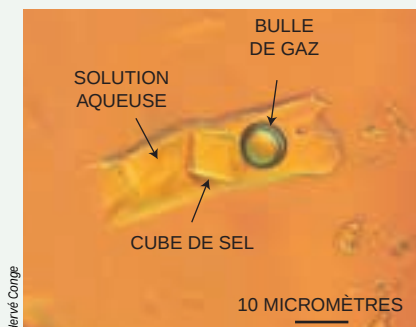




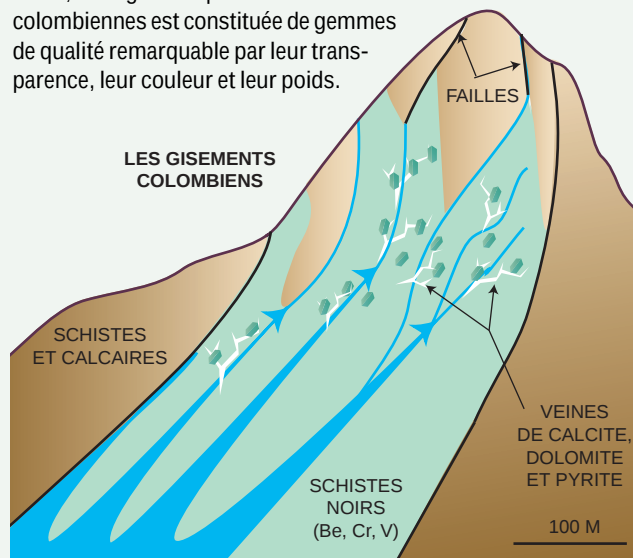
Les inclusions triphasées (cube de sel, solution aqueuse, gaz) sont caractéristiques des émeraudes colombiennes.

quartz associées soit à de la phlogopite, soit à des assemblages de dolomite et de quartz (voir l'encart d).

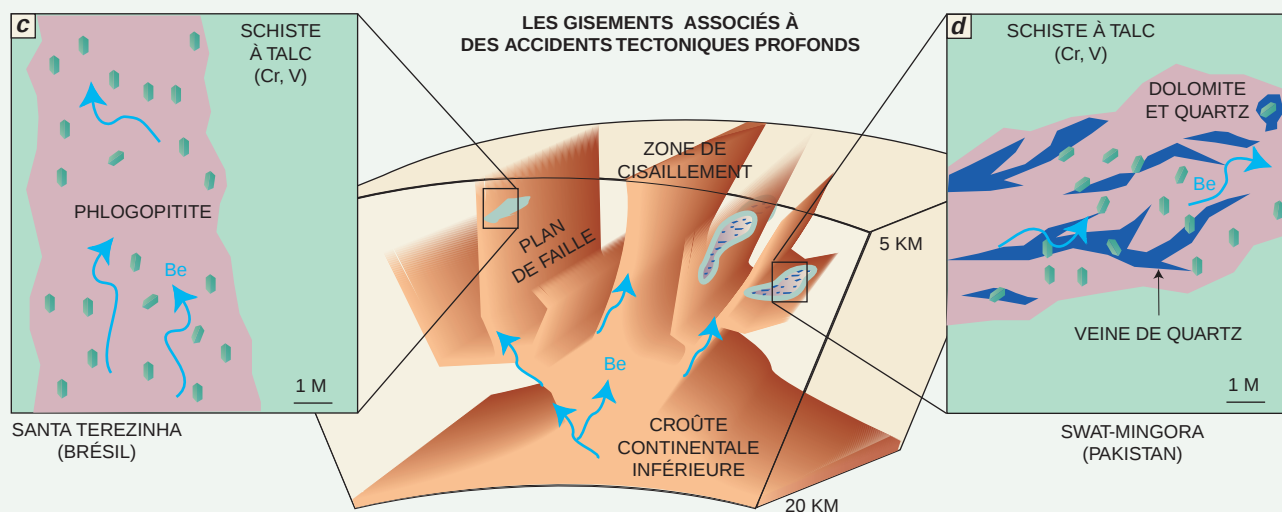
Les gisements issus du métamorphisme régional, tel celui d'Habachtal, en Autriche, résultent de la transformation chimique des roches à l'état solide (à cause d'une élévation de température et de pression liée à leur enfouissement dans la croûte terrestre) et des déformations tectoniques qu'elles subissent. Les émeraudes cristallisent dans des phlogopitites qui se sont formées au contact de roches basiques (les serpentinites) et de roches volcaniques acides (les schistes à muscovite et grenat). Ces dernières sont enrichies respectivement en chrome (et en vanadium) et en béryllium, nécessaires à la formation des émeraudes. Ces éléments ont été solubilisés par des fluides entre 500 et 550°C, composés d'eau et de gaz carbonique. Les gisements de Sikait et de Zabara, en Égypte, de Poona, en Australie, et de Gravelotte, en Afrique du Sud, appartiennent à ce type particulier de gisement.

