

**2007**



**DIPLÔME D'UNIVERSITÉ DE GEMMOLOGIE**

**Présenté**

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

**Par**

**Frédéric MOUTIER**

**Étude d'une collection de diamants  
Analyse – Classification – Identification**

Soutenu publiquement le 15 Octobre 2007  
au Département des Sciences de la Terre et de l'Univers  
devant la commission d'examen composée de :



**M. E. FRITSCH**

**M. B. RONDEAU**

**M. H. GARCIA-GUILLERMINET**

**M. F. NOTARI**

**M. B. LASNIER**

**Professeur**

**Maître de Conférences**

**Directeur du Laboratoire Français**

**de Gemmologie (LFG)**

**Directeur du GemTechLab**

**Professeur**

**Président**

**Examineur**

**Examineur**

**Examineur**

**Invité**

Remerciements.....	3
<b>I. <u>Introduction</u>.....</b>	<b>4</b>
<b>II. <u>Le diamant : généralités</u>.....</b>	<b>6</b>
1. Notions de Géologie .....	7
2. Le diamant dans les lamproïtes en Australie .....	7
3. Brève histoire de la géologie du Canada .....	8
4. Difficulté d'exploitation.....	10
A. <i>Morphologie cristalline</i> .....	10
1. Formes générales et autres formes .....	11
2. Les modes de croissance du diamant naturel.....	13
B. <i>Propriétés du diamant</i> .....	14
1. Propriétés mécaniques .....	14
2. Propriétés chimiques.....	15
3. Propriétés optiques.....	15
4. Propriétés vibrationnelles .....	16
5. Classification par types.....	17
6. Absorptions communes dans le diamant .....	19
<b>III. <u>L'origine de la couleur dans le diamant</u>.....</b>	<b>21</b>
1. Classification des diamants taillés .....	21
2. Classification des diamants bruts.....	22
3. Origine de la couleur des diamants naturels non traités .....	23
4. Classification de la couleur des diamants naturels non traités .....	25
5. Les diamants de couleur célèbres .....	28
<b>IV. <u>Les traitements du diamant et leur identification</u>.....</b>	<b>32</b>
1. Les traitements pour améliorer la pureté .....	32
2. Les traitements pour changer la couleur des diamants .....	32
a. Les "coatings".....	33
b. Les traitements par irradiation.....	33
c. Les traitements par chauffage.....	34
d. Chauffage à haute pression.....	36
3. Détection des traitements.....	37
<b>V. <u>Les diamants synthétiques</u>.....</b>	<b>40</b>
<b>VI. <u>Matériaux et méthodes d'analyse</u> .....</b>	<b>43</b>
A. <i>Matériaux</i> : description .....	43
B. <i>Méthodes</i> .....	46
1. Couleur.....	46
2. Microscopie.....	46
3. Luminescence aux UV .....	47
4. Imagerie de cathodoluminescence (MEB) .....	47
5. La spectrométrie d'absorption infrarouge .....	48
6. La spectrométrie d'absorption UV-Visible .....	49
<b>VII. <u>Résultats</u>.....</b>	<b>50</b>
1. Propriétés gemmologiques.....	50
2. Classification des diamants par types et sous types .....	52
3. Origine de la couleur.....	58
4. Les diamants bruns avec « amber center » .....	60
5. Les diamants riches en hydrogène et les diamants dits « caméléon ».....	60
6. Cathodoluminescence .....	68
<b>VIII. <u>Discussion</u> .....</b>	<b>70</b>
1. Traités ou de couleur naturelle ? .....	70
2. Caractéristiques des diamants de la mine d'Argyle en Australie.....	73
<b>IX. <u>Conclusion</u> .....</b>	<b>75</b>
<b>X. <u>Bibliographie</u>.....</b>	<b>76</b>

## REMERCIEMENTS

Cette recherche découle d'une grande aventure, celle de l'acquisition d'une collection de diamants. Suite aux conseils du professeur Emmanuel Fritsch, je décidai de commencer cette aventure.

Merci au professeur Emmanuel Fritsch d'avoir su me mettre à disposition un sujet sur le diamant, car ce travail, m'a permis de me familiariser avec les méthodes d'analyse de laboratoire. Un grand merci à Cédric Simonet pour son approche sur le terrain de la géologie des gemmes, et merci à Franck Notari pour ses cours qui m'ont permis de comprendre comment mettre une structure dans mon sujet de recherche, et enfin merci à tous les techniciens et ingénieurs de l'Institut des Matériaux Jean Rouxel, Université de Nantes, France (IMN) pour leur soutien et leur disponibilité.

Je tiens aussi à remercier Laurent Massi pour la spectrométrie infrarouge, ainsi que Stephanos Karampelas, tout particulièrement, tant pour sa générosité que pour ses nombreux conseils sur l'interprétation des spectres et enfin de très vifs remerciements au Dr. Benjamin Rondeau pour la relecture de mon travail.

Je tenais également à remercier Yves Morrier du cabinet d'expertise "Les Gemmologistes-associés" (LGA) à Montréal au Canada, pour m'avoir permis de m'absenter de mes fonctions de gemmologue et évaluateur au sein de son cabinet durant les semaines du DUG.

Avant de conclure ce chapitre, merci à ma promotion de DUG année 2005 – 2006, pour leurs grandes convivialités, qui pour moi était fort apprécié car à cette époque je résidais au Canada.

Et enfin merci à vous membres du jury.

## II – Le DIAMANT : généralités



**Figure 1** : Un diamant rond brillant.

L'origine du mot diamant est reliée à sa grande dureté. Du grec adamas, qui signifie indomptable, la dureté du diamant est sans égale et, de ce fait, le diamant semble impérissable. C'est d'ailleurs cette propriété qui est l'origine du slogan publicitaire « Un diamant est éternel ». On connaît le diamant depuis très longtemps et ceci à travers de multiples civilisations (figure 1).

Considérant que les cristaux de diamant sont formés par la répétition et l'empilage dans les trois directions de l'espace d'atomes de carbone il est possible de comparer cet empilement à des tétraèdres dont le centre concentrerait la masse de l'atome et chacun des quatre sommets comporte un électron. Chacun de ces atomes est lié aux autres par des liaisons très fortes et très courtes où chaque atome met un de ses électrons en commun avec un autre atome. Ces liaisons sont dites « covalentes » (Collins, 1982) et chaque centre atomique n'est séparé de son voisin immédiat que par une distance de 1,54 Angstrom (0,000.000.154mm).

C'est en 1793 que Lavoisier découvrit la composition du diamant. Le diamant est composé seulement de l'élément carbone C (Hershey, 1940; Bruton, 1978), avec parfois des traces d'azote (jusqu'à 0,20%) et autres impuretés. Il diffère néanmoins des autres formes de carbone, tel le graphite ou les nanotubes, par sa structure cristalline.

Le diamant est surtout connu pour son utilisation en bijouterie, mais on le retrouve dans de nombreuses applications de haute technologie, grâce à ses propriétés électriques et thermiques qui en font un matériau de choix pour de multiples applications en électronique.

La connaissance croissante de la formation des diamants et les nouvelles inventions technologiques ont donné naissance à la production des diamants synthétiques.

## **1. Notions de Géologie**

Pour que le carbone devienne du diamant (figure 2), il faut que les conditions de pression et de température soient très élevées, entre 45 et 60 kbar, et entre 900°C et 1300°C (Gillet, 2002), ainsi qu'à de grandes profondeurs souterraines, entre 150 et 200 kilomètres (Field, 1992; Sautter et al., 2002). Cependant suite à l'analyse de certaines inclusions il a été démontré que parfois les profondeurs peuvent être supérieures allant jusqu'à 400 kilomètres, voire 2900 km.



**Figure 2** : Un lot de diamants bruts.

Les multiples concours de circonstances nécessaires à l'acheminement des diamants vers la surface de la Terre expliquent que les gisements diamantifères se retrouvent à la surface des plus anciens continents, on parle de cratons archéens, dont l'âge est supérieur à 2,5 milliards d'années. Les diamants sont de vieux minéraux dont l'âge pour la plupart se situe entre 1 et 3,3 milliards d'années (Koivula, 2000).

La kimberlite et la lamproïte sont des roches d'origine ignée, elles sont appelées roches ascenseur, elles proviennent des profondeurs du manteau terrestre. Ces deux roches ne sont pas responsables de la formation du diamant mais seulement de son transport vers la surface. Les diamants se forment ailleurs, dans d'autres roches : les péridotites et les éclogites (Harris, 1992). Les gisements de kimberlite et de lamproïte sont des gisements primaires qui se présentent sous forme de cheminées volcaniques. Les gisements primaires sont les « roches mères » qui sont hôtes du diamant, tandis que les gisements secondaires résultent de l'érosion de ces roches et de la concentration des diamants libérés dans des roches ou dans des dépôts spécifiques.

## **2. Le diamant dans les lamproïtes**

Il est possible de trouver des diamants bruns dans tous les pays producteurs de diamants de cette planète, mais l'Australie concentre à elle seule une grande partie de la production.

Nous nous intéressons tout particulièrement à la lamproïte d'Argyle car nous avons de fortes suspicions sur le fait que cette collection pourrait provenir d'Australie, du fait de nos nombreuses questions posées lors de la vente.

Les diamants ont été découverts non pas dans une kimberlite, mais dans une roche volcanique cousine, la lamproïte, plus potassique. Cette roche est composée de lave alcaline (riche en K) constituée de sanidine, leucite, phlogopite, diopside.

Le bouclier australien qui, comme le bouclier brésilien, se détacha du continent sud-africain lors du morcellement des continents, est un terrain propice aux kimberlites diamantifères. C'est en 1950 que démarre véritablement la prospection et que des études géologiques sont entreprises dans la région de Kimberley, située

dans la partie Nord-Ouest du continent. Ces études aboutiront à la découverte du champ diamantifère d'Argyle au début des années 1980 (figure 3). En moins de dix ans, la production de la mine Argyle a atteint 30 millions de carats, ce qui représente le tiers de la production mondiale. Sur ces 30 millions de carats, seulement 5% sont de qualité gemme. La majorité de la production en diamant gemme est constituée par des diamants présentant une teinte brune.



**Figure 3** : Vue aérienne de la mine Argyle 7 en Australie, gisement AK 1. Février 1999.  
Photo : mining-technology.com.

### **3. Brève histoire de la géologie du Canada**

L'histoire de l'industrie canadienne du diamant a débuté il y a environ cent ans lorsque les géologues ont commencé pour la première fois à analyser des cristaux recueillis aux abords des grands Lacs, plus précisément à l'Ouest du lac Michigan, dans l'Etat du Wisconsin. Après différentes recherches géo-scientifiques et d'exploration, les géologues ont conclu que les diamants bruts ne provenaient pas du secteur où ils avaient été trouvés. La question de la provenance se posa. Aucune cheminée de kimberlite ne se trouvant à proximité, il fallut bien se pencher sur l'hypothèse d'un quelconque mode de transport.

Quel a été le mécanisme responsable du mode de transport, voilà une énigme pour laquelle les géologues ont dû se référer à la géologie du Quaternaire, afin de comprendre le déroulement de l'histoire géologique du Canada. En s'appuyant sur des données reliées à la dernière grande glaciation il y a de cela environ 20 000 ans, les scientifiques ont pu reconstituer le déroulement de ces événements.

Grâce aux travaux des géologues Charles Fipke et au Dr. Stewart Blusson, le Canada a transformé son paysage économique, permettant ainsi l'ouverture d'une première mine se situant dans les territoires du Nord Ouest, la mine Ekati (Ekati Diamond Mines).

Puis vient le tour d'une deuxième mine, se situant non loin de la première, la mine Diavik (Diavik Diamond Mines). Avec seulement deux mines en exploitation, le Canada est le troisième plus important producteur de diamants « en valeur » et le sixième « en quantité », derrière le Botswana et la Russie (Rapport Diamond Report, juillet 2005).

Le Canada repose sur un immense craton, qui lui-même constitue le noyau du continent nord-américain. Un craton est une partie rigide de la croûte terrestre qui est ancienne et stable. Les kimberlites découvertes font partie du bouclier canadien, la plus ancienne formation géologique de l'ère du Précambrien, et ils se sont formés entre 1,8 à 2 milliards d'années. Le paysage canadien a été façonné par le passage de deux grands glaciers ayant recouvert la majeure partie du Canada et le Nord-Est des Etats-Unis. On trouve des traces de l'avancée glaciaire aussi loin qu'à New York et Cape Cod dans le Massachusetts. Il y a environ 18 000 à 4000 ans, presque tout le Canada était recouvert de deux calottes glaciaires.

A la fin du Wisconsinien supérieur, une phase de réchauffement climatique s'amorce dans tout l'hémisphère Nord, c'est le début de la fonte. Les connaissances sur les mouvements des glaciers indiquaient que l'origine probable de ces diamants était située dans les basses terres de la Baie James.

A cette ère l'avancée des glaciers provoqua le transport des roches du substratum sur de longues distances ; ainsi les diamants trouvés aux abords des Grands Lacs ont été transportés par les glaciers depuis les basses - terres de la Baie James, il y a de cela, quelques milliers d'années.

Le déplacement provoqua une érosion préférentielle de la kimberlite, roche moins dure que les roches granitiques, qui constituent le Bouclier canadien. Ainsi, la plupart des cheminées sont aujourd'hui enfouies sous les lacs et de nombreux fragments de kimberlite ont été transportés plus loin. Suite à des prélèvements des traces laissées sur le terrain par les glaciers, il est possible de parcourir à l'inverse le chemin emprunté par ceux-ci et ainsi de remonter à la source des diamants, c'est à dire la cheminée qui les a fait remonter du manteau terrestre.



Ainsi, plus on se rapproche du pipe de kimberlite, plus le nombre d'échantillons de kimberlite augmente. Les cristaux de diamant ont été trouvés dans des dykes (filons de roches éruptives mises en relief par l'érosion) de kimberlites.

**Figure 4** : Vue aérienne de la mine Ekati, cheminée Panda (Canada, 2006). Photo : bhpbilliton.

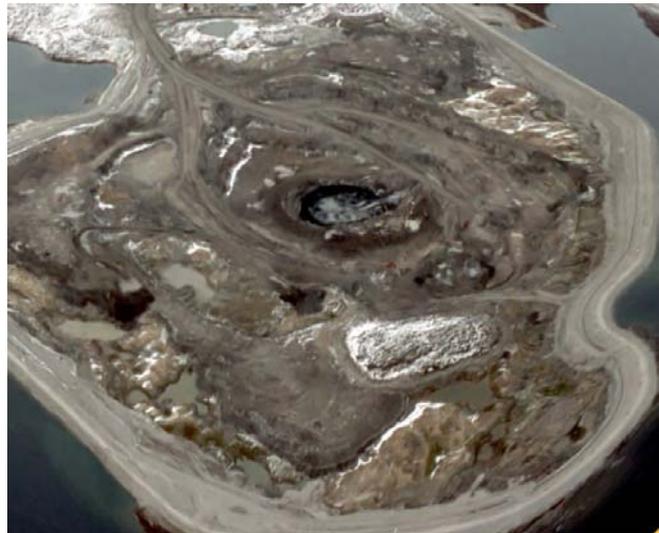
#### **4. Difficulté d'exploitation**

Le Canada compte actuellement deux mines d'exploitation diamantifère. Elles sont situées dans le secteur du lac de Gras, dans les territoires du Nord-Ouest (figure 4 et 5).

Dans ces zones, les conditions climatiques sont extrêmes. Le territoire est couvert d'une importante couche de glace et de neige et ceci plus de huit mois par année. Les températures descendent jusqu'à  $-45^{\circ}\text{C}$  pendant la saison hivernale. A cette température il convient de se protéger la peau de la congélation. En plus, le soleil franchit difficilement la ligne d'horizon de la mi-décembre à la fin janvier.

Les méthodes de prospection utilisées de nos jours par les compagnies canadiennes d'exploration sont tout à fait classiques. Les relevés géophysiques aéroportés, l'échantillonnage de sédiments glaciaires et l'analyse des éléments en traces dans les minéraux indicateurs font partie de toute recherche d'exploration diamantifère.

Il y a actuellement près de 600 cheminées kimberlitiques identifiées sur le territoire canadien. Parmi ces cheminées près de la moitié sont diamantifères, cependant toutes ne sont pas commercialement rentables. La majorité de ces cheminées ont été découvertes au cours des 20 dernières années.



**Figure 5** : Vue aérienne de la mine Diavik (Canada 2006).  
Photo : bhpbilliton.

#### **A. Morphologie cristalline**



La forme ou "morphologie", des cristaux de diamants, révèle à la fois leur croissance et leur histoire géologique. La forme la plus courante du diamant est l'octaèdre (figure 6).

C'est en examinant les mécanismes de croissance du diamant que nous verrons quelles sont les formes cristallines que l'on retrouve le plus souvent.

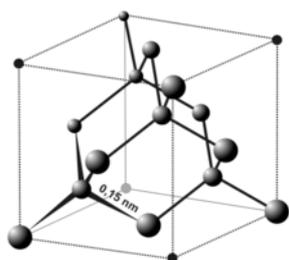
**Figure 6** : Un octaèdre de diamant brut, il présente des faces lisses et des arêtes vives c'est un "glassie".

C'est en 1870, suite à la découverte d'une roche volcanique diamantifère en Afrique du Sud "la kimberlite", que s'amorça le débat sur l'origine du diamant. Lors du mécanisme de croissance du cristal, soumis à de la dissolution, la forme des cristaux va être modifiée, en s'arrondissant, et en laissant apparaître des trigones sur la surface des cristaux.

Les géologues tirèrent la conclusion suite aux analyses effectuées sur les motifs internes du diamant naturel, qui sont les témoins de la croissance du cristal et de son évolution, que ces formes particulières sont dues à la dissolution de carbone lors de la remontée des diamants vers la surface. Néanmoins d'autres altérations expliquent la diversité des formes cristallines du diamant, comme des cassures, des clivages et des déformations produites durant le séjour du diamant dans le Manteau Terrestre.

## 1. Formes générales et autres formes

Dans un minéral cristallisé, les atomes se disposent régulièrement. Un tel minéral possède des directions privilégiées qui lui donnent des propriétés bien définies. Il se présente sous forme polyédrique susceptible de définition géométrique.



Dans le diamant, chaque atome de carbone est lié à quatre voisins par des liaisons covalentes. Cette structure est un réseau tridimensionnel de tétraèdres dont les sommets sont partagés avec les tétraèdres voisins (figure 7). On distingue trois types de faces qui peuvent être régulières ou non, octaédriques, dodécaédrique et cubiques qui sont notés (111), (110) et (100), ce qui est déduit des coordonnées de ces faces par rapport à la maille élémentaire considérée (Sautter et al, 2002).

**Figure 7 :** Maille élémentaire d'un cristal de diamant.  
Source : wikipédia.

Le diamant cristallise dans le système cubique et ses formes cristallines sont nombreuses. On retrouve le plus souvent ces formes (tableau 1) :

Formes	Nb de faces	Nb d'arêtes	Nb de sommets
Cube	6	12	8
Octaèdre	8	12	6
Rhombododécaèdre	12	24	14
Tétrahexaèdre	24	?	?
Trapézoèdre	24	?	?
Trioctaèdre	24	?	?
Hexoctaèdre	48	?	?

**Tableau 1 :** Les formes les plus fréquentes du diamant brut naturel.

Ces différentes formes sont dérivées de la structure de base du cube à la suite de la troncature des arêtes ou des sommets. Le diamant se présente sous trois formes cristallines principales dont la plus fréquente est celle de l'octaèdre, suivie de celle du dodécaèdre, puis de celle du cube ou bien une combinaison entre-elle.

L'octaèdre est sans doute la forme la plus fréquente du diamant sous sa forme brute (naturel et synthétique). Il est la forme dérivée du cube tronquant chacun de ses sommets. Certains octaèdres ont des faces lisses et planes comme celles d'un miroir et possèdent, parfois, à leur surface, de petites figures particulières appelées « trigons » en creux. Ce sont de petites marques cristallines externes, parfois visibles à l'œil nu, en forme de triangle équilatéral, strictement alignées et dirigées dans le même sens. Leur base est toujours orientée vers le sommet de la face de l'octaèdre sur laquelle ils se trouvent. La forme parfaite de l'octaèdre serait le résultat d'une croissance lente. Dans le cas où cette croissance aurait été perturbée, l'octaèdre présente des faces en lamelles empilées, des arêtes concaves comme des gouttières, ainsi que des trigones, mais plus grands.

Le rhombododécaèdre qui présente des arêtes et des faces courbes losangées soit, en somme, les 6 pointes de l'octaèdre plus 8 pointes surélevées de la croissance sur les faces triangulaires du plan de clivage. Cette morphologie est due à la dissolution du diamant (Moore, 1985).

D'autres formes cristallines moins fréquentes peuvent se rencontrer, comme le trioctaèdre qui a une pyramide sur chaque face octaédrique ou bien l'hexoctaèdre qui est très rare et qu'on trouve principalement en Inde. Ces formes sont dues à la dissolution du diamant.

On retrouve aussi des formes cristallines inhabituelles dont une partie de la pierre est un octaèdre et l'autre partie, un dodécaèdre (Sunagawa, 1995).

Ci-dessous nous allons citer les formes cristallines inhabituelles du diamant :

- Emboîtement de tétraèdres dans un octaèdre.
- Combinaisons entre des différentes formes naturelles de cristallisation du diamant.
- Formes maclées : lors de leur formation, deux ou plusieurs cristaux distincts se trouvent réunis par une surface de cristallisation commune et sont accolés les uns aux autres ou s'interpénètrent.
- Le bort, ou boart : cristallisation confuse, aux formes arrondies, sans clivage net principalement de couleur noire ou grise.
- Le shot bort : de forme sphérique, à structure radiée et de qualité tenace.
- Le carbonado : se présente sous forme d'un agglomérat de petits cristaux noirs ou gris, à reflet métallique, légèrement poreux, ressemblant à du ciment ou à de la cendre.
- La framésite qui est un bort noir, plus tenace.
- La stewartite qui est un bort contenant de la magnétite.

