

LA TANZANITE ET LA TSAVORITE

La tanzanite (*ci-dessous*) est la variété vanadifère, de couleur bleu foncé, du minéral zoisite, de formule générale $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$: sa couleur est due au vanadium qui se substitue à l'aluminium dans la structure cristalline. En général, la tanzanite non traitée est de couleur marron grisâtre, violet grisâtre, violet brunâtre, bleuâtre et marron verdâtre ; on la chauffe à basse température pour modifier les impuretés et éliminer les nuances indésirables, mais surtout pour obtenir la couleur bleue. La tsavorite (*page ci-contre*), quant à elle, est la variété verte,

de qualité gemme, du grenat calcique alumineux, le grossulaire (du nom de la groseille à maquereaux, de couleur similaire), de formule générale $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$. Sa couleur est due à la présence de petites quantités de vanadium qui remplacent l'aluminium (grossulaire vanadifère).

La tanzanite et la tsavorite ont toutes deux été découvertes en 1967 en Tanzanie. La plupart des mines et des gisements importants de tsavorite se trouvent en Afrique de l'Est, dans l'Est et le Sud de la Tanzanie, et dans le Sud-Est du Kenya, à proximité

du parc national du Tsavo, et dans le Sud de Madagascar. Tous ces gisements se situent dans des gneiss graphiteux riches en vanadium qui sont associés à des marbres et des niveaux d'évaporite (sels et sulfates).

Les gisements du district de Merelani, en Tanzanie, au pied du Kilimandjaro, restent la seule source connue de tanzanite. C'est aussi dans ce district que l'on trouve les meilleurs cristaux de tsavorite, associés à de la tanzanite et de la tourmaline chromifère. Ces gisements sont situés sur le flanc Ouest d'une série de roches sédimentaires (schistes noirs, calcaires, sels et sulfates) plissées, déformées et « métamorphisées » à une température d'environ 700 °C, nommée la ceinture plissée de Lelatema. La tanzanite et la tsavorite de qualité gemme sont en général concentrées soit dans des veines et filons de quartz dévelop-

pés à la charnière des plis, soit dans des nodules dispersés dans les schistes noirs métamorphiques (gneiss graphiteux) et des calcaires transformés en marbres. Les mécanismes de formation des deux gemmes semblent toutefois distincts.

La tsavorite s'est formée au cours de la phase de réchauffement du métamorphisme régional (métamorphisme prograde), suivant deux types de minéralisation : dans les nodules, la tsavorite a remplacé des sels et des sulfates impurs qui contenaient des argiles à vanadium et chrome. Cette transformation s'est effectuée à une température de 580 à 690 °C et une pression de 5×10^8 à 704×10^8 pascals ; dans les veines de quartz, la circulation du fluide métamorphique calcique et sulfuré a provoqué le dépôt de la tsavorite à une température comprise entre 500 et 590 °C et une pression de $3,6 \times 10^8$ à 5×10^8 pascals.



Didier Descouens / Wikimedia (CC-BY-SA-3.0)

L.-D. Bayle / le Règne Minéral

LA TOPAZE

De formule générale $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$, la topaze est majoritairement incolore, mais certaines sont jaune pâle, roses, orange, marron, bleues, vertes ou grises. Les teintes roses et rougeâtres résultent de la substitution de chrome, de manganèse et de fer à la place de l'aluminium. Les couleurs brunâtres et bleues sont dues à une variété de défauts nommés centres de couleur au sein des pierres et sont accentuées par le chauffage. La topaze bleu ciel est apparue sur les marchés au milieu des années 1980 : elle est obtenue en irradiant la topaze incolore à l'aide de neutrons ou de rayons gamma ; l'irradiation entraînerait le déplacement des hydroxyles (OH) dans la structure cristalline. Les défauts ainsi créés absorberaient la lumière à certaines longueurs d'onde, révélant une dominante bleue.

On connaît plus de 80 gisements de topaze bien cristallisée dans le monde. La plupart des topazes de qualité gemme sont produites dans des pegmatites en général peu profondes et enrichies en terres rares, telles celles du Minas Gerais, au Brésil. La région d'Ouro Preto, dans le Minas Gerais, dont sont issues nombre de topazes gemmes, en particulier la variété « impériale » rouge à rose orangé, riche

en chrome, ferait toutefois exception : la topaze contenant des concentrations élevées d'hydroxyle, ses gisements se sont formés dans des veines hydrothermales de quartz issues de la mise en place d'un granite dans des formations mafiques métamorphisées porteuses de chrome. Des gisements similaires sont connus au Pakistan et en Russie.

