

# GEMMES ET PATRIMOINE HISTOIRE ET TECHNIQUES

FRÉDÉRIC HATERT, JULIEN MAQUET et JACQUES TOUSSAINT (éd.)



# MINÉRAUX, GEMMES ET PIERRES PRÉCIEUSES

FRÉDÉRIC HATERT<sup>1</sup>

## Introduction

Comme l'a si bien dit Paracelse, célèbre alchimiste suisse de la fin du 15<sup>e</sup> siècle et du début du 16<sup>e</sup> siècle, "*Les Minéraux sont les étoiles du Monde inférieur*". Depuis la nuit des temps, les minéraux ont en effet fasciné les hommes, par la pureté et la beauté de leurs formes régulières, par leurs couleurs parfois vives et variées, chatoyantes, par leur éclat tantôt métallique, tantôt vitreux ou résineux. Ces objets naturels, fruits des forces géologiques colossales qui affectent notre planète, se voient même attribuer des pouvoirs surnaturels ou magiques dans de nombreuses civilisations, tant il paraît si peu probable que des objets d'une telle perfection puissent être créés sans intervention divine.

L'esthétique minérale, parfois à couper le souffle, a naturellement désigné ces trésors comme matériaux de premier choix pour la confection de parures et bijoux, ainsi que pour la décoration de nombreux objets ornementaux. Le but de cet article est de présenter les principales caractéristiques des minéraux et des gemmes, en se focalisant sur ceux qui sont le plus couramment utilisés dans l'orfèvrerie religieuse.

## Minéraux et cristaux

Comme nous le savons intuitivement, les minéraux présentent fréquemment des faces planes qui les délimitent. De tels corps, sur lesquels des faces se développent en cours de cristallisation, sont appelés cristaux. La définition du cristal repose sur plusieurs critères : il doit être solide, délimité par des faces planes, et homogène tant du point de vue de sa composition chimique que de ses propriétés physiques. Ainsi, en chaque point du cristal, la composition chimique est identique, et toutes les propriétés optiques, magnétiques et électriques sont les mêmes, notamment.

Très tôt dans l'histoire de la minéralogie et de la cristallographie, les relations angulaires entre les faces cristallines ont été étudiées. Des scientifiques, comme Nicolas Sténon (1638-1686) et Jean-Baptiste Romé de l'Isle (1736-1790), ont ainsi montré que pour des cristaux d'une même espèce, et dans les mêmes conditions de température, les angles entre les faces d'un même type étaient constants. C'est ce que l'on appelle la *Loi de constance des angles*. On peut en conclusion définir le cristal comme un solide chimiquement homogène, partiellement ou complètement délimité par des faces planes, faisant entre elles des angles constants pour des cristaux de même espèce.

---

<sup>1</sup> Université de Liège,  
Laboratoire de Minéralogie B18,  
B-4000 Liège, Belgique  
(fhatert@uliege.be).

La plupart des minéraux sont également des cristaux, car ils présentent fréquemment des faces planes. Mais la différence majeure entre le minéral et le cristal réside dans le mode de formation des minéraux, qui doivent absolument être issus de processus géologiques. Les minéraux sont donc des objets naturels, alors que les cristaux peuvent très bien être synthétisés en laboratoire.

On peut ainsi définir le minéral comme un solide cristallin homogène, en général inorganique, produit par des processus géologiques ou cosmologiques.

Ces définitions sont des définitions macroscopiques des minéraux et des cristaux, mais si l'on observe ces corps de plus près, à l'échelle atomique, on en déduit que la géométrie externe des faces cristallines est le reflet de l'arrangement régulier des atomes qui constituent ces objets. L'empilement périodique de ces atomes, dans les trois directions de l'espace, engendre ce que l'on appelle le *réseau cristallin*, une entité géométrique constituée par la juxtaposition de briques fondamentales appelées *mailles cristallines* (fig. 1). Cette notion avait déjà été perçue par René-Just Haüy (1743-1822) pour qui la *molécule intégrante* était un petit polyèdre de base qui, une fois superposé à l'infini dans les trois dimensions, permettait de reproduire la plupart des morphologies des cristaux connues à l'époque (fig. 2).

Dans sa définition moderne, le cristal peut donc être perçu comme l'empilement périodique et infini d'atomes dans les trois directions de l'espace, engendrant ainsi un réseau. L'unité de base de ce réseau est la maille cristalline, et son contenu atomique est appelé *motif cristallin*.

## Gemmes, pierres précieuses et métaux nobles

Le terme *gemme* désigne des minéraux qui sont taillés ou polis afin d'en améliorer les qualités esthétiques. Ces gemmes sont ensuite utilisées en joaillerie ou comme pierres ornementales dans l'orfèvrerie, notamment. Mais il existe d'autres matériaux utilisés dans l'ornementation comme l'ambre, le corail ou les perles, qui ne sont pas d'origine minérale mais produits par des organismes vivants. Nous n'aborderons pas ces matériaux dans le cadre du présent article.

