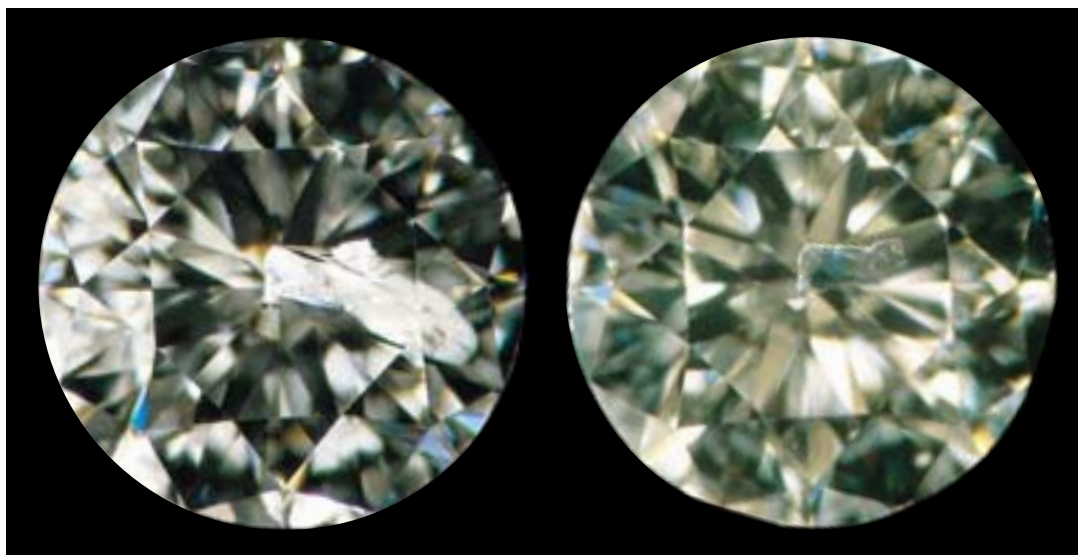


«geuda» de Ceylan (voir la figure 4). Ces pierres laiteuses sans valeur contiennent de minuscules inclusions de rutile, un oxyde de titane. Au-delà d'un seuil de température, ces inclusions se dissolvent, et le titane diffuse à l'intérieur du cristal. Lorsque le titane rencontre des atomes de fer, omniprésents dans les saphirs naturels, il peut être piégé, ce qui forme un agrégat stable fer-titane, qui absorbe la lumière entre 0,5 et 0,7 micromètre. Le

saphir est alors d'une belle couleur bleue, tout à fait commercialisable (la longueur d'onde du bleu est comprise entre 0,45 et 0,5 micromètre). Toutefois, le chauffage n'est pas toujours bénéfique : ainsi, si l'on chauffe à haute température un saphir trop riche en fer, des cristallites de spinelle noir (un aluminat de magnésium) vont précipiter, donnant une couleur grise translucide sans intérêt.

Enfin, en contrôlant l'atmosphère à l'intérieur du four, on modifie la charge, ou valence, de certains ions, et donc leur absorption. Le contrôle simultané de la température et de la composition de l'atmosphère permet de jouer sur la valence, sur la diffusion et sur la précipitation. On modifie ainsi la couleur de nombreuses pierres (voir l'encadré page 70) non commercialisables pour les transformer en pierres ressemblant à des saphirs bleus, jaunes ou incolores. Cela nécessite des fours qui chauffent à près de 1 800 °C, légèrement sous la température de fusion du saphir. Ces équipements, qui contiennent des dispositifs de circulation gazeuse (hydrogène, monoxyde de carbone, dioxyde de carbone) indispensables pour le contrôle de l'atmosphère, sont difficiles et dangereux à utiliser : à ces températures, l'hydrogène gazeux risque d'exploser au contact de l'oxygène de l'air. Une fuite serait fatale. Cependant des équipements plus lourds encore sont parfois utiles, tels les accélérateurs de particules, pour l'irradiation des gemmes.



3. DANS UN DIAMANT de pureté médiocre en raison d'une fracture inesthétique (à gauche), on remplit cette dernière d'un verre dont l'indice de réfraction est proche de

celui du diamant. Ainsi, sur le diamant traité (à droite), la fracture est moins visible et la pureté apparente est augmentée. Ce diamant a un diamètre de 4,5 millimètres.

Gemological Institute of America - Shane McClure

Les gemmes irradiées sont-elles radioactives ?

Le principe de l'irradiation est bien connu : le rayonnement déplace des électrons ou, plus rarement, des atomes de la pierre. Ce déplacement physique des particules, et leur piégeage ailleurs dans la structure atomique, change la valence de certains ions. Si les ions modifiés absorbent la lumière visible, la couleur varie de façon spectaculaire.

