs 2.768 trouvés antérieurement (Gübelin, 1968).

Résultats microscopiques : Outres les caractéristiques mentionnées ci-dessus, telles que la haute réfraction, la biréfringence et la densité ainsi que la bande d'absorption supplémentaire du spectre, les inclusions peuvent aussi montrer des images caractéristiques à une région. Ces structures peuvent tout d'abord être un moyen de distinction sûre entre les émeraudes naturelles et synthétiques, mais permettent aussi, souvent une détermination du lieu d'origine. Le jardin d'une émeraude du Pakistan peut sembler identique à celui d'une émeraude synthétique à l'oeil non exercé, mais les composants individuels -inclusions solides et liquides—le trahissent sous le microscope.

Frappant et en même temps stupéfiant, sont les inclusions qui sont déjà connues par les gemmologues avertis, dans les émeraudes de Colombie (surtout ceux de la mine de Muzo). Tandis que, dans celles de Muzo ce sont des cristaux de calcite, ici ce sont des cristaux de dolomite octaèdraux et des inclusions liquides dentelées, orientées parallèlement à l'axe c. Les plans de ces derniers sont parallèles aux plans prismatiques de l'émeraude hôte et se distinguent moins par des remplissages trois phases que par

des remplissages à prédominance deux phases aqueuses (fluide et gaz). Hormis les rhomboèdres de dolomite, des grains d'hématite, de chromite et de magnétite noirs d'éclat métallique sont présents.

De petits tubes de croissance, comportant également un remplissages deux phases aqueux, s'érigent des plus petits cristaux de dolomite. Ils suivent fortement la direction de croissance principale (parallèle a l'axe c) et forment parfois des groupes si denses qu'un effet oeil de chat peut être obtenu lors d'un polissage adéquat.

Ces types d'inclusions permettent la conclusion valable suivante; les émeraudes de la vallée de Swat se sont formées dans des conditions analogues à celles des émeraudes de Colombie, donc dans des roches carbonatées hydrothermales. Dans de rares exemplaires, des inhomogénéites structurelles, sous forme de lignes en zigzag se développant parallèlement à l'axe c, peuvent être observées.

Tous les éléments internes des émeraudes pakistanaises décrits cidessus sont des inclusions primaires. D'autres inclusions sont composées de deux types bien distincts d'origines pseudosecondaires: L'un forme des inclusions deux phases tubulaires allongées et orientées parallèlement (fig. 17). Celles-ci suivent d'anciens plans de failles ondulés et irréguliers -, qu'elles occasionnellement recouvrent groupes et contribuent ainsi à leur guérison. L'autre type remplit les anciens plans de fissuration sous formes de très fines paillettes parallèles au plan de base (0001), il les guérit aussi parfois. A cause de leur grande différence d'épaisseur les paillettes brillent dans les couleurs d'interférence si elles sont soumises a un fort éclairage et où les bulles de gaz prennent la couleur complémentaire du liquide environnant (solution aqueuse).

En conclusion, nous pouvons retenir que les mines d'émeraudes de la vallée de Swat montrent un développement très intéressant, dont les trésors vont enrichir le marché des pierres de façon positive – à la condition que les mines soient exploitées de façon professionnelle, que les émeraudes soient travaillées en accord avec la profession et qu'elles soient transmises régulièrement au marché international.

Photo 6 : enlevage des déblais après concassage.



Photo 7 : travail sur la roche.





■Photo 8 : Les blocs de roche contenant des émeraudes sont mis en morceaux sur place.

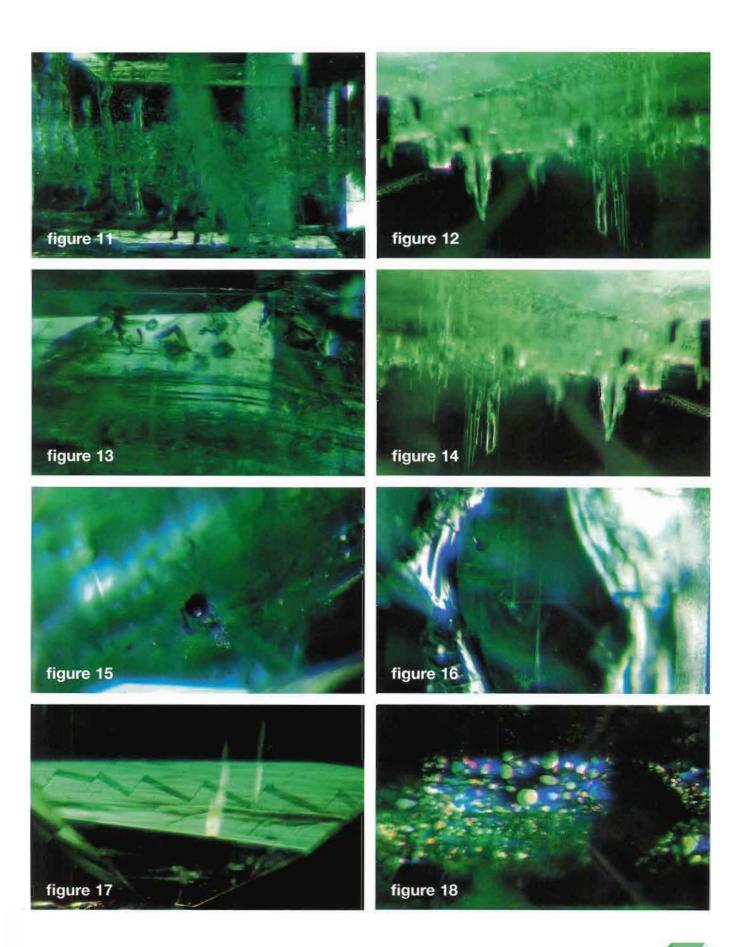


Photo 9 : Une zone de déblais.

- Légendes des figure 11 à 18 :
- 11 L'image permet l'aperçu de plusieurs composants essentiels de la paragenèse interne, dont des rhomboèdres de dolomite, des inclusions deux phases dentelées ainsi que des tubes de croissance parallèles et des tubes de liquides pseudosecondaires parallèles sur une zone liquide distendue. 20x.
- 12 Images d'inclusions types, d'inclusions de liquide pseudosecondaire. 35x.
- 13 Groupes peu denses de cristaux de dolomite idiomorphes. 100x.
- 14 Très mince couche de liquide dentelé semblable aux inclusions trois phases bien connues dans les émeraudes colombiennes. 50x.
- 15 Grain de magnétite, noir et d'éclat métallique. 40x.
- 16 Des tubes de croissance parallèle à la direction de croissance principale primaire. 35x.
- 17 Lignes de croissances fortement marquées. Ces particularités structurelles sont aussi propres aux émeraudes d'autres mines. 25x.
- 18 Paillettes deux phases fines qui brillent dans les couleurs d'interférence sous une lumière incidente verticale. 40x.

Oxyde Zambie Miku		Zimbabwe Sandawana		Pakistan Mingora	Brésil Salininha		Colombie Muzo		Mozambique Morrua			Tanzanie ManyaraSee				
SiO,,	1 62,23	2 63,84	3 65	4 nb.	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$Al_{2}0_{3}$	15,41	18,06	14,2	nb.												
Cr ₂ 0 ₃	0,33	0,60	0,50	0,66	<0,03	0,21	0,9	0,01	0,03	0,24*	1,20	1,3	0,12	0,03	0,44	0,10
V_2O_3	nb.	nb.	nb.	0,00	<0,03	0,36	0,9	0,01	0,03	0,07	0,08	0,09		moins de 10 ppm		m
Fe ₂ 0 ₃	0,04		0,50	0,9	<0,03	0,31	0,8	0,1	0,03	1,30	1,40	1,40	0,31	0,36	0,86	0,50
FeO	0,07	0,3		nb.												
BeO	11,9	13,28	13,6	nb.												
MnO	0,02			nb.												
MgO	0,75	0,75	3,0	2,6					,							
CaO	0,31			0,0												
Na ₂ O	2,63	2,03	2,0	2,1				1,15	0,05				0,59	0,62	0,57	0,67
K ₂ 0	2,89	0,05		nb.												
Li ₂ 0		0,10	0,15	nb.				0,06					0,028	0,026	0,032	0,032
Cs ₂ O	Traces			nb.				0,20					0,265	0,23	0,16	0,23
H ₂ O+	2,59	1,07		nb.				1,9	0,5							
H ₂ 0-	0,06			nb.												
H ₂ 0-	0,06		:	nb.												

- Tableau I :
- 1 Hickmann (1972)
- 2 Martin (1962)
- 10* : Valeur vraisemblablement trop basse, vu que le chrome n'est pas réparti de façon homogène
- 3-6 & 10-12 : analysés par M. Weibel pour l'auteur.
- 7-9 & 13-16: analysés par E. Landais pour l'auteur.



Pays Mines	n ε	n ω	n∆ x 10 ⁻³	Densité	Nombre d'échantillons
Australie Poona	1,5726	1,578	5 - 7	2,693	3 expl.
Brésil Bahia Anagé Brumado Carnaiba Salininha, Pilao Arcado Minas Gerais Fundone unbekannt	1,576 1,573 1,573 1,582 1,583	1,584 1,579 1,588 1,589	8 5 - 6 6 - 7 6 5 - 6	2,80 2,682 2,72 2,70 2,76	1 expl. 3 expl. 3 expl. 1 expl. 2 expl.
Inde Ajmer	1,585	1,595	7	2,735	10 expl.
Colombie Burbar Chivor Muzo	1,569 1,570 1,570	1,576 1,579 1,580	7 5 - 6 5 - 6	2,704 2,688 2,698	1 expl. 12 expl. 11 expl.
Mozambique Morrua (Melela)	1,585	1,593	8		8 expl.
Norvège Eidsvold	1,5908	1,5838	7	2,759	5 expl.
Autriche Habachtal	1,584	1,591	7 (6)	2,734	_11 expl.
Pakistan Mingora	1,5887	1,5963	7	2,777	20 expl.
Zambie Miku Kafubu (Bank, 1980)	1,582 1,592	1,589 1,602	7 - 8 0,01	2,738 2,77	8 expl. 1 expl.
Zimbabw e Mayfield Sandawana	1,584 1,584	1,590 1,590	6	2,72 2,75	20 expl. 12 expl.
Tanzanie Manyara See	1,578	1,585	6	2,72	20 expl.
Afrique du Sud Gravelotte (Transvaal)	1.583	1.594	6 - 7	2,75	9 expl.
Russie Tokowaya (Ural, Sverdlowsk)	1,580	1,588	6 - 7	2,74	5 expl.
USA North Carolina	1,581	1,588	7	2,73	1 expl.

[■] Tableau II : Les valeurs du graphique ont été déterminées spécifiquement pour cet article et représentent la valeur arithmétique moyenne pour les échantillons examinés.

Jaïpur, une Ville DÉDIÉE À L'EMERAUDE

Didier Giard, Shikhar Chand Poonglia, Yogendra Durlabhii

La tradition indienne

La tradition des pierres et de la joaillerie en Inde date de 5000 ans et est porteuse de profondes significations.

L'inspiration indienne puise ses sources dans la Nature et l'Univers. Les flux d'énergie cosmique conditionnent la vie et

la création toute entière. S'y expriment avec finesse nombreuses correspondances et interdépendances.

Les couleurs ont toujours été porteuses de représentations subtiles. De même qu'à chaque couleur correspond une caste, correspond aussi une gemme. personne Chaque ainsi se rattache plus particulièrement à une couleur et une pierre, détentrices d'énergies cosmiques pouvant exercer des pouvoirs bénéfiques et positifs.

Il en résulta la bijoux « Navaratna ».

combinaison multicolore de neuf pierres, où le rubis au centre représente le Soleil. le diamant à l'est Vénus et l'émeraude au Nord-Est Mercure.

Si l'Inde est la mère des plus grands bijoux légendaires, c'est parce que les bijoux sont des centres rayonnants de force et d'énergie, où symbolisme et initiation sont toujours présents.

Les plus grands temples et monuments indiens d'Ajanta, Ellora, Sanchi, Bhubaneswar, Konarak, Khajuraho, Halebid et Belur, reflètent cette profusion de bijoux et d'ornements. Les femmes indiennes de tous temps se parèrent de

bijoux couvrant parfois le corps entier, chaque partie du corps se devant d'être embellie. Les Rajas et Maharajas, Ranis et Maharanis ont depuis des siècles portés des bijoux sur les turbans, les oreilles, aux poignets, autour du cou et sur tout le visage (v.les bijoux de Harappa datant de 2.500 ans av. J.C.). Ils ont ainsi fortement

concouru au développement et à la perpétuation des joailliers et lapidaires indiens.

La fondation de Jaïpur et son rayonnement

Certaines personnes ont des destinées extraordinaires, telle celle du Maharaja Sawai Jai Singh, le fondateur de Jaïpur. C'est à partir du désert du Rajputana (maintenant Rajasthan) qu'il eût la vision d'édifier une cité à partir de rien, où toutes les idées modernistes et les savoir-faire de l'époque trouveraient un

endroit pour s'exprimer. Le charisme, la sagesse et le dynamisme du Maharaja furent si rayonnants que des élites entières représentant toutes les compétences d'une société affluèrent vers Jaïpur : bien sûr des astrologues (l'astrologie était l'une des grandes passions du Maharaja), mais aussi des artisans de tous les corps de métiers, des administrateurs, des professeurs, des érudits, des peintres, poètes, musiciens et sculpteurs.

Dans ce mouvement intense, des joailliers et lapidaires de tout le pays arrivèrent à Jaïpur. Le Maharaja facilita



Photo 3 : Jeune mariée dans un grand mariage à Jaïpur. Photo 3: Young bride wearing her jewels.

création des fameux Photo Isabelle Giard.

Shikar Chand POONGLIA négociant-lapidaire à Jaïpur et dirige la société Sobhagmall Gokalchand Jewellers.

Yogendra DURLABHJI est négociantlapidaire à Jaïpur et dirige la société Ksd



■ Photo 1 : Palais en ville des Maharajas de Jaïpur. ■ Photo 1 : The « city Palace ». Photo Isabelle Giard.

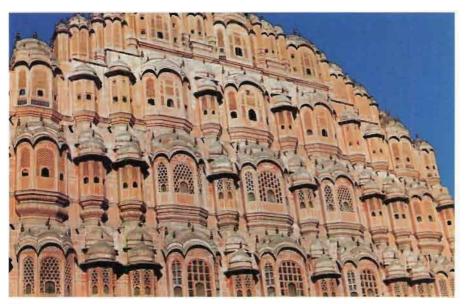


Photo 2 : le Palais des vents à Jaîpur, « Hawa Mahal ». Photo Isabelle Giard.

leur installation en les garantissant de son patronage royal et, au contraire des rois des autres états indiens, pensant que les taxes étaient démotivantes et dissuasives, il les supprima. Il alloua même aux professionnels des gemmes, des maisons (havelis) dans Johari Bazar (le Marché des Joailliers). Toutes les conditions furent ainsi réunies pour, qu'issu du désert, Jaïpur devint un grand centre de négoce international se spécialisant sur l'éme-

raude, ceci grâce à une tradition ancienne de travail de cette pierre exceptionnelle.

Les successeurs du Maharaja Sawai Jaï Singh, qui appartiennent tous à la même famille, ont poursuivi cette politique de leur ancêtre jusqu'à l'actuel Maharaja de Jaïpur le Brigadier Sawai Bhawani Singh.

Si une telle tradition a pu perdurer jusqu'à nos jours, elle le doit à différentes caractéristiques de la société indienne :

- l'importance et le poids de la famille
- la loyauté des négociants indiens entre eux
- l'organisation du travail selon les méthodes et principes indiens

L'importance et le poids de la famille

Tout part de la famille. Chaque fils marié vit avec sa femme et ses enfants dans la maison familiale. Le patriarche dirige l'ensemble et veille à transmettre les savoirs-faire artisanaux, les compétences et les relations commerciales.

La loyauté des négociants entre eux

Le développement de l'activité des gemmes à Jaïpur est basé sur la confiance. La relation, l'intégrité, la confiance en l'autre, permettent que les marchandises circulent librement à l'intérieur de la Place de Jaïpur, chaque fois qu'un client étranger est présent ou adresse des demandes. Ainsi en connaissant bien trois ou quatre bons négociants il est possible d'avoir accès aux meilleures opportunités du marché.

La diaspora indienne (20 millions de personnes de par le monde) et particulièrement celle de Jaïpur étant très dynamique, ce système s'étend à toutes les grandes places mondiales, où un ou plusieurs membres de la même famille partent s'installer (côte ouest et est des USA, Europe, Asie du Sud-Est etc...)

L'organisation du travail selon les méthodes et principes indiens

L'Inde est la société au monde où il y a la plus grande division du travail. Ceci provient du système des castes. Originellement, les Indiens ne connaissent pas le mot caste. Ils associent une couleur (représentation cosmique de l'énergie) avec une naissance. La caste est donc devenue l'expression pour un être humain et dans son existence présente, de son niveau de pureté. D'abord les brahamnes - les gens de la connaissance -, puis les kshatriyas guerriers et nobles -, les vaisyas commercants et artisans -, les sudras agriculteurs -, enfin les exclus, c'est-àdire les hors-castes. Ces castes et en particulier les varsyas sont divisées en

sous-castes (en tout quatre mille), lesquelles représentent les grands types de métiers de l'artisanat, de l'industrie et du commerce.

L'originalité en Inde provient du fait que le marché des pierres est contrôlé majoritairement par les Jains (doctrine de l'Ahimsa et du respect de la vie sous toutes ses formes), communauté de trois millions de personnes avec une grande puissance dans le commerce et les services. Dans le diamant on note même que les plus importantes familles du métier sont issues de la petite ville de Palanpur située à 215 km d'Ahmedabad la capitale du Gujerat (état au sud du Rajasthan). La philosophie des Jains conduit les plus grands négociants de Jaïpur à rivaliser pour faire profiter la collectivité de leur richesse et de leur aide : l'un construira un hopital ultra-moderne où les villageois de fort loin viendront se faire soigner, une autre famille offrira à la ville son plus gros cinéma, pendant qu'un troisième créera des unités mobiles de chirurgie cardiaque qui se rendra dans les coins les plus reculés du Rajasthan porter assistance aux populations malades, etc..

Jaïpur, cité des gemmes

Dans ces conditions l'on comprend aisément comment l'art de la taille a pu se transmettre de génération en génération. Les lapidaires travaillent souvent à domicile avec des méthodes très rudimentaires, les gestes importants étant maintes et maintes fois répétés depuis l'enfance, en regardant faire les ainés. Très jeunes, les enfants s'initient au polissage qui n'est pas difficile mais exerce la souplesse du poignet. Ensuite ils passeront au maniement de l'archet pour tailler les cabochons, puis aux apprentissages plus complexes de l'art du lapidaire. En s'appuyant sur l'expérience des anciens, l'habileté et la connaissance se pérénisent, certains lapidaires de Jaïpur utilisant de surcroît les techniques les plus avancées pour travailler des bruts exceptionnels.

La région de Jaïpur emploie à la taille et dans le négoce environ 100000 personnes. C'est assurément l'endroit au monde où l'on peut trouver le plus large stock d'émeraudes, comme d'extraordinaires pierres de 15 ou 20 carats, voire plus. Jaïpur « la Ville Rose » ainsi qu'en

Nouveaux Gisements d'Émeraudes de l'Inde Méridionale

Jaysbree Panjikar- K.T. Ramchandran - K. Balu Gemmological Institute of Bombay

Résumé d'un article paru dans le numéro 128 de la Rev. Gemmo. AFG Traduction : Agnès Brand

Au début de 1996 des émeraudes furent repérées dans le mur intérieur d'un puits d'un village de l'Inde du sud. Cette première découverte conduisit à des investigations plus poussées et pour la première fois furent signalés la présence de gisements d'émeraudes dans les villages de Idappadi et Konganapuram dans le district de Salem à environ 340 km au sud-ouest de Madras (Tamil Nadu). Toute cette région péninsulaire de l'Inde méridionale date du précambrien et est caractérisée par les gneiss péninsulaires. Ces gneiss ont été pénétrés par des intrusions granitiques à une époque plus récente. La rivière Sirabanga traverse le gneiss pébinsulaire et le granit qui s'y insère où l'on trouve parfois les émeraudes affleurant dans le sol alluvionnaire. La formation des roches ignées et métamorphiques recouvrant la partie méridionale du bouclier indien s'est étendue sur une période comprise entre 500 et 3 500 millions d'années.

Les émeraudes ont été trouvées dans une « ceinture de mica » qui s'étend sur 15 km. Elle se situe à une profondeur moyenne de 3 mètres et se présente sous forme lenticulaire. A certains endroits cette ceinture de mica se ramifie et les émeraudes contenues dans ces ramifications présentent une couleur vert clair et une fluorescence rose pâle.

Les émeraudes de Sankari (lieu précis à l'intérieur du district de Salem) révèlent une grande variété d'inclusions cristallines. Les plus en évidence sont les paillettes de mica qui se présentent soit isolées, soit sous la forme de petits blocs de minces plaquettes. Ces plaquettes sont soit brun clair, soit brun foncé et appartiennent à la série des biotite/phlogopite. Les autres inclusions courantes sont du quartz qui se présente soit isolé, soit associé à des inclusions liquides. Dautres inclusions qui n'ont pu être identifiées sont des inclusions en forme d'aiguilles, des cristaux noirs ou avec des fêlures de tension. Les émeraudes de Sankari sont riches en inclusions fluides qui rappellent les inclusions des émeraudes de Morafeno. de Mananjary et de Ankadilalana à Madagascar, les propriétés physiques et optiques étant également comparables.

Ceci conduit les auteurs à formuler l'hypothèse que les roches contenant les émeraudes s'étant formées alors que la plaque indienne était encore rattachée à Madagascar, il y a de fortes probabilités pour trouver dans la partie méridionale de l'Inde d'autres présences de gisements d'émeraudes en tous points semblables à ceux exploités à Madagascar.

témoignent ses rues, murs d'enceinte et son Palais des Vents (Hawa Mahal) est aussi la cité de la joaillerie. De nombreuses rues ou places portent la permanence de cette tradition comme : Johari Bazar (le Marché des Joailliers), Moti Dungri (la Porte des bruts d'émeraude), Chandi ki Taksal (la mine d'argent), Ghat Gate (la Porte des bruts d'émeraude) et Manak Chowk (la Place du rubis).

Bibliographie

Francis Brunel : Joaillerie Indienne, 5.000 ans de tradition. Gem World Review



■ Photo 4 : Lapidaires de Jaïpur travaillant à l'archet. ■ Photo 4 : Emeralds cutters. Photo Isabelle Giard.



■ Photo 5 : Vue de Johari Bazar, un jour de fête. ■ Photo 5 : View of Johari Bazar. Photo Isabelle Giard.

JAÏPUR, THE CITY OF EMERALD

by Didier Giard, Shikar Chand Poonglia, Yogendra Durlabhji

Precious stones and jewellery have been in India for a long time, expressing deep significations.

Colors have always been carrying subtle representations. If for each color corresponds a cast, for each color as well corresponds a gem. Therefore each person is bound more particularly with a color and a stone, both of them being held to cosmic energies with positive powers.

A woman's belt of gold and other metal found in Harappa dates back to 2.500 B.C. Extensive documentation on ancient jewels is provided by buddhist statues and the cycles of wall paintings in the Ajanta caves (4th - 5th century B.C.) as well as on the temples or monuments of Ellora, Sanchi, Bhubaneswar, Konarak, Khajuraho, Halebid and Belur.

Indian women were the first to decorate themselves with huge quantities of jewels, so many that they were almost fully clothed without wearing any real garments.

250 years ago, the late founder of Jaipur, Maharaja Sawai Jai Singh, had a vision to create something extrordinary in desert of Rajputana now known as Rajasthan. With wisdom and foresight the young Maharaja wanted to put soul in the city. People of eminence were brought in Jaïpur from the different parts of India, as mastercraftsmen, educationists, administrators, skilled people, jewellers from Delhi - Agra - Benares, tradesmend and others as astrologists, poets, musicians and sculpters. While other states imposed taxes, Maharaja Sawai Jai Singh, keenly aware that taxes would serve only as a deterrent and a disincentive, decided to do without them. Full freedom was given to the jewellers for developing their business.