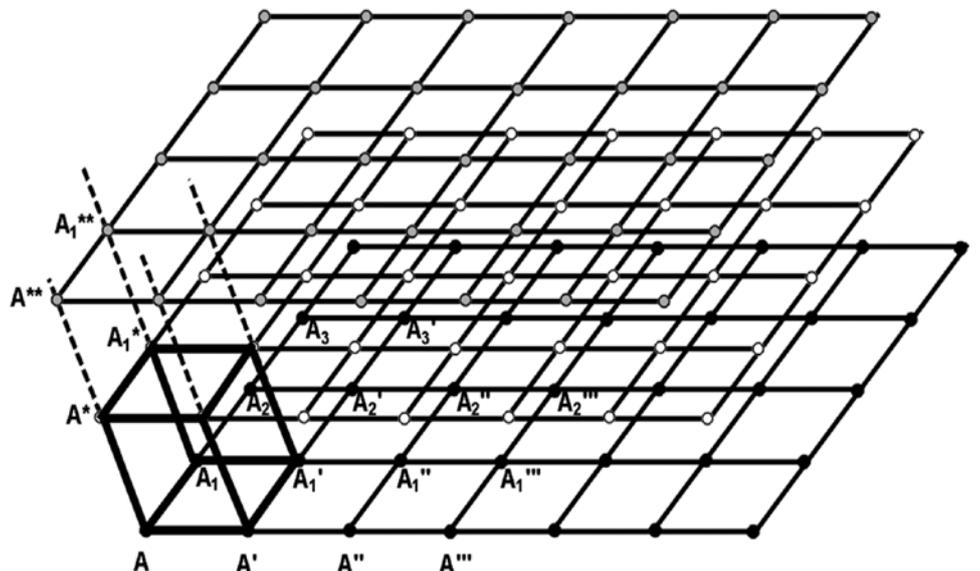


Fig. 1. Le réseau cristallin est une entité géométrique constituée par l'arrangement périodique de nœuds (points A, A', A, A', ...) dans les trois directions de l'espace. La brique fondamentale qui constitue ce réseau (en gras) est appelée maille cristalline (HATERT, 2015).

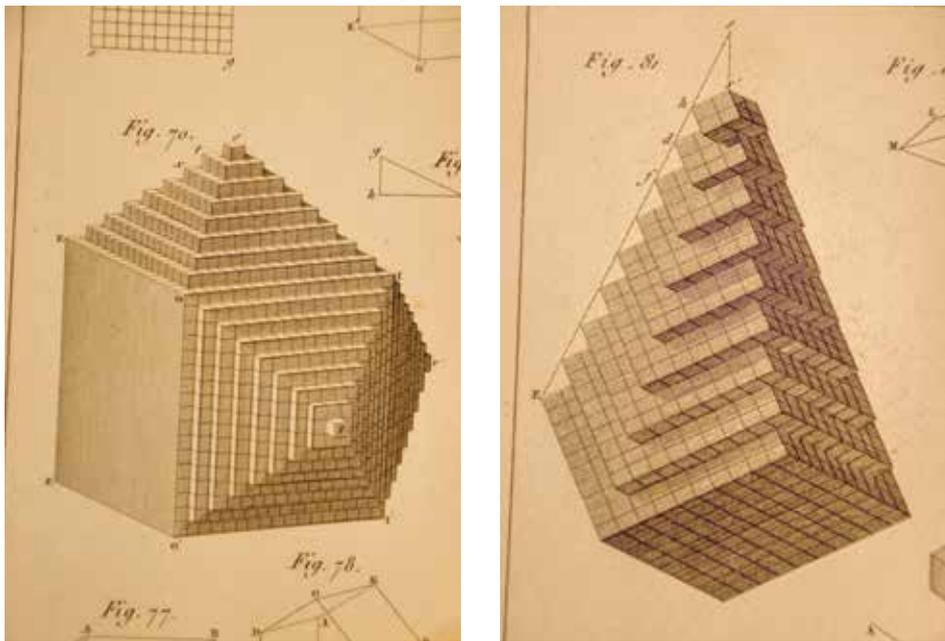


Fig. 2. Dans le modèle de Haüy (1822), l'empilement de molécules intégrantes permet d'expliquer les formes complexes du grenat (A) ou de la calcite (B).

Il existe en totalité une vingtaine de minéraux qui sont couramment utilisés comme gemmes (Tableau 1). Mais il est important, ici, de faire la distinction entre d'une part l'espèce minérale, telle que définie par les minéralogistes, et d'autre part la gemme utilisée en ornementation. La définition des espèces minérales est contrôlée par une commission internationale (Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification of the International Mineralogical Association, CNMNC-IMA), qui s'assure de la validité des espèces et vérifie leurs noms. Pour qu'une espèce minérale soit validée, il faut qu'elle présente une composition chimique significativement différente de celles des autres espèces connues, et/ou que sa structure cristalline soit nouvelle.

En gemmologie par contre, la même espèce minérale mais avec des caractéristiques esthétiques différentes, peut être considérée comme une gemme distincte. Le rubis et le saphir, par exemple, sont deux variétés de corindon de couleur rouge et bleue, respectivement. Nous pouvons donc parler, dans ce cas, de variétés gemmologiques. L'espèce corindon est commune à ces deux gemmes car, même si leurs couleurs sont totalement différentes, leur composition chimique majeure est identique et ce ne sont que de très faibles traces d'éléments qui provoquent les fortes colorations.

Un autre exemple peut être cité, celui du béryl où l'aigue-marine de couleur bleue, l'émeraude de couleur verte, et l'héliodore de couleur jaune, par exemple, sont trois variétés gemmologiques correspondant à la même espèce (Tableau 1).

