2021

DIPLÔME D'UNIVERSITE DE GEMMOLOGIE

présenté
devant l'Université de Nantes
U.F.R des Sciences et des Techniques

par
Melle. Florine GUICHARD

Etude d'une collection de diamants

Sélection – Analyse – Identification – Classification

soutenu publiquement le 9 Juin 2021
au Département des Sciences de la Terre et de l'Univers
devant la commission d'examen composée de :

M. E. FRITSCH	Professeur	**Président**
M. C. LATOUCHE	Maître de Conférences	**Vice-Président**
M. C. EWELS	Directeur de Recherche	**Examinateur**
M. F. NOTARI	Directeur, GGTL, Genève	**Examinateur**
M. S. KARAMPELAS	Chef gemmologue, LFG, Paris	**Examinateur**
M. B. LASNIER	Invité	**Invité**

Table des matières

Introduction 3

Généralités sur le diamant 4

Matériaux et méthodes 6

- Description des échantillons 6
- Gemmologie classique 8
  - Inclusions 8
  - Micrographies entre polariseurs croisés 8
  - Lampe UV 8
- Gemmologie de laboratoire 8
  - Spectrométrie d'absorption Infrarouge 8
  - Spectrométrie d'absorption UV-Vis-NIR 9
  - Cathodoluminescence 9
  - Fluorimétrie 9

Résultats 10

- La Spectrométrie 10
  - Absorption infrarouge 10
  - UV-Vis-NIR 12
- La luminescence 14
  - Lampe UV 14
  - Fluorimétrie 15
- Morphologie de croissance et indices de la déformation 19
  - Observations à la loupe binoculaire 19
  - Imagerie de cathodoluminescence (MEB) 20
- Les inclusions 25
  - Les diamants incolores 25
  - Les diamants colorés 26
  - Les bruts 26

Interprétations et Discussion 29

- Les type IaAB : FG01, FG03, FG04 30
- Les type IaA : FG05, FG06, FG07, FG10 30
- Les type Ib : FG08, FG11 30
- Le type IaB : FG09 31
- Le type Ib/IaAB ou type « ABC » : FG02 31

Conclusion 32

Références 33

Annexes 35

Introduction

Cette étude d'une collection de onze diamants s'inscrit dans les objectifs de la formation de DUG d'aussi bien maitriser le domaine des pierres de couleurs que celui du diamant. Ayant réalisé un mémoire bibliographique sur le lien entre origine géographique et géologique du saphir bleu, cette étude sur les diamants en est la suite logique. L'intérêt de cette étude est d'analyser un échantillon d'individus témoignant de la diversité du monde du diamant. Nous nous intéresserons notamment à certains des dons qui ont été faits au Dr. Fritsch afin de si possible distinguer parmi eux des individus atypiques pouvant faire l'objet d'autres projets de recherche. Cette sélection permettra aussi de distinguer des exemples typiquement représentatifs d'une catégorie de cette population et qui pourraient être des exemples pédagogiques.

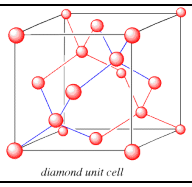
Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé dans l'élaboration de ce mémoire. Et sans échantillons pas de mémoire. Je tiens donc en premier lieu à remercier le Dr. Emmanuel Fritsch pour le prêt de l'ensemble des échantillons ainsi que pour les cours dispensés tout au long de l'année et les différents TP. Je souhaite aussi remercier l'ingénieur MEB Nicolas Stephant pour son aide bienveillante lors des séances de MEB. Je remercie également les différents intervenants pendant les cinq semaines de cours Mr. C.Latouche, Mme E.Gaillou, Mr. F.Notari, Mr. S.Karampelas et Mr. F.Blumentritt mais aussi Mme B.Mocquet pour son aide pour les travaux pratiques. Enfin, je remercie chaleureusement le studio Nicolas Roger pour ces très belles photos macroscopiques d'échantillons, ainsi que le LFG pour les photos et analyses de l'échantillon CVD.

Figure 1 : Diamant brun taille brillante et incolore taille ancienne (Photos : Studio Nicolas Roger)

Généralités sur le diamant

Tableau 1 : Caractéristiques générales du diamant

Propriétés structurelles	
Composition chimique	C (Pozzera, 1999)
Structure atomique	Système cubique à face centrée, (1/4 ; 1/4 ; 1/4) *a* a = 3.5625 Å, α=β=γ= 90°, Fd-3m, coordinence 4, distance C-C de 1.544 Å, angle de liaison de 109,47°, énergie de liaison C-C ≈ 344 kJ/mol (Massi, 2006) 
Système	Cubique (Pozzera, 1999)
Conductivité thermique	Importante : 2 500 W/ (m·K) (Pozzera, 1999)
Propriété électrique	Isolant (résistivité 10^{18} Ω · m, gap = 5,5 eV) (Hainschwang, 2014)
Clivage	Net selon les faces de forte densité atomique de l'octaèdre {111} (LFG, 2019)
Propriétés optiques	
Indice de réfraction	2,417 à 2,419 (Pozzera, 1999)
Caractère optique	Isotrope (Pozzera, 1999)
Pléochroïsme	Absent (Pozzera, 1999)
Dispersion	0,044 (Pozzera, 1999)
Luminescence UV	UVL : Inerte à bleu, jaune, vert faible à très forte UVC : Inerte à bleu, jaune, vert faible à forte (généralement plus faible qu'aux UVL pour les diamants naturels) (LFG, 2019)
Rayons X	Transparent (Pozzera, 1999)
Propriétés physiques et mécaniques	
Masse spécifique	3,52 (Pozzera, 1999)
Dureté	10 (Pozzera, 1999)
Fragilité	Relativement fragile mais très forte élasticité (Pozzera, 1999)
Propriétés chimiques	
Impuretés courantes	N, H, B Type II (quantité d'azote non mesurable en spectroscopie d'absorption infrarouge IRTF) : IIa (pur en IRTF), IIb (B) Type I (quantité d'azote mesurable en spectroscopie d'absorption infrarouge), Ia (N en agrégats), IaA (N en paires isolées = agrégats A), IaB (4N autour d'une lacune = agrégat B), IaAB (agrégats A + B) (Breeding et Shigley, 2009)
Chromophores	N, H, B, Lacune (voire détails Box A p.100 de Breeding et Shigley, 2009)
Géologie	
Gisements primaires : Volcanisme kimberlitique source des diamants lithosphérique (150 km) ou asthénosphérique (700 km) / diamant d'impact (astroblème) / ultra haute pression lors d'une collision orogénique ; Gisements secondaires : Alluvions (Shirey et Shigley, 2013)	
Gisements	
Classement en terme de volume jusqu'en 2005 : Congo/Zaïre/RDC > Australie > Russie > Afrique du Sud > Botswana (Janse, 2007)	
Traitements	
Chauffage, Irradiation, HPHT, Combinaison de ces 3 traitements, Revêtement, Forage laser, Remplissage des fissures (LFG, 2019)	
Synthèses	
Haute Pression Haute Température (HPHT) et Chemical Vapor Deposition (CVD) = Dépôt Chimique en Phase Vapeur (LFG, 2019)	
Imitations	
Moissanite, Oxyde de zirconium synthétique (Zircon cubique), Baddeleyite (rare), Corindon ou Spinelle naturel et synthétique, Yttrium Aluminium Garnet (YAG), Gallium Gadolinium Garnet (GGG), Rutile synthétique, Zircon (Pozzera, 1999)	

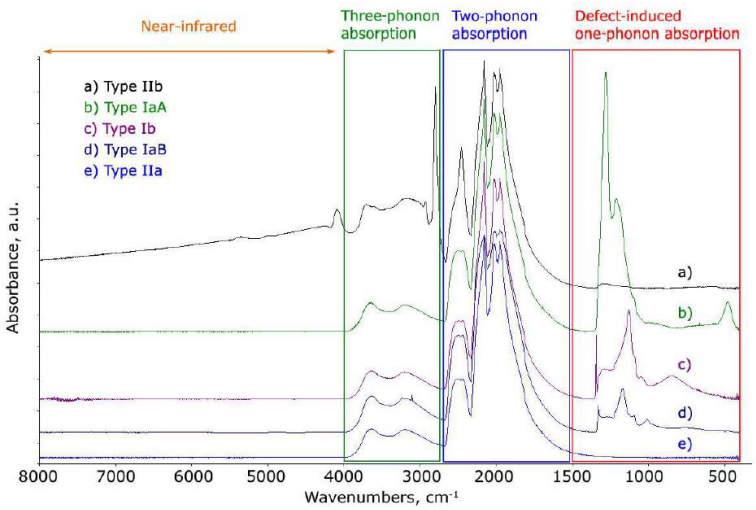


Figure 2 : Spectres infrarouges de chaque type de diamant défini dans le système de classification infrarouge (Hainschwang, 2014)

Cette figure met en avant la morphologie typique d'un diamant en IRTF via le spectre du type IIa, à laquelle s'ajoute des pics selon la présence et le type d'azote. Cette figure compartimente également les bandes selon le nombre de phonons qui interviennent lors des transitions vibrationnelles.

1) La classification infrarouge qu'utilisent Breeding et Shigley (2009), a été résumée en spectres de IRTF par Hainschwang (2014) (Figure 2). Toutefois, selon Hainschwang (2014), il existe des diamants possédant des absorptions à un-phonon inconnues qui ne serait donc pas possible de classer dans ce système. Karampelas (2007) propose de les appeler des "diamants du troisième type". Ces diamants incluent principalement des pierres avec la bande à 480 nm dont parmi eux des diamants dits « riches en CO_2 » (Schrauder et Navon, 1993). Ces diamants montrent des absorptions attribuées au CO_2 à 2337 – 2411 cm^{-1} (v3) et 644 – 660 cm^{-1} (v2). Ces "diamants du troisième type" incluent également des diamants dits "pseudo CO_2". Ils possèdent des propriétés similaires aux diamants CO_2, mais montrent les pics du CO_2 seulement après traitement HPHT (Hainschwang et al., 2008).

2) Le diamant FG08 est un diamant synthétique produit par la société Chatham. D'après son site internet, Chatham (2019), la compagnie est basée à San Francisco (Californie, USA). L'entreprise familiale fût fondée par Caroll Chatham en 1938, et c'est en 1993 que le fils de ce dernier, Tom Chatham, réussi à produire les premiers diamants synthétiques de l'entreprise. Ils sont notamment produits selon la méthode HPHT, Haute Pression Haute Température (à une pression de 50 kbar et une température de 1300 °C) par tranche de 100 carats (cts) en l'espace d'une semaine à 10 jours. La taille moyenne des cristaux bruts est de 10 carats. Chatham produit également, mais dans une moindre mesure, des diamants via la méthode CVD (Chemical Vapor Deposit) afin d'avoir une plus grande diversité de qualité de pureté et de couleur de diamant. Le rythme de production, ainsi que la taille des cristaux bruts sont équivalents à ceux produits par HPHT. Ces diamants synthétiques sont certifiés sans traitement après leur croissance.

3) SanaDiam est le diamantaire d'Anvers ayant fourni les deux diamants bruts FG09 et FG10. Il se fournit en diamant brut en République Démocratique du Congo, Sierra Leone et Guinée (SanaDiam, 2019).

Matériaux et méthodes

Description des échantillons

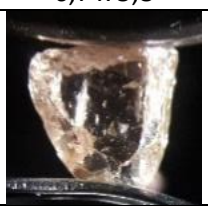
L'ensemble des échantillons appartiennent à la formation en gemmologie de l'Université de Nantes et m'ont été prêté pour effectuer ce mémoire expérimental.

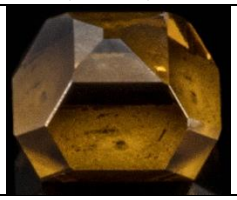
Tableau 2 : Description des échantillons

		FG_01	FG_02	FG_03
Forme et taille		Ovale taille ancienne	Rond Brillant	Ovale taille ancienne
Poids (cts)		0,21	0,04	0,11
Densité*		3,573	3,708	3,524
Couleur		Incolore (H – L)	Jaune Vert moyen	Légèrement teinté (N – R)
Dimensions (mm)	épaisseur	2,05	1,46	1,96
	dimension	3,81 x 3,04	Ø2,08	2,81 x 2,51
Photo macroscopique				
Nature		Naturel	Naturel	Naturel
IRTF (InfraRouge à Transformée de Fourier)		X	X	X
UV-Vis-NIR		X	X	X
Lampe UV		X	X	X
Inclusions		X	X	X
Cathodoluminescence (CL)				X
Fluorimétrie				

		FG_04	FG_05	FG_06
Forme et taille		Rond Brillant	Rond Brillant	Rond Brillant
Poids (cts)		0,76	0,01	0,12
Densité*		3,507	3,444	3,571
Couleur		Légèrement teinté (N – R)	Incolore (D - G)	Brun profond
Dimensions (mm)	épaisseur	3,19	0,98	2
	dimension	Ø5,56	Ø1,51	Ø3,1
Photo macroscopique				
Nature		Naturel	Naturel	Synthétique (CVD)
IRTF		X	X	X
UV-Vis-NIR		X	X	X
Lampe UV		X	X	X
Inclusions		X	X	X

CL	X		X
Fluorimétrie	X		

		FG_07	FG_08	FG_09
Forme et taille		Rond Brillant	Rond Brillant	Brut
Poids (cts)		0,10	0,15	1,12
Densité*		3,603	3,438	3,481
Couleur		Jaune lumineux	Brun vif	Brun pâle
Dimensions (mm)	épaisseur	1,8	2,06	3,2
	dimension	Ø3	Ø3,5	6,7 x 5,8
Photo macroscopique				
Nature		Naturel	Synthétique (HPHT)	Naturel
IRTF		X	X	X
UV-Vis-NIR		X	X	X
Lampe UV		X	X	X
Inclusions		X	X	X
CL			X	
Fluorimétrie			X	X

		FG_10	FG_11
Forme et taille		Brut	Brut (demi-octaèdre)
Poids		0,23	0,24
Densité*		2,735	3,611
Couleur		Brun pâle	Jaune Brun profond
Dimensions (mm)	épaisseur	1,3	2,33
	dimension	4,6 x 4,15	3,35 x 3,31
Photo macroscopique			
Nature		Naturel	Synthétique (HPHT Russe)
IRTF		X	X
UV-Vis-NIR		X	X
Lampe UV		X	X
Inclusions		X	X
MEB		X	
Fluorimétrie		X	

*Les densités ont été mesurées à l'aide d'une balance hydrostatique et sont donc indiquées ici par rapport à la densité de l'eau.

Gemmologie classique

Inclusions

Les micrographies ont été acquises à l'aide d'une loupe binoculaire couplée à une caméra Leica. Celle-ci est contrôlée par la version 4.5.0 de son logiciel attitré. Lorsque cela a été nécessaire, en raison d'importante profondeur de champs, plusieurs images à des mises au point différentes ont été compilées via la méthode du « z-stacking », grâce au logiciel CombineZP. L'étude des inclusions permet d'observer d'éventuelles inclusions atypiques méritant d'être décrites ou, au contraire, très classiques et qui pourraient permettre d'illustrer des documents pédagogiques. S'intéresser aux inclusions permet aussi de graduer la pureté des diamants taillés.

Micrographies entre polariseurs croisés

Seul l'échantillon FG06 a été photographié à la loupe binoculaire entre polariseurs croisés afin d'observer le caractéristique « brush pattern » d'un CVD.

Lampe UV

La lampe Ultraviolette (UV) utilisée possède une tension de 230V, soit une tension de 50/60 Hz. Elle est composée de deux tubes de marque Fuse de type T, de dimensions 5x20 et d'une puissance totale de 30W (soit 15W/tube). L'un des tubes correspond aux Ultraviolets Courts (UVC) à 254 nm tandis que l'autre est pour les Ultraviolets Longs (UVL) à 365 nm. La distance entre la lampe UV et la rangée des 11 échantillons sur fond noir est de 5 cm. L'observation de la luminescence s'effectue dans le noir.

La lampe UV est couramment utilisée chez les vendeurs et utilisateurs de diamants pour juger l'intensité de la luminescence en UVL. Pour les diamants les plus incolores, plus celle-ci est forte moins le prix du diamant est élevé (CIBJO, 2009). En effet, une forte luminescence provoque une émission dans le bleu qui compense la teinte légèrement jaune dans le visible, ce qui fait apparaître le diamant plus incolore. Cependant, l'étude de Moses et al. (1997) a montré que la luminescence a en réalité peu d'influence sur la couleur visible des diamants à moins d'être très intense. Et ce, même lorsqu'elle est appréciée par des observateurs experts. La lampe UV pourrait aussi permettre une première approximation dans la détermination de la nature synthétique ou naturel des diamants. En effet, d'après les cours de DUG 2018/2019, les diamants synthétiques ont une intensité de luminescence plus importante en UVC qu'en UVL et inversement pour les naturels.

Gemmologie de laboratoire

Spectrométrie d'absorption infrarouge

Le spectromètre est un ALPHA de la marque Bruker utilisé avec l'accessoire de Transmission. Il est associé au logiciel d'analyse de spectres OPUS 5.5. Ce logiciel utilise la transformée de Fourier pour transformer l'interférogramme du faisceau infrarouge ayant traversé l'échantillon en un spectre plus facilement interprétable (Wikipédia, 2019). Chaque spectre est composé d'une superposition de 50 scans d'une résolution de 4 cm^{-1} sur une plage spectrale de 400 à 4000 cm^{-1}. Pour plus de lisibilité, chaque spectre est normalisé à 1 avec un offset vertical.

Cette technique permet d'analyser les liaisons chimiques de l'échantillon. Cela permet de déterminer quel est le minéral concerné et de détecter la présence de certains traitements, voire de certaines synthèses (Zaïtsev, 2001). Cependant, cette détection dépend de la nature de la pierre analysée. Par exemple, dans le cas ici des diamants, la synthèse HPHT est détectable grâce à la présence de très faible quantité de bore dans un diamant de type IIa (ce qui en fait donc un type IIb puisque le bore est détectable en IRTF). Les CVD sont quant à eux reconnaissables à la bande d'absorption à 3123, 7353-5562 cm^{-1} de l'hydrogène (Cours DUG 2018/2019). Quant aux traitements, seule l'irradiation, accompagnée ou non d'un traitement HPHT, est détectable (Wang et al., 2005). Etant donné que cette technique permet de détecter les impuretés chimiques, il est intéressant de regarder la présence d'azote et d'hydrogène, très courants dans le diamant, et de déterminer le type du diamant considéré (IIa, IaAB, …) (Karampelas, 2007). En effet, le type du diamant indique s'il nécessite des analyses plus approfondies d'un laboratoire de gemmologie en fonction des évolutions des techniques de

synthèse (Breeding et Shigley, 2009). Dans le cas de cette étude, cette méthode très rapide, sans préparation d'échantillon et non destructive a permis d'analyser tous les échantillons.

Spectrométrie d'absorption UV-Vis-NIR

Le spectromètre est une GemmoSphere UV-Vis-NIR de la compagnie Magie Labs. La source est une lampe halogène, boostée au xénon pour les UV, et est une lampe LED associée à des filtres de second ordre pour le visible et le proche infrarouge. Le temps d'exposition est de 220 ms. Chaque spectre est le résultat de l'accumulation de 100 scans sur une plage spectrale de 365 à 1000 nm avec une résolution de 1,3 nm et une limite de détection lorsque l'absorbance est égale à 3. Tous les spectres sont normalisés à 1 pour plus de lisibilité avec un offset vertical.

Cette technique permet d'identifier les défauts structuraux (ou centres) optiquement actifs. C'est-à-dire qu'ils absorbent des fréquences de la lumière visible, de l'UV et du proche IR, selon leur configuration atomique et leur concentration dans le cristal. De là peuvent être déduis l'origine de la couleur dans l'UV-Vis-NIR, détectés certains traitements (comme l'irradiation suivie d'un chauffage pour les diamants de couleurs) ainsi que certaines synthèses (diamant HPHT) (voire récapitulatif dans Hainschwang, 2014 p.27). Tout comme l'IRTF, cette méthode est très rapide, sans préparation d'échantillon et non destructive et a donc été utilisée pour analyser les onze échantillons.

