LES GEMMES DU GROUPE DES BÉRYLS

Dr H. A. Hänni, FGA
Fondation suisse pour l'étude des pierres précieuses (SSEF)

Traduit par R. Handschin, géol. diplômé

L'émeraude et l'aigue-marine constituent les variétés les plus connues du groupe des béryls. Mais il existe également des variétés jaune, rouge et incolore (fig. 1). Cet article a pour but de présenter les aspects communs et propres au sein du groupe des béryls.

Structure et composition

Le réseau cristallin du béryl est constitué des éléments béryllium (Be), aluminium (Al), silicium (Si) et oxygène (O). Les ions respectifs sont placés de telle sorte qu'il en résulte un cristal à symétrie hexagonale, les anneaux Si_6O_{18} étant les éléments de construction les plus importants. Ces anneaux sont reliés entre eux dans le plan horizontal par les atomes Be et Al. La disposition des tétraèdres SiO_4 (au nombre de 6 par anneau) en forme d'anneau explique la symétrie hexagonale du béryl. La formule chimique théorique $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ permet une bonne approche de la composition chimique du béryl. Les béryls naturels contiennent toutefois encore d'autres éléments en petite quantité. La nature et la quantité respectives de ces éléments étrangers peuvent livrer des indications intéressantes sur la genèse, respectivement sur la nature de la roche mère du béryl.

En regardant le réseau cristallin d'un peu plus près (fig. 2), on observe une superposition des anneaux Si_6O_{18} sur eux-mêmes, créant ainsi des canaux. Ceux-ci se situent parallèlement à l'axe cristallographique c, l'axe longitudinal du cristal. La largeur du canal est assez grande pour y loger des ions plus grands et des molécules telles que H_2O et CO_2. Mais ces canaux ne constituent pas les seuls endroits dans la structure du béryl capables de contenir des ions étrangers, ces ions n'apparaissant pas dans la formule théorique. Le principe de substitution peut s'appliquer dans le cas des béryls naturels à pratiquement chaque position du réseau cristallin. Les substitutions ayant une influence sur la couleur ou les grandeurs physiques de détermination sont de grande importance pour la gemmologie. En général, on observe une augmentation de la densité et de la réfraction de la lumière du béryl, en rapport avec l'incorporation d'éléments étrangers. Ce sont les circonstances et les conditions de formation qui déterminent le genre et la quantité des ions étrangers dans le réseau cristallin.

Grandeurs physiques du béryl

On appelle grandeurs physiques les données obtenues au moyen de méthodes de mesure physiques. Elles s'obtiennent directement à partir de la composition chimique et de la structure cristalline. Les béryls cristallisent tous hexagonalement, les différences entre différentes variétés reposant uniquement sur la variabilité chimique. Les données varient ainsi très fortement selon la teneur en eau, en alcalis et en éléments ne figurant pas dans la formule idéale. Ces teneurs influencent fortement la densité, la réfraction de la lumière ainsi que la biréfringence, qui sont les principales caractéristiques de détermination; elles sont également influencées par la présence d'impuretés sous forme de composantes chimiques.

Grandeurs physiques du groupe des béryls

Le béryl est un cristal uniaxe négatif

Indice de réfraction:	n_o	1,566–1,602 n_e 1,562–1,594
Indice de biréfringence:	$n_e - n_o$	−0,004 – −0,008
Densité:	d	2,68–2,90 g/cm^3
Dureté:	H	7,5–8 (Mohs)
Clivage:	#	faible, suivant la base