## 2. Les modes de croissance du diamant naturel

Selon Rondeau et al., 2005, les différents modes de croissance du diamant naturel sont :

- La croissance octaédrique lente à faces planes

Elle produit des diamants en forme d'octaèdre, la croissance est lente, elle se fait par dislocations-vis et développe des faces bien planes à arêtes vives. Elle a lieu quand la force motrice est faible (figure 8).

**Figure 8** : Un cristal de diamant brut, échantillon (fm01).  
Grossissement x30, sous sa forme octaédrique,  
on distingue des zones de croissance parallèles.



- La croissance octaédrique rapide, fibreuse

Quand la force motrice devient importante, la cristallisation par dislocation-vis n'est plus assez efficace, la croissance fibreuse se met alors en place : le diamant est constitué de fibres parallèles accolées, chaque fibre étant un octaèdre très étiré dans une direction (figure 9).



**Figure 9** : Forme globale d'un cristal de diamant entièrement fibreuse.  
Photo : internet.

- La croissance cuboïde lente, à faces planes ondulées

Dans certaines conditions, encore mal comprises (probablement lorsque la teneur en hydrogène dans le milieu est très forte), le diamant développe des faces du cube ondulées : le cuboïde. On n'a pas encore réussi à produire en laboratoire ce mode de croissance (figure 10).



**Figure 10** : Un diamant cuboïde aux faces et arêtes irrégulières. Photo : internet.

- Les diamants "Coated"

Il s'agit de cristaux qui montrent une couche externe de diamant fibreux, opaque, qui recouvrent un cœur de diamant octaédrique à croissance lente, gemme.

- Combinaison synchrone de deux modes de croissance : croissance mixte et dissolution "les diamants astériés"

Il arrive dans la nature que le diamant développe simultanément des faces dans des directions du cuboïde et de l'octaèdre : la forme externe, quand elle n'est pas dissoute, est alors celle d'un cuboïdoctaèdre. Ces diamants sont dits à habitus mixte (Susuki & Lang, 1976). Ce phénomène est très rare, il se produit dans un diamant sur quelques milliers et passe le plus souvent inaperçu, quand le diamant cuboïde est incolore ou presque. Cependant, quand les secteurs cuboïdes sont plus foncés que les secteurs octaédriques, un phénomène spectaculaire se produit : une étoile fixe à trois ou six branches apparaît au cœur du diamant. Ce sont les diamants astériés.

## **B. Propriétés du diamant**

Les propriétés d'un solide dépendent de l'arrangement de ses atomes et de la manière dont ils sont liés entre eux. Les liaisons atomiques du diamant étant très courtes et puissantes expliquent l'une de ses principales caractéristiques, sa dureté.

On peut observer que le graphite, également composé de carbone, est cependant un minéral tendre car, bien que ses atomes soient fortement assemblés en couches planes, ces couches sont faiblement liées entre elles et très éloignées les unes des autres, glissant facilement l'une sur l'autre, ceci explique les propriétés lubrifiantes des graisses graphitisées.

La densité du diamant est en moyenne de 3,52. Cependant elle varie selon sa teneur en éléments en trace et en inclusions. Ainsi, on trouve une densité de 3,54 pour certains diamants provenant d'Australie.

### **1. Propriétés mécaniques**

Sur l'échelle de Mohs (échelle qualitative), le diamant a une dureté de 10 (Jacobs et Chatrian, 1884; Bardet, 1973; Bruton, 1978; Wilks et Wilks, 1991; Field, 1992). Cette échelle de dureté 1 à dureté 10, repose sur le principe que toute substance d'une dureté donnée peut en rayer une autre dont la dureté est moindre et qui à son tour peut être rayé par une substance de dureté plus élevée.

L'échelle de Mohs pourrait donner une fausse idée de la dureté des matériaux si l'on oubliait sa nature strictement qualitative et semblerait indiquer que le diamant est à peine plus dur que le corindon (9) et deux fois et demi plus dur que le lapis lazuli. En réalité le diamant est plusieurs centaines de fois plus dur que le corindon. L'extraordinaire résistance à l'usure et à la rayure du diamant, peut cependant varier selon la provenance

géographique et selon sa couleur, les diamants de couleur étant, en général, moins durs que les diamants incolores.

Pour exemple selon l'échelle quantitative de dureté par résistance à l'usure, qui mentionne une dureté de 1000 pour le corindon, et 140000 pour le diamant. Cette extraordinaire dureté du diamant nous permet de comprendre pourquoi il est si difficile et si complexe de le travailler, du fait qu'il n'existe aucune matière plus dure que lui.

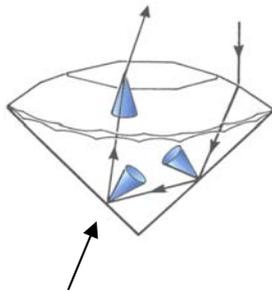
## 2. Propriétés chimiques

Le diamant chauffé au rouge à l'aide d'un chalumeau, voit sa surface devenir d'un blanc laiteux. Un repolissage lui redonne tout son éclat. Si on le chauffe trop, le diamant peut brûler complètement.

Des essais en laboratoire ont montré que si l'on chauffe un diamant dans une atmosphère pauvre en oxygène à 1400 degrés C° pendant deux heures, il brûle entouré d'une flamme très vive. En atmosphère riche en oxygène, il brûle à 800 – 850 degrés C°.

A 1800 degrés C°, il se transforme en graphite ; éclate à 1900 degrés et se sublime à 3500 degrés C°. Il est inattaquable aux acides et aux alcalis, sauf au nitrate de potassium (IGI, étude du diamant brut.).

## 3. Propriétés optiques



Le diamant possède un indice de réfraction élevé de l'ordre de 2,417 (Hershey, 1940; Tolansky, 1962; Bardet, 1973; Harlow, 1998) en lumière jaune (figure 11). Il possède également un pouvoir réflecteur très fort, celui ci dépend directement de l'indice de réfraction. Il varie aussi selon l'angle incident formé par le rayon lumineux par rapport à la normale à la surface du diamant. Plus le rayon lumineux s'en approche et plus le pourcentage du pouvoir réflecteur augmente.

Les triangles représentent les angles critiques.

**Figure 11** : La réflexion et la réfraction de la lumière visible dans un diamant taillé.

La dispersion forte: 0,044 de la lumière blanche à travers un diamant taillé provoque le scintillement des "feux" du diamant. Ce phénomène est causé par la variation de l'indice de réfraction selon les différentes longueurs d'ondes de la lumière visible.

Le diamant appartenant au système cubique et donc théoriquement isotrope, est de ce fait uniaxial, mais lorsqu'on examine un diamant au polariscope on observe le plus souvent une double biréfringence, dite anormale, due à des tensions internes dans sa structure.

Lorsqu'on expose un diamant sous une lumière ultraviolette, il va émettre une fluorescence de couleur bleue, le plus souvent. Cependant d'autres couleurs de fluorescence peuvent se manifester tel que le jaune, orange, vert, et

plus rarement le rouge (Collins, 1982). Plus rarement observable une phosphorescence qui peut durer quelques secondes à quelques minutes (plusieurs heures, rares) (Tolansky, 1962).

#### 4. Propriétés vibrationnelles

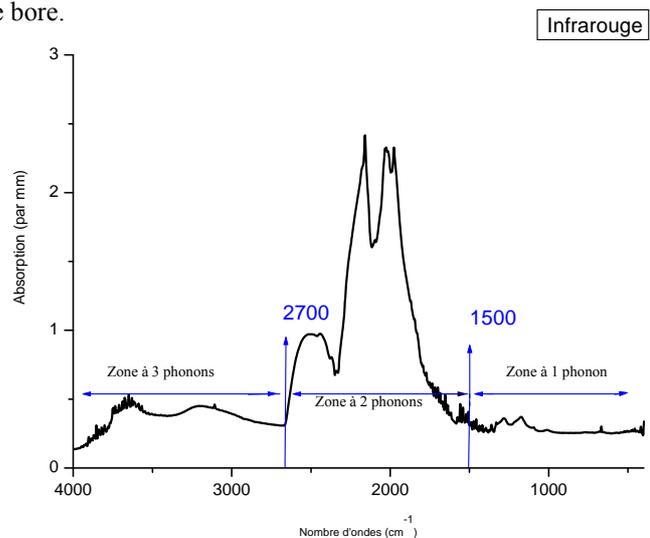
Nous allons ci-dessous citer les propriétés vibrationnelles du diamant en diffusion Raman et en absorption infrarouge (IR).

- Spectre Raman du diamant : un diamant pur, sans impureté ou sans défaut cristallin, présente une seule raie fine à 1332  $\text{cm}^{-1}$  avec une largeur totale à mi-hauteur de 1,5  $\text{cm}^{-1}$  et parfois beaucoup plus.

(Knight & White, 1989). Cette raie va permettre de distinguer rapidement le diamant de ses imitations (Moissanite synthétique, Y.A.G, etc...).

- Spectre infrarouge (IR) du diamant : le spectre est subdivisé suivant le nombre de phonons qui interviennent lors des transitions vibrationnelles (figure 12). Dans le réseau cristallin, certains éléments ou molécules présents en trace vont provoquer leurs propres bandes qui vont se superposer au spectre du diamant pur.
- Zone à un phonon : elle s'étend de 400 à 1500  $\text{cm}^{-1}$  ; du fait de la symétrie, les absorptions dans la zone à un phonon sont interdites en infrarouge, alors qu'elle est permise en Raman. Cette zone est aussi appelée « zone des défauts » ou « région de l'azote ». Les défauts présents au sein du réseau cristallin, sont responsables des signaux observés.
- Zone à deux phonons : elle est comprise entre 1500 et 2700  $\text{cm}^{-1}$  environ, on y observe les bandes d'absorption intrinsèques du diamant.
- Zone à trois phonons : elle s'étend de 2700 à environ 3900  $\text{cm}^{-1}$ . On y observe des absorptions liées à des impuretés, en particulier l'hydrogène, le bore.

**Figure 12** : Spectre infrarouge d'un diamant obtenu à température ambiante, illustrant les zones à phonons.



## 5. Classification par types

Nous allons définir ci-dessous sous forme de tableau (résumé), les différents défauts utilisés pour classer les diamants par types (tableau 2) :

Agrégats A : association de deux atomes d'azotes substitués à des atomes de carbone (Woods, 1992, Davies, 1976). Centre actif en infrarouge et inactif dans le visible.
Agrégats B : association de quatre atomes d'azote autour d'une lacune de carbone (Woods, 1992). Centre actif en infrarouge et inactif dans le visible.
Centre C (ou centre N) : un atome d'azote remplace un atome de carbone en laissant une liaison insaturée (Woods, 1992). Centre actif en infrarouge et dans le visible.
Lacune (V) : représente l'absence d'un atome de carbone, laissant ainsi 4 liaisons insaturées. Peut être créée par une irradiation naturelle ou artificielle. Centre actif dans le visible.
Centre N-V : représente l'association d'un atome d'azote (centre N) avec une lacune (V), sur deux sites carbonés adjacents. Centre actif dans le visible.
Centre H3 : représente l'association d'un agrégat A avec une lacune, laissant deux liaisons pendantes (Bursill et Glaisher, 1985). Centre actif dans le visible.
Centre H4 : représente l'association d'un agrégat B avec une lacune (Collins, 1982a). Ce centre ne présente pas de liaison insaturée. Centre actif dans le visible.
Centre N3 : représente un agrégat formé de trois atomes d'azote substitués, entourant une lacune de carbone (Bursill et Glaisher, 1985). Centre non détectable en infrarouge, actif dans le visible.
Plaquettes : représentent l'association d'azote et de carbone sous forme d'un défaut plan étendu selon (100). Ces diamants sont très riches en azote. La taille des plaquettes peut varier de quelques nanomètres à quelques micromètres. Centre actif en infrarouge (Woods, 1992).

**Tableau 2** : Nomenclature des défauts azotés du diamant.

Les propriétés spectrales des diamants (dans l'ultraviolet et dans l'infrarouge), ont permis de les diviser en deux catégories, les diamants de Type I (Ia et Ib) et Type II (IIa et IIb) (Robertson et al.1934).

Ce classement en catégories se base sur le principe qu'un diamant de type I contient de l'azote, il n'est pas transparent aux UV courts, tandis que le type II (diamants dépourvus d'azote) l'est jusqu'à environ 230 nm (Fritsch, 1992). Les diamants de type I montrent des absorptions typiques des défauts azotés dans la zone des défauts, alors que les diamants de type II ne montrent pas ces absorptions. Il existe également des sous catégories de type IaA, IaB, IaAB, celles-ci font référence aux agrégats A et B, qui sont identifiables en spectrométrie d'absorption infrarouge.

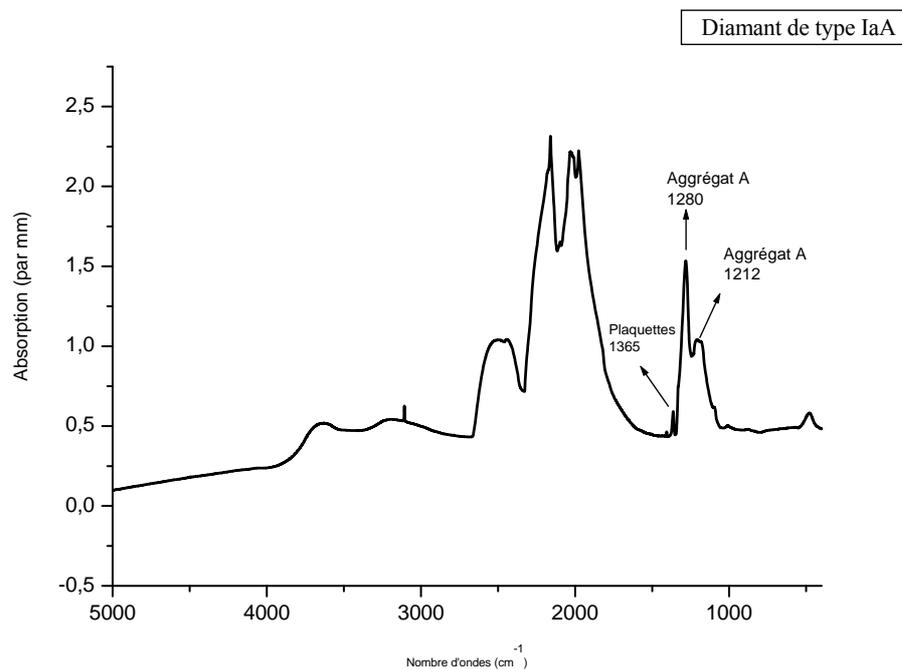
- Type Ia : série "Cape", la grande majorité des diamants naturels appartient à cette catégorie. Ils présentent une couleur jaune qui est causée par un centre N3. Ce sont des imperfections dans ce cas d'azote dans la structure cristalline, un défaut qui est lié à une irradiation naturelle ou provoquée par l'homme (traitements).

Le centre N3 se caractérise par une absorption à zéro phonon (415nm), et montre une structure vibronique dans le visible. Cet agrégat n'est pas actif en infrarouge, contrairement aux agrégats A et B.

Les couleurs des diamants de cette série "Cape" vont de l'incolore au jaune.

#### Les sous catégories des diamants du type Ia :

- Type IaA : contient principalement des agrégats A, caractérisés par un pic principal en spectrométrie d'absorption à  $1280\text{ cm}^{-1}$ . La majorité des diamants naturels de qualité gemme sont classifiés dans ce type, exemple (figure 13).



**Figure 13 :** Spectre infrarouge d'un diamant brun jaune clair de type IaA, référence fm13.

- Type IaB : contient des agrégats B caractérisés par un pic principal en spectrométrie d'absorption à  $1180\text{ cm}^{-1}$  et une fine bande à  $1340\text{ cm}^{-1}$  (Clark et al. 1992). En plus des agrégats B, les diamants de Type IaB peuvent contenir des plaquettes.
- Type IaAB : beaucoup de diamants peuvent présenter à la fois des agrégats d'azote A et B, on les nommera diamants IaAB incluant les symboles « > » ou « >> », cela dans le but de faire la distinction entre les défauts en se basant sur le principe que l'un est majoritaire par rapport à l'autre.

Les diamants du type Ib : "Canari", très rares (0,1% étant le chiffre le plus souvent cité ; Woods, 1992). La plupart des diamants synthétiques sont de ce type.

Ces diamants montrent une couleur jaune qui est provoquée par des impuretés d'azote isolées, un atome d'azote N (5 électrons) remplace un atome de carbone C (4 électrons), dans la structure cristalline; l'azote a donc un électron supplémentaire, c'est un donneur d'électrons.

Cet atome va favoriser une absorption de la lumière visible de l'ultraviolet au vert (560nm). Les couleurs jaune à rouge sont transmises. L'intensité de la couleur dépend de la concentration d'azote.

- Type IIa : ces diamants ne contiennent pratiquement pas d'impuretés d'azote. Ils sont très rares. Ce type de diamant est dit « pur », isolant électrique, incolore.
  
- Type IIb : présence de l'élément bore B.

Dans ce type de diamant un atome de bore B (3 électrons) remplace un atome de carbone C (4 électrons), il y a une défaillance d'électron, le bore est alors un accepteur d'électron. Une faible énergie est suffisante pour que la bande de valence aille jusqu'au bore. L'atome de bore, lui, a un large niveau d'énergie ce qui crée une absorption de la lumière infrarouge, jusqu'au vert d'où une couleur résiduelle bleue. L'intensité de la couleur dépend de la concentration en bore.

#### Cas particuliers :

Diamant de type IaAB + Ib : on les appelle également « ABC », ils contiennent à la fois des agrégats A, des agrégats B et des centres C (Hainschwang et al., 2006).

Des diamants qui ne présentent ni, un spectre de type I ou II ont été nommés du « 3<sup>ème</sup> type » (Fritsch, 2003), en se caractérisant dans la zone à un phonon. Les absorptions dans cette zone ne sont pas liées aux agrégats A ni B, ni au centre C. Cette détermination est essentiellement utilisée pour une question de commodité de langage.

## **6. Absorptions communes dans le diamant**

Ci-dessous nous allons citer les absorptions infrarouges et UV visible connues et identifiées dans la littérature, qui nous serviront de référence tout au long de cette étude :

Source: Woods et Collins, 1982; Woods, 1984; Woods et Collins, 1986; Zaitsev, 2001; Respingier, 2006.

➤ Absorptions communes en infrarouge :

- 482  $\text{cm}^{-1}$  : absorption liée aux agrégats A.
- 754  $\text{cm}^{-1}$  : absorption liée aux agrégats B.
- 780  $\text{cm}^{-1}$  : absorption liée aux agrégats B.
- 1010  $\text{cm}^{-1}$  : pic subsidiaire des agrégats B. Corrélié à l'absorption à 1174  $\text{cm}^{-1}$ , et l'épaule à 1100  $\text{cm}^{-1}$ .
  
- 1130  $\text{cm}^{-1}$  : absorption liée au centre C.
- 1180  $\text{cm}^{-1}$  : la ligne la plus intense de l'absorption de l'agrégat B.
- 1212  $\text{cm}^{-1}$  : absorption liée aux agrégats A.
- 1282  $\text{cm}^{-1}$  : le pic le plus intense de l'absorption à un phonon de l'agrégat A.
- 1332  $\text{cm}^{-1}$  : une absorption fine à la fréquence du Raman; induite par les agrégats B.
- 1344  $\text{cm}^{-1}$  : absorption lié au centre C.

Entre 1358 et 1380  $\text{cm}^{-1}$  : absorptions liées aux plaquettes.

- 1405  $\text{cm}^{-1}$  : mode de déformation de la vibration carbone-hydrogène.
- 1450  $\text{cm}^{-1}$  (H1a) : Absorption due à une liaison carbone et azote C-N.
- 2786  $\text{cm}^{-1}$  : première harmonique de la déformation angulaire.
- 3107  $\text{cm}^{-1}$  : absorption liée à l'hydrogène (Fritsch et al. 1991a). Elongation de la liaison C-H.
  
- 3237  $\text{cm}^{-1}$  : liaison N-H.
- 4168  $\text{cm}^{-1}$  : absorption liée à l'hydrogène (Fritsch et al. 1991a).
  
- 4496  $\text{cm}^{-1}$  : combinaison de l'élongation et de la déformation angulaire.
- 4940  $\text{cm}^{-1}$  (H1b) : absorption lié aux agrégats A.

• Absorptions communes en UV Visible

- 415 nm : centre N3.
- 477,6 nm : centre N2.
- 496 nm : centre H4.
- 503 nm : centre H3.
- 575 nm: centre N-V°. Il laisse trois liaisons pendantes.
- 595 nm: on retrouve cette absorption dans les diamants de type Ia irradiés et chauffés à environ 800°C (Collins, 1982) pour créer des pierres jaunes ou orange, et dans les diamants de type Ib.
  
- 637 nm: centre NV<sup>-</sup>, chargé négativement.
- 741 nm: GR1. Il est présent dans les diamants suite à une irradiation qu'elle soit naturelle ou artificielle.