Pour qu'un minéral soit considéré comme gemme, il faut qu'il réponde à plusieurs critères. Tout d'abord une valeur esthétique, car il faut que l'échantillon présente des qualités suffisantes pour être utilisé en joaillerie ou en ornementation. Il faut ensuite que le minéral soit durable, c'est-à-dire que la gemme ne doit pas être sujette à des altérations, tant physiques (rayures, cassures) que chimiques (dissolution au contact de liquides). La valeur d'une gemme dépend encore de sa rareté, ce qui explique pourquoi le prix des gemmes peut fortement varier en fonction de la découverte de nouveaux gisements.

Tableau 1. Les minéraux les plus fréquemment utilisés comme gemmes (HALL 1994; KLEIN et HURLBUT 1993).

Groupe	Minéral	Variétés	Formule
-	Diamant	-	C
-	Corindon	Rubis, saphir, padparadscha	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
-	Spinelle	-	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
-	Chrysobéryl	Alexandrite	BeAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
-	Turquoise	-	CuAl <sub>6</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>8</sub> .4H <sub>2</sub> O
<b>Olivines</b>	Fayalite, forstérite	Péridot	(Fe,Mg) <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]
<b>Grenats</b>	Spessartine, almandin, pyrope	-	(Mn,Fe,Mg) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>
<b>Grenats</b>	Grossulaire	Hessonite, tsavorite	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>
<b>Grenats</b>	Andradite	Mélanite, démanitoïde	Ca <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>
-	Zircon	-	Zr[SiO <sub>4</sub> ]
-	Topaze	Topaze impériale	Al <sub>2</sub> F <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]
-	Zoïsite	Tanzanite	Ca <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ][SiO <sub>4</sub> ]O(OH)
-	Béryl	Émeraude, morganite, héliodore, goshénite, aigue-marine	Be <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ]
<b>Tourmalines</b>	Elbaïte	Indigolite, rubellite, Paraíba	Na(Li <sub>1,5</sub> Al <sub>1,5</sub> )Al <sub>6</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ](BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>4</sub>
<b>Tourmalines</b>	Dravite	-	NaMg <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ](BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>4</sub>
<b>Pyroxènes</b>	Jadéite	Jade	NaAl[Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ]
<b>Pyroxènes</b>	Spodumène	Kunzite, hiddénite	LiAl[Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ]
-	Quartz	Améthyste, citrine, quartz fumé, cristal de roche, quartz rose, aventurine, œil-de-tigre, œil-de-chat	SiO <sub>2</sub>
-	Calcédoine	Agate, onyx, sardoine, chrysoprase, jaspe, cornaline, héliotrope	SiO <sub>2</sub>
-	Opale	Opale noble, opale de feu	SiO <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O

Les pierres dites *précieuses* sont ainsi définies parmi les gemmes de plus grande valeur, en sachant que ce paramètre est variable en fonction du marché. Pour cette raison, la terminologie ancienne *pierres précieuses* est parfois remplacée par le terme *pierres fines* plus neutre. Les pierres précieuses sont habituellement le diamant, le rubis, le saphir et l'émeraude, mais il est clair qu'actuellement, des minéraux comme la tanzanite, la tsavorite et les tourmalines Paraíba sont de plus grande valeur que certains saphirs ou rubis.

Nous n'aborderons pas en détail les métaux nobles dans cet article. Ceux-ci sont constitués d'or (fig. 3), d'argent ou de platine, auxquels viennent s'ajouter divers alliages de ces métaux, parfois aussi avec du cuivre. Les métaux nobles sont couramment utilisés en bijouterie et dans l'orfèvrerie.

## Caractéristiques des gemmes principales

Le diamant est incontestablement la gemme la plus connue, dont la grande valeur permet de le classer parmi les pierres précieuses. La plupart des diamants sont incolores mais il existe aussi des diamants jaunes, verts, bleus ou roses, notamment (fig. 4). Ce minéral se caractérise par deux propriétés physiques fondamentales. Tout d'abord sa très grande dureté, de 10 sur l'échelle de *Mohs*; c'est donc le minéral le plus dur qui existe, ce qui le rend particulièrement résistant aux altérations physiques. Ensuite son indice de réfraction extrêmement élevé ( $n = 2,42$ ), grâce auquel il réfracte des faisceaux de lumière qui sont en même temps dispersés, c'est-à-dire qu'ils présentent des orientations légèrement différentes selon la composante de la lumière blanche. Les faisceaux qui sortent de la pierre sont donc tantôt rougeâtres, tantôt bleutés; c'est ce que l'on nomme le *feu du diamant*, très caractéristique.

Afin de bien mettre en valeur les qualités esthétiques des diamants, une taille spécifique a été inventée, dite *en brillant* et qui compte 57 facettes, mais il existe d'autres tailles possibles, par exemple en poire, en cœur, ovales ou rectangulaires. La valeur d'un diamant s'évalue par la qualité de sa taille, l'absence d'impuretés, sa couleur, et son poids calculé en carats (1 carat = 0,2 grammes).