Dans les gisements colombiens, les roches porteuses du béryllium et du chrome sont des roches sédimentaires. Ces éléments, issus du démantèlement de roches de surface, dont certaines contenaient du chrome et d'autres du béryllium, se sont déposés dans les sédiments du bassin de la cordillère orientale, les schistes noirs à grain très fin, principalement constitués d'argile et riches en matières carbonées. Les épisodes de déformation du bassin ont

entraîné l'apparition de failles dans les schistes noirs, où les eaux superficielles se sont infiltrées et se sont mélangées aux eaux présentes dans le fond du bassin. Ces fluides à 300 °C, saturés en sel, ont dissous le chrome, le vanadium et le béryllium des schistes noirs. Grâce à la réunion de ces éléments, des émeraudes ont cristallisé dans des petites cavités nommées géodes, à l'intérieur de veines de calcite, de pyrite et de dolomite emplissant les failles. Les cristaux sont bien formés. Ils n'ont pas englobé la matrice de la roche mère, de sorte que les inclusions solides sont quasiment absentes : les émeraudes colombiennes sont limpides. Cependant, elles contiennent des «jardins», formés par des inclusions fluides, où coexistent un cube de sel, une phase vapeur, composée d'azote et de gaz carbonique, et une solution aqueuse. Ainsi, une grande partie des émeraudes colombiennes est constituée de gemmes de qualité remarquable par leur transparence, leur couleur et leur poids.



Coupe géologique du gisement colombien de Coscuez, qui s'est formé il y a 38 millions d'années. À cette époque, cinq kilomètres de sédiments le recouvraient. Des fluides salés, qui circulaient dans les failles du bassin sédimentaire ont solubilisé le béryllium (Be), le chrome (Cr) et le vanadium (V) des schistes noirs. Ces éléments ont permis la cristallisation des émeraudes dans les veines de calcite, de dolomite et de pyrite, qui se sont formées aux extrémités des failles.



dans des roches basiques (serpentinite, schistes à talc) et en vanadium (V). L'émeraude cristallise dans les roches «filles» où ces deux éléments sont réunis : généralement des phlogopitites (c),

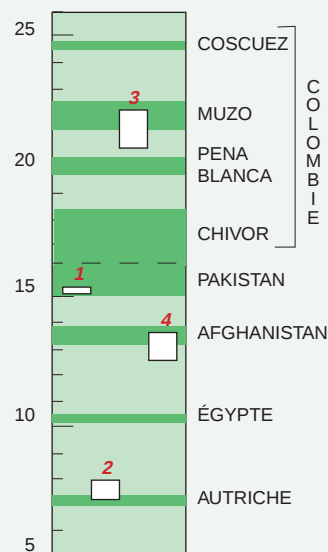
mais aussi parfois des veines de quartz ou des assemblages de quartz et de dolomite (d) et de quartz et de micas blancs, les greisens (b).

