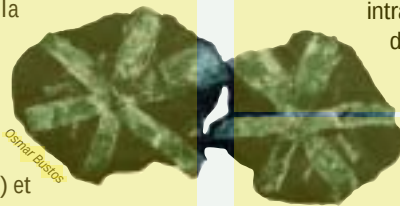


La formation des émeraudes

L'émeraude est la variété verte du beryl, un minéral constitué de silicium, d'oxygène, de béryllium et d'aluminium (de formule chimique $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$), qui cristallise dans le système hexagonal. Sa couleur verte est due à d'infimes quantités de chrome, et parfois de vanadium, qui remplacent des atomes d'aluminium. Les autres variétés de beryl colorées contiennent des substituants différents : la couleur bleu-vert de l'aigue-marine est due à la présence de fer, et celle de la bixbite, rouge, résulte de la présence de manganèse et de césium dans le réseau cristallin.

L'émeraude est un minéral rare, car le chrome (et le vanadium) et le béryllium ont des comportements géochimiques opposés : le chrome se concentre dans les roches issues du manteau (l'enveloppe de la Terre située sous la croûte continentale ou océanique), tandis que le béryllium a une affinité pour la croûte continentale et se concentre dans les magmas granitiques. La formation d'une émeraude résulte d'un concours de circonstances exceptionnelles qui réunit le chrome (et le vanadium) et le béryllium dans un même lieu. On distingue quatre types de gisements d'émeraudes.



Émeraudes trapèzes de la mine de Coscuez, en Colombie, cristallisées dans une matrice de schiste noir (d'environ quatre centimètres de diamètre).

Les gisements de type granitique (voir la figure), tel le gisement de Carnaíba, au

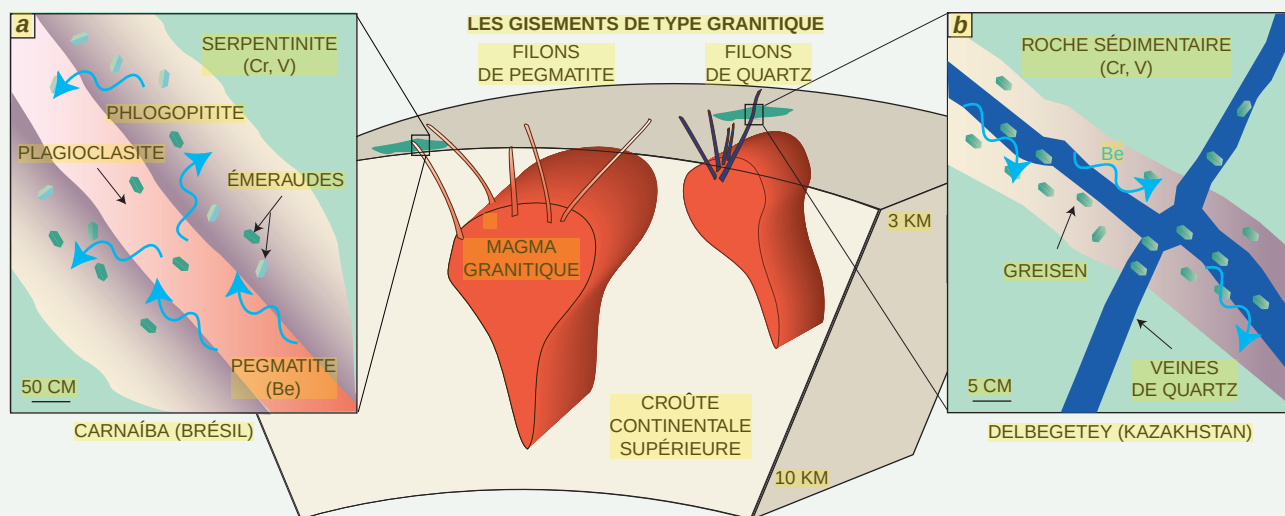
Brésil (voir l'encart a), résultent de la rencontre entre une serpentinite, issue de la transformation d'une roche du manteau pauvre en silice (basique), mais riche en magnésium, en fer, en chrome et en vanadium, et un magma granitique riche en silice (acide) et en alumine. En remontant vers la surface terrestre, le magma fissure les roches basiques, notamment la serpentinite, et y injecte des filons de pegmatite : à mesure que le magma refroidit, ses divers constituants se solidifient les uns après les autres, formant une série de roches magmatiques. La pegmatite est «au bout» de cette chaîne : ses constituants (du quartz, du feldspath et du mica, dont les cristaux atteignent parfois des tailles de l'ordre du mètre) sont les derniers à se solidifier. Le refroidissement du magma libère un fluide hydrothermal constitué d'eau, de dioxyde de carbone et de sels, dont la température est comprise entre 400 et 600 °C. Ce fluide cir-