Il existe au monde des diamants de dimensions remarquables, auxquels on a donné un nom propre, comme par exemple le *Hope*, diamant bleu de 45 carats conservé au Smithsonian Museum à Washington. La plupart des gros diamants ornent les bijoux de la Couronne britannique: le *Star of Sierra Leone* (770 carats), le *Cullinan* (550 carats), le *Centenary* (274 carats) et le *Koh-i-Noor* (109 carats).

Rubis et saphir sont deux pierres précieuses de première importance, variétés gemmologiques d'une même espèce, le corindon (Tableau 1). Le rubis présente toujours une couleur rouge, liée à la présence de faibles quantités de  $Cr^{3+}$  se substituant à l'aluminium dans la structure du minéral. Le saphir, par contre, peut prendre plusieurs couleurs; il est en général



Fig. 3. Magnifique agrégat de cristaux cubiques d'or, d'une masse totale de 32 grammes et provenant de Kilo-Moto, Congo (longueur 30 mm, photo J. Scovil, échantillon ULG 10118).



Fig. 4. Ensemble de magnifiques petits diamants multicolores provenant de Kabambaie, au Congo (le plus gros cristal mesure 3 mm, photo J. Scovil, échantillon ULG 10191).



A



B

Fig. 5. (A) Petits cristaux de saphir provenant de Eliba-Ulindi, Congo (le plus gros cristal mesure 5 mm, photo J. Scovil, échantillon ULG 6540). (B) Beau cristal d'aigue-marine provenant de Nerschinsk, Oural (longueur 45 mm, photo J.M. Bourdoux, échantillon ULG 14716).

bleu (fig. 5A) mais peut également être incolore ou jaune. La couleur du saphir bleu est liée à la présence de faibles quantités de  $\text{Fe}^{2+}$  et de  $\text{Ti}^{4+}$ . Rubis et saphir présentent une dureté *Mohs* de 9, ce qui les rend peu vulnérables à la corrosion.

Le béryl est un minéral qui comporte plusieurs variétés dont l'émeraude, de couleur verte, pierre précieuse dont la coloration est induite par la présence de  $\text{Cr}^{3+}$ . L'héliodore est un béryl de belle couleur jaune, l'aigue-marine présente une teinte bleu ciel caractéristique (fig. 5B), la morganite est un béryl rose, et la goshénite est incolore (Tableau 1).

La famille de la silice compte plusieurs espèces minérales. Tout d'abord le quartz et ses variétés comme le cristal de roche incolore (fig. 6A), le quartz fumé (fig. 6B), l'améthyste mauve, la citrine jaune, et le quartz rose dont la couleur est liée à de fines inclusions de dumortiérite. Le quartz possède une dureté *Mohs* de 7, ce qui lui permet d'être assez peu sensible à la rayure. Son indice de réfraction assez bas, autour de 1,55, ne produit pas une réfraction de la lumière aussi intense que dans d'autres gemmes comme le diamant ou le zircon, par exemple.

La calcédoine est une variété de quartz constituée de silice cryptocristalline, c'est-à-dire formant des cristaux de très petite taille, invisibles à l'œil nu. Cette calcédoine forme fréquemment des structures en géodes appelées agate, et dans lesquelles alternent des couches concentriques de couleurs différentes, mais on peut aussi reconnaître dans l'agate d'autres motifs qui rappellent des paysages, de la mousse ou encore la texture du bois. La calcédoine présente d'autres variétés colorées aux noms caractéristiques, comme le chrysoprase de couleur verte, la cornaline orangée, et le jasper rouge.

L'opale appartient également à la famille de la silice; il s'agit de silice partiellement hydratée qui ne présente pas de structure cristalline ordonnée. Ce minéral est constitué par l'empilement de petites sphérules d'un diamètre compris entre 0,15 et 0,30  $\mu\text{m}$ , qui provoquent des interférences lorsque la lumière visible se propage en leur sein. Ce phénomène est appelé



opalescence, et confère à l'opale des réflexions internes aux couleurs variées, parfois bleutées, parfois rougeâtres.

Les grenats sont un grand groupe de minéraux, au sein duquel cinq espèces sont assez courantes. Il s'agit de la spessartine, grenat manganésifère, de l'almandin ferrifère, du pyrope magnésien, et des grossulaire et andradite calciques. Dans la nature, les cristaux de grenats montrent des formes très caractéristiques qui expriment bien leur système cristallin cubique : le rhombododécaèdre à 12 faces losangiques, et le trapézoèdre à 24 faces rappelant la forme du trapèze. L'almandin montre une teinte rouge grenat caractéristique, et le pyrope une teinte rouge plus vive. Leur usage en ornementation est assez fréquent, contrairement à la spessartine de teinte ambrée, utilisée plus rarement.

Le grossulaire comprend plusieurs variétés comme la hessonite de couleur rouge-orangée, ainsi que la tsavorite vert pomme. Le démantôïde et la mélanite sont des andradites de couleurs vertes et noires, respectivement. La dureté des grenats est élevée, autour de 7,5, et leur indice de réfraction varie entre 1,7 et 1,8, ce qui leur confère un éclat vif.

Le dernier grand groupe de gemmes que nous présentons ici est le groupe de la tourmaline. Ces minéraux de composition chimique complexe contiennent du bore et parfois du lithium, éléments peu abondants. Il existe plusieurs espèces de tourmalines, comme le schorl riche en fer et de couleur noire, la dravite magnésienne de couleur brunâtre, et l'elbaïte riche en lithium et aluminium et aux couleurs variées. Cette dernière espèce est particulièrement appréciée en ornementation car ses cristaux montrent fréquemment des variations de couleurs spectaculaires, passant du rose au vert, parfois au bleu ou à l'incolore, notamment.