La carte d'identité des émeraudes

Pour identifier le gisement d'où provient une émeraude, on détermine sa composition isotopique en oxygène, un élément qui constitue 65 pour cent des atomes du réseau cristallin. Les émeraudes contiennent trois isotopes stables de l'oxygène, de masse atomique 16, 17 et 18. Le noyau de l'oxygène 16 comprend huit protons et huit neutrons, tandis que les noyaux de l'oxygène 17 et 18 comportent respectivement un et deux neutrons de plus. Ces isotopes ont des concentrations distinctes : à cause de leur différence de masse, ils ne sont pas incorporés dans les mêmes proportions lors de la cristallisation à partir du fluide hydrothermal. La composition isotopique des émeraudes d'un gisement donné dépend des conditions dans lesquelles il s'est formé, notamment de la température de cristallisation et de la composition isotopique des roches «mères» partiellement dissoutes par le fluide hydrothermal (voir l'encadré des pages 62 et 63). Par exemple, les valeurs élevées du rapport des concentrations de l'oxygène 18 et de l'oxygène 16 (noté $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) dans les schistes noirs de Colombie sont en partie responsables de la valeur élevée de ce rapport dans les émeraudes du gisement.

Nous avons mesuré le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dans des émeraudes issues de 62 gisements distincts, en utilisant la technique classique d'«extraction de l'oxygène» des silicates. Les échantillons, de quelques milligrammes, sont mis en contact avec un oxydant puissant à 650 °C, qui les attaque chimiquement et en extrait l'oxygène, sous forme de gaz. Celui-ci est ensuite transformé en dioxyde de carbone et analysé dans un spectromètre de masse. Cette étude a montré que chaque gisement d'émeraude était caractérisé par un intervalle spécifique de valeurs du rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Ce rapport constitue la «carte d'identité» géographique d'une émeraude.

Depuis la fin de l'année 1998, nous avons mis au point l'analyse par sonde ionique de la composition isotopique de l'oxygène dans les minéraux de manière non destructive et avec une grande précision. Cet instrument bombarde la surface des émeraudes d'ions césium sur une aire de quelques micromètres carrés. Le faisceau d'ions accélérés arrache de très faibles quantités d'oxygène (quelques couches atomiques). La composition isotopique de l'oxygène est analysée par le spectromètre de masse de la sonde ionique. Les cratères d'impact, d'environ 20 micromètres de diamètre et 0,05 micromètre de profondeur, sont invisibles à l'œil nu, même avec une loupe. Cette technique étant quasiment non destructive, elle a été employée sur des émeraudes historiques (appartenant à des musées ou des collections privées), pour déterminer leur provenance.



L'analyse de quatre émeraudes historiques par la sonde ionique indique leur provenance : celle de la boucle d'oreille gallo-romaine de Miribel (1), celle de la Sainte Couronne (2), celle du galion espagnol coulé en 1622 (3) et celle du trésor indien du Nizam d'Hyderabad (4). Leurs rapports isotopiques sont portés en ordonnée, ainsi que ceux des gisements connus avant le XVIII^e siècle.

1537, quand il fonde Bogota, l'actuelle capitale. En 1521, lors du sac de Tenochtitlan, l'ancienne capitale aztèque dont les ruines sont aujourd'hui enfouies sous la ville de Mexico, Hernan Cortés arrache à l'empereur Moctezuma un bloc de calcaire où sont enchâssées dix émeraudes d'un vert profond de 2,5 à 5 centimètres de hauteur : cette pièce, conservée au musée de Vienne, en Autriche, est l'une des plus célèbres de la minéralogie.

Les conquistadores ne découvrent les premiers gisements d'émeraudes que 20 ans après leur arrivée : celui de Chivor en 1537, celui de Muzo dans les années 1550 et celui de Coscuez en 1646. Leur exploitation est intensive. La royauté espagnole perçoit une dîme d'un cinquième des pierres rapportées du Nouveau Monde. Le galion *Nuestra Señora de Atocha*, qui coule en 1622 près des côtes de Floride, livre 2 300 émeraudes lorsqu'il est repêché. L'analyse de l'une d'entre elles par la sonde ionique indique non seulement son gisement d'origine (Muzo), mais la méthode est suffisamment précise pour que la mine elle-même soit identifiée : c'est celle