On trouve aussi des topazes dans des coulées de rhyolite, une roche volcanique riche en silicium et pauvre en fer et en magnésium ; dans l'Ouest des États-Unis et au Mexique, notamment, une ceinture d'unités de rhyolite du Cénozoïque (65 millions d'années) enrichie en fluor est grande productrice de gemmes. Les textures pétrographiques observées sur les roches indiquent que la topaze s'est formée à plusieurs stades à partir du début de la sortie de la lave (extrusion) et à des températures de 650 à 850 °C. À Cerro El Gato (San Luis Potosí, Mexique), cependant, d'autres mécanismes sont invoqués : la topaze incolore aurait cristallisé à plus de 500 °C à partir de fluides enrichis en éléments extraits de la lave par lessivage, tandis que la topaze ambrée se serait formée à moins de 500 °C à partir de fluides plus riches en éléments volatils, dont l'arsenic.



Didier Descouens / Wikimedia (CC-BY-SA-3.0)

John Hill / Wikimedia (CC-BY-SA-3.0)

LE JADE

Le jade désigne deux types de roches : la jadéite, composée en majorité de jadéite ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$), et la néphrite, une variété de trémolite-actinolite ($\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) avec de minuscules cristaux. La jadéite est plus dure que la néphrite, mais la ténacité (résistance à la fracture) et l'énergie de surface de la néphrite sont environ le double de celles de la jadéite. Moins courante et plus précieuse que la néphrite, la jadéite est davantage utilisée en bijouterie qu'en sculpture.

La jadéite pure est blanche. Les teintes verte et bleue sont attribuées au remplacement de l'aluminium par du fer, ou par quelques atomes de chrome pour la couleur « impériale » vert émeraude. La couleur mauve serait due à du manganèse dans une jadéite pauvre en fer. Rarement, la néphrite présente une couleur vert émeraude intense par substitution de chrome.

On ne recense que 14 gisements de jadéite. Le principal district producteur est le Jade Tract dans l'État de Kachin, au Nord du Myanmar, où la jadéite se présente sous forme d'intrusions ou de fragments dans des agrégats rocheux à dominante de serpentinite (une roche métamorphique de silicates de magnésium), et dans des gisements alluviaux. Une autre source importante de jadéite est la vallée du Motagua au Guatemala, où deux ceintures de jade associé à de la serpentinite sont les té-

TSAVORITE
de Merelani,
en Tanzanie.



La tanzanite, quant à elle, s'est formée à partir de fluides hydrothermaux lors de la phase de refroidissement du métamorphisme régional (métamorphisme rétrograde). La formation a eu lieu à des températures comprises entre 390 et 450 °C et des pressions de 2×10^8 à 3×10^8 pascals, soit dans des veines de quartz, soit par transformation de la tsavorite par hydratation du grenat. D'après la datation par traces de fission sur la tanzanite – une technique qui examine les traces laissées par la désintégration spontanée de certains éléments radioactifs –, elle aurait cristallisé il y a environ 585 millions d'années.

JADE MAYA en jadéite
(hauteur 20 cm).



moins d'une zone de subduction entre les plaques américaine et caraïbes. Tous les gisements de jadéite (et beaucoup de néphrite) se forment à la périphérie des plaques, où des fluides interagissent avec des péridotites (roches riches en magnésium et en fer) et avec les roches environnantes, à une profondeur atteignant 50 kilomètres.

L'essentiel de la néphrite est un produit de la transformation chimique de roches par la circulation de fluides au contact d'une intrusion siliceuse ou d'une extrusion magmatique (métasomatisme de contact), et ce de deux façons : le remplacement de la serpentinite par du calcium au contact de la roche siliceuse, et le remplacement de la dolomite par des fluides riches en silice associés aux magmas granitiques. Les principaux gisements de la première catégorie sont situés dans des mines du Nord de la Colombie-Britannique et dans le massif du Saïan oriental en Sibérie. Moins étendues et abondantes, les mines de la seconde catégorie se trouvent dans les monts Kunlan en Chine et la province de Co-well dans le Sud de l'Australie.