The result is well known: from starting off as a small center, Jaïpur has become the centerpiece of the international emerald trade. The important features of the trade are the

hereditary skills of the craftsmen transferred from one generation to the other, the entrepreneurship of the businessmen and above all the important feeling of trust and faith.

The originality in India comes from the fact that gem business and jewellery are mainly controlled by the Jain communityr

Jaïpur is the emerald capital because it is connected with the mines all around the world, and it is the place where emerald is cut, manufactured and polished. Therefore enormous amount of emerald stocks stands in the city and the region where about 100.000 people work in that field.

At last, tradition in Jaïpur has given us names like Johari Bazar (the Market of Jewellers), Moti Dungri (the Hills of Pearls), Chandi ki Taksal (the Silver Mint), Ghat Gate (the Gate of rough emerald shapes) and Manak Chowk (Ruby Square) - implying some degree of permanence.

Translation : © Dominique Maillard

LES GISEMENTS D'ÉMERAUDES D'INDE

Alain Cheilletz

émeraude a été découverte au Rajasthan en 1943 près de Kaliguman, lors de prospections pour les minéraux stratégiques tels que béryl et micas. Une recherche systématique pour l'émeraude s'ensuivit alors qui aboutit à la découverte de quatre districts supplémentaires le long d'un axe Aimer-Udaipur de 200 km de longueur, relativement étroit et orienté NNE-SSW. Il s'agit des gisements de Bubani-Muhami, Rajgarh-Bithur, Tikki, et Gaongurha (Figure 1). L'exploitation des émeraudes s'est poursuivie jusqu'en 1975 avec une pointe de production à 1000 livres en 1947, puis une baisse régulière par la suite. Aujourd'hui, la production est quasiment nulle, les importantes tailleries de pierres précieuses de Jaipur s'approvisionnant essentiellement en produits bruts sur le marché international.

Cadre géologique régional

Les gisements d'émeraude du Rajasthan sont localisés dans les formations précambriennes du bouclier indien. Celles-ci se composent essentiellement d'un complexe de base et de plusieurs ceintures plissées. Le complexe archéen des gneiss rubanés (Archaean Banded Gneissic Complex - BGC) est divisé en deux unités, l'une constituée de granulites et de gneiss (Complexe Sandmata), l'autre d'une séquence de roches vertes et granites (Complexe Mangalwar). Ces différents complexes constituent le socle des ceintures Protérozoïques développées sur des paléo-rifts ayant subi une évolution cyclique avec alternance de phases tectoniques en distension et en compression (Sinha-Roy et al., 1995). Les deux ceintures plissées qui en résultent sont la ceinture Aravalli (Aravalli Fold Belt - AFB), d'âge Protérozoique inférieur à moyen et la ceinture plissée Delhi (Delhi Fold Belt-DFB), d'âge Protérozoique moyen à supérieur. A l'Ouest,

les roches du groupe Delhi sont recouvertes en discordance par les unités du groupe Vindhyan recoupés par de nombreuses et importantes unités magmatiques calco-alcalines. Les sédiments des groupes Aravalli et Dehli ont été déposés dans des bassins intracontinentaux de type rift. Ces ensembles contiennent également des linéaments ophiolitiques le long desquels eut lieu la suture des fragments de socle archéen.

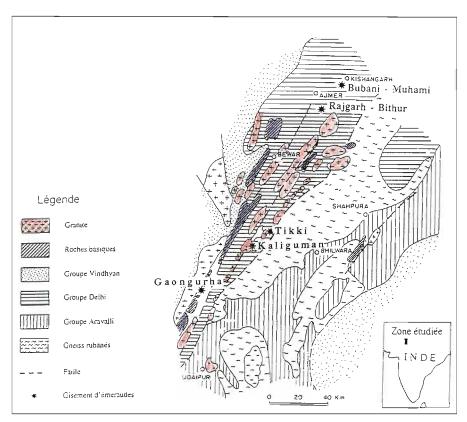
Les gisements d'émeraude sont localisés le long d'une discontinuité continentale majeure orientée NNE/SSW séparant les formations du groupe Delhi à l'Ouest de celles du complexe des Gneiss rubanés et du groupe Aravalli à l'Est. Les fragments de bassins océaniques refermés sont aujourd'hui représentés par un chapelet de roches basiques et ultrabasiques dispersées le long des contacts entre les principales unités lithotectoniques. La minéralisation d'émeraude apparait au contact entre ces lentilles ultrabasiques altérées et des filons de pegmatites recoupant l'ensemble des formations du socle.

Géologie des gisements

Les émeraudes sont localisées dans des bandes étroites (quelques centimètres à quelques décimètres) de phlogopitites (formations monominérale à biotite magnésienne) situées au contact des filons de pegmatite et des lentilles d'ultrabasites altérées (Photo 1). Les cristaux d'émeraude, de petite taille généralement (moins de 1 centimètre de longueur bien que des cristaux de 4 à 6 cm aient été découverts) sont disséminés dans ces formations très fissiles et facilement extraits par simple désagrégation au marteau ou entre les doigts. Les formations minéralisées sont alignées parallèlement à la direction principale des filons de pegmatite. Quelques bandes minéralisées, très étroites, se rencontrent également au contact des filons de

Alain CHEILLETZ est Maître de Conférences à l'École Nationale Supérieure de Géologie - INPL et au Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimique - UPR A9046 du C.N.R.S. à Vandoeuvre-lés-Nancy.

E-mail: cheille@crpg.cnrs-nancy.fr



■ Fig. 1 : Carte géologique régionale des gisements d'émeraude du Rajasthan (d'après Gupta et al., 1981).

Fig.1: Regional geological map of emerald deposits of Rajasthan (from Gupta et al;, 1980).

pegmatite et des gneiss rubanés du socle (figure 2) ; ces minéralisations résultent d'une redistribution des minéralisations de contact le long des structures filoniennes.

Dans le détail, on observe le développement symétrique de zones de réaction métasomatique au contact des filons de pegmatite. Ces zones présentent des paragenèses variées suivant les différents gisements. On reconnait généralement les associations suivantes : pegmatite à tourmaline et muscovite, phlogopitite à émeraude, zone à actinolite, trémolite, talc, apatite, chlorite, muscovite, péridotite à dolomite, calcite, serpentinite, chlorite.

Origine des gisements

Les gisements d'émeraude du Rajasthan apartiennent incontestablement au type des gisements liés au magmatisme (Cheilletz, ce volume). Les filons de pegmatite constituent des injections de magma différencié enrichis en éléments incompatibles dont le béryllium. Lors de leur rencontre avec les lentilles de roche ultrabasiques altérées porteuses de chrome se produit un échange métasomatique conduisant nottament au développement des bandes à phlogopitite et émeraude. Ces gisements représentent un cas particulièrement illustratif du modèle « magmatisme acide ».

Futurs développements

Depuis leur découverte, les cinq principaux gisement d'émeraude du Rajasthan ont été activement exploités. Des carrières à ciel ouvert et des puits d'exploitation atteigant 40 mètres de profondeur ont été notamment réalisés dans les gisements de Kaliguman et Bubani. Actuellement, les différents gisements semblent avoir exploité la plupart de leurs réserves, du fait en partie de la petite taille des lentilles d'ultrabasites nécessaires au développement de la minéralisation. Quelques

travaux de grattage artisanaux demeurent sur les différents gisements, en parallèle aux exploitations d'asbeste et de feldspath. Des travaux de reconnaissance générale ont été conduits par le Geological Survey of India (GSI) entre 1960 et 1980 qui n'ont abouti à aucune découverte nouvelle. Actuellement, dans le cadre d'un accord de coopération entre GSI et le BRGM français (Geoscientific Data Centre: CSOM), une étude géologique et géochronologique de la ceinture à émeraude du Rajasthan a été entreprise. Elle devrait notamment déboucher sur la cartographie détaillée de plusieurs gisements et la mise en évidence de guides de prospection nécessaires à l'établissement de nouvelles stratégies de développement de cette ressource minière du Rajasthan.

THE EMERALDS DEPOSITS OF INDIA

by A. Cheilletz

Abstract: Emerald was discovered in Rajasthan in 1943. The five main deposits are located in a complex elongated zone belonging to the Precambrian series of the Banded Gneissic Complex and Delhi fold belt. The emerald deposits are formed at the contact between muscovitetourmaline-bearing pegmatites and altered ultramafic lenses; they belong to the «acid magmatism type» (this volume). Phlogopitite bands, formed during the metasomatic replacement of the altered ultramafic paragenesis, represent the generalized gangue mineral of the emerald mineralization. international coooperation program involving the Geological Survey or India (GSI) and the French BRGM is in charge of the improvement of the geological knowledge of these deposits.



Photo 1: Tourmaline-bearing pegmatite and its phlopitite contact zone (Rajgarh-bitur deposit).

Bibliographie

Crookshank, H., 1947. Emeralds in Mawar. Indian minerals, V.1, p. 27-30

Gupta S.N., Arora, Y.K., Mathur, R.K., Iqbaluddin, Balmiki Prasad, Sahai, T.N. and Sharma, S.B., 1981. Explanatory brochure to the geological map of the Aravalli region, southern Rajasthan and northeastern Gujarat. GSI publication, Hyderabad.

Pichamathu, C.S., 1967. The précambrian of India; inn Rankama, K., (Ed), The Precambrian. Interscience publishers, John Wiley and Sons, London.

Roy, B.C., 1955. Emerald deposits in Mewar and Aimer-Merwara. Rec. Geol. Surv. India., V. 86, 2, p. 377-401.

Sinha-Roy, S., Malthora, G. And Guha, D.B., 1995. A transect across Rajasthan Precambrian terrain in relation to Geology, Tectonics and crustal evolution of South-Central Rajasthan. Memoir Geological Society of India, N° 31, p. 63-89.

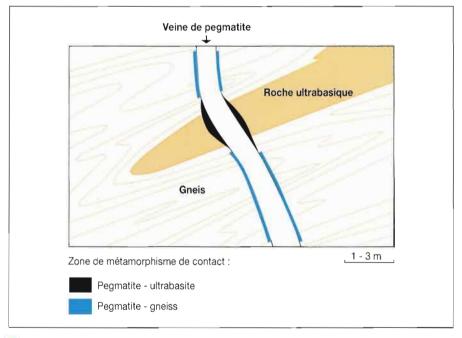


Fig. 2 : Schéma de principe simplifié des gisements d'émeraude du Rajasthan. Les fluides tardi-magmatiques provoquent deux types de réaction :

a) entre la pegmatique et son encaissant ultra-basique - réactions métasomatiques

b) le long du contact pegmatite/gneiss - redistribution. Les biotitites de la zone de contact pegmatite/ultrabasite sont les plus riches en émeraudes.

La pegmatite peut être affectée par une décilicification (endométasomatose) d'intensité très variable, et les deux cas extrêmes sont présents :

- pegmatite non transformée
- pegmatite désilicifiée, ou plagioclasite.
- Fig. 2: Simplified geological presentation of emerald deposits of Rajasthan.

LES GISEMENTS D'ÉMERAUDES EN AUSTRALIE

Dr Grahame Brown

Australie n'est pas un grand producteur d'émeraudes de qualité gemme. Au cours de ce siècle quatre gisements ont fait l'objet d'une exploitation commerciale, Emmaville et Torrington en Nouvelle Galles du Sud, et Poona et Menzies en Australie Occidentale.

Les Nouvelles Galles du Sud

L'Australie devint un producteur d'émeraudes lorsque D.A Porter, un inspecteur des collèges, découvrit des cristaux verts alors qu'il prospectait une mine d'étain abandonnée, connue sous le nom de Cleary's Lode. Cet endroit était situé dans le district de la Nouvelle Angleterre au nord-est de la Nouvelle Galles du Sud, à 9 km de la petite ville minière d'étain alluvionnaire de Vegetable Creek (maintenant Emmaville). Porter confia ces cristaux à T.W.E. David, un inspecteur géologue qui indiqua que « c'étaient des béryls d'une couleur suffisamment vert émeraude pour qu'on puisse leur donner le nom d'émeraudes ».

Les émeraudes d'Emmaville semblent avoir une origine pegmatitique puisqu'elles apparaissent en «bouquets» dans une pegmatite à quartz-topazefeldspath-mica sans géode, recoupant les sédiments Permien environnants. L'exploitation minière manuelle a démarré presque aussitôt et sur une période de vingt années d'exploitation intermittente, la mine produisit au moins 53000 carats d'émeraudes vert pâle d'assez médiocre qualité. Les émeraudes furent exploitées à la main, dans un puit de 100 m de haut et trois galeries horizontales, tous taillés dans le granit massif. Quoique ces émeraudes fussent généralement petites et difficiles à extraire de leur gangue elles avaient une belle couleur vert clair due à leur faible teneur en fer, vanadium et chrome (Fe /0.13-0.25 wt%FeO; V /O.O8-0.13 wt%V 0 ; Cr /0.02-0.15wt%Cr0).

Ces émeraudes ont aussi une faible teneur en Mg et Na (Mg /O.03-0.06wt%MgO; Na /0.06-0.08wt%Na O).Voir tableau 1.

Au début des années 90, un petit gisement d'émeraudes d'une qualité tout à fait surprenante fût découverte dans une veine de pegmatites près de Torrington, un ancien village avec une mine d'étain situé à environ 20 km à l'est d'Emmaville, la ville historique de l'émeraude. Les opérations minières furent conduites avec le plus grand secret, mais le filon est maintenant épuisé. Certaines de ces émeraudes ont été proposées à plus de 1000 A\$ le carat. Les cristaux de ce gisement présentent une très forte zonation de la couleur notamment perpendiculairement à l'allongement, c'est à dire parallèle à la base (0001), moins marquée parallèlement aux faces du prisme hexagonal (1010), et à celles des dipyramides hexagonales du premier et deuxième ordre (1012 et 1122). La combinaison de ces zonages amène la présence de« fantômes » colorés d'un vert appuyé à l'intérieur des cristaux. En fait ce zonage de couleur est si fortement développé que ces émeraudes montrent une alternance de couches de couleur forte et d'autres sans couleur. Les analyses chimiques ont révélé que les secteurs vert foncé possédaient environ 0.13wt%Cr 0, alors que les secteurs incolores n'avaient pas de Cr. La présence de vanadium jusqu'à 0.16wt%V 0 augmente la couleur verte de ces béryls, le fer quant à lui (0.20wt%Fe0 en moyenne) n'ayant que peu d'influence sur la couleur. Voir tableau 2.

Australie Occidentale

La plupart des tentatives d'exploitation minière de l'émeraude ont eu lieu en Australie Occidentale Dans cet état les ceintures de pierres vertes ultramafiques porteuses de vanadium et de chrome à l'intérieur des cratons Yilgarn et Pilbara ont été pénétrées par des pegmatites riches en béryls. C'est cette interaction qui a provoqué la formation des gisements

Dr Grahame BROWN, ALLGEM Services, Brisbane, Queensland, Australia, Rédacteur en chef de Australian Gemmologist



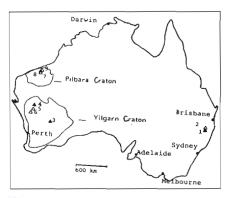
Fig. 1 : Cristaux d'émeraude de Torrington (Nouvelles Galles du Sud) avec leur caractéristique zonation de couleur parallèle à la base.

Fig. 1 : A selection of emerald crystals from Torrington (New South Wales) displaying their characteristic colour zoning parallel to the basal from the Curlew Mine, in the Pilbara Region of Western Australia. pinacoid.



Fig. 2 : Cristal d'émeraude de 250 ct de la mine Curlew, région de Pilbara en Australie Occidentale.

Fig. 2: A 250 ct emerald crystal and a selection of faceted emeralds



Map 1 : Emerald occurences in Australia.

1 Emmaville 2 Torrington 6 Melville

7 Wodgina

3 Menzies

8 Pilgangoora 9 McPhees Patch

4 Poona 5 Warda Warra d'émeraude associés au mica noir (« black-wall ») par métamorphisme. Ces gisements, bien que très étendus géographiquement, sont malheureusement de qualité médiocre jusqu'à présent. Presque toute la production commerciale d'émeraudes en Australie Occidentale provient du district de Poona à 500 km au nord-est de Perth. Les premières émeraudes furent découvertes en 1912 par le prospecteur A.P. Ryan; à Poona le béryl vert et l'émeraude se trouvent à la fois dans la pegmatite à quartz et béryl, et dans les schistes à biotite phlogopite qui marquent la zone d'interaction avec les roches vertes. A Poona les émeraudes sont associées avec béryl, quartz, albite, oligoclase, tourmaline, fluorite, biotite, phlogopite, lépidolite, zinnwaldite, margarite, talc, trémolite, muscovite, scheelite, chromite, apatite, manganotantalite et monazite.

La mine principale de la région, la mine Aga Khan Deep, a une histoire riche. Elle a été successivement exploitée comme une mine à ciel ouvert et plus récemment, de 1977 à 1981, en exploitation souterraine. En plus de soixantedix ans la mine Aga Khan a produit environ 10 kg d'émeraudes de faible valeur. A cause de cette basse qualité, de la difficulté d'exploitation et du coût, la mine dût être fermée à nouveau. De petites mines à ciel ouvert sont situées à l'est de la mine Aga Khan à savoir, Quartz Blow, Mid Section, Solomon, Reward et Lee's trench. D'autres gisements se trouvent dans le district de Poona comme la mine Emerald Pool, à 16 km au sudouest de Poona et Poona East Emerald à environ 10 km de la ville.

L'émeraude de Poona qui a été étudiée a des concentrations de 0.04wt%V O, 0?24%C 0 et Fe0, 0.33% MnO et 0.38% Na O. Voir tableau 3.

Un autre gisement d'émeraude associé au schiste, que l'on a tenté de rendre économiquement viable, se trouve à Riverina, à 50 km à l'ouest de Menzies et 136 km de Kalgoorlie. Ces émeraudes contiennent 0.22 wt % Cr O, du V O, à la limite inférieure des concentrations détectables O.46 Fe0, O.71%MgO et O.80%Na O .Voir tableau 4.

Peu d'articles ont été publiés sur les autres gisements mais la présence d'émeraude a été signalée par exemple à :

- Noongal, à 130km au sud-ouest de
- la mine Curlew sur la colline du « quartz blanc » à 19 km au nord-ouest de Hillside Station
- Warda Warra et Melville sur le craton Yingarn ou bien Wodinga, Pilgangoorand McPhees Patch sur le craton Pilbara.

Conclusion

Quoique peu d'émeraudes gemmes aient été extraites jusqu'à présent en Australie, il éxiste un potentiel de développement de la production pour peu qu'une technologie adéquate soit développée dans les mines d'émeraude d'Australie occidentale pour l'extraire de façon viable et sûre de sa gangue tenace de micaschiste.



🔳 Fig. 3 : La plus célèbre mine d'émeraude d'Australie : mine Aga Khan. 🏻 📕 Fig. 3 : The head frame of Australia's most famous and most productive emerald mine, the Aga Khan, which is located in the Poona District of Western Australia.

Couleur	Vert émeraude clair à très clair
Densité	2,68
Indices de réfraction	Rayon ordinaire: 1,575 Rayon extraordinaire: 1,570
Biréfringence	0,005
Pléchroïsme	Rayon ordinaire : vert un peu jaune Rayon ordinaire : vert
Filtre de Chelsea	Rose pâle
Luminescence : - ondes longues - ondes courtes	Inerte inerte
Spectre d'absorption dans le visible	Spectre d'émeraude peu net
Inclusions caractéristiques	 Zonations de couleur parallèlement à la face basale et aux faces du prisme Tubes parallèles à l'axe optique contenant des inclusions biphasées Givres de guérison à inclusions fluides bi- et parfois triphasées, aussi dans le clivage basal Fluorite rose, cassitérite,molybdénite

■ Tableau I : L'émeraude d'Emmaville a les propriétés gemmologiques ci-dessus.

Couleur	Très fortement zonée : incolore à vert émeraude pâle ou moyen
Densité	2,68
Indices de réfraction	Rayon ordinaire : 1,572 Rayon extraordfinaire : 1,565
Biréfringence	0,007
Pléchroïsme	Faible, avec deux tons de vert
Filtre de Chelsea	Vert
Luminescence : - ondes longues - ondes courtes	Inerte Inerte
Spectre d'absorption dans le visible	Typique des émeraudes chromifères contenant du Fe2+ (voir émeraudes du Nigéria)
Inclusions caractéristiques	 Zonations de couleur très fortes perpendiculairement à l'axe optique Tubes parallèles à l'axe optique contenant des inclusions bi- ou triphasées Givres de guérison à inclusions fluides bi- et parfois triphasées, aussi dans le clivage basal Cassitérite, oxyde de fer hydraté brun orangé, molybdénite

■ Tableau II : L'émeraude de Torrington a les propriétés gemmologiques ci-dessus.

Couleur	Vert émeraude à vert brun, moyen à clair
Densité	2,68 à 2,71
Indices de réfraction	Rayon ordinaire: 1,573-7 Rayon extraordinaire: 1,567-71
Biréfringence	0,005-0,007
Pléchroïsme	Rayon ordinaire : vert kakhi Rayon extraordinaire : vert légèrement bleu
Filtre de Chelsea	Brun
Luminescence : - ondes longues - ondes courtes	Inerte Inerte
Spectre d'absorption dans le visible	Typique des émeraudes chromifères (doublet à 680 et 683 nm, raie marquée à 658 nm, lignes faibles à 646 et 637 nm)
Inclusions caractéristiques	 Zonations de couleur parallèlement aux faces du prisme - certaines avec un coeur incolore et une périphérie verte, d'autres l'inverse. Tubes parallèles à l'axe optique contenant des inclusions biphasées Givres de guérison à inclusions fluides bi- et parfois triphasées, aussi dans le clivage basal Muscovite et biotite, ilménite altérée en leucoxène, apatite, quartz remplissant des fractures épigénétiques

■ Tableau III : L'émeraude de Poona a les propriétés gemmologiques ci-dessus.

Couleur	Vert émeraude à vert brun, moyen à clair
Densité	2,71 à 2,75
Indices de réfraction	Rayon ordinaire : 1,573 Rayon extraordinaire : 1,581
Biréfringence	0,008
Pléchroïsme	Rayon ordinaire : vert jaune Rayon extraordinaire : vert bleu
Filtre de Chelsea	Brun à rose pâle
Luminescence : - ondes longues - ondes courtes	Inerte Inerte
Spectre d'absorption dans le visible	Typique des émeraudes chromifères (doublet à 680 et 683 nm, raie marquée à 658 nm, lignes faibles à 646 et 637 nm)
Inclusions caractéristiques	 Intercroissances parallèles Zonations de couleur aux faces du prisme, souvent avec un coeur bien marqué Tubes parallèles à l'axe optique contenant des inclusions biphasées Givres de guérison à inclusions fluides bi- et parfois triphasées, aussi dans le clivage basal Mica biotite, baguettes de trémolite, fractures ouvertes remplies d'oxydes de fer

■ Tableau IV : L'émeraude de Menzies a les propriétés gemmologiques ci-dessus.

Bibliographie

Brown, G. (1984) Australia's first emeralds. Journal of Gemmology. 19, 320-335

Schawrz, D. (1991) Australian emeralds. Australian Gemmologist. 17, 448-497, 501

Pearson, G. (1992) Torrington emerald. Australian Gemmologist. 18, 47-49

Schmetzer, K. (1994) Tomington emerald update. Australian Gemmologist. 18, 318-319

Grundman, G. & Morteani, G. (1995) A new occurrence of emerald, alexandrite, ruby and sapphire in topaz-bearing phlogopite rock in Poona, Cur District, Western Australia. Z. Dt; Gemmol. Ges. 44 (2/3), 11-31

Graindorge, J.M. (1974) A gemmological study of emerald from Poona, Western Australia. Australian Gemmologist. 12, 75-80

Garstone, J.D. (1981) The geological setting and origin of emeralds from Menzies, Western Australia. Journal of the Royal Society of Western Australia; 64, 53-64

Whitfield, g;b; (1975) Emerald occurrence near Menzies, Western Australia. Australia Gemmologist, 12, 150-&(é.