### III – L'ORIGINE DE LA COULEUR DANS LE DIAMANT

#### 1. Classification des diamants taillés

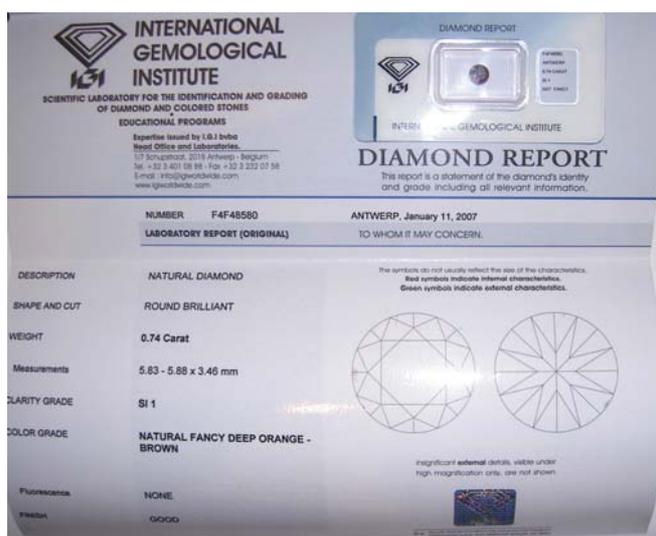
La valeur d'un diamant n'est pas aléatoire, elle est basée sur des normes bien définies reconnues internationalement. C'est ce que l'on nomme les 4C, poids, pureté, couleur, taille, qui font référence aux 4C : Carat - le poids; Color - la couleur; Clarity - la pureté; Cut - la taille. On se sert de ces mêmes critères pour les diamants bruts, tout en gardant à l'esprit qu'il va nous falloir extrapoler sur certains critères tels la pureté et couleur. Il existe cependant plusieurs échelles ou modèles de classification : Gemological Institute of America (GIA), Confédération International de la Bijouterie, Joaillerie, Orfèvrerie des Diamants, Perles et Pierres (CIBJO), American Gem Society (AGS), etc..., les notions cités dans ses différents modèles sont sensiblement les mêmes, tout dépend du pays (culturel).

Les critères gemmologiques qui seront fondamentaux pour attribuer une valeur (en termes de prix) à la pierre sont :

- **Le poids**
- **La pureté**
- **La couleur**
- **La taille : les proportions et le fini**
- **La fluorescence**

Ces critères sont retranscrits sur papier sous forme de certificat, donnant ainsi une carte d'identité à la pierre, en voici un exemple (figure 14).

**Figure 14** : Exemple d'un certificat de l'International Gemological Institute (IGI) avec son scellé.



Le Gemological Institute of America (GIA), dans les années 1950, a développé une échelle de classification de la couleur pour des diamants dans la gamme des incolores ou presque. L'échelle s'étend de D qui est totalement sans couleur à Z qui est une couleur pâle jaune ou brune. Des diamants bruns plus sombres que le grade K seront décrits en employant leur catégorie de lettre et une expression descriptive. Les diamants entre K - M sont gradués avec l'expression brun faible, N - R est un brun très clair et S - Z est gradué brun clair. Un brun avec le grade S sera gradué brun léger. Les diamants avec plus de profondeur de couleur que le grade Z seront classés dans la catégorie des diamants "fantaisie".

La couleur peut aussi être déterminée en employant un dispositif appelé le "Gran Colorimètre", fabriquée par des Technologies Sarin, il mesure de D à Z.

## **2. Classification des diamants bruts**

Après l'extraction, les diamants bruts sont vendus sous forme de lots. Auparavant, ils sont triés pour le clivage, le sciage, la taille, ou l'industrie. On classe habituellement le diamant brut en 3 catégories selon IGI d'Anvers :

Le diamant de qualité gemme est utilisé en joaillerie, les pierres de plus de 1 carat, seront nommés « stone ».

- Dans cette catégorie on retrouve :
- les pierres closed
  - les pierres spotted
  - les pierres maclées
  - les pierres irrégulières
  - les pierres clivables
  - les pierres enrobées
  - les pierres givrées
  - les pierres laiteuses
  - les blocks
  - les plats
  - les chips
  - les sands
  - les common goods
  - les rejection stones

Le détail de ces catégories est hors propos pour cette étude, nous ne rentrerons pas dans les détails.

Le diamant industriel : réservé aux usages industriels, cependant ces dernières années nous avons pu constater que certains créateurs de bijoux en utilisent.

- Le crushing-bort, ou boart :

Il correspond à la qualité la plus mauvaise du diamant. Son utilisation, une fois concassé et broyé, servira à produire de la poudre de diamant utilisée dans l'industrie ainsi que dans le sciage et la taille du diamant.

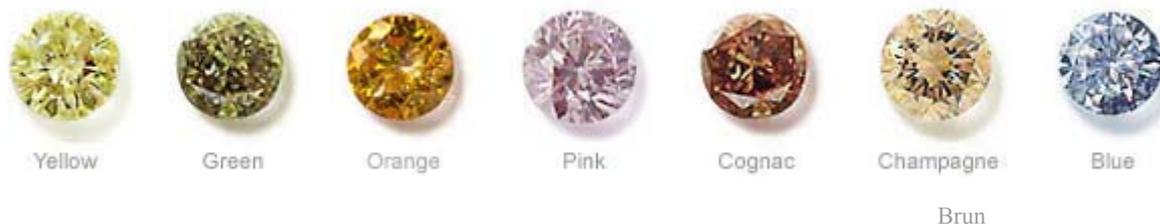
Cette catégorie est subdivisée en :

- common bort, magnetic ou stewartite bort
- hailstone bort
- framesite bort
- shot bort

Les catégories utilisées dans l'industrie du diamant brut pour le triage des diamants bruts sont :

<b>Sawable-1</b>	<b>Sawable-2</b>	<b>Spotted-1</b>	<b>Spotted-2</b>	
<b>Macle</b>	<b>Makeable-1</b>	<b>Makeable-2</b>	<b>Cleavage-1</b>	<b>Cleavage-2</b>

### **3. Origine de la couleur des diamants naturels non traités**



**Figure 15** : Sept diamants de couleur. Photo : KHI.

Les diamants existent dans toutes les couleurs (figure 15), mais la plupart des diamants de qualité gemme sont de presque incolores à très légèrement jaune, brun ou gris.

On retrouve dans les diamants de couleur (fantaisies) toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, ils sont rares, et on estime qu'il y a un diamant de couleur pour 10 000 pierres quasi incolores. Certaines de ces couleurs sont communes, comme le noir, brun ou le jaune, d'autres très rares, comme le rouge ou l'orange.

D'une manière générale, l'absorption sélective de certaines longueurs d'ondes du visible, et donc la transmission des restantes provoquent les couleurs dans les gemmes. Ces absorptions correspondent aux couleurs qu'on observe, elles peuvent être dues à la présence d'impuretés (azote, bore, hydrogène, nickel) pour le diamant, ou de défauts (centre coloré) au sein du réseau ou « amber center » (Fritsh, 1998), cela va créer un niveau d'énergie entre les deux bandes. Dans le cas où le niveau correspond à une énergie des longueurs d'onde de la lumière visible, il va engendrer une coloration.

Les couleurs observées peuvent être dues à la présence d'inclusions (carbone nanocristallin ou graphite) dans la pierre, il y aura alors diffusion par des impuretés (Massi, 2006), ou être liées à des causes physiques telles que la déformation plastique.

En effet la cause de la couleur brune, mais aussi de la couleur rose, peut être identifiée par un défaut du réseau à l'échelle atomique. Ce défaut est contenu dans le "graining" brun ou rose, terme utilisé en gemmologie, qui fait référence à des lamelles parallèles entre elles et dues à une forte déformation plastique (Collins, 1982). Ces lamelles sont situées le long des plans cristallographiques (111). Dans le cas où ces diamants ont subi un tel phénomène, une couleur brune ou rose pourra être produite.

Ci-dessous un tableau récapitulatif des causes de la couleur, pour les diamants de couleur naturelle (Fritsch et Shigley, 2002, p.88). (Tableau 3).

Couleur Naturelle	Causes de la couleur
Rouge	Centre inconnu lié à la déformation plastique "graining"
Rose Brun	 <p>Azote isolé piégé par une lacune Défauts variés liés à l'hydrogène</p>
Violet	Défauts liés à l'hydrogène
Bleu	Traces de bore : atome au sein de la structure Défauts liés à l'hydrogène Irradiation naturelle : lacunes de carbone
Vert	Irradiation naturelle : lacune de carbone Fluorescence : luminescence verte du centre H3 Défauts liés à l'hydrogène Centre colorés non identifiés
Jaune	Il existe 3 causes de la couleur (King et al., 2005) Agrégat de 3 atomes d'azote : Centre N3 Défauts impliquant l'hydrogène ou l'azote Azote isolé au sein du réseau (type Ib)
Orange	N3 + lacune piégée par un agrégat d'azote Azote isolé dans réseau

Noir	Inclusions noires ou grises : carbone graphite, etc. Grand nombre de fractures ou de centres diffuseurs
Gris	Défauts liés à l'hydrogène Traces de bore
Blanc	Micro inclusions inconnues

**Tableau 3** : Résume les principales causes de la couleur dans le diamant, d'après Fritsh & Shigley (2002).

#### **4. Classification de la couleur des diamants naturels non traités**

Dans les années 1980, la mine Argyle située au Nord-Est de l'Australie de l'Ouest va fournir au marché plus de quantité de diamants de couleur, ce qui va changer la disponibilité sur les marchés internationaux. En quelques années, la mine va devenir le plus gros producteur de diamants de couleur au monde. Un grand nombre des diamants extraits sont de couleurs brunes, ceci à cette époque n'était pas très reconnu sur les marchés. Mais il est possible de trouver des diamants de couleur dans tous les pays producteurs de diamants.

Une grande campagne marketing réalisée par « Argyle Diamond Mines Joint venture », a notamment permis aux diamants bruns d'être utilisés en bijouterie / joaillerie.

Dans les années 1990, les producteurs de la mine, la société minière Rio Tinto, en collaboration avec des sociétés Américaines et Japonaises mirent en place une échelle de classification pour les diamants bruns allant du "Champagne" au "Cognac". La société Argyle Diamonds les classe en 7 grades possibles allant de C1 à C7: champagne clair (light champagne), C1 - C2 ; champagne moyen (medium champagne), C3 - C4 ; champagne foncé (dark champagne), C5 - C6 et finalement cognac (fancy cognac), C7 (figure 16). Outre les diamants champagne, la mine Argyle fournit une quantité relativement importante de diamants roses.



**Figure 16** : Echelle de classification de la couleur brune des diamants bruns d'Argyle "Champagne".  
Photo : Champagnediamondcenter.com.

Ces teintes peuvent être comparées avec la charte du GIA établie pour la graduation de la couleur des diamants incolores ou presque D – Z, selon :

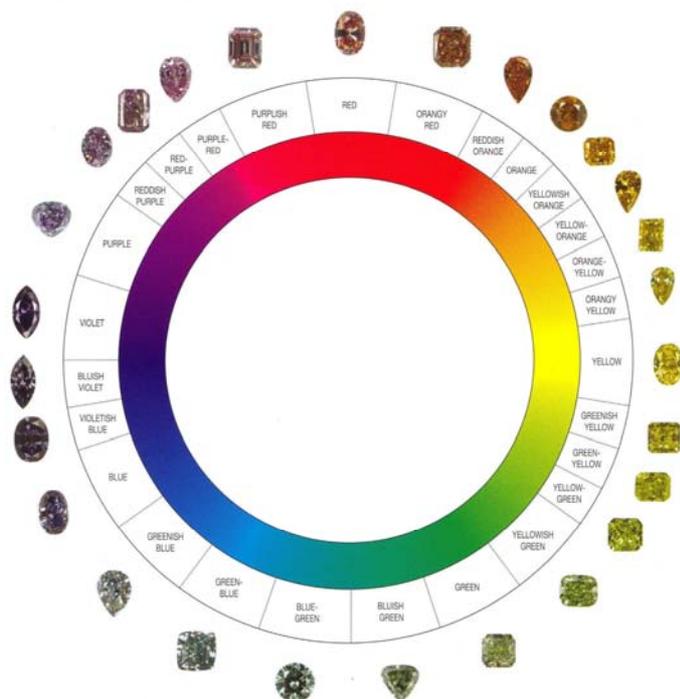
- C1→ "light champagne" : GIA N, O, P, Q
- C2→ "light champagne" : GIA R, S, T, U, V
- C3→ "medium champagne" : GIA W, X
- C4→ "medium champagne" : GIA Y, Z
- C5→ "dark champagne" : GIA fancy brown
- C6→ "dark champagne" : GIA fancy brown to fancy dark brown
- C7→ "fancy cognac" : GIA fancy dark brown

Les diamants bruns, le plus souvent, possèdent une ou plusieurs couleurs secondaires (Hofer, 1998), jusqu'à 4. Cette couleur secondaire ou teinte va s'ajouter à la couleur brune, lui donnant une couleur avec une composante colorée supplémentaire. On retrouve en teintes secondaires : le rouge, l'orange, le jaune, le rose et le vert.

La dénomination "Fancy" pour un diamant est réservée aux pierres dont la couleur est attractive.

La couleur est décrite par les laboratoires de gemmologie en employant trois attributs : teinte (rouge, bleu, vert, etc., ton (foncé ou clair) et la saturation (couleur vive ou non). En standardisant l'organisation de ces trois attributs, l'aspect d'une couleur peut être quantifié. Pour ce faire le GIA utilise des pierres étalons. Deux

terminologies sont utilisées pour certifier le grade de la couleur d'un diamant, ce sont celles du Gemological Institute of America (GIA) et celle du Conseil international du diamant (ICD).



Le GIA a développé une charte de références colorées "Color Reference Charts", utilisant 8 couleurs principales et 27 nuances de couleurs (figure 17).

Les huit couleurs dominantes représentatives incluses sont ici : jaune (plus chaud et plus froid), orange jaune, jaune orange, orangé rouge (orangé rose), rouge (rose), violacé rouge (violacé rose), bleu et jaune vert.

**Figure 17** : Ce cercle de nuance illustre chacune des 27 nuances de couleurs utilisées par le GIA pour décrire les diamants colorés. Photos: © GIA "Color Reference Charts".

La nuance est décrite comme suit : mineur, couleur de modification principale, couleur secondaire dominante, couleur principale dominante.

Les couleurs de modification sont appelées : orangé, jaunâtre, verdâtre, rosâtre, brunâtre.

L'olive n'est pas une couleur pure, mais un mélange de brun, vert et jaune ; quelques laboratoires comme GIAGTL emploient des descriptions comme brunâtre jaune vert pour de tels diamants.

Un diamant brun foncé avec une forte nuance de jaune sera appelé : jaunâtre brun prononcé.

Un diamant brun moyen avec une faible nuance d'orange sera appelé : orangé brun moyen.

Les diamants à qualifier sont typiquement comparés à un diamant de référence et tous les deux sont placés dans la même orientation dans le plateau d'observation.

Pour la détermination du degré de saturation de la couleur dans les diamants colorés ou de couleurs, le GIA emploie neuf grades (figure 18) :

1. Faible: **Faint** - M
2. Très léger: **Very Light** - N to R
3. Léger: **Light** - S to Z
4. Légèrement Fantaisie : début de la dénomination "fantaisie" ou "fancy": **Fancy Light**  
Le Laboratoire français de Gemmologie utilise la dénomination "couleur spéciale"
5. Fantaisie: **Fancy**
6. Fantaisie Sombre: **Fancy Dark**
7. Fantaisie Intense: **Fancy Intense**
8. Fantaisie Profond: **Fancy Deep**
9. Fantaisie Vif: **Fancy Vivid** - Highest Saturation



**Figure 18** : Exemple d'échelle de grades utilisés par le GIA pour déterminer la saturation de la couleur des diamants jaunes.  
Photo : KHI.

La saturation a peu d'importance dans la description de diamants vraiment bruns, puisque le brun ne sera jamais saturé par définition. Donc des saturations plus hautes sont seulement possibles dans des couleurs fortement modifiées brunes comme le brun orange ou le brun jaune.

Pour éviter l'influence de la taille, la comparaison de la saturation de la couleur est faite avec la table des diamants en haut, face à l'observateur; ce qui est le contraire de la méthode utilisée pour la graduation de la couleur dans les diamants incolores ou presque D – Z.

Nous avons utilisés cette méthodologie pour les descriptions de la couleur tout au long de ce travail.

Le laboratoire International Gemological Institute (IGI), utilise le "Munsell Color System" utilisant 37 degrés de ton, allant du very light (VL) au very dark (VK), et les coordonnées de la "Commission Internationale de l'Eclairage" (CIE) pour définir exactement la description de la nuance.

## **5. Les diamants de couleur célèbres**

(Gems & Gemology in review, colored diamonds, 2006).

Ci-dessous, nous vous proposons une liste de quelques diamants célèbres : King (2006)

### *Le GOLDEN JUBILEE : Type IIa*

Un diamant de forme coussin facetté. Poids: 547,67 carats. Couleur: fantaisie jaune – brun (figure 19).

**Figure 19:** Le Golden Jubilee, 547,67cts, le plus gros diamant facetté au monde. Il se trouve aujourd'hui au Royal Muséum de Bangkok en Thaïlande. Photo : Famousdiamonds.



### *Le HOPE : Type IIb*

Un diamant de forme coussin antique, taille brillant (figure 20). Poids : 45,52 carats. Dimensions : 25,60 x 21,78 x 12,00 mm. Pureté : VS1. Couleur : fantaisie bleu – grisâtre foncé. Qualité de la symétrie : faible à bon. Qualité du poli : bon. Fluorescence : rouge prononcé (UVC).

**Figure 20 :** Le Hope, 45,52 cts, le plus gros diamant bleu foncé au monde. Photo : Famousdiamonds.



### *Le DRESDEN VERT* : Type IIa

Un diamant de forme poire modifié, taille brillant (figure 21). Poids : 41,00 carats. Dimensions : 29,75 x 19,88 x 10,29 mm. Pureté : VS1. Couleur : teinte : verte, ton : moyen, saturation : légèrement gris. Qualité de la symétrie : bon. Qualité du poli : très bon. Fluorescence : inerte.



**Figure 21:** Le Dresden vert, 41 cts, ce diamant a le potentiel pour être « internally flawless ». Photo: Famousdiamonds

### *Le STAR OF THE SOUTH (l'Etoile du Sud)*: Type IIa

Un diamant de forme coussin antique, taille brillant (style) (figure 22). Poids : 128,480 carats. Dimensions : 34,21 x 28,10 x 18,72 mm. Pureté : VS2. Couleur : fantaisie légèrement brun – rosâtre. Qualité de la symétrie : bon. Qualité du poli : très bon. Fluorescence : inerte.



**Figure 22:** Le Star of South, 128,480 cts. Photo: Famousdiamonds

### *L'ALLNATT* : Type Ia

Un diamant de forme coussin, taille brillant modifié (figure 23). Poids : 101,29 carats. Dimensions : 24,44 x 23,74 x 21,60 mm. Pureté : VS2. Couleur : fantaisie jaune vif. Fluorescence : uvc : faible orangé jaune, uvl : faible bleu.



**Figure 23 :** L'Alnatt, 101,29 cts, il a été vendu aux enchères par Christie's, à Genève, en Mai de 1996 pour la somme de 3.043.496 US\$. Photo: Famousdiamonds

### *Le STEINMETZ rose: Type IIa*

Un diamant de forme ovale, taille mixte (figure 24). Poids : 59,60 carats. Dimensions : 26,93 x 20,64 x 13,68 mm. Pureté : IF. Couleur : fantaisie rose vif. Qualité de la symétrie : très bon. Qualité du poli : très bon. Fluorescence : uvc : très faible bleu, uvl : faible bleu.



**Figure 24:** Le Steinmetz rose, 59,60 cts, le plus gros diamant rose vif au monde. Photo : Famousdiamonds

### *Le HEART OF ETERNITY (Cœur d'Eternité): Type IIb*

Un diamant de forme cœur, taille brillant modifié (figure 25). Poids : 27,64 carats. Dimensions : 19,25 x 21,76 x 11,43 mm. Pureté : VS2. Couleur : fantaisie bleu vif. Qualité de la symétrie : bon. Qualité du poli : très bon. Fluorescence : uvc : très faible rouge, uvl : inerte.



**Figure 25 :** Le Heart of Eternity, 27,64 cts, selon estimation sa valeur serait de: 16 million de Dollar US.  
Photo : Famousdiamonds

### *Le PUMPKIN (la Citrouille): Type IIa*

Un diamant de forme coussin, taille brillant modifié (figure 26). Poids : 5,54 carats. Dimensions : 9,88 x 9,85 x 7,04 mm. Pureté : VS2. Couleur : fantaisie orange vif. Qualité de la symétrie : bon. Qualité du poli : très bon. Fluorescence : uvc : faible à modérée phosphorescence jaune, uvl : modérée orange.



**Figure 26 :** Le Pumpkin, 5,54 cts, acheté en 1997 par Harry Winston pour \$1.3 millions.  
Photo: Famousdiamonds

### *L'OCEAN DREAM: Type Ia*

Un diamant de forme triangle, taille brillant modifié (figure 27). Poids : 5,51 carats. Dimensions : 11,49 x 11,47 x 6,47 mm. Couleur : fantaisie bleu – vert profond. Fluorescence : uvc : faible jaune, uvl : modérée bleue.

**Figure 27** : L'Ocean dream, 5,51 cts, il est le seul diamant naturel connu au GIA à posséder une teinte bleu-vert. Photo : Famousdiamonds



### *Le MOUSSAIEFF RED (le Rouge Moussaieff): Type Ia*

Un diamant de forme triangle, taille brillant modifié (figure 28). Poids : 5,11 carats. Dimensions : 11,02 x 10,57 x 6,06 mm. Couleur : fantaisie rouge. Fluorescence : uvc : faible bleue, uvl : modérée à prononcé bleue.