Cathodoluminescence

La cathodoluminescence est l'émission dans le visible d'un échantillon excité par un faisceau d'électrons. Les échantillons sont au préalable recouverts d'un revêtement de platine sous vide la veille. Puis, les images de cathodoluminescence sont acquises à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) de type Jeol 5800 disponible à l'Institut des Matériaux Jean Rouxel de Nantes (IMN). Les électrons ont une pénétration d'environ 2 µm (C à 15kV). Les images sont d'une résolution de l'ordre de la centaine de µm.

La cathodoluminescence est l'utilisation la plus utile du MEB pour le diamant car elle permet de visualiser l'incorporation différentielle de défauts selon les phases de croissance et donc de les mettre en évidence (Welbourn et al., 1996). Il est aussi possible d'acquérir des images en électrons secondaires qui permettent de voir les disparités topographiques sur l'échantillon. Les électrons rétrodiffusés permettent quant à eux de visualiser des contrastes chimiques.

Etant donné la lourde préparation nécessaire, seuls 5 échantillons ont été sélectionnés : deux synthétiques (FG06, FG08) et trois naturels (FG03, FG04, FG11) dont un brut (FG11) afin d'étudier les différences de morphologie entre une croissance naturelle et une croissance artificielle. Toutefois, il existe actuellement une méthode plus simple d'utilisation qui est l'imagerie de luminescence, non disponible à l'IMN, mais courante dans les laboratoires d'analyse gemmologique.

Fluorimétrie

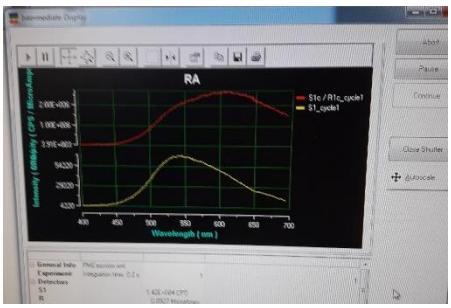


Figure 3 : Correction du signal de luminescence S1 par rapport à celui du laser R1

La spectroscopie de fluorescence est ici réalisée avec un Fluorolog de la compagnie Horiba Scientifique couplé au logiciel FluorEssence version 3.8 à température ambiante. Une correction est effectuée par rapport au signal du laser R1 (Figure 3). Malgré cela, un artefact subsiste à 365 nm correspondant à la longueur d'onde du laser pour les spectres d'émission (Figure 4). C'est pourquoi, un filtre de 385 nm est installé devant la source pour éviter l'apparition de cet artefact sur tous les spectres. La fente est à chaque fois de 3 nm et

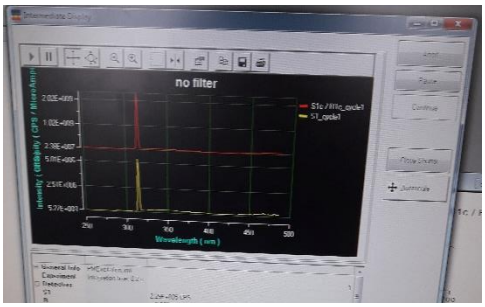


Figure 4 : Artefact du laser à 365 nm

la bande passante de 5 nm. Deux types de spectres complémentaires sont acquis pour chaque diamant : le premier en émission et le second en excitation. Le spectre en émission correspond au spectre de la luminescence elle-même et est acquis avec une longueur d'onde d'excitation fixe. Ainsi, la couleur de luminescence observée sous la lampe UV en UVL (365 nm) est traduite sous forme de spectre. En revanche, le spectre en excitation est le spectre de l'absorption responsable de l'émission et dans ce cas c'est la longueur d'onde d'émission qui est fixe. C'est pourquoi, un premier spectre en émission est réalisé pour mieux visualiser les spectres en excitation à acquérir pour avoir le meilleur spectre d'émission possible.
Pour plus de facilité, seuls les échantillons ayant les luminescences les plus importantes avec la lampe UV sont analysés en fluorimétrie. Il s'agit des échantillons de diamants naturels FG04, FG09 et FG10 (les deux derniers sont les diamants bruts) et du synthétique HPHT Chatham FG08.
Il existe une technique d'étude spectrale de cette luminescence plus simple qu'est la photoluminescence, à froid pour le diamant, mais non disponible à l'IMN. Elle est cependant utilisée dans de nombreux laboratoire d'analyse gemmologique. L'étude de la luminescence, dans le cas des diamants, permet de distinguer les naturels des synthétiques ainsi que de détecter le traitement HPHT (Hainschwang, 2014).

Résultats

La Spectrométrie

Absorption infrarouge

Seules les spectres autres que de type IaAB (les plus courants, Annexe 2) seront présentés dans la Figure 5, la Figure 6 et la Figure 7. Chacune de ces trois figures illustre les similarités entre les spectre de différents échantillons et dans le même temps la variété des signaux dans le diamant. Cela ne signifie en revanche pas qu'un même graphique regroupe uniquement des diamants de même type. Leur présentation est réalisée sur une plage spectrale de 4000 cm^{-1} à 400 cm^{-1} car aucune bande ne se distinguent du bruit de fond au-delà de ces limites (sauf pour FG05 à 4499 cm^{-1} et pour FG06 à 5568, 6430 et 6881 cm^{-1}).

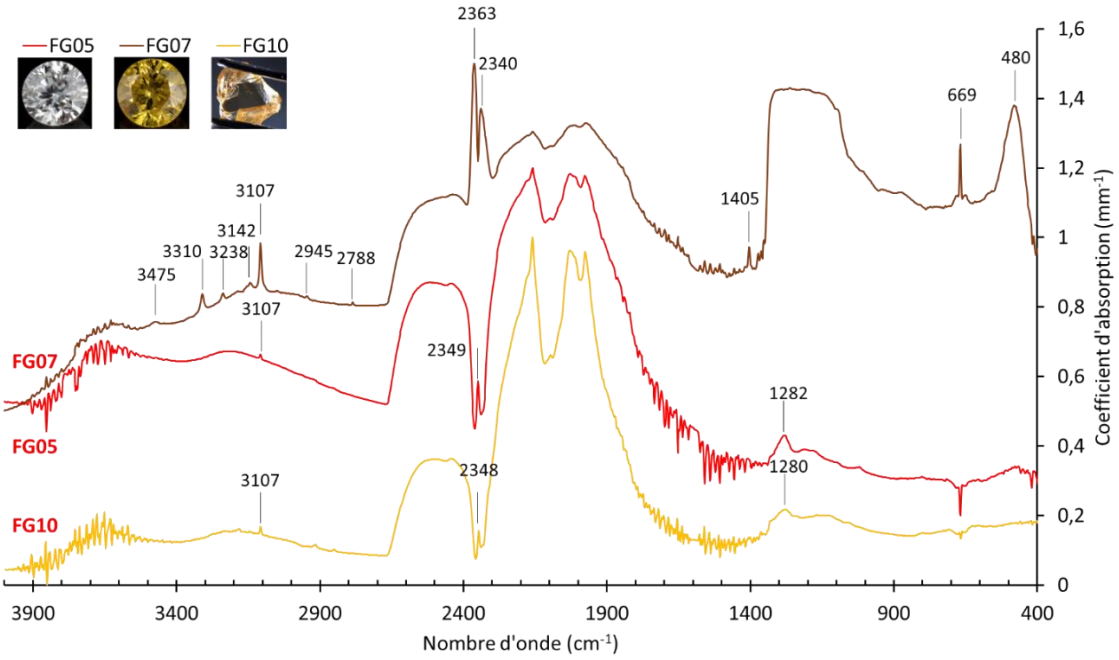


Figure 5 : Spectres IRTF peu commun des diamants FG05, FG07 et FG10

Parmi ces trois spectres de la Figure 5, ceux de FG05 et FG10 sont semblables. Le spectre de FG07 est le plus complexe avec de nombreuses bandes dans les zones à 3 phonons et une absorption totale de 900 à 1300 cm^{-1} dans la zone à 1 phonon. De plus, ces 3 spectres présentent des bandes inhabituellement intenses à 2363, 2350 et 2340 cm^{-1} qui sont des artefacts de CO_2 atmosphérique dus à un background trop ancien.

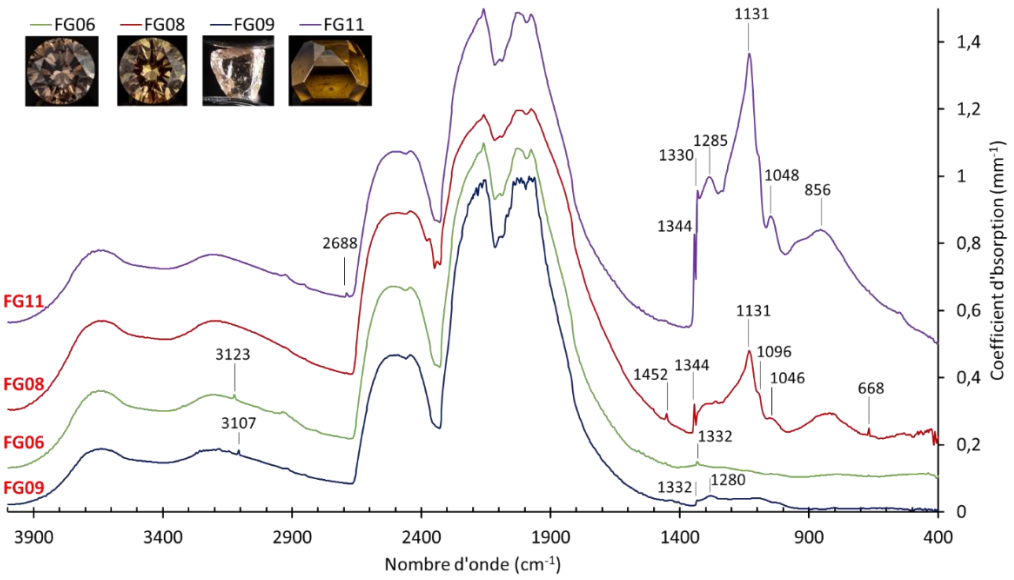


Figure 6 : Spectres IRTF des diamants FG06, FG08, FG09 et FG11

Les spectres de FG06 (CVD) et FG09 (Brut) dans cette Figure 6 sont assez épurés, en dehors d'une bande à 3126 cm^{-1} pour FG06 (caractéristique de l'hydrogène du CVD) et de quelques très faibles bandes dans la zone à 1 phonon. A l'inverse, les diamants HPHT FG08 (Chatham) et FG11 (Russe) possèdent des bandes très intenses dans cette zone dont trois en commun (1344, 1132, 1050 cm^{-1}).

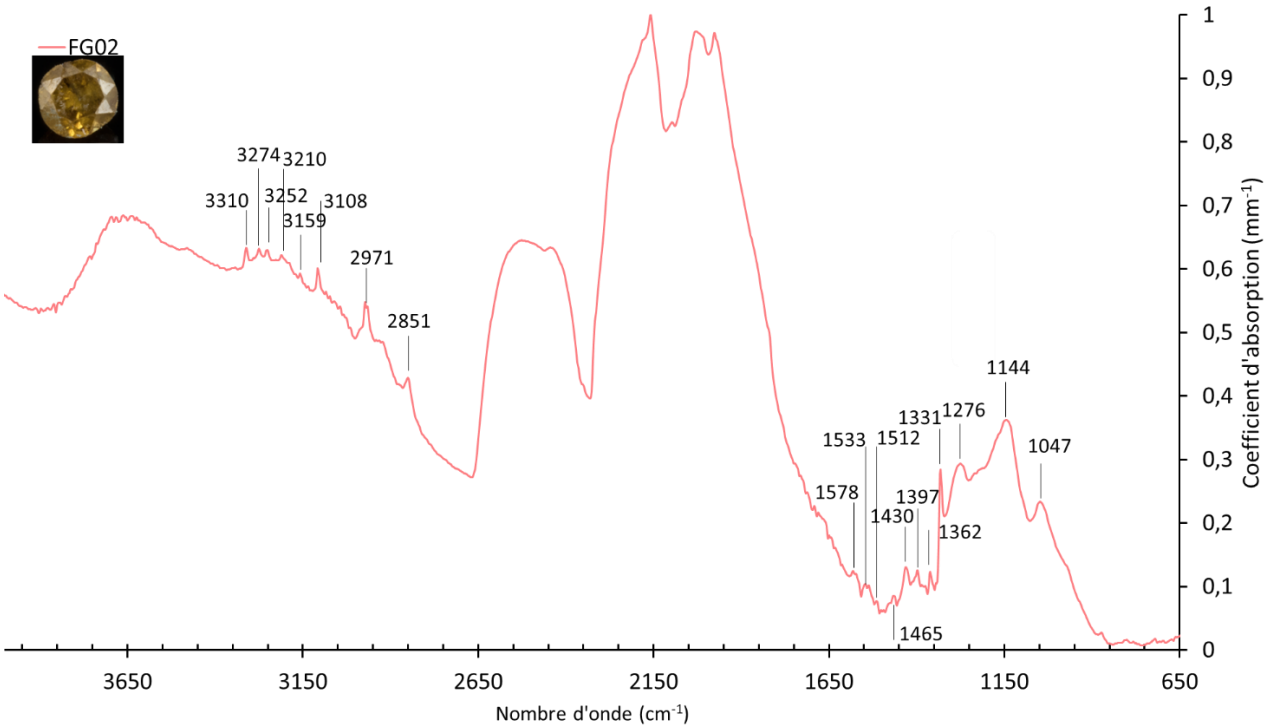


Figure 7 : Spectre IRTF du diamant FG02

Ce diamant de la Figure 7 possède de très nombreux pics dans les zones à 1 et 3 phonons. La zone à 3 phonons est composée d'une bande large due au bruit de fond, sur laquelle sont présents des pics de l'hydrogène et de traces de doigts (2920 et 2855 cm^{-1}, inévitable à cause de la petite taille de l'échantillon 0,04 ct).

UV-Vis-NIR

Les spectres de la Figure 8, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, Figure 10 et Figure 11 vont permettre d'illustrer la diversité des causes de la couleur, et des défauts associés, malgré une couleur dans le visible qui semblent équivalente.

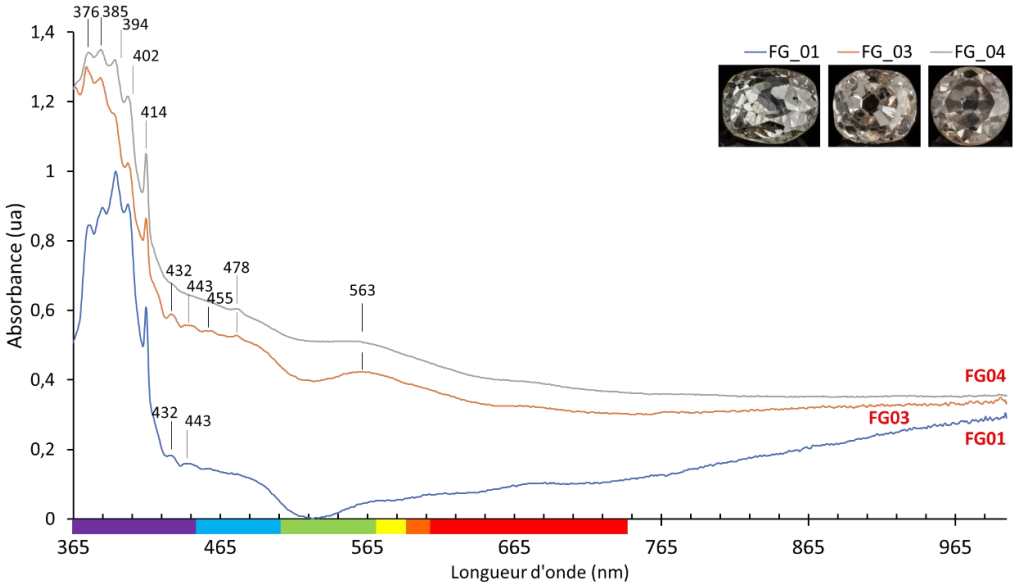


Figure 8 : Spectre UV-Vis-NIR de trois échantillons incolores FG01, 03 et 04

Les trois signaux de la Figure 8 possèdent les même bandes d'absorption et la même fenêtre de transmission majoritairement dans le vert. Ces fenêtres de transmission sont dues à l'intense luminescence bleue de ces diamants. Elle sera étudiée grâce à la fluorimétrie dans les prochains chapitres. Les bandes d'absorption sont surtout situés dans le domaine de l'UV et du violet. Le diamant FG01 présente un continuum croissant au-delà de la fenêtre de transmission à partir de 530 nm.

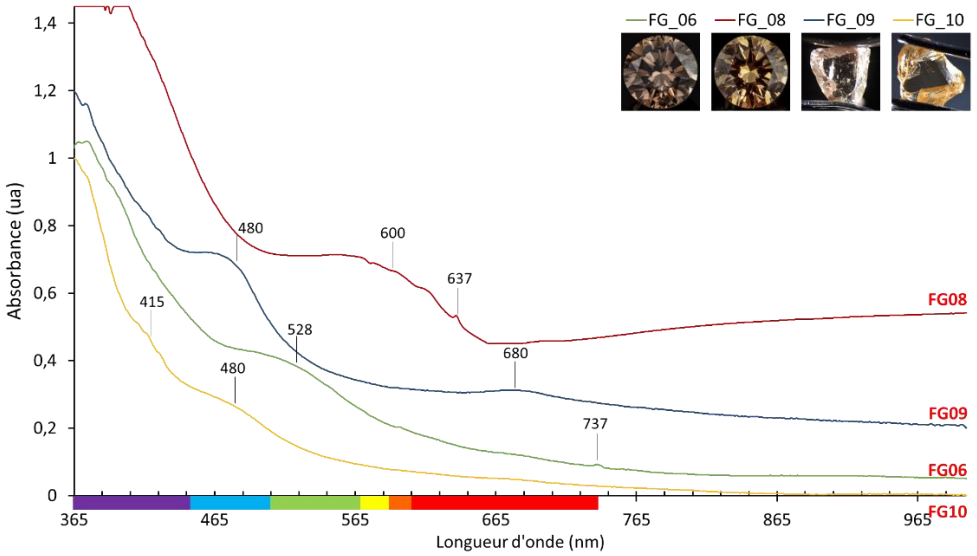


Figure 9 : Spectres UV-Vis-NIR de quatre diamants bruns (FG06, 08, 09, 10)

Les quatre spectres de la Figure 9 possèdent un continuum décroissant plus ou moins abrupte dans le domaine des faibles longueurs d'onde. Mais chacun possède des bandes larges d'absorption, parfois associées à des bandes plus fines et petites. Le diamant CVD FG06 présente une seule bande large à 528 nm et une petite

bande d'absorption à 737 nm tandis que le diamant HPHT FG08 montre une bande large centrée à 600 nm ponctuée d'une petite bande d'absorption à 637 nm. Quant aux diamants bruts FG09 et FG10, ils possèdent des spectres simples avec deux bandes larges à 480 et 680 nm pour le FG09 et deux bandes larges à 415 et 480 nm pour le FG10.