Geological Survey of Western Australia (1994) Gemstones in Western Australia. GSWA: Perth

LES ÉMERAUDES DE L'OURAL

Karl Schmetzer et Rudolf Biehler

et article est un résumé des différents articles publiés précédemment par Karl Schmetzer et Rudolf Biehler sur les émeraudes de l'Oural. Un travail plus récent effectué par A.F. Laskovenko et V.I. Zhernakov (1995) en apportant des compléments utiles n'a pas modifié la connaissance des éléments déjà connus.

Les premières émeraudes russes furent découvertes en 1830 près de la rivière Takovaya, à environ 90 km au N-E de Sverldlovsk (Ekaterinbourg), sur le versant est de l'Oural. Des quantités tout à fait importantes d'émeraudes furent extraites au cours du XIXe siècle et au début du XXe, puis la production diminua notablement pour reprendre il y a quelques années seulement. Il y a deux ceintures d'émeraudes dans la région : la plus importante orientée N.S. sur 20 km avec les mines de Marinsky, Troitzky, Lubinsky et Stretjensky, et la plus petite N.O./S.E. coupant la première dans la zone sud sur 8 km de long avec les mines de Ostrowsky, Krosnobolotsky et Chitny.

Les émeraudes se trouvent dans des roches métamorphiques du paléozoïque situées au contact entre des roches acides du massif granitique à l'ouest (granites, albitites, pegmatites et kaolinites) sources du Béryllium, et des roches ultrabasiques (péridotites, serpentinites, dunites, pyroxénites et gabbros) sources du chrome à l'est. Les roches métamorphiques de la zone centrale de contact comprennent des schistes à actinolite, talc, mica et chlorite. Ces roches-mères de l'émeraude suivent la zone de contact granite/ultrabasite sur environ 25 km.

Analyse

La gamme de couleur va du presque incolore au vert intense. Beaucoup de pierres de la production récente, d'un vert clair à moyen, ressemblent aux émeraudes claires de Chivor ou aux émeraudes nigériannes. Les pierres montrent un léger pléochroisme vert-jaune et vert-bleu La présence de mica en inclusions est confirmée par analyse à la microsonde électronique, ces inclusions ayant des teneurs en fer allant de 4 à 8 wt.%Fe0.

L'indice de réfraction va de 1,575 à 1,581 avec une biréfringence de 0,006 à 0.008.

La densité elle, varie de 2,71 à 2,75 g/cm. Un zonage chimique particulier est responsable du peu de zonations de couleur observée au microscope sur de nombreux échantillons. Par exemple, la teneur en chrome (Cr₂0₃) va selon les pierres de 0,11 à 0,22 et 0,05 à 0,14. Toutes les pierres contiennent des quantités notables de sodium et de magnésium, ainsi que du fer et du chrome (figure 1) Le % de chrome est plus important dans les pierres d'un vert soutenu que dans celles plus claires, voire pâles. On trouve aussi du fer, du manganèse et du titane et une très faible concentration de nickel dans certaines pierres.

Les échantillons étudiés montrent tous les mêmes spectres dans le domaine ultraviolet-visible-proche infrarouge. Le spectre visible est typique d'une émeraude avec des bandes d'absorption de chrome. En outre, de fortes bandes d'absorption du fer bivalent avec un maximum à 12,200 cm-¹ (820 nm) ont été observées dans le spectre perpendiculaire à l'axe c, tandis que l'absorption habituelle de fer bivalent à 12,000 cm-¹ (833 nm) dans le spectre parallèle à l'axe c, est elle de faible intensité.

Des structures de croissance parallèles aux faces du prisme ont été fréquemment observées (photo l et 2). On observe aussi des inclusions minérales biréfringentes; de petits cristaux marrons très rapprochés ou répartis irrégulièrement; des feuillets ronds ou des cristaux tabulaires (photo 3); parfois des cristaux allongés, en aiguilles (photo 4).

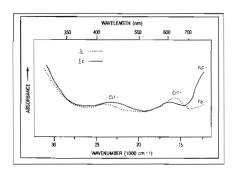
Les pierres examinées contiennent plusieurs types d'inclusions fluides. Le plus notable est sous la forme de cavités plates

Karl SCHMETZER est un chercheur résidant à Peterhausen (Allemagne) et collaborant avec de nombreuses revues internationales. et étroites (photo 4) perpendiculaires à l'axe optique, qui contiennent une seule (photo 5) ou deux phases.

Les inclusions des émeraudes de l'Oural se classent en cinq types :

- primaire à deux phases, solution aqueuse et gaz, c'est la plus commune
- primaire et pseudosecondaire à trois phases, solution aqueuse, gaz et gaz carbonique (assez fréquent)
- primaire et pseudosecondaire à trois phases avec solution aqueuse, gaz et un petit cristal d'halite (rare, photo 7)
- pseudosecondaire et secondaire avec solution aqueuse et un composant gazeux constituant la plupart des inclusions non primaires
- enfin, et le plus rare, des inclusions pseudosecondaires avec une faible solution aqueuse et/ou des phases gazeuses avec de grandes inclusions cristallines.

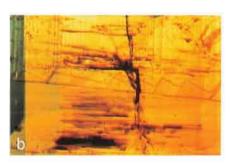
La couleur vert bleuté et l'intensité des émeraudes d'Oural sont dues majoritairement au chrome. La couleur vert-jaune de certaines pierres est due à la superposition de l'absorption due au chrome avec une absorption donnant une composante jaune. Celle-ci est reliée à des centres colorés, dûs à l'irradiation naturelle, très probablement liés à des ions du fer.



■ Figure 1 : Le spectre d'absorption dans le visible est typique des pierres examinées. Il révèle des absorptions dues au chrome et au fer .

■ Figure 1: This visible-range absorption spectrum is typical of the stones examined. It reveals absorption maxima of chromium and divalent iron.





■ Photo 1 et 2 : Figures de croissance parallèles aux faces du prisme hexagonal du premier et du deuxième ordre, du pinacoïde et de la bipyramide hexagonale.

a) vue parallèle à c

b)vue perpendiculaire à c. La structure en zig-zag est preuve d'origine naturelle.

■ Photo 1 et 2: As with beryls and emeralds from other geographic localities materials from the Urals can exhibit prominent growth features.

a) growth structures parallel to the first - and second - order hexagonal prism faces m (1010) and a (1120) are seen parallel to the c - axis(immersion, crossed polarizers, magnified 25x). b) The view reveals growth structures prallel to the basal pinacoöd c (0001), parallel to the first-order hexagonal dipyramid p (1012), and parallel to the first-order hexagonal prism m (1010). In this view, taken perpendicular to the c-axis, the zig-zag pattern of the growth structure is readily apparent and proves the natural origin of the sample (immersion, magnified 30x). Photo: Karl Schmetzer.



■ Photo 3 : Feuillets ronds d'un minéral biréfringent (phlogopite). En lumière polarisée, ces inclusions montrent un large étalage de couleurs d'interférence.

■ Photo 3: Frequently present in the Russian specimens examined were wounded platelets of a birefringent mineral that was subsequently identified as phlogopite. Under polarized light, these inclusions show a vivid display of interference colors. Immersion, crossed polarizers, magnified 85x. Photo: Karl Schmetzer.

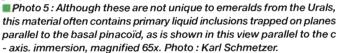


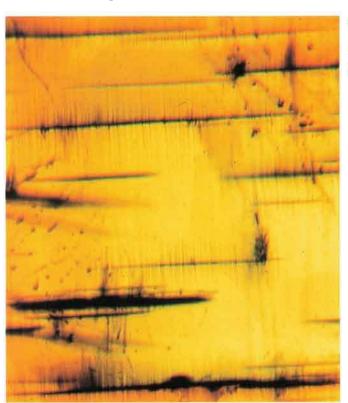
Photo 4 : Cristaux tabulaires grands et allongés (aussi phlogopite).

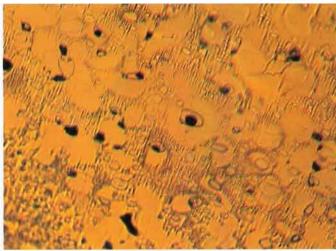
■ Photo 4: Larger, elongated tabular crystals, also subsequently identified as phlogopite, were occasionally seen in the Russian specimens. Immersion, crossed polarizers, magnified 60x. Photo: Karl Schmetzer.



■ Photo 5 : Cette émeraude contient des inclusions fluides (liquides) primaires, piégées dans les plans parallèles au pinacoïde. Vue perpendiculaire à l'axe c.







■ Photo 6: Inclusions liquides et à 2 phases : elles sont piégées dans un plan parallèle à l'axe c.

■ Photo 6: Some of the crytals examined contained several types of liquid and two-phase inclusions. In a number of instances, as shown here, they occured trapped on a plane parallel to the basal pinacoïd. Immersion, view parallel to the c - axis, magnified 60x. Photo: Karl Schmetzer.

■ Photo 7 : Émeraudes examinées perpendiculairement à l'axe c. Inclusions primaires liqudes et à 2 phases, parallèles au pinacoïde, confinées dans des structures ressemblant à des canaux parallèles à l'axe c.

■ Photo 7: When some of the Russian material was examined perpendicular to the c - axis (running verticaly in this photo), primary liquid and two-phase inclusions were observed in a characteristic orientation on planes parallel to the basal pinacoïd, confined to channel-like structures oriented parallel to the c - axis (i-e-perpendicular to the cavity). Immersion, magnified 25x. Photo: Karl Schmetzer.

Bibliographie

- Karl SCHMETZER, Heinz BERNHARDT and Rudolf BIEHLER .Gems & Gemology, Vol. 27 n°2, pp. 86-99
- A.F. Laskovenkov and V.I. ZHERNAKOV-Gems & Gemology, Vol. 37 n°2, pp. 106-113

Problèmes Spécifiques pour la Taille et le Poli des Émeraudes

Gérard Grospiron

i les pierres de couleur sont moins dures que le diamant, leur taille n'en est pas plus facile pour autant. Le polissage est une opération indépendante de la taille des facettes ce qui n'est pas le cas du diamant où les deux sont conjugués. Chaque pierre de couleur peut poser des problèmes spécifiques ; c'est notamment le cas de l'Émeraude : La taille commence par l'examen du brut qui permet d'étudier les particularités dues à la cristallisation sous le triple aspect de la couleur, de la propreté, de la mise en forme. Les deux opérations de taille et de polissage seront alors des phases techniques et délicates, mais les décisions importantes auront été prises avant.

1- le brut

La dureté relativement faible du Béryl Émeraude explique que tous les bruts sont extraits dans leur site de cristallisation à la différence des corindons dont une grande partie, pour ne pas dire l'essentiel, est constituée de bruts déplacés, récupérés dans des alluvions, parfois très loin du gîte primaire.

Le lapidaire se trouvera donc souvent en présence de cristaux hexagonaux complets ou partiels si une contrainte extérieure est venue contrarier la croissance, les faces seront très visibles, presque polies, permettant d'apprécier assez rapidement la qualité de la pierre. L'examen, toutefois, est presque toujours effectué après nettoyage et huilage.

Les bruts sont presque systématiquement huilés pour être triés et présentés à la vente. Cette huile doit être éliminée avant les opérations de taille.

Le nettoyage peut être plus ou moins important selon les mines. Il peut même être effectué avec une solution acide.

2 - la couleur

La couleur n'est pas uniformément répartie dans la plupart des pierres de couleur. Il faut donc la « placer ». Cette première opération est capitale, l'aspect futur de la pierre en dépend. Elle repose entièrement sur l'habileté du « préparateur ».

Ce qui compte avant tout, dans une émeraude, c'est sa couleur. On parle de couleur saturée lorsqu'une émeraude est si riche en chrome qu'elle paraît être au maximum de son vert. Trop chargée en couleur, elle s'assombrit et joue « noir ». En revanche, son vert peut être trop clair, un vert bien dans le ton « émeraude » mais pastel. Cependant, la majorité de ces pierres sont très agréables parce que souvent vives, mais il ne faut pas trop descendre dans l'échelle des tons car on arrive très rapidement au manque de couleur.

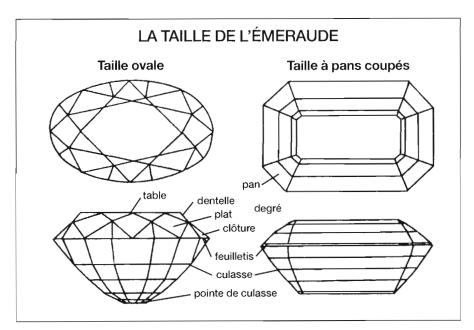
D'autre part, on note une différence de couleur selon que l'on observe une émeraude dans son axe de croissance ou perpendiculairement à celui-ci. Cette propriété est une caractéristique des cristaux biréfringents uniaxe. Dans l'axe, une émeraude apparaît vert jaune. Perpendiculairement, elle apparaît vert bleu. Lors de la préparation, le lapidaire devra faire un choix parfois bien délicat pour trouver le meilleur rendement global: couleur, dimensions, propreté.

Enfin, la couleur n'est pas toujours homogène. Il est fréquent de constater des trous de couleur dans une émeraude et aussi une répartition de la couleur qui suit les contours de l'hexagone, le centre du cristal étant presque blanc.

3 - la pureté

Une émeraude pure est extrêmement rare, sa matière est fréquemment troublée par de fines inclusions sans ordre auxquelles on donne le nom de « jardin ». En trop grand nombre, elles nuisent à la transparence de la pierre et à sa vivacité; c'est ce que l'on appelle parfois la qualité « cabochon ». Dans la réalité, certains cabochons sont taillés dans de très belles

Gérard GROSPIRON est lapidaire à Paris et ancien Vice-Président de la C.I.B.J.O. (Confédération Internationale de la Bijouterie, Joaillerie, Orfèvrerie).



■ La taille de l'émeraude doit mettre en valeur la couleur tout en veillant à l'harmonie des proportions

matières et des facettes dans de très mauvaises, mais lors du classement des bruts, on aura tendance à retenir les qualités « facettes », « cabochons ». Cette présence fréquente de givres ou d'inclusions va rendre l'émeraude parfois fragile et presque poreuse.

Les inclusions peuvent parfois affleurer à la surface comme de la pyrite ou constituer de petits décollements qui s'irisent sous un éclairage oblique. Il peut s'agir de canaux parallèles à l'axe de croissance et parfois obstrués par des impuretés. La position de la table de l'émeraude dépendra donc de la recherche de la meilleure couleur, mais elle pourra être déplacée pour éviter que les givres apparaissent de façon trop importante. Souvent, les défauts se retrouveront sur le pourtour de la pierre.

4 - la mise en forme

Il s'agira de scier le brut et de déterminer la forme définitive de la pierre : octogone, ovale, poire, etc. En tenant compte de ce qui a été dit ci-dessus sur la recherche de la meilleure couleur, du meilleur rendement poids et de la meilleure élimination des défauts, il y a un risque au sciage inversement proportionnel à la qualité de la gemme. Il faut donc utiliser des scies endiamantées excessivement fines et très bien équilibrées.

5 - la taille

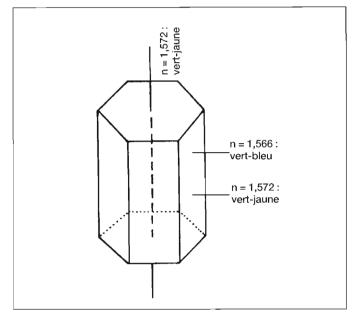
La forme hexagonale, très fréquente, du brut a inspiré la taille dite « Taille Émeraude ». En effet, en sciant le brut par le milieu, on obtient deux parties dont les dimensions sont très proches de la forme définitive mais on se souvient que dans ce cas, la couleur finale pourra être vert bleuté. On aura donc un minimum de perte de poids mais une couleur moins appréciée que le vert jaune.

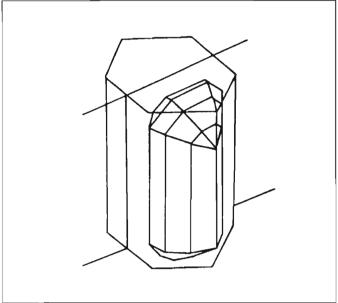
De même, le rendement poids devra être bien dosé car les émeraudes de grande dimension, à l'inverse des rubis, ne sont pas forcément très rares. Les connaisseurs préféreront une petite pierre de très belle qualité à une pierre qui fait impression par sa masse mais qui est de qualité médiocre; on parlera de « pierre à effet » pour ces grosses émeraudes dont la couleur et la limpidité laissent à désirer.

Le lapidaire pourra également modifier la teinte d'une pierre en jouant sur les facettes. Une pierre trop foncée s'éclaircit si l'on taille une grande table. Inversement, une pierre devient plus foncée si elle a une petite table et de nombreuses facettes. Le facettage d'une pierre ovale permettra également de mieux camoufler les défauts, alors que les degrés c'est-à-dire les facettes rectangulaires typiques de la taille dite « taille émeraude » les rendront très visibles. On peut ainsi dire qu'à apparence égale une « taille émeraude » sera plus chère qu'une ovale.

6 - le poli

La pierre est ensuite polie et le choix des abrasifs sera très important. L'émeraude facettée se polit sur une meule en étain, recouverte d'une poudre d'alumine ou d'une poudre de diamant très fine, parfois même d'oxyde de chrome. Les cabochons seront le plus souvent polis sur une roue de feutre avec de la poudre d'alumine. Le polissage doit restituer son brillant à la pierre ternie par les grains de diamant qui ont servi à la tailler. Il est reconnu que le polissage est beaucoup plus délicat que la taille. Cela provient à nouveau de la matière des émeraudes et notamment de la présence de givres qui affleurent en surface et vont permettre à l'huile de polissage, noircie par l'usure du diamant et de l'étain, de pénétrer dans la pierre. Ces traces noirâtres dans les





📕 Variation des indices de réfraction (n) et des couleurs de l'émeraude 📲 La taille à degré est celle qui convient le mieux à la forme du brut selon la direction d'observation

givres seront difficiles à nettoyer même dans l'acide.

Enfin, après la taille et le polissage, un dernier bain d'huile sera nécessaire. En effet, l'échauffement important de la pierre, pendant les opérations d'encimentage et le nettoyage à l'alcool après décimentage, ont pu faire apparaître des reflets blancs à l'endroit des givres naturels. Ils seront atténués par l'effet de l'huile remettant en contact les deux faces du givre. L'huile ou certaines formes de résines très fluides, qui seront alors utilisées, doivent bien sûr être incolores. Chaque lapidaire a généralement son huile, sa façon de baigner l'émeraude et nous entrons là dans le domaine des secrets de l'atelier.

7 - conclusion

De ce qui précède, on retiendra que l'émeraude étant la moins résistante des trois pierres précieuses de couleur, les précautions prises lors de la taille et du poli devront être connues de l'ouvrier qui fabriquera le bijou, du sertisseur et enfin du polisseur. Il sera recommandé de prévoir des griffes en or jaune pour les émeraudes de grande valeur et même, si possible, de l'or fin. Il ne faudra pas plonger l'émeraude dans un bain de rhodiage ou d'ultrasons, lors du nettoyage de la pièce. Il est donc indispensable que le sertisseur prévoie le préserti de la pierre afin qu'après le serti des brillants et le poli complet du bijou, il n'ait plus que les griffes à rabattre ou le martelé du serti clos. Le dernier coup de poli pour aviver les griffes doit se faire au tampon et non à la brossette qui peut rayer la pierre et arrondir les facettes de la pierre.

En vitrine, il ne faudra pas exposer l'émeraude sous des spots dégageant une forte chaleur. Enfin, pour la mise à grandeur ou pour des réparations ultérieures, il faudra se souvenir de ne jamais chauffer une émeraude d'où l'avantage des techniques récentes de soudure au laser. Si la pierre est vraiment sale, on pourra la nettoyer à l'eau chaude additionnée d'ammoniac, mais pas d'ultrasons et ne pas faire bouillir.

La beauté se mérite mais se protège.

N.B.: Certains passages de cet article ont été empruntés au Guide Grospiron et au dossier Planète réalisé par Anne de Tugny. A également participé : M. Yvan Stepanian, « grande main » lapidaire de Paris.

The rough stone

The relatively weak hardness of the Emerald Beryl explains that all the rough stones are extracted on the location of their crystallization, contrary to the corindons, the big part of which, not to say the main part, is composed of moved rough stones, found in alluvium, sometimes very far from the primary bed.

The colour

The colour is not homogeneous in most of the coloured stones. It must be « placed ». This first operation is very important. The future aspect of the stone depends on it. It entirely relies on the preparator's skill.

When preparing the stone, the cutter will have to make a very delicate choice to find the best global output: colour, sizes, purety.

The purity

A pure emerald is extremely rare. Its material contains frequently small inclusions without order which are named « garden ». When they are too numerous, they harm the transparency of the stone and the strength of its colour.

The preparation of the shape

It consists in sawing the rough and choosing the final shape of the stone: octogonal, oval, pearshape...

The saws which are used for this type of work must be very fine and well balanced.

The cut

The cutter can modify the colour of the stone by acting on the facets. A stone which is too dark gets lighter if he cuts a big table. On the contrary, a stone gets darker, if he cuts a small table and many facets.

Even if they equally look like, an « emerald cut » will be more expensive than an « oval cut ».

The polishing

Then, the stone will be polished. The selection of abrasives is very important.

The polishing is much more delicate than the cut. The outcrop of inclusions on the surface will let the polishing oil (blackened by the abrasion of diamond and tin) go in the stone.

Once cut and polished, the stone will be immersed in a last oil bath. Oils or certain kinds of very fluid resins which will be used, must be colourless of course.

Conclusion

The precautions taken when cutting and polishing should be known by the workers who will manufacture, set and polish the jewel. Notice is hereby given that the emerald should not be immersed in an ultrasounds bath; in the shop windows, the emerald shoukl not be exhibited under spots from which much warmth is given off. For further repairs, it must be kept in mind that an emerald should never be heated: the recent laser soldering is a great advantage in this respect.

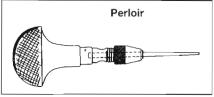
Le Sertissage des Émeraudes

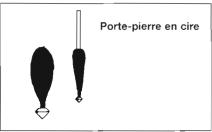
Sarkis Yozgadalian

🤊 opération du serti d'une émeraude quelle que soit sa forme ou son poids n'est pas un procédé comme les autres, il est assez différent en comparaison à celui appliqué au diamant, au rubis et au saphir, et cela à cause de la fragilité de ce cristal. L'utilisation des outils de serti comme les onglettes, échoppes, limes, fraises, perloirs, marteleurs ou autres nécessitent des usages délicats, précis ; des mouvements souples et harmonieux, autrement cela provoquerait à l'émeraude des rayures, des ébréchures et même des cassures. Toutes les techniques du serti classique et même le serti invisible ou mystérieux sont à nos jours applicables avec les émeraudes à condition de respecter scrupuleusement à chaque étape toutes les exigences de chaque technique.

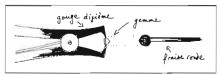
Le serti à grain

Ce procédé traditionnel très connu et très appliqué qui consiste à pousser des grains contre la pierre demeure la technique la plus utilisée notamment pour le serti des petits brillants ronds. Ce travail s'effectue avec quelques outils indispensables comme les fraises rondes, les gorges, les échoppes, les onglettes, les perloirs et la portepierre en cire d'abeille...



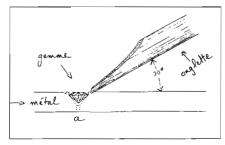


lère étape: A l'aide des fraises rondes correspondant aux diamètres des pierres, ajuster chaque gemme dans son logement percé approximativement au préalable par le joaillier-maquettiste. Les trous ne doivent en aucun cas se chevaucher, un espace nécessaire et régulier doit être laissé qui sera comblé par des grains.