de Tequendama, exploitée par les Espagnols à partir de 1594. L'afflux d'émeraudes rapportées du Nouveau Monde a de multiples conséquences économiques, mais aussi esthétiques : elles ornent tous les bijoux espagnols. Les croix en sont entièrement pavées. À la fin du XVII^e siècle, la production décline, à cause des éboulements dans les mines et des révoltes des mineurs, traités en esclaves. En Europe, les émeraudes restent caractéristiques de la bijouterie espagnole et portugaise. Les pays voisins admirent ces beaux cristaux, qui ne sont plus givreux, comme ceux de l'Antiquité et du Moyen Âge. Les souverains en raffolent. Charles I^{er} d'Espagne aurait financé son élection à la tête du Saint Empire avec des émeraudes colombiennes. Catherine de Médicis offre à son fils cadet un pendentif orné d'une grande table d'émeraude (conservée au cabinet des Médailles, à Paris). Parmi les autres pièces exceptionnelles de cette époque, un pot à onguents, sculpté par un artisan milanais dans un cristal d'émeraude, mesure dix centimètres de haut (voir la figure 4).

Une émeraude afghane en Inde

L'Inde regorge de gemmes. Les maharajas en sont friands et s'en parent à foison. D'où viennent les nombreuses émeraudes de leurs trésors ? Le pays possède les seules mines de diamants connues avant la découverte de celles du Brésil, en 1725, mais pas de mines d'émeraudes. Elles sont importées d'Égypte, et peut-être de Bactriane et du Bengale. La découverte récente de mines au Rajasthan et en Inde du Sud (à Coimbatore) relance le débat. Toutefois, aucune trace d'exploitation antique n'a été retrouvée. À partir du XVI^e siècle, les émeraudes viennent de Colombie. Après avoir voyagé sur les galions espagnols jusqu'en Europe, elles repartent sous pavillon portugais vers les comptoirs indiens de Goa et de Diu. Depuis que le navigateur portugais Vasco de Gama a découvert la route maritime des Indes par le cap de Bonne-Espérance, en 1498, les Portugais ont le monopole du transport de marchandises sur ce trajet. Moins fréquemment, les émeraudes empruntent aussi d'autres itinéraires, par la

Turquie ou par l'océan Pacifique (voir la figure 3).

Au XVII^e siècle, le voyageur français Jean-Baptiste Tavernier remarque qu'en Inde, les émeraudes sont si abondantes qu'elles se négocient à 20 pour cent au-dessous du prix français. Les Espagnols et les Portugais s'enrichissent en vendant leurs émeraudes sur le marché indien ou en échangeant ces pierres contre de l'or et des diamants. Les Moghols polissent les prismes d'émeraudes en perles irrégulières, afin de perdre le moins de matière possible. Ils les portent en pendeloque, en dégradé sur des colliers, ou seules, comme ornement de turban. Les gemmes de moins bonne qualité sont taillées en perles côtelées. Les grands cristaux d'émeraudes, plus rares, sont sectionnés latéralement, en « tables » à six côtés, ou taillés en rectangles aux angles émoussés, gravés de rinceaux feuillagés et fleuris ou d'écritures coraniques (voir la figure 5). Au XIX^e et au XX^e siècle, les parures des maharajas comportent d'innombrables émeraudes, diamants, perles et rubis, qui contribuent à leur prestige.

À partir des années 1920, avec l'art décoratif, ces émeraudes, des perles lisses ou gravées, en forme de feuille, ont une seconde vie : les joailliers de la place Vendôme, tels Cartier et Chaumet, les montent sur des bijoux identiques plus légers (en platine) ou les sertissent à la mode occidentale. Jusqu'à dans les années 1960, Van Cleef propose toujours ces parures fastueuses d'inspiration indienne.

Quatre émeraudes taillées au XVIII^e siècle, de grandes dimensions et de très bonne qualité (translucides et d'un vert profond) du trésor de Nizam d'Hyderabad, le maharaja du plus puissant des États d'Inde du Sud, ont été analysées avec la sonde ionique. Ces belles émeraudes translucides, d'un vert profond, laissaient présager, par leurs inclusions triphasées caractéristiques (voir l'encadré des pages 62 et 63), une origine colombienne, que la sonde a confirmé pour trois d'entre elles : elles viennent du gisement de Muzo. Les rapports isotopiques obtenus indiquent même les mines dont elles sont issues : Peña Blanca, Coscuez et Tequendama.