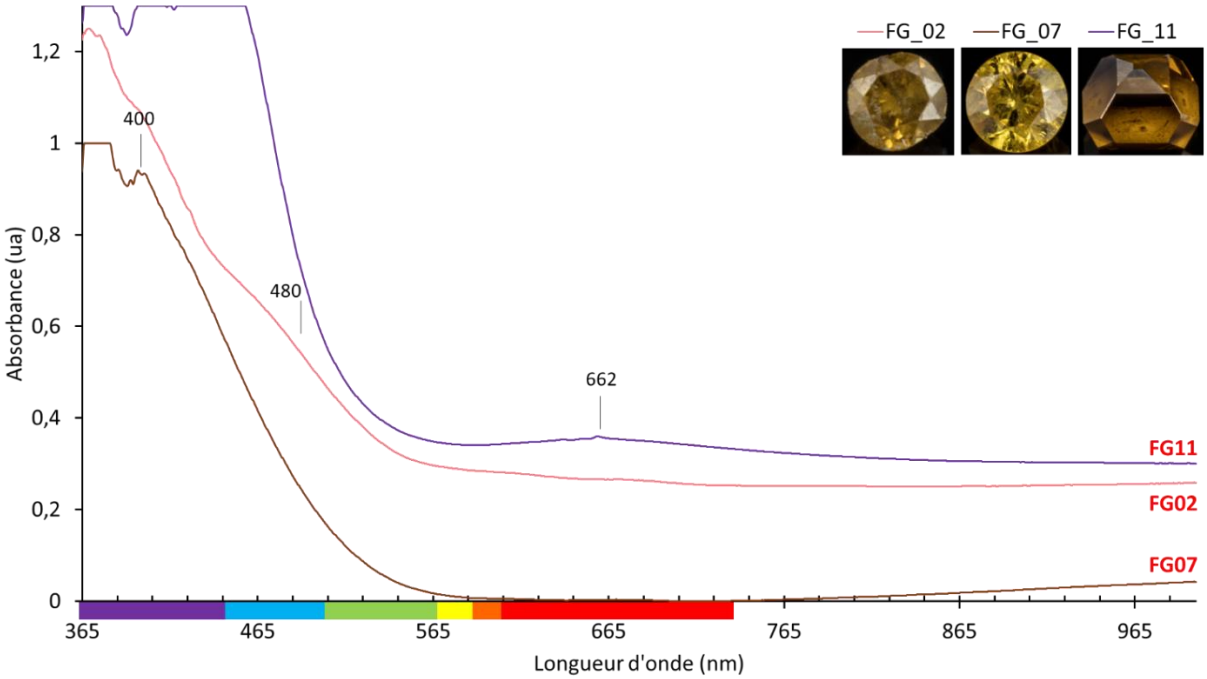


Figure 10 : Spectres UV-Vis-NIR de trois diamants jaunes (FG02, 07, 11)

Les trois spectres de la Figure 10 sont composés d'un continuum décroissant présentant une absorption totale dans l'UV voire le violet et une partie du bleu pour le HPHT FG11. Le FG02 possède en plus une bande d'absorption très aplatie centrée à 480 nm dans le bleu tandis que celle du FG11 est centrée à 662 nm dans le rouge.

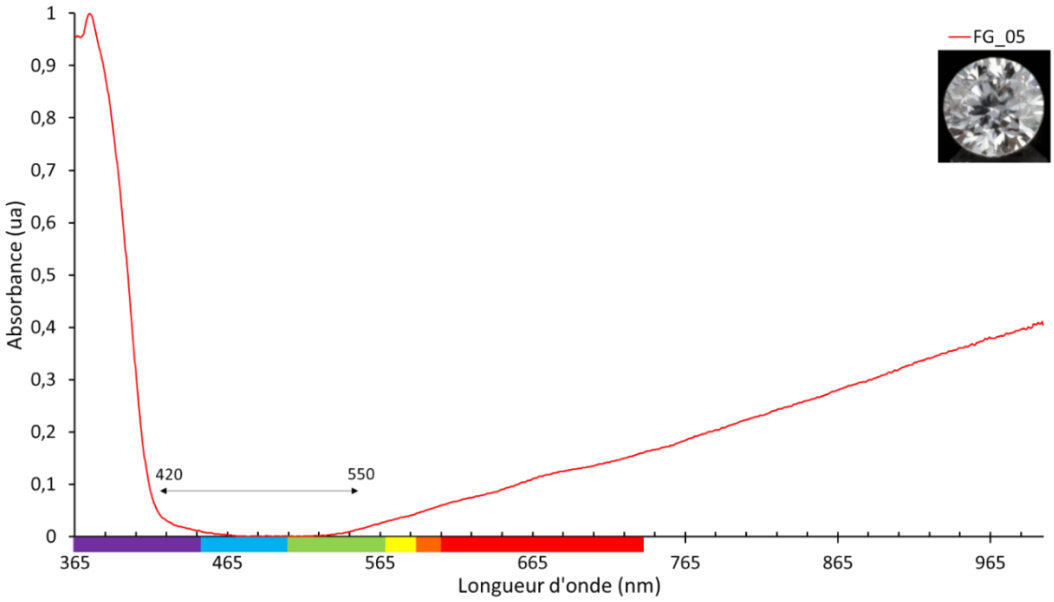


Figure 11 : Spectre UV-Vis-NIR du diamant incolore FG05

Le spectre de ce diamant de la Figure 11 est composé d'un continuum d'abord rapidement décroissant jusqu'à 420 nm puis croissant à partir de 550 nm ce qui délimite une large fenêtre de transmission allant du violet au vert. Il ne s'agit cependant pas d'un continuum de centre C puisque cet échantillon est incolore et non jaune.

La luminescence

Partie essentielle dans l'analyse d'un diamant, l'étude de la luminescence est ici menée par ordre chronologique : dans un premier temps via la gemmologie classique et la lampe UV (Figure 12 et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), et, dans un second temps via la gemmologie de laboratoire et la fluorimétrie (Figure 13 à **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette partie permet également de constater la diversité de luminescence aussi bien au sein des diamants naturels que synthétiques.

Lampe UV

Figure 12 : Comparaison de la luminescence des 11 échantillons en lumière visible et sous une lampe UV en UVC et en UVL ; Echelle : taille réelle

** signifie que la couleur est crayeuse, un peu turbide ; les autres sont transparentes. La répartition de la luminescence est homogène dans les 11 échantillons. L'impression d'inhomogénéité de FG08 est due à la présence de poussière, qui luminesce en bleu, tandis que celles de FG09 et FG10 est due aux restes de roches hôtes.*

Tableau 3 : Récapitulatif des descriptions de luminescence des 11 échantillons selon l'excitatrice

Echantillon	Nature	UVC		UVL		Phosphorescence
		Couleur	Intensité	Couleur	Intensité	
FG01	Naturel	Bleu *	Faible	Bleu *	Moyen	
FG02	Naturel	Orange	Faible	Orange	Moyen	
FG03	Naturel	Bleu *	Moyen	Bleu *	Intense	
FG04	Naturel	Bleu *	Faible	Bleu *	Intense	
FG05	Naturel	Inerte		Inerte		
FG06	Synthétique	Rouge	Faible	Inerte		
FG07	Naturel	Inerte		Inerte		
FG08	Synthétique	Rouge	Intense	Rouge	Moyen	
FG09	Naturel	Jaune Foncé	Intense	Jaune Foncé	Intense	>1 min
FG10	Naturel	Jaune Clair	Intense	Jaune Clair	Intense	>1 min
FG11	Synthétique	Inerte		Inerte		

D’après les résultats de la Figure 12 et du Tableau 3, les diamants naturels présentent ici des couleurs de luminescence variées (bleu, orange, jaune) ou sont inertes. Les intensités sont toujours plus importantes en UVL qu’en UVC. Quant aux diamants synthétiques, soit ils n’ont pas de réponse aux UV soit ils possèdent une couleur rouge avec une intensité plus importante en UVC qu’en UVL.

Attention ce n’est pas parce qu’aucune luminescence n’est observée dans la Figure 12 sur certains échantillons que ceux-ci sont totalement inertes. C’est par exemple le cas de FG06, qui au DiamondView (UVC 220 nm) possède une luminescence orange.

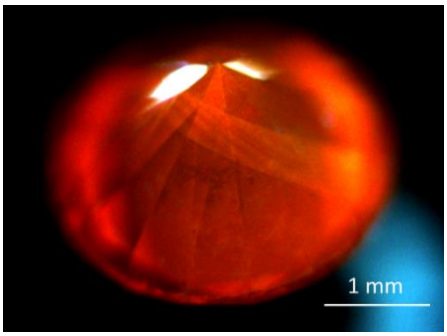


Figure 13 : Micrographie de la luminescence de FG06 au DiamondView

La Figure 13 montre que FG06 est composé de plusieurs phases de croissance CVD. La plus claire en couleur de luminescence est traversée par des traits inhabituels pour un CVD. Ces traits pourraient peut-être des traits de dislocations. Les différentes phases de croissances visibles correspondent à une évolution du plasma perturbé par la croissance du diamant qui peut être rééquilibré notamment par l’ajout d’azote (Liang et al. 2009).

Fluorimétrie

Luminescence jaune : FG09 et FG10

Figure 14 : Couleur de luminescence du FG09 en fonction du type de spectre acquis

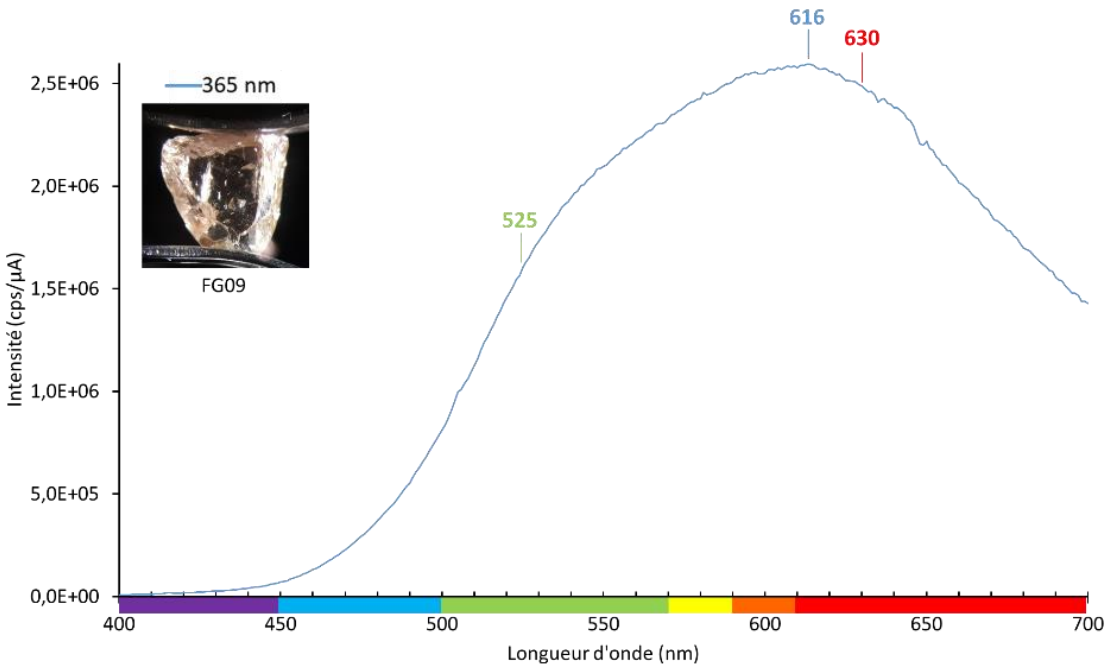


Figure 15 : Spectres en émission dans l’UV à 365 nm de FG09

Le spectre de la Figure 15 est composé d'une unique bande d'émission très large centrée à 616 nm dans le rouge. L'émission va de 450 nm à plus de 700 nm ce qui donne la couleur de luminescence jaune de la première photo de la Figure 14. Cette bande n'étant pas une gaussienne celle-ci doit être composées de plusieurs bandes larges. Pour tester cette hypothèse deux spectres en excitation à 525 et 630 nm ont été acquis.

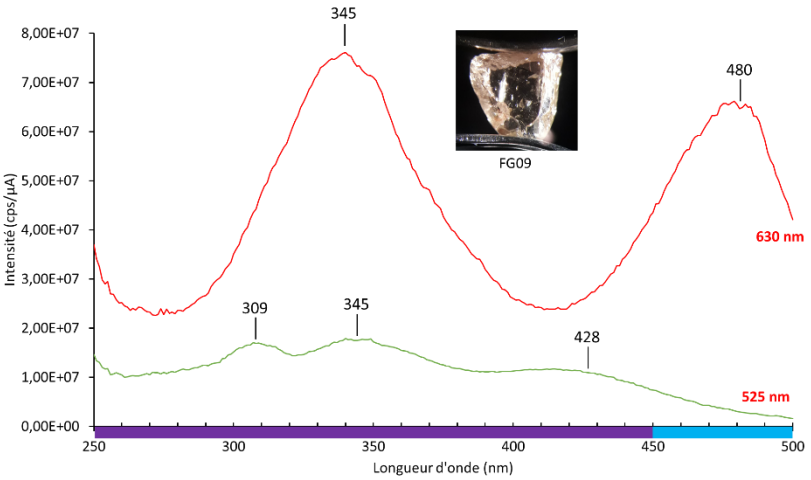


Figure 16 : Spectres en excitation dans le vert à 525 nm et dans le rouge à 630 nm de FG09

Selon la longueur d'onde de l'excitation, les spectres sont très variables. Cette Figure 16 permet de vérifier si la large bande à 616 nm du spectre d'émission est effectivement composée de deux bandes à 525 et 630 nm. Le spectre à 630 nm est le plus symétrique avec deux intenses et larges bandes d'absorption à 341 (UV) et 480 nm (bleu). Le spectre à 525 nm est quant à lui composé de trois larges bandes d'absorption moins intenses à 309 (UV), 345 (UV), 428 nm (violet). Dans les deux cas pourtant, le diamant montre une luminescence bleu sur la deuxième photo de la Figure 14. Cette couleur bleue majoritaire cache en réalité une luminescence rouge si la longueur d'onde à 495 nm est coupée avec un filtre à 495 nm (méthode cross filter, troisième photo de la Figure 14) qui correspond effectivement aux longueurs d'onde absorbées. Il ne s'agit cependant pas de la couleur jaune du spectre d'émission qui n'est donc pas composée uniquement de ces deux bandes.

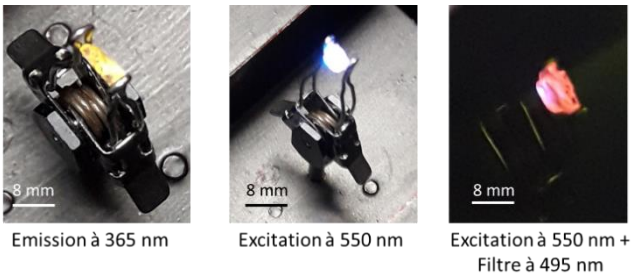


Figure 17 : Couleur de luminescence du FG10 en en fonction du type de spectre acquis

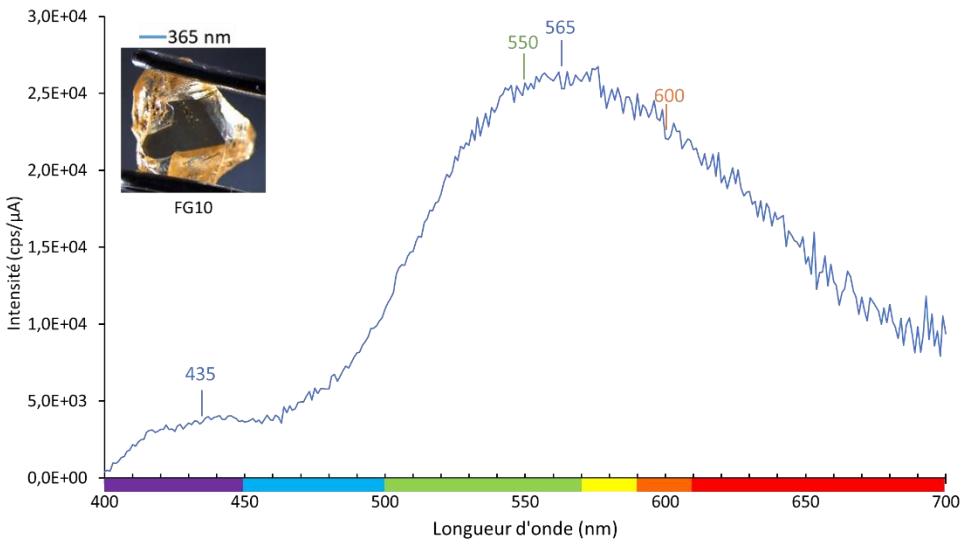


Figure 18 : Spectres en émission dans l'UV à 365 nm de FG10

Bien que d'après la Figure 14 et la Figure 17 les diamants bruts Sana aient les même couleurs et type de luminescence, le spectre en émission de la Figure 18 à 365 nm de FG10 est composé d'une large et intense bande principale du spectre centrée à 565

nm (vert) et accompagnée d'une autre bande large moins intense centrée à 439 nm (violet). Et malgré cela, les deux échantillons bruts ont une luminescence en UVL d'un jaune similaire. Cette importante bande n'étant pas une gaussienne, celle-ci doit être composées de plusieurs bandes larges supposées être à 550 et 600 nm et testées dans les spectres d'excitation suivant.

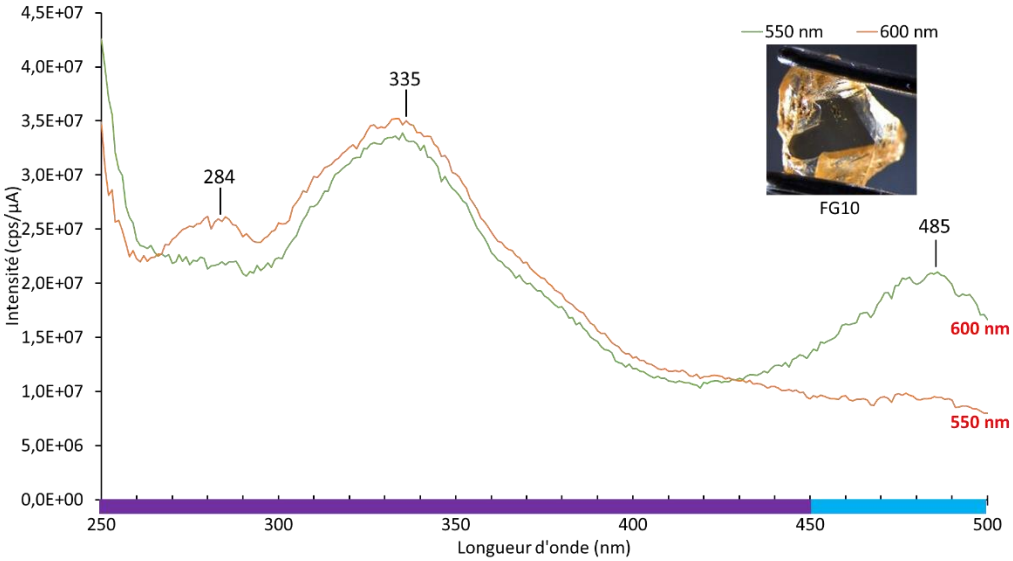


Figure 19 : Spectres en excitation dans le vert à 550 nm et dans l'orange à 600 nm de FG10

Les deux spectres de la Figure 19 sont composés de deux bandes larges du même ordre de grandeur d'intensité l'une à 335 (UV) et l'autre à 284 nm (UV) pour le spectre à 600 nm et à 335 nm (UV) et 485 nm (bleu) pour le spectre 550 nm. Et pourtant, la couleur de luminescence de la deuxième photo de la Figure 17 est bleu. Tout comme pour FG09, cette luminescence bleu cache en réalité une luminescence rouge si la longueur d'onde à 495 nm est coupée avec un filtre (troisième photo de la Figure 17) qui correspond effectivement aux longueurs d'onde absorbées. Il ne s'agit cependant pas de la couleur jaune du spectre d'émission à 365 nm qui n'est donc pas composé uniquement de ces deux bandes.

Luminescence orange : FG08

Figure 20 : Couleurs de luminescence de FG08 en fonction du type spectre acquis

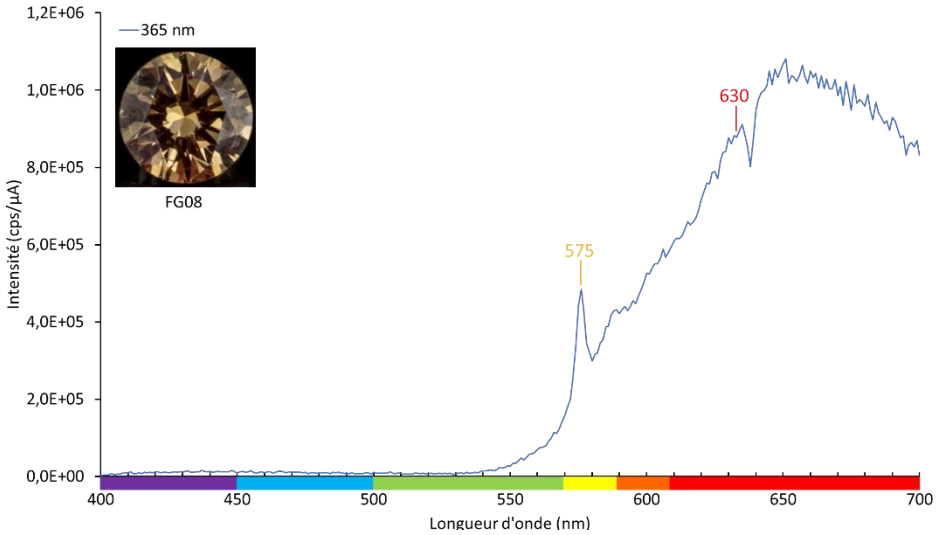


Figure 21 : Spectres en émission dans l'UV à 365 nm de FG08

Le spectre d'émission de cette Figure 21 possède un continuum croissant associé à trois bandes à 575 (jaune), 630 (rouge) et dans l'infrarouge. Ces différentes émissions constituent la couleur de luminescence orange-rouge de la première photo de la Figure 20.