Parmi les autres gemmes, citons encore les topazes, généralement incolores, légèrement bleutés ou verdâtres (fig. 7A), mais aussi la topaze impériale de la région d'Ouro Preto au Brésil, qui présente une vive coloration

Fig. 6. (A) Belle druse constituée de cristaux de quartz incolores provenant de Bierghes. Cette variété est appelée "cristal de roche" (longueur de l'échantillon 12 cm, photo J.M. Bourdoux, échantillon ULG 20440). (B) Assemblage parallèle de cristaux de quartz fumés, esquissant un mouvement hélicoïdal. Cet échantillon remarquable provient des Alpes (hauteur de l'échantillon 5 cm, photo J.M. Bourdoux, échantillon ULG 10721).

Fig. 7. (A) Cristal automorphe de topaze verte provenant de Ropp, au Nigéria (longueur de l'échantillon 5 cm, photo J.M. Bourdoux, échantillon ULG 13294). (B) Splendide topaze impériale d'Ouro Preto, à la teinte légèrement mauve (hauteur de l'échantillon 7 cm, photo J.M. Bourdoux, échantillon ULG 13304).



orangée (fig. 7B). La variété gemme de l'olivine est appelée péridot et montre une belle couleur vert olive, alors que le zircon taillé se caractérise par des teintes jaunâtres à brunâtres, voir bleutées. Les spinelles de couleur rouge peuvent facilement être confondues avec le rubis lors d'un simple examen visuel.

Le chrysobéryl présente une variété appelée alexandrite, qui illustre parfaitement une propriété rare qu'est le polychroïsme. Le minéral montre en effet une couleur différente selon la longueur d'onde qui l'illumine : il passe du vert sous la lumière du jour, à une coloration plus brunâtre ou rougeâtre sous une lampe à incandescence. Finalement, parmi les gemmes assez fréquentes, on peut encore signaler la turquoise et le lapis-lazuli, qui ne sont pas transparents et seront généralement polis. On observe régulièrement des cabochons de ces minéraux, utilisés en ornementation.

### Gisements et conditions de formation des gemmes

Les premiers gisements de diamants exploités, comme ceux que l'on rencontre dans la région de Diamantina au Brésil ou le long de la côte occidentale de la Namibie (fig. 8), sont des *placers*, c'est-à-dire que les diamants ont été libérés de leur roche-mère pour se concentrer ensuite dans des sédiments plus récents. Ce mode de gisement est rendu possible car le diamant, par sa grande dureté, résiste très bien à l'érosion ; il peut ainsi être remobilisé facilement d'une roche à une autre.

Il a fallu attendre 1886 pour que des diamants soient découverts dans la région de Kimberley, en Afrique du Sud, qui allait devenir célèbre pour ses gisements exceptionnels exploités, notamment, par la société De Beers. Dans ce gisement, les diamants sont inclus dans une roche très particulière appelée *kimberlite*, d'origine magmatique et issue de grandes profondeurs

