

Éléments de caractérisation des diamants naturels et synthétiques colorés

Dr. Erel Eric¹

Développés depuis les années 50 pour leurs applications dans les domaines des abrasifs, de l'optique ou encore de l'électronique, les diamants de synthèse « Haute Pression-Haute Température » (HPHT) deviennent désormais de plus en plus présents sur le marché des pierres, notamment en ce qui concerne ceux de couleurs. Ces diamants se déclinent sous de nombreux coloris allant du jaune à l'orange, ou encore après traitement, du rose au rouge et du vert au bleu.

Ces diamants sont synthétisés à l'intérieur d'une enceinte de croissance sous des conditions de températures et de pressions élevées qui correspondent aux conditions thermodynamiques pour lesquelles le diamant est la phase stable du carbone. Les pressions se situent généralement entre 50 et 65 kbars et les températures s'échelonnent entre 1350 et 1600°C [Shigley *et al.*, 2004]. A l'intérieur de l'enceinte est placé un germe (diamant taillé suivant une orientation cristallographique définie), des nutriments (composés de poudre de diamant ou de graphite, ainsi que d'autres additifs comme du bore pour produire la couleur) et d'un mélange de métaux de transition (fer, nickel, ...). Le flux, composé de ces métaux fondus, va dissoudre les nutriments, puis transporter le carbone dissout jusqu'au niveau du germe par l'emploi d'un gradient de température. Le flux s'enrichit en carbone dans la partie « chaude » de l'enceinte de croissance où se trouvent les nutriments, puis migre vers la partie « froide » où le carbone dissout va cristalliser sur le germe. Le flux alors devenu « froid » et appauvri en carbone va continuer sa migration et rejoindre la partie « chaude » où il va à nouveau s'enrichir en carbone. Ce cycle conduit à faire croître le germe et se prolonge soit jusqu'à l'épuisement des nutriments, soit jusqu'à l'arrêt du processus de croissance. Les cristaux bruts ainsi produits sont tantôt jaunes ou oranges si la cristallisation s'est effectuée en présence d'azote, tantôt bleus si celle-ci s'est opérée en présence de bore. Si le diamant synthétique ne contient ni bore ni azote, il sera incolore. Il est ensuite possible de modifier certaines de ces couleurs en appliquant un traitement post-croissance ou des combinaisons de traitements qui combinent l'irradiation par faisceau d'électrons et le recuit. C'est cette combinaison de traitements qui transforme les diamants jaunes et oranges en diamants roses et rouges. Ces diamants jaunes, oranges, roses et rouges sont de type Ib, car l'azote qu'ils renferment est principalement sous forme d'atomes isolés, dispersés dans le réseau. Les diamants bleus sont de type IIb car ils contiennent du bore. Quand aux diamants incolores, ils sont de type IIa, chimiquement les plus purs.

Contrairement aux diamants synthétiques de laboratoire dont

la cristallisation se fait de manière continue avec un approvisionnement régulier en nutriments, la croissance des diamants naturels est plus complexe. Elle s'opère dans le manteau terrestre à des profondeurs supérieures à 150 km. Les pressions y excèdent les 50 kbars et les températures y sont estimées entre 1100 et 1600°C [Kiflawi & Bruley, 2000]. Dans cet environnement, les conditions de croissance peuvent être très fluctuantes. En effet, les diamants naturels peuvent subir différents cycles de croissance pouvant même être très espacés les uns des autres. De plus, durant des temps très longs (jusqu'à des milliards d'années) où le diamant brut séjourne sous terre, il a pu être soumis à des phases de résorptions, telles les dissolutions. Des processus de déformations ou de cassures ont également pu survenir.

Bien que les diamants naturels et synthétiques cristallisent dans des conditions de températures et de pressions similaires, il s'avère que leurs modes de cristallisation sont très différents et de plus les diamants naturels subissent souvent une évolution post-croissance (par exemple, dissolution). Ceux-ci laissent d'ores et déjà entrevoir les différences au point de vue morphologique et microscopique entre les diamants naturels et les diamants synthétiques.

Le but de cet article est d'une part de décrire ces différences, et d'autre part de donner des critères d'identification entre les diamants naturels et synthétiques colorés jaunes, oranges, bleus, roses et rouges (Figure 1).