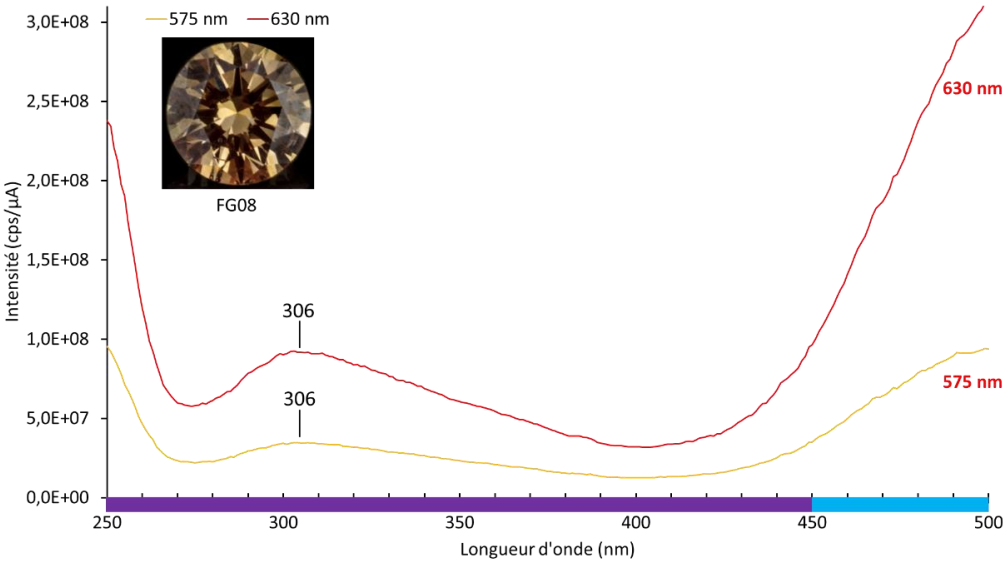


Figure 22 : Spectres en excitation à 575 nm (Jaune) et 630 nm (Rouge) de FG08

Sur cette Figure 22, les deux spectres ont la même morphologie avec un continuum de 250 à 270 nm suivi d'une large bande centrée à 306 nm (UV) terminé par un continuum croissant plus pentu pour la courbe à 630 nm. Seules les différences de pente de deux continuum permettraient d'expliquer la différence de couleur de luminescence jaune et rouge de la Figure 20. Ces deux couleurs réunies semblent correspondre à la couleur de luminescence orange en UVL.

Luminescence bleue : FG04

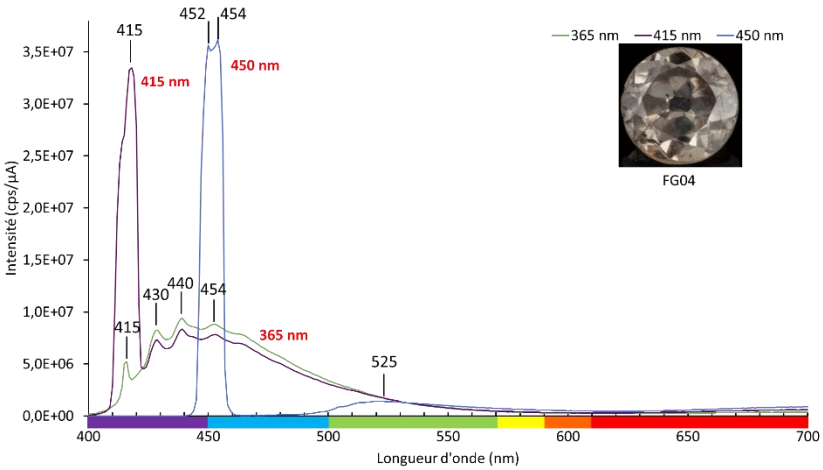


Figure 23 : Couleur de luminescence du FG04 en émission 365 à 450 nm

Figure 24 : Spectres en émission dans l'UV à 365 nm et dans le violet à 415 et 450 nm de FG04

Contrairement aux luminescences précédentes, cette luminescence bleue (Figure 23) est plus variable selon la longueur d'onde d'émission. Les spectres de la Figure 24 à 365 et 415 nm sont similaires hormis l'intensité et la morphologie de la bande à 415 nm. En effet, cette bande est un artefact d'auto-absorption de luminescence. Le reste du spectre est composé d'une large bande centrée à 450 nm sur lequel sont positionnés trois bandes à 430, 440 et 454 nm (violet). Il en est de même pour le spectre à 450 nm qui possède en plus une bande peu intense et large dans le vert à 525 nm.

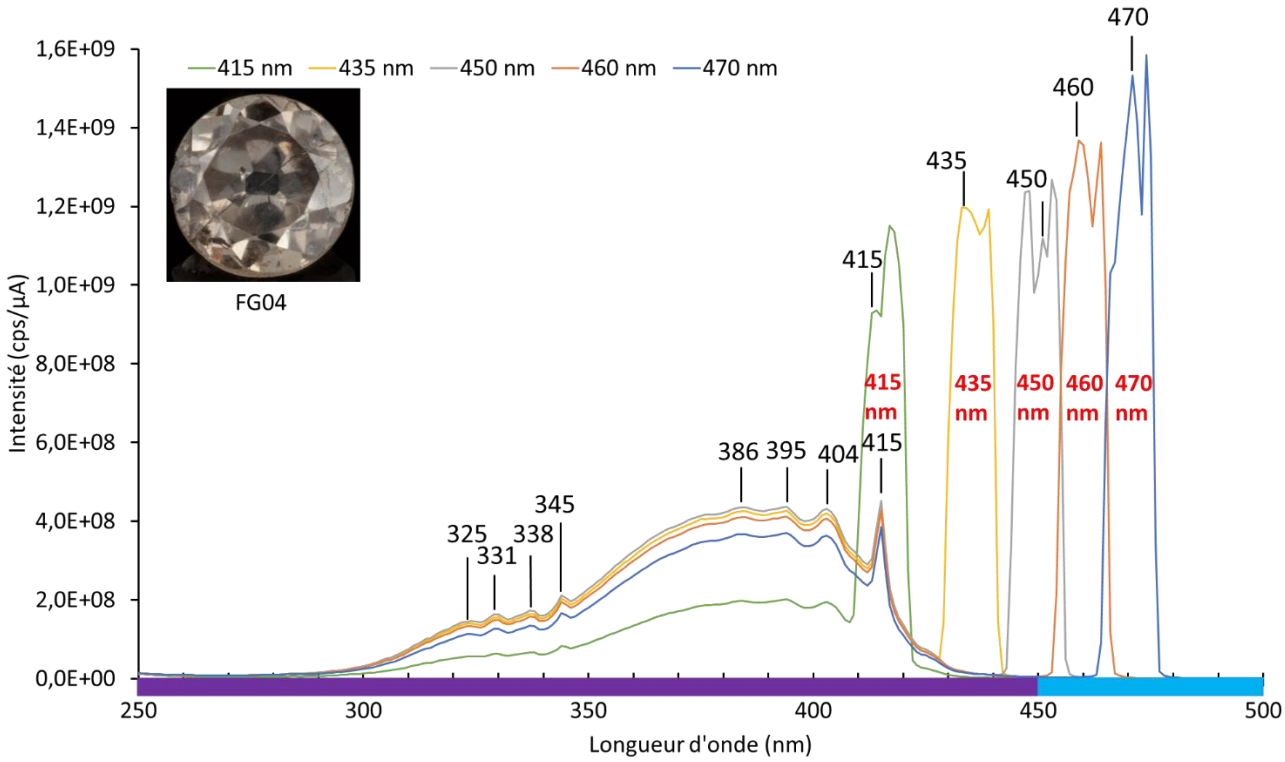


Figure 25 : Spectres en excitation dans le violet à 415, 435 et 450 nm ainsi que dans le bleu à 460 et 470 nm de FG04

Ces cinq spectres de la Figure 25 possèdent tous la même morphologie avec des bandes identiques hormis pour la bande la plus intense. Il s'agit d'un artefact d'auto-absorption de la luminescence et ses vibroniques à ne pas prendre en compte dans l'analyse des spectres. Le reste des spectres possèdent deux bandes très larges

dans l'UV centrées à 330 et 390 nm sur lesquels sont positionnés trois bandes chacune (325, 331, 338, 345 puis 386, 395, 404).

Morphologie de croissance et indices de la déformation

L'étude de la morphologie d'un échantillon, à l'échelle macroscopique ou microscopique, ainsi que des structures de contraintes permettent d'en savoir plus sur le mode de croissance du diamant.

Observations à la loupe binoculaire

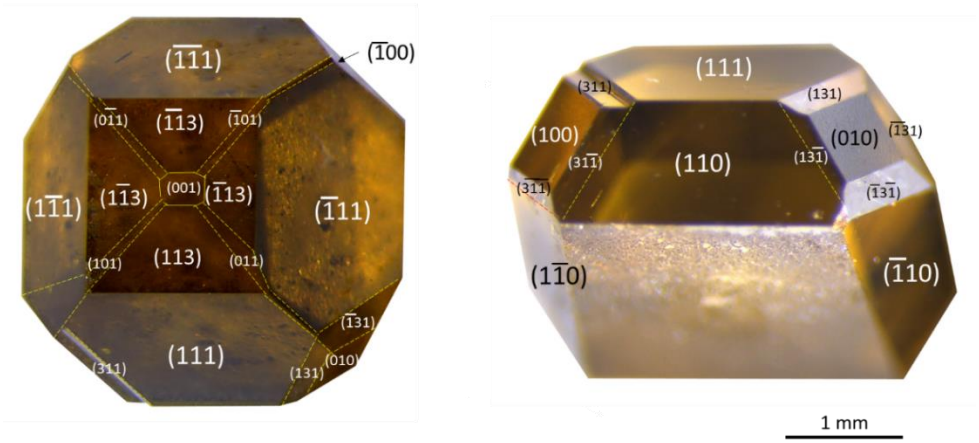


Figure 26 : Description des faces d'un diamant synthétique HPHT brut d'après Welbourn et al. (1996)

Cette Figure 26 montre qu'en plus de présenter les secteurs octaédriques {111} et cubiques {100} du diamant naturel, ce diamant synthétique HPHT possède aussi des secteurs dodécaédriques {110} et trapézoèdriques {131}. Cependant certaines faces théoriques ne se sont pas encore formées ou ont déjà disparues.

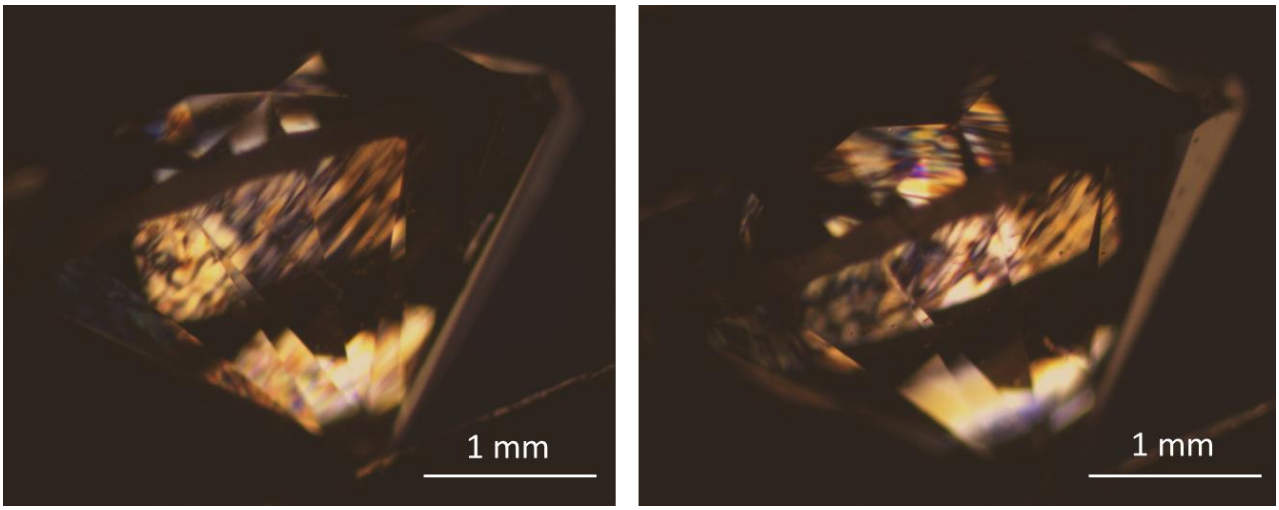


Figure 27 : Micrographies entre polariseurs croisés du "brush pattern" du CVD FG06

La Figure 27 présente les figures de contraintes appelées « brush pattern » uniquement présentes dans les diamants CVD dont ils sont un des critères de reconnaissance en gemmologie classique. Sur ce diamant, deux orientations se distinguent à 45° entre elles centrées sur le rondiste. On peut donc supposer que le germe se situait au niveau du rondiste.

Imagerie de cathodoluminescence (MEB)

Cette partie illustre les conditions de croissance très différentes entre un diamant naturel et un synthétique. Même si la synthèse reproduit les conditions de croissance d'un diamant naturel, celle-ci est bien plus régulière et rapide avec moins de contraintes et de déformations (Figure 28 à Figure 30) que pour les diamants naturels (Figure 31 à Figure 37).

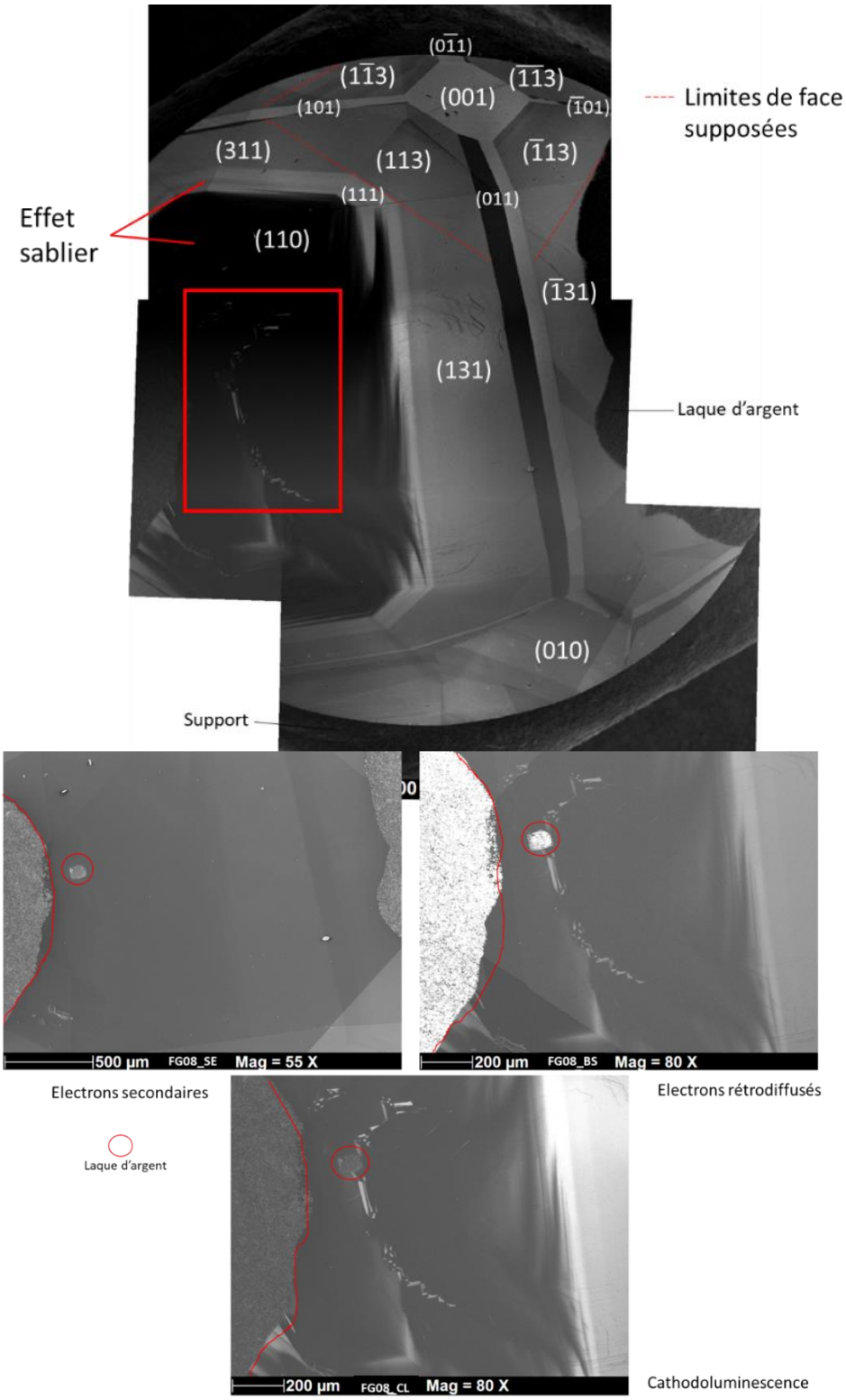


Figure 28 : Reconstitution des photos MEB de cathodoluminescence du diamant HPHT Chatham FG08

Comme dans la Figure 26 précédente, ce diamant synthétique HPHT présente les secteurs octaédriques {111} et cubiques {100} du diamant naturel mais aussi des secteurs dodécaédriques {110} et trapézoèdriques {131}. Ce diamant possède en plus un effet sablier sur deux de ses faces dû à un graining de dureté. Une figure en escalier est visible au milieu de la face (110) et est détaillé dans la figure suivante.

Figure 29 : Images MEB de la zone de la figure en escalier dans la face (110) de FG08 en électrons secondaires, électrons rétrodiffusés et en cathodoluminescence

L'image en électrons secondaires de la Figure 29 montre qu'il n'y a pas de disparités topographiques sur cette surface de l'échantillon, il s'agirait donc d'une zone uniquement composée de diamant. Cependant, l'image en électrons rétrodiffusés montre un contraste chimique entre la figure en escalier et le reste du diamant. La couleur blanche de cette figure indique qu'elle contient des éléments plus lourds que le diamant alentour, mais moins lourd que la laque d'argent qui est bien plus blanche. Cette figure en escalier est aussi visible en cathodoluminescence ce qui indique que cette zone est un petit secteur de croissance, comme un micro-facettage, a priori octaédrique.