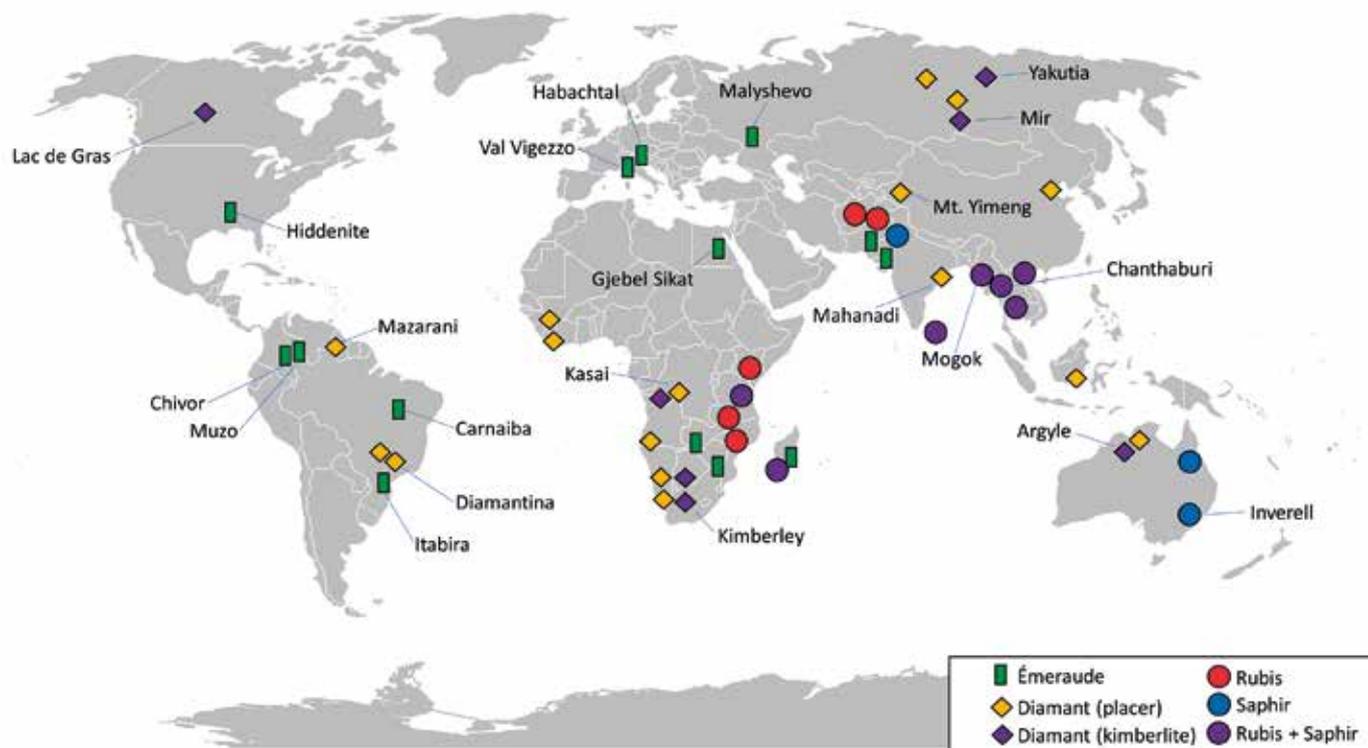


Fig. 8. Carte géographique sur laquelle ont été positionnés les gisements majeurs de pierres précieuses.

(plus de 150 km). Cette roche est arrivée à la surface du sol par un phénomène extrusif brutal, qui a éjecté les roches de manière rapide, formant un long conduit vertical appelé *pipe kimberlitique*. La rapidité de ce phénomène extrusif permet aux diamants, qui ne sont stables que dans des conditions de ultra-hautes pressions et températures (45-60 kbar, 1100-1400°C), d'arriver à la surface du sol sans avoir le temps de se déstabiliser. Dans ces gisements kimberlitiques, le diamant est d'ailleurs associé à d'autres minéraux de ultra-haute pression, comme par exemple le grenat pyrope, l'ilménite magnésienne ou le diopside chromifère.

Le *pipe* de Kimberley, connu sous le nom de *Big Hole*, est le plus grand trou creusé par la main de l'homme. Il présente une surface de 17 ha pour une circonférence de 1,6 km, et son exploitation a fourni 2,7 tonnes de diamants bruts depuis 1914. Les conditions de pression extrême nécessaires à la formation du diamant, ainsi que la rareté des kimberlites sur la surface de la Terre, expliquent pourquoi cette gemme est si difficile à découvrir.

Les gisements de rubis et saphir sont assez semblables, et peuvent être d'origine magmatique ou métamorphique. Les marbres, calcaires soumis à un métamorphisme intense, abritent des corindons gemmes dans de nombreuses régions du monde, notamment en Asie centrale et du Sud-Est (Vietnam, Birmanie, Népal, Pakistan, Afghanistan, voir fig. 8). À Madagascar, les corindons forment de beaux cristaux dans une roche qui a subi un métamorphisme atteignant 800-850°C / 4-5 kbar, et a ensuite été affectée par des percolations provoquant des phénomènes de recristallisation. Parmi les minéraux associés aux corindons, mentionnons les spinelles, qui forment de beaux cristaux octaédriques rouges dans les marbres de Birmanie, du Vietnam et d'Afghanistan, notamment.

Les pegmatites granitiques sont, sans aucun doute, les gisements de gemmes les plus riches de la planète. Ces roches très particulières se forment

à partir d'un granite, c'est-à-dire d'une roche magmatique intrusive constituée essentiellement de grands cristaux de feldspaths, de micas et de quartz. Les pegmatites sont des filons qui partent de l'intrusion granitique et dans lesquels se concentre, en fin de cristallisation, un magma résiduel très riche en éléments chimiques rares. Ces éléments, notamment le lithium, le béryllium, le niobium, le tantale et les terres rares, sont de première importance pour notre industrie moderne. Cette géochimie exotique, couplée à la présence de fluides et à une température relativement élevée (400-600°C), provoque la cristallisation de nombreux minéraux, dont la pureté et la limpidité permettent parfois l'utilisation gemmologique.

Le béryllium est ainsi responsable de la formation du béryl, dont les variétés présentes au sein des pegmatites sont la morganite, l'aigue-marine, l'héliodore et la goshénite. La pezzottaite, un minéral appartenant au groupe du béryl découvert dans les pegmatites de Madagascar, montre une couleur rose framboise caractéristique.

La présence de lithium et de bore provoque la cristallisation des minéraux du groupe de la tourmaline, dont la nature dépend du degré de différenciation de la pegmatite. Le schorl noir, riche en fer, se forme plutôt dans les pegmatites les moins évoluées, alors que l'elbaïte multicolore apparaît grâce à un enrichissement en lithium, lorsque la différenciation augmente. Les elbaïtes pegmatitiques sont des gemmes de tout premier plan, aux couleurs roses et vertes, mais parfois aussi rouges, incolores ou même bleutées. On peut ainsi rencontrer, au sein d'un même cristal, des variations progressives de couleurs représentant toutes les teintes de l'arc-en-ciel, ou presque.