Colorations du béryl

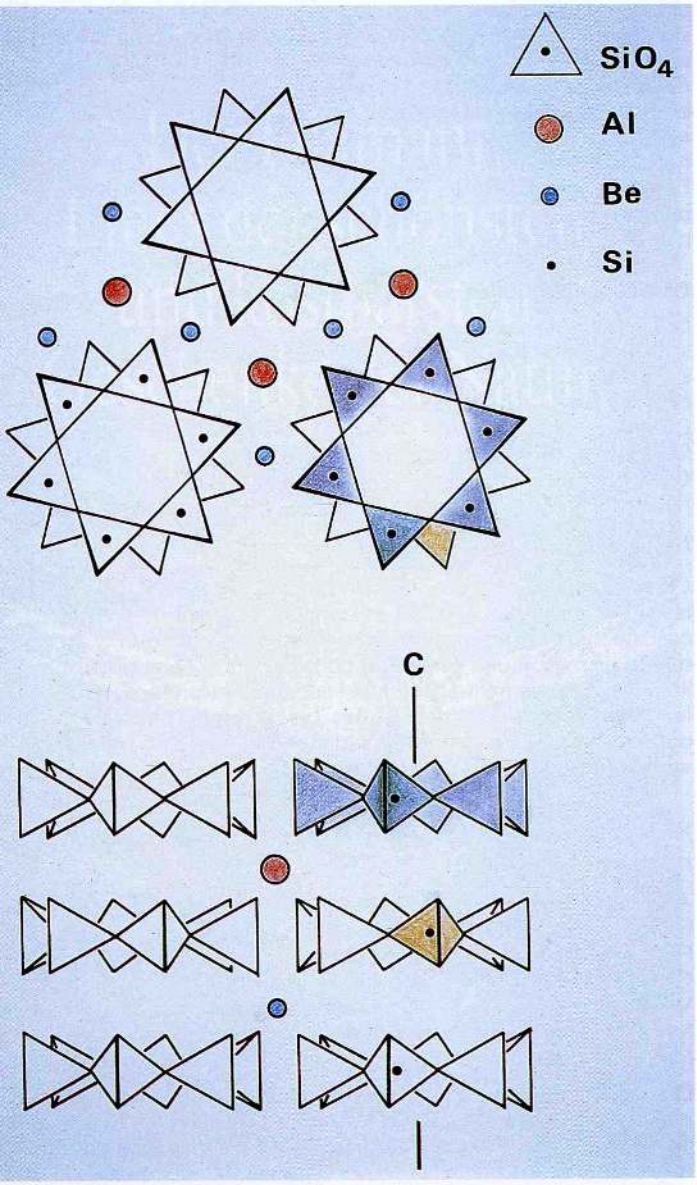
Certains ions d'Al peuvent être facilement remplacés dans le réseau cristallin par des ions métalliques étrangers durant la cristallisation. Cette substitution partielle de l'Al par du Cr, V, Fe ou Mn provoque une coloration du béryl, qui, à l'état pur, est incolore. Ces éléments colorants sont souvent présents dans les minéraux du groupe des silicates. Les différentes colorations donnent lieu à des appellations différentes (variété), chaque variété possédant son propre nom (fig. 3).

Noms des différentes variétés et causes de la coloration respective (représentation simplifiée)

Al^{3+}	incolore		Goshenite
Fe^{2+}	bleu	→	Aigue-marine
Fe^{3+}	jaune	→	Béryl doré
Cr^{3+}	vert	→	Emeraude type I
V^{3+}	vert	→	Emeraude type II
Mn^{2+}	rose	→	Morganite
Mn^{3+}	rouge	→	Bixbite

Des mélanges entre ces différents termes sont nombreux, provoquant des mélanges de couleur; l'héliodore vert-jaune ($Fe^{3+} + Fe^{2+}$) et l'émeraude bleue ($Cr^{3+} + Fe^{2+}$) sont des exemples que l'on rencontre souvent dans la nature. La plupart

1



2

Fig. 1 Différentes variétés de béryls, principalement de forme prismatique, mais également pyramidales ou à intercroissances polycristallines.

Fig. 2 Représentation schématique de la structure du béryl. Les tétraèdres SiO_4 forment des anneaux (à six), superposés les uns sur les autres et formant ainsi des canaux. Les ions Be et Al sont situés entre les anneaux. L'axe principal du cristal (c) est de même direction que les canaux.

Fig. 3 Béryls facettés: émeraude, aigue-marine et béryl doré.