Ainsi, dans les tourmalines, deux sortes d'ions de manganèse coexistent : un atome de manganèse auquel il manque deux électrons (le cation Mn^{2+}) et un atome de manganèse auquel il manque trois électrons (le cation Mn^{3+}). À concentrations égales, l'ion Mn^{2+} colore très faiblement comparé à l'ion Mn^{3+} , qui donne un rose vif ou un rouge. Une irradiation modérée suffit à arracher un électron supplémentaire à l'ion Mn^{2+} , le transformant en ion Mn^{3+} . Une tourmaline rose pâle qui contient beaucoup de manganèse sous la forme d'ion Mn^{2+} devient, après exposition à une radiation ionisante, d'un rose prononcé.

Les traitements par irradiation obéissent à trois impératifs, parfois contradictoires : l'énergie des particules irradiantes doit être suffisante pour changer la couleur, mais pas trop pour ne pas créer d'isotopes radioactifs ; l'irradiation doit être la moins chère possible, donc relativement courte dans le temps (entre quelques minutes et quelques jours). Pour répondre à ces impératifs, on utilise les dispositifs com-

merciaux disponibles, tels les accélérateurs ou les centres d'irradiation gamma de l'industrie agroalimentaire. Si, aujourd'hui, l'irradiation utilise ces appareils lourds, dès la découverte de la radioactivité naturelle, on irradiait déjà en enterrant les gemmes dans des sels radioactifs. Les gemmes produites étaient cependant radioactives, en raison de la diffusion des radio-isotopes sur quelques couches atomiques.

Les nouveaux traitements combinent différentes méthodes. Par exemple, pour rendre des diamants jaune pâle plus foncés, il faut non seulement les irradier, mais aussi les chauffer dans des conditions adéquates (voir la figure 1). L'irradiation crée des défauts, et le chauffage les déplace dans des sites où l'azote, l'impureté la plus abondante du diamant, les piège.

La topaze bleu intense (*Super blue*) est l'objet type de ces traitements combinés. Les pierres, déjà facettées, sont d'abord irradiées dans un réacteur nucléaire avec des neutrons, puis dans un accélérateur linéaire avec des électrons, avant d'être chauffées. On obtient alors des topazes d'un bleu intense, une couleur très recherchée (voir la figure 1).

D'autres combinaisons existent. Le traitement par diffusion, mis au point dans les années 1970, mais alors peu utilisé, a fait un retour en force sur le marché depuis 1990. Non seulement on trouve des saphirs diffusés bleus, mais également des saphirs orange et rouges («rubis diffusés»). Pour ce traitement, on combine l'apport d'un

ou de plusieurs éléments chimiques participant à la coloration, et le chauffage. Des saphirs taillés peu colorés, donc non commercialisables, sont plongés dans un mélange d'oxydes contenant les éléments à introduire : de l'oxyde d'aluminium (qui correspond à la composition chimique du saphir), de l'oxyde de titane et un peu d'oxyde de fer. Le tout est porté dans un creuset à environ 1 800 °C. Le titane et le fer diffusent très lentement vers l'intérieur de la pierre taillée et forment des agrégats fer-titane, responsables de la couleur bleue. Le procédé prend jusqu'à 200 heures pour une pénétration de l'ordre de un dixième de millimètre. La pierre devenue bleue en surface, est repolie et prend l'apparence d'un saphir naturel de belle qualité. La couleur n'en reste pas moins superficielle et disparaît si l'on repolit trop la pierre, ou si on la retaille.

Le résultat d'un traitement combiné récent pose de gros problèmes actuellement en Extrême-Orient, où la gemme reine est le jade, sous forme de jadéite. Souvent, des impuretés diverses (des oxyhydroxydes de fer ou des matériaux argileux) sont piégées aux joints de grains entre cristaux et donnent une composante brune ou

grise à la roche. Pour extraire ces minéraux parasites, des contrefacteurs les dissolvent avec de l'acide chlorhydrique, puis avec des produits plus doux. Le jade est ainsi débarrassé de ces impuretés jusqu'à une profondeur de deux à trois centimètres, mais il reste laid et fragilisé : puisque toutes les plus fines craquelures sont vidées, elles deviennent apparentes et le jade ressemble alors à un morceau de sucre.

Pour y remédier, les instigateurs de la méthode imprègnent les jades blanchis avec des produits d'indice de réfraction proche de celui de la jadéite (1,66), tel le polystyrène. D'une part, puisque ces défauts ne diffusent plus la lumière, les pièces deviennent souvent translucides, alors qu'elles étaient opaques avant traitement. D'autre part, le matériau regagne sa cohérence mécanique et ne se casse plus aussi facilement. Le résultat final est un jade de belle couleur, éminemment commercialisable (voir la figure 6).