**Figure 28** : Le Moussaieff rouge, 5,11 cts, le brut pesait 13,90 carats. Photo : Famousdiamonds



## IV – LES TRAITEMENTS DU DIAMANT

Le diamant est comme beaucoup de gemmes, traité, par l'être humain qui utilise pour ce faire un ensemble de procédés de laboratoire pour modifier l'apparence de la gemme en question afin de la rendre plus attractive commercialement.

Les traitements du diamant peuvent être divisés en 2 groupes: les méthodes pour améliorer la pureté et les techniques pour changer la couleur.

### 1. Les traitements pour améliorer la pureté

#### ➤ Traitement au laser

Ce traitement est effectué sur des diamants contenant des inclusions pénalisantes assez grandes. Le principe est de diriger un faisceau de rayon laser dans la direction de l'inclusion, le rayon perce le diamant, atteint l'inclusion et la désintègre, elle devient alors blanche ou plus claire. On peut aussi dissoudre l'inclusion aux acides et remplir la cavité de matériau incolore. La pureté apparente du diamant est ainsi améliorée. Ce traitement est facilement identifiable (flash de couleurs), stable, permanent et irréversible.

#### ➤ Traitement par remplissage de fractures

Ce traitement connu sous le nom de « traitement Yehuda », du nom de son inventeur M. Zvi Yehuda, a été introduit dans le commerce des diamants à la fin des années 1980. Les trois plus grands producteurs de ces pierres traitées sont Yehuda/Diascience, Koss & Shechter Diamonds (Genesis II) et Goldman Oved Diamond Company.

Il s'applique sur des diamants présentant des fêlures ou clivages qui rejoignent la surface de la pierre. On introduit à l'intérieur de ces clivages un matériau qui a pour effet d'en atténuer l'apparence car il provoque une diminution des phénomènes de réflexion à leur surface. Praticué dans le but d'améliorer le degré de pureté d'un diamant, il affecte parfois aussi la couleur de la pierre. Il est facilement identifiable par un gemmologue expérimenté lorsque la pierre n'est pas sertie. Parfois lorsqu'une pierre est sertie, la sertissure peut empêcher de détecter le traitement. Le traitement par remplissage de fractures est stable dans des conditions normales. Le matériau de remplissage réagit fortement à la chaleur en prenant de l'expansion, il peut alors soit ressortir de la fracture ou encore faire éclater la pierre. Il est fortement déconseillé de chauffer une pierre traitée par remplissage.

### 2. Les traitements pour changer la couleur des diamants

Certaines techniques permettent de provoquer un changement de couleur dans les diamants. L'irradiation, parfois suivie d'un chauffage contrôlé, est une pratique courante pour modifier la couleur des diamants. Ces traitements

donnent au diamant une couleur permanente et rendent disponible des diamants de couleur à un coût beaucoup moins élevé que leurs équivalents naturels.

#### a. Les "coatings"

Une des techniques les plus simples pour modifier la couleur d'un diamant est de le recouvrir d'une couche colorée (enduit, feuille métallique, ou vernis à ongles), mais aussi par teinture. Ce traitement est frauduleux et doit toujours être mentionné. Aujourd'hui, on observe de plus en plus de diamants recouverts d'un très fin film métallique, de composition variée (Al, Au, Si, Fe, etc.) qui donne une couleur vive et homogène.

#### b. Les traitements par irradiation

Les principales sources ionisantes :

- Le cyclotron
- Le réacteur nucléaire
- Les accélérateurs linéaires

Pour ce faire, on dirige vers le diamant un puissant rayonnement ionisant. Celui-ci va casser des liaisons entre les atomes de carbone. Un atome de carbone va être éjecté de son site, ceci va causer une lacune, l'atome de carbone va rester coincé un peu plus loin dans la structure cristalline, occupant un site interstitiel. La lacune va alors absorber dans les longueurs d'onde rouge, si le diamant était à la base incolore, il va devenir bleu, s'il était légèrement jaune ou brun, il deviendra bleu vert ou vert bleu, dépendant du type de rayons utilisés, la couleur sera superficielle. L'intensité de la couleur va dépendre de la quantité (puissance) et de la durée du rayonnement.

L'irradiation des diamants et des autres gemmes n'est plus permise dans l'Union européenne, contrairement aux États-unis, la Russie et d'autres pays.

#### ➤ L'irradiation par un faisceau d'ions lourds (plus récente)

On utilise pour ce faire un accélérateur linéaire qui va servir à implanter des ions lourds, ces derniers vont provoquer des perturbations majeures. On obtient soit un diamant vert, soit noir, tout dépend de la puissance d'irradiation.

La détection de ce genre de traitement est facile en observant à l'aide d'une binoculaire, car la couleur due à l'irradiation est concentrée au niveau de la pointe de culasse (effet paratonnerre ou parapluie). Cependant elle peut s'avérer plus délicate dans le cas où l'irradiation est plus faible.

Selon le degré de difficulté de l'identification, on utilisera un spectroscope à main ou un spectromètre d'absorption UV-Vis, afin d'observer les absorptions dues au processus d'irradiation et si besoin un spectromètre infrarouge.

### c. Les traitements par chauffage

Dans la plupart des cas, la couleur d'un diamant irradié peut encore être modifiée en chauffant la pierre. Comme indiqué ci-dessus, lorsqu'un diamant est irradié, on crée des lacunes. En faisant suivre un chauffage on cherche à déplacer les défauts et ainsi les piéger dans des centres colorés plus stables, et couleur plus attrayante.

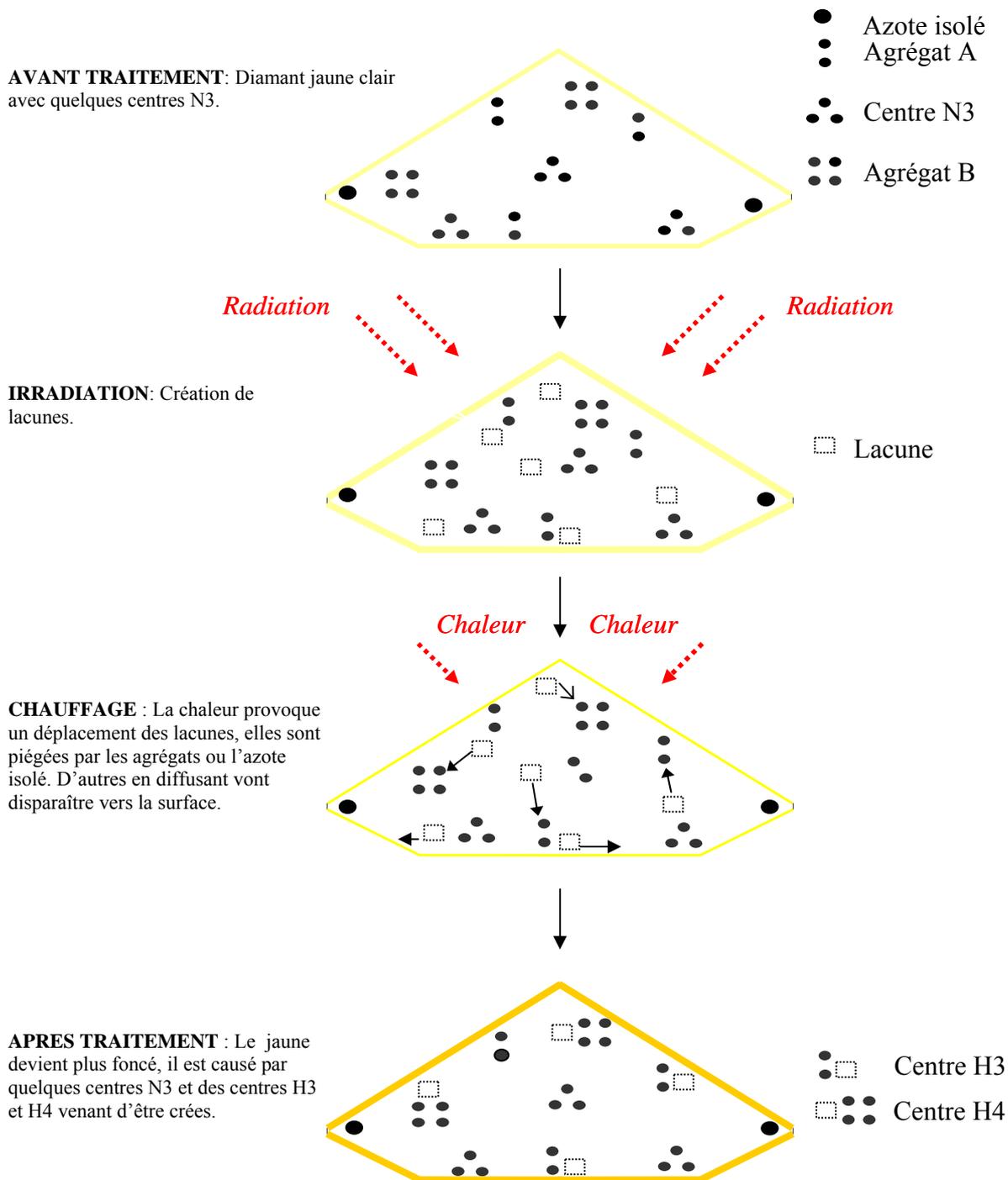
Pour ce faire on chauffe la pierre sous une atmosphère sans oxygène, la température varie de 200 à 800 degrés C°, rarement au dessus. Selon le type de diamant et de ses propriétés, le chauffage va provoquer soit un rétablissement de la structure cristalline, soit il va piéger des lacunes sur des impuretés (azote). Les lacunes qui étaient à la base des atomes de carbone, vont être remplacées par des atomes d'azote, qui vont provoquer une absorption différente dans le visible, provoquant ainsi une autre couleur.

Le tableau 4 ci-dessous donne un aperçu des différents types de traitements susceptibles d'être appliqués aux diamants :

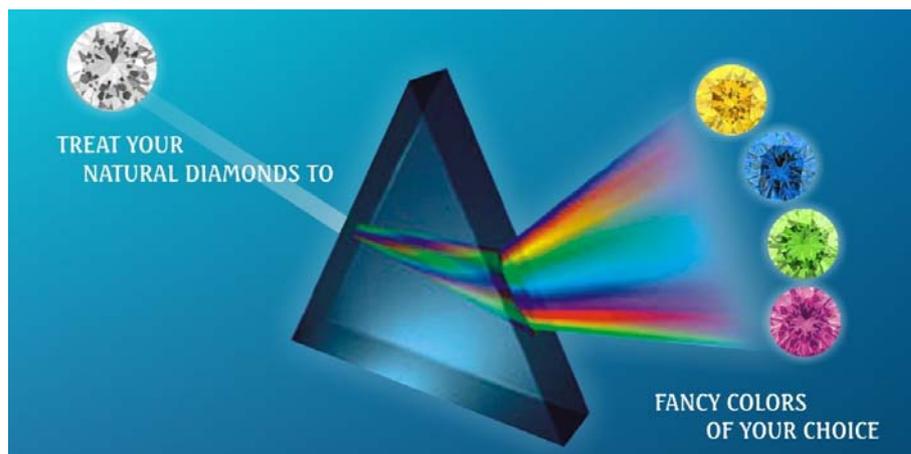
Traitements	Couleurs obtenues	Autres améliorations
Irradiation	Noir, vert	
Irradiation+ Chauffage	Toutes les couleurs	
Couche colorée	Toutes les couleurs	
Coatings	Toutes les couleurs	
Haute température	Noir	
Haute pression et Haute température	Type II, brun devient incolore Type Ia brun, devient jaunâtre vert ou jaune	
Laser		Réduit l'apparence des inclusions
Remplissage des fractures		Réduit l'apparence des inclusions

**Tableau 4** : Tableau résumant les traitements appliqués aux diamants.

Ci-dessous, (figure 29), une présentation du phénomène de création de lacunes, suite à une irradiation, afin de modifier un diamant jaune très clair en un jaune foncé.



**Figure 29 :** Explications sous forme de représentations des mécanismes physiques qui vont permettre de rendre jaune foncé un diamant qui initialement était jaune très clair. D'après Fritsch & Shigley (2002).



**Figure 30** : Slogan publicitaire. Photo: Prismgem.

#### d. Chauffage à haute pression

Le traitement haute pression et haute température (HPHT) est apparu aux États-Unis en 1999. Le principe est de chauffer le diamant jusqu'à une température entre 1600 - 2500C° sous une pression très élevée et stabilisée. Ainsi on va permettre au diamant de recristalliser en éliminant certains défauts structuraux, et de ce fait on va lui permettre de relâcher des contraintes internes. Ces conditions reproduites pendant le traitement, sont proches des conditions naturelles du processus de croissance du diamant naturel, ce qui rend la détection de ce traitement relativement difficile, mais possible. Les appareils utilisés sont les mêmes que ceux qui servent à la synthèse des diamants.

Suivant les propriétés du diamant traité, on procédera à deux types d'applications :

##### 1. Blanchiment des diamants bruns

Pour enlever la composante brune afin d'améliorer la couleur, les atomes d'azote ne peuvent pas être présents dans la structure du diamant, le diamant doit appartenir au type II. Si le diamant brun est de type IIa (très rares), avec peu (ou pas) d'azote, alors les défauts causées par la déformation plastique dans la maille cristalline vont être diffusés et ils disparaissent, ce qui va changer la couleur brunâtre en quasiment incolore. Une combinaison de traitements est également possible combinant le traitement HPHT, puis l'irradiation puis le chauffage ou encore l'irradiation, le chauffage puis l'irradiation de nouveau (Rapaport News, 2006).

##### 2. Création d'une couleur vive : jaune – vert

Si en revanche on utilise un diamant de type Ia, donc contenant de l'azote, les lacunes sont piégées avec l'azote donnant ainsi naissance à un centre coloré H3. La couleur obtenue est jaune vert vif, mais aussi une luminescence verte très forte. La nature produit également des diamants de cette couleur, mais plutôt rarement, notamment dans les mines de Sierra Leone, de la Côte d'Ivoire et du Brésil.

### **3. Détection des traitements**

En fonction du type de diamant traité (type Ia ou Ib), il faudra utiliser deux méthodes afin de pouvoir identifier le traitement d'irradiation plus chauffage.

Pour les diamants de type Ia, la bande principale observée en analyse de spectrométrie UV- visible à 741 nm et le centre à 595 nm (Clark and Walker, 1972), montre que ce diamant est traité.

La méthode utilisée par le laboratoire gemmologique de Londres ainsi que dans d'autres laboratoires, qui consiste à refroidir la pierre tester à  $-160$  degrés C°, à l'aide de l'azote liquide, est sûrement la meilleure méthode utilisée à ce jour pour identifier les diamants irradiés, puis chauffés.

Pour les diamants de type Ib, on utilise la spectrométrie d'absorption. Des chercheurs ont constaté que la bande à 637 nm est présente principalement dans les diamants qui contiennent un haut pourcentage d'azote dans la forme isolée de substitution. Cette bande est présente dans une catégorie de diamants roses naturels, très rares les "Golcondes", de type IIa, cependant la couleur rose est très pâle avec une composante d'orange ce qui les distingue des diamants roses traités qui possèdent le plus souvent une forte composante pourpre (Fritsch, 1998).

La détection des diamants de type IIa de couleur brune avant traitement et qui deviennent incolores une fois traités est difficile, cependant la bande à  $637 \text{ nm} \geq 575 \text{ nm}$ , contrairement au naturel où la bande à  $575 \text{ nm} \geq 637 \text{ nm}$  (Collins 2003).

Les sociétés Lazare Kaplan et General Electric appliquent ce traitement, et sont commercialisés par Pegasus Overseas Limited (POL), les diamants sont gravés au laser de l'inscription "GE POL" sur le rondiste.

Le tableau 5 ci-dessous récapitule les couleurs des diamants de couleur naturelle et ceux de couleur artificielle, ainsi que leurs défauts (centres colorés) dans le domaine du visible :

Couleur	Couleur naturelle: « centres colorés »	Couleur artificielle : « centres colorés »
Rouge Rose 	Type Ia et IIa - Graining - Bande d'absorption à 550 nm - Dans la plupart, lignes à 415 nm, lignes dans tout le spectre - "Golconde" : N-V° (575nm)	Type Ib avec Ia H4 (496 nm) H3 (503, 575 et 595 nm) N-V° (637 nm) 
Violet 	Type Ia - Graining - Bande d'absorption à 550 nm + bande à 390 nm	Pas d'équivalent traité
Bleu 	Type IIb, IIa, Ia - GR1 ou centres liés à l'hydrogène - Electrique, semi-conducteur	Type IIa ou Ia GR1 (741 nm) "Colored culets" 
Vert 	Type Ia et IIa - Luminescence du centre H3 (503 nm) - GR1 : très rare	Type Ia GR1 (741 nm) Distribution de couleur parfois inhomogène : "Effet Umbrella", des taches de couleurs noires à vert, possiblement due à un radionucléide utilisé pour irradier. "Colored culets" 
Jaune 	Type Ia et Ib (canari) N3 : Cape (415 nm)	Type Ia N3 : Cape (415 nm) H4 (496 nm)  H3 (503 nm)
Orange 	Type Ia N3 + H3 Type Ib	Type Ia H4 (496 nm)  H3 (503 nm)

<p>Brun</p> 	<p>Tous les types Lamelles parallèles (graining) Ligne marquée à 503 nm et lignes plus légères à 496 et 537 nm</p>	<p>Type Ia</p>  <p>N3 (415 nm) H4 (496 nm) H3 (503 nm)</p>
<p>Gris</p> 	<p>Couleur nuancée de jaune, ou bleu Type Ia et Ib</p>	<p>Pas traité</p>
<p>Noir</p> 	<p>Noir à cause des inclusions</p>	<p>Couleur noir à vert GR1 (741 nm)</p>  <p>Graphitisation</p>
<p>Blanc</p> 	<p>Type Ia</p>	<p>Pas traité</p>

**Tableau 5** : Résumé des causes de la couleur dans les diamants, d'après Harlow, (1998). Photos : internet et auteur.

Tous les diamants traités par irradiation doivent être testés à l'aide d'un compteur geiger.

**IMPORTANT** : les pierres radioactives doivent être rejetées, et expédiées à l'attention des autorités, les pierres ne doivent pas être vendues au public dans aucunes circonstances.

## V – LES DIAMANTS SYNTHÉTIQUES



**Figure 31** : Une usine de production de diamants synthétiques (Gemesis).  
Photo: Solitaire International.

C'est en 1955, que la société *General Electric* annonça le début de la production des diamants synthétiques de qualité industrielle. Dans les années 1970, des diamants synthétiques de qualité gemme, de plus d'un carat, sont produits par *General Electric*. La DeBeers annonça, la même année, qu'elle avait réussi à produire des diamants synthétiques de qualité gemme, à titre expérimental. En 1985, la compagnie japonaise *Sumitomo Electric Industries* annonça la commercialisation de diamants synthétiques de qualité gemme. A ce jour les diamants synthétiques sont commercialisés par les sociétés *Chatham Created Diamonds*, *Gemesis*, *Apollo*, qui ne commercialisent que les pierres brutes, ainsi que *Cultured Diamond Company* pour les pierres taillées et pour finir, *Lucent Diamonds*. A ce jour la production de diamants synthétiques utilisés en joaillerie n'excède pas quelques milliers de carats par an. On trouve plutôt des jaunes allant jusqu'à cinq carats, mais aussi des incolores qui n'excèdent pas 0,50 ct.

Les prix en moyenne varient entre : \$400 – \$1000 carats pour les pierres brutes  
\$600 – \$2000 carats pour les pierres taillées

En comparaison une pierre taillée de 1ct jaune naturelle coûtera environ  $\pm$  \$20 000, tandis que la même en "diamants synthétiques" sera à  $\pm$  \$4 000.

## - Les différentes méthodes de fabrication

Trois méthodes de fabrication sont utilisées :

- « Belt »
- Sphères éclatées (split sphere ou BARS)
- Chemical vapor deposition (CVD) plus récent

En 2001, la société américaine Apollo a annoncé la production de diamants synthétiques en employant la technique de dépôt chimique en phase vapeur (CVD). Les températures varient entre 1400 et 1600°C avec une pression atmosphérique de 5 à 6 gigapascals, soit de 50 000 à 60 000 bars (Shigley, 2002).

Les couleurs actuellement disponibles sur le marché sont le jaune, orange, mais le bleu, vert et rose, sont en phase de développement et sont déjà disponible en petite quantité. Les diamants sont de type Ib (contenant de l'azote en atome isolés), la couleur ainsi obtenue est jaune à jaune brun. Cependant quelques diamants de type Ia (azote agrégé) reste en phase d'expérimentation ainsi que des diamants de type IIa qui sont plutôt rares en bijouterie.

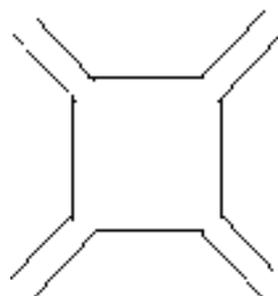
Selon la couleur désirée, on traite ces diamants synthétiques par des procédés de haute pression et haute température (HPHT), de l'irradiation, ou du chauffage, ou tout simplement une combinaison des trois. Si l'on applique un traitement (HPHT) sur un diamant synthétique de type Ib, il va devenir de type Ia.

## - Méthodes d'identification

Trois laboratoires (GIA, EGL et IGI) effectuent la certification des diamants synthétique en incluant les termes "laboratory-grown" pour le GIA ainsi que EGL USA qui jusqu'à présent utilisé le terme "laboratory-created". La majorité des diamants sont marqués d'une inscription au laser sur le rondiste.

Une observation de la structure extérieure va nous permettre de distinguer une structure cubo - octaédrique pour les diamants synthétiques ce qui diffère des faces octaédriques typiques du diamant naturel.