Tenant compte de la fragilité des émeraudes, le serti direct appliqué avec les brillants ronds n'est pas tellement conseillé et cela par souci de minimiser les ébréchures et les casses. Alors chaque gemme qui a été ajusté sera posée à l'aide d'une porte-pierre à cire d'abeille sur une plaque recouverte de cire de façon à pouvoir les identifier, car elles n'ont pas tout à fait la même taille et le même diamètre.

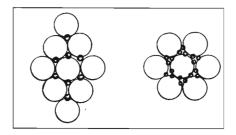
2ème étape: Des grains seront poussés vers les trous afin qu'ils puissent ultérieurement maintenir les pierres dans leurs logements.



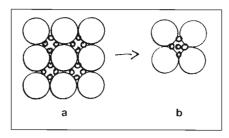
Les modes de serti à grains sont assez diversifiés, chaque bijou exige une technique particulière comme:
Le serti en bande à 2 grains par pierre
Le serti en bande à 5 grains par pierre
Le serti en bande à 6 grains par pierre
Le serti à grains dit « pavé »

N.B. : p]usieurs déclinaisons sont également possibles.

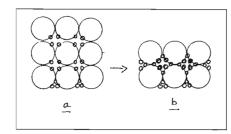
Sarkis YOZGADALIAN Maître-artisan en joaillerie



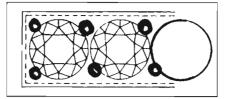
Serti à 2 et 3 grains « pavé ».



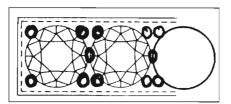
- a) Serti à 4 grains « pavé ».
- ■b) Serti à 4 grains+ 1 grain décor « pavé ».



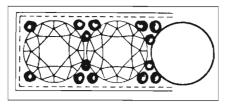
Serti à 4 grains + 1 grain décor « pavé ».



Serti à 2 grains.



Serti à 5 grains.



Serti à 6 grains.

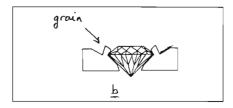
Le rapport des grosseurs des grains influe sur la beauté et la finesse du travail exécuté. Pour des gemmes de même grosseur, les grains seront tous de même grandeur et placés régulièrement à leur emplacement. Pour les pierres a grosseurs variées, les grandeurs des grains varieront aussi tout naturellement afin d'aboutir à une belle qualité de serti.

3ème étape : Elle consiste à dégager, à décrotter le métal à l'aide d'une onglette convenable, entre et autour des grains afin de les rendre nets et précis.

4ème étape: A l'aide d'une onglette à recoupe délimiter une pré-recoupe (un filet) en faisant une saignée. Bouler les grains à l'aide des perloirs tout en respectant les grandeurs des grains. Redégager les toutes petites bavures de métal qui peuvent apparaître après le perlé. Puis avec une onglette bien polie, retracer une recoupe définitive bien nette, précise, régulière et brillante ayant un angle qui varie entre 30 à 45 degrés.

5ème étape: Finalement reprendre chaque gemme et le poser dans son logement et pousser définitivement les grains contre les couronnes des pierres.

Après une dernière vérification à l'aide



d'une loupe diamantaire 10x, si cela semble nécessaire, retoucher le ou les tout(s) petit(s) défaut(s) et cela avec beaucoup de délicatesse.

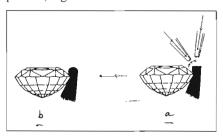
La belle couleur de l'émeraude se marie parfaitement avec l'or jaune. Pour le serti à grains, l'alliage utilisé est du 18 carat mou.

Le serti clos des émeraudes

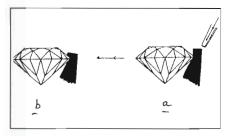
Ce procédé de sertissage très en vogue notamment depuis les années 80, convient parfaitement à toutes les formes et à toutes les tailles particulièrement aux grosses émeraudes utilisées comme joyau central d'un bijou précieux. Cette technique qui consiste à entourer le pourtour de la pierre par le métal précieux possède l'avantage de ne pas accrocher les tissus et assure la protection de la gemme fragile contre l'usure et les chocs. En haute joaillerie, l'alliage utilisé

est de l'or jaune situé entre 20 et 22 carat très proche de l'or fin, et cela par souci de faciliter la tâche du sertisseur. Ce procédé qui est assez différent par rapport au serti à grains, semble en apparence plus simple, mais en réalité les procédures exigent une connaissance et une maîtrise parfaites, car la finesse et la haute qualité du travail dépendent de la précision de l'ajustement et de la régularité du métal entourant la gemme. Lors de l'ajustage d'une taille carré, baguette, triangle, taille émeraude, navette ou ronde, il est conseillé de marquer à l'encre de chine ou au feutre sur une facette de la pierre, ainsi que sur la sertissure afin d'ajuster celle-ci dans la même direction. L'ajustage s'effectue à l'aide des échoppes, des onglettes, et des fraises. La pierre se reposera sur la portée taillée en biais dans le métal. Il n'est pas permis de laisser un jour entre l'émeraude et la sertissure car cela rendrait très difficile de rabattre convenablement du métal contre la gemme. Outre la précision de l'ajustage, I'observation à la loupe diamantaire 10x des inclusions, qui sont souvent des facteurs de fragilité, est nécessaire afin de minimiser toutes sortes de risques. A l'aide d'une porte-pierre en cire d'abeille, la pierre sera

horizontalement à la sertissure et sera maintenue à l'aide des copeaux (grains) poussés par une onglette fine presque à la hauteur du feuilletis. Lors du serti, il est conseillé de chauffer du ciment-sertisseur et de la pousser pour le coller à la culasse de l'émeraude, pour éviter que la ou les pierre(s) bouge(ent) lors du sertissage. Ce conseil est valable pour le serti des calibrés : baguettes, carrés et trapèzes. Le métal sera rabattu contre la pierre de l'extérieur vers l'intérieur à l'aide d'un maillet, marteleur mécanique. Le métal massé convenablement, la forme souhaitée sera donnée à la lime douce. puis adoucie au cabron et au meulette surtout sans toucher la gemme. Finalement à l'aide d'une échoppe bien polie, retoucher le biseau entre l'émeraude et le métal pour obtenir une recoupée nette, précise, régulière et brillante.



Serti clos en bourrelet dite «pneu».



Serti clos classique.

Quel immense plaisir et joie est fondé à ressentir un professionnel authentique et passionné dès la réussite de l'enchâssement de l'une des plus belles gemmes précieuses que la nature nous a offertes, sachant que par son art il a contribué à la mettre en valeur!

Une fois exposée en vitrine d'un grand joaillier, l'émeraude ne suscitera que des convoitises.

Bibliographie:

Sarkis Yozgadalian. Revue Française AFG n°128





La Rétrospective Bibliographique de l'Émeraude des Années 90

Gaston Giuliani

1990

BANK H., HENN U. (1990) - Further examinations on synthetic emerald overgrowths on colourless beryl seeds from Leichleitner. Can. Gemmol., 11, 2, 39-41.

BIONDI J.C. (1990) - Depósitos de esmeralda de Santa Terezinha (GO). Revista Brasileira Geociências, 20, 7-24.

CHAMBERLIN B. (1990) - Promotions are the name of the game - The Afghan Connection... Gemstones from Afghanistan. JQ Magazine, 31, 42-47.

FRITSCH E., ROSSMANN G.R. (1990) - New technologies of the 1980s: their impact in gemology. Gems and Gemology, 26, 1, 64-75.

GIULIANI G., D'EL-REY SILVA L.J., COUTO P.A. (1990a) - Origin of emerald deposits of Brazil. Mineral. Deposita, 25, 57-64.

GIULIANI G., RODRIGUEZ C.T., RUEDA F. (1990b) - Les gisements d'émeraude de la Cordillère orientale de Colombie : nouvelles données métallogéniques. Mineral. Deposita, 25, 105-111.

GRUBESSI O., AURISICCHIO C., CASTIGLIONI A. (1990) - The Pharaohs' forgotten emerald mines. J. Gemmol., 22, 3, 164-177.

HÄNNI H.A. (1990) - Les gemmes du groupe du béryl. Rev. Gemmologie A.F.G., 104, 8-12.

HOSAKA M. (1990) - Hydrothermal growth of gem stones and their characterization. Progress of crystal growth and characterization, 21, 71-96.

HUSSEIN A.A. (1990) - Mineral deposits. In: Rushdi Said, Ed., Beryl occurrences in Egypt. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 537-539.

KAMMERLING R.C., KOIVULA J.I., KANE R.E. (1990) - Gemstone enhancement and its detection in the 1980s. Gems and Gemology, 26, 1, 32-49.

KANE R.E. (1990) - Gem trade lab notes: emerald, with filled fractures. Gems and Gemology, 26, 1, 95-96.

KANIS J., HARDING R. (1990) - Gemstone prospects in Central Nigeria. J. Gemmol., 22, 4, 195-202.

NASSAU K. (1980) - Synthetic gem materials in the 1980s. Gems and Gemology, 26, 1, 50-63.

NWE Y.Y., GRUNDMANN G. (1990) - Evolution of metamorphic fluids in shear zones: the record from the emeralds of Habachtal, Tauern window, Austria. Lithos, 25, 281-304.

RINK W.J., GIELESSE P.J., PENDL H.S. (1990) - Coloration in electron-irradiated beryl. J. Gemmol., 22, 1, 33-37.

ROBERT D., FRITSCH E., KOIVULA J.I. (1990) - "Emeraldolite": a new synthetic emerald overgrowth on natural beryl. Gems and Gemology, 26, 4, 288-293.

SCHMETZER K. (1990) - Two remarkable Lechleitner synthetic emeralds. J. Gemmology, 22, 1, 20-32.

SCHMETZER K., KIEFERT L. (1990) - Water in beryl: a contribution to the separatibility of natural and synthetic emeralds by infrared spectroscopy. J. Gemmol., 22, 4, 215-223.

SCHWARZ D. (1990) - Die brasilianischen smaragde und ihre vorkommen: Santa Terezinha de Goiás/Go. Z. Deutsch. Gemm. Ges., 39, 1, 13-44.

SCHWARZ D., EIDT T., COUTO P.A. (1990) - The Brazilian emeralds and their occurrences: Socotó, Bahia. J. Gemmol., 22, 3, 147-163.

SHIGLEY J.E., DIRLAM D.M., SCHMETZER K., JOBBINS E. (1990) - Gem localities of the 1980s. Gems and Gemology, 26, 1, 4-31.

THEMELIS T. (1990) - Oiling emeralds. Cornerstone, July, 21-24.

THEMELIS T., FEDERMAN D. (1990) - A jeweler's guide to emerald oiling. Modern Jeweler, 89, 5, 64-69.

WARD F. (1990) - Emeralds. National Geographic, 178, 1, 38-69.

1991

BOSSHART G. (1991a) - Emeralds from Colombia (Parts 1, 2, 3). J. Gemmol., 22, 6, 355-361; 409-425; 500-503.

BOSSHART G. (1991b) - Les émeraudes de Colombie. Rev. Gemmologie A.F.G., 105, 106, 107; 13-16, 19-24, 7-11.

BOWERSOX G., SNEE L.W., FOORD E.E., SEAL II R.R. (1991) - Emeralds of the Panjshir valley, Afghanistan. Gems and Gemology, 27, 1, 26-39.

CAMPBELL C.C. (1991) - A report on one of a number of emeralds from Madagascar. South African Gemmol., 5, 1, 8-15.

CHEILLETZ A., FÉRAUD G., GIULIANI G., RODRIGUEZ C.T. (1991) - ⁴⁰Ar/³⁹Ar laser-probe dating of the Colombian emerald deposits: metallogenic implications. In: Pagel M., Leroy J., Ed., Proceedings of the 25 years SGA Anniversary, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 373-376.

D.N.P.M. (1991) - Principais depósitos minerais do Brasil : Gemas e rochas ornamentais. Schobbenhaus C., Queiros E.C., Silva Coelho C.E., Ed., Volume IV -Parte A, 461 p.

GRUNDMANN G. (1991) - Smaragd. Extra-Lapis, 1, Ch. Weise Ed., Verlag, Munich, Germany.

GRUNDMANN G., SCHÄFER W., HOFER H. (1991) - Smaragde aus der Kesseklamm, eine interessante neuentdeckung im Untersulzbachtal. Lapis, 16, 2, 37-46.

HENN U., BANK H. (1991) - Aussergewöhnliche smaragde aus Nigeria. Z. Deutsch. Gemm. Ges., 40, 4, 181-187.

KAMMERLING R.C., KOIVULA J.I., KANE R.E., MADDISON P., SHIGLEY J.E., FRITSCH E. (1991) - Fracture filling of emeralds: opticon and traditional «oils». Gems and Gemology, 27, 2, 70-85.

KANIS J., ARPS C.E.S., ZWAAN P.C. (1991) - «Machingwe»: a new emerald deposit in Zimbabwe. J. Gemmol., 22, 5, 264-272.

KEELING J-L. (1991) - Review of a new theory on emerald formation in schist-hosted deposits. Australian Gemmol., 17, 11, 439-442.

KIEFERT L., SCHMETZER K. (1991) - The microcoscopic determination of structural properties for the characterization of optical uniaxial natural and synthetic gemstones. Part 2. Examples for the applicability of structural features for the distinction of natural emerald from flux-grown and hydrothermally-grown synthetic emerald. J. gemmol., 22, 7, 427-438.

KLEYENSTÜBER A. (1991) - Observations in a Madagascar emerald and their possible implications. South African Gemmol., 5, 2, 4-9.

SANDERS I.S., DOFF D.H. (1991) - A blue beryl from southeast Ireland. Mineralogical Mag. 55, 167-172.

SCHMETZER K., BERNHARDT H.J., BIEHLER R. (1991) - Emeralds from the Ural Mountains, USSR. Gems and Gemology, 27, 2, 86-99.

SCHWARZ D. (1991a) - Australian emeralds. Australian Gemmol., 17, 12, 487-497.

SCHWARZ D. (1991b) - Die chemischen eigenschaften der smaragde II, Australien und Norwegen. Z. Deutsch. Gemm. Ges., 40, 1, 39-66.

SCHWARZ D. (1991c) - Die chemischen eigenschaften der smaragde III, Habachtal/Österreich und Uralgebirge/USSR. Z. Deutsch. Gemm. Ges., 40, 2/3, 103-143.

SHERNAKOV W.I., LASKOVENKOV A.F. (1991) - Grosse smaragdkristalle aus den gruben des Ural, USSR. Z. Deutsch. Gemm. Ges., 40, 4, 189-195.

SHERRIFF B., GRUNDY H.D., HARTMANN J.S., HAWTHORNE F., CERNY P. (1991) - The incorporation of alkalis in beryl: multi-nuclear mas NMR and crystal-structure study. Can. Mineral., 29, 271-285.

1992

FRITSCH E., MUHLMEISTER S., BIRKNER A. (1992) - A preliminary study of the Biron synthetic pink titanium-beryl. Australian Gemmol., 18, 3, 81-82.

GIULIANI G., SHEPPARD S.M.F., CHEILLETZ A., RODRIGUEZ C.T. (1992) - Contribution de l'étude des phases fluides et de la géochimie isotopique ¹⁸O/¹⁶O, ¹³C/¹²C à la genèse des gisements d'émeraude de la Cordillère orientale de Colombie. C. R. Acad. Sci., Paris, 314, Série II, 269-274.

GÜBELIN E., KOIVULA J. (1992) - Photoatlas of inclusions in gemstones. GIA Bookstore Publications, 2nd Edition, 532 p.

HÄNNI H. A. (1992a) - Blue-green emerald from Nigeria. Australian Gemmol., 18, 5, 16-18.

HÄNNI H.A. (1992b) - Identification des fissures traitées. Rev. Gemmologie A.F.G., 110, 10-12.

KELLER P.C. (1992) - Gemstones of East Africa. GIA Bookstore Publications, 160 p.

PEARSON G. (1992) - Torrington emerald. Australian Gemmol., 18, 2, 47-49.

PINET M., SMITH D., LASNIER B. (1992) - Utilité de la microsonde Raman pour l'identification non destructive des gemmes. Rev. Gemmologie A.F.G., N° Hors-série, 11-61.

SCHÄFER V.W., HENN U., SCHWARZ D. (1992) - Smaragde aus der Kesselklamm, Untersulzbachtal, Österreich : vorkommen und Eigenschaften. Aufschluss, 43, 231-240.

SCHWARZ D. (1992) - The chemical properties of Colombian emeralds. J. Gemmol., 23, 4, 225-233.

SCHWARZ D., HENN U. (1992) - Emeralds from Madagascar. J. Gemmol., 23, 3, 140-149.

SOUZA DE J.L., MENDES J.C., DA SILVEIRA BELLO R.M., SVISERO D.P., VALARELLI J.V. (1992) - Petrographic and microthermometrical studies of emeralds in the «Garimpo» of Capoeirana, Nova Era, Minas Gerais State, Brazil. Mineral. Deposita, 27, 161-168.

TAYLOR R.P., FALLICK A.E., BREAKS F.W. (1992) - Volatile evolution in archean rare-element granitic pegmatites: evidence from the

hydrogen isotopic composition of channel H_2O in beryl. Can. Mineral., 30, 877-893.

VIDAL PH., LASNIER B., POIROT J-P. (1992a) - Determination of the age and origin of emeralds using rubidium-strontium analysis. J. Gemmol., 23, 4, 198-200.

VIDAL PH., LASNIER B., POIROT J-P. (1992b) - Essais de datation et détermination de l'origine des émeraudes par la méthode rubidium-strontium. Rev. Gemmologie A.F.G., 110, 27-29.

1003

ARTIOLI G., RINALDI R., STHAHL K., ZANNI P.F. (1993) - Structure refinements of beryl by single-crystal neutron and X-ray diffraction. Am. Mineral., 78, 762-768.

BARROS J.G.C., BASKHARA RAO A. (1993) - Emerald deposits in Archean greenstone belts, Goiás, Brazil: geological framework and exploration guidelines. In: Maurice Y.T., Ed., Proceedings Eight IAGOD Symposium, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 719-725.

CHEILLETZ A., FÉRAUD G., GIULIANI G., RUFFET G. (1993) - Emerald dating through ⁴⁰Ar/³⁹Ar step-heating and laser spot analysis of syngenetic phlogopite. Earth Planet. Sci. Lett., 120, 473-485.

GIULIANI G., CHEILLETZ A., DUBESSY J., RODRIGUEZ C.T. (1993a) - Chemical composition of fluid inclusions in Colombian emerald. In: Maurice Y.T., Ed., Proceedings Eight IAGOD Symposium, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 159-168.

GIULIANI G., CHEILLETZ A., SHEPPARD S.M.F., ARBOLEDA C. (1993b) - Geochemistry and origin of the emerald deposits of Colombia. In: Fenoll Hach-Ali, Torres-Ruiz J., Gervilla F., Ed., Proceedings 2nd Biennal SGA Meeting, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 105-108.

GRUNDMANN G., MORTEANI G. (1993a) - «Smaragdminen der Cleopatra» : Zabara, Sikait und Umm Kabo in Ägypten. Lapis, 7-8, 27-39.

GRUNDMANN G., MORTEANI G. (1993b) - Emerald formation during regional metamorphism: the Zabara, Sikeit and Umm Kabo deposits (Eastern Desert, Egypt). In: Thorweihe, Schandelmeier, Ed., Geoscientific Research in Northeast Africa, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 495-498.

HEEN H., BANK H. (1993) - Synthetic emerald overgrowths on beryl crystals. Australian Gemmol., 14, 4, 102-103.

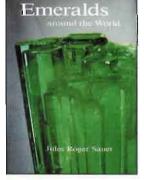
HUSSAIN S.S., CHAUDHRY M.N., DAWOOD H. (1993) - Emerald mineralization of Barang, Bajaur Agency, Pakistan. J. Gemmol., 23, 7, 402-408.

JENNINGS R.H., KAMMERLING R.C., KOVALTCHOUK A., CALDERON G.P., EL BAZ M.K., KOIVULA J.I. (1993) - Emeralds and green beryls of

Upper Egypt. Gems and Gemology, 29, 2, 100-115.

NWE Y.Y., MORTEANI G. (1993) - Fluid evolution in the H₂O-CH₄-CO₂-NaCl system during emerald mineralization at Gravelotte, Murchinson greenstone belt, Northeast Transvaal, South Africa. Geochim. Cosmochim. Acta, 57, 89-103.

SAÜER J.G. (1993) - Emeralds around the world. GIA Bookstore Publications, 160 p.



SCHMETZER K. (1993) - Radiation-induced colour change in natural and synthetic emerald. J. Gemmol., 23, 7, 402-408.

THOMAS A. (1993) - The emerald mines of Madagascar. South African Gemmol., 7, 3, 3-11.

WARD F. (1993) - Emeralds. GIA Bookstore Publications, 64p.

1994

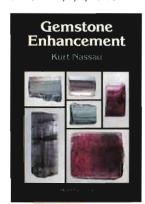
AURISICCHIO C., GRUBESSI O., ZECCHINI P. (1994) - Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group. Can. Mineralogist, 32, 55-68.

CHEILLETZ A., FÉRAUD G., GIULIANI G., RODRIGUEZ C.T. (1994) - Time-pressure-temperature formation of Colombian emerald: an ⁴⁰Ar/³⁹Ar laser-probe and fluid inclusion-microthermometry contribution. Econ. Geol., 89, 361-380.

FALLICK A.E. (1994) - The new treasure seekers. Nature, 369, 522-523.

GIULIANI G., ZIMMERMANN J-L., MONTIGNY R. (1994) - K-Ar and 40 Ar/ 39 Ar evidence for a Transamazonian age (2030-1970 Ma) for the granites and emerald-bearing K-metasomatites from Campo Formoso and Carnaíba (Bahia, Brazil). J. South Amer. Earth Sci., 7, 149-165.

HÄNNI H.A., KIEFERT L. (1994) - AGEE hydrothermal synthetic emeralds. JewelSiam. 5, 5, 80-85.



LASNIER B. (1994) - Les traitements des gemmes. Rev. Gemmologie A.F.G., 121, 13-14.

NASSAU K. (1994) - Gemstone enhancement. GIA Bookstore Publications, 216 p.

OTTAWAY T.L., WICKS F.J., BRYNDZIA LT., KYSER T.K., SPOONER E.T.C. (1994) - Formation of the Muzo hydrothermal emerald deposit in Colombia. Nature, 369, 552-554.

SCARRATT K. (1994) - Lab report : hydrothermal synthetic emerald. JewelSiam, 5, 1, 67-68.

SCHWARZ D. (1994) - Emeralds from the Manajary region, Madagascar: internal features. Gems and Gemology, 30, 2, 88-101.

USTINOV V. I., CHIZHIK O. Y. (1994) - Sequential nature of the formation of emerald and alexandrite in micaite-type deposits. Geochem. Int., 31, 115-118.

WEBSTER R. (1994) - Gems : their sources, description and identification. New 5th Edition Revisions. Read P.G., Ed., 1072 p.

1995

ANALUSIS MAGAZINE (1995) - La gemmologie, 23, 1, 9-54

BANKS D.A., YARDLEY B.W.D., GIULIANI G., CHEILLETZ A., RUEDA F. (1995) - Chemistry and source of the high temperature brines in the Colombian emerald deposits. In: Pasava J., Kribek B., Zak K., Ed., Proceedings Third Biennal SGA Meeting, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 557-560.

BOWERSOX G., CHAMBERLIN B. (1995) - Gemstones of Afghanistan. GIA Bookstore Publications, 240 p.

CASSEDANNE J.P. (1995) - Les émeraudes du Brésil. ABC Mines, 7, 26-35.

CHEILLETZ A., GIULIANI G., ZIMMERMANN J-L., RIBEIRO-ALTHOFF A.M. (1995) - Ages, geochemical signatures and origin of Brazilian and

Colombian emerald deposits: a magmatic versus sedimentary model. In: Pasava J., Kribek B., Zak K. Ed., Proceedings Third Biennal SGA Meeting, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 569-572.

GENG G.L., OU-YANG C.M. (1995) - How to identify hydrothermal synthetic emerald from China. Jewellery News Asia. 130, 92-94.