Figure 1 : Diamants synthétiques colorés. Photo E. Erel.

Morphologie

On distingue aisément, du point de vue morphologique, les diamants bruts naturels des synthétiques. En effet, les conditions spécifiques de croissance des diamants synthétiques conduisent à l'obtention de cristaux bruts ayant une morphologie cubo-octaédrique caractéristique. Celle-ci est composée principalement de grandes faces cubiques et octaédriques planes séparées par des arêtes vives (Figure 2). Les proportions relatives de ces faces peuvent varier d'un échantillon à l'autre, car elles sont en partie influencées par la vitesse de croissance.

¹ Gübelin Gemmological Laboratory, Maihofstrasse 102, 6006 Lucerne, Suisse - e.ere1@gubelingemlab.ch

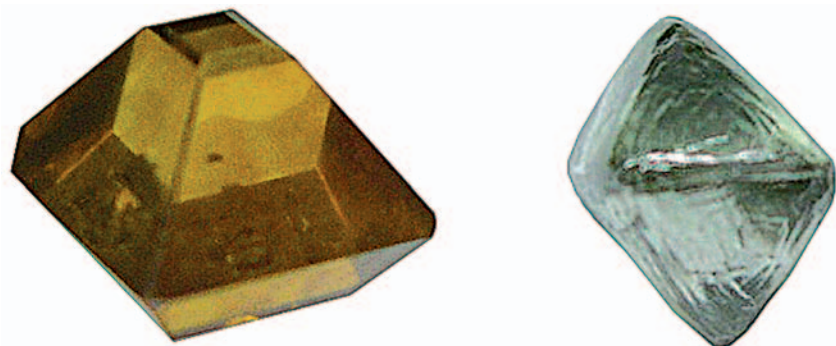


Figure 2 : Diamant brut synthétique (à gauche) et diamant brut naturel (à droite). Le diamant synthétique a une morphologie cubo-octaédrique et des faces lisses. Quant au diamant naturel, il montre une morphologie octaédrique qui a été altérée par son environnement. Photo E. Erel.

Concernant les diamants naturels, ceux-ci offrent une grande variété de morphologie [Sunagawa & Fritsch, 2002]. La plus répandue est la forme octaédrique qui caractérise de nombreux diamants de type I (ceux contenant des traces d'azote). Bien que les formes cristallines des diamants naturels puissent être nombreuses, les cristaux bien développés, qui présentent des faces planes et des arêtes vives, sont plutôt rares. En général, les cristaux bruts naturels présentent des marques de résorption chimique (dissolution) ou mécanique (déformation ou cassure pendant le séjour du diamant sous terre par exemple) qui altèrent leur surface, arrondissent leur forme et parfois même les brisent (Figure 2).



Figure 3 : Diamant rouge synthétique qui contient un nuage composé de points blancs microscopiques et des cristaux métalliques de tailles et formes variées. Si on éclaire ce diamant à l'aide d'une fibre optique, une croix fluorescente verte apparaît. Photo E. Erel.

Une fois taillé, la morphologie externe du diamant brut n'est plus visible. Il va donc falloir se pencher sur l'examen des caractéristiques internes pour différencier les diamants naturels et synthétiques.

Inclusions

Les inclusions constituent la première des caractéristiques internes des diamants.

Les diamants synthétiques de type Ib jaunes, oranges, roses et rouges, ainsi que les diamants bleus de type IIb renferment en général des reliquats du flux dans lequel ils ont

grandi. On constate que les diamants synthétiques du type Ib contiennent le plus souvent un nuage d'inclusions microscopiques, plus ou moins dense et présent dans toute la pierre. Celui-ci est formé par l'association de milliers de petits points blancs (Figure 3). Il est également possible d'y trouver parfois des inclusions métalliques de taille plus importante qui prennent l'aspect de cristaux. A l'inverse des diamants synthétiques de type Ib, ceux du type IIb contiennent plus rarement des nuages de particules microscopiques. En revanche, ils montrent une plus grande abondance de cristaux (Figure 4). Ceux-ci sont généralement visibles avec une loupe au grossissement 10. Ces cristaux ont des formes très variées. Ils peu-