L'observation de la structure interne : les déformations structurelles internes sont observées surtout le long des plans de croissance, parfois en plans parallèles. La structure de croissance est faite de juxtaposition de secteurs octaédriques et cubiques.



Motif en forme de croix qui reflète la croissance des diamants synthétiques.

**Figure 32** : Figure en croix typiques dans les diamants synthétiques HPHT.

- Zones de couleur :

Les diamants synthétiques présentent parfois des zonations de couleur, pâle/foncé ou coloré/incolore. Les zones de couleur ont généralement des limites nettes.

- Inclusions :

Dans les diamants naturels on observe le plus souvent des inclusions solides, cristallines et transparentes. Dans les diamants synthétiques, on observe le plus souvent des inclusions solides à l'éclat métallique, noires et opaques. Leurs formes peuvent être rondes, allongées, ou très irrégulières, les positions de ces inclusions sont dans certains cas parallèles à la structure interne ou aléatoires. Les inclusions métalliques en présence peuvent dans certains cas rendre le diamant magnétique.

- Luminescence :

Cette méthode permet de tester un grand nombre de diamants à la fois, elle repose sur le principe de la luminescence des diamants synthétiques. Les diamants synthétiques incolores de type Ia, une fois que la source excitatrice est éteinte, vont continuer à briller (phosphorescence), ce qui est plutôt rare pour les diamants naturels.

Certains diamants synthétiques incolores ou presque, fluorescents, montrent une phosphorescence persistante pendant 30 secondes et plus. Les diamants naturels ont habituellement une fluorescence plus marquée aux U.V. longs qu'aux U.V. courts. Les diamants synthétiques eux ont un comportement contraire, ils présentent une fluorescence plus marquée aux U.V. courts qu'aux U.V. longs. La fluorescence des diamants synthétiques est souvent d'intensité variable et présente parfois un motif géométrique. Lorsque les caractéristiques présentées précédemment ne permettent pas une identification définitive, on peut avoir recours à des tests plus poussés, généralement disponibles dans les laboratoires spécialisés. Ce test est : la cathodoluminescence. De plus, la DeBeers a mis au point deux appareils permettant de distinguer les diamants naturels des diamants synthétiques : le « **Diamond Sure** » et le « **Diamond View** ». De son côté, le HRD a mis au point un autre instrument le « **D-Screen** ».

- Principe du diamond Sure :

Détection de la ligne à 415 nm

**Figure 33** : Un diamant synthétique, rond brillant, 0,53ct. Fancy Vivid Pink (purplish pink). Photo: Takaradiamonds.



### **A. Matériaux : description**

Nous avons sélectionné pour cette recherche, 23 diamants, qui ont été prélevés dans notre collection. Pour mener à bien cette étude, le choix des échantillons fut important, tant pour pouvoir déterminer les différents types de diamants, tant pour déceler d'éventuelles traces de traitements. Pour ce faire nous avons acquis d'autres diamants spécialement pour cette recherche.

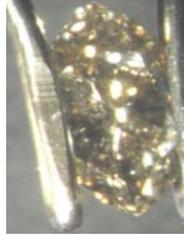
Ces diamants montrent des caractéristiques externes et internes (inclusions) en plus ou moins grande quantité.

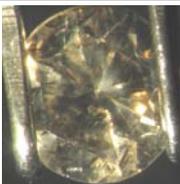
Afin de distinguer chaque échantillon, nous leur avons attribué nos initiales (fm) plus un chiffre échantillon.

Ils sont référencés de fm02 à fm23, ainsi que quinze spectres UV visible, référencés d'Uv-visfm05 à Uv-visfm23, et pour finir six images de cathodoluminescence référencés de Meb-fm01 à Meb-fm13.

L'échantillon fm01 est sous sa forme brut, les 22 autres sont taillés et de formes variables, allant de 0,06ct à 1,48ct. Les couleurs varient de l'incolore ou presque au brun, brun jaune, brun orange, brun vert jaune (olive), jaune verdâtre (caméléon), bleu vert, et gris.

Tableau 6 : données gemmologiques de tous les échantillons analysés pour cette recherche : référence de l'échantillon, forme et taille, le poids, la couleur, les dimensions, photos des échantillons, pureté, comportement aux UV courts et longs et phosphorescence lorsque celle-ci est présente, et enfin numéro de référencement pour chaque échantillons en spectroscopie IR, ou UV visible et en cathodoluminescence (MEB).

<b>Echantillon</b>		<b>FM01</b>	<b>FM02</b>	<b>FM03</b>	<b>FM04</b>	<b>FM05</b>
Forme et taille		Octaèdre brut	Rond brillant	Rond brillant	Rond brillant	Marquise brillant modifié
Poids		1,48 ct	0,09 ct	0,09 ct	0,14 ct	0,26 ct
Couleur		Presqu' incolore	Presqu' incolore G	Presqu' incolore G	Brun jaune clair	Brun jaunâtre clair
Dimension	Diamètre en mm	≈ 5,40	2,95 – 2,98	2,90 – 2,95	3,30 – 3,32	6,07 – 3,34
	Profondeur en mm		1,70	1,70	1,94	2,11
Photographie : macro						
Pureté		VS - SI	VVS2	I1	I1	I1
Luminescence		UVC inerte	UVC bleu faible	UVC inerte	UVC blanc modéré	UVC bleu faible
		UVL jaune faible	UVL bleu modéré	UVL inerte	UVL jaune faible	UVL inerte
Phosphorescence		non	non	non	non	non
Spectrométrie PIR			Ir-fm02	Ir-fm03	Ir-fm04	Ir-fm05
Spectrométrie UV- vis						Uv-visfm05
MEB		Meb-fm01	Meb-fm02			

<b>Echantillon</b>		<b>FM06</b>	<b>FM07</b>	<b>FM08</b>	<b>FM09</b>	<b>FM10</b>
Forme et taille		Rond brillant	Rond brillant	Rond brillant	Rond brillant	Rond brillant
Poids		0,26 ct	0,22 ct	0,30 ct	0,28 ct	0,36 ct
Couleur		Brun jaune moyen	Brun moyen	Brun verdâtre foncé	Brun foncé	Bleu verdâtre
Dimension	Diamètre en mm	4,01- 4,03	4,01 – 4,11	4,12– 4,15	4,15 – 4,17	4,40 – 4,42
	Profondeur en mm	2,53	2,39	2,67	2,50	2,81
Photographie : macro						
Pureté		I2	I3, brisé	I1	I2, cavité	I1
Luminescence		UVC inerte	UVC inerte	UVC inerte	UVC inerte	UVC inerte
		UVL blanc modéré	UVL blanc modéré	UVL blanc modéré	UVL blanc modéré	UVL inerte
Phosphorescence		non	non	non	10s	15s
Spectrométrie PIR		Ir-fm06	Ir-fm07	Ir-fm08	Ir-fm09	Ir-fm10
Spectrométrie UV- vis					Uv-visfm09	Uv-visfm10
MEB				Meb-fm08	Meb-fm09	Meb-fm10

<b>Echantillon</b>		<b>FM11</b>	<b>FM12</b>	<b>FM13</b>	<b>FM14</b>	<b>FM15</b>					
Forme et taille		Rond brillant	Rond brillant	Rond brillant	Rond brillant	Rond brillant					
Poids		0,37ct	0,19ct	0,21ct	0,04ct	0,09ct					
Couleur		Bleu verdâtre	Brun jaune foncé	Brun jaune clair	Vert brun foncé	Brun jaune					
Dimension	Diamètre en mm	4,60 – 4,62	3,76 – 3,78	3,78 – 3,82	2,18 – 2,20	2,68 – 2,70					
	Profondeur en mm	2,84	2,17	2,30	1,38	1,83					
Photographie : macro											
Pureté		I3		SI2		I1		SI1		I3	
Luminescence		UVC inerte	UVL inerte	UVC inerte	UVL inerte	UVC inerte	UVL jaune faible	UVC jaune faible	UVL jaune modéré	UVC blanc faible	UVL blanc modéré
Phosphorescence		non	non	non	non	non	non	non	non	non	non
Spectrométrie PIR				Ir-fm13		Ir-fm14		Ir-fm15			
Spectrométrie UV- vis											
MEB				Meb-fm13							

<b>Echantillon</b>		<b>FM16</b>	<b>FM17</b>	<b>FM18</b>	<b>FM19</b>	<b>FM20</b>					
Forme et taille		Rond brillant	Rond brillant	Rond brillant	Rond brillant	Marquise brillant					
Poids		0,27ct	0,28ct	0,30ct	0,06ct	0,24ct					
Couleur		Jaune verdâtre (caméléon)	Brun rosâtre moyen	Brun verdâtre foncé	Brun orange foncé	Légèrement gris jaunâtre					
Dimension	Diamètre en mm	4,15 – 4,20	4,13 – 4,15	4,18 – 4,20	2,49 – 2,52	6,52 x 3,33					
	Profondeur en mm	2,66	2,55	2,68	1,50	1,85					
Photographie : macro											
Pureté		SI2, cavité		SI1		I1		SI1		VS1	
Luminescence		UVC jaune modéré	UVL jaune fort	UVC jaune faible	UVL inerte	UVC inerte	UVL inerte	UVC inerte	UVL jaune modéré	UVC jaune faible	UVL bleu blanchâtre modéré
Phosphorescence		> 30s	>1 min	non	non	non	non	non	non	< 1min	< 1min
Spectrométrie PIR		Ir-fm16		Ir-fm17		Ir-fm18		Ir-fm19		Ir-fm20	
Spectrométrie UV- vis		Uv-visfm16		Uv-visfm17		Uv-visfm18				Uv-visfm20	
MEB											

<b>Echantillon</b>		<b>FM21</b>		<b>FM22</b>		<b>FM23</b>	
Forme et taille		Rond brillant		Poire brillant		Rond brillant	
Poids		0,55ct		0,34ct		0,25ct	
Couleur		Brun grisâtre clair		Légèrement gris jaune verdâtre		Légèrement gris jaune verdâtre	
Dimension	Diamètre en mm	5,31 – 5,33		6,05 x 3,96		4,15 – 4,17	
	Profondeur en mm	3,14		2,47		2,61	
Photographie : macro							
Pureté		I2		VS1		VS1	
Luminescence		UVC inerte	UVL jaune modéré	UVC bleu blanchâtre faible	UVL bleu blanchâtre modéré	UVC bleu faible	UVL Bleu modéré
Phosphorescence		non	non	< 1min	< 1min	< 1min	< 1min
Spectrométrie PIR		Ir-fm21		Ir-fm22		Ir-fm23	
Spectrométrie UV- vis		Uv-visfm21		Uv-visfm22		Uv-visfm23	
MEB							

## **B. Méthodes**

Nous avons tout d'abord effectué les analyses gemmologiques, tel que l'observation des inclusions à la binoculaire, la luminescence aux UV, puis nous avons effectué les spectres infrarouges obtenus jusqu'à  $5000\text{ cm}^{-1}$ , ceci pour vingt et un diamants.

### **1. Couleur**

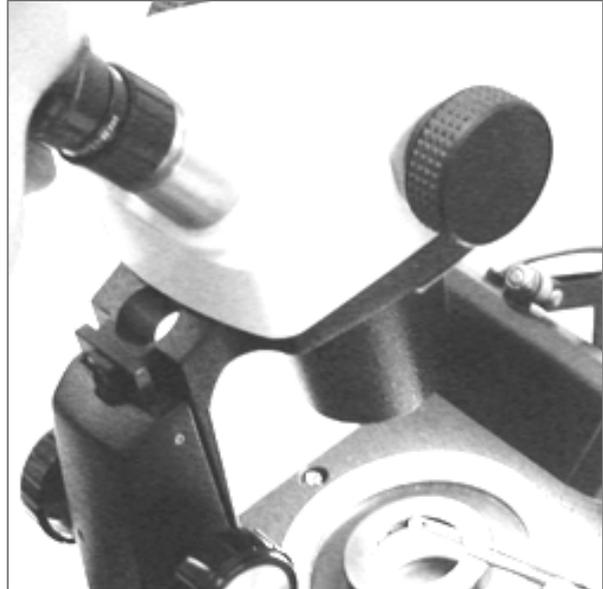
La couleur des diamants a été observée en lumière du jour à  $6500^\circ\text{K}$  avec une lampe de type Eickorst D65. Nous avons utilisé la méthodologie et la nomenclature employée par le GIA avec pour seule différence, que nous n'avons pas à notre disposition de diamants étalons comme référence mais les photos reproduites dans le "Color Reference Charts" du GIA ainsi que notre expérience et sensibilité.

### **2. Microscopie**

Nous avons utilisé un microscope de type GIA GEM (binoculaire) et Leica MZ6 (trinoculaire), employant des conditions d'éclairage différentes incluant une lumière transmise et une lumière réfléchie, ainsi que des

illuminations obliques (fibre optique) pour une observation en lumière diffuse, soit dans l'air, soit en immersion dans un liquide (ex : iodure de méthylène), en utilisant des polarisateurs croisés, ou non (figure 34).

Toutes les microphotographies ont été prises à l'aide d'une caméra Canon powershot et un adaptateur leica pour le microscope. L'appareil est monté directement sur la binoculaire offrant des grossissements choisis par l'utilisateur (avec les agrandissements de 30 à 420X). Nous avons utilisés des grossissements compris entre x10 et x 60.



**Figure 34** : L'examen par l'auteur d'un diamant à l'aide d'une binoculaire GIA.

Cet instrument nous a permis d'observer les caractéristiques externes (surface), les caractéristiques internes (inclusions), mais aussi la répartition de la couleur.

### **3. Luminescence aux UV**

Le principe repose sur l'émission (rayonnement) de lumière par la matière sous l'effet d'une excitation UV. Lorsque celle-ci va absorber de l'énergie à une longueur d'onde donnée (absorption de photons), la matière va accumuler le surplus d'énergie et en libérant cette énergie elle va émettre des rayons lumineux. On dira donc qu'une matière est fluorescente, si elle a la propriété d'émettre de la lumière d'une énergie plus basse que celle à laquelle on l'a exposée (lumière UV). Si cette émission persiste après que la lampe UV est éteinte, c'est que la matière est phosphorescente.

Pour observer la fluorescence et phosphorescence des échantillons, nous avons utilisé une lampe UV standard, équipée d'ondes courtes (UVC à 254 nm) et des ondes longues (UVL à 365 nm). La lampe est une lampe A. Krüss (UV240). L'observation est faite dans une chambre noire.

#### **4. Imagerie de cathodoluminescence**

##### Principe et méthode :

Cette méthode permet notamment de comprendre la morphologie et la croissance du diamant, mais aussi de mieux classer le brut et depuis peu à distinguer entre les diamants naturels de type IIa, d'avec les traités par méthode HPHT mais aussi des synthétiques (HPHT – CVD).

Les images de cathodoluminescence des diamants étudiés ont été observées et enregistrées en employant un microscope électronique à balayage (MEB) de type Jeol 5800 disponible à l'Institut des Matériaux Jean Rouxel de Nantes (IMN). Ce type de microscope permet d'effectuer de l'imagerie (cathodoluminescence) avec les photons émis sous l'effet du bombardement électronique. L'imagerie en cathodoluminescence (CL) est une imagerie à très fort grossissement pouvant aller jusqu'à un grossissement de x1000 (au-delà, la lumière émise devient incohérente). Elle a permis dans cette étude de voir les figures de croissance dans certains des échantillons, mais aussi, de détecter les défauts étendus dans les diamants. Pour ce faire une méthodologie de préparation rigoureuse des échantillons doit être effectuée avant analyse. Cependant l'imagerie électronique permet des grossissements à x100 000 et plus.

#### **5. La spectrométrie d'absorption infrarouge**

La spectroscopie infrarouge est une spectroscopie vibrationnelle.

##### Principe :

Lorsque la longueur d'onde correspondant au faisceau lumineux et proche ou égale à l'énergie de la vibration de la molécule qui compose la matière, cette dernière va absorber le rayonnement et on enregistrera une diminution de l'intensité réfléchie ou transmise.

Pour un matériau de composition chimique et de structure donnée, il va correspondre un ensemble de bandes caractéristiques permettant l'identification de ce matériau.

Dans cette étude, nous avons utilisé la spectrométrie d'absorption moyen infrarouge afin de déterminer à quel type de diamant les échantillons font partie.

##### Méthode :

Nous avons utilisé un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier Bruker Vertex 70 de l'IMN de Nantes. Cet appareil possède un système de purge afin d'obtenir des spectres plus propres, une résolution ajustable de 4 à 0,5  $\text{cm}^{-1}$ , et les spectres sont acquis sur la plage 400 - 5000  $\text{cm}^{-1}$ .

Pour ce faire nous avons procédé à la préparation des échantillons (nettoyage), au placement de l'échantillon dans la chambre du spectromètre, elle même équipée d'un concentrateur de faisceau (accessoire de réflectance diffuse) qui nous a permis de travailler en transmission.

Les spectres obtenus ont été effectués à température ambiante, en effectuant avant chaque spectre un "background", et une analyse en accumulant en moyenne 500 scans, à une résolution de  $4 \text{ cm}^{-1}$ .

## 6. La spectrométrie d'absorption UV-Visible

Afin de comprendre l'origine de la couleur, nous avons effectué des spectres d'absorption dans le domaine de l'UV visible.

### Principe :

La spectroscopie UV visible va nous permettre d'identifier les défauts structuraux présents dans le matériel analysé, on appelle ces défauts des centres. Ces centres sont nommés selon leur nature atomique. La plupart des centres colorés (défauts dans la structure cristalline responsable de la couleur) sont décelés par cette technique (Hainschwang, 2003).

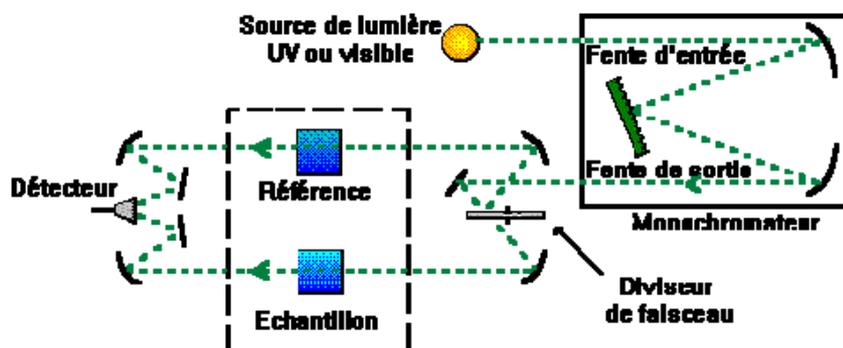
### Méthode :

Nous avons utilisé un spectrophotomètre Varian Cary 5G l'IMN de Nantes. Les spectres sont réalisés soit en transmission, soit en réflexion.

Il faut bien masquer le rayon pour que le rayon détecté soit totalement passé par la pierre (boucher avec de la pâte à modeler par exemple), et faire en sorte que le rayon passe à travers deux faces parallèles.

Nous avons mesuré les spectres sur une gamme de longueur d'onde entre 300 et 800 nm, avec une résolution de 0,5 à 2 nm. Les spectres ont été obtenus en température ambiante (idéalement avec une unité cryogénique).

La figure 35, ci-dessous, illustre le principe d'un spectrophotomètre d'absorption UV-Visible à double faisceau.



**Figure 35** : Schéma de principe d'un spectrophotomètre d'absorption UV-Visible à double faisceau.  
Source: Wikipédia.

## VII – RESULTATS

Les résultats sont présentés en 6 grandes parties :

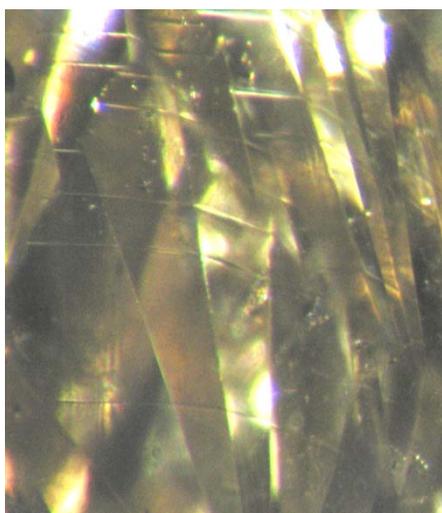
- 1) Propriétés gemmologiques
- 2) Classification des diamants par types et sous types (infrarouge)
- 3) Origine de la couleur (UV visible)
- 4) Les diamants bruns avec « amber center »
- 5) Les diamants riches en hydrogène et les diamants dits « caméléon »
- 6) Cathodoluminescence : interprétation imagerie

### 1. Propriétés gemmologiques

La majorité des échantillons analysés possèdent une sous teinte (couleur secondaire) qui modifie la couleur brune, qui est la couleur de la majorité des échantillons analysés. La couleur secondaire jaune se retrouve dans 80 % des échantillons, ainsi que l'orange, et le vert et le rose. La plupart sont homogènes en couleur, d'autre présente du graining. Ces résultats sont résumés dans le tableau 6 (pages 44 - 46).