GIULIANI G., CHEILLETZ A., ARBOLEDA C., RUEDA, F., CARILLO V., BAKER J. (1995a) - An evaporitic origin of the parent brines of Colombian emeralds: fluid inclusion and sulfur isotopic evidence. Eur. J. Min., 7, 151-165.

GIULIANI G., CHEILLETZ A., RUEDA F., FÉRAUD G., FRANCE-LANORD C. (1995b) - The genesis of Colombian emerald deposits: an unique example of beryllium mineralization developed in a black shale environment. In: Pasava J., Kribek B., Zak K., Ed., Proceedings Third Biennal SGA Meeting, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 943-946.

GRUNDMANN G., MORTEANI G. (1995) - Ein neues vorkommen von smaragd, alexandrit, rubin und saphir in einem topas-führenden phlogopit-felds von Poona, Cue district, West Australien. Z. Deutsch. Gemm. Ges., 44, 2/3, 11-31

HÄNNI H.A., KIEFERT L. (1995) - Premières études sur les émeraudes synthétiques hydrothermales japonaises AGEE. Rev. Gemmologie A.F.G., 124, 9-12.

HODGKINSON A. (1995) - The Hanneman-Hodgkinson synthetic emerald filter. Canadian Gemmol., 16, 1, 18-22.

JARRY A. (1995) - Coscuez, mine d'émeraudes colombiennes. Rev. Gemmologie A.F.G., 123, 9-11.

LASKOVENKOV A.F., ZHERNAKOV V.I. (1995) - An update on the Ural emerald mines. Gems and Gemology, 31, 2, 106-113.

MARCHAND P. (1995) - Situation géologique des émeraudes de lanapera, province de Tuléar (Madagascar). Rev. Gemmologie A.F.G., 124, 13-16.

MARTIN-IZARD A., PANIAGUA A., MOREIRAS D. (1995) - Metasomatism at a granitic pegmatite-dunite contact in Galicia: the Franqueira occurrence of chrysoberyl (alexandrite), emerald, and phenakite. Can. Mineral., 33, 775-792.

RUSKONÉ E. (1995) - A propos des traitements. Rev. Gemmologie A.F.G., 123, 2-3.

SIRAKIAN D., RUSKONÉ E. (1995) - Etude comparative sur les principaux traitements de l'émeraude. Rev. Gemmologie A.F.G., 124, 6-8.

SOSSO F., PIACENZA B. (1995) - Russian hydrothermal synthetic emeralds: characterization of the inclusions. J. Gemmol., 24, 7, 501-507.

1996

ARIF M., FALLICK A.E., MOON C.J. (1996) - The genesis of emeralds and their host rocks from Swat, northwestern Pakistan: a stable-isotope investigation. Mineral. Deposita, 31, 255-268.

CHAROY B., DE DONATO P., BARRÈS O., PINTO-COELHO C. (1996) - Channel occupancy in an alkali-poor beryl from Serra Branca: spectroscopic characterization. Am. Mineral., 81, 395-403.

CHEILLETZ A., GIULIANI G. (1996) - The genesis of Colombian emeralds: a restatement. Mineral. Deposita, 31, 359-364.

DELBOS L., RANTOANINA M. (1995) - Les gisements d'émeraude et de saphir de Madagascar. Chronique Recherche Minière, BRGM, 525, 54-58.

FRANZ G., GILG. H.A., GRUNDMANN G., MORTEANI G. (1996) Metasomatism at a granitic pegmatite-dunite contact in Galicia: the Franqueira occurrence of chrysoberyl (alexandrite), emerald, phenakite: discussion. Can. Mineral., 34, 1329-1331.

FRITSCH E. (1996) - Chinese synthetics: The anonymous crowd. Jewelers' Circular-Keystone, 167, 3, 51-52.

GIULIANI G., CHEILLETZ A., RUEDA F. (1996) - La formation des gisements d'émeraudes de Colombie. ORSTOM Actualités, 50, 17-24.

HÄNNI H.A., KIEFERT L., CHALAIN J-P. (1996a) - How to identify fillings in emeralds using Raman spectroscopy. Jewellery News Asia, 154-156.

HÄNNI H.A., KIEFERT L., CHALAIN J-P., WILCOCK I.C. (1996b) - Ein Renishaw Raman mikroskop im gemmologischen labor : Erste Erfahrungen bei der Anwendung. Z. Deutsch. Gemm. Ges., 45, 2, 55-69.

ICA (1996) - « Emeraude », pierre de l'éternel printemps. Rev. Gemmologie A.F.G., 129, 10-11.

KOIVULA J.I., KAMMERLING R.C., DEGHIONNO D., REINITZ I., FRITSCH E., JOHNSON M.L. (1996) - Gemological investigation of a new type of Russian hydrothermal synthetic emerald. Gems and Gemology, 32, 1, 32-39.

LAUMONIER B., BRANQUET Y., LOPÈS B., CHEILLETZ A., GIULIANI G., RUEDA F. (1996) - Mise en évidence d'une tectonique compressive Eocène-Oligocène dans l'Ouest de la Cordillère orientale de Colombie, d'après la structure en duplex des gisements d'émeraude de Muzo et de Coscuez. C. R. Acad. Sci., Fr., 323, (II), 705-712.

LAURS B.M., DILLES J.H., SNEE L.W. (1996) - Emerald mineralization and metasomatism of amphibolite, Khaltaro granitic pegmatite hydrothermal vein system, Haramosh mountains, northern Pakistan. Can. Mineral., 34, 1253-1286.

MARTIN-IZARD A., PANAGUIA A., MOREIRAS D., ACEVEDO R.D., MARCOS-PASCUAL C. (1996) - Metasomatism at a granitic pegmatite-dunite contact in Galicia: the Franqueira occurrence of chrysoberyl (alexandrite), emerald, phenakite: reply. Can. Mineral., 34, 1332-1336.

PANJIKAR J., RAMCHANDRAN K.T., BALU K. (1996) - Nouveaux gisements d'émeraude de l'Inde. Rev. Gemmologie A.F.G., 128, 7-10.

RANOROSOA N. (1996) - Notes sur le gisement d'émeraude de Mananjary (Madagascar). Rev. Gemmologie A.F.G., 127, 4-5.

SCHMETZER K. (1996) - Growth method and growth-related properties of a new type of russian hydrothermal synthetic emerald. Gems and Gemology, 32, 1, 40-43.

SCHWARZ D., KANIS J., KINNAIRD J. (1996) - Emerald and green beryl from central Nigeria. J. Gemmol., 25, 2, 117-141.

1997

CASSEDANNE J., LE CLÉACH J-M., LEBRUN P. (1997) - Béryls. Minéraux et Fossiles, Hors-série n°5, 99p.

CHEILLETZ A., GIULIANI G., BRANQUET Y., LAUMONIER B., SANCHEZ A.J.M., FÉRAUD G., ARHAN T. (1997) - Datation K-Ar et ⁴⁰Ar/³⁹Ar à 65 ± 3 Ma des gisements d'émeraude du district de Chivor-Macanal : argument en faveur d'une déformation précoce dans la Cordillère Orientale de Colombie. C. R. Acad. Sci., 5, 324, 369-377.

CHEILLETZ A., GIULIANI G. (1997) - Comment se forment les émeraudes. La Recherche, 303, 48-52.

GIULIANI G., CHEILLETZ A., ZIMMERMANN J-L., RIBEIRO-ALTHOFF A.M., FRANCE-LANORD C., FÉRAUD G. (1997a) - Les gisements d'émeraude du Brésil : genèse et typologie. Chronique Recherche Minière, BRGM, 526, 17-60.

GIULIANI G., FRANCE-LANORD C., ZIMMERMANN J-L., CHEILLETZ A., ARBOLEDA C., CHAROY B., COGET P., FONTAN F., GIARD D. (1997b) - Composition of fluids, δD of channel H_2O and $\delta^{18}O$ of lattice oxygen in beryls : genetic implications for Brazilian, Colombian and Afghanistani emerald deposits. Intern. Geol. Review, 39, 400-424.

HÄNNI H.A., KIEFERT L., CHALAIN J-P., WILCOCK I.C. (1997) - A Raman microscope in the gemmological laboratory: first experiences of application. J. Gemmol., 25, 6, 394-406.

MARCOS-PASCUAL C., MOREIRAS, D.B. (1997) - Characterization of alexandrite, emerald and phenakite from Franqueira (NW Spain). J. Gemmol., 25, 5, 340-357.

RUSKONÉ E. (1997a) - La mine d'émeraude de Belmont, à Itabira. Rev. Gemmologie A.F.G., 132, p.29.

RUSKONÉ E. (1997b) - Le congrés d'ICA. Rev. Gemmologie A.F.G., 132, 4-6.

SCHMETZER K., KIEFERT L., BERNHARDT H-J., BEILI Z. (1997) - Characterization of chinese hydrothermal synthetic emerald. Gems and Gemology, 33, 4, 276-291.

SECHOS B. (1997) - Identifying characteristics of hydrothermal synthetics. Australian Gemmologist, 19, 9, 383-388.

SINKANKAS J. (1997) - Gemstones of North America. GIA Bookstore Publications, Vol. III, 526 p.

ZIMMERMANN J-L., GIULIANI G., CHEILLETZ A., ARBOLEDA C. (1997) - Signification of fluids in channels of Colombian emeralds. A mass spectrometry study. Intern. Geol. Review, 39, 425-437.

ZWAAN J.C., KANIS J., PETSCH J. (1997) - Update on emeralds from the Sandawana mines, Zimbabwe. Gems and Gemology, 33, 2, 80-101.

Quelques Points de Repères...

Bernard Charoy (BC), Alain Cheilletz (AC), Gaston Giuliani (GG)

Géologie et Gemmologie de l'émeraude

Bowersox G. et al. (1991) - Un des rares documents accessible sur les gisements d'émeraude de la vallée du Panshir en Afghanistan. Les conditions d'accès difficile et les troubles politiques actuels rendent toute description scientifique de ces gisements illusoire. Outre une superbe iconographie (et une carte de localisation approximative des mines), quelques données intéressantes peuvent être retenues de cet article. Tout d'abord, ces gisements sont correctement resitués dans leur contexte géologique, le long d'une zone de suture de la mosaïque de plaques constituant l'actuel Afghanistan. Ils sont encaissés dans des séries métasédimentaires, d'âge paléozoïque probable, intrudées par des séries de filons de roches plutoniques. L'émeraude se trouve associée à des zones d'altération hydrothermale des roches sédimentaires avec phlogopite, albite, quartz, tourmaline et pyrite. L'origine des minéralisations est débatue mais les auteurs ne tranchent pas entre les modèles " magmatistes " ou " zone de cisaillement profond". Parmi les données gemmologiques, on retiendra les caractéristiques physiques et quatre analyses chimiques des cristaux ainsi qu'une bonne description des fameuses inclusions fluides multiphasées, avec cubes de halite notamment. D'originales figures de corrosion à la surface des cristaux d'émeraude et des cristaux en forme de nodule sont également reportés. Cet article fourni également des données intéressantes et inédites sur la production, la taille et la commercialisation des exceptionnelles émeraudes du Panshir.

Mots clés : Afghanistan, Panshir, zone de suture, inclusion fluide, corrosion, nodules.

AC

Schmetzer K. et al. (1991) - L'étude gemmologique, spectroscopique et chimique de 100 émeraudes d'Oural facetées et triées à partir d'un lot de plus de 1000 pierres. Les cristaux ont des dimensions variant entre 0.5 et 8.0 carats. Leurs caractéristiques physiques ne permettent pas de distinguer les

émeraudes d'Oural et de nombreuses pierres ne présentent pas de zonation de couleur. La cristallochimie des émeraudes d'Oural obéit aux lois de substitution déjà établies pour les autres exemples dans le monde. Les inclusions solides les plus abondantes sont les phlogopites dont les auteurs fournissent, ce qui est rare, une série d'analyses chimiques obtenues à la microsonde électronique et en analyses chimiques par voie humide. Les inclusions fluides à trois phases sont aussi présentes, bien que moins fréquentes que dans les émeraudes de Colombie. Cependant, l'homogénéité du remplissage de ce type d'inclusion n'est pas discutée, ce qui rend ce critère d'identification difficile à utiliser. Le fait le plus original de cet article est l'établissement d'une chronologie des différents type d'inclusions fluides qui pourrait servir de base à des investigations plus poussées dans ce domaine. En conclusion, une pierre sans caractéristiques très tranchées, donc difficile à identifier.

Mots clés : Russie, Oural, microsonde électronique, phlogopite, inclusions fluides.

AC

Schwarz D. (1994) - Cet article complète les données gemmologiques déjà publiées sur l'émeraude du gisement de Mananiary (Madagascar) par Schwarz et Henn (1992). L'auteur présente un inventaire des inclusions observées dans l'émeraude et le compare à celui établi pour les autres gisements africains. La plupart des inclusions solides identifiées sont identiques à celles rencontrées dans les émeraudes des gisements de type pegmatite: tourmaline, quartz, phlogopite, amphibole, plagioclase, béryl, chlorite, molybdénite, pyrite et baryte. Cependant, une association minérale caractéristique est définie à Mananjary : talc-carbonates (calcite et ankérite)-actinote et trémolite-quartz. Le talc est considéré comme un minéral index même si on le rencontre également dans les inclusions de Sandawana et de Machingwe (Zimbabwe), de Santa Terezinha et d'Itaberaí (Brésil) et de Swat (Pakistan). Les inclusions fluides primaires sont de forme rectangulaire. Généralement, elles sont biphasées (phases Liquide + Vapeur) mais parfois triphasées (H₂O, CO_{2Liquide}, CO_{2Vapeur}). Les inclusions fluides sont comparables à celles observées dans les émeraudes du district de Ndola (Zambie) et des mines brésiliennes de Belmont et de Capoeirana (Etat de Minas Gerais).

Mots clés : Madagascar, Mananjary, inclusions, talc, actinote, fluides triphasés à CO₂.

GG

Martin-Izard A. et al. (1995) -Franqueira en Galice est le premier exemple d'un gisement à chrysobéryl, émeraude et phénakite gemmes de l'Europe occidentale associé à des pegmatites granitiques recoupant un petit massif de dunites et de roches gabbroïques associées. La description géologique détaillée du gisement est appuyée par des analyses chimiques éléments majeurs et traces des principaux minéraux de la gangue, dont la phlogopite et la trémolite, ainsi que des trois gemmes. Une étude des inclusions fluides de l'émeraude met en évidence plusieurs générations de fluides complexes, dont une génération tardive sans relation avec le processus minéralisateur. Un point intéressant est la présence de CH4 dans ces inclusions ce qui est relativement fréquent dans l'émeraude (signalée dans les gisements d'Habachtal, Gravelotte, Canaíba, Socotó, Santa Terezinha par exemple) et ne permet donc pas de distinguer Franqueira des autres gisements du monde. Le modèle métasomatique dans le cadre de la réaction des fluides issus des pegmatites avec leur encaissant ultrabasique développé par les auteurs est tout à fait convaincant. Ceux-ci répondent, d'ailleurs de façon pertinente, à un commentaire de Franz et al. (1996) qui proposent un rapprochement génétique de Franqueira avec le gisement d'Habachtal (Martin-Izard et al., 1996).

Mots clés : Espagne, Galice, Franqueira, pegmatite, dunite, métasomatose, chrysobéryl, phénakite.

AC

Cheilletz A. et Giuliani G. (1996) - Cet article propose un nouveau modèle pour la genèse des émeraudes colombiennes et rediscute le modèle présenté par Ottaway et al. (1994) sur la mine de Muzo. Les gisements colombiens se localisent dans des schistes noirs (SN) du Crétacé inférieur, sur les flancs est et ouest de la Cordillère Orientale, et l'émeraude est contenue dans des veines à carbonates et pyrite. L'âge des gisements de la zone orientale est de 65 Ma, et celui de la zone occidentale est compris entre 38 et 32 Ma. Le modèle de formation des gisements comporte deux stades : 1) le stade 1 qui est défini par des plans de décollement formés dans la série des SN et qui ont permis l'infiltration des fluides hydrothermaux ainsi que le développement d'une métasomatose alcaline; 2) le stade 2 qui est marqué par des brèches tectoniques hydrothermales associées au développement de failles dans la zone orientale, de chevauchements et de plis de rampe dans la zone occidentale. Ce stade se caractérise par la formation de réseaux de veines en extension et de brèches hydrauliques à remplissage de carbonates, pyrite, silicates, bitume et enfin de l'émeraude dans des cavités géodiques. Les températures minimales de piégeage des fluides du stade 1 sont évaluées à 150-200°C; celles associées au stade 2 et à l'émeraude à 300°C. Les fluides possèdent des salinités comprises entre 24 et 40% poids équivalent NaCl et une composition du type H₂O-NaCl-CaCl₂-KCl-CO₂-N₂. Les rapports Na-Cl-Br montrent que les fluides ont dissous des évaporites (Cl/Br>10,000). L'études des isotopes stables (C,O) du quartz et des carbonates des stades 1 et 2 met en évidencela contribution d'eaux de bassin lesquelles, à 300°C, doivent être plutôt appelées eaux métamorphiques. Les rapports ³⁴S/³²S des pyrites donnent une origine évaporitique avec interaction de la matière organique contenue dans les SN. Cette réaction produit d'importantes quantités de HCO3- lesquels par interaction avec le fer et le calcium contenus dans le fluide conduit à la précipitation des carbonates. D'autre part, le bitume et l'émeraude se déposent dans les veines au cours de cette réaction hydrothermale. Ce modèle géochimique renouvèle radicalement les idées et les modèles admis sur ces gisements depuis des décennies et montre que les associations génétiques classiques notamment émeraude-pegmatite-granite doivent être utilisés avec précaution.

BC

Laurs B. M. et al. (1996) - A ce jour, une des meilleures description et interprétation d'un gisement d'émeraude comprenant à la fois les aspects géologiques, géochronologiques, minéralogiques et géochimiques. Le gisement de Khaltaro, au Pakistan est le plus jeune gisement d'émeraude du monde puisque sa datation par ⁴⁰Ar/³⁹Ar a donné un âge de 9.13 ± 0.04 Ma. 11 est constitué par des filons de pegmatites à muscovite, tourmaline et béryl recoupant des amphibolites altérées en trois zones symétriques de part et d'autre des filons de pegmatite. L'émeraude cristallise en association avec quartz, tourmaline et albite dans la pegmatite même ou au contact avec l'amphibolite altérée en biotite, tourmaline et fluorine. La composition chimique en éléments majeurs et traces de toutes ces phases, avec notamment les teneurs en Cr et Fe des émeraudes est fournie dans des tableaux très détaillés. La composition chimique des amphibolites, micaschistes et leucogranites constituant l'encaissant des minéralisations est également présentée et discutée dans leur cadre géologique à l'aide notamment de 4 cartes géologiques à différentes échelles. Les données isotopiques de l'oxygène confirment l'origine magmatique des fluides minéralisateurs dont la température est comprise entre 550 et 400 °C. La formation de l'émeraude obéit à un processus métasomatique classique qui résulte de l'introduction de ces fluides magmatiques, riches en ions HF dans les amphibolites, y provoquant une métasomatose H+ et la mobilisation du chrome et du fer nécessaires à la formation de l'émeraude dans les pegmatites.

Mots clés: Pakistan, Khaltaro, pegmatite, leucogranite, amphibolite, métasomatose, fluorite, tourmaline.

A(

Schwarz D. et al. (1996) - Il s'agit de la première contribution gemmologique sur les émeraudes du Nigeria. Les inclusions solides caractéristiques de ce gisement de type pegmatite (relié à l'intrusion de granites alcalins) sont : albite, fluorite, boldyrevite (NaCaMgAl₃F₁₄ . 4H₂O), Ralstonite (Na_x Al_{2-x} Mgx, (F,OH)₆. H₂O), silicates fluorés, annite, ilménite et monazite. Les inclusions fluides primaires sont multiphasées (vapeur, liquide et solides) mais très souvent triphasées (vapeur, liquide et cubes de sel) et ressemblent aux inclusions fluides piégées par les émeraudes colombiennes. Cependant, les spectres IR des émeraudes nigériennes montrent les bandes d'absorption du Cr3+, Fe²⁺ et Fe³⁺. Ils se différencient ainsi des spectres des émeraudes colombiennes lesquels sont dépourvus des bandes d'absorption du fer.

Mots clés: Nigeria, inclusions, fluorite, boldyrevite, ralstonite, inclusions fluides triphasées à cubes de sel.

GC

Giuliani G. et al. (1997a) - Cet article est une synthèse très complète des données pétrologiques, structurales, géochimiques, isotopiques et chronologiques les plus récentes sur les gisements d'émeraudes brésiliens. Classiquement, le type génétique brésilien (par opposition au type colombien) est caractérisé par la présence de roches ultrabasiques métamorphisées (talcschistes), transformées en phlogopitites au contact de veines granitiques ou pegmatitiques. Ces roches métasomatiques contiennent les émeraudes. Le modèle présenté ici est bien plus complexe; il est contraint par les bilans chimiques, la nature des fluides hydrothermaux responsables, la signature isotopique des éléments stables ¹⁸O, ³⁴S, ²D des roches encaissantes, des métasomatites et des différentes phases de la paragenèse minéralisée. Plusieurs types génétiques peuvent être distingués, à partir d'arguments variés mais convergents. Les perspectives de trouver d'autres gisements sont grandes, maintenant que les modèles génétiques, jusqu'ici empiriques, sont maintenant scientifiquement établis.

Mots clés : Emeraude, Brésil, modèle génétique, métasomatose, signature isotopique.

Zwaan J.C. et al. (1997) - Le gisement d'émeraude de Sandawana au Zimbabwe a été découvert en 1956. Géologiquement, il est situé à proximité d'une zone de cisaillement crustal qui sépare le craton du Zimbabwe de la ceinture mobile du Limpopo. Une situation qui n'est pas sans rappeler les gisements d'émeraude du plateau du Goiás au Brésil (Santa Terezinha) eux aussi associés, comme au Zimbabwe, à d'importantes minéralisations d'or. Outre une intéressante introduction historique, cet article fait le point sur les techniques utilisées à Sandawana dans les domaines de l'exploration, de l'exploitation et du traitement du minerai, en insistant particulièrement sur l'aspect sécurité, très important dans ce type de produit. Le modèle génétique du gisement, formé au contact de filons de pegmatite et d'une ceinture de roches vertes (greenstone belt), est bien établi. Par contre, la discussion sur l'âge de formation des émeraudes à 2600 Ma n'est pas très bien étayée, cet aspect méritant des éclaircissements complémentaires. Les caractéristiques gemmologiques sont bien définies, l'article mettant particulièrement l'accent sur l'originalité des émeraudes de Sandawana, leur contenu en inclusions solides d'amphibole (actinolite et cummingtonite) en aiguilles très caractéristiques. Phlogopite, beaucoup moins fréquents que dans les autres gisements de ce type, albite et apatite sont également présentes. Une caractéristique notable semble être la présence de bandes de déformations dans les cristaux d'émeraude, qui pourraient être associées à des nuages d'inclusions fluides décrépitées, peut-être traces de déformations subséquentes à la formation du gisement. Une étude géologique détaillée permettrait d'éclaireir ce point important. Les diagrammes chimiques de corrélation Al₂O₃/cations compensateurs ne permettent pas de distinguer les émeraudes du Zimbabwe de celles d'Autriche, du Pakistan ou de Madagascar par exemple. La nature des inclusions solides (les fameuses aiguilles d'amphibole) semble être une caractéristique beaucoup plus déterminante.

Mots clés: Zimbabwe, Sandawana, pegmatite, ceinture de roches vertes, or, exploitation, valorisation, amphibole.