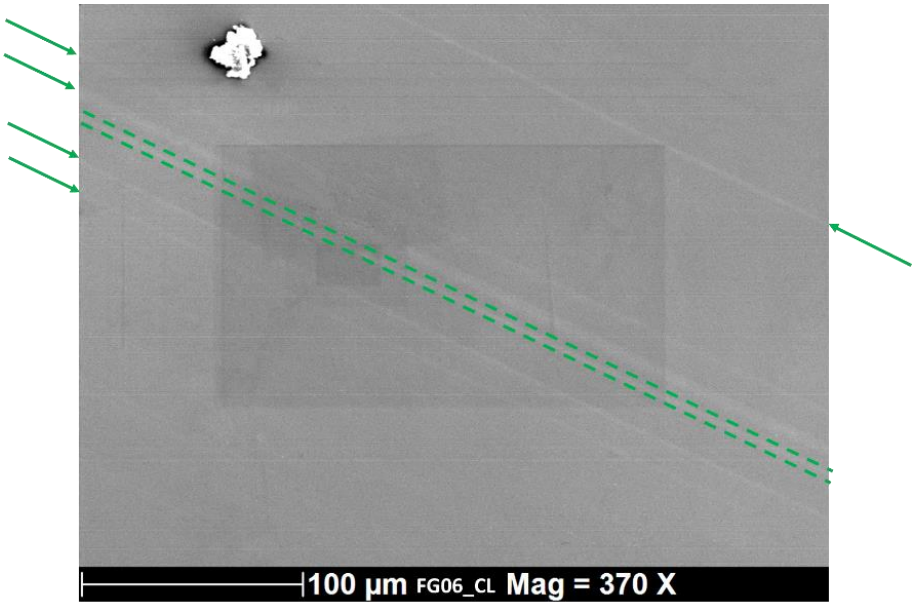


Figure 30 : Images MEB en cathodoluminescence du diamant CVD FG06

A l'inverse du diamant HPHT FG08 précédent (Figure 28 et Figure 29), ce diamant CVD FG06 (Figure 30) est très homogène avec quelques stries pas réellement caractéristiques d'un type de croissance. Les deux carrés sont dus à la présence de restes de solvant qui a réagi avec le faisceau d'électron et marques les zones visionnées à l'écran du MEB. L'élément blanc en haut à gauche est une poussière.

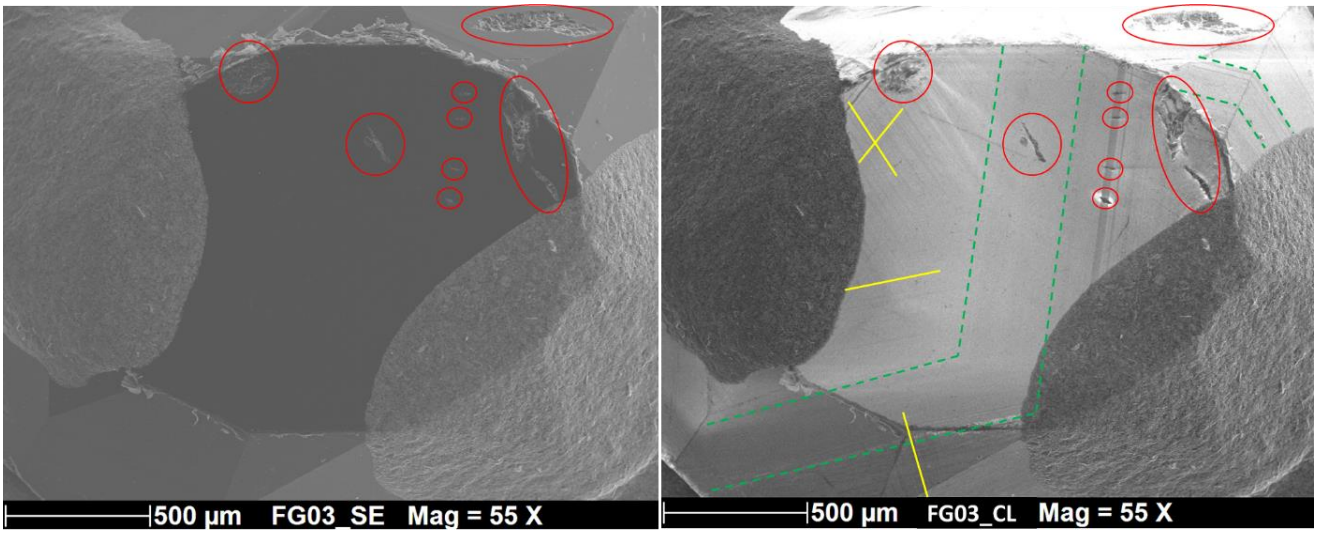


Figure 31 : Images MEB en électrons secondaires (gauche) et en cathodoluminescence (droite) de la table du diamant FG03

L'image en électrons secondaires de la Figure 31 montre une surface plane présentant à certains endroits des impacts et ce qui semblent être quatre figures de dissolution alignées. L'image en cathodoluminescence de cette même figure confirme qu'il s'agit dans les deux cas de cavités puisque celles-ci apparaissent noires. Cette image met également en évidence que ces quatre figures de dissolution sont perpendiculaires à une figure de croissance octaédrique, mise en évidence par les tirets verts, qui semble les empêcher de croître davantage. Il semblerait y avoir deux directions de croissance octaédrique. A cela s'ajoute quatre directions de « graining » différentes soulignées par les traits jaunes. Ces directions possèdent des angles aléatoires entre elles ainsi

qu'avec les deux directions de croissance octaédriques avec qui elles ne semblent pas avoir de lien. Ces figures pourraient donc ne pas être un vrai graining étant donné qu'elles ne suivent pas l'orientation de la croissance octaédrique, qui de plus, ne semble pas non plus présenter de macle.

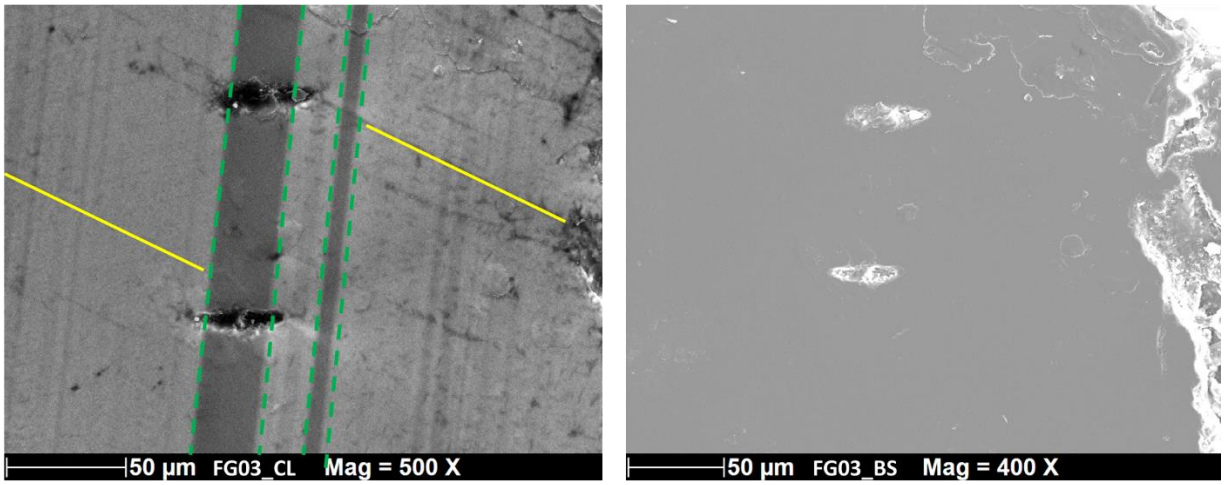


Figure 32 : Images MEB en cathodoluminescence (gauche) et en électrons rétrodiffusés (droite) des figures de dissolution de FG03

L'image en cathodoluminescence de la Figure 32 montre en détails ces figures de dissolution perpendiculaires à la phase de croissance octaédrique. Il s'agit bien d'une phase de croissance du diamant d'après l'image en électrons rétrodiffusés qui ne montre pas de différence de chimie entre les différentes zones de la surface. Cette image met en revanche en évidence les cavités, contaminées par des particules de laque d'argent en blanc très lumineux. Ces cavités peuvent être dues à un « bending » épais. Enfin, l'image de cathodoluminescence montre la présence de « graining » avec un angle de 70° par rapport à la direction de croissance octaédrique.

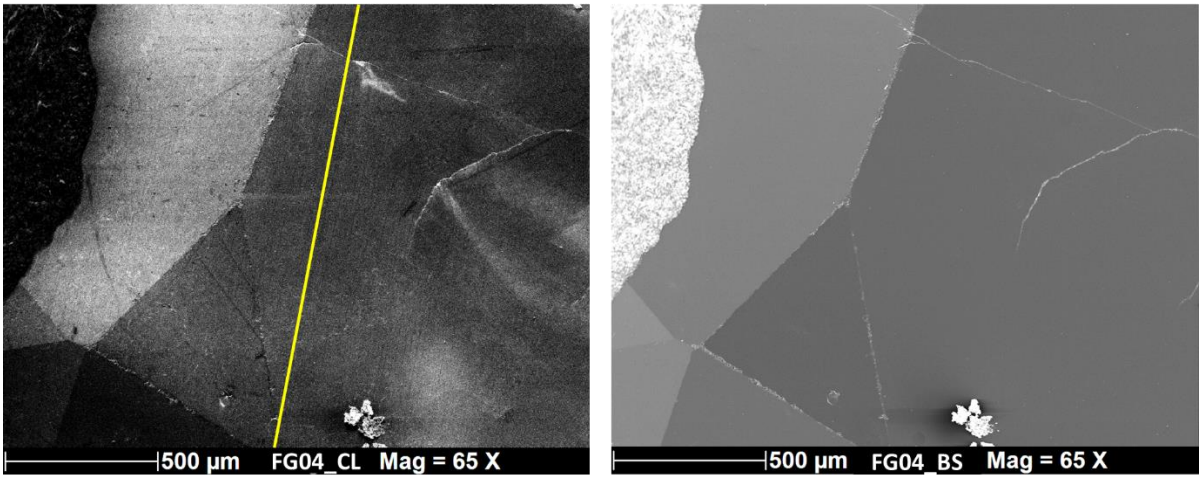


Figure 33 : Images MEB en cathodoluminescence (gauche) et en électrons rétrodiffusés (droite) d'une partie de la table de FG04

L'image en électrons rétrodiffusés montre que cette zone est homogène chimiquement (Figure 33). Les légères stries parallèles au trait jaune sur la photo de cathodoluminescence sont donc dues à un léger graining. Ce diamant est sinon dans son ensemble très homogène, aucune figure ou morphologie de croissance ne sont observables. La masse noire en CL et blanche en BS correspond à la laque d'argent tandis que celle en bas est de la poussière.

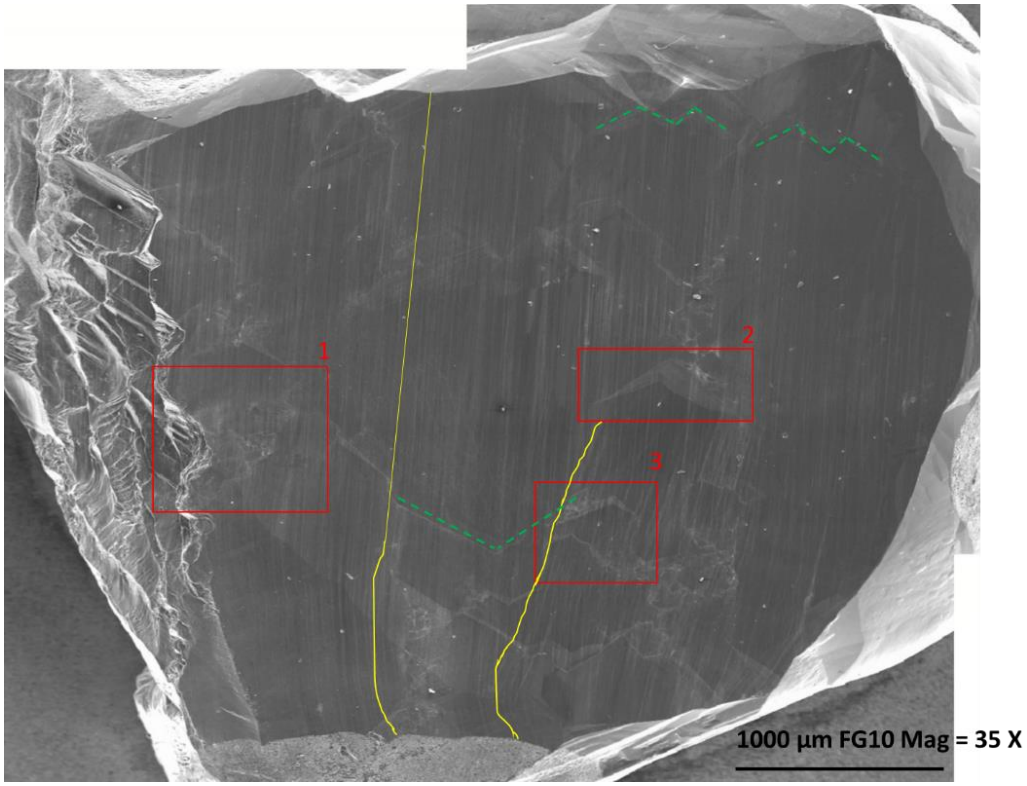


Figure 34 : Reconstitution des photos MEB de cathodoluminescence du diamant brut Sana FG10

Ce diamant brut possède une chronologie de formation plus complexe que les précédents. Les pointillés verts de cette Figure 34 mettent en évidence certains des secteurs de croissances octaédriques dans deux directions opposées. Cependant, tous ces cristaux de différentes générations sont parallèles entre eux, ce qui suggère qu'il s'agit d'un seul et même cristal. A cela s'ajoute une déformation dans la direction du trait jaune mais qui n'est pas toujours rectiligne, comme le montre le trait jaune incurvé à droite. Les encadrés correspondent à trois zoom de ces zones dans les figures suivantes.

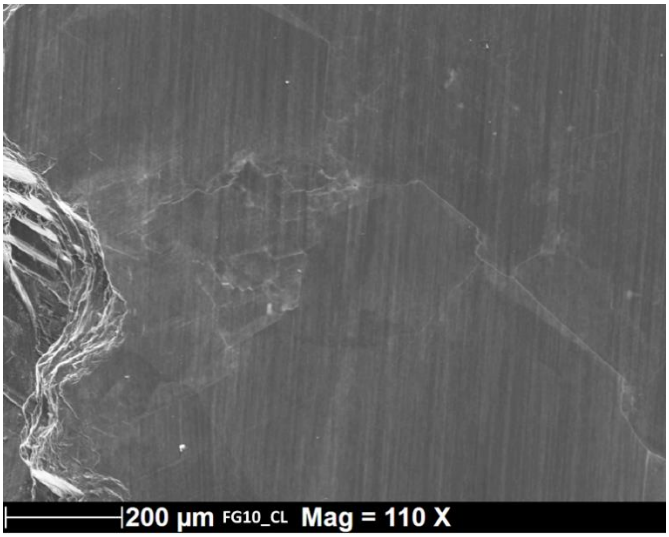


Figure 35 : Encadré n°1 de la photo MEB en cathodoluminescence de FG10

Cette Figure 35 met en avant les différentes phases de croissance de ce diamant qui se manifestent par la succession de ce qui semble être différents cristaux pour combler un espace vide. Le tout ayant subi une déformation.

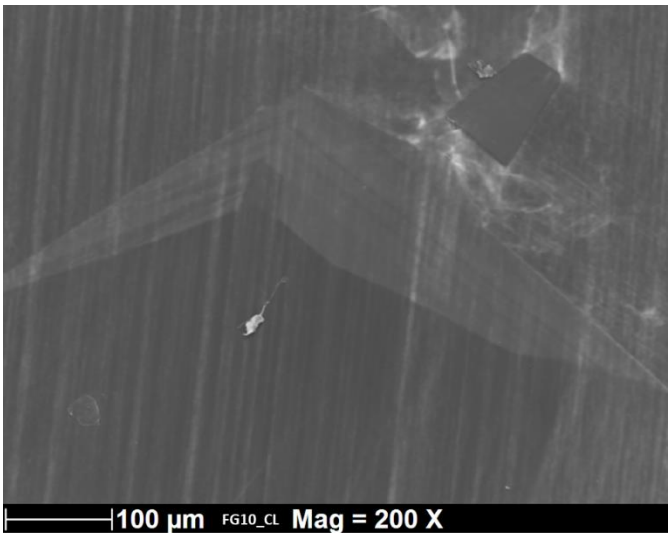


Figure 36 : Encadré n°2 de la photo MEB en cathodoluminescence de FG10

L'encadré n°2 (Figure 36) concerne une zone de croissance octaédrique avec des stries de croissance accolées à une zone de perturbation de croissance (en blanc). Cette dernière est surmontée d'une particule n'appartenant pas au diamant car elle n'est pas affectée par le graining.

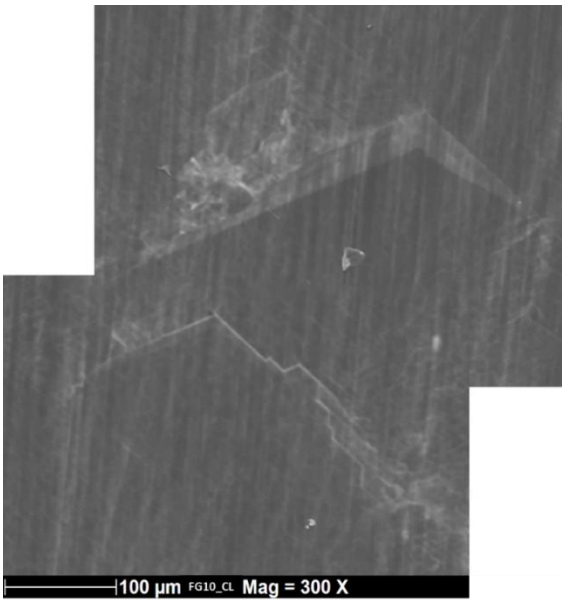


Figure 37 : Encadré n°3 de la photo MEB en cathodoluminescence de FG10

Cet encadré de la Figure 37 met aussi en avant des zones de croissance octaédriques et notamment les variations dans la croissance. Si le chevron supérieur est symétrique avec des stries de croissances espacées régulièrement, le chevron inférieur n'est constitué que d'un seul front de croissance non linéaire. Cela pourrait être dû à une alternance de croissance octaédrique et cubique. Tout comme la Figure 36 précédente, le chevron supérieur présente une zone de perturbation de croissance ici sur son flanc gauche.

Les inclusions

L'étude des inclusions renseigne également sur les conditions de croissance du diamant, et entre autres la composition de la roche hôte (Figure 38 et Figure 39), les déformations et autres évènements post-génétiques (Figure 40, Figure 43 à Figure 50) et les différentes générations de croissances (Figure 42 et Figure 41).

Les diamants incolores

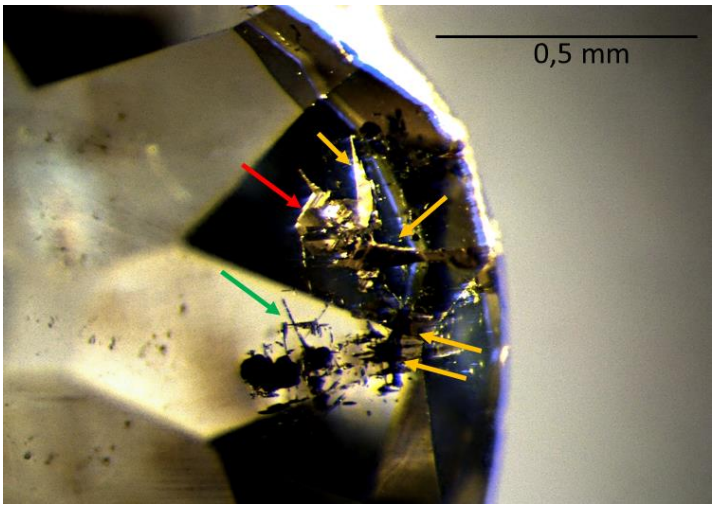


Figure 38 : Micrographie à la loupe binoculaire côté table de FG01 (grossissement x4,5)

La Figure 38 met en avant les inclusions les plus importantes présentent dans FG01. D'après cette micrographie, FG01 contient une inclusion d'une forme géométrique tronquée (flèche rouge) et relié à d'autres inclusions de la même couleur dont de larges pointes perpendiculaires entre elles (flèches jaunes supérieures). Le reste des inclusions sont des boules noires dont partent des spicules dans deux directions perpendiculaires entre elles (flèches verte et jaunes inférieures)

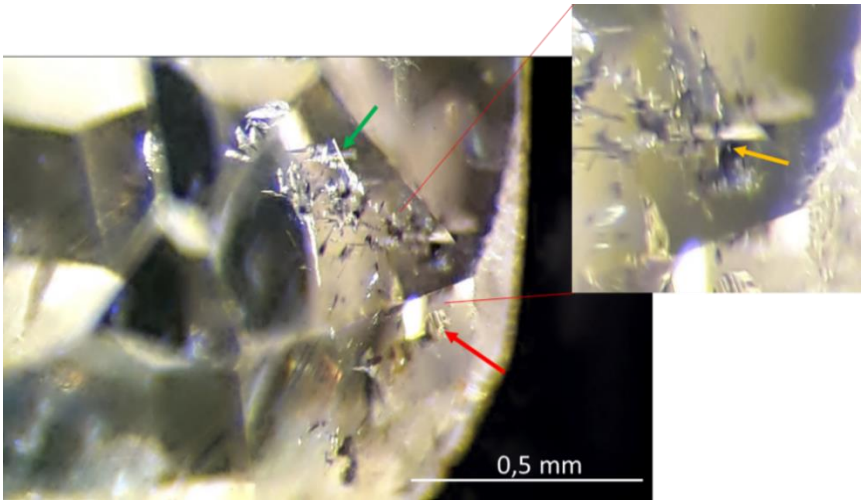


Figure 39 : Micrographie à la loupe binoculaire côté culasse de FG01 (grossissement x4,5)

Les flèches présentent sur les Figure 38 et Figure 39 permettent de montrer les éléments communs entre les deux micrographies prises sous deux angles différents et sur des fonds différents. Il en ressort que ces inclusions qui semblaient dorées et noires sur la Figure 38 sont en réalité incolores et donc probablement des fantômes d'inclusions au vu de leurs formes particulières suivant la géométrie octaédrique du diamant.