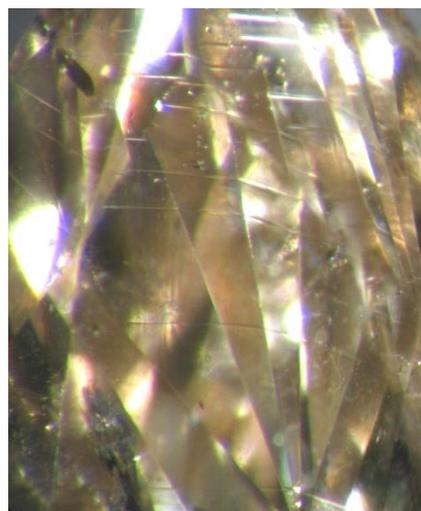
#### Photographie 1 :

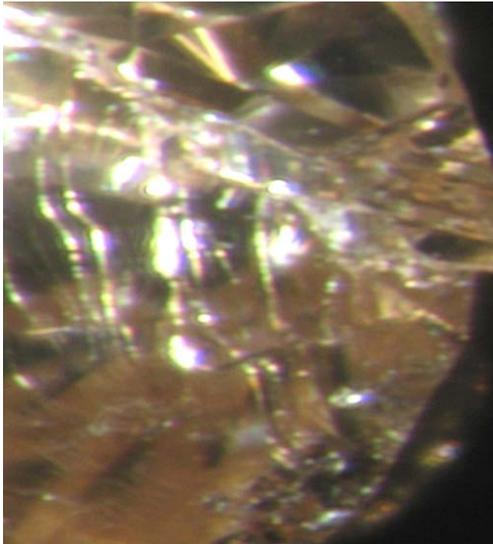
Diamant fm05, grossissement : x 36.  
On distingue des lamelles parallèles (graining), probablement causé par la déformation plastique.



#### Photographie 2 :

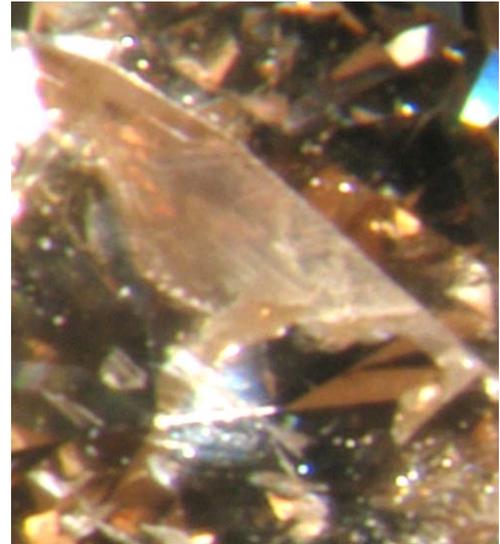
Diamant fm05, grossissement : x 36.  
Source d'éclairage fibre optique.





Photographie 3 :

Diamant fm07, grossissement X 43.  
On distingue une cassure en escalier,  
causé au sertissage le long d'un clivage.



Photographie 4 :

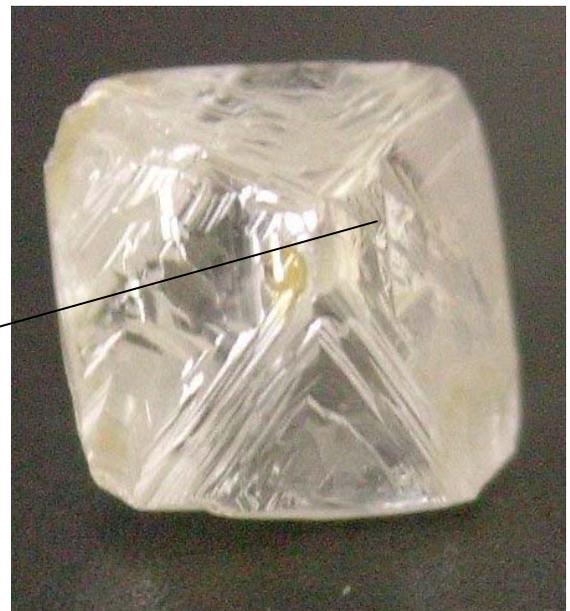
Diamant fm06, grossissement X43.  
On distingue un clivage visible sur la table.

Photographie 5 :

Diamant fm01, grossissement : x 30.  
On distingue sur les faces des figures  
de dissolutions.

Photographie 6 :

Grossissement : x 45.  
Agrandissement des figures  
de dissolutions, on distingue  
des "trigons".



Photographie 7 :

Diamant fm15, grossissement x 45.  
On distingue de nombreuses inclusions  
noires et des voiles blanchâtres.

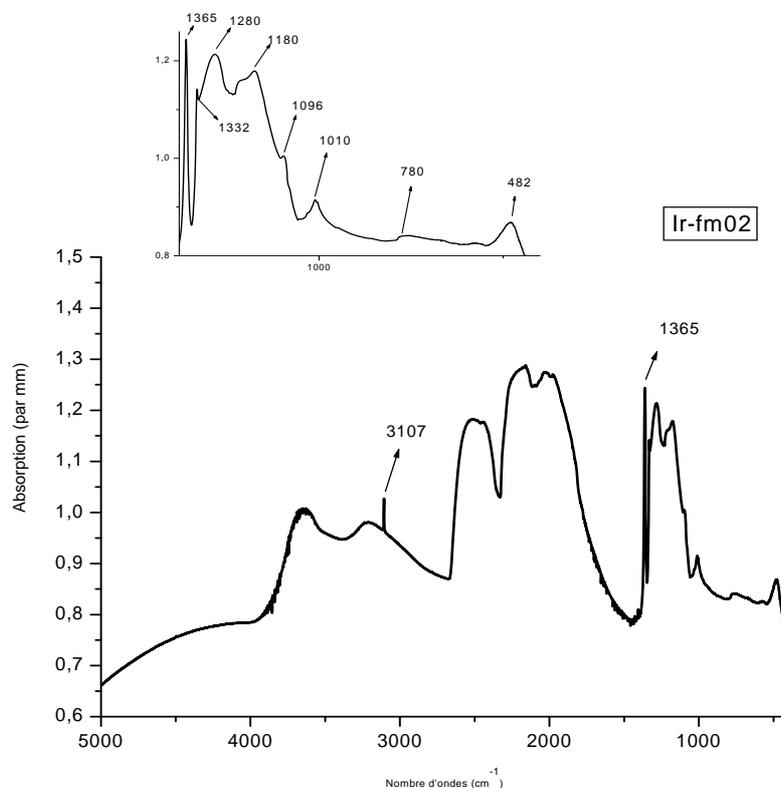


## 2. Classification des diamants par types et sous types

Afin de classifier nos diamants par types, nous allons ci-dessous présenter les commentaires et les spectres pour certains des échantillons.

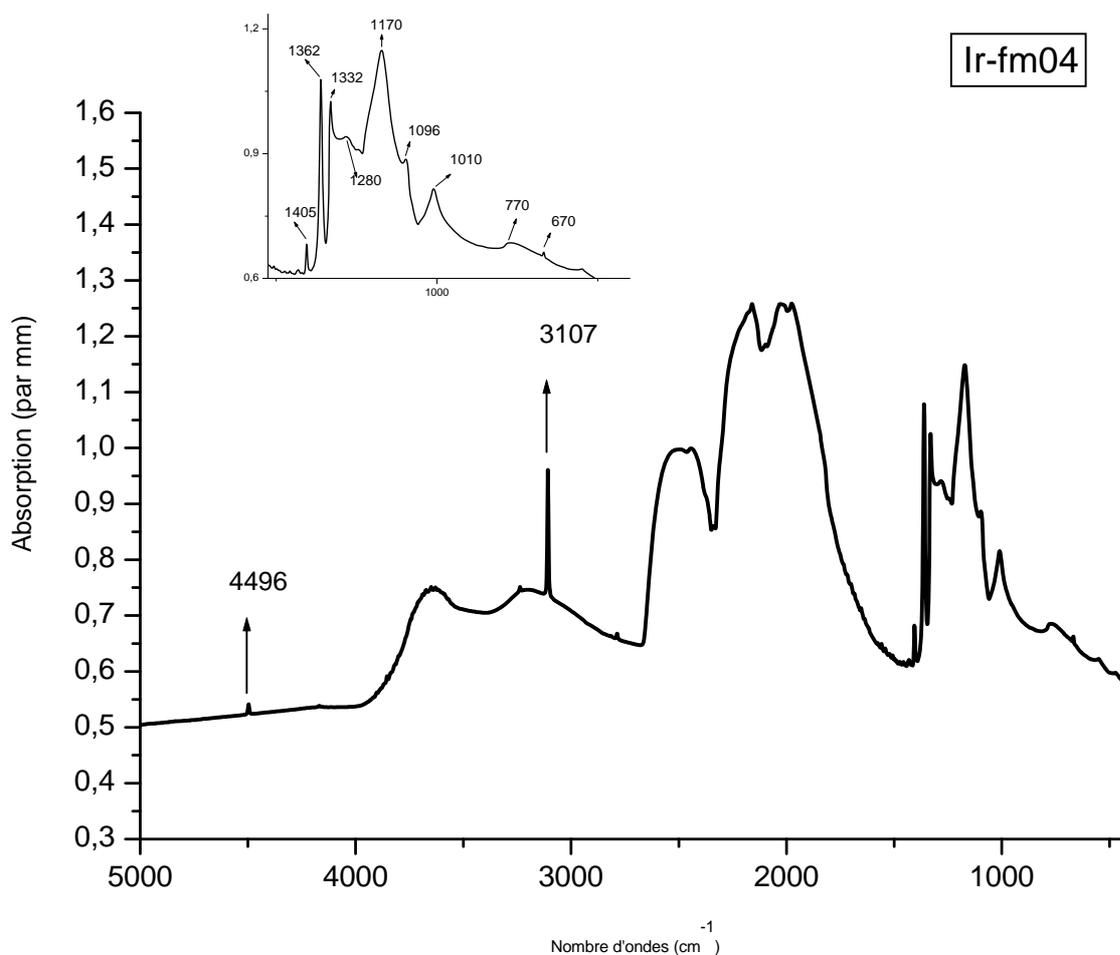
Certains spectres seront présentés avec un spectre miniature présentant un agrandissement de la zone à 1, 2 ou 3 phonons.

- Diamant fm02, (figure 36) : il contient de l'azote en grande quantité sous la forme d'agrégats A et B. Les agrégats A présent dans la zone à un phonon sont représentés par des absorptions à 482 et 1280  $\text{cm}^{-1}$ . Les agrégats B sont également présents avec des pics à 1010, 1096 et 1175  $\text{cm}^{-1}$ . Notons également la présence en grande quantité de plaquettes avec un pic à 1365  $\text{cm}^{-1}$ , ainsi qu'un pic à 3107  $\text{cm}^{-1}$  lié à l'hydrogène. De ce fait, nous pouvons en déduire que ce diamant est de type IaAB.



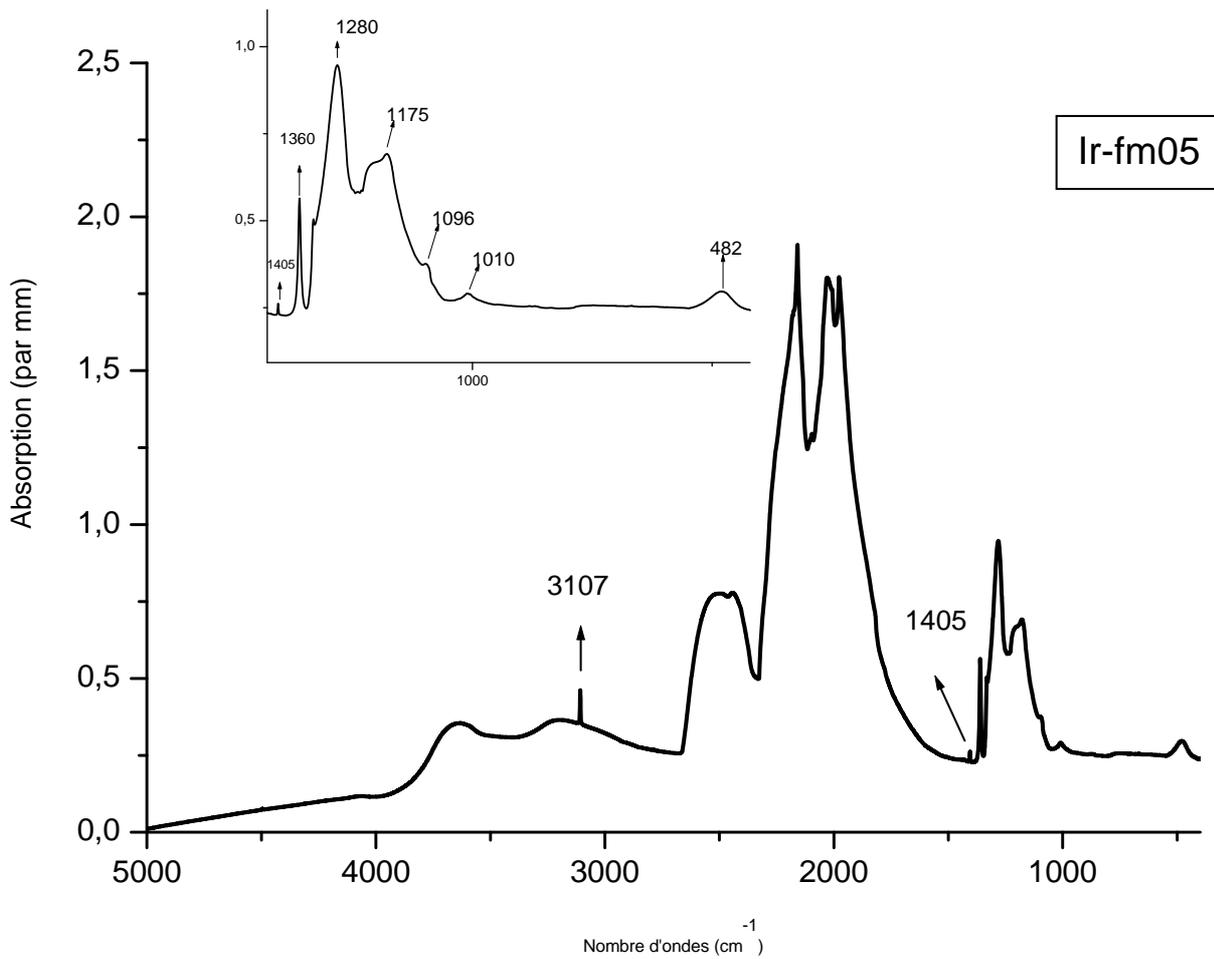
**Figure 36** : Spectre infrarouge du diamant fm02, presque incolore, ce diamant est de type IaAB.  
En insert : détail de la zone à un phonon.

- Diamant fm04, (figure 37) : il contient de l'azote sous forme d'agrégats A et B. Les agrégats A sont présents avec faible pic à  $1280\text{ cm}^{-1}$ . Ce diamant contient une faible quantité de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) avec un pic à  $670\text{ cm}^{-1}$ . Les agrégats B sont également présents avec des pics à  $1332, 1170, 1096, 1010$  et  $770\text{ cm}^{-1}$ . Notons également la présence en grande quantité des plaquettes avec un pic à  $1362\text{ cm}^{-1}$ , ainsi que des pics à  $1405, 3107$  et  $4496\text{ cm}^{-1}$  lié à l'hydrogène. Ce diamant contient des agrégats B en plus grandes quantités, de ce fait il est de type  $\text{IaA} \ll \text{B}$ .



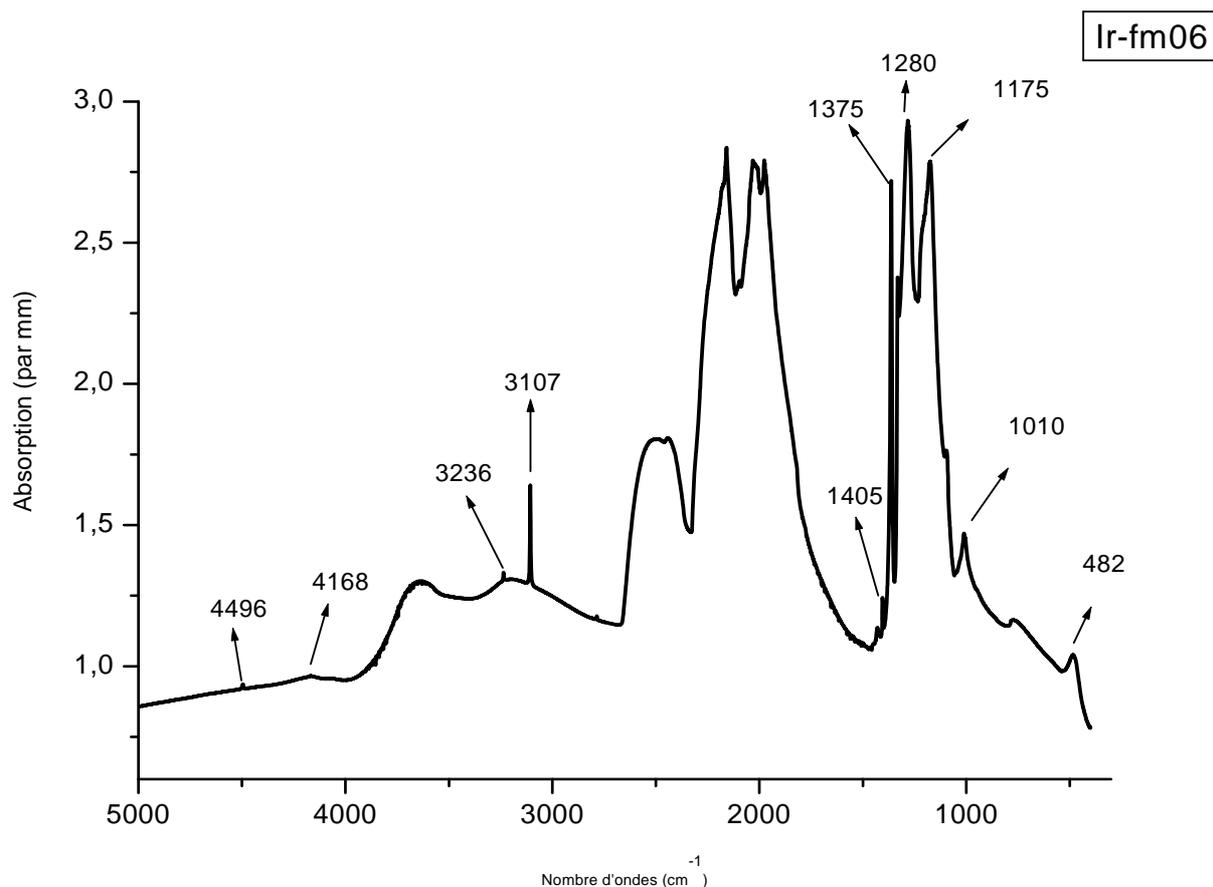
**Figure 37** : Spectre infrarouge du diamant fm04, brun jaune, ce diamant est de type  $\text{IaA} \ll \text{B}$ .  
En insert : détail de la zone à un phonon.

- Diamant fm05, (figure 38) : il contient de l'azote sous forme d'agrégats A et B. Les agrégats A sont représentés par des absorptions à 670 et 1280  $\text{cm}^{-1}$ . Les agrégats B sont également présents avec des pics à 1332, 1175, 1096, 1010 et 770  $\text{cm}^{-1}$ . Notons également la présence en grande quantité des plaquettes avec un pic à 1362  $\text{cm}^{-1}$ , ainsi que des pics à 1405, 3107 et 4496  $\text{cm}^{-1}$  lié à l'hydrogène. Ce diamant contient des agrégats A en plus grandes quantités, de ce fait il est de type IaA>>B.



**Figure 38** : Spectre infrarouge du diamant fm05, brun jaunâtre clair, ce diamant est de type IaA>>B.  
En insert : détail de la zone à un phonon.

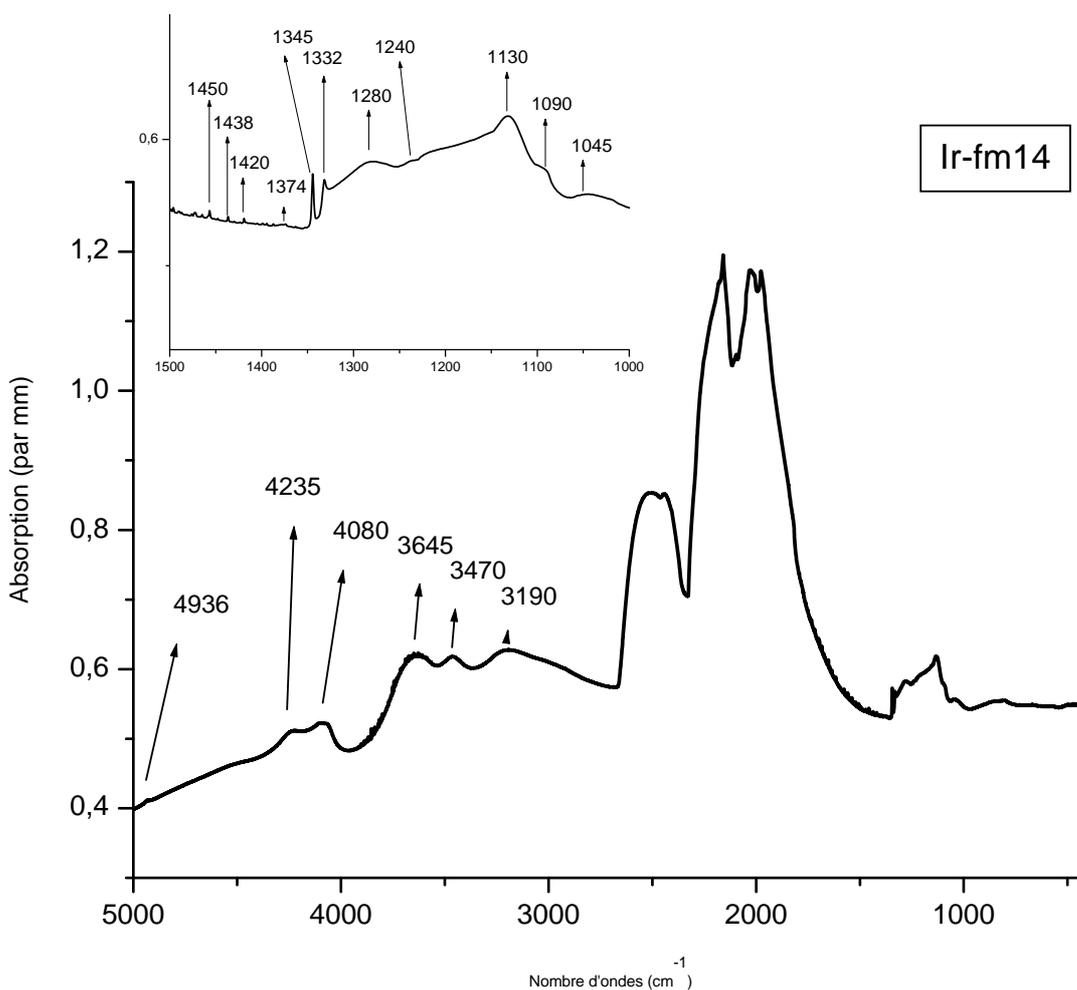
- Diamant fm06, (figure 39) : il contient de l'azote en très grandes quantités, sous forme d'agrégats A et B. Les agrégats A présents dans la zone à un phonon sont représentés par des absorptions à 482 et 1280  $\text{cm}^{-1}$ . Les agrégats B sont également présents avec des pics à 1332 (Raman), 1170, 1096, 1010 et 770  $\text{cm}^{-1}$ . Les plaquettes avec un pic à 1375  $\text{cm}^{-1}$ , mais également la présence d'hydrogène avec des pics à 1405, 3107, 3236 et 4496  $\text{cm}^{-1}$ . Ce diamant contient des agrégats A en plus grandes quantités, de ce fait il est de type IaA>>B. Nous reviendrons plus en détail sur les absorptions liées à l'hydrogène, pour le pic à 3107  $\text{cm}^{-1}$  dans le chapitre « les diamants riches en hydrogène » et dans le chapitre les diamants bruns avec « amber center » pour le pic à 4168  $\text{cm}^{-1}$ .