La quatrième émeraude du trésor indien de Nizam d'Hyderabad vient d'Afghanistan, une provenance inattendue. Or, ce gisement, n'est connu



Muséum d'histoire naturelle de Vienne, Autriche.

4. CE POT À ONGUENTS, réalisé par un artisan milanais de la Renaissance, est taillé dans un cristal d'émeraude colombien haut de dix centimètres.



Ph. Siebert

5. À L'ÉPOQUE MOGHOLE (du XVI^e au XVIII^e siècle), les émeraudes sont taillées en perles côtelées, comme sur ce collier. Les grands cristaux d'émeraudes sont sectionnés latéralement, en « tables » à six côtés et gravés de rinceaux feuillagés et fleuris ou d'écritures coraniques.

que depuis une vingtaine d'années, et on avait perdu toute trace d'exploitation antérieure. Les émeraudes afghanes peuvent être aussi belles que les émeraudes colombiennes, avec le même type d'inclusions. La provenance afghane de cette émeraude prouve que les pierres de ce gisement étaient déjà commercialisées au XVIII^e siècle (ce qui n'exclut pas une exploitation antérieure) et donne une nouvelle résonance à la thèse d'un gisement en Afghanistan connu dès l'Antiquité.

Nombre d'émeraudes indiennes se trouvent aujourd'hui en Iran, où

les descendants des Perses détiennent le plus gros trésor de gemmes du monde. Le shah Nader l'a constitué à partir des trésors moghols, pillés lors du sac de Delhi, en 1739. Le trésor est conservé à la banque Mélli de Téhéran, où les émeraudes sont stockées par vasques pleines. Lors du règne du dernier shah, deux gemmologues américains ont eu l'autorisation de les examiner et y ont observé les fameuses inclusions triphasées caractéristiques des pierres colombiennes et afghanes. Combien d'émeraudes afghanes se cachent-elles dans ce trésor ? Des analyses avec la sonde ionique permettraient de répondre à cette question et d'avoir ainsi une indication sur l'importance de l'exploitation du gisement afghan dans le passé.

Ces recherches à l'aide des résultats des fouilles archéologiques, des textes anciens et des références d'orfèvrerie ont permis de gommer nombre d'erreurs souvent répétées et d'établir la chronologie la plus précise de la route des émeraudes.

Gaston GIULIANI (Institut de recherche pour le développement) et Marc CHAUSSIDON (CNRS) sont géologues au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Vandœuvre, près de Nancy. Michèle HEUZÉ est gemmologue diplômée d'État et historienne du bijou, une discipline qu'elle enseigne au Centre de formation des arts appliqués à Paris (ASAP).

John SINKANKAS, *Emeralds and other beryls*, Geoscience Press, 1989

D. GIARD, G. GIULIANI, A. CHEILLETZ, E. FRITSCH et E. GONTHIER, *L'émeraude. Connaissances actuelles et perspectives*, AFG, CNRS, ORSTOM, eds, 1998.

G. GIULIANI, M. CHAUSSIDON, C. FRANCE-LANORD, C. ROLLION, D. MANGIN et P. COGET, *Analisis*, vol. 27, n° 3, pp. 203-206 : *Application de l'analyse isotopique par spectrométrie de masse et sonde ionique de l'oxygène des émeraudes naturelles*, 1999.

G. GIULIANI, M. CHAUSSIDON, H.-J. SCHUBNEL, D.H. PIAT, C. ROLLION-BARD, C. FRANCE-LANORD, D. GIARD, D. DE NARVAEZ et B. RONDEAU, *Oxygen Isotopes and Emerald Trade Routes since Antiquity*, in *Science*, n° 287, pp. 631-633, 2000.

Michèle HEUZÉ, *Le jardin secret des émeraudes*, in *L'objet d'Art*, n° 345, pp. 52-65, 2000.
