



# Gemmologie de laboratoire

## IMITATION D'INCLUSION PAR GRAVURE LASER DANS UN QUARTZ NATUREL

Steven Riou<sup>1</sup>, Aurélien Delaunay<sup>1</sup>, Emmanuel Fritsch<sup>2</sup>

n° DOI: [doi.org/10.63000/G6srV2252KXgt](https://doi.org/10.63000/G6srV2252KXgt)

### Abstract

**INCLUSION IMITATION IN NATURAL QUARTZ BY LASER ENGRAVING** - This article describes a small near-colorless quartz (rock crystal) sphere containing four remarkable white inclusions with a radial structure, in the shape of spherical tassels. It was acquired on a internet sales platform. The experiments were able to highlight the natural character of this quartz because it contains two-phase fluid inclusions, and shows infrared absorptions at around 3595, 3482 and 3378  $\text{cm}^{-1}$  typical of natural quartz. The white inclusions were obtained by bursting caused by computer-controlled 3D laser "etching" to form remarkable patterns, and this, before purchase. Defects resulting from the same process have already been observed in natural quartz. However, here we describe for the first time the short ultraviolet only blue luminescence of these inclusions. By luminescence spectrometry, it has been established that the blue fluorescence is due to missing oxygen atoms caused by laser irradiation, and which have probably moved into nearby interstitial sites. An orange emission, not visible to the naked eye, is linked to this presence of interstitial oxygen.

### Résumé

Cet article décrit une sphère de quartz incolore (cristal de roche) contenant quatre inclusions blanches remarquables à structure radiale sous la forme de pompons sphériques. Elle a été acquise sur une plateforme de vente en ligne. Les expériences ont pu mettre en avant le caractère naturel de ce quartz, et ce, grâce à l'observation des inclusions fluides biphasées présentes et les absorptions infrarouges vers 3595, 3482 et 3378  $\text{cm}^{-1}$  typiques des quartz naturels. Les inclusions blanches ont été obtenues par impacts causés par une « gravure » laser pour former des motifs remarquables, et ce, avant achat. Des inclusions issues du même procédé ont déjà été observés dans du quartz naturel. Néanmoins, il est ici décrit pour la première fois la luminescence bleue aux ultraviolets courts de ces inclusions. Par spectrométrie de luminescence, il a été établi que la fluorescence bleue est due à des atomes d'oxygène manquants causés par l'irradiation due au laser. Les atomes d'oxygène se sont probablement déplacés dans des sites interstitiels proches. Une émission dans l'orange, non visible à l'œil nu, serait liée à cette présence d'oxygène interstitiel.

<sup>1</sup>Laboratoire Français de Gemmologie, 30 rue de la Victoire, 75009 Paris, France

<sup>2</sup>Professeur des Universités émérite, Nantes Université, CNRS, Institut des Matériaux Jean Rouxel, IMN, F-44322 Nantes, France

Un quartz vendu comme naturel, provenant de Chine, a attiré notre attention en raison de la présence d'un grand nombre d'inclusions non identifiées et atypiques. Son prix modique (environ 7 US\$) permet de l'acquérir sans grand regret s'il se révèle être un « faux ». Cet échantillon incolore et transparent est poli en forme de sphère de 13,55 mm de diamètre et a une masse de 17,34 ct (Figure 1).

Quatre inclusions blanches représentant une nuée de points similaire à une explosion de feux d'artifice, ou encore à des fleurs de pissenlit en graine sont observées dans la sphère. Dans l'intention de vérifier la naturalité de la pierre, les méthodes de gemmologie classique ont d'abord été utilisées. Ainsi, les indices de réfraction et la masse spécifique de l'échantillon ont été mesurés. Ici, un indice de 1.54 (lecture cabochon) et la mesure d'une masse spécifique 2.65 laisse entendre que cet échantillon est un quartz. Une figure optique en « œil de taureau » (« bull's eye ») est bien visible lorsque

l'échantillon est observé sous polariseurs croisés, elle vient soutenir cette affirmation (Figure 2, à gauche). On observe des givres présentant des libelles, c'est-à-dire des inclusions fluides biphasées (Figure 2, à droite).