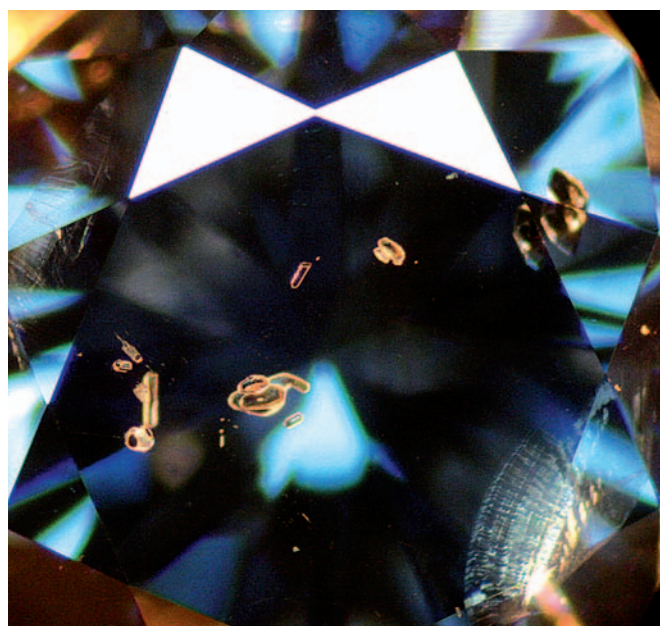


Figure 4 : Diamant bleu synthétique qui montre de nombreux cristaux métalliques ainsi que deux fractures. Photo E. Erel.

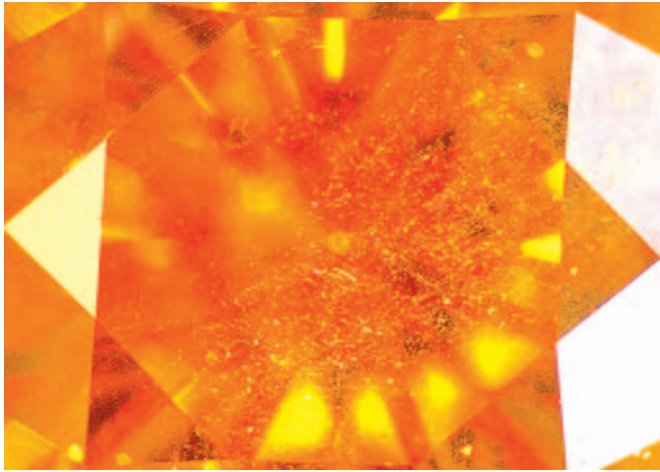


Figure 5 : Nuage composé d'une multitude de points blancs microscopiques dans un diamant orange naturel. Ce nuage de particules montre une très grande similitude avec celui rencontré dans les diamants synthétiques. Photo E. Erel.

vent être arrondis, allongés, tabulaires, irréguliers et même cubo-octaédriques. Lorsqu'on observe ces inclusions avec une loupe binoculaire, on peut faire deux types d'observations selon le type d'éclairage utilisé. En lumière transmise, ces inclusions apparaissent noires, alors qu'en lumière réfléchie, elles apparaissent grises avec des reflets métalliques. Exceptionnellement, les diamants synthétiques contiennent des fractures (Figure 4).

Contrairement aux diamants synthétiques bleus, ceux de type IIb de couleur naturelle (comme la majorité de ceux de type II d'ailleurs), contiennent très rarement des inclusions. De plus, quand un diamant naturel contient des inclusions cristallines, celles-ci sont le plus souvent incolores (tels les cristaux d'olivine). Parfois, on rencontre également des cristaux colorés tels que : les grenats qui peuvent être de couleur rose, rouge ou orange ; les diopsides chromifères qui sont verts ; ainsi que les sulfures qui sont de couleur noire.

La différenciation entre diamants naturels et synthétiques de type Ib est parfois plus complexe à réaliser, car chacun d'entre eux peut contenir les mêmes types de nuages microscopiques que ceux décrits pour les diamants synthétiques de type Ib (Figure 5).