AC

Synthèses et traitements des émeraudes

Schmetzer K., Kiefert L.(1990) - Les spectres d'absorption IR obtenus sur des émeraudes naturelles et synthétiques sont comparés dans le domaine des modes de vibration de OH et H₂O (3500 à 3800 cm⁻ 1). Ils permettent de définir 5 groupes. Le groupe 0 représente les émeraudes synthétisées par la méthode du flux. Le groupe I regroupe les émeraudes synthétisées hydrothermalement à partir d'un milieu dépourvu d'alcalins. Le groupe II regroupe les émeraudes naturelles pauvres en alcalins (Colombie, Nigéria), de même que les émeraudes synthétisées hydrothermalement à partir d'un milieu pauvre en alcalins (commercialisées en Russie). Les groupes III et IV représentent les émeraudes naturelles moyennement ou très riches en alcalins. A l'exception du groupe II pour lequel il y a un recouvrement des propriétés spectroscopiques, les émeraudes naturelles et synthétiques des autres groupes sont parfaitement identifiables à partir de l'examen et de la comparaison de l'intensité de 3 bandes d'absorption : A à 3694 cm⁻¹, B à 3592 cm⁻¹ et C à 3655 cm⁻¹.

Mots clés : béryl, eau moléculaire, émeraudes naturelles et synthétiques, classification chimique, spectrométrie IR.

BO

Kammerling R. C. et al. (1991) - Cet article alerte déjà les négociants, les mineurs et les producteurs du problème majeur posé par le remplissage des fractures des émeraudes (indice de réfraction (IR) compris entre 1.577 et 1.583), notamment en Colombie. Historiquement, les fractures étaient colmatées par de l'huile de cèdre (1R = 1.512) et du baume du Canada (IR = 1.520). Depuis 1990, des résines époxy sont signalées sur le marché : la plus populaire est l'Opticon (IR = 1.545). D'ailleurs, en 1988, l'Opticon était déjà utilisée par les mineurs brésiliens de Santa Terezinha de Goiás. L'Opticon possède un indice de réfraction qui se rapproche de celui de l'émeraude, en améliorant la « clarté apparente » de la gemme. Ce produit peutêtre détecté par une observation fine sous le microscope en utilisant diverses techniques d'éclairage. Les auteurs signalaient aussi, sur le marché colombien, la présence de substances combinées comme le « Fluid Epoxy Resin Emeralds » ou «Filled emeralds » ou encore « Huile de Palme » avec un IR de 1.57.

Mots clés : Colombie, traitements, huiles, opticon, indice de réfraction.

GG

Hänni H. A., Kiefert L. (1995) - L'expertise gemmologique des émeraudes synthétiques hydrothermales japonaises AGEE, basée sur des déterminations gemmologiques traditionnelles (IR, densité,...), des analyses chimiques par fluorescence X et des spectres dans le visible et le proche infrarouge, laisse à penser que les émeraudes AGEE vendues par A.G. Japan Ltd sont en réalité des émeraudes synthétiques, de basse qualité, produites par Biron en Australie.

Mots clés: Synthèse hydrothermale, Japon, émeraude AGEE, expertise, émeraude Biron.

GG

Koivula J. I. et al. (1996) - Cet article aborde les caractéristiques gemmologiques d'une nouvelle émeraude de synthèse hydrothermale appelée Tairus. Fabriquée à Novosibirsk (Sibérie) par le groupe Tairus, cette émeraude est apparue sur le marché international à Bangkok, en 1993. Les pro-

priétés optiques et physiques (IR, biréfringence, densité, fluorescence, réaction au filtre de Chelsea, spectres d'absorption) se confondent avec celles établies pour les émeraudes naturelles et les autres émeraudes de synthèse hydrothermales russes. La spectroscopie infrarouge permet de retrouver les pics d'absorption de l'eau à 3230, 3510, 3825 et 3910cm-1 présents également dans les émeraudes naturelles. Cependant, des bandes d'absorptions caractéristiques de l'émeraude Tairus sont définies par des pics à 2235, 2320 et 2240cm-1, à 2358cm-1 ainsi que par un épaulement d'un pic à 4052 cm⁻¹. D'autre part, les auteurs signalent la présence de minuscules inclusions de couleur brunes à rouges, non identifiées, et observées uniquement dans ce type d'émeraude. De plus, la gemme se distingue des autres émeraudes hydrothermales russes par l'absence de zones de croissance en chevron. Les analyses en fluorescence X ont révélé la présence de traces de chrome, de potassium, de calcium, de titane, de nickel et de cuivre.

Mots clés: Synthèse hydrothermale, Russie, émeraude Tairus, spectroscopie IR, fluorescence X.

GG

Ruskoné E. (1997) - Cet article traite du rapport général et des grands thèmes développés au cours du septième congrés de l'International Colored Gemstone Association, à Belo-Horizonte au Brésil (13-17 juillet 1997). Ce rapport est fondamental car il rappelle la volonté commune des producteurs de gemmes et notamment d'émeraudes d'établir une norme de classification des gemmes pour le producteur et le consommateur. En outre, il signale la situation préoccupante qui existe dans les pays d'extraction et le souci des producteurs face à la désaffection des marchés de l'émeraude notamment aux Etats-Unis, au Japon et en Europe. Trop de traitements, trop d'excés, trop d'abus! Les principales décisions prises face à cette situation catastrophique est l'adoption quasiment à l'unanimité, d'une classification internationale de tous les traitements actuels. Trois nomenclatures ont été définies : - Not enhanced/not treated (N) e.g., Non amélioré/non traité; - Enhanced (E) e.g., Amélioré; - Treated (T) e.g., Traité.

En conclusion, nous souhaitons que cette classification soit appliquée par tous les corps de métier liés à l'émeraude.

Mots clés : Congrés, ICA 97, gemmes, traitements, nomenclature internationale.

GG

Schmetzer et al. (1997) - Depuis 1987, les premières émeraudes chinoises de synthèse hydrothermale sont fabriquées à Guilin dans la Province du Guangxi (Geng et Ou-Yang, 1995; Fritsch, 1996). Actuellement, elles sont vendues sous l'appellation GJLemerald (Guangxi Jewellery Limited). L'article précise les conditions expérimentales de synthèse de l'émeraude (585< T <625°C; P = 4.5 kb) et définit ses caractéristiques gemmologiques (1), minéralogiques (2), chimiques (3) et spectroscopiques (4) : - (1), elles sont identiques à celles obtenues sur la plupart des émeraudes de synthèse hydrothermale (appauvries ou dépourvues en fer); (2), les zones de croissance et de couleur sont parallèles au germe cristallin (béryl ou émeraude) qui forme des angles de 20, 33 ou 40° avec l'axe c du cristal (propriété exclusive). Deux types d'inclusions solides sont signalées : + spicules à forme de cônes parallèles à l'axe c et développés à partir d'une inclusion solide de chrysobéryl ou de béryl, développée à la base du germe cristallin; + aiguilles perpendiculaires au plans de croissance du cristal. Les inclusions fluides sont monophasées ou biphasées. Les inclusions solides sont le chrysobéryl, le béryl et l'or (provenant des parois de la capsule expérimentale); (3), les teneurs en traces (% poids) sont : $0.49 < Cr_2O_3 < 1.05$; 0.67 <CI < 0.7I; F = 0.04; Na et Fe = 0%; l'eau structurale = 0.85%; (4) la spectroscopie infra-rouge réalisée suivant des plans de polarisation parallèle ou perpendiculaire à l'axe c permet de retrouver les pics d'absorption de l'eau entre 3500-4000cm-1 et 5000-5500cm⁻¹. Des bandes d'absorptions caractéristiques de l'émeraude chinoise sont définies par des pics compris entre 2500 et 3100cm⁻¹ dont l'intensité et la position varient en fonction de la polarisation. Ces bandes se retrouvent aussi dans les émeraudes de fabrication Biron, Linde et Regency qui contiennent du chlore dans leur structure.

Mots clés : Synthèse hydrothermale, Chine, GJL-emerald, germe cristallin, chlore, spectres IR.

GG

Les techniques analytiques appliquées au béryl et à l'émeraude

Sherriff B. et al. (1991) - Les spectres de RMN enregistrés sur des béryls ± riches en alcalins pour ²⁹Si, ²⁷Al, ²³Na, ⁹Be et ⁷Li permettent de préciser l'organisation tridimensionnelle (nature et position des cations

proches voisins) et de quantifier la longueur des liaisons cation-O. Tous les sites sont interdépendants et les différentes substitutions modifient de manière spécifique le champ cristallin agissant sur les oxygènes pontants et non pontants des tétraèdres SiO₄ des anneaux hexagonaux. Li est non seulement en position de substitution du Be, mais également, du moins dans les béryls riches en alcalins, peut être localisé dans les canaux structuraux. La différence de taille des 2 sites 2a et 2b dans les canaux conduit à localiser Na dans 2a (le +petit) et H₂O dans 2b (de même que Li et Cs). La conclusion est que Na est associé à 2 groupes H₂O dans les canaux.

Mots clés: béryl, structure, spectrométrie RMN, alcalins intra-canaux.

BC

Artioli G. et al. (1993) - La structure cristalline du béryl a été détaillée à l'aide de nouvelles données par diffractométrie de neutrons et RX sur 2 échantillons de béryl (morganite: 0.212 Na, 0.324 Li, 0.083 Cs, 0.53 H₂O et aigue-marine : 0.016 Na, 0.06 Fe, 0.28 H₂O) présentant des teneurs en H₂O et alcalins contrastées, de manière à élucider le problème de leur localisation réelle dans les canaux. La diffraction des neutrons a été effectuée à 295 et 30°K pour la morganite, les autres résultats ont été obtenus à la température ambiante. La spectrométrie IR (méthode de la pastille KBr) a également été utilisée. Les 2 sites possibles, 2a (0,0,1/4) et 2b (0,0,0) sont différemment occupés en fonction du chimisme du minéral. A cause de sa taille, Cs est obligatoirement logé dans le site 2a le plus large. Na est logé dans le site 2b et est encadré (liaison hydrogène) par 2 moles de H₂O localisées dans les 2 sites 2a adjacents. On peut considérer l'espèce solvatée Na(H₂O)₂. Si le minéral est anhydre ou presque, Na et le peu de H2O seront préférentiellement localisés dans les sites 2a, le site 2b restant vacant. L'orientation des moles de H₂O correspondent bien aux 2 types reconnus antérieurement par spectroscopie IR : le type I présent dans les sites 2a pour les béryls faiblement alcalins.

Mots clés: béryl, diffraction neutronique, structure, sites intra-canaux, eau moléculaire, alcalins.

BC

NweY.Y. et Morteani G. (1993) - Cet article constitue un exemple d'application des techniques d'étude des inclusions fluides (microthermométrie et spectrométrie Raman) piégées par les minéraux notamment l'éme-

raude. Les auteurs mettent en évidence dans les émeraudes de Gravelotte (Cobra pit, Afrique du Sud), le piégeage de quatre types d'inclusions fluides appartenant au système chimique H₂O-CH₄-CO₂-NaCl. L'utilisation de la microsonde Raman a mis en évidence dans la phase gazeuse, la présence d'autres constituants comme C₂H₆, N₂ et H₂S. Les fluides précoces contiennent jusqu'à 18 mole% de CH₄ et ils possèdent une salinité inférieure à 6% poids équivalent NaCl. Ces fluides ont été piégés à des températures comprises entre 500-450°C et à des pressions de 4 kbars. La circulation des fluides tardifs se matérialisent par le piégeage d'inclusions fluides aqueuses et à forte salinité (38% poids équivalent NaCl). A température ambiente, elles sont triphasées et elles possèdent un cube de sel. Les auteurs concluent que la présence de CH₄ dans les fluides n'est pas compatible avec un système fluide en équilibre avec des pegmatites mais plutôt avec des fluides hydrothermaux très alcalins. Les fluides tardifs à cubes de sel sont reliés à un épisode de métamorphisme régional. Cette corrélation métamorphisme génétique émeraude était déjà évoquée dans l'article de Nwe et Morteani (1990), à propos de la genèse de l'émeraude d'Habachtal (Autriche), et avancée également comme modèle génétique pour la formation des émeraudes égyptiennes (Grundmann et Morteani, 1993) et de Franqueira (Espagne; voir les discussions de Franz et al., 1996 et de Martin-Izard et al., 1996). N'oublions pas que les fluides peuvent être d'origine métamorphique sans être pour autant reliés à un métamorphisme régional. Leur circulation peut être simplement reliée au fonctionnement de zones de cisaillements qui recoupent la crôute continentale (cas du gisement brésilien de Santa Terezinha de Goiás; Giuliani et al., 1997a).

Mots clés: Afrique du Sud, Gravelotte, inclusions fluides, spectrométrie Raman, fluides carboniques, cubes de sel, métamorphisme.

GG

Aurisicchio C. et al. (1994) - De nouvelles analyses et un affinement de la structure ont été effectués sur des béryls d'origines et de compositions différentes. Ces nouvelles études confirment la nature et le type des substitutions tétraédriques (Be) et octaédriques (Al). Ces substitutions conditionnent l'introduction d'alcalins dans les canaux structuraux (sites 2a entre les anneaux de tétraèdres), alors que H₂O est préférentiellement logé dans les sites 2b (au niveau

des anneaux). L'importance de ces substitutions est limitée par le déséquilibre provenant de la baisse des forces de liaison entre les éléments de substitution et les O (2). Les paramètres de maille sont modifiés, ce qui permet la définition de 3 séries de béryl, sur la base du rapport c/a: les béryls «octaédriques» avec Al'Me2+ avec 0.991 < c/a < 0.996; les béryls « tétrédriques » avec Be'Li avec 0.999 < c/a < 1.003; les béryls « normaux », quasi stæchiométriques, avec 0.997 < c/a < 0.998. Une lacune de composition existe entre les béryls « tétrédriques » et « octaédriques ». Les contraintes chimiques de l'environnement (composition et nature de la roche-hôte, de la phase fluide) et les paramètres intensifs (pression et température) lors de la croissance font qu'un béryl donné appartiendra à telle ou telle série.

Mots clés : béryl, cristallochimie, sites intra-canaux, substitutions.

BC

Analusis Magazine (1995) - Ce dossier Gemmologie est constitué d'une douzaine d'articles d'éminants spécialistes analystes et fait le point sur un certain nombre de techniques analytiques trés pointues, destructives ou non, qui peuvent s'appliquer en aval de celles, relativement simples et souvent suffisantes, déjà utilisées en routine par les gemmologues. Le problème crucial du gemmologue est de déterminer l'origine (naturelle ou synthétique), le caractère brut ou modifié des gemmes dont il fait la commercialisation. Il a donc un rôle d'expert. Si dans beaucoup de cas, la réponse est rapidement (et à moindre frais) obtenue, il subsiste des énigmes pour lesquelles la panoplie des techniques classiques se révèle insuffisante. Les études en laboratoire permettront d'appliquer à ces gemmes récalcitrantes tout un arsenal de techniques physiques lourdes qui, appliquées conjointement, devraient permettre de lever l'ambiguité et conduire à l'authentification. Après une introduction générale concernant la Science gemmologique et le cursus universitaire permettant d'acquérir la connaissance des techniques pointues (Diplôme d'Université de Gemmologie de Nantes), les articles présentent les techniques spectroscopiques mises à la disposition du gemmologue. Chaque article est rédigé par un scientifique spécialiste. La méthode analytique et l'appareillage sont tout explicités, puis quelques exemples d'application, ainsi que les avantages et...les limites des différentes techniques. La majorité des techniques sont non destructives. La spectroscopie Raman, l'analyse par faisceaux d'ions, la résonance magnétique nucléaire, la cathodoluminescence, la spectroscopie IR par absorption ou par réflexion, la spectroscopie par fluorescence X, la datation isotopique sont, entre autres, les méthodes d'analyse physique mises à la disposition des gemmologues.

Mots clés: gemmologie, expertise, méthodes physiques.

BC

Arif et al. (1996) - Les auteurs appliquent la technique d'étude des isotopes stables (oxygène, hydrogène et carbone) au gisement d'émeraude de Swat (Pakistan) afin de caractériser l'origine du fluide minéralisateur responsable du dépôt de l'émeraude. Le gisement est contenu dans des schistes à talcquartz et magnésite qui sont recoupés par une zone de cisaillement, dépourvue d'injections de pegmatite et de granite. L'étude a été réalisée d'une part, sur l'émeraude, le quartz, la fuchsite (mica) et la tourmaline contenus dans des veines de quartz et d'autre part, sur la magnésite des roches encaissantes. Les minéraux associés aux veines montrent un fort enrichissement en 18O et les valeurs isotopiques de l'hydrogène (δD de l'eau ou des groupements hydroxyles contenus dans la structure des minéraux) sont compatibles avec une origine soit métamorphique soit magmatique (granite). Les δD de la fuchsite et de la tourmaline sont comparables à ceux trouvés pour les micas et les tourmalines des granites. Par analogie, les auteurs préconisent pour le fluide une origine magmatique plutôt que métamorphique. Les valeurs isotopiques (O, C) obtenues sur la magnésite démontrent que les fluides en équilibre avec ce minéral sont d'origine métamorphique. Ainsi, deux épisodes de circulation de fluides dans un même gisement qui mérite une étude géologique et géochimique plus poussée. Ce type d'approche analytique contribue à la compréhension de la genèse des gisements d'émeraude. D'autres approches similaires ont été développées sur les gisements colombiens, brésiliens, afghans et pakistanais (Giuliani et al., 1992; 1995; 1997a, b; Ottaway et al., 1994; Laurs et al., 1996) ainsi que sur des indices de béryl (Taylor et al., 1992).

Mots clés: Pakistan, Swat, isotopes stables, fluides, genèse, origines magmatique et métamorphique.

GG

Hänni H. A. et al. (1997) - L'identification des inclusions dans les gemmes et la détermination de produits organiques dans leurs fractures est désormais possible grâce à l'utilisation de la spectroscopie Raman, et

ceci de manière non destructive. Cet article présente l'installation mise au point à l'Institut de Gemmologie de Suisse, à Bâle. Une base de données comprenant plus de 500 spectres provenant de plus de 200 minéraux différents est aujourd'hui disponible, ce qui permet une bonne détermination comparative. Des exemples d'applications sont également présentés, notamment sur l'identification d'huile de cèdre et de résine artificielle dans les émeraudes. Les minéraux non identifiables sont les métaux et alliages ainsi que les substances fluorescentes. Ces résultats rejoignent ceux obtenus en France par l'équipe du Professeur Nguyen Ouy Dao à l'Ecole Centrale de Paris où est développée la méthode RLFO (Raman Laser Fibres Optiques).

Mots clés: Spectroscopie Raman, non destructif, in situ, inclusions, identification, traitement.

AC

Tableau Synoptique Comparatif des Propriétés Gemmologiques des Gisements Majeurs et des Principales Synthèses. (Extraits D.U.G)

Nicolas Zylberman

ette synthèse des critères de reconnaissance des Emeraudes naturelles et synthétiques, est une extraction de la base de données informatique nommée "Atlas des Gemmes" programmée par l'auteur. Elle recense aujourd'hui, approximativement 70 groupes minéralogiques déclinés en 180 gemmes environ.

Ces tableaux synoptiques établis d'après la littérature gemmologique des quinze dernières années, doivent permettre aux gemmologues de discerner les Émeraudes naturelles et synthétiques. Ils comparent également les propriétés physiques et les inclusions présentes dans ces gemmes, afin de pouvoir en déterminer la provenance géographique ou le type de fabrication.

Certains gisements, comme ceux de Haute Egypte ou Habachtal, sont décrits à titre "historique". Les différents traitements appliqués aux Emeraudes et leurs conséquences sur les diverses observations ne sont pas abordés.

Les indices de réfraction, la biréfringence et la densité sont la retranscription des minima et maxima constatés dans plusieurs études effectuées sur un même gisement.

Le pléochroïsme, la réaction des Émeraudes sous le filtre de Chelsea et sous les rayons ultraviolets restent relativement constants selon chaque gisement. Pour les émeraudes synthétiques, ils évoluent selon les nouveaux procédés.

Les inclusions solides et fluides, ainsi que les observations de figure de croissance décrites sont reportées pour la majorité, dans l'ordre d'importance du gisement ou du type de fabrication. Les mentions les plus caractéristiques sont notées en majuscule.

Emeraudes naturelles et synthétiques

Minéral:
Formule chimique :
Système Cristallin:
Caractère Optique:
Dispersion:
Pouvoir Réflecteur:

Béryl
Be3Al₂Si₆O₁₈
Hexagonal
Uniaxe nég.
0.014
5%

Remerciements

Nous tenons à remercier M. E. Fritsch de l'Institut des Matériaux de Nantes, de l'Université de Nantes; M. G. Giuliani de l'ORSTOM détaché du Centre de Recherche de Pétrologie et Géologie de Nancy, M. B. Lasnier Directeur du Laboratoire de Gemmologie de l'U.F.R. des Sciences et Techniques de l'Université de Nantes, et M. P. Maitrallet du Laboratoire du Service du Contrôle des Diamants, Perles fines et Pierres Précieuses, de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris.

Glossaire

//:	parallèle, (ment)
cub:	cubique
cx:	cristal, cristaux
car:	caractéristique
fluor:	fluoresce, (nce)
hex:	hexagonal, (aux)
incl:	inclusion (s)
mon:	monoclinique
nc:	non confirmé
ND:	non disponible
ort:	orthorhombique
phosp:	phosphoresce, (nce)
prp:	perpendiculaire, (ment
ps:	pseudo

Nicolas ZYLBERMAN BPG, SEEG, DUG - négociant qua: quadratique rhb: rhomboèdre, (ique) synth: synthétique tri: triclinique

Notes

Les désignations des couleurs et les adjectifs employés dans ces tables s'accordent toujours à un cristal, les féminins et pluriels ne sont donc pas appliqués.

Le programme informatique utilisé ne permet pas d'utiliser les accents sur certaines voyelles (Socoto...)

Références

Les index en préfixe se rapportent aux références (ref) indiquées sur les tables de ce mémoire.