Fig. 4 Aigue-marine de Jos, Nigeria. Au sein du cristal, on aperçoit un plan de constitution inégale, formée antérieurement par dissolution. Ce cristal a de nouveau la forme prismatique.

Fig. 5 Cabochons de béryls opaques: œil-de-chat d'une aigue-marine (Kenya), d'un béryl doré (Brésil) et d'une émeraude (Colombie) et d'une émeraude Trapiche (Colombie), celle-ci représentant une intercroissance régulière parallèle de 6, respectivement 7 cristaux.

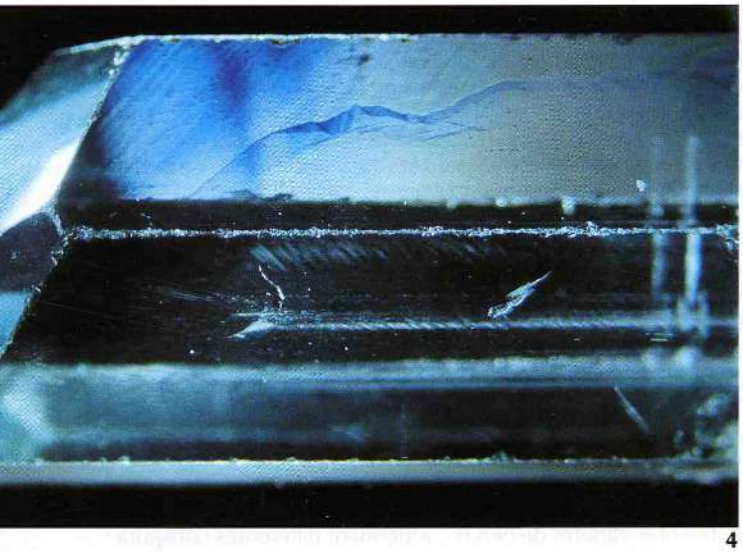
Fig. 6 Inclusions triphasiques dans une émeraude colombienne, comprenant une solution aqueuse, une bulle de gaz et un cristal de sel. Agrandissement env. 100×.

Fig. 7 Vue d'ensemble des inclusions dans une émeraude synthétisée par fusion (Chatham). Le fondant cristallisé remplit les canaux fins et de petites parcelles et contient quelquefois de petites bulles de contraction. Agrandissement env. 120×.

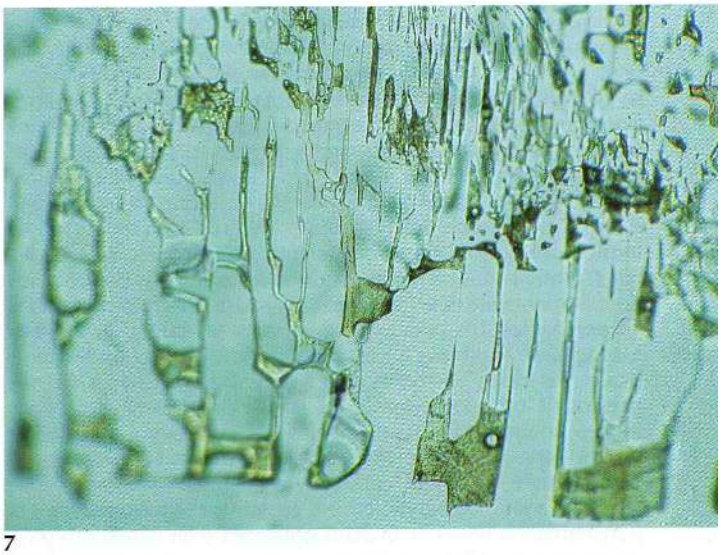
Fig. 8 Emeraudes synthétiques provenant d'URSS, synthétisées par voie hydrothermale. La plus grande de ces pierres pèse environ 3 cts.