**Figure 39** : Spectre infrarouge du diamant fm06, brun jaune moyen, ce diamant est de type IaA>>B.

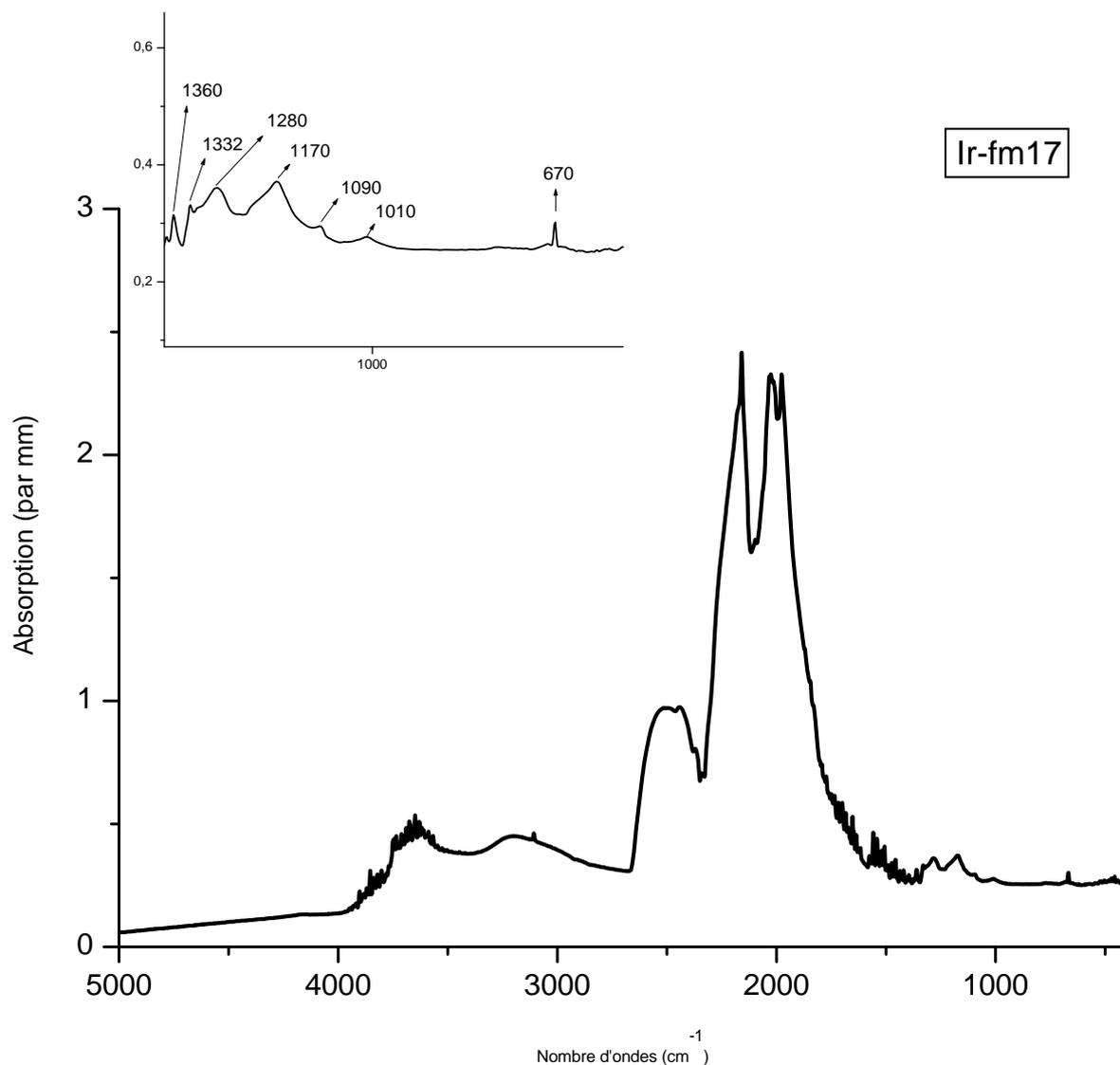
- Diamant fm14, (figure 40) : il contient de faibles quantités d'azote. Les agrégats A présent dans la zone à un phonon sont représentés par une absorption à  $1280\text{ cm}^{-1}$ . Notons la présence du pic à  $1332\text{ cm}^{-1}$ . Notons également la présence des absorptions liées au centre C à  $1130$  et  $1344\text{ cm}^{-1}$ , ainsi que trois absorptions décrites dans la littérature comme étant typiques des diamants avec un caractère Ib,  $1240$ ,  $1090$ ,  $1045\text{ cm}^{-1}$  (Woods et Collins, 1983), très peu de plaquettes à  $1374\text{ cm}^{-1}$ , mais aussi trois faibles absorptions à  $1420$ ,  $1435$  et  $1450\text{ cm}^{-1}$  (H1a), et pour finir une série d'absorptions dans la zone à trois phonons  $3190$ ,  $3470$ ,  $3645$ ,  $4080$ ,  $4235$  et  $4936\text{ cm}^{-1}$ .

Nous détaillerons ces absorptions dans le chapitre consacré au « amber centres ». Nous pouvons déduire que ce diamant est de type Ib avec un caractère Ia, type Ib + IAa.



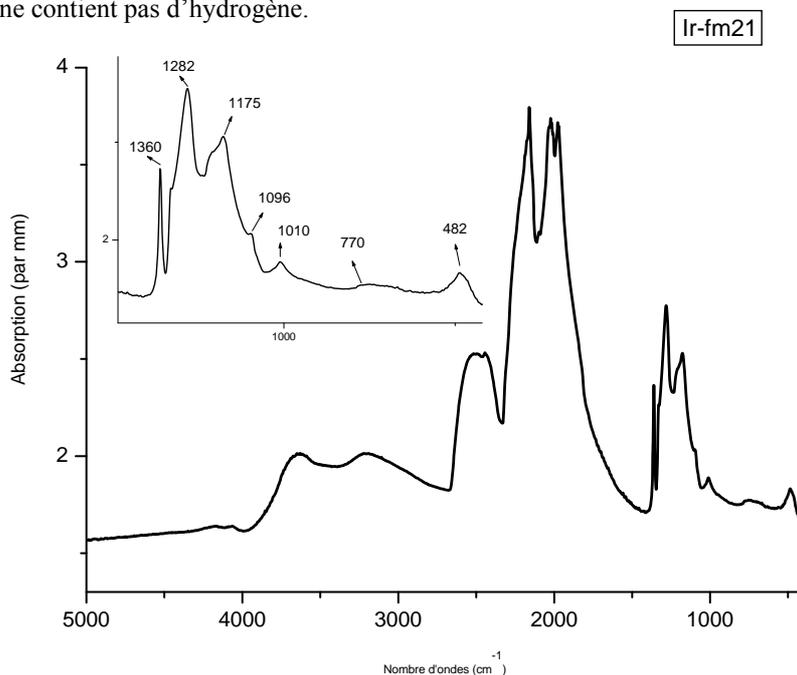
**Figure 40** : Spectre infrarouge du diamant fm14, brun vert foncé, ce diamant est de type Ib + IAa.  
En insert : détail de la zone à un phonon.

- Diamant fm17, (figure 41) : il contient de l'azote en très faibles quantités. Notons la présence du pic à  $1280\text{ cm}^{-1}$  pour les agrégats A. Les agrégats B sont également présents avec des pics à  $1332$ ,  $1170$ ,  $1096$  et  $1010\text{ cm}^{-1}$ . Notons également la présence en grandes quantités des plaquettes avec un pic à  $1360\text{ cm}^{-1}$ . Ce diamant contient des agrégats B en plus grandes quantités, de ce fait il est de type IaA<<B, il contient aussi un peu de CO<sub>2</sub> ou plus probablement un artefact car la bande n'est pas assez large.



**Figure 41** : Spectre infrarouge du diamant fm17, brun rosâtre moyen, ce diamant est de type IaB.  
En insert : détail de la zone à un phonon.

- Diamant fm21, (figure 42) : ce diamant contient à la fois des agrégats A, 482 et 1282  $\text{cm}^{-1}$  et des agrégats B avec des pics à 1175, 1096, 1010 et 770  $\text{cm}^{-1}$ . Notons également la forte présence des plaquettes avec un pic à 1362  $\text{cm}^{-1}$ . Ce diamant est donc de type IaA>>B, qui est de loin le cas le plus courant, il ne contient pas d'hydrogène.

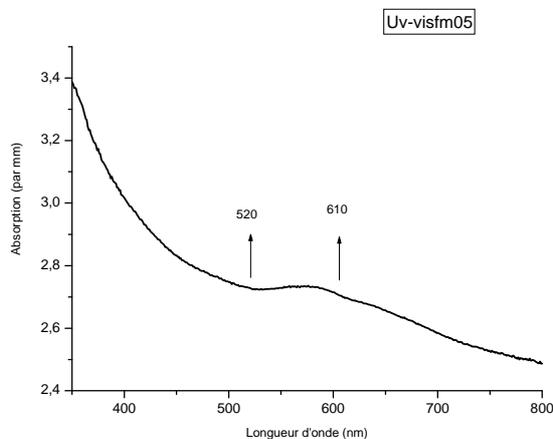


**Figure 42** : Spectre infrarouge du diamant fm21, brun grisâtre clair, ce diamant est de type IaAB. En insert : détail de la zone à un phonon.

### 3. Origine de la couleur

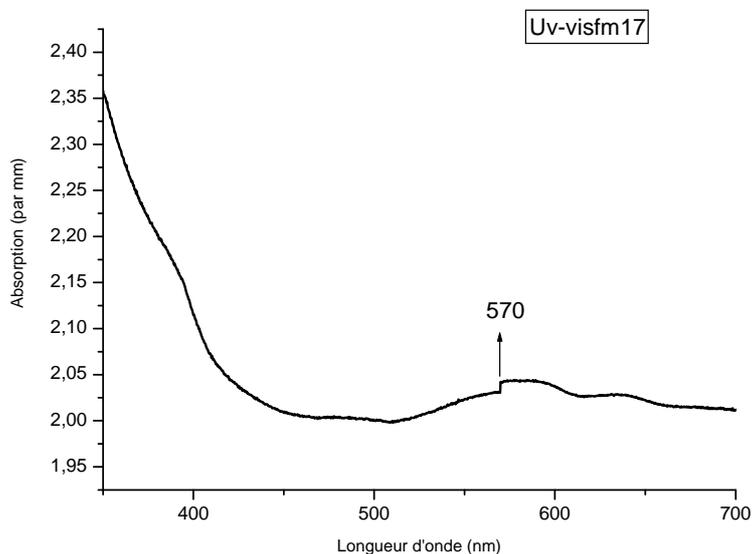
Nous avons étudié l'origine de la couleur par la mesure de spectres d'absorption UV-Vis.

- Diamant fm05 (figure 43) : on peut observer un continuum allant du rouge au bleu. Il y a transmission aux environs de 520 nm (à peine marquée), puis une transmission de plus en plus forte de 610 nm vers le rouge. De ce fait les couleurs restantes produisent la couleur brune jaunâtre de ce diamant.



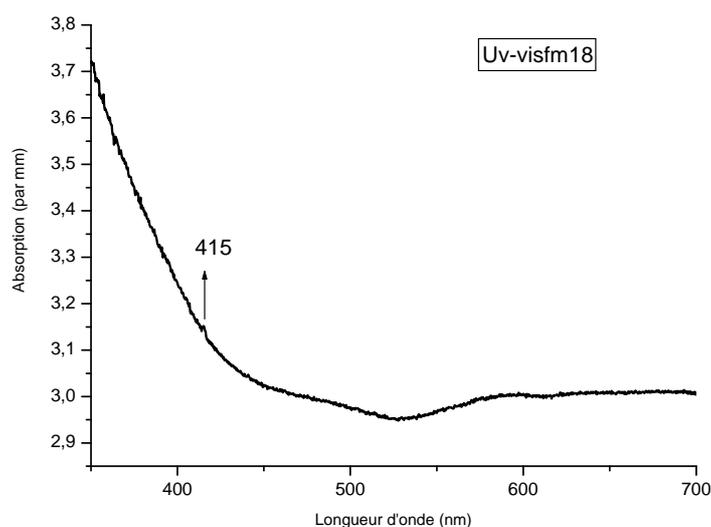
**Figure 43** : Spectre UV-vis du diamant fm05, brun jaunâtre clair, de type IaA>>B, typique d'un diamant brun.

- Diamant fm17 (figure 44) : on observe un continuum d'absorption croissant vers l'UV, allant de 350 à environ 400 nm, ainsi qu'une large absorption autour de 580 nm, associée au défaut responsable de la couleur secondaire rose, présente dans ce diamant, tandis que la couleur brune s'explique par la présence dominante du continuum. La "marche" à 570 nm est un artéfact instrumental.



**Figure 44** : Spectre UV-vis du diamant fm17, brun rosâtre moyen, de type IaB.

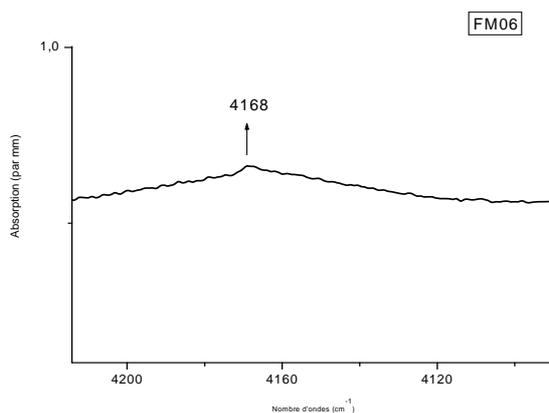
- Diamant fm18 (figure 45) : ce spectre présente un continuum, ainsi qu'une absorption très faible à 415 nm, causé par la présence de défauts liés à l'azote, nommé centre N3. Notons également une bande peu marquée entre 450 et 525 nm, qui va absorber dans le bleu - vert, ainsi qu'une bande plus marquée entre 550 et 600 nm, elle absorbe une partie du jaune, la couleur transmise sera donc composé de brun et de vert.



**Figure 45** : Spectre UV-vis du diamant fm17, brun verdâtre foncé.

#### **4. Les diamants bruns avec « amber center »**

A ce stade de la recherche et des nombreuses observations, nous allons commenter un pic observé en infrarouge, sur le spectre de l'échantillon fm06 (figure 39). En effectuant des recherches dans la littérature sur ce pic à  $4168\text{ cm}^{-1}$ , nous avons constaté qu'il est la signature infrarouge de l'amber center AC2 (figure 39), mais aussi qu'il indique la présence du graining. Cependant les diamants bruns de type IaB ou IIa montrent du graining mais pas d'amber center (Massi, 2006), ce type de défauts n'est observable que dans les diamants bruns.



**Figure 46 :** Agrandissement de la zone en infrarouge entre  $4200$  et  $4100\text{ cm}^{-1}$ , du diamant fm06.

La couleur brune dans un diamant comme nous l'avons cité dans le chapitre "origine de la couleur", peut être causée par la déformation plastique, qui est responsable du graining coloré.

La catégorie diamants bruns « matrice incolore à presque incolore avec graining brun » représente plus des trois quarts des diamants de cette couleur (Massi, 2006).

Nous avons observé le graining dans certains échantillons en utilisant le microscope en lumière diffuse (figure photographie 1 p.50).

#### **5. Les diamants riches en hydrogène et les diamants dits « caméléon »**

Tout d'abord précisons ce qu'on appelle diamant riche en hydrogène. Il y a une nuance entre les diamants qui contiennent de l'hydrogène en petite proportion avec un pic d'absorption en infrarouge caractéristique à  $3107\text{ cm}^{-1}$  et les diamants riches voir très riches en hydrogène avec une intensité du pic à  $3107\text{ cm}^{-1}$  supérieure ou égal à l'intensité de l'absorption intrinsèque du diamant à  $2450\text{ cm}^{-1}$  (Fritsch et al., 1991). La présence d'azote étant nécessaire pour l'introduction de l'hydrogène, ces diamants riches en hydrogène sont tous riches en azote (Fritsch *et al.*, 1991).

Parmi les diamants verts ou jaune vert brunâtre / jaune vert grisâtre, on trouve un type rare, le diamant caméléon, qui a la propriété de changer de couleur temporairement lorsqu'on le chauffe à  $150 - 200\text{ °C}$  (thermochromique) ou si on le laisse dans le noir pendant un certain temps (photochromique), il va passer d'une couleur jaune vert brunâtre ou jaune vert grisâtre (comm. pers., T. Hainschwang), qui est la couleur stable à un jaune orange ou jaune verdâtre (instable). Après l'exposition, il va retourner en quelques instants à sa couleur stable. On distingue

cependant deux catégories de caméléon, le groupe "classique" qui typiquement va changer du vert gris au jaune orange, et le groupe "inverse" qui va du légèrement jaune ou brun jaune au jaune verdâtre prononcé.

Les deux groupes se distinguent par des comportements différents en spectroscopie et en fluorescence aux UV, mais les deux groupes présentent une phosphorescence (jaune) forte durable après exposition aux UV courts et une présence d'hydrogène identifiée à l'aide de la spectroscopie FTIR.

Les diamants caméléon sont d'origine naturelle et de couleur naturelle, l'effet ne pouvant pas être reproduit artificiellement par traitement, en tout cas nous n'en avons pas eu connaissance jusqu'à ce jour.

Nous avons utilisés comme support de travail, l'article décrivant 36 diamants caméléon étudiés au Gemological Institute of America (GIA) par Fritsch (Gems & Gemology in review). L'article fait notamment mention du fait que ces diamants sont de type Ia avec de fortes concentrations en agrégat A, ainsi que des concentrations d'hydrogène en plus ou moins fortes quantités, mais également des traces d'azote et de nickel.

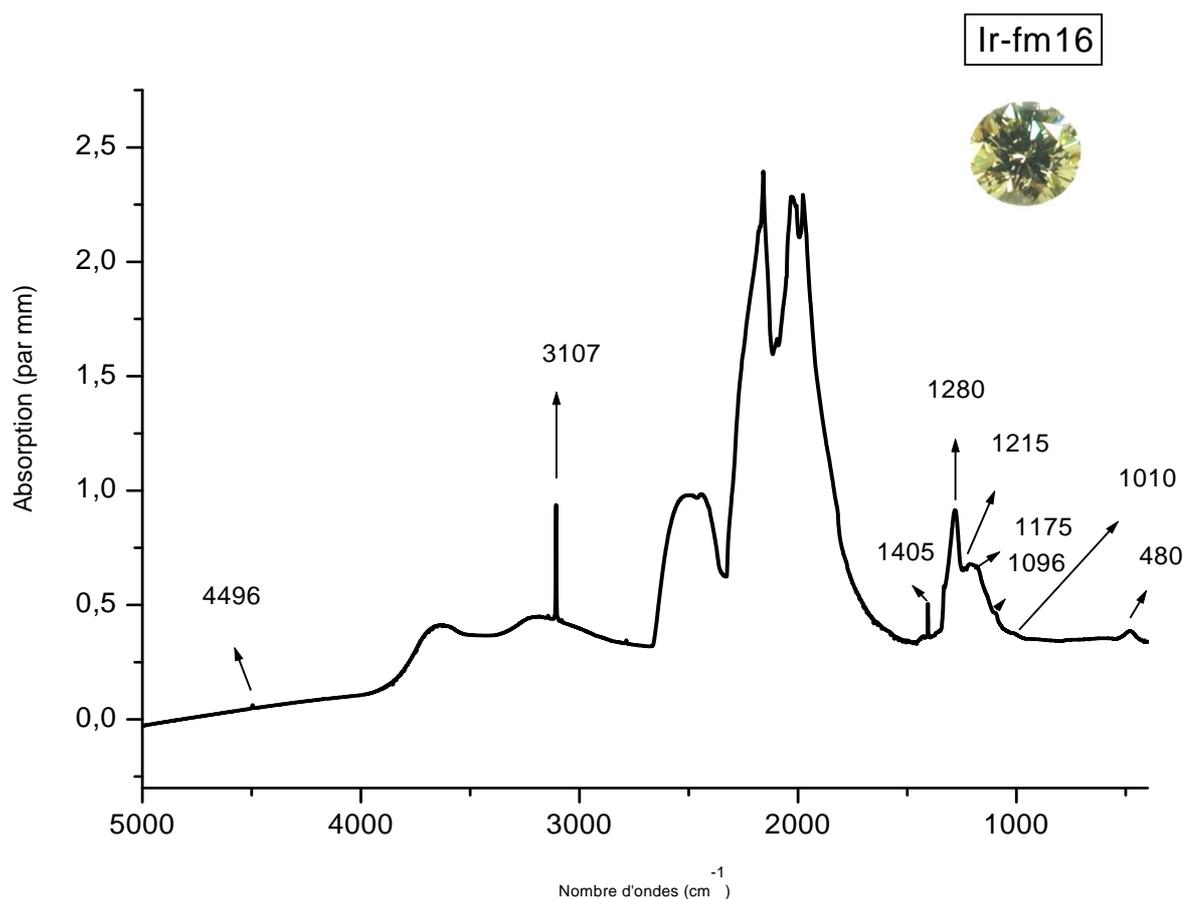


**Figure 48** : Le certificat avec son scellé du diamant fm16 réalisé au IGI d'Anvers, notons la description de la couleur, ainsi que la luminescence "Slight", mais surtout le manque de commentaires concernant les propriétés de ce diamant caméléon.