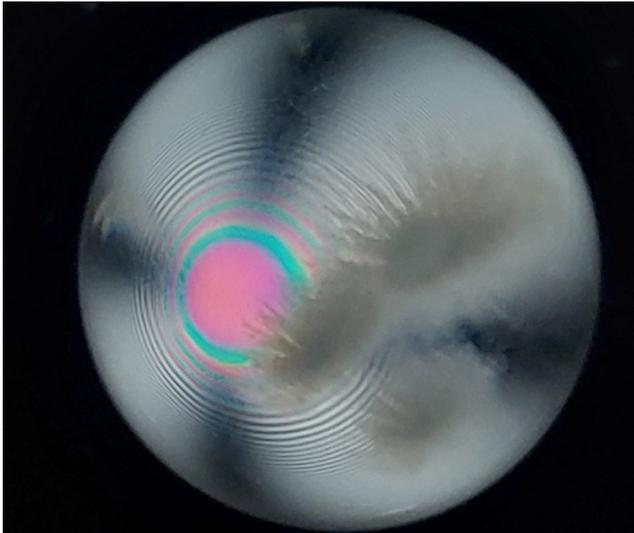
Afin d'approfondir l'analyse, un spectre Raman a été obtenu à l'aide d'un spectromètre Renishaw InVia Raman microscope avec un laser à 514 nm de 100 mW et 3 accumulations d'une seconde chacune. Ce spectre contient une raie principale caractéristique du quartz à  $465\text{ cm}^{-1}$ , confirmant l'identité de la sphère. Pour déterminer s'il s'agit d'un quartz naturel ou synthétique, un spectre infrarouge a été effectué avec un spectromètre Nicolet iS50 FT-IR. Des bandes à  $3595$ ,  $3482$  et  $3378\text{ cm}^{-1}$  soutiennent l'idée que ce quartz est d'origine naturelle et non synthétique (Müller & Koch Müller, 2009 ; Henn *et al.*, 2017 ; Figure 3).

La caractéristique la plus originale de cette sphère est que, sous rayonnement ultraviolet court (UVC ; 254



**Figure 1** : À gauche : Vue d'ensemble de la sphère de quartz à inclusions blanches en lumière naturelle (diamètre 13,5 mm). À droite : même échantillon vu sous rayonnement ultraviolet court (254 nm), révélant une forte luminescence bleue des inclusions. Photos A. Delaunay.

**Figure 1** : *Left: Overview of the quartz sphere with white inclusions in daylight (diameter 13.5 mm). Right: Same sample viewed under shortwave ultraviolet radiation (254 nm), revealing a strong blue luminescence of the inclusions. Photos A. Delaunay.*



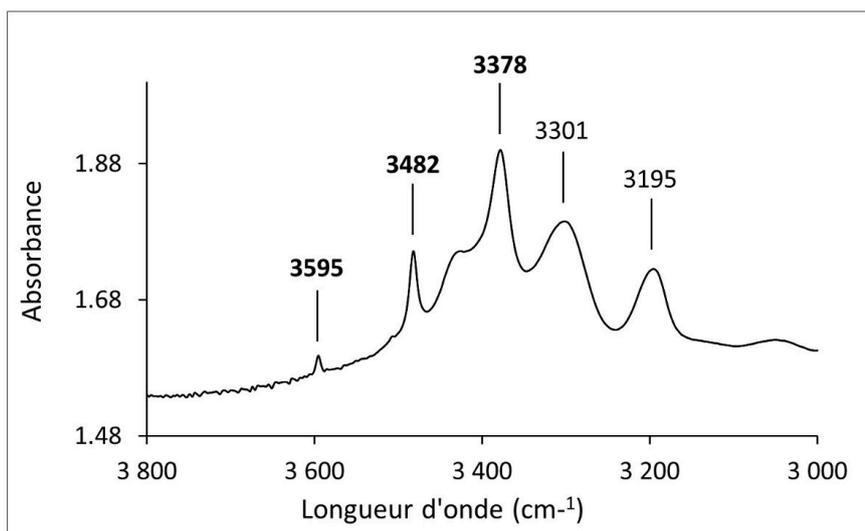
**Figure 2 :** À gauche : Figure optique « bull's eye » observée sous polariseurs croisés. À droite : Les inclusions biphasées démontrent que le quartz a une origine naturelle (Largeur du champ : 2.8 mm). Photos S. Riou & A. Delaunay.

*Figure 2: Left: Bull's eye optical figure confirming the material is quartz. Right: Two-phases inclusions demonstrate that the quartz is of natural origin (Field of view: 2.8 mm)*

nm), les inclusions émettent une lumière bleue (Figure 1), mais restent sans réaction aux UV longs (365 nm). Ce comportement est tout à fait inhabituel, et non décrit dans la littérature gemmologique à notre connaissance.