cule le long des zones de contact entre les filons de pegmatite et la serpentinite, dont il solubilise la plupart des constituants (notamment le béryllium de la pegmatite, et le chrome et le vanadium de la serpentinite). Il transforme ces roches respectivement en plagioclase (constituée de feldspath blanc riche en sodium) et en phlogopite (un schiste, c'est-à-dire une roche à structure feuilletée, contenant de la phlogopite : un mica magnésien de couleur marron). Ainsi, le chrome provenant de la dissolution de la chromite contenue dans la serpentinite, et le béryllium de la pegmatite, sont concentrés dans la phlogopite et dans la plagioclase, où les émeraudes cristallisent.

Au cours de leur croissance, ces émeraudes englobent des minéraux de leur matrice, notamment de la phlogopite, dans des cavités intracristallines : ces inclusions solides leur font perdre de leur transparence. Des petites gouttes de fluide hydrothermal sont également piégées dans les émeraudes, sous forme d'inclusions fluides.

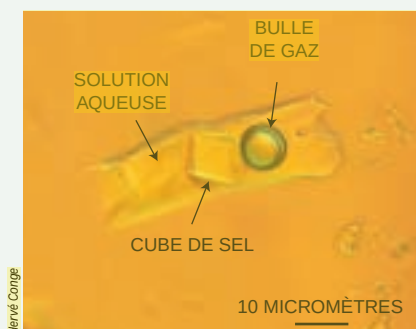
Les gisements de type granitique sont les plus courants. On en trouve notamment au Brésil, en Zambie, au Zimbabwe, en Australie et en Russie. Le gisement de Delbegetey, au Kazakhstan (voir l'encart b), est une variante du type précédent, car l'émeraude est contenue dans des filons de quartz et des greisens (des roches constituées de quartz et de muscovite, un mica blanc) issus du magma granitique, qui a fissuré une roche sédimentaire. Le béryllium est apporté par les fluides hydrothermaux issus du granite, et le chrome probablement par les roches sédimentaires.

Les gisements associés à des accidents tectoniques profonds, tel le gisement de Santa Terezinha de Goiás, au Brésil (voir l'encart c), sont situés sur des zones de failles profondes et de cisaillements dans la croûte continentale. Ces accidents tectoniques permettent la remontée, dans les parties plus superficielles de la croûte, de fluides métamorphiques (qui circulent dans les parties inférieures de la croûte). Ces fluides, entre 400 et 600°C, sont constitués de gaz carbonique, d'eau et d'éléments légers, notamment de béryllium. Au cours de leur remontée vers la surface, ils circulent à travers des roches basiques, notamment des schistes à talc, qu'ils transforment, là aussi, en phlo-



Dans les différents types de gisements, les roches «mères» contenant du chrome (en vert) sont transformées en roches «filles» (en violet) par le fluide hydrothermal qui y circule (flèches bleues). Celui-

ci s'est enrichi en béryllium (Be), qu'il a solubilisé en traversant la pegmatite (a) ou des roches plus profondes (non représentées), en chrome (Cr) provenant de la dissolution de la chromite contenue