Figure 40 : Photo à la loupe binoculaire de FG04 (grossissement x6)

Ce diamant possède très peu d'inclusions. La plus remarquable est celle de la Figure 40, aussi visible à la loupe à main x10. Elle est sous forme de dendrites dans les teintes de marron juste sous la surface.

Les diamants colorés

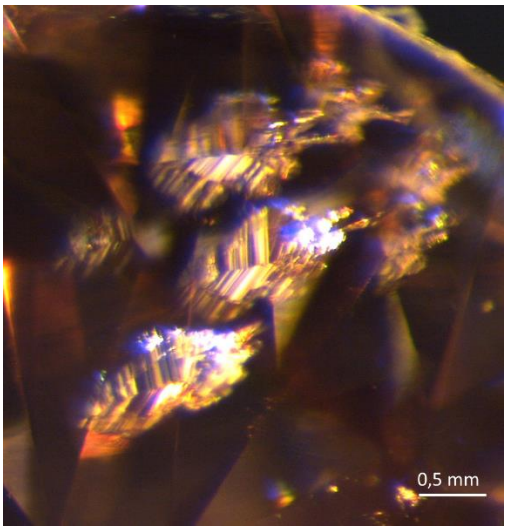


Figure 42 : Photo à la loupe binoculaire de FG06 (grossissement x6)

Ce diamant brun CVD montre le reflet de trois secteurs de croissance octaédrique.

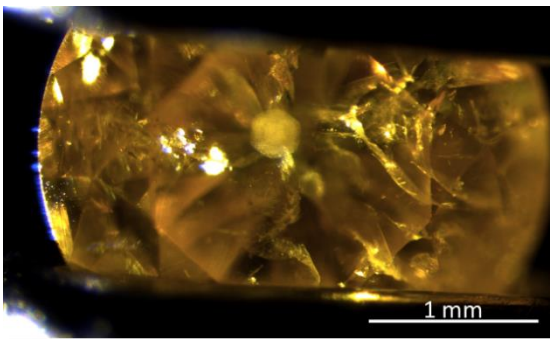


Figure 41 : Photo à la loupe binoculaire de FG07 (grossissement x3)

Ce diamant jaune possède en son centre un fantôme de pseudo-cube fibreux ayant servi de germe à ce diamant. Le reste des inclusions sont des givres.

Les bruts

Le diamant Sana FG09 : totalité

Figure 43 : Photo à la loupe binoculaire du diamant à faces parallèles FG09 sur fond noir, grossissement (x2,25)

Cet échantillon de diamant brut est très riche en inclusions dont trois remarquables (Figure 43). La première est un autre individu ayant été englobé (zone 1 : Figure 45 et Figure 46), la seconde possède une forme octaédrique non continue (zone 2 : Figure 47) et enfin la troisième est un octaèdre tronqué et traversé par une fracture (zone 3 : Figure 48).

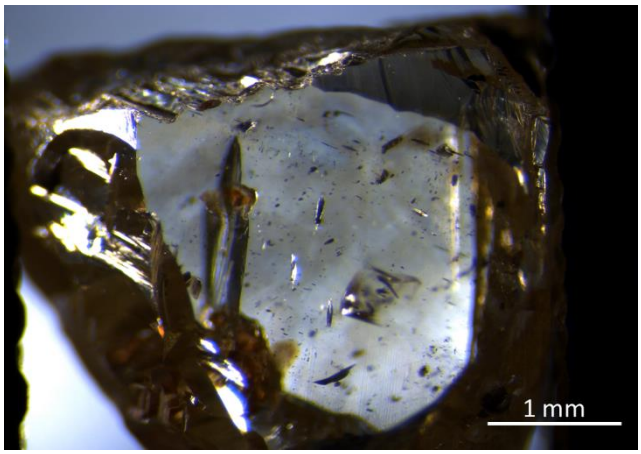


Figure 44 : Photo à la loupe binoculaire du diamant à faces parallèles FG09 sur fond blanc, grossissement (x2,25)

Cette Figure 44 met en avant les autres inclusions présentent dans ce diamant. Ces petites inclusions moins remarquables sont probablement de nombreux clivages.

Le diamant Sana FG09 : zone 1 l'inclusion de diamant sur la périphérie

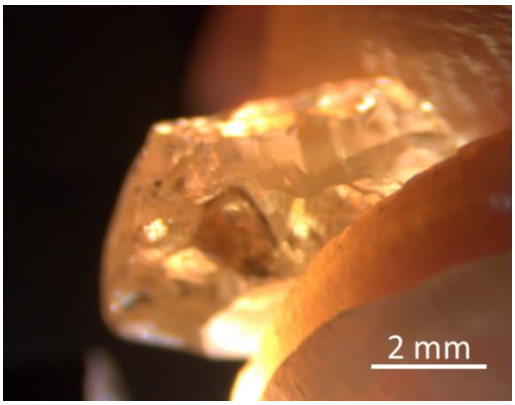


Figure 45 : Photo à la loupe binoculaire du deuxième diamant dans l'épaisseur de FG09 (grossissement x1,5)

Ce diamant possède une largeur environ égale à la moitié de l'épaisseur de FG09 (Figure 45). Les deux diamants sont éclairés par le dessous et il semble qu'ils aient des colorations distinctes, incolore pour FG09 et brune pour l'inclusion.

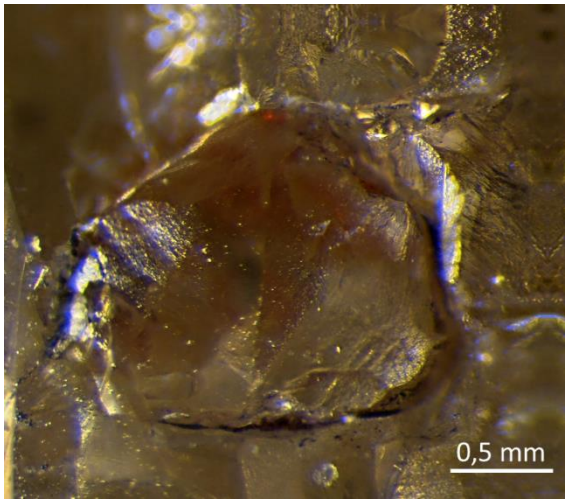


Figure 46 : Photo à la loupe binoculaire du deuxième diamant constituant le diamant FG09 (grossissement x4,5)

Cette photo de la Figure 46 montre l'état de surface granuleux de ce deuxième diamant dans l'épaisseur du diamant principal. Ce diamant ne montre pas de morphologie géométrique particulière car il a probablement été dissout.

Le diamant Sana FG09 : zone 2 l'inclusion octaédrique

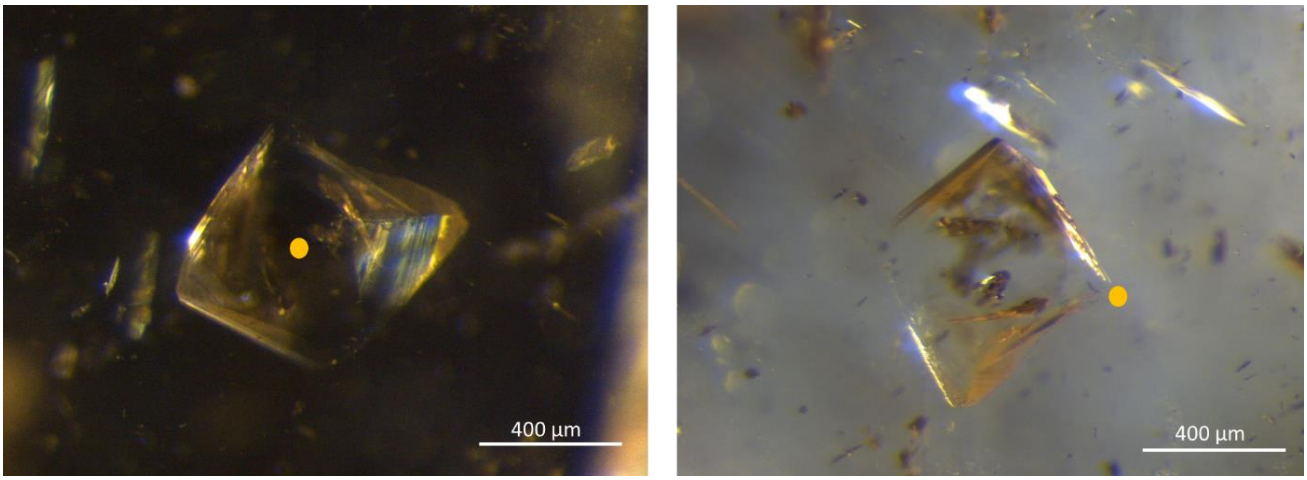


Figure 47 : Micrographie à la loupe binoculaire de l'inclusion octaédrique du diamant FG09 (grossissement x6) sur fond noir (gauche) et sur fond blanc (droite). Le point jaune correspond à la même pointe de l'octaèdre sur les deux micrographies.

La Figure 47 permet de voir l'apparence de cette inclusion sous différents angles. La micrographie de gauche met en évidence la forme octaédrique de l'inclusion ainsi que des figures de croissance octaédrique. De plus, il semblerait qu'il y ait d'autres inclusions, plus petites et brunes, dans le volume de cette inclusion octaédrique. Ce qui est confirmé par la photo de droite où la mise au point met en évidence que ces petites inclusions sont bien contenues dans cet octaèdre.

Le diamant Sana FG09 : zone 3 l'inclusion octaédrique et sa fracture équatoriale

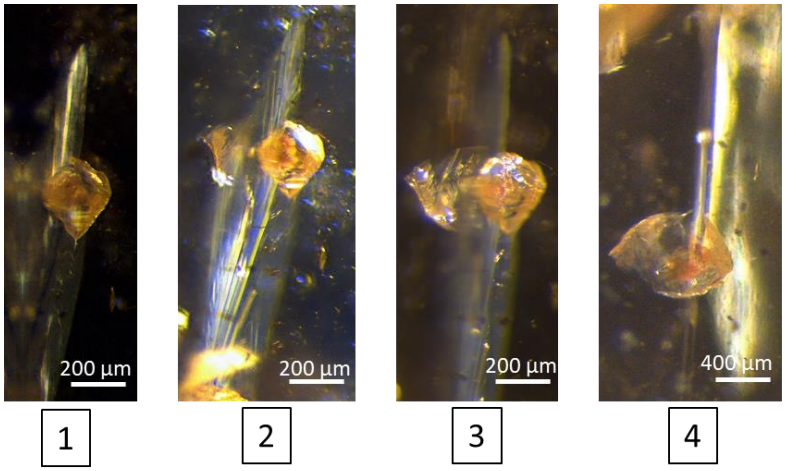


Figure 48 : Photos à la loupe binoculaire de l'inclusion octaédrique et sa fracture équatoriale de FG09 (grossissement x6)

Les micrographies de la Figure 48 montrent l'inclusion de la zone 3 sous différents angles. Le corps de l'inclusion possède une forme complexe puisque sur les micrographies 1 et 2 la partie droite de l'inclusion a la forme d'un octaèdre avec des stries de croissance. Cependant lorsqu'on la regarde par-dessus dans la micrographie 3 ou par en-dessous dans la micrographie 4 on ne retrouve pas cette forme d'octaèdre. Au contraire, la photo 4 montre la fracture discoïdale ne coupe pas complètement l'inclusion et que celle-ci semble avoir une forme de navette déformée avec une zone brune en son centre.

Le diamant Sana FG10

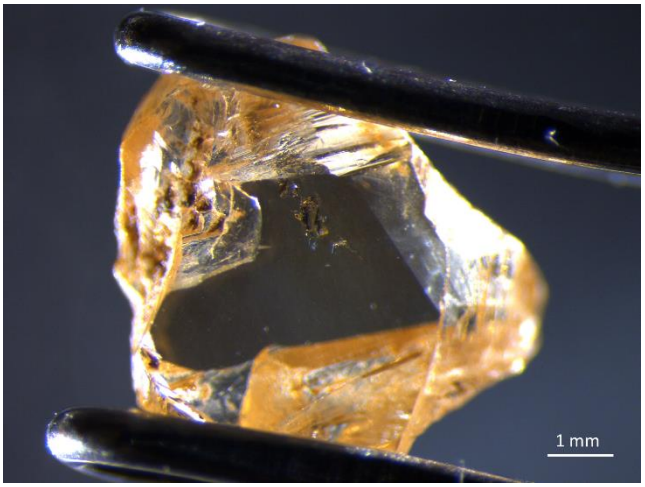


Figure 49 : Photo à la loupe binoculaire du diamant à faces parallèles FG10 sur fond noir, grossissement (x2,25)

Comme FG09, le diamant de la Figure 49 est inclus. Mais contrairement à ce dernier, il possède beaucoup moins d'inclusions. Les seules présentes sont décrites dans la Figure 50.

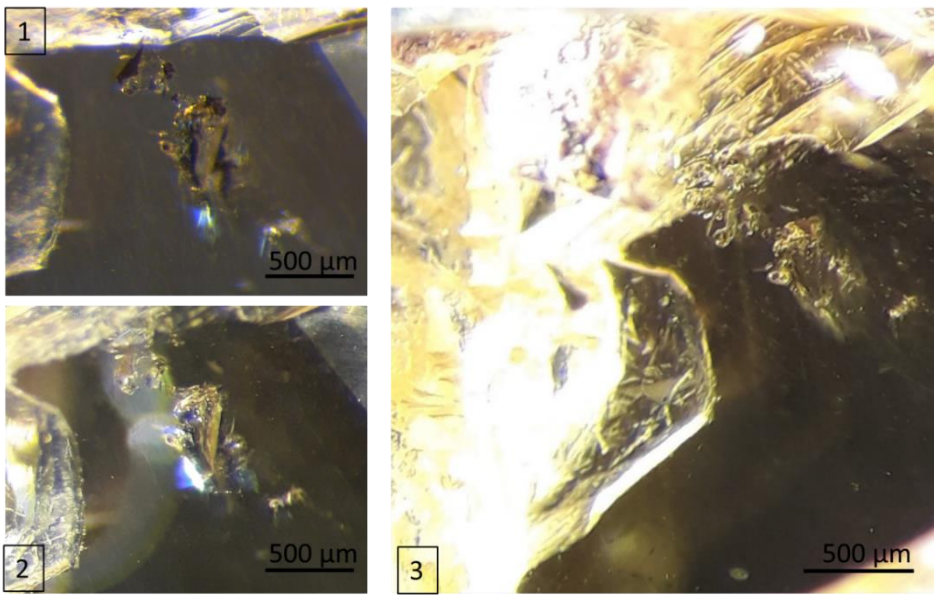


Figure 50 : Photos à la loupe binoculaire de l'unique inclusion remarquable de FG10 sous différents éclairages, (grossissement x6)

La micrographie 1 est une vue agrandie de l'inclusion de couleur noire composée de plusieurs parties liées entre elles. La micrographie 2 permet de se rendre compte que ces inclusions sont en fait incolores. Enfin la micrographie 3 révèle qu'il s'agit d'une série de petites inclusions creuses.

Interprétations et Discussion

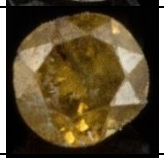
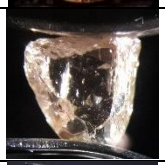
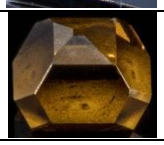
Echantillon		Type (Annexe 3)	Défauts structurels (Annexe 4)	Fluorimétrie (UVL = 365 nm)
FG01		IaAB	ND1, N3, GR2-8	
FG02		Ib/IaAB	480, Continuum du centre C	
FG03		IaAB	ND1, N3, GR2-8, N2	
FG04		IaAB	ND1, N3, N2	Bleu intense (Centre N3)
FG05		IaA	Continuum du centre C (artefact)	
FG06		IaA	Si-V, Continuum du centre C	
FG07		IaA	Continuum du centre C	
FG08		Ib	600, NV-, Continuum du centre C	
FG09		IaB	480, Continuum du centre C	Jaune intense (480, centre S)
FG10		IaA	480, Continuum du centre C	Jaune intense (480, centre S)
FG11		Ib	Ni-N, Continuum du centre C	

Figure 51 : Résumé des différentes analyses menées

Les type IaAB : FG01, FG03, FG04

Ces trois échantillons incolores appartiennent à la catégorie la plus répandue (Woods, 1992). Malgré leur caractère incolore, la cause de l'absence de couleur varie d'un diamant à l'autre (Figure 51, colonne 3). Ce sont les seuls échantillons à ne pas posséder le continuum du centre C mais ce ne sont pas les seuls échantillons incolores, les deux faits ne sont donc pas liés. Ils possèdent tous une luminescence bleu causée par le centre N3, étudié en fluorimétrie. Cela n'empêche pas les diamants de se distinguer sous la lampe UV par leurs intensités de luminescence différentes, mais toujours plus intense en UVL qu'en UVC car ils sont naturels. Seul FG01 possède des inclusions notoires mais qui sont en réalités des habitus d'anciennes inclusions qui lui donne un grade de pureté de piqué. De même, la présence de ces dendrites sous la surface de FG04 lui donne ce grade de piqué.

Les type IaA : FG05, FG06, FG07, FG10

Tous ces échantillons possèdent de l'hydrogène (bande à 3107 cm^{-1} Massi, 2006 voire Annexe 3) en particulier FG07 qui possède de nombreuses bandes dans la zone à 3 phonons. En effet, d'après Fritsch et al. (1991) cité par Massi (2006), l'hydrogène est exclusivement présent dans les diamants de type Ia. Dans le cas de FG07, l'absorption totale de 900 à 1200 cm^{-1} pourrait le désigner comme un diamant de type Cape. Ce type de diamant possède 10 à 100 fois plus d'azote que les diamants Ib d'après Fritsch (1998). Cette importante quantité d'hydrogène, associée au continuum du centre C (Hainschwang, 2014) pourraient être très probablement la cause de sa couleur jaune lumineux. La présence d'un fantôme de pseudo cube fibreux au centre de ce diamant, est un indice d'une variation de vitesse de croissance d'abord rapide puis plus lente (Hainschwang et al., 2006). Ce phénomène pourrait être à l'origine de sa forte concentration d'hydrogène (Hainschwang et al., 2006).