En plus des inclusions, d'autres caractéristiques internes tels que le veinage et les zonations de couleurs (qui sont directement liées à la structure de croissance des diamants), peuvent se révéler très utiles pour différencier les diamants de couleurs naturels et synthétiques. Du fait des conditions de croissance contrôlées des diamants synthétiques, la morphologie cubo-octaédrique externe se reflète fidèlement sur la structure interne des diamants synthétiques. L'agencement des secteurs de croissance cubiques et octaédriques, qui se sont développés

et qui ont incorporé préférentiellement des impuretés chimiques tels que les chromophores (atomes de bore ou d'azote), montre également des caractéristiques du point de vue des zonations de couleurs, du veinage, ainsi que de la luminescence sous excitation ultraviolette, qui sont propres aux diamants synthétiques.

Le veinage

Le veinage (« graining ») résulte de légères variations de l'indice de réfraction entre différentes zones de croissance. Il existe au moins deux types de veinage : le veinage superficiel et le veinage interne. Le premier type parcourt la surface des diamants de façon linéaire dans la majorité des cas. Il s'observe surtout pour les diamants naturels et plus rarement pour les diamants synthétiques.

Le veinage interne s'observe, en lumière transmise et sous grossissement, en maintenant le diamant entre la table et la culasse et on le faisant tourner dans la pince. Lorsque ce type de veinage est détecté dans les diamants synthétiques (principalement ceux du type Ib), il prend des formes angulaires calquées sur la morphologie cubo-octaédrique (Figure 6). A partir du moment où ce veinage est suffisamment développé et prononcé, il devient un critère majeur pour identifier les diamants synthétiques. Bien que la majorité des diamants naturels montrent un veinage interne planaire, certains d'entre eux ont un veinage angulaire (Figure 7). Celui-ci peut alors mon-

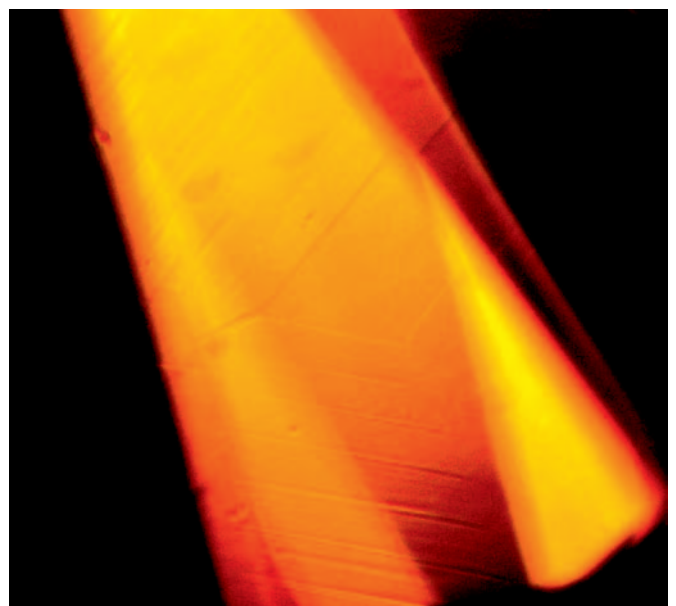


Figure 6 : Veinage interne observé dans un diamant synthétique qui montre une forme cubo-octaédrique partielle. Photo E. Erel.