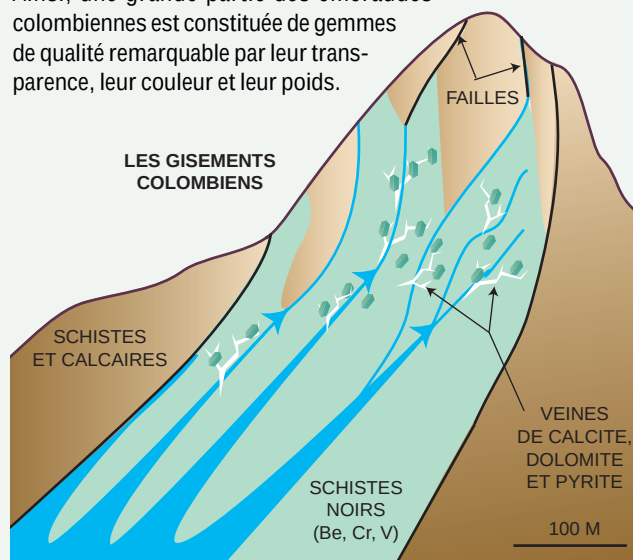
Les inclusions triphasées (cube de sel, solution aqueuse, gaz) sont caractéristiques des émeraudes colombiennes.

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

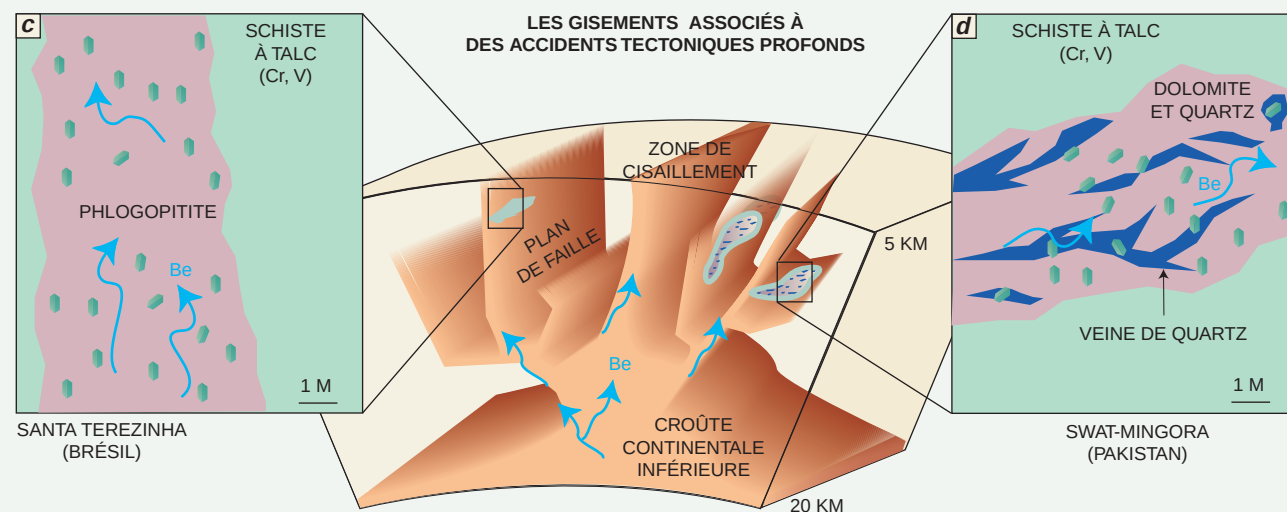
gopitite. À nouveau, la présence simultanée de béryllium et de chrome y crée les conditions favorables de cristallisation des émeraudes. Les gisements d'Umm Kabo, en Égypte, de lanapera, à Madagascar, et de Swat-Mingora, au Pakistan, sont une variante du type précédent car l'émeraude est contenue dans des veines de

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

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 phlogopites (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).