- 1. Arem J.E, (1987). Color encyclopédia of gemstones, second edition.
- 2. Bosshart G. *Brand A* (1990 décembre). Les Emeraudes de Colombie. revue de gemmologie a.f.g, n° 105, p. 13 à 16
- 3. Bosshart G. Brand A (1991 mars). Les Emeraudes de Colombie. revue de gemmologie a.f.g, n° 106, p. 24
- 4. Bosshart G. *Brand A* (1991 juin). Les Emeraudes de Colombie. revue de gemmologie a.f.g, n° 107, p. 7 à 12
- 5. Bowersox G., Lawrence W.S., Foord E.E., Seal II R.R. (1991 spring). Emeralds of the Panshir Valley, Afghanistan. Gems & Gemology, Vol 27 n°1, p. 26 à 39
- 6. Bowersox G.W. (1985 winter). A status report on gemstones from Afghanistan. Gems & Gemology, Vol 21 n°4, p. 195 à 198
- 7.Bowersox W., Anwar J. (1989 spring). The Gujar Killi Emerald deposit, northwest frontier province, Pakistan. Gems & Gemology, Vol 25 n°1, p. 16 à 24
- 8.Cassedanne J., Le Cléac'h J.M., Lebrun P. (1997 juin). Béryls. Minéraux

- & Fossiles, Hors-Série N°5, p. 43
- 9. Cassedanne J.P., Sauer D.A. (1982 juin). Les Emeraudes de Santa Terezinha (Goiàs). revue de gemmologie a.f.g, n° 071, p. 4 à 8
- 10.Delé-Dubois M.-L., Poirot J.-P., Schubnel H.-J. (1986 septembre). Identification de micro-inclusions dans des rubis et émeraudes de synthèses par spectroscopie Raman. revue de gemmologie a.f.g, n° 088, p. 15 à 17
- 11. Epstein D.S. (1989 fall). The Capoeirana Emerald deposit near Nova Era, Minas Gerais, Brazil. Gems & Gemology, Vol 25 n°3, p. 150 à 158
- 12. Giuliani G. (1998). Communication personnelle.
- 13. Giuliani G., Cheilletz A., Zimmermann J.L., Ribeiro-Althoff A.M., France-Lanord C., Feraud G. (1997 mars). Les gisements d'Emeraude du Brésil: genèse et typologie. Chronique de la recherche minière, 526, p. 36 à 61
- 14.Graziani G., Gübelin E., Martini M. (1987 fall). The Lennix synthetic Emerald. Gems & Gemology, Vol 23 n°3, p. 140 à 146
- 15.Gübelin E. (1987 septembre). Diagnose des nouvelles synthèses d'Emeraude 1° partie. revue de gemmologie a.f.g, n° 092, p. 5 à 7
- 16.Gübelin E. (1987 décembre). Diagnose des nouvelles synthèses d'Emeraude 2° partie. revue de gemmologie a.f.g, n° 093, p. 7 à 11
- 17. Gübelin E.J. (1982 fall). Gemstones of Pakistan: Emerald, Ruby and Spinel. Gems & Gemology, Vol 18 n°3, p. 123 à 132
- 18.Hänni H.A. (1993). La synthèse hydrothermale en Australie: emeraude et béryl rose. Journal Suisse d'Horlogerie et de Bijouterie, 1/1993, p. 133 à 136
- 19. Hänni H.A. Brand A. (1992 décembre). Considérations terminologiques au sujet des emeraudes du Nigéria de couleur bleu-vert. revue de gemmologie a.f.g, n° 113, p. 2 à 4

- 20.Hänni H.A., Kiefert L. *Chalain J.P.* (1995 septembre). Premières études sur les Emeraudes synthétiques hydrothermale japonnaises AGEE. revue de gemmologie a.f.g, n° 124, p. 9 à 12
- 21.Hänni H.A., Klein H.H. *Tschudin F.* (1983 mars). Un gisement d'Emeraudes à Madagascar. revue de gemmologie a.f.g, n° 074, p. 3 à 5
- 22.Hänni H.A., Schwarz D., Fischer M. (1987 july & october). The Emeralds of the Belmont Mine, Minas Gerais, Brazil. The Journal of Gemmology, Vol 20 / 7 & 8, p. 446 à 456
- 23.Hodgkinson A. (1988 july). Hallmarked synthetic emerald. The Journal of Gemmology, Vol 21 / 3, p. 179 à 181
- 24.Jennings R.H., Kammerling R.C., Kovaltchouk A, Calderon G.P., El Baz M.K., Koivula J.I. (1993 summer). Emeralds and Green Beryls of Upper Egypt. Gems & Gemology, Vol 29 n°2, p. 100 à 115
- 25.Kane R.E., Liddicoat Jr R.T. (1985 fall). The Biron hydrothermal synthetic emerald. Gems & Gemology, Vol 21 n°3, p. 156 à 170
- 26.Kanis J., Arps C.E.S., Zwaan P.C. (1991 january). Machingwe: a new emerald deposit in Zimbabwe. The Journal of Gemmology, Vol 22 / 5, p. 264 à 272
- 27. Kennedy S.J. (1986 january). Seiko synthetic Emerald. The Journal of Gemmology, Vol 20 / 1, p. 14 à 17
- 28. Koivula J.I., Kammerling R.C., DeGhionno D., Reinitz I., Fritsch E., Johnson M.L. (1996 spring). Gemological Investigation of a New Type of Russian Hydrothermal Synthetic Emerald. Gems & Gemology, Vol 32 n°1, p. 36 à 39
- 29.Koivula J.1., Keller P.C. (1985 summer). Russian flux-grown synthetic emeralds. Gems & Gemology, Vol 21 n°2, p. 79 à 85

- 30.Laskovenkov A.F., Zhernakov V.I. (1995 summer). An Update on the Ural Emerald Mines. Gems & Gemology, Vol 31 n°2, p. 106 à 113
- 31.Lind T., Schmetzer K., Bank H. (1986 january). Blue and green beryls (aquamarines and emeralds) of gem quality from Nigeria. The Journal of Gemmology, Vol 20 / 1, p. 40 à 48
- 32.Miyata T., Hosaka M., Chikayama A. (1987 april). On the inclusions in emeralds from Santa Terezinha de Goias, Brasil. The Journal of Gemmology, Vol 20 / 6, p. 377 à 379
- 33. Panjikar J., Ramchandran K.T., Balu K. *Brand A* (1996 octobre). Nouveaux gisements d'Emeraudes de l'Inde Méridionale. revue de gemmologie a.f.g, n° 128, p. 7 à 10
- 34.Ranarosoa N. (1996 juin). Notes sur le gisement d'Emeraude Mananjary. revue de gemmologie a.f.g, n° 127, p. 4, 5
- 35.Ringsrud R. (1986 summer). The Cozcuez mine: a major source of colombian Emeralds. Gems & Gemology, Vol 22 n°2, p. 67 à 79
- 36. Schluessel R. (1984 décembre). Défauts de structure dans les Emeraudes naturelles et synthétiques. revue de gemmologie a.f.g, n° 081, p. 13 à 18
- 37.Schmetzer K. (1988 july). Characterization of Russian hydrothermally grown synthetic emeralds. The Journal of Gemmology, Vol 21 / 3, p. 145 à 164
- 38.Schmetzer K. (1989 january). Yellowish green Gilson synthetic emerald. The Journal of Gemmology, Vol 21/5, p. 305 à 307
- 39. Schmetzer K., Bernhardt H.-J. (1997 april). The identity of reddishbrown inclusions in a new type of Russian hydrothermal synthetic emerald. The Journal of Gemmology, Vol 25 / 6, p. 389 à 390
- 40.Schmetzer K., Bernhardt H.J., Biehler R. (1991 summer). Emeralds from the Ural Mountains, USSR. Gems

- & Gemology, Vol 27 n°2, p. 86 à 99
- 41. Schmetzer K., Kiefert L., Bernhardt H.J., Beili Zhang (1997 winter). Characterization of Chinese Hydrothermal Synthetic Emerald. Gems & Gemology, Vol 33 n°4, p. 276 à 291
- 42.Schwarz D. (1991 november). Australian Emeralds. Australian Gemmologist, Vol 17 / 12 p. 488 à 497
- 43.Schwarz D. (1994 summer). Emeralds from the Mananjary Region, Madagascar: Internal Features. Gems & Gemology, Vol 30 n°2, p. 88 à 101
- 44. Schwarz D., Eidt T. (1989 october). The Brazilian emeralds and their occurrences: Carnaïba, Bahia. The Journal of Gemmology, Vol 21 / 8, p. 474 à 486
- 45.Schwarz D., Eidt T., Couto P.A. (1990 july). The Brazilian emeralds and their occurrences: Socoto, Bahia. The Journal of Gemmology, Vol 22 / 3, p. 147 à 163
- 46.Schwarz D., Grazziani G., Gübelin E., Lucchesi S. (1983). The genesis of an emerald from the Kitué district, Zambia. Mineralogical mh, 12 / 4, p. 176 à 186
- 47.Schwarz D., Kanis J., Kinnaird J. (1996 april). Emerald and green beryl from central Nigeria. The Journal of Gemmology, Vol 25 / 2, p. 117 à 141
- 48.Sinkankas J., Read P.G. (1986). Beryl.Butterworths
- 49.Sosso F., Piacenza B. (1995 july). Russian hydrothermal synthetic emeralds: characterization of the inclusions. The Journal of Gemmology, Vol 24 / 7, p. 501 à 507
- 50. Webster R., Read P.G. (1994). Gems, their sources, descriptions and identification, fifth edition.
- 51.Zwaan (Hanco) J.C., Kanis J., Petsch E.J. (1997 summer). Update on Emeralds from the Sandawana Mines, Zimbabwe. Gems & Gemology, Vol 33 n°2, p. 80 à 100

Gisement / Fabricant	Pléchroïsme	N1 N2	Biréf.	Densité	Chelsea	UVL	VL UVC Observation en grossissement						
Afghanistan, Panjschir	Net : vert - jaune parfois pâle / vert bleuté parfois pâle	1,574 à 1,582 1,580 à 1,588	0,006 à 0,006	2,68 à 2,74	Léger rouge à orange rougeâtre	Inerte	Inerte	Goethite / Limonite. Béryl. Pyrite (nc). (Carbonate) rhb. Feldspath. Incl fluides multiphasées à H20 - C02 - Halite / Sylvite (cube de sel). Canaux //, zones de croissance, fractures.	5, 6				
Australie (N.S.W.), Emmaville	ND	1,566 à 1,57 1,571 à 1,575	0,005 à 0,005	2,67 à 2,68	ND	ND	ND	Fluorite. Cassitérite. Cx de couleur blanc argenté. Incl fluides. Cavités de différentes formes bi ou triphasées. Tubes de croissance // à l'axe c, b et triphasés. Givres de guérison non refermés à fort relief. Stries de croissance // aux faces du prisme. Autres incl ressemblant à des particules de flux d'emeraude de synthèse.	42				
Australie (W.A.), Poona	ND	1,572 à 1,573 1,577 à 1,578	0,005 à 0,007	2,68 à 2,71	ND	ND	ND	Grenat. Staurolite. Micas: Muscovite ou Biotite disposés a l'aventure, possédant parfois une orientation cristallographique. Ilmenite: Leucoxene (mixture de Rutile ou Anatase avec hydroxydes). Apatite prismatique à faces pyramidales. Incl fluides bi ou triphasées, solide - liquide - gaz, disposées en grappes ou à l'aventure dans le cx hôte. Zones de coloration fortement développée: généralement au centre incolore et à la périphérie du centre, vert ; parfois inversement. Tubes // à l'axe c. Givres de guérison sans orientation avec incl fluides.	42				
Autriche, Habachtal	ND	1,574 à 1,590 1,582 à 1,597	0,005 à 0,007	2,73 à 2,74	Rose à rouge	ND	ND	Amphiboles : Actinote / Trémolite en baguette. Micas : Biotite, Phlogopite en plaquette arrondie, Apatite. Chlorite. Epidote. Hématite. Monazite Rutile. Thorite. Titanite. Tourmaline					
Brésil (Bahia), Carnaiba	ND	1,577 à 1,583 1,582 à 1,590	0,005 à 0,008	2,7 à 2,72	ND	ND	ND	Micas: Biotite / Phlogopite aplati irrégulier / arrondi brun, Muscovite. Chlorite. Autres incl rares: Tourmaline foncé, Albite tabulaire transparent, Molybdénite, Lepidocrocite, Goethite, Béryl, Amphibole: Trèmolite / Actinote, Apatite, Pyrite, Quartz. Incl fluides biphasées H20 - C02, et très rarement multiphases. STRIES CONCENTRIQUES de croissance // aux faces du prisme. Pyramides de croissance en zig zag. Strates de croissance non orientées. Fréquemment, tubes de croissance commençant parfois à partir d'un cx. Inc en étoiles et flocons gris à noir, composées d'infirmes particules fluides parfois biphasées.					
Brésil (Bahia), Socoto	ND	1,579 à 1,582 1,587 à 1,590	0,007 à 0,009	2,67 à 2,72	ND	ŇĊ	ND	Micas Biotite / Phlogopite, Margarite Muscovite. Talc transparent. Chlorite vert. Amphibole Actinote / Trémolite. Allanite. Apatite. Quartz. Feldspath. Carbonate. Tourmaline. Hématite. Goethite / Limonite. Pyrite. Chromite. Lepidocrocite. Béryl. Molybdénite. Incl fluides biphasée H2O - C02* Triphases et multiphases rares. TUBES de CROISSANCE de formes, de taille et de couleur variée. Zones à densité élevée d'inclusions. ZONES de COULEUR, concentriques, aux centres colorés et aux bords plus pâles, et inversement. Givres non refermés sans orientation. Les Amphiboles mentionnés se présentent en aiguille ou baguette. Les Micas B/P, sont généralement bruns, arrondis ou en plaquettes irrégulières. La Molybdénite est en plaquettes hex.					
Brésil (Goias), Santa Terezinha	Faible : bleu verdâtre foncé / vert - jaune clair	1,584 à 1,593 1,592 à 1,600	0,006 à 0,01	2,685 à 2,715	Inerte à rose, couleur distribuée irrégulièrement	Inerte	Inarte:	PYRITE cubes parfois arrondis, isolés ou en groupe. Spinelle : Chromite / Picotite noir arrondi, octaédre. Calcite Dolomite rhb. Hématite paillette. Ilménite plaquette. Goethite fibres //, Magnésioterrite. Magnésiochromite. Micas. Talc paillette. Rutile. Incl fluides biphasées H2O - CO2 - N2 cx nuages ponctiformes. À l'inverse des Émeraudes de Fazenda das Lages (Goias) pas d'aiguilles de Rutile.					
Brésil (Minas Gerais - Itabira dist.) Belmont	ND	1,58 à 1,582 1,589 à 1,590	0,007 à 0,009	2,72 à 2,74	ND	ND	ND	Micas: Biotite / Phiogopite arrondi, brun fonce sans orientation. Plus rarement: Hématite ou Molybdénite, Quartz brun, Trémolite, Dolomite (Carbonate), Apatite, Feldspath Plagioclase Andesines, transparent, incolore. (nc) Ralstonite. Très grande variété de biphases H20 - C02, et triphases, de formes très diserses. Multitude de tubes de croissance, formant des "rideaux de pluie", en minuscules canaux // à l'axe c rempli d'une grande variété de matériaux pouvant former l'effet ceil de chat. Givres de guérison non refermés. Fissures discoïdales //. Cx blancs associés à des cavités rectangulaires de forme prismatique, courts ou longs, abondants, // a l'axe c et également présents dans les fractures.					
Brésil (Minas Gerais - Nova Era), Capoeïrana	Faible : très légèrement vert jaune / vert bleuté	1,576 à 1,578 1,582 à 1,584	0,006 à 0,006	2,71 à 2,73	Inerte	Inerte	Inerte	(Nc). Micas: Biotite, flocons et plaquettes (Carbonates): Calcite ou Dolomite en cx. Incl fluides tiphasées à H2O - CO2 vapeur. Fins tubes aciculaires.					
Colombie, Chivor	Faible : vert - jaune / vert bleuté	1,566 à 1,581 1,572 à 1,588	0,005 à 0,008	2,682 à 2,727	Rougit fortement	inerte à rouge moyen	Générale ment inerte, peut rougir	PYRITE cx amondis jaune ciair. FeldIspath: Albite tabulaire incolore. Pyrmbtite. Goethite brun roulille rare. Quartz prismatique. Agrégats de petits grains gris foncès non définis. Uraninite (nc). Zircon. Cx négatifs assez importants composés d'incl fluides triphasées typiques, CO: H20 - HALITE en cube, dans habitus déchiquetés très fins, soulignant les phases de croissance successives, répartis sur des givres de guérison. Biphasées moins fréquentes. GIVRES de TENSION. Zones de couleur // au prismes, d'autres à la base. Zones de couleur pyramidales. Fuseaux de couleur apparentés aux pyramides de croissance. Spirales et canaux de croissance. Les incl fluides secondaire refiées l'une à l'autre. Fétures de tensions anciennes + ou - courbes. Les cavités primaires individuelles sont + ou - plates, étirées // à l'axe d'aspect typiquement pointu à tubulaire, formant ensemble des chevrons semblables à de fines palissades régulièrement dentées, ou à clôtures grossières. Dans les directions basales, les cavités primaires présentent des contours plutôt arrondis, informes ou angulaires. Caractéristiques des colombiennes, inclusions fluides s'incurvant de la directon prismatique vers la direction basale (ou inversement).					
Colombie, Coscuez	Net : vert - jaune / vert bleuté	1,574 à 1,578 1,580 à 1,584	0,006 à 0,007	2,68 à 2,71	Rose å rouge	inerte ou légérame nt rose orange ou rouge	Inerte. Peut rougir	Albite tabulaire. Pyrite. Quartz. RAREMENT: Apatite, Barite, Calcite rhb, Fluorite, Parisite. Multiphases. Givres de guérison. Félures de tensions anciennes + ou - courbes. Les inci fluides secondaires sont reliées l'une à l'autre. Les casités primaires individuelles sont + ou plates, étirées // à l'axe c et d'aspect typiquement pointu à tubulaire, formant ensemble des chevrons semblables à de fines palissades régulièrement dentées, ou a des clôtures grossières. Dans les directions basales, les cavitès primaires présentent des contours plutôt arrondis, informes ou angulaires. Caractéristiques des colombiernes, inclusions fluides s'incurvant de la direction prismatique vers la direction basale (ou inversement).					
Colombie, Gachala	Faible : vert - jaune / bleu vert	1,570 à 1,570 1,576 à 1,576	0,006 à 0,006	2,7 à 2,7	ND	Rouge	Rouge	Feldspath : Albite. Canaux de croissance. Émeraude se rapprochant des gisements de Chivor. N. ZYLBERMAN ©	3,12				

Gisement / Fabricant	Pléochroisme	N1 N2	Biréf.	Densité	Chelsea	UVL	UVC	Observation en grossissement	Ref.			
Colombie, Muzo	Fail:\(\delta \): vert jaune / vert bleuté	1,566 à 1,581 1,572 à 1,588	0,005 à 0,008	2,682 à 2,727	Rougit fortement	inerte à rouge moyen	Générale- ment inerte, peut rougir	PARISITE prisme brun jaune. CALCITE et Dolomite rhb transparents. Goethite brun rouille rare. (Pyrite très rarement). Pyrrhotite. Quartz prismatique. Agrégats de très petits grains gris foncés non définis. nc : Pétalite, Pentlandite, Uraninite, Zircon. Cx negatifs assez importants composés de triphases typiques dans habitus dechiquetés très fins (C02 - H20 - Halite en cube), soulignant les phases de croissance successives et répartis sur des givres de guérison. Biphases moins fréquentes. Givres de guérison. Fêlures de tension. Zones de couleur // au prisme, d'autres à la base. Zones de couleurs pyramidales. Fuseaux de couleur apparentés aux pyramides de croissance. Spirales et canaux de croissance. Les incl fluides secondaires sont reliées l'une a l'autre. Félures de tensions anciennes + ou - courbes. Les cavités primaires individuelles sont + ou - plates, étirées // à l'axe c et d'aspect typiquement pointu à tubulaire, formant ensemble des chevrons semblables à de fines palissades régulièrement dentées ou à des clôtures grossières. Dans les directions basales, les cavités primaires présentent des contours plutôt arrondis, informes ou angulaires. Caractéristiques des colombiennes, Inclusions fluides s'incurvant de la direction prismatique vers la direction basale (ou inversement).				
Colombie, Pena Blanca	ND	1,569 à 1,569 1,576 à 1,576	0,007 à 0,007	2,704 à 2,704	ND	ND	ND	Émeraude se rapprochant des gisements de Coscuez.				
Egypte, Haute Egypte	Faible à modéré : vert jaune / vert bleuté	1,581 à 1,581 1,588 à 1,588	0,007 à 0,007	2,62 à 2,73	inerte, faiblement vert jaunätre å rose modere	nerte ou faiblement vert jaunatres	Inerte	Goethite / Limonite (nc) dans des givres de guérison non refermés. Amphiboles oxydées flexueuses. Incl translucides tabulaires ressemblant à de la Biotite. Givres de guérison composés d'incl fluides biphasées (H20 - C02), Tubes de croissance parfois remplis de tàches jaune brun. Matières de remplissage décomposées visibles dans les fractures accessibles en surface.				
Inde (Rajasthan),Ajmer	ND	1,585 à 1,585 1,595 à 1,595	0,007 à 0,007	2,735 à 2,735	ND	ND	ND	Amphibole : Actinote. Mica : Phlogopite. Apatite. Calcite. Incl fluides biphasées.				
Inde (Tamil Nadu - Salem), Sankari	Modéré à net : vert vif / vert bleuté	1,580 à 1,585 1,588 à 1,591	0,006 à 0,008	2,7 à 2,73	ND	herte	Partois rose pâle pour les verts pâles, vert foncé :	Micas: Biotite / Philogopite paillettes ou plaquettes minces. Quartz arrondi. Apatite rectangulaire, allongé. Béryl hex. Feldspath. Parfois Pyrite jaune laiton, éclat métallique. Spinelle (nc) octaédrique. Grandes aiguilles d'Amphibole ou Tourmaline (nc). Fluides à l'intérieur de grandes cavités négatives ou piégées dans cavités rectangulaires. Liquides piègés dans des canaux de croissance, dans des cavités sphériques arrondies et dans des givres en forme de voile très fin. Quartz associé aux incl liquide. Givres de guérison souvent //, zones de couleur prononcées au centre du cristal, stries de croissance // aux faces du prisme. Autres cx ovales arrondi entourés de félures de tension.				
Madagascar, Mananjary	Net : vert bleu / vert jaune	1,581 à 1,585 1,589 à 1,591	0,006 à 0,008	2,68 à 2,77	nerte, bleue, grise	inerie	inerte Inerte	Biotite / Phlogopite, Muscovite. Apatite. Hématite. Limonite Goethite. Quartz. Ilménite. Tourmaline. Actinote / Trémolite. Albite. Allanite. Ba Calcite, Dolomite. Fluorite. Pyrite. Pyrrhotite. Rhodizite. Spinelle. Talc. Chlorite. Molybdénite. Béryl. Incl fluides bi et triphasées. Cx négatifs primaires : hex et isolés, aux contours géomètriques nets, abondants à la périphérie du mineral, tubulaires allongés. Secondaires : incl de quelconque, étirées. Canaux de croissance // aux faces du prisme, remplis de fluides, se reliant parfois entre eux. Givres de guérison partiellement refermés. Zones de couleurs. Fractures //, partiellement guéries. Concentrations d'incl dans certaines parties du minéral hôte. Autres incl (Carbonate) : Ankerite.				
Nigeria (Kaduna & Plateau States), Kaduna	Net : bleu / vert	1,560 à 1,569 1,570 à 1,576	0,005 à 0,007	2,64 à 2,68	ND	ND	ND	Feldspath potassique, Albite incolore, transparent, angulaire à irrégulier. Mica, flocons brun rouge. Ilménite, plaquettes noires. Ralstonite. Monazite, prisme transparent incolore. Quartz. Tourmaline rare. Béryl fragment. (Boldyrevite?, Fluorosilicate). Cavités primaires contenant des incl fluides de forme tubulaire ou irrégulière. Plus fréquemment multiphases, elles contiennent un liquide, une bulle de gaz et plusieurs solides incl fluides H2O - CO2. Structure de croissance très fréquentes. Bandes de croissance. Givres de guérison, certains // aux faces du prisme, la plupart sans orientation, apparaissent en volutes.				
Pakistan, Gujar Killi	Modéré : très légèrement vert jaune / vert bleuté	1,589 à 1,589 1,599 à 1,599	0,01 à 0,01	2,72 à 2,72	Rouge faible à très faible	Inerte	Inerte	nc. Spinelle : Magnétite. Quartz. Mica : Muscovite / Fuschite. Talc. Givres partiellement guéris composés d'innombrables minuscules incl fluides secondaires biphasées.				
Pakistan (Vallée du Swat), Mingora	Net : vert jaune / vert bleuté	1,588 à 1,591 1,595 à 1,600	0,007 à 0,007	2,75 à 2,78	Rouge clair à rouge	nerte (Fe):	Inexte (Fe)	Spinelle: Chromite noir. (Carbonates): Calcite et Dolomite idiomorphe. Incl liquides en voile faisant penser à des incl de synthèse. Incl fluides biphasées liquide + gaz, parfois triphasées déchiquetés, généralement orientées // à l'axe c. Défauts syngénétiques primaires de croissance. Tubes fins de croissance biphasés surgissant de minuscules obstacles cristallins. Zones de couleuren bande. Zones d'accroissement en degrés angulaires.				
Russie, Oural	Faible : vert jaune / vert bleuté	1,575 à 1,582 1,581 à 1,590	0,006 à 0,008	2,71 à 2,75	Rouge à grise	Inerte	lnerte.	Micas: Biotite flocons, Phlogopite cx en plaquettes rondes ou tabulaires allongées. Amphiboles: Actinote aiguille, Trémolite. Apatite. Spinelle: Chromite. Fluorite. Quartz. Rutile. (Carbonate): Calcite. Talc: Tourmaline. Biphases gaz - liquide, parfois triphases Hallte. Canaux tres fins //à l'axe optique formant une "barrière". Cavités plates à angles droits. Givres de guénson, structures de croissance // aux faces du prisme.	8, 30, 40, 48			
Zambie, Miku	Net ; vert bleuté / vert jaune	1,581 à 1,582 1,589 à 1,590	0,007 à 0,009	2,74 à 2,8	Lueur rougeâtre résiduelle	Inerte	Inerte	Tourmaline Dravite noir. Spinelle: Magnétite. Micas: Biotite / Phlogopite cx noirs en petits points. Rutile rouge orange. Chrysobéryl. Apatite. Hématite. Amphiboles: Actinote / Trémolite. Quartz. Incl fluides bi et triphasées, H20 - C02. Stries de croissance de type pyramidal. Autres incl en flocons, ou étoiles.				
Zimbabwe (ex Rhodésie),	ND	1,584 à 1,586 1,589 à 1,593	0,006 à 0,008	2,76 à 2,76	Rouge sombre, peu brillant	Vert brillant	Verdätre	Amphiboles : Actinote / Trémolite en abondance, ou cx prismatiques allongés jaune pâle à brunatre, regroupés ou esseulés. Flocons incolores à brun léger, ressemblant à des Micas pléochroïques. Les incl se rapprochent généralement de celles des Émeraudes de Sandawana.				
Machingwe Zimbabwe (ex Rhodésie), Sandawana	Net : vert jaune / vert bleuté	1,584 à 1,587 1,590 à 1,594	0,006 à 0,007	2,74 à 2,77	Légérement rose pour la plupart à rouge rosaitre	Generale- ment inerte, parfois lége- vernent vert	Générale- Ment herte	Amphiboles: Actinote, Cummingtonite en fibres, lattes ou baguettes au hasard. Feldspath: Albite. Apatite de morphologie variée. (Carbonate): Calcite, Dolomite. Gersdorffite. Ilménorutile. Mica: Phiogopite. Quartz. Grenat. Hématite. Incl fluides primaires décrépitées de forme typiquement rectangulaires, biphases et triphases. Givres secs de guérison partiellement refermés. Parfois faibles zones de couleur, dans certains cx clairs, zones complexes grossièrement // aux faces du prisme. N. Zylberman ©				