D'autres gemmes importantes se rencontrent encore dans les pegmatites, notamment la topaze, qui cristallise dans des environnements riches en fluor, ainsi que les grenats, minéraux assez fréquents dans de nombreuses roches magmatiques et métamorphiques.

L'émeraude est une pierre précieuse de très grande rareté, ce qui est lié aux caractéristiques géochimiques très particulières nécessaires à sa formation. En effet, cette gemme est une variété de béryl, ce qui signifie qu'il lui faut du béryllium pour cristalliser, or le béryllium est un élément typiquement pegmatitique. Mais la couleur de l'émeraude est due à la présence de chrome trivalent, qui n'est pas du tout présent dans les pegmatites mais plutôt dans des roches magmatiques basiques. Cette incompatibilité géochimique n'est résolue que dans des roches très particulières, comme par exemple les veines de carbonates qui recoupent les schistes graphitiques métamorphisés de la région de Muzo, en Colombie, où les principaux gisements d'émeraude sont exploités. D'autres roches métamorphiques particulières plus proches de nous contiennent également cette gemme, notamment le gisement ancien de Habachtal en Autriche, où l'émeraude se forme dans des micaschistes, ainsi que les roches de Val Vigezzo dans les Alpes italiennes (fig. 8).

Les gisements de quartz sont disséminés partout sur la surface du globe, mais on peut mentionner les cristaux spectaculaires de cristal de roche qui tapissent les fentes alpines, ainsi que les grosses géodes d'améthyste et de citrine provenant du Brésil. Plus près de chez nous, la région d'Idar-Oberstein en Allemagne est particulièrement célèbre pour ses gisements d'agate associés à des roches volcaniques.

## Imitations, traitements et synthèses des gemmes

Très tôt dans l'histoire de l'Humanité, on a cherché à imiter les gemmes. Ces premières imitations, des émaux ou des pâtes de verre, remontent à 5000-6000 ans avant notre ère. C'est ainsi que le masque funéraire bien connu de Toutânkhamon n'est pas orné de bandelettes bleues de lapis-lazuli, mais bien d'une pâte de verre qui imite ce minéral. Dans ce chapitre nous allons traiter de trois sujets distincts. Tout d'abord les traitements appliqués aux gemmes, qui servent en général à intensifier certaines de leurs caractéristiques esthétiques. Nous aborderons ensuite les gemmes synthétiques, fabriquées en laboratoire, puis nous terminerons par les matériaux utilisés afin de remplacer les gemmes, de les imiter.

Les traitements des gemmes sont très nombreux. Il peut s'agir de simples imprégnations, comme dans le cas de l'émeraude que l'on traite avec de l'huile ou à l'aide d'une résine synthétique afin de combler les nombreuses fractures qui la parcourent. On peut également teindre les gemmes, comme par exemple l'agate dont on trempe les tranches dans un bain afin de les colorer en bleu cobalt ou en rose vif. Le chauffage est une méthode ancestrale de traitement des gemmes qui permet de réduire les défauts cristallins responsables de la couleur. Ainsi l'améthyste, variété mauve de quartz, se transforme en citrine de couleur jaune par simple chauffage. La topaze bleue devient incolore, et les topazes orange de Ouro Preto (Brésil) prennent une coloration rose caractéristique.

À l'opposé du chauffage, il est possible d'irradier les gemmes à l'aide d'une substance radioactive, ce qui aura pour effet de créer des défauts cristallins au sein de la structure du minéral. On réussit par exemple à donner une couleur bleue à une topaze incolore par ce processus d'irradiation. Comme autres traitements de gemmes, on peut également citer la diffusion d'éléments chimiques sous la surface de l'échantillon, ou les reconstitutions de gemmes, utilisées par exemple pour l'ambre.

Les premières gemmes synthétiques ont été obtenues par le chimiste français Auguste Verneuil en 1833, grâce à une méthode qui consiste à envoyer de l'oxyde d'aluminium dans la flamme d'un chalumeau. Du corindon synthétique cristallise ainsi à la sortie du chalumeau, formant ce que l'on appelle une *boule* qui peut ensuite être taillée pour imiter rubis, saphir, ou encore d'autres gemmes (fig. 9). L'avantage de ces pierres synthétiques est qu'elles vont présenter la dureté importante du corindon, ainsi que son indice de réfraction élevé permettant une réfraction intense de la lumière. Le procédé Verneuil est également utilisé pour synthétiser d'autres gemmes comme des spinelles, notamment.

L'émeraude nécessite une méthode de synthèse particulière, à partir d'un flux constitué de sels alcalins dans lesquels on ajoute les éléments chimiques constitutifs du minéral. Dans le cas présent il s'agit du béryllium, de l'aluminium, du silicium et d'un peu de chrome qui produira une couleur verte. On dispose le tout à haute température, et les différents éléments chimiques se dissolvent dans le sel fondu pour ensuite se combiner et former de beaux cristaux d'émeraude synthétique. Ces cristaux sont ensuite récupérés par dissolution du flux dans l'eau.



Fig. 9. Boules de corindon produites par le procédé Verneuil, et gemmes synthétiques taillées à partir de ces boules (longueur des boules ~5 cm, photo F. Hatert, échantillons ULG 14850, 14866 et 14869).