Si de nombreuses gemmes sont encore extraites par des exploitants isolés dans des endroits difficiles d'accès, l'industrie des gemmes s'est modernisée en systématisant ses méthodes de prospection de nouveaux gisements. Depuis que, dans les années 1980, les images du satellite d'observation de la surface terrestre *Landsat* ont été mises à disposition pour un coût faible, les prospecteurs possédant une technologie de pointe cartographient directement les gîtes minéraux à l'aide de ces clichés dans le domaine visible, voire d'autres bandes spectrales dans des zones dépourvues de végétation. Et les satellites plus récents ont encore amélioré la résolution des images.

Quand la technologie s'en mêle

Au Canada, les images satellites et aériennes ont été utilisées pour rechercher des sites potentiels de kimberlite diamantifère, car les mesures chimiques et magnétiques sur ces formations sont différentes de celles des roches environnantes. La recherche des signatures magnétiques est particulièrement utile pour la découverte de kimberlites sous couverture ou sous l'eau. En 2002, au Canada, 150 millions d'hectares de zones potentielles de kimberlite ont été identifiées, parmi lesquels 4 millions d'hectares se sont révélés diamantifères par échantillonnage direct (dont 22 kimberlites qui devraient avoir un rendement important).

D'autres propriétés physico-chimiques des roches sont utilisées pour l'exploration. Cédric Simonet et ses collègues, de la Société *Akili Mineral Services*, au Kenya, ont trouvé que les roches associées aux gisements de rubis dans ce pays ont une résistance électrique et une radioactivité inférieures à celles des roches hôtes environnantes.

Une autre approche est la géochimie, la recherche de compositions minérales comme signature de certains gisements de gemmes. En Colombie, les roches hôtes à forte teneur en sodium, mais appauvries en lithium, potassium, béryllium et molybdène, se sont révélées de bons indicateurs pour la prospection des émeraudes. Il en est de même pour les cours d'eau et les sédiments : des relevés ont montré que, lorsque les cours d'eau et les sédiments s'écoulent de gisements d'émeraudes connus, leur composition est différente. Un contenu en sodium anormal dans les sédiments a aussi été utilisé avec succès pour trouver plusieurs nouvelles sources d'émeraudes.

Les bérylomètres sont des instruments utiles pour rechercher les émeraudes et autres béryls. Ces appareils projettent un rayonnement gamma qui excite les atomes de béryllium, de telle sorte que sa teneur peut être mesurée dans les roches hôtes. Deux modèles sont disponibles, l'un léger (2 kilogrammes), mais lent et peu sensible, l'autre assez lourd (17 kilogrammes), mais plus rapide et sensible. Leurs inconvénients respectifs limitent leur utilisation sur le terrain.

Notre groupe étudie des approches pour explorer des gisements d'émeraudes susceptibles d'appartenir au type colombien, telles les vastes étendues de schistes noirs du Nord-Ouest canadien. D'une part, nous effectuons des analyses géochimiques d'échantillons afin de rechercher les régions riches en sodium et pauvres en béryllium et en potassium. D'autre part, nous examinons la géologie structurale à la recherche de régions propices : présence de failles de déchirement, de charriages reliés à des plans de décollement régionaux (où une unité géologique glisse par rapport à une autre).

D'autres études ont montré que les magmas des pegmatites à émeraudes sont fractionnés : leurs éléments constitutifs sont séparés selon leur solubilité. Ce processus enrichit le fluide en béryllium, qui atteint son seuil de saturation – une condition nécessaire à la formation des émeraudes. De telles pegmatites sont décelées par leurs signatures géochimiques, telles que les rapports potassium-rubidium ou rubidium-strontium. Quant aux zones à pegmatites encore non repérées – des massifs cristallins formés de roches issues du refroidissement d'un magma en profondeur (plutons) –, elles sont identifiées à l'aide de l'imagerie satellitaire.

Ces outils sont bien sûr à utiliser avec prudence, car ils ne sont pas infaillobles. Les analyses géochimiques dépendent de la dissolution correcte des phases minérales qui contiennent les éléments recherchés, et la spectrométrie de masse, qui permet d'étudier la composition chimique d'un échantillon, présente des limites de sensibilité en fonction des éléments en présence.

À mesure que la technologie progresse, il est probable que la localisation des régions recelant des gemmes sera facilitée. Deviendront-elles alors moins rares et, de ce fait, moins précieuses ? Pas pour les géologues en tout cas, qui y verront autant de sources d'informations sur les rouages internes de la Terre. ■