Pour FG06, le très faible taux d'azote détecté en IRTF est inhérent à sa nature de CVD : l'ajout d'un faible taux azote au mélange gazeux permet d'avoir des diamants de meilleure qualité (Liang et al. 2009). Malgré la réaction inerte sous la lampe UV de FG06, celui-ci possède une couleur de luminescence orange au DiamondView. Etant donné que la couleur brune de ce diamant est due aux amas de lacunes des centres GR1 (Fritsch et Rossman, 1988), la luminescence orange pourrait être due à la bande à 528 nm d'origine inconnue (Annexe 4). Son caractère synthétique CVD a pu être démontré de manière certaine grâce à la présence de brush pattern, mais aussi de la bande à 3126 cm^{-1} en IRTF (Annexe 3, Eaton-Magaña et Shigley, 2016) et sa luminescence orange avec les motifs de couches.

Concernant la luminescence jaune du brut FG10, celle-ci est due à la bande 480 nm d'origine inconnue (Hainschwang (2014), Breeding et Shigley (2009), Annexe 4). Si la couleur de ce diamant est décrite comme brun pâle, il semblerait que cela soit dû au résidus de roche hôte en périphérie. Leur couleur intrinsèque parasiterait celle du diamant qui se révèlerait incolore une fois taillé, tout comme FG09. Son analyse en CL a permis de montrer une croissance octaédrique non continue ainsi que des déformations post-croissances (graining).

Le diamant FG05 est celui de cette catégorie qui possède le moins de caractéristiques remarquables : étant incolore, son spectre UV-Vis-NIR ne possède pas de bande d'absorption ce qui explique sa réaction inerte sous lampe UV. Il ne possède pas non plus d'inclusions remarquables et est trop petit pour être facilement analysé en CL au MEB.

Les type Ib : FG08, FG11

FG08 et FG11, tous les deux HPHT, sont l'un de manufacture américaine (FG08 Chatham), l'autre russe (FG11). La cause de la couleur brune de FG08 est dû à des amas de lacunes (centres NV^-) tandis que la couleur jaune de FG11 est due au continuum des centres C (Fritsch et Rossman, 1988). Ces deux HPHT n'ont pas du tout la même réaction à la lampe UV. Si FG11 est totalement inerte, FG08 possède une luminescence orange. Cette luminescence est due aux centres NV^0 et NV^- (pic à 575 nm pour NV^0 et 637 nm pour NV^- en photoluminescence) d'après Hainschwang (2014). Toujours d'après cet auteur, la faible quantité de NV^0 fait qu'il n'est pas détectable en UV-Vis-NIR. Au contraire, le centre NV^- est présent dans des concentrations

suffisamment élevées pour qu'il induise une absorption dans le rouge détectable en UV-Vis-NIR et en fluorimétrie, et ait une influence sur la couleur du diamant. Ce qui est bien le cas de cet échantillon. Sur un autre registre, l'analyse complémentaire des spectres de IRTF et d'UV-Vis-NIR a permis de déterminer la présence d'un centre X (N^+) (Lawson et al., 1998) et de la bande à 662 nm qui est un défaut Ni-N (Shigley et al. 1993) signifiant que FG11 a poussé dans un solvant métallique riche en Ni. En effet, d'après Lawson et al. (1998), le centre X (N^+) se forme dans les diamants type Ib par irradiation : le centre C peut donner un électron à la lacune V^0 (qui se transforme donc en V^-) mais aussi au Ni qui se transforme alors en Ni-N à l'origine de la bande à 662 nm. Par conséquent, ce défaut du centre X est souvent détecté dans les spectres infrarouges des diamants synthétiques type Ib contenant du nickel. Le fait que ces deux diamants sont de type Ib permet d'avoir des soupçons sur leur nature de synthétique au vu des process de fabrication actuels (IIa, IIb, Ib). La réaction sous lampe UV d'une intensité plus importante en UVC qu'en UVL de FG08 est aussi un autre indice. La présence de faces dodécaédriques et trapézoèdriques, ainsi que l'existence de centres Ni-N sont des preuves incontestables que FG11 est synthétique. Quant à FG08, c'est son intense luminescence orange sous lampe UV et en fluorimétrie ainsi que la présence de faces autres qu'octaédriques et cubiques en CL (comme FG11) qui le désignent de manière certaine comme étant synthétique.

Le type IaB : FG09

Le diamant brut FG09 possède trois inclusions particulièrement importantes dont la nature a, dans un premier temps, été incertaine. L'analyse au microRaman n'a donné qu'un signal de diamant et il n'était pas possible d'être certain qu'il s'agissait du signal de l'inclusion et non du diamant encaissant. D'après des analyses supplémentaires effectuées par le Dr. Fritsch celles-ci sont effectivement trois inclusions de diamants dans un diamant (comm. pers., Fritsch, 2019). Autre point, les deux diamants bruts (FG09 et FG10) ont été choisis en raison de leur luminescence jaune intense en UVC et UVL. Celle-ci est en partie due à la présence de la bande à 480 nm d'origine inconnue (Hainschwang (2014), Breeding et Shigley (2009), Annexe 4). Or l'analyse fluorimétrique de ces deux échantillons a montré que cette même couleur était causée par des émissions différentes : une très large bande à 616 nm pour FG09 et deux bandes à 439 et 565 nm pour FG10.

Le type Ib/IaAB ou type « ABC » : FG02

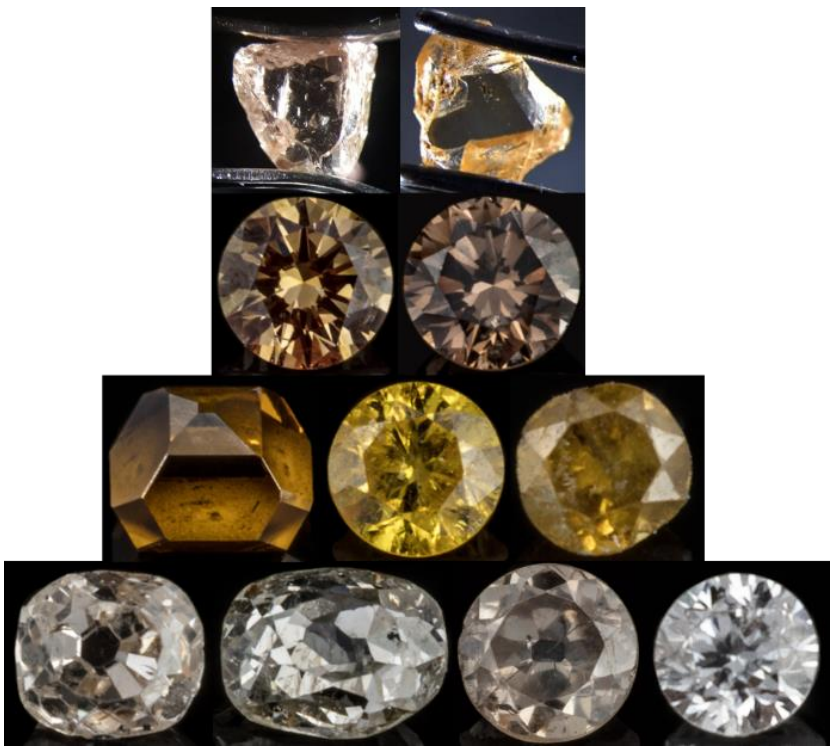
L'allure particulière du spectre IRTF de FG02 permet de le désigner comme un diamant « ABC » d'après les travaux de Hainschwang et al. (2006). Ce type de diamant, très rare à l'état naturel, est appelé ainsi en raison de la présence simultanée de centre C, d'agrégat A et B ce qui en fait donc un type Ib/IaAB. Toujours d'après ces auteurs, ces diamants subissent une croissance mixte : dans un premier temps le diamant montre une croissance cuboïde rapide, dans un milieu saturé en carbone, en hydrogène et en azote à température faible voire modérée. L'azote y est incorporé en grande quantité de manière isolée. Au fur et à mesure de l'incorporation de l'azote dans la maille cristalline du diamant, la vitesse de croissance de ce dernier ralentit à cause de la diminution de la concentration d'azote dans le milieu et de la saturation en hydrogène, jusqu'à devenir octaédrique. Le temps d'exposition aux hautes températures est responsable de la progressive migration de l'azote isolé en agrégats. D'après Evans et Qi (1982), l'augmentation de température, du temps de résidence et/ou de la teneur en azote est corrélé à un degré plus élevé d'agrégation. La couleur de ce diamant (UV-Vis-NIR) est à la fois dû à la bande à 480 nm et au continuum du centre C (Fritsch et Rossman, 1988) ce qui lui dit donne cette couleur jaune avec une sous teinte verte. Par ailleurs, ce spectre UV-Vis-NIR ne présente pas d'autres bandes que ces deux-là. Or ce diamant possède une luminescence orange sous la lampe UV. Tout comme FG06, les causes de sa luminescence orange ne sont pas celles connues des centres NV^0 (575 nm) et NV^- (637 nm). Elle pourrait être en partie due à la bande à 480 nm.

Conclusion

L'analyse de ces 11 échantillons, 8 naturels et 3 synthétiques, a permis de faire un tour d'horizon de la variété du monde du diamant. Cette diversité nécessite tout autant de méthodes d'analyses différentes afin de caractériser chaque diamant individuellement. Cette inhomogénéité s'exprime de manière la plus évidente via les différentes couleurs et absence de couleur que peut posséder un diamant. Les diamants FG01, FG03, FG04 et FG05 ont entre autres permis de constater la variété des causes de l'absence de couleur grâce aux spectres UV-Vis-NIR. Les quatre catégories de la classification IRTF ont pu être étudiées dans ce mémoire. Et comme il a été vu avec le diamant FG02 de type « ABC », il existe des exceptions à ces catégories. Même si la plupart des diamants peuvent être rangés selon cette classification, chaque famille qui en résulte est inhomogène. Par exemple, au sein d'une même famille IRTF les diamants ont différentes réactions à la lampe UV. Et d'autant plus lorsqu'il y a des différences de naturalité. En effet, les couleurs et les intensités de luminescence varient au sein de chaque catégorie et également selon le caractère naturel ou synthétique du diamant. C'est d'ailleurs pourquoi la luminescence est à l'heure actuelle le moyen le plus efficace de détermination de la naturalité d'un diamant. A cette diversité s'ajoute les différents modes de croissance étudiés ici en CL et sous loupe binoculaire : octaédrique (FG03, FG10), fibreux puis octaédrique (FG07), cuboïde puis octaédrique (FG02). Enfin, l'étude des inclusions permet de mettre en avant l'inhomogénéité des environnements de croissance des diamants (FG01, FG04, FG09, FG10).

Une des caractéristiques assez courante du monde du diamant brun qui n'a pas eu l'occasion d'être étudiée dans ce mémoire sont les ambers centers en IRTF. Lorsqu'ils sont présents, ces centres sont responsables de la couleur brune du diamant.

Si cette étude avait été réalisée dans un laboratoire d'analyse gemmologique, l'étude de la luminescence aurait été faite grâce à la photoluminescence à 77K, température de l'azote liquide, et non avec la fluorimétrie en température ambiante, et l'étude de la morphologie de croissance aurait été faite avec de l'imagerie de luminescence, via un DiamondView^{TM} ou un DFI Mid-UV Laser^{+}, et non par CL dans un MEB. Ces deux techniques sont plus rapides à utiliser, avec moins de préparation d'échantillons et donc plus routinières. Cette étude s'étant déroulée dans le laboratoire de recherche de l'IMN, les techniques employées sont pluridisciplinaires et donc non développées en particulier pour la gemmologie.



Références

BREEDING C. M., SHIGLEY J. E. (2009), The “type” classification system of diamonds and its importance in gemology, *Gems & Gemology*, Vol. 45, N°2, p. 96-111

CIBJO (2009) Guide de référence pour les détaillants : diamants, gemmes, perles et métaux précieux, Confédération Internationale de la Bijouterie, Joaillerie, Orfèvrerie, des Diamants, Pierres et Perles, Consulté le 31/10/2019 sur http://www.cibjo.org/the-retailers-reference-guide/

CHATHAM T. (2019) https://blog.chatham.com/lab-grown-guides/lab-grown-diamond-guide/, Consulté le 31/10/2019

DE WEERT F., PAL’YANOV Y., COLLINS A.T. (2003) Absorption spectra of hydrogen in ^{13}C diamond produced by HPHT synthesis, *Journal of Physics: Condensed Matter*, Vol. 15, p. 3163-3170

EATON-MAGANA S., SHIGLEY J. E. (2016) Observations on CVD-Grown Synthetic Diamonds: A Review, *Gems & Gemology*, Vol. 52, N°3, p. 222-245

EVANS T. (1976) Diamonds, *Contemporary Physics*, Vol. 17, N°1, p. 45-70

EVANS T., QI Z. (1982) The kinetics of the aggregation of nitrogen atoms in diamonds, *Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences*, 1982, Vol. 381, N°1780, p. 159-178

FRITSCH E., ROSSMAN G.R. (1988) An update on color in gems. Part 3: Colors caused by band gaps and physical phenomena, *Gems & Gemology*, Vol. 24, N°2, p. 81-102

FRITSCH E. (1998) The nature of colour in diamonds, Chapitre 2 de *The Nature of Diamonds*, HARLOW G.E. Edition Cambridge University press, UK, p. 23-47

HAINSCHWANG T., NOTARI F., FRITSCH E., MASSI L. (2006) Natural, untreated diamonds showing the A, B and C infrared absorptions (“ABC diamonds”), and the H_2 absorption, *Diamond and Related Materials*, Vol. 15, p. 1555-1564

HAINSCHWANG T., NOTARI F., FRITSCH E., MASSI L., RONDEAU B., BREEDING C. M., VOLLSTAEDT H. (2008) HPHT treatment of CO_2 containing and CO_2-related brown diamonds, *Diamond and Related Materials*, Vol. 17, N°3, p. 340-351

HAINSCHWANG T. (2014) Diamants de type Ib : Relations entre les propriétés physiques et gemmologiques des diamants contenant de l’azote isolé, Mémoire de thèse de doctorat, Université de Nantes, Nantes, France, p. 411

JANSE A.J.A (2007) Global rough diamond production since 1872, *Gems & Gemology*, Vol. 43, N°2, p. 98–119

KARAMPELAS S. (2007) Absorptions infrarouges inhabituelles des diamants dans la zone à un phonon, Mémoire de Diplôme d’Université de gemmologie, Université de Nantes, Nantes, France, p. 63

LAWSON S. C., FISCHER D., HUNT, D. C., NEWTON M. E. (1998) On the existence of positively charged single-substitutional nitrogen in diamond, *Journal of Physics: Condensed Matter*, Vol. 10, N°27, p. 6171

LFG (2019) https://www.laboratoire-francais-gemmologie.fr/la-gemmotheque/diamant-2/, Consulté le 31/10/2019

LIANG Q., YAN C-S., MENG Y., LAI J., KRASNICKI S., MAO H-K., HEMLEY R. J. (2009) Recent advances in high-growth rate single-crystal CVD diamond, *Diamond and Related Materials*, Vol. 18, p. 698-703

MASSI L. (2006) Etude des défauts dans les diamants bruns et les diamants riches en hydrogène, Thèse de doctorat, Université de Nantes, Nantes, France, p. 372

MOSES T. M., REINITZ I. M., JOHNSON M. L., KING J. M., SHIGHLEY J. E. (1997) A contribution to understanding the effect of blue fluorescence on the appearance of diamonds, *Gems & Gemology*, Vol. 33, N°4, p. 244-259

POZZERA B. (1999) *Diamant taillé : Propriétés du diamant*, https://www.diamants-infos.com/taille/proprietes-diamant.html, et *Diamant taillé : Caractéristiques du diamant*, https://www.diamants-infos.com/taille/caracteristique.html , Consultés le 31/10/2019

POZZERA B. (2001) *La révolution du diamant : la mutation du marché du diamant*, https://www.diamants-infos.com/divers/revolution-diamant.html, Consulté le 31/10/2019

SANADIAM (2019) http://www.sanadiam.com/, Consulté le 07/11/2019

SCHRAUDER M., NAVON O. (1993) Solid carbon dioxide in a natural diamond, *Nature*, Vol. 365, p. 42–44

SHAPLEY P. (2012) *Bonding in Covalent Solids*, http://butane.chem.uiuc.edu/pshapley/GenChem2/C2/3.html, Consulté le 21/10/2019

SHIGLEY J. E., FRITSCH E., KOIVULA J. I., SOBOLEV N. V., MALINOVSKY I. Y., PAL'YANOV Y. N. (1993) The gemological properties of Russian gem-quality synthetic yellow diamonds, *Gems & Gemology*, Vol. 29, N°4, p.228-248

SHIREY S.B., SHIGLEY J.E. (2013) Recent Advances in Understanding the Geology of Diamonds, *Gems & Gemology*, Vol. 49, N°4 (Winter), p. 188-222

SMIT K.V., SHIREY S.B., STERN R.A., STEELE A., WANG W. (2016) Diamond growth from C–H–N–O recycled fluids in the lithosphere: Evidence from CH_4micro-inclusions and $\delta^{13}C$–$\delta^{15}N$–N content in Marange mixed-habit diamonds, *Lithos*, Vol. 265, p. 68-81

WANG W., SMITH C.P., HALL M.S., BREEDING C.M., MOSES T.M. (2005) Treated-color pink-to-red diamonds from Lucent Diamonds Inc*., Gems & Gemology*, Vol. 41, N°1, p. 6–19

WELBOURN C.M., ROONEY M-L T., EVANS D.J.F. (1989) A study of diamonds of cube and cube-related shape from the Jwaneng Mine, *Journal of Crystal Growth*, N°94, p. 229–252

WELBOURN C.M., COOPER M., SPEAR P. M. (1996) De Beers natural versus synthetic diamond verification instruments, *Gems & Gemology*, Vol. 32, N°3, p. 156-169

WIKIPEDIA (2019) Fourier-transform infrared spectroscopy, https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier-transform_infrared_spectroscopy, Consulté le 08/11/2019

WOODS G. S., COLLINS A. T. (1982) The 1450 cm^{-1} infrared absorption in annealed, electron-irradiated type I diamonds, *Journal of Physics C: Solid State Physics*, Vol. 15, N°26, p. 949-952

WOODS G.S., COLLINS A.T. (1983*)* Infrared absorption spectra of hydrogen complexes in type I diamonds, *Journal of Physics of Chemistry of Solids*, Vol. 44, N°5, p. 471-475

WOODS G.S. (1992) The "type" terminology for diamond, Properties and growth of diamond, G. DAVIES Edition, p. 83-84

ZAITSEV A.M. (2001) *Optical properties of diamond, A data handbook*. Springer-Verlag éditions, Berlin, p.502, https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=WsvuCAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=Zaitsev+A.M.+(2001).+Optical+properties+of+diamond,+A+data+handbook.+Springer-Verlag+%C3%A9ditions,+Berlin,+502+pages.&ots=4H_8s48YBA&sig=iDS0za0kQd7M29pyCPil1XkSNgc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false, Consulté le 08/11/2019

Annexes

ANNEXE 1 : FICHES DE TRAVAIL

FG01

Espèce : Diamant

Naturalité : Naturel

Poids (ct) : 0,21
Taille : Ovale taille ancienne
Couleur : Incolore
Caractère optique : Isotrope

Dimensions (mm) : 3,81 x 3,04
Epaisseur (mm) : 2,05
Distribution de la couleur : None
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 3,573

Microscopie : Réseau d'inclusions dorées octaédriques et noires rondes avec des spicules mais avec un autre éclairage sont en fait incolores. Surement des fantômes d'inclusions peut être de sulfures pour les spicules. Clivages au niveau de la culasse dont les halos de déformation sont brun clair.

