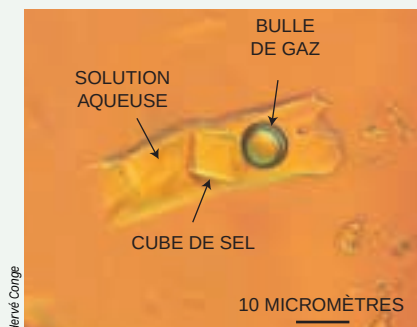




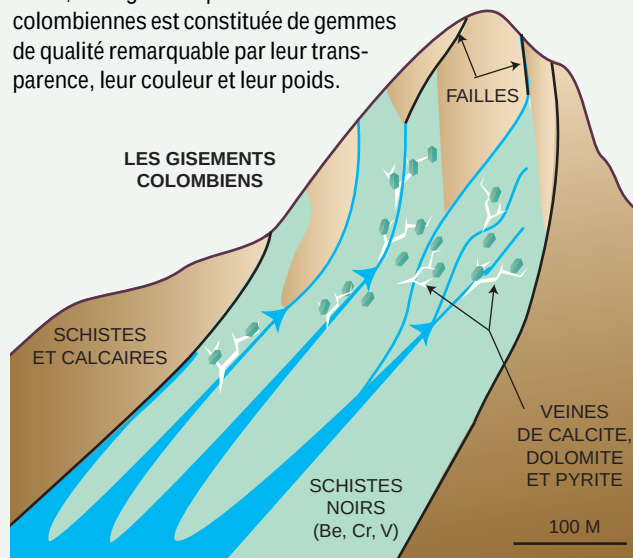
Les inclusions triphasées (cube de sel, solution aqueuse, gaz) sont caractéristiques des émeraude colombiennes.

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

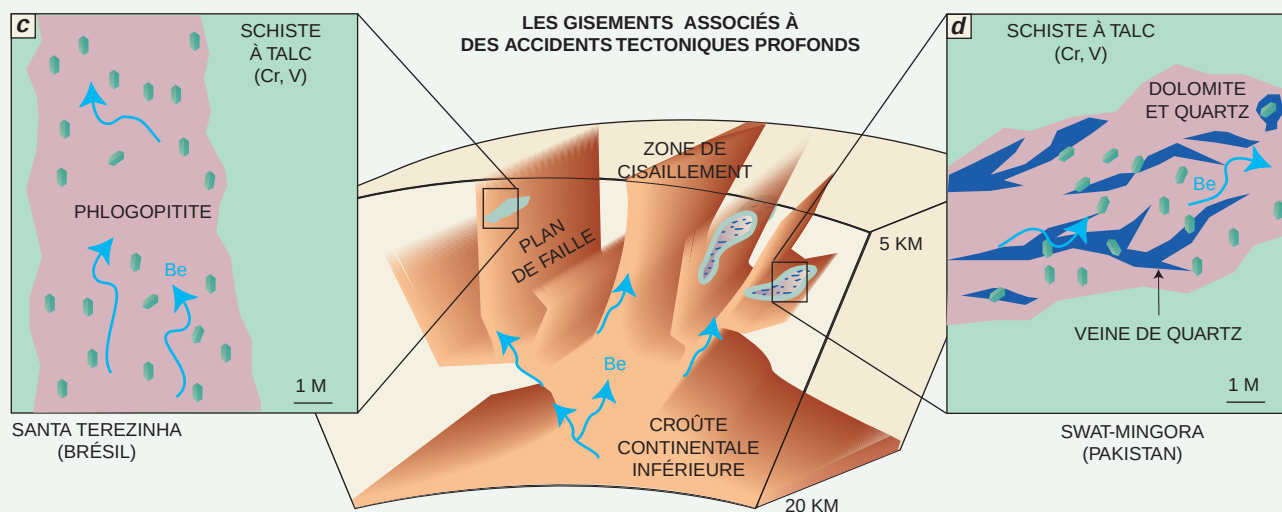
Les gisements issus du métamorphisme régional, tel celui d'Habachtal, en Autriche, résultent de la transformation chimique des roches à l'état solide (à cause d'une élévation de température et de pression liée à leur enfouissement dans la croûte terrestre) et des déformations tectoniques qu'elles subissent. Les émeraude 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 émeraude. 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 émeraude 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 émeraude 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 émeraude 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 émeraude 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),

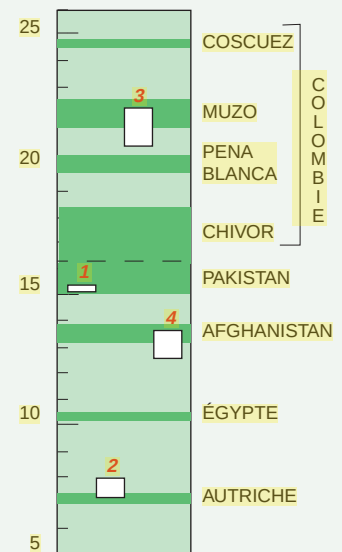
mais aussi parfois des veines de quartz ou des assemblages de quartz et de dolomite (d) et de quartz et de micas blancs, les greisens (b).

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