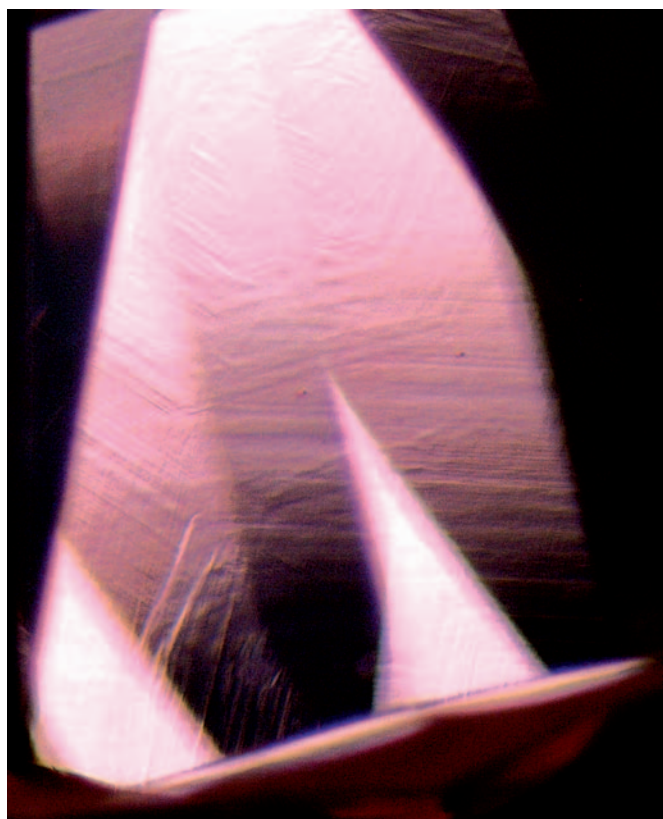


Figure 7 : Veinage interne angulaire observé dans un diamant naturel. Celui-ci présente des similitudes avec le veinage interne du diamant synthétique de la Figure 6. Photo E. Erel.

trer un aspect très proche de celui des diamants synthétiques. Dans ce cas, il devient plus délicat de différencier les diamants d'origine naturelle ou synthétique à partir de ce critère.

Zones de couleurs

Parallèlement à leur veinage interne, les diamants synthétiques colorés présentent des zones de couleurs qui adoptent une répartition par secteurs cubiques et octaédriques. L'aspect de ces zones se caractérise par des secteurs de croissance colorés et d'autres incolores (Figure 8), mais également par des secteurs de croissances colorés clairs et d'autres colorés foncés. Selon la manière dont les diamants bruts sont taillés, il est soit possible de voir, dans les diamants taillés, des secteurs colorés cubiques et octaédriques, soit uniquement des zones linéaires dont l'aspect se rapproche alors de celui rencontré dans les diamants naturels. D'autres motifs de répartition de couleurs plus complexes sont également observés. Il est plus rare de rencontrer un diamant synthétique avec une coloration uniforme.



Figure 8 : Répartition cubo-octaédrique caractéristique de la couleur d'un diamant jaune synthétique. La zone centrale (cubique et incolore) est entourée par quatre secteurs octaédriques colorés. Photo E. Erel.

A l'inverse, les diamants naturels ont des répartitions de couleurs qui sont souvent spécifiques à une couleur donnée. En effet, les diamants naturels bleus de type IIb sont généralement de couleur uniforme. Quant aux diamants jaunes et oranges de type Ib, ils possèdent également des couleurs homogènes. Dans certains cas, ils peuvent montrer au contraire des colorations inhomogènes de type sectoriel.

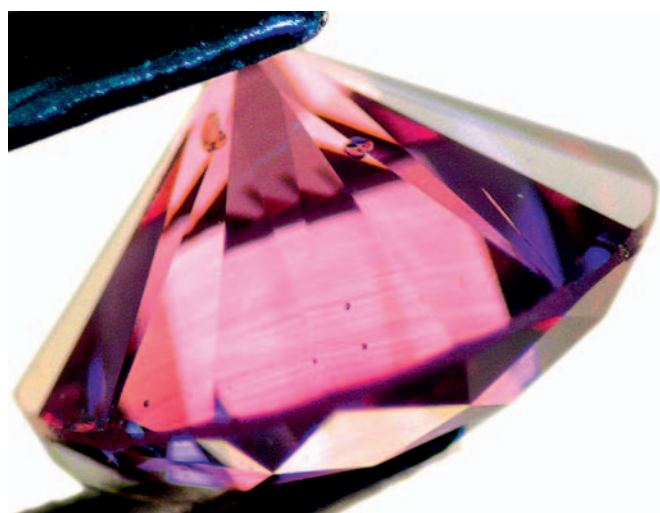


Figure 9 : Veinage rose interne, en plans parallèles, d'un diamant naturel. Photo E. Erel.