Nous avons vu que les traitements changeaient la couleur des pierres parfois de manière spectaculaire, mais la changent-ils pour longtemps ? Certains saphirs incolores irradiés pour les rendre jaunes perdent une bonne partie de leur couleur en quelques heures

d'exposition à la lumière du jour. Parfois, l'effet est moins spectaculaire, mais plus pervers. Par exemple, le verre remplissant les «glaces» de certains diamants traités fond si la pierre est soumise à une température qui n'endommagerait pas le diamant. En confiant une pierre à un bijoutier pour refaire une griffe de la bague, on peut avoir des surprises : la flamme du chalumeau, utilisée pour travailler l'or, fait «suer» le verre hors du diamant et les fractures apparaissent. Cela peut inciter le propriétaire de la bague, ignorant le traitement, à croire que le bijoutier a changé la pierre de la bague, ce qui crée une situation inconfortable pour le bijoutier et pour le client. Comment identifier facilement un traitement ?

Sherlock Holmes chez Ali Baba

Les diamants aux fractures remplies, qui relèvent d'une technique relativement évoluée, sont aisément détectables par l'observation au microscope binoculaire. L'indice de réfraction du matériau de remplissage, ainsi que celui du diamant dépendent de la longueur d'onde. Ces indices ne sont

Les multiples facteurs des couleurs

Au début du XIX^e siècle, Goethe est l'un des premiers à relier la coloration améthyste du quartz à la présence d'impuretés de fer. Si la simple correspondance entre une couleur et un élément donné se vérifie assez bien, une même couleur peut être obtenue à partir de procédés très différents. De surcroît, la couleur n'est pas une propriété intrinsèque de l'objet, mais dépend de la source lumineuse. L'alexandrite, par exemple, est verte à la lumière du jour, et rouge à la lumière d'une bougie.

Dans les gemmes, plusieurs mécanismes responsables de la couleur ont été identifiés, dont l'absorption par des impuretés d'ions, le transfert de charge, la formation des centres de couleurs et les effets optiques. Lorsque, dans une pierre donnée, la couleur est due à la présence d'ions, on reconnaît facilement l'origine de la couleur. En revanche, lorsque la couleur met en jeu un transfert de charge, ou plusieurs atomes, la détermination est plus délicate.

Les impuretés sont des ions de métaux de transitions (titane, vanadium, chrome, manganèse, fer, cobalt, nickel et cuivre) suffisamment éloignés pour qu'il n'y ait aucune interaction. Certains de ces ions absorbent de la lumière, ce qui altère la lumière transmise, et donc la couleur de la gemme. La couleur diffère selon le type d'ion, mais aussi selon sa charge, la nature des atomes voisins et d'autres facteurs, comme la coordination de l'ion (l'arrangement des atomes et des ions). On recense une quinzaine d'ions, qui créent une grande variété de couleurs. La coexistence de plusieurs sortes d'ions modifie l'absorption et la couleur. Ainsi, la même

couleur, comme le vert, se rencontre dans une gemme donnée, comme le jade, pour différentes raisons : l'absorption par des ions de chrome (Cr^{3+}) produit le «vert émeraude», tandis que celle par les ions de fer (Fe^{3+}) donne un vert plus jaune.

D'autres causes de la coloration font intervenir, non des ions isolés, mais des groupements. Par exemple, dans les agrégats fer-titane responsables de la coloration bleue des saphirs, l'absorption est due au transfert d'une charge d'un ion de fer (Fe^{2+}) à un ion de titane (Ti^{4+}). Enfin, les centres colorés sont des défauts de structure du cristal : un atome manquant (lacune) ou un atome additionnel (interstitiel). Lorsque des électrons extraits par irradiation ailleurs dans le cristal s'insèrent dans ces défauts, l'absorption est modifiée.

Une cause plus inhabituelle de la couleur des gemmes met en jeu la structure du cristal entier, ou du moins une région macroscopique du cristal, par sa structure électronique ou par des phénomènes internes tels que les interférences, la diffraction ou la diffusion. Ainsi, l'apparence multicolore de l'opale noble est due à la diffraction de la lumière par un empilement régulier de minuscules billes de silice, incluses dans la gemme.

Des hypothèses contradictoires quant à l'origine de certaines couleurs, ainsi que le faible nombre de publications, montrent que ce domaine de la gemmologie nécessite encore un travail approfondi. Là aussi, grâce aux techniques modernes, les gemmologues progressent.