3

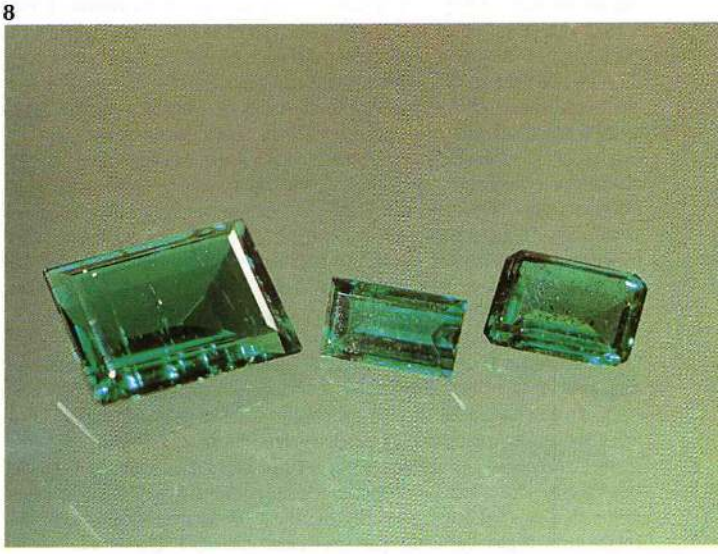
6



4
5



7
8



des émeraudes colombiennes sont du type mixte, contenant du chrome et du vanadium, leur présence provoquant une coloration verte. Les émeraudes de Zambie sont souvent glauques, cette coloration étant liée aux traces de Fe et de Cr. Ces émeraudes représentent ainsi des mélanges entre l'aigue-marine et l'émeraude. Une autre cause de la coloration réside dans le fait que certains électrons passent d'un ion à un autre (transfert de charge). En ce qui concerne les béryls, ces transferts s'effectuent entre $O^2 \rightarrow Fe^{3+}$ (jaune) et $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ (bleu). L'irradiation de certains béryls peut également créer des centres de coloration, provoquant une coloration bleue (type Maxixe) ou jaune (Fritsch & Rossman, 1988).