En terme de répartition de couleurs, la différence la plus explicite entre diamants naturels et synthétiques concerne les pierres roses et rouges. En effet, les centres colorés qui sont responsables de la couleur des diamants roses et rouges naturels proviennent de déformations plastiques qui sont survenues au cours des temps géologiques pendant lesquels les diamants ont séjourné sous terre. Ceci se traduit par le fait que les diamants naturels montrent une répartition de la couleur en plans parallèles, appelée veinage coloré (Figure 9).

Luminescence

L'une des dernières caractéristiques visuelles des diamants synthétiques correspond à leur schéma de fluorescence en croix. Il peut être observé sous excitation ultraviolette aux longueurs d'ondes de 254 nm et de 365 nm, ainsi que dans certains cas sous une lumière visible puissante comme celle de la fibre optique (Figure 3).

Il existe deux types de schéma en croix. Ceux-ci sont influencés par le fait que les zones de croissance cubiques et octaédriques incorporent différemment les impuretés chimiques pendant la croissance. D'une part, il peut s'agir d'une croix fluorescente, et d'autre part, il peut s'agir d'une croix noire. Dans ce cas, ce sont les secteurs de croissance qui sont complémentaires à ceux où se situe la croix, qui fluorescent. De plus, en fonction de la taille relative des secteurs qui fluorescent par rapport à celle des secteurs qui ne fluorescent pas, on peut observer une fluorescence homogène ou au contraire, une absence de fluorescence. Dans les deux cas extrêmes, il devient plus délicat de conclure quant à l'origine naturelle ou synthétique du diamant. En effet, dans la majorité des cas, soit les diamants naturels fluorescent de manière homogène, soit ils ne fluorescent pas. De plus, les couleurs de luminescence que l'on rencontre parmi les diamants naturels et synthétiques sont les mêmes. A ce niveau, il est cependant possible de faire quelques remarques concernant les diamants qui fluorescent de manière homogène.

La première observation concerne l'intensité de la fluorescence. Les diamants synthétiques qui fluorescent montrent

souvent, sous onde ultraviolette courte, une intensité de luminescence supérieure à celle émise sous onde longue. Cependant, on observe également ce comportement parmi les diamants naturels, mais c'est exceptionnel.

La seconde remarque concerne les couleurs de fluorescence. Dans la plupart des cas, la fluorescence bleue est une bonne indication de diamant naturel. En effet, elle s'observe communément dans les diamants de type Ia qui montrent le centre coloré N3.

En ce qui concerne les diamants roses et rouges synthétiques, ils fluorescent souvent de couleur orange en raison des centres colorés NV qui sont créés par les traitements post-croissance. Au contraire, les diamants roses et rouges naturels, dont la majorité est de type Ia, fluorescent fréquemment en bleu (et dans une moindre mesure en jaune). Quant aux diamants bleus qui fluorescent de couleur jaune ou verte et qui dans le même temps phosphorescent, ils doivent être traités avec attention. En effet, les diamants bleus synthétiques peuvent montrer cette réaction. Par contre, les diamants bleus naturels de type IIb sont inertes dans la majorité des cas.

Les diamants jaunes et oranges synthétiques peuvent, quant à eux, fluorescer de couleur jaune, verte ou orange, tout comme les diamants jaunes et oranges naturels de type I.

Conclusion

Les caractéristiques énoncées montrent qu'il est possible de différencier les diamants naturels et synthétiques sur la base de la microscopie et de la fluorescence. Cependant, certaines similitudes qui ont été décrites entre les diamants naturels et synthétiques montrent également qu'il est préférable de fonder ses conclusions sur une combinaison de critères, plutôt que sur un seul d'entre eux. De plus, la caractérisation approfondie des diamants nécessite des analyses spectroscopiques (spectroscopie infrarouge, spectrophotométrie ultraviolette et visible, photoluminescence) et chimique (fluorescence X et ablation laser). Ces analyses se révèlent d'autant plus importantes que les caractéristiques visuelles énoncées peuvent ne pas être présentes, ou suffisamment exhaustives. ■

Références

Kiflawi I., Bruley J., *Diamond and Related Materials*, 9, 87-93, 2000.

Sunagawa I., Fritsch E., *Pour La Science*, Dossier 35, 34-39, 2002.

Shigley J.E., Breeding C.M., Shen A.H.T., *Gems & Gemology*, Vol.40, No.4, 303-313, 2004.