Luminescence aux UV :	**UVC**	**UVL**
Intensité :	Faible	Moyen
Couleur :	Bleu	Bleu
Distribution :	Homogène	Homogène
Turbidité :	Crayeux	Crayeux
Phosphorescence :	None	None

Spectrométrie :

UV-Vis-NIR : FG01_UV_Vis_100scans
IRTF: FG01_diamant_Weber_0.21ct_IR
Autres :

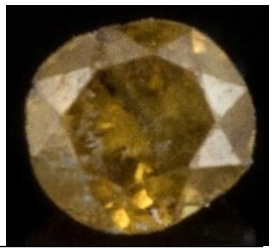
Luminescence/Fluorimétrie : Non
Raman : Non

Photographie : Macro + Micro

MEB : Non

Autres :

FG02



Espèce : Diamant

Naturalité : Naturel

Poids (ct) : 0,04
Taille : Rond brillant
Couleur : Jaune Vert moyen
Caractère optique : I

Dimensions (mm) : Ø2,08
Epaisseur (mm) : 1,46
Distribution de la couleur : Homogène
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 3,708

Microscopie : Trop petit pour le support de la loupe binoculaire avec la caméra

Luminescence aux UV :	**UVC**	**UVL**
Intensité :	Faible	Moyen
Couleur :	Orange	Orange
Distribution :	Homogène	Homogène
Turbidité :	Limpide	Limpide
Phosphorescence :	None	None

Spectrométrie :

UV-Vis-NIR : FG02_UV_Vis_100scans
IRTF : FG02_diamant_jaune_vert_0.05ct_IR
Autres :

Luminescence/Fluorimétrie : Non
Raman : Non

Photographie : Macro

MEB : Non

Autres :

FG03

Espèce : Diamant

Naturalité : Naturel

Poids (ct) : 0,11
Taille : Ovale taille ancienne
Couleur : Jaune Vert moyen
Caractère optique : I

Dimensions (mm) : 2,81 x 2,51
Epaisseur (mm) : 1,96
Distribution de la couleur : None
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 3,524

Microscopie : Rien de particulier

Luminescence aux UV :	**UVC**	**UVL**
Intensité :	Moyen	Intense
Couleur :	Bleu	Bleu
Distribution :	Homogène	Homogène
Turbidité :	Crayeux	Crayeux
Phosphorescence :	None	None

Spectrométrie :

UV-Vis-NIR : FG03_UV_Vis_100scans
IRTF : FG03_diamant_ancien_0.11ct_IR
Autres :

Luminescence/Fluorimétrie : Non
Raman : Non

Photographie : Macro

MEB : Photos de la table en SE et CL à l'échelle 500 µm (FG03_SE et FG03_CL_1) puis zoom (échelle 50 µm) de plus sur les figures de dissolution sur un secteur de croissance octaédrique en BS et CL (FG03_BS et FG_CL_2)

Autres :

FG04

Espèce : Diamant

Naturalité : Naturel

Poids (ct) : 0,76
Taille : Rond brillant
Couleur : Légèrement teinté (N – R)
Caractère optique : I

Dimensions (mm) : Ø5,56
Epaisseur (mm) : 3,19
Distribution de la couleur : Homogène
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 3,507

Microscopie : Film dendritique brun sous la surface d'une extrémité de la table. Plusieurs clivages au milieu de la table.

Luminescence aux UV :

	UVC	UVL
Intensité :	Faible	Intense
Couleur :	Bleu	Bleu
Distribution :	Homogène	Homogène
Turbidité :	Crayeux	Crayeux
Phosphorescence :	None	None

Spectrométrie :

UV-Vis-NIR : FG04_UV_Vis_100scans
IRTF : FG04_diamant_0.76ct_IR
Autres :

Luminescence/Fluorimétrie : diamantFG04
Raman : Non

Photographie : Macro + Micro

MEB : Photos de la table au niveau de la fracture vue en microscopie en BS et CL à l'échelle 500 µm (FG04_BS et FG04_CL)

Autres :

FG05

Espèce : Diamant

Naturalité : Naturel

Poids (ct) : 0,01
Taille : Rond brillant
Couleur : Incolore
Caractère optique : I

Dimensions (mm) : Ø1,51
Epaisseur (mm) : 0,98
Distribution de la couleur : None
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 3,444

Microscopie : Trop petit pour le support de la loupe binoculaire avec la caméra

Luminescence aux UV :	**UVC**	**UVL**
Intensité :	Inerte	Inerte
Couleur :		
Distribution :		
Turbidité :		
Phosphorescence :	None	None

Spectrométrie :

UV-Vis-NIR : FG05_UV_Vis_100scans
IRTF : FG05_diamant_0.01ct_IR
Autres :

Luminescence/Fluorimétrie : Non
Raman : Non

Photographie : Macro

MEB :

Autres :

FG06

Espèce : Diamant

Naturalité : Synthétique CVD

Poids (ct) : 0,12
Taille : Rond brillant
Couleur : Brun profond
Caractère optique : I

Dimensions (mm) : Ø3,1
Epaisseur (mm) : 2
Distribution de la couleur : Homogène
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 3,571

Microscopie : 3 secteurs de croissance octaédriques en réflexion sur la table

Luminescence aux UV :	**UVC**	**UVL**
Intensité :	Faible	Inerte
Couleur :	Rouge	
Distribution :	Homogène	
Turbidité :	Limpide	
Phosphorescence :	None	None

Spectrométrie :

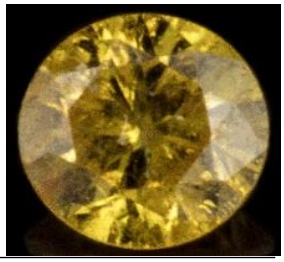
UV-Vis-NIR : FG06_UV_Vis_100scans
IRTF : FG06_ diamant_CVD_0.13ct_IR
Autres :

Luminescence/Fluorimétrie : Non
Raman : Non

Photographie : Macro + Micro

MEB : Photo de la table en CL à l'échelle 100 µm (FG06_CL)

Autres :



FG07

Espèce : Diamant

Naturalité : Naturel

Poids (ct) : 0,10
Taille : Rond brillant
Couleur : Jaune lumineux
Caractère optique : I

Dimensions (mm) : Ø3
Epaisseur (mm) : 1,8
Distribution de la couleur : Homogène
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 3,603

Microscopie : fantôme de pseudo-cube fibreux en son centre + nombreux givres

Luminescence aux UV :	**UVC**	**UVL**
Intensité :	Inerte	Inerte
Couleur :		
Distribution :		
Turbidité :		
Phosphorescence :	None	None

Spectrométrie :

UV-Vis-NIR : FG06_UV_Vis_100scans
IRTF : FG06_diamant_jaune_0.1ct_IR
Autres :

Luminescence/Fluorimétrie : Non
Raman : Non

Photographie : Macro + Micro

MEB :

Autres :

FG08

Espèce : Diamant

Naturalité :
Synthétique
Chatham HPHT

Poids (ct) : 0,15
Taille : Rond brillant
Couleur : Brun vif
Caractère optique : I

Dimensions (mm) : Ø3,5
Epaisseur (mm) : 2,06
Distribution de la couleur : Homogène
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 3,438

Microscopie : 2 reliquats de solvants (1 cubique et l'autre aiguille)

Luminescence aux UV :	**UVC**	**UVL**
Intensité :	Intense	Moyen
Couleur :	Rouge	Rouge
Distribution :	Homogène	Homogène
Turbidité :	Limpide	Limpide
Phosphorescence :	None	None

Spectrométrie :

UV-Vis-NIR : FG08_UV_Vis_100scans
IRTF : FG08_diamant_chatham_0.15ct_IR
Autres :

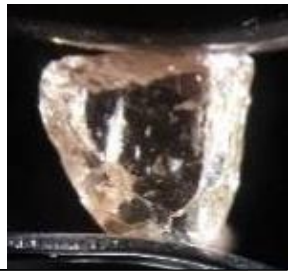
Luminescence/Fluorimétrie : diamantFG08
Raman : Non

Photographie : Macro + Micro

MEB : 3 photos en CL à l'échelle de 500 µm pour couvrir l'ensemble de l'échantillon visible à ce grossissement (table + couronne supérieure) assemblage avec Combine ZP (FG08_CL_1, FG08_CL_2, FG08_CL_3) puis 2 photos de la zone de croissance en escaliers en BS et SE (FG08_BS, FG08_SE) à l'échelle de 200 µm

Autres :

FG09



Espèce : Diamant

Naturalité : Naturel

Poids (ct) : 1,12
Taille : Brut
Couleur : Brun pale
Caractère optique : I

Dimensions (mm) : 6,7 x 5,8
Epaisseur (mm) : 3,2
Distribution de la couleur : Homogène
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 3,481

Microscopie : 3 grosses inclusions de diamants (1 individu dans l'épaisseur de l'échantillon, 1 octaèdre, 1 individu coupé par une fracture équatoriale), nombreux petits clivages

Luminescence aux UV :

	UVC	UVL
Intensité :	Intense	Intense
Couleur :	Jaune foncé	Jaune foncé
Distribution :	Homogène	Homogène
Turbidité :	Limpide	Limpide
Phosphorescence :	>1 min	>1min

Spectrométrie :

UV-Vis-NIR : FG09_UV_Vis_100scans
IRTF : FG09_diamant_brut_sana10a_1.12ct_IR
Autres :

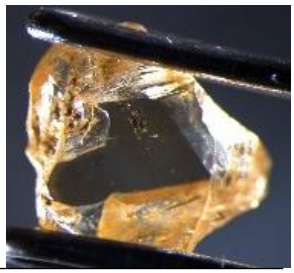
Luminescence/Fluorimétrie : diamantFG09
Raman : Non

Photographie : Macro + Micro

MEB :

Autres :

FG10



Espèce : Diamant

Naturalité : Naturel

Poids (ct) : 0,23
Taille : Brut
Couleur : Brun pale
Caractère optique : I

Dimensions (mm) : 4,6 x 4,15
Epaisseur (mm) : 1,3
Distribution de la couleur : Homogène
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 2,753

Microscopie : groupe d'inclusions à première vue noires mais en réalité des fantômes d'inclusions incolores

Luminescence aux UV :	**UVC**	**UVL**
Intensité :	Intense	Intense
Couleur :	Jaune clair	Jaune clair
Distribution :	Homogène	Homogène
Turbidité :	Limpide	Limpide
Phosphorescence :	>1 min	>1min

Spectrométrie :

UV-Vis-NIR : FG10_UV_Vis_100scans
IRTF : FG10_diamant_brut_sana33_0.23ct_IR
Autres :

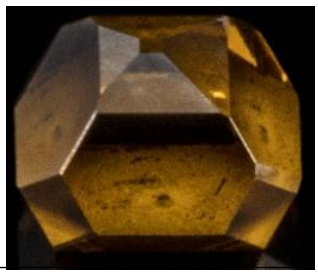
Luminescence/Fluorimétrie : diamantFG10
Raman : Non

Photographie : Macro + Micro

MEB : 4 photos en CL à l'échelle de 1000 µm pour couvrir l'ensemble de l'échantillon visible à ce grossissement assemblage avec Combine ZP (FG10_CL_1, FG10_CL_2, FG10_CL_3, FG10_CL_4) puis 4 photos en CL des différentes types de zones de croissance à l'échelle 100 µm (FG10_CL_5, FG10_CL_6, FG10_CL_7, FG10_CL_8)

Autres :

FG11



Espèce : Diamant

Naturalité : Synthétique HPHT

Poids (ct) : 0,24
Taille : Brut
Couleur : Jaune Brun profond
Caractère optique : I

Dimensions (mm) : 3,35 x 3,31
Epaisseur (mm) : 2,33
Distribution de la couleur : Homogène
Réaction aux filtres : None

Indice de réfraction : > 1,79
Masse spécifique mesurée : 3,611

Microscopie : germe carré

Luminescence aux UV :	**UVC**	**UVL**
Intensité :	Inerte	Inerte
Couleur :		
Distribution :		
Turbidité :		
Phosphorescence :	None	None

Spectrométrie :

UV-Vis-NIR : FG11_UV_Vis_100scans
IRTF : FG11_diamant_HPHT_0.47ct_IR
Autres :

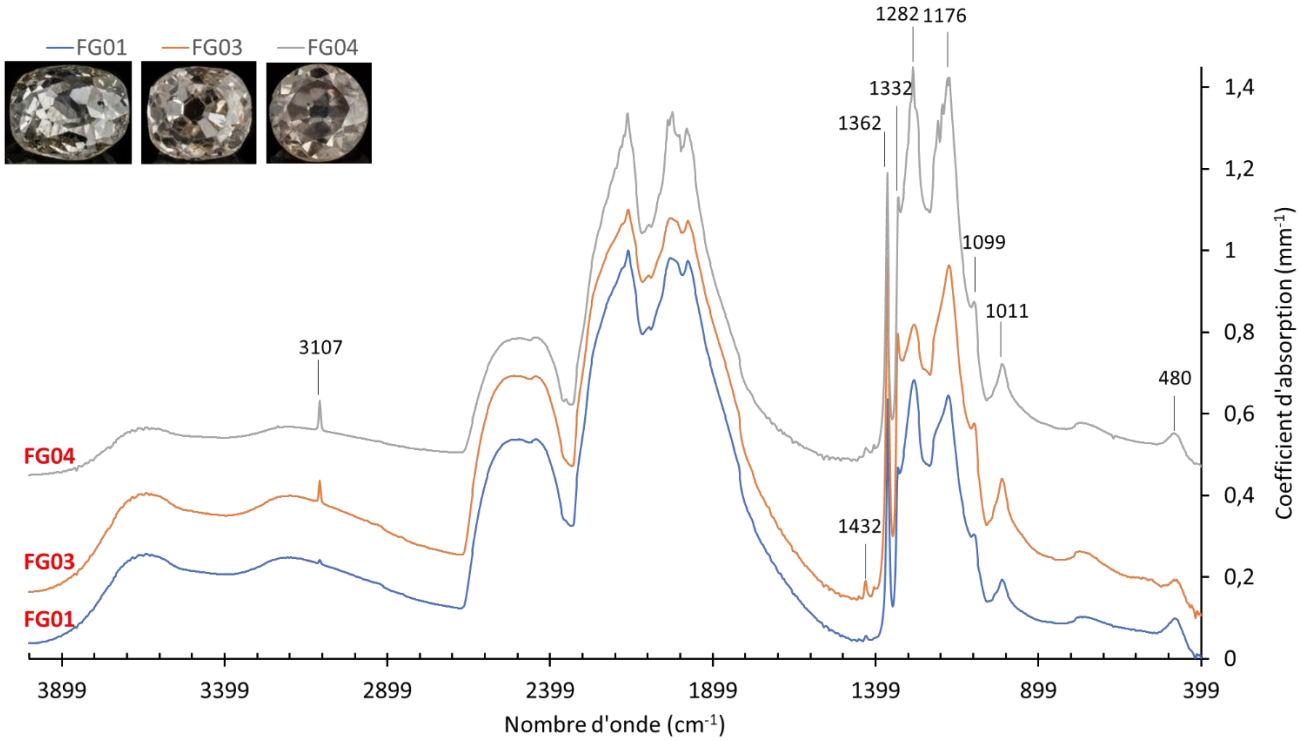
Luminescence/Fluorimétrie : Non
Raman : Non

Photographie : Macro + Micro

MEB :

Autres :

Annexe 2 : Spectres IRTF de type IaAB des FG01, FG03 et FG04



Spectres IRTF des diamants FG01, 03, 04

Ces trois spectres sont quasiment identiques et présentent les pics intrinsèques du diamant dans les zones à 2 (1500 – 2700 cm^{-1}) et 3 phonons (2700 – 4000 cm^{-1}) (Massi, 2006). Toujours d'après cet auteur, les pics en deçà de 1500 cm^{-1} de la zone à 1 phonon permettent de mesurer la présence d'impuretés dont l'azote. En effet, le pic à 1365 cm^{-1} est dû à la présence de platelets, ceux à 1288 et 480 sont dus aux agrégats A tandis que ceux à 1180, 1099 et 1010 correspondent aux agrégats B. Le pic à 3107 cm^{-1} dans la zone à 3 phonons est quant à lui dû à la présence d'hydrogène.

Annexe 3 : Tableau récapitulatif des bandes infrarouges et de leurs interprétations

	Pics	FG01	FG02	FG03	FG04	FG05	FG06	FG07	FG08	FG09	FG10	FG11	Cause	Source
3 phonons	6861						X						H	Hainschwang (2014)
	6430						X						H	Hainschwang (2014)
	5568						X						H	Hainschwang (2014)
	4499					X							H	Hainschwang (2014)
	3475							X					H	Hainschwang (2014)
	3314		X					X					H (C-H ou N-H)	Woods et Collins (1983) ; Massi (2006) ; Hainschwang (2014)
	3274		X										H	Hainschwang (2014)
	3252		X										H	Smit et al. (2016)
	3238							X					H lié à la liaison N-H associé à la bande à 3107	Woods et Collins (1983) ; De Weerdt et al. (2003) ; Massi (2006)
	3210		X										H typique Ib	Hainschwang (2014)
	3159		X										H typique Ib	Welbourn et al. (1989) ; Massi (2006) ; Hainschwang (2014)
	3142							X					N-H	Woods et Collins (1983), Massi (2006)
	3126						X						NVH (H dans CVD)	Eaton-Magaña et Shigley (2016)
	3107	X	X	X	X	X		X		X	X		H élongation de la liaison C-H (uS)	Massi (2006)
	2970		X										C-H	Hainschwang et al. (2006)
	2945							X					C-H	Hainschwang et al. (2006)
	2855		X										C-H	Hainschwang et al. (2006)
	2788							X					C-H	Hainschwang et al. (2006)
2 phonons	2688											X	C-H	Hainschwang et al. (2006)
	2363							X					CO_2 atmosphérique	Artefact
	2350					X					X		CO_2 atmosphérique	Artefact
	2340							X					CO_2 atmosphérique	Artefact
	1578		X										C-H	Hainschwang et al. (2006)
	1533		X										C-H	Hainschwang et al. (2006)
	1512		X										C-H	Hainschwang et al. (2006)
1 phonon	1462		X										C-H	Hainschwang et al. (2006)
	1452								X				H1a (-C-N avec N interstitiel)	Woods et Collin (1982)
	1432		X	X									C-H	Hainschwang et al. (2006)
	1405							X					H déformation angulaire de la liaison C-H (uB)	Massi (2006)
	1397		X										C-H	Hainschwang et al. (2006)
	1362	X	X	X	X								Plaquette	Massi (2006)
	1344								X			X	Centre X (N isolé avec une charge positive) et bande Raman	Lawson et al. (1998) ; Hainschwang (2014)
	1332	X	X	X	X		X			X		X	Centre X / bande Raman	Hainschwang (2014)
	1282	X	X	X	X	X				X	X	X	Agrégat A	Massi (2006) ; Breeding et Shigley (2009)
	1180	X		X	X								Agrégat B	Massi (2006) ; Breeding et Shigley (2009)
	1144		X										Centre C	Woods et Collins (1983) ; Breeding et Shigley (2009)
	1133								X			X	Centre C	Woods et Collins (1983) ; Breeding et Shigley (2009)
	1099	X		X	X								Agrégat B	Massi (2006)
	1090								X	X			Agrégat B	Massi (2006)
	1050		X						X			X		
	1010	X		X	X								Agrégat B	Massi (2006)
	854											X		
	670							X	X					
	482	X		X	X			X					Agrégat A	Massi (2006)
	Type	IaAB	Ib/IaAB	IaAB	IaAB	IaA	IaA	IaA	Ib	IaB	IaA	Ib		

Annexe 4 : Tableau récapitulatif des bandes UV-Vis-NIR et de leurs interprétations

Pics	FG01	FG02	FG03	FG04	FG05	FG06	FG07	FG08	FG09	FG10	FG11	Cause	Source
377	X		X	X									
385	X		X	X									
394	X		X	X								ND1 (lacune de carbone neutre chargée -)	Massi (2006) ; Hainschwang (2014)
400							X						
403	X		X	X									
415	X		X	X						X		Centre N3 (couleur jaune dans le visible et bleu en UVL) seulement dans les naturels	Massi (2006) ; Breeding et Shigley (2009)
433	X		X									GR2-8 (lié à GR1)	Massi (2006)
443	X		X										
478			X	X								Centre N2 (jaune)	Breeding et Shigley (2009)
480		X							X	X		Origine inconnue responsable de la couleur jaune à orange des type Ia + luminescence jaune intense	Breeding et Shigley (2009) ; Hainschwang (2014)
528						X							
563			X	X									
600								X				lié aux N / structure incertaine	Breeding et Shigley (2009)
637								X				NV-	Breeding et Shigley (2009) ; Hainscwang (2014)
662											X	Défaut Ni-N	Shigley et al. (1993)
680									X				
741						X						GR1 (lacune de carbone neutre)	Breeding et Shigley (2009) ; Hainschwang (2014)
Continuum décroissant		X			X	X	X	X	X	X	X	Continuum du centre C	Hainschwang (2014)