Gisement / Fabricant	Pléochronisme	N1 N2	Biréf.	Densité	Chelsea	UVL	UVC	Observation en grossissement	Ref.			
Hydrothermale Leichleitner, coated	ND	1,562 à 1,575 1,567 à 1,581	0,004 à 0,006	2,67 à 2,695	Rouge vil	Rouge vif å verdåtre	Rouge vif à verdâtre	Incl tpiques de l'Aigue Marine naturelle, visibles dans le cœur de la pierre. Cx octaédriques d'Au Minuscules fissures s'étant formées prp autour du béryl d'induction de la synthèse, accompagnées de cx d'euclase et phénacite le long du plan de jonction germe/synth.				
Anhydre, Chatham	Net : vert jaune / vert bleuté	1,559 à 1,561 1,562 à 1,564	0,003 à 0,005	2,65 à 2,65	Rouge sombre brillant, rouge profond	Rouge vit, rouge protond	Rouge sombre brillant, rouge bleuté sombre	Cx rouges sombres. Cx à faible relief aux arrêtes marquées, ressemblant à du berryl. Phénacite en groupe de Cx arrondis, ou ésseuléen prisme allongé hex. Incl en forme de baguette, disposées presque //. Bulle de retrait parfois visible dans les volutes de Cx de polymolybdates, ressemblant à des Incl. fluides. résidus de fondant à aspect pâteux, blanchâtres en lumière réflechie, en forme de voiles ondulées ou d'empreintes digitales. Zones de couleurs droites ou en chevrons.	10, 48			
Anhydre, Gilson	ND	1,558 à 1,571 1,568 à 1,579	0,003 à 0,008	2,65 à 2,7	Lueur rouge, orange	inerte rouge ,rouge gran- ge parfois jaunâtre, verdâtre	Rouge, rouge orangé, jaune, moutarde, inerte	Minuscules cx de phénacite idiomorphes. Voiles ou volutes de cavités en forme de bulles allongées. Plans de croissance, et zonation de couleur. Incl dendritiques. Zones de tension. Chevrons de croissance.				
Anhydre, Lennix	Net : vert jaune / vert bleuté	1,555 à 1,565 1,558 à 1,568	0,003 à 0,004	2,604 à 2,658	Rose a rouge incandescent, inerte rare	Rouge vif intensif, verdåtre rare	Rouge orange très pâle transparent à inerte	Béryl synth en cx prismatiques au dichroïsme prononcé. Phénacite en fines aiguilles. Quartz. Série de petits points diffus. Biphases et triphas avec bulles de contraction, formant des voiles ondulés ou "drapeaux", // à l'axe c. Zones de croissance accrochant sur leurs bords des cx de béryl et des grappes de phénacite synth. Tubes opaques orientés en canaux. Zones de couleur droites. Résidus de fondant sec, solides contrastés, le tout n'est pas transparent mais blanchâtre ou brunâtre.				
Anhydre, russe	Vert jaune / vert bleuté	1,555 à 1,560 1,559 à 1,564	0,004 à 0,004	2,604 à 2,658	Rouge moyen à rouge fort	Lueur rouge orangée, faible à modèré	Inerte	Tablettes de platine provenant du creuset de fabrication. Petits cx de phénacite synth. Alexandrite synth. Drapeaux typiques de flux solidi jaune à brun et aux contours arbitraires. Incl cunéiformes bi ou triphasées. Fines fibres, soyeuses, en direction // et différentes sortes de perturbations de croissance.				
Anhydre, Seiko	Vert / vert bleuté	1,567 à 1,568 1,571 à 1,573	0,004 à 0,005	2,67 à 2,7	Rouge rose vif	Rouge très faible	Inerte	Cx prismatiques minces, individuels ou en petits groupes. Phénacite. Exsolutions denses de couches de flux en aspect de poussière, pointillées, orientées prp aux zones de croissance. Zones de croissance en bandés colorées vertes et incolores généralement // à la table.				
Hydrotermale, Biron	Net : vert jaune / vert bleuté	1,564 à 1,569 1,570 à 1,574	0,004 à 0,005	2,68 à 2,72	Rouge très vif	Inerte	Inerte	Cx d'OR et / ou phénacite parfois abondante, à la tête de cônes épointés. Cx de platine, de cuivres, de nickel (rarement), isolés ou en groupe Autres cx transparents incolores, de différents faciès. Différentes formes de "drapeaux", "d'empreintes" et de voiles d'apparence typiquemen "granulée". Incl individuelles biphasées cunéiformes. Incl hélicoïdales biphasées. Lignes en zig-zag, superposées. Inhomogénéités de croissance acérées en fuseaux. Parficules blanches en queue de "comètes" ou "traînées". Parfois, plaquettes de germe.				
Hydrotermale, russe, gén. 1	Net : vert jaune / vert bleuté	1,574 à 1,581 1,579 à 1,587	0,005 à 0,006	2,64 à 2,66	Inérte	Rouge mome	Inerte	Incl en forme de clou, bi ou triphasées sur des petits cx de phénacite synth. Platine prismatique opaque en tablettes. Lamelles hex noires et opaques pouvant être de l'hématite Cr. "Drapeaux" de flux artificiel avec incl biphasées ct triphasées (2 liquides immiscibles et gaz). Traînées prononcées en forme de fuseaux. ZONES de COULEUR en CHEVRON, en zig-zag, Inhomogénéités de croissance aux contours hex.				
Hydrotermale, russe, gén. 2	Moděré ; vert jaune / vert bleutě	1,572 à 1,578 1,579 à 1,584	0,006 à 0,007	2,67 à 2,73	Faiblement rouge	Inerte	Inerte	Lamelles hex noires et opaques à reflet métallique. Cx ressemblant à de la phénacite. NUAGES non orientés optiquement ou formation linéai de nombreuses petites PARTICULES d'HEMATITE transparentes de couleur brun rouge. Givres liquides avec biphases dans de minuscules onégatifs. Cx négatifs plats et de grande taille également remplis de biphases (liquide et gaz ou deux liquides immiscibles). PAS de ZONES de COULEUR en CHEVRONS - ou en V - qui caractérisent les autres émeraudes hydrothermales. Incl de croissance en forme de FUSEAU S'ENTRECROISANT. Zones de couleur orientées // au germe.				
Hydrotermale, (ex. Linde), Regency	Net : vert jaune / vert bleuté	1,566 à 1,571 1,572 à 1,578	0,005 à 0,007	2,67 à 2,68	Rouge très vif	Rouge très vif à modéré	Rouge vif à modéré	Incl cunéiformes, fuselées, avec libelle, à terminaison de cx de phénacite seuls ou groupés. Aiguille de phénacite Voiles ondulés.				
Hydrothermale (JGL), chinoise	Vert jaune / vert bleuté	1,570 à 1,572 1,576 à 1,578	0,006 à 0,006	2,67 à 2,69	ND	Rouge modéré	Rouge modéré	Minuscules cx de béryl placés à la base de cônes, formant des têtes de clous, en contact avec la surface du germe. Groupement de minuscules cx de chrysobéryl en contact avec le germe. Très rarement quelques incl fluides ont été remarquées. Germe apparent (béryl) d'épaisseur varié. Zones de croissance parfois en escalier, ou en chevron, associées à des zones de couleur // au germe. Cônes épointés parfois biphasés. Tubes en aiguille, prp. à la surface du germe, accolés à cette surface.				
Hydrotermale japonaise, Agée	Net : vert jaune / vert bleuté	1,569 à 1,572 1,575 à 1,579	0,006 à 0,007	2,685 à 2 ,6 9 6	ND	Inerte (V), à rouge moyen (Cr)	ND	Fins cx incolores de phénacite (nc), et bruns, sur les plans, // aux germes. Voiles formés de minuscules gouttelettes. Biphases à (ibelies. Tu creux. Incl fluides en spirales et éventails. Zones de croissances en chevrons et zonations de couleur //, étroites ou larges. Fissures de ten				

Emeraudes naturelles: I a Blanca a Blanca a a Blanca a

Ta	bleau synoptic	N. Zylberman ©		s solides	Panshir	Emmavil	Poona	Habacht	Carnaiba	Socoto	S Terezir	Belmont	Capoeira	Chivor	Coscuez	Gachala	Muzo	Peňa Bla	Hte Egyp	Ajmer	Sankari	Mananja	Kaduna	Gujar Kil	Mingora	Oural	Miku	Maching	Sandawa
	A ₀₋₁ B ₂ Y ₅ Z ₈ O ₂₂ (OH,F,Cl) ₂	silicate	Amphibole	variété indéfinie	+-	_	\vdash	-		+-	\vdash	+-							- x-	X	nc		 '	\vdash	\vdash	$\vdash\vdash\vdash$	\vdash		-
Мол	Ca ₂ (Mg,Fe ²⁺) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH ₂)	silicate	Amphibole	Actinote / Trémolite	\mathbf{T}			Х	rare	T X		rare								X	110	X				X	X	X	Х
Mon	(Mg,Fe ²⁺) ₇ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	silicate	Amphibole	Cummingtonite					1	1	<u> </u>	1									\vdash		<u> </u>		\vdash	<u> </u>	<u> </u>	$\overline{}$	X
Hex	Ca ₅ (PO ₄) ₃ F	phosphate	Apatite	Apatite	-	-	X	Τx	X	X	\vdash	rare			rare					X	X	Х			\vdash	X	X	-	X
Ort	BaSO ₄	sulfate	Barite	Barite		-					X	1.0.0			rare				_	<u> </u>	<u> </u>	rare	\vdash		\vdash	$\stackrel{\wedge}{\vdash}$	 ^ 	-	<u> </u>
Hex	Be ₃ Al ₂ Si ₆ O ₁₈	silicate	Béryl	Béryl	Х		$\overline{}$		rare	T _X	<u> </u>	-									X	X	X		\vdash	$\overline{}$		-	\vdash
Rhb	CaCO ₃	carbonate	Calcite	Calcite	nc	\vdash	$\overline{}$			X	X	+	nc		rare		CAR			X	<u> </u>	X	<u> </u>		Х	X	\vdash	\vdash	X
Mon ou Tri	A _{4 6Si,AI} ,O ₁₀ (OH,O) ₈	silicate	Chlorites	variété indéfinie			-	X		X	 	1	1		14.0		07.11				\vdash	rare	\vdash			$\stackrel{\wedge}{\longrightarrow}$	\vdash	\vdash	_
Ort	BeAl ₂ O ₄	oxyde	Chrysoberyl	Chrysoberyl		1	\vdash	<u> </u>		 ^ 	_	1			\vdash						\vdash	Tare	\vdash	\vdash	\vdash	$\overline{}$	X	$\overline{}$	
Cub	NiAsS	sulfure ou sulfosel	Cobaltite	Gersdorffite						_	\vdash	+			\vdash	$\neg \neg$					\vdash	Х				$\overline{}$			rare
Rhb	Ca(Fe ²⁺ ,Mg,Mn)(CO ₃) ₂	carbonate	Dolomite	Ankerite												\neg			_			X	\vdash		\vdash	$\overline{}$	\vdash	$\overline{}$	Tale
Rhb	Ca(Mg)(CO ₃) ₂	carbonate	Dolomite	Dolomite	nc					X *	X	rare	nc				Χ				\vdash	X	\vdash		Х	\vdash	\vdash	-	X
	A ₂ B ₃ (SiO ₄) ₃ (OH)	silicate	Epidote	variété indéfinie	1			X				1.2.2						_	_				\vdash		<u> </u>			-	_^_
Mon	(Ce,Ca,Y) ₂ (Al,Fe ²⁺ ,Fe ³⁺) ₃ (SiO ₄) ³ (OH)	silicate	Epidote	Allanite, Orthite	+					X	\vdash	 				E		Ε				X		\vdash	\rightarrow			-	
	(25) 25/22 (25)	siticate	Feldspath	variété indéfinie	X	\vdash			_	X	\vdash	1	\vdash			m		m		X		$\stackrel{\sim}{\vdash}$	\vdash		\vdash	$\overline{}$	\vdash	\rightarrow	\vdash
Tri	NaAl3i ₃ 0 ₈	silicate	Feldspath plagioclase	Albite	1~	\vdash			rare	<u> </u>	\vdash			X	Х	e	-	e				Х	Х		\vdash	$\overline{}$	\vdash	$\overline{}$	Х
Tri	CaAL ₂ SI ₂ O ₈	silicate	Feldspath plagioclase	Andésine	1	 		1	1.20	\vdash	\vdash	rare		1	<u> </u>	1		r	\vdash			^	^	\vdash	\vdash	$\overline{}$	\vdash	-	^
Mon	KAISi ₃ O ₈	silicate	Feldspath potassique	(Orthoclase)	1	\vdash		1		\vdash		1.010	-	\vdash	\vdash	a		a				-	Y		\vdash	-	\rightarrow	-	\vdash
Cub	CaF ₂	halogénure	Fluorite	Fluorite	1	X	\vdash			_	\vdash			\vdash	rare	U	-	Ш				Х			$\vdash \vdash$	X	\longrightarrow	\rightarrow	$\vdash \vdash$
Ort	alpha-Fe ³ +O(OH)	oxyde	Goethite	Goethite, Limonite	X	<u> </u>	\vdash		rare	X	X			X	1216	d	X	d	nc	<u> </u>		X	\vdash	\vdash	$\vdash \vdash$	^	\longrightarrow	\rightarrow	$\vdash \vdash$
Cub	A ₃ B ₂ (SiO ₄) ₃	silicate	Grenat	vanété indéfinie	1~	\vdash	X		Tuic	+^-	<u></u>	+-		^		e	^	e	IIC	Х	-	$\stackrel{\frown}{}$	\vdash		\vdash	\rightarrow	-	\rightarrow	X
Cub	NaCl	halogénure	Halite	Halite.	+-	\vdash	X	-		+	+	-		CAR		-	Х	6				\vdash	\vdash	-	\vdash	Х	-	-	_^_
Rhb	Fe ₂ O ₃	oxyde	Hématite	Hématite	+-	\vdash	1	X		X	X	rare	-	UAIT			^					X	\vdash	-	\vdash		X	-	Х
Rhb	Fe ² +TiO ₃	oxyde	Ilménite	Ilménite, (Leucoxène)	+-	-	X			+~	X	Tale		_			-			\vdash	 '	X	$\frac{1}{x}$	-	\vdash	\rightarrow		-	
Qua	(Ti,Nb,Fe ³⁺) ₃ O ₆	oxyde	Ilménorutile	Ilménorutile	+-	+-	<u> </u>			+	 ^	_			-	-				\vdash			$\stackrel{\wedge}{\vdash}$	-	\vdash	\rightarrow	\longrightarrow	-	
Ort	(Y)Fe ³ +O(OH)	oxyde	Lépidocrocite	Lépidocrocite	+-	$\vdash \vdash$	\vdash		rare	rare	\vdash		-	\vdash	-+	-	-			\vdash	 	\vdash	\vdash	-	\vdash	-	\longrightarrow	$\overline{}$	rare
Cub	MgCr ₂ O4	oxyde	Magnésiochromite	Magnésiochromite	+-	-	-		Tale	Tale	X	-					\dashv			\vdash		\vdash	\vdash	-	\vdash	\rightarrow		-	\vdash
Cub	MgFe ³ + ₂ O ₄	oxyde	Magnesioferrite	Magnesioferrite	+-	-	-			X	X	-	_	-						\vdash			⊨─┤	-	\vdash	\rightarrow	\longrightarrow		$\overline{}$
ps. Hex	Ingl e204	silicate	Mica	variété indéfinie	╂─	-	-			+^-	X	-		-						\vdash	\vdash	_	- V	-	\vdash	\rightarrow	\longrightarrow		$\overline{}$
Mon	K(Mg,Fe ²⁺) ₃ (Al,Fe ³⁺)Si ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂	silicate	Mica	Biotite	+	\vdash	X	X	X	l x	X	1 00			-	\rightarrow		-		\vdash		12	X	\longrightarrow	\vdash			nc	igspace
Mon	CaAl ₂ (Al ₂ Si ₂)O ₁₀ (OH) ₂	silicate	Mica	Margarite	┿	+	 ^ 	^	_ ^	1 x	^	nc				\rightarrow			nc	-	X	X		-	\vdash	X	X		igwdapsilon
Mon ps. Hex	KAI ₂ (Si ₃ AI)O ₁₀ (OH,F) ₂	silicate	Mica	Muscovite, Fuschite (Cr)	+-	\vdash	X	X	X -	X	\vdash				-		-	- 1		-	\vdash	- 9			$\vdash \vdash$	\rightarrow		-	igsquare
Mon ps. riex	KMg ₃ Si ₃ AlO ₁₀ (F,OH) ₂	silicate	Mica	Phlogopite	-	\vdash	+^-	X	X	X		- V		-	-	-					- V	X	$\overline{}$	nc	\vdash				
Hex & Rhb	MoS ₂	sulfure ou sulfosel	Molybdénite	Molybdénite	-	1	\vdash	\ \	_	_	├	Х		\vdash		d		d		X	Χ	X	-		\vdash	Х	Х		X
Mon			Monazite		+	+	\vdash	V	rare	rare	-	rare		\vdash		е		е		-	<u> </u>	rare		_	\vdash	\rightarrow			
Rhb	(Ce,La,Nd,Th)PO ₄ Ca(Nd,Ce,La)o(CO ₃) ₃ F ₂	phosphate carbonate	Parisite	Monazite (Ce)	+	\vdash	\vdash	X		\vdash	\vdash	-				m	045	m			$\vdash \vdash$	\longrightarrow	X		\vdash	\rightarrow	\longrightarrow	\longrightarrow	-
Cub	(Fe,Ni) ₉ S ₈	sulfure ou sulfosel	Pentlandite	Parisite (Ce) Pentlandite	+	\vdash	\vdash		_	\vdash	—	-			rare		CAR	\rightarrow			\vdash	$\overline{}$			\vdash	\rightarrow	\longrightarrow		\square
Mon	LiAlSi ₄ O ₁₀	silicate	Pétalite	Pétalite	+-	\vdash	\vdash		├─	₩	-			\vdash			nc	-			\vdash	$\overline{}$			\longrightarrow	\rightarrow	\rightarrow		
Cub	FeSe ₂	sulfure ou sulfosel	Pyrite	Pyrite	X	\vdash	\vdash			X	CAR	_		CAR	\rightarrow	\rightarrow	nc				-	-			\vdash	\longrightarrow	\rightarrow	\longrightarrow	
Cub			Pyrochlore	Ralstonite	 ^	$\vdash \vdash$	$\vdash \vdash$		rare	1	CAR	-		CAR		\rightarrow	rare		\longrightarrow		rare	rare		ightharpoonup	\longrightarrow	\rightarrow			
	Na _x Mg _x Al _{2 x} (F,OH) ₆ H ₂ O	oxyde		- Process (1997)	+-	$\vdash \vdash$	$\vdash \vdash$			$\vdash \vdash$	—	nc		<u> </u>		\rightarrow		-			$\vdash \vdash$		Х	_	\vdash		-		
Mon & Hex	Fe _{1 x} S	sulfure ou sulfosel	Pyrrhotite	Pyrrhotite	+	$\vdash \vdash \vdash$	$\vdash \vdash$			+	—		_	X	- ,	$-\!\!+$	rare	\longrightarrow			<u> </u>	X		\rightarrow	\longrightarrow		\longrightarrow		
Rhb	SiO ₂	oxyde	Quartz	Quartz	+	\vdash	\vdash		rare	X		rare		Χ	Х		Х			\perp	Х	$\overline{}$	rare	nc	Ш	X	Х		Χ
Cub	(K,Cs)Al ₄ Be ₄ (B,Be) ₁₂ O ₂₈	borate	Rhodizite	Rhodizite	₩	+	\vdash			₩		\vdash	<u> </u>	$\vdash \vdash \vdash$	\rightarrow	C		C		\perp	igsquare	rare			igsquare]
Qua	SnO ₂	oxyde	Rutile	Cassitérite, (Leucoxène)	+-	X	\vdash			₩.	L.,	\vdash				h		0			igsquare				\square]
Qua	TiO ₂	oxyde	Rutile	Rutile	₩	\vdash	X	X		 , 	X_			$\vdash \vdash \downarrow$		<u>i </u>		S			igsquare			1	\square	Χ	Х		
Cub	Fe ² +Cr ₂ O ₄	oxyde	Spinelle	Chromite, Picotite	+	\sqcup	\vdash			X	X	\vdash				ν		С			لـــــا	لــــــا			Х	X			
Cub	Fe2+Fe3+O4	oxyde	Spinelle	Magnetite	-	\sqcup	ightharpoonup	_		\perp	<u> </u>					0		и						nc		\Box	Х	T	
Cub	MgAl ₂ O ₄	oxyde	Spinelle	Spinell	4—	\sqcup	\sqcup	-	_	\vdash	<u></u>	\sqcup				r		е			nc	_ X		[
Mon ps. Ort	(Fe ²⁺ , Mg,Zn) ₂ Al ₉ (Si,Al) ₄ O ₂₂ (OH) ₂	silicate	Staurolite	Staurolite	4	\sqcup	X			₩	<u></u>			\sqcup				Z						[
Cub	KCI	halogénure	Sylvite	Sylvite	Х	\sqcup	igspace			\sqcup	<u> </u>	\vdash		$\sqcup \sqcup$				$_{\perp}$]									
Mon	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	silicate	Talc	Talc	╀	\sqcup	\sqcup		Х	X	X											Х		nc		X			
Qua	(Th,U)SiO ₄	silicate	Thorite	Thorite	_	\sqcup	\square	X		\sqcup							T												\neg
Mon	CaTiSiO ₅	sílicate	Titanite	Titanite, Sphene	_	$\sqcup \sqcup$	\sqcup	Х		oxdot																			
Rhb	WX ₃ Y ₆ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH,O,F) ₄	silicate	Tourmaline	variété indéfinie	1		\square	X	rare	rare											nc		rare			Х		\neg	
Rhb	NaMg ₃ Al ₆ (Bo ₃)Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄	silicate	Tourmaline	Dravite		\square																rare					Х	\neg	\neg
Cub		1 1	I. Discontable	I Decembrita		1	. 1	1		1		1 7											_		-	_	$\overline{}$	\rightarrow	\neg
Qua	UO ₂ ZrSiO ₄	oxyde silicate	Uraninite Zircon	Uraninite Zircon	_									nc X		_	nc				1				1		Į	1	- 1

Notes