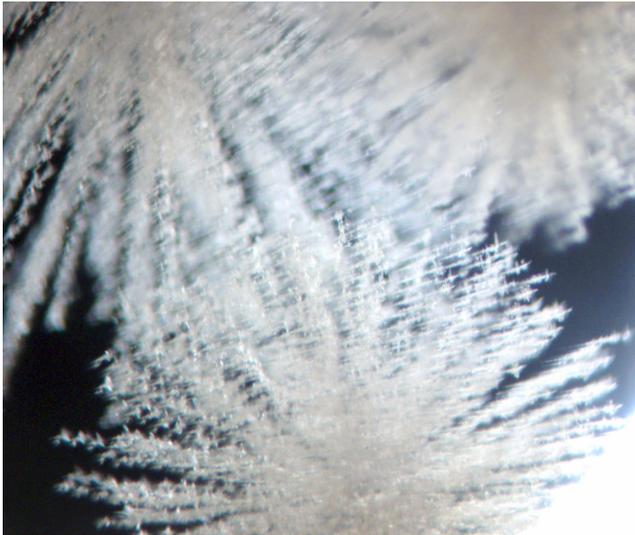
L'observation à fort grossissement permet de voir que chaque « feu d'artifice » est composé de nombreux alignements de plus petites inclusions (Figure 4). Tous ces alignements sont répartis de façon radiale,

formant une espèce de « boule ». Les inclusions blanches élémentaires composant ces alignements ne sont pas des cristaux, mais des défauts, comme des éclatements, constitués de plusieurs fractures (souvent deux) centrées à peu près au même endroit (Figure 4a). L'inclusion qui se trouve le plus vers l'extérieur de chaque alignement s'avère être souvent la plus grosse (Figure 4b). Chaque alignement présente une forme d'aiguille relativement rectiligne mais discontinue et parsemée d'éclatements. Cette scène d'inclusions ne semble pas déjà décrite dans les quartz gemmes.



**Figure 3 :** Spectre d'absorption infrarouge de la sphère de quartz, la présence des bandes en gras démontrent le caractère naturel du quartz.

*Figure 3: Infrared absorption spectrum of the quartz sphere, the presence of the bands in bold demonstrates the natural character of the quartz.*



**Figure 4 :** a) Détail des « boules » montrant qu'il s'agit de lignes d'éclatements (Largeur du champ : 5,5 mm) b) Chaque « ligne » est finie par un éclatement plus important (Largeur du champ : 5 mm). Photos A. Delaunay.

*Figure 4: a) Detail of the spheres showing lines of burst figures (Field of view: 5.5 mm). b) The last "burst" of each line is bigger (Field of view: 5 mm). Photos A. Delaunay*

Les inclusions décrites par Lin *et al.* (2020) et Renfro et Weldon (2020) ressemblent beaucoup à celles que nous avons analysé dans notre échantillon (Figure 4). Elles sont le résultat de gravure laser dans le quartz naturel et présentent aussi de minuscules éclatements de couleur blanche. Comme observé dans la sphère étudiée, les « éclatements » sont alignés, ou régulièrement distribués pour générer une forme remarquable. Aucune indication n'est donnée quant à la luminescence UV dans ces deux publications. Il s'agit donc d'une gravure réalisée probablement par un laser piloté depuis un ordinateur, permettant de contrôler les formes (« feux d'artifice » dans notre cas, inclusion en forme d'étoile ou pseudo-fantôme). La concentration d'énergie dans un volume réduit va probablement mener à l'éclatement de la matière. De ce fait, chaque « croisillon » correspondrait à un point et une puissance programmée d'intensité de laser. Actuellement, nous ne disposons pas de plus amples informations concernant le type de laser, la puissance de l'instrument, le logiciel, ou tout autre aspect des méthodes utilisées sur cet échantillon.

La luminescence bleue aux UVC a été étudiée grâce à un spectrofluorimètre Jobin Yvon Fluorolog<sup>3</sup>. Le spectre d'émission obtenu pour une excitation à 254 nm (Figure 5), montre deux bandes larges, la plus intense centrée vers 470 nm correspond bien à une émission bleue, comme observé sous UVC. Une deuxième bande plus faible est centrée vers 600 nm, dans l'orange, mais n'est pas perçue à l'œil nu. En cherchant les excitations qui induisent l'émission bleue, on trouve une bande d'excitation relativement étroite, centrée vers 258 nm. Ce résultat est cohérent avec une excitation aux UVC seulement (254 nm ; pas d'excitation aux UVL vers 365 nm). La bande vers 258 nm ne semble pas avoir de cause identifiée, elle est probablement liée à un défaut intrinsèque de la silice, comme on en rencontre aussi avec la luminescence bleue des opales (Gaillou *et al.*, 2012 ; Vigier *et al.* 2025). La création de défauts liés à l'utilisation du laser équivaut à un traitement par irradiation. En effet, une radiation électromagnétique, ici le laser, apporte localement une importante quantité d'énergie dans un petit volume de matériau. Ceci causerait les fractures visibles au microscope mais aussi des défauts à