La formation naturelle du béryl

Les béryls naturels peuvent se former à partir d'un magma en cristallisant, d'une solution acqueuse ou d'un phénomène de diffusion au sein d'une roche compacte. Mais, en tout cas, il est absolument nécessaire que les éléments de construction, c'est-à-dire les ions, soient libres et mobiles, ceci étant rendu possible par la présence d'eau dans les trois cas cités plus haut.
Il arrive souvent que des cristaux nouvellement formés se désagrègent à la surface, comparable à une extraction momentanée (fissures de corrosion). Un apport de matériel ultérieur peut à nouveau laisser le cristal grandir (fig. 4).
La plupart des gisements de béryls se situent dans les roches filoniennes à gros grains, les **pegmatites.** Ces roches magmatiques se forment par intrusion de magma dans les fentes (failles), qui se sont formées dans des roches plus âgées. Les températures correspondantes varient autour de 550 °C. Durant le refroidissement long et calme des pegmatites, de gros cristaux ont pû se former, presque exempts de défauts. En ce qui concerne les différentes variétés de béryls, l'aigue-marine, le béryl doré, l'héliodore, la morganite et la goshenite se forment principalement dans les **pegmatites.** Les principaux gisements se situent au Brésil, à Madagascar, en Russie, au Nigeria, au Zimbabwe et au Mozambique. Les deux gisements situés dans l'Etat d'Utah (USA) représentent une particularité: en effet, on y trouve des béryls rouges (rouge rubis), aussi appelés bixbites. Ces gisements se situent dans une roche effusive claire (rhyolite); la formation de béryls rouges peut être caractérisée de pneumatolytique. Différentes variétés de béryls peuvent également se former durant la transformation de roche **(métamorphisme),** si les conditions physiques et matérielles sont réalisées. Durant le phénomène, il est tout à fait possible que des minéraux se dissolvent partiellement ou intégralement sous l'effet de pressions et de températures: des ions se libèrent et diffusent ainsi à travers la roche compacte sur de longs trajets et contribuent finalement aux endroits favorables à la formation de nouveaux cristaux. En ce qui concerne la formation du béryl chromé (émeraude), il est nécessaire que des éléments chimiques se rencontrent, après avoir emprunté des chemins géochimiques différents; les éléments légers du béryl se concentrent dans des roches claires (pegmatites), le chrome plus lourd se concentrant dans les roches foncées (ultrabasites). La formation d'émeraudes exige aussi des conditions de formation extrêmement favorables, surtout si les chemins respectifs de formation doivent se croiser.
Les gisements d'émeraudes, où différentes sortes de roches réagissent ensemble, ultrabasites chromées et pegmatites contenant du béryllium, sont des exemples classiques. Le produit final consiste en micaschistes, respectivement en schistes amphibolitiques (trémolite ou actinote) contenant des émeraudes. L'énergie nécessaire pour transformer la roche mère de l'émeraude provient des pegmatites chaudes ou bien de la métamorphose de toute une région géologique (par exemple 450 °C).
La pegmatite livre les éléments chimiques nécessaires pour la formation du béryl: Be, Si et Al. Le chrome, responsable de la coloration verte de l'émeraude, provient de la chromite ($FeCr_2O_4$), qui s'est dissoute dans l'ultrabasite. Le chrome ainsi libéré peut être incorporé dans le réseau cristallin du béryl. Les gisements d'émeraudes métamorphiques décrits plus haut se situent dans les micaschistes et les schistes amphibolitiques au Brésil, au Zimbabwe, en Zambie, en Afrique du Sud, en Tanzanie et à Madagascar.
Les béryls les plus «froids» se sont formés à partir de solutions **hydrothermales,** les températures ne dépassant pas 270 °C. Ces cristaux ne se sont pas formés dans un magma et n'ont pas évincé d'autres minéraux dans la roche compacte durant leur formation. La formation hydrothermale de cristaux se fait par déposition de solutions aqueuses chaudes dans des cavités. Durant les mouvements de relief, de nombreuses fissures et fentes se sont formées en profondeur. La température y est suffisamment haute pour permettre aux solutions aqueuses de transporter les éléments chimiques. Le béryl ne peut se former que si la roche environnante a été partiellement lessivée par la solution; en même temps, il se forme un dépôt des éléments indispensables à la cristallisation du béryl. L'état de sursaturation atteint, il se forme des germes de cristaux (nucléation) le long des parois de fentes (failles), ces germes n'étant pas trop nombreux dans le cas le plus favorable. Ainsi, ces matériaux transportés et déposés par la solution peuvent engendrer quelques gros cristaux.
Les gisements d'émeraudes importants en Colombie ont été formés par voie hydrothermale et se situent dans les fentes au sein de roches sédimentaires (marne, calcaire). Les émeraudes du Pakistan et d'Afghanistan proviennent également de gisements formés par voie hydrothermale. D'autres sortes de minéraux peuvent également se former dans ces fentes par voie hydrothermale: par exemple calcite et quartz, qui remplissent ainsi complètement les espaces intermédiaires.

Inclusions dans le béryl

On appelle inclusions les corps étrangers, à l'état solide, liquide ou gazeux, contenus dans les pierres précieuses. «L'atlas (photo) des inclusions dans les pierres précieuses» (Gübelin & Koivula, 1986) représente une très bonne exploitation du sujet. Les différentes variétés de béryls contiennent différentes configurations d'inclusions.
Ces inclusions peuvent également varier selon le type de formation. Les béryls formés par voie **pegmatitique** sont généralement très pauvres en inclusions. Ils présentent parfois des tubes de croissance remplis de gaz/liquide. Ces tubes sont disposés parallèlement à l'axe longitudinal du béryl, c'est-à-dire dans la direction de l'axe cristallographique c. Certaines inclusions présentent un niveau à bulle d'air: les bulles de gaz (généralement CO_2 dans de l'eau) se déplacent à l'intérieur du tube. Si ces tubes sont assez fins et denses, il est alors possible de tailler ces pierres en œil-de-chat. Ces tubes doivent être disposés parallèlement à la base du cabochon. La direction de la lumière est alors perpendiculaire à la direction du tube au-dessus du cabochon (fig. 5). Les béryls résultant du **métamorphisme,** principalement des émeraudes, contiennent généralement de nombreuses inclusions. Celles-ci peuvent être des inclusions de minéraux plus âgées que l'émeraude elle-même. Elles nous procurent des informations sur la croissance du cristal, reflétant généralement la nature de la roche mère. Mais on y trouve également des inclusions gaz/liquide dans les émeraudes formées par métamorphisme. Elles se situent principalement dans les cavités poreuses, qui se sont formées le