Le quartz est obtenu par synthèse hydrothermale, c'est-à-dire dans des conditions de hautes pressions et températures en présence d'une phase fluide. Sous une température de 400°C et une pression de 1 kbar, on obtient déjà de beaux cristaux de quartz, qui peuvent être utilisés dans l'industrie électronique, par exemple. La synthèse du diamant est beaucoup plus difficile car elle nécessite de très hautes pressions et températures, obtenues dans des dispositifs particuliers appelés *piston-cylindres*, dans lesquels le matériau de départ est littéralement écrasé par une presse industrielle puissante.

Les imitations des gemmes sont le plus fréquemment constituées de verres, fabriqués à l'aide de silice ( $\text{SiO}_2$ ) à laquelle on ajoute différents éléments chimiques visant à diminuer le point de fusion du matériau ou à lui donner une coloration spécifique. Les quantités de calcium, de potassium et de sodium présentes dans les verres ont varié au cours du temps, ce qui permet, grâce à une analyse chimique appropriée, une datation relative. Cette méthode a été utilisée par BRUNI *et al.*<sup>2</sup> afin de dater les verroteries présentes sur diverses pièces d'orfèvrerie religieuse<sup>3</sup>.

L'obtention de verres aux couleurs variées n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît, et au Moyen Âge, les méthodes de fabrication de ces verres étaient complexes et difficiles à mettre en œuvre, ce qui explique pourquoi, dans les pièces d'orfèvrerie médiévales, les verroteries étaient considérées comme de grande valeur. Il était presque aussi prestigieux d'orner une pièce d'orfèvrerie de verroteries que de gemmes naturelles. Les éléments chimiques utilisés pour la coloration variaient beaucoup; on peut citer par exemple le cuivre qui produit une couleur vert foncé, le cobalt une couleur bleue, le manganèse une coloration rosée<sup>4</sup>.

Les verres ont aussi permis, dès l'Antiquité, l'élaboration de doublets et de triplets qui consistent, par exemple, en une lame de verre coloré sur laquelle est superposée une table de quartz. On obtient ainsi une pierre composée à la surface de grande dureté, mais dont la couleur n'est pas celle du quartz naturel. Des doublets grenat/verre ont été produits dès le 19<sup>e</sup> siècle, et des triplets imitant l'émeraude furent mis au point au début du 20<sup>e</sup> siècle. Dans ce cas, deux fragments de béryl incolore sont soudés ensemble à l'aide d'un verre coloré.

2 BRUNI *et al.*, 2020a et b, 2021a et b.

3 Voir les autres chapitres du présent ouvrage.

4 CANNELLA, 2006; BRUNI *et al.*, 2020a et b.

## Conclusions

Par leur couleur et leur beauté, les minéraux ont très tôt été taillés et polis afin d'améliorer leurs qualités esthétiques. Ceci a fourni toute une série de gemmes utilisées fréquemment dans l'ornementation, en bijouterie, mais également en orfèvrerie, ce qui est l'objet du présent ouvrage. Nous espérons, au terme de cet article, avoir pu parcourir avec vous la palette de la diversité gemmologique, avoir expliqué la différence entre minéraux et gemmes, et fourni quelques informations sur les gisements et les traitements appliqués à ces objets.

## Bibliographie

BRUNI *et al.*, 2020a :

BRUNI Y., HATERT F., GEORGE P. et STRIVAY D., *The reliquary bust of Saint Lambert from the Liège cathedral, Belgium: gemstones and glass beads analysis by pXRF and Raman spectroscopy*, dans *Archaeometry*, 62, 2020, pp. 297-313.

BRUNI *et al.*, 2020b :

BRUNI Y., HATERT F., GEORGE P. et STRIVAY D., *An archaeometric investigation of glass beads decorating the reliquary of Saint Simètre from Lierneux, Belgium*, dans *Journal of Archaeological Science Reports*, 32, 2020, p. 102451.

BRUNI *et al.*, 2021a :

BRUNI Y., HATERT F., GEORGE P., CAMBIER H. et STRIVAY D., *A gemological study of the reliquary crown of Namur, Belgium*, dans *European Journal of Mineralogy*, 33, 2021, pp. 221-232.

BRUNI *et al.*, 2021b :

BRUNI Y., HATERT F., DEMAUDE M., DELMELLE N., GEORGE P. et MAQUET J., *An archaeometric investigation of gems and glass beads decorating the double-arm reliquary cross from Liège, Belgium*, dans *Heritage*, 4, 2021, pp. 4542-4557.

CANNELLA, 2006 :

CANNELLA A.-M., *Gemmes, verre coloré, fausses pierres précieuses au Moyen Âge. Le quatrième livre du «Trésorier de Philosophie naturelle des pierres précieuses» de Jean d'Outremeuse*, Genève, librairie Doz, 2006, 480 p.

HALL, 1994 :

HALL C., *Les pierres précieuses*, Paris, Bordas, 1994, 160 p.

HATERT, 2015 :

HATERT F., *Minéralogie. Connaître et reconnaître les minéraux*, Paris, éditions Ellipses, 2015, 336 p.

HAÛY, 1822 :

HAÛY R.-J., *Traité de cristallographie*, Paris, Bacheliet et Huzard, 1822.

KLEIN et HURLBUT, 1993 :

KLEIN C. et HURLBUT C.S., *Manual of Mineralogy*, 21st edition, New York, John Wiley' Sons, 1993, 681 p.