l'échelle atomique. Ces défauts seraient induits par la création d'une surface (la fracture visible) donc d'une liaison atomique non satisfaite, ou « pendante ». Ceci explique que ce sont les fractures qui luminescent, et non la masse du quartz autour de ces discontinuités optiques. Un certain nombre de défauts de ce type sont décrits dans la littérature (Salh, 2011) mais la détermination précise de la structure atomique de ce défaut nécessiterait plus de recherche. L'émission vers 600 nm serait liée à la présence d'oxygène interstitiel dans certaines silices (Salh, 2011). Cette interprétation est cohérente avec la présence de tétraèdres de silice auxquels il manquerait un atome d'oxygène, arraché lors de l'irradiation laser, et donc déposé plus loin dans la structure, dans un site interstitiel.

## CONCLUSION

Une sphère de quartz naturel incolore présente des inclusions blanches en forme de « feux d'artifice » à structure radiale. Ces motifs résultent de micro-éclatements alignés, produits par une gravure

laser. Cette technologie, couramment utilisée pour créer des figures internes dans le verre est ici appliquée de manière inhabituelle au quartz.

L'aspect le plus singulier de ces inclusions est leur luminescence bleue sous UV ondes courtes, un phénomène inédit décrit ici pour la première fois. Cette émission est probablement liée à des défauts du réseau silicaté, notamment des lacunes en oxygène ou des liaisons non pontantes, générés par l'irradiation laser sur les surfaces des fractures. Une luminescence orange, détectée en spectroscopie, semble quant à elle attribuable à des oxygènes interstitiels.

La technique de la gravure laser pour générer des formes visibles dans une masse de verre ou de quartz semble devenue plus courante. Il est probable que l'on verra ce type de décoration dans la masse d'objets transparents se développer avec les technologies laser, dans d'autres matériaux gemmes.

## BIBLIOGRAPHIE

**Gaillou E., Fritsch E., Massuyeau F. (2012)** Luminescence of gem opals: a review of intrinsic and extrinsic emission. *The Australian Gemmologist*, **24**(8) 200-201.

**Henn U., Stephan T., Schmitz F. (2017)** Zum Unterscheidung natürlichen und synthetischen Quarzen - eine aktuelle Betrachtung. *Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft*, **66**(1&2) 7-30.

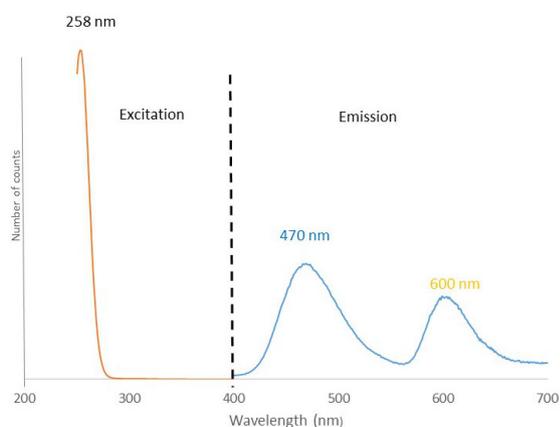
**Lin S.-H., Li Y.-H., Chen H.-F. (2020)** Gem News International: A new phantom quartz imitation: laser-engraved rock crystal. *Gems & Gemology*, **56**(4) 549-550.

**Müller A. & Koch Müller M. (2009)** Hydrogen speciation and trace element contents of igneous, hydrothermal and metamorphic quartz from Norway. *Mineralogical Magazine*, **73**(4) 569-583, doi : 10.1180/minmag.2009.073.4.569.

**Renfro N. & Weldon R. (2020)** Micro-World: Manufactured Inclusions in Gem Materials, *Gems & Gemology*, **56**(3) 427-430.

**Salh R. (2011)** Defect related luminescence in silicon dioxide network: a review. In *Crystalline Silicon - Properties and Uses*, Sukumar Basu (ed.), InTech, Rijeka, p. 135-172, doi: 10.5772/844.

**Vigier, M., Gouzy, S., Rondeau, B., & Fritsch, E. (2025).** New Insights on the Origin of the Blue Photoluminescence of Natural Opal Through Raman Spectroscopy. *Luminescence*, **40**(5), e70180, doi : 10.1002/bio.70180.



**Figure 5 :** Spectre d'émission et d'excitation de la luminescence bleue, montrant une émission principale centrée vers 470 nm dans le bleu, et une émission secondaire vers 600 nm dans l'orange non perçue visuellement.

*Figure 5: Emission and excitation spectra for the blue luminescence, showing the main emission centered around 470 nm in the blue, and a secondary emission around 600 nm in the orange, which is not seen with the naked eye.*