long d'anciens plans de cassure et qui représentent maintenant des fissures de cicatrisation. En ce qui concerne les béryls formés par voie **hydrothermale,** les émeraudes seulement sont de qualité gemme. Comparables aux émeraudes formées par métamorphisme, les émeraudes formées par voie hydrothermale peuvent également présenter des «troubles» à la suite de mouvements dans la roche mère. Leurs inclusions consistent principalement en fissures cicatrisées et en inclusions de minéraux, qui se sont formées en même temps que le béryl. Les fissures cicatrisées consistent en petites cavités creuses, distribuées le long d'anciens plans de cassure. Les cavités contiennent du gaz/liquide, leur forme exprimant le stade de la cicatrisation de la fissure. Le contenu des cavités provient de la solution hydrothermale d'origine. Cette dernière s'est cependant adaptée aux pressions et aux températures actuelles, provoquant une séparation de la phase gazeuse de la phase liquide et formant ainsi des bulles dans les cavités remplies de liquide (inclusions diphasiques). En plus, il arrive souvent que de minuscules cristaux se forment en même temps (fig. 6).

Les synthèses de béryl

Les premières synthèses de béryls furent déjà réalisées au siècle dernier. La cristallisation se faisait à partir de la liquéfaction d'un fondant (flux), toutes les composantes chimiques nécessaires étant solubles. A partir des années soixante, les émeraudes réalisées selon ce procédé firent leur apparition sur le marché. Les principaux fabricants sont Chatham et Gilson. Mais de nombreuses synthèses à partir de fondant proviennent également du Japon, de Russie, etc. Etant donné que les méthodes ne se différencient que d'après la composition du fondant, il en résulte une analogie très marquée entre les différentes synthèses (fig. 7). La production de béryls synthétiques par voie hydrothermale (autoclave) diffère complètement de la méthode par fusion, les synthèses présentant d'autres caractéristiques. La cristallisation d'émeraudes synthétiques commerciales dans l'autoclave fut élaborée par Linde et Lechleitner dans les années soixante. En ce qui concerne les synthèses de béryls par voie hydrothermale, de nouvelles variétés ont fait leur apparition sur le marché, des émeraudes australiennes (Biron, Pool) et russes (Vasar) (fig. 8). En Russie, il fut même possible de synthétiser des béryls bleus, jaunes et rouges.

Littérature

Fritsch, E. & Rossman, G. (1988): An update on color in gems. Part 3: Colors caused by bands gaps and physical phenomena. – Gems & Gemology, XXIV, p. 94.

Gibbs, G.V., Breck, D.W., Meagher, E.P. (1968): Structure refinement of hydrous and anhydrous synthetic beryl and emerald. – Lithos, 1, 275–285.

Gübelin, E. J. & Koivula, J. I. (1986): Photoatlas der Einschlüsse in Edelsteinen. – ABC-Verlag, Zürich.

Schmetzer, K., Berdesinski, W., Bank, H. (1974): Über die Mineralart Beryll, ihre Farben und Absorptionsspektren. – Z.Dt.Gemmol.Ges. 23, 5–39.

Schwarz, D. (1987): Esmeraldas – Inclusoes em Gemas. – Escola de minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

Sinkankas, J. (1981): Emerald and other beryls. – Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania.

Tennyson, C. (1978): Gerüste aus Ketten und Schichten. – Lapis, 3, Nr. 4, 4–9.