**Figure 47** : Un diamant caméléon "classique", fm16 dans sa couleur stable. Ce diamant passe de fantaisie jaune verdâtre à fantaisie jaune orangé intense.

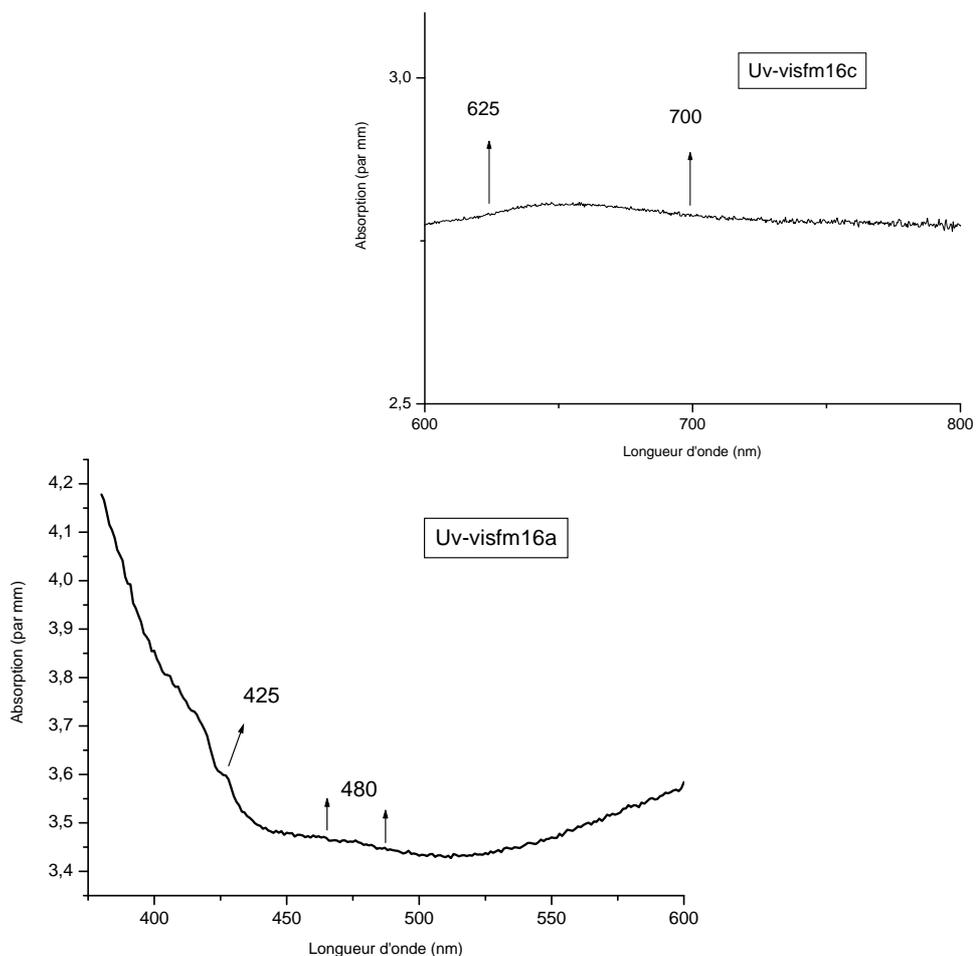
- Diamant fm16, (figure 49) : il contient de l'azote et de l'hydrogène ainsi que des agrégats A et B. Les agrégats A présent dans la zone à un phonon sont représentés par des absorptions à 480, 1215 et 1280  $\text{cm}^{-1}$ . Les agrégats B sont également présents avec des pics à 1175, 1096 et 1010  $\text{cm}^{-1}$ . Notons également la présence des pics à 1405, 3107 et 4496  $\text{cm}^{-1}$  liés à l'hydrogène. Ce diamant est donc de type IaA>>B.



**Figure 49** : Spectre infrarouge du diamant fm16, jaune verdâtre (caméléon). Ce diamant est de type IaA>>B. En insert : photo du diamant fm16, dans sa couleur stable.

En spectrométrie UV visible, ces diamants présentent principalement le continuum typique, avec des figures spectrales spécifiques, une bande très large centrée vers 700 nm, ainsi qu'une bande large centrée vers 480 nm et des absorptions fines à 425 nm, et 480 nm. Les diamants montrant la bande à 480 nm, connue aussi sous le nom de la bande à 2,6eV, possèdent tous une intense luminescence jaune ainsi qu'une phosphorescence (Collins, 1982), ce qui est bien le cas pour les diamants caméléon. Le changement de couleur (effet caméléon) se manifeste sur ces spectres par une disparition progressive de la bande très large. L'effet caméléon est probablement lié à la présence d'un centre impliquant de l'azote et de l'hydrogène (Massi, 2006).

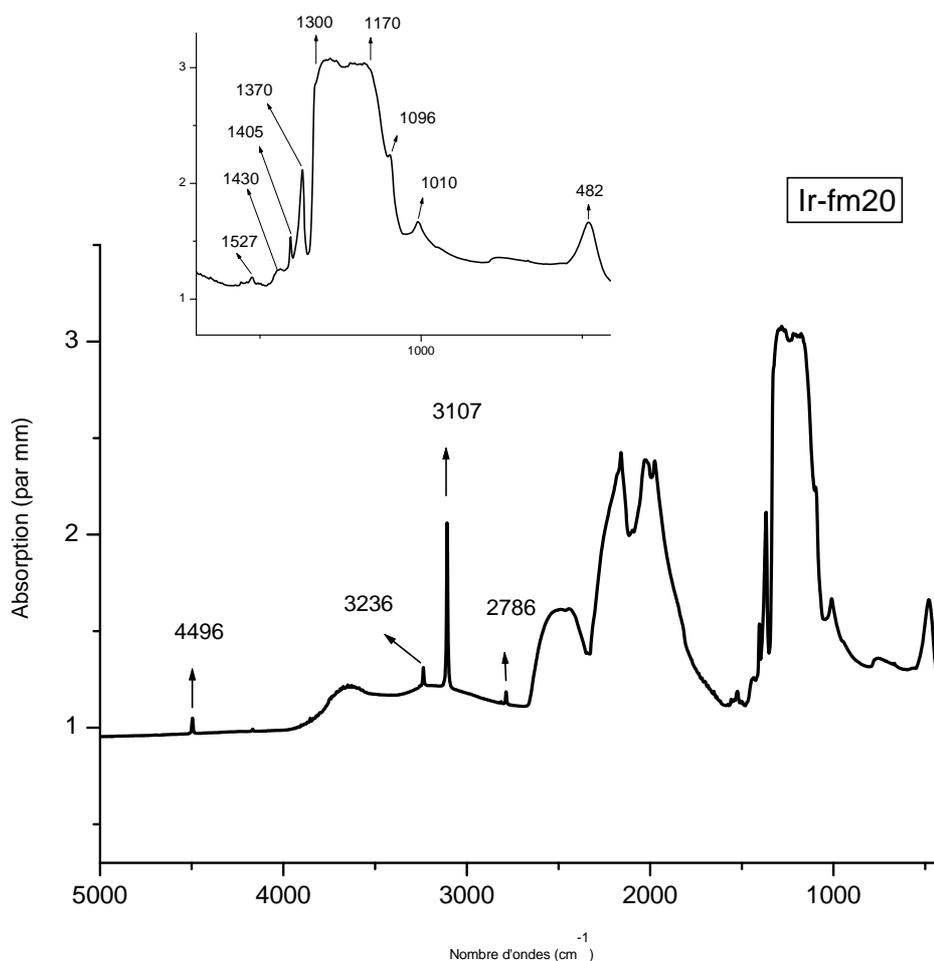
- Diamant fm16 (figure 50) : nous présentons pour ce diamant deux spectres, avec une zone d'agrandissement de 600 à 800 nm. Ce diamant présente un continuum avec une bande à 480 et une bande entre 625 et 700 nm, ainsi qu'une faible absorption à 415 nm (N3). La bande à 425 nm (N2) est toujours associée avec la bande à 480 nm, cette dernière étant l'origine de la couleur de ce diamant, qui elle même serait typique des diamants du type Ib/aA, de couleurs orange à jaune orangé (Field, 1992 ; Zaitsev, 2001). Toutes ces informations nous permettent d'affirmer que nous sommes en présence d'un diamant caméléon de type "classique".



**Figure 50 :** Spectre UV-vis du diamant fm16, c'est un diamant caméléon.  
En insert : détail de la zone entre 600 à 800 nm.

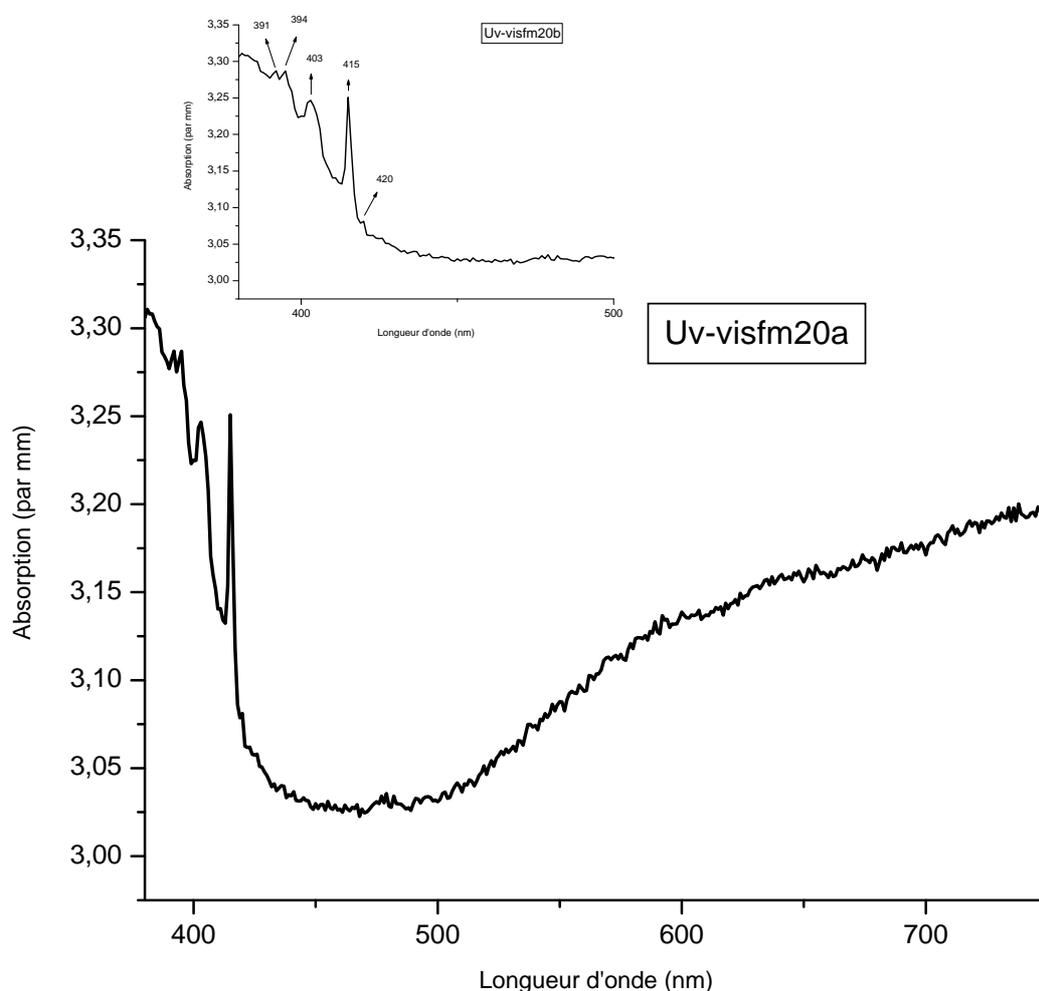
Suite à cet examen nous nous sommes posés la question à savoir si l'IGI d'Anvers effectue la certification des diamants caméléon ou non ? Une contre expertise aurait pu être demandée mais les circonstances ne le permettaient pas à cette époque.

- Diamant fm20, (figure 51) : Notons la présence de l'absorption prononcée de l'agrégat A à  $482\text{ cm}^{-1}$ . Les agrégats B sont présents avec des pics à  $1170, 1096, 1010$  et  $\text{cm}^{-1}$ , mais aussi la présence en grandes quantités des plaquettes avec un pic à  $1370\text{ cm}^{-1}$ , ainsi qu'un pic à  $1405$  (C-H),  $1430$  et  $1527\text{ cm}^{-1}$ . Le pic à  $3107\text{ cm}^{-1}$  est plus intense que l'absorption intrinsèque du diamant à  $2450\text{ cm}^{-1}$ . Ce diamant fait partie des diamants riches en hydrogène, mais aussi un pic à  $3236\text{ cm}^{-1}$  lié à l'hydrogène, et pour finir des pics à  $2786$  et  $4496\text{ cm}^{-1}$ . Ce diamant contient des agrégats B en plus grandes quantités, de ce fait il est de type IaB>>A.



**Figure 51** : Spectre infrarouge du diamant fm20, légèrement gris jaunâtre riche en hydrogène.

- Diamant fm20 (figure 52) : ce diamant est légèrement gris avec une forte absorption de base ( $A \geq 3$ ) avec une sous teinte de jaune (N3/N2). Notons un pic prononcé du N3 à 415 nm, et une fine bande à 403 nm. Notons également un pic à 393 nm qui correspond à la réplique de la bande à 415 nm (même structure), du fait du dédoublement du bruit, ainsi qu'une bande large prononcée à partir d'environ 500 nm, et qui monte graduellement en intensité.



**Figure 52** : Spectre UV-vis du diamant fm20, ce diamant est de type IaB>>A.  
En insert : détail de la zone entre 380 – 500 nm.

En observant les échantillons fm21 (type IaAB), fm22 et fm23 sous différentes conditions d'éclairage nous avons observé un changement de couleur temporaire lorsqu'on les chauffe à 150 – 200 °C (sous la flamme d'un briquet). La couleur stable varie du brun grisâtre clair/ légèrement gris vert jaunâtre pour passer au vert moyen /vert jaune intense (instable), ceci pourrait expliquer le manque de commentaires sur le certificat du IGI. Les spectres en IR du diamant fm22 et fm23 sont sensiblement identiques. Ci-dessous nous vous présentons le certificat du IGI pour le diamant fm22 (figure 53).

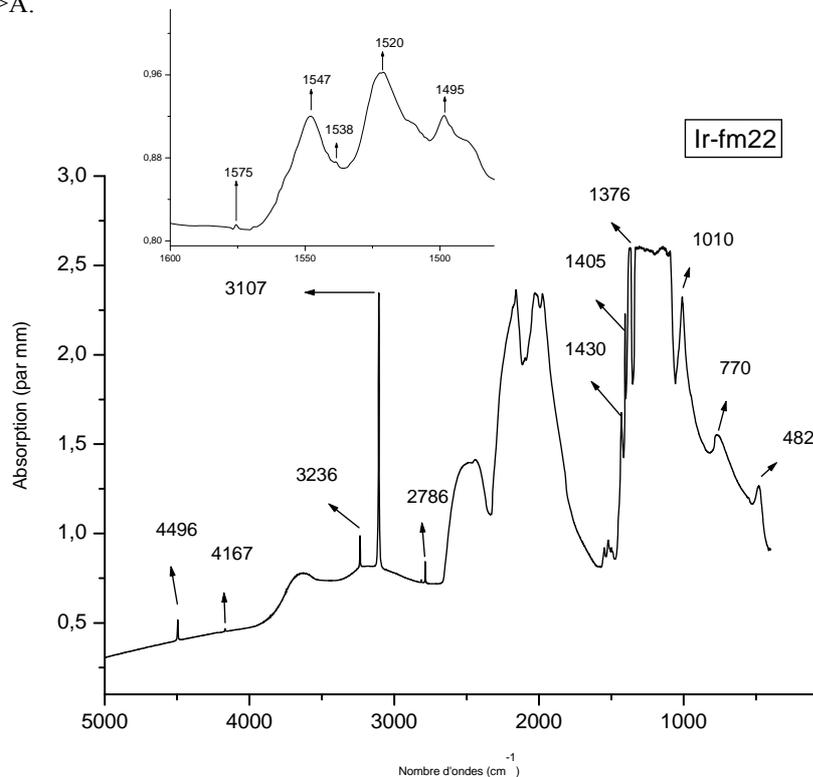


**Figure 53** : Un diamant caméléon "inverse", fm22 dans sa couleur instable. Ce diamant passe du gris vert jaunâtre au fantaisie vert jaune intense.



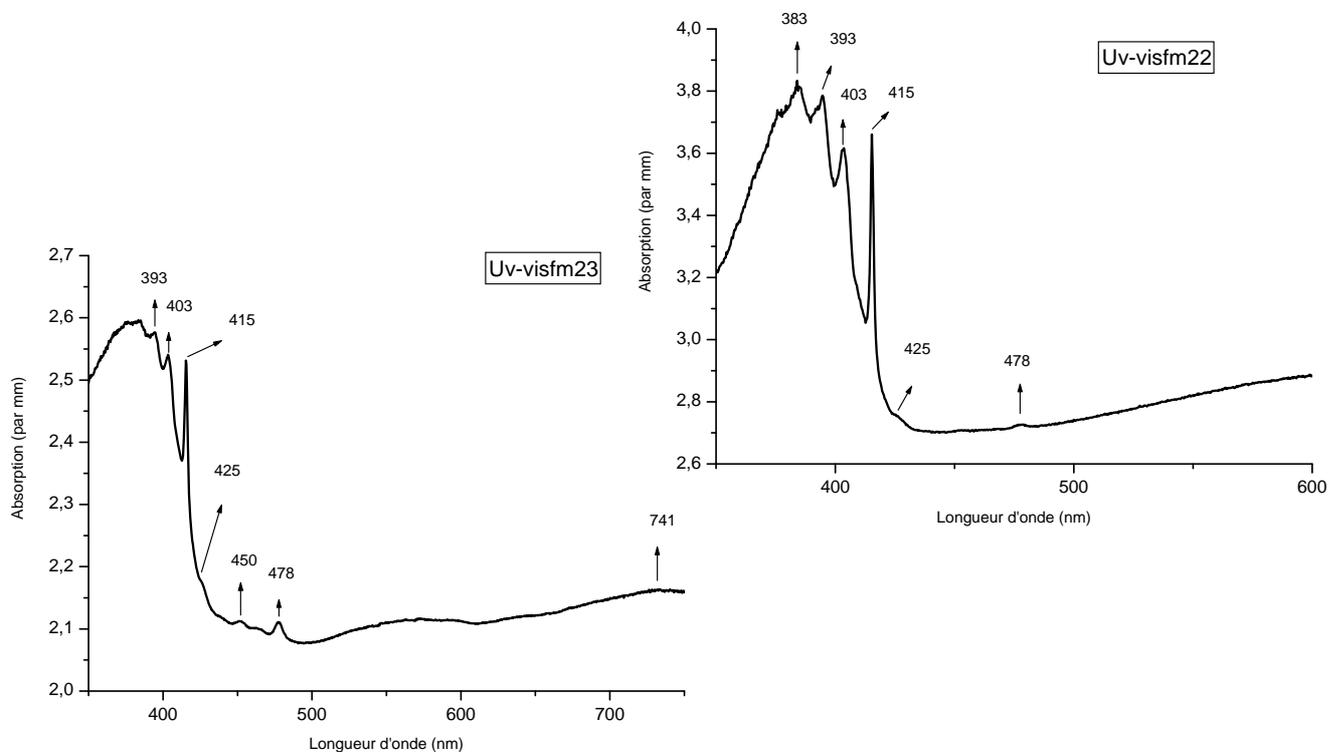
**Figure 54** : Le certificat avec son scellé du diamant fm22. Ce diamant présente une troisième teinte verdâtre.

- Diamant fm22, (figure 55) : tout d'abord observons le pic à  $3107\text{ cm}^{-1}$ , plus haut que l'absorption intrinsèque du diamant à  $2450\text{ cm}^{-1}$ , ainsi que le pic à  $3236\text{ cm}^{-1}$ , ce diamant est riche en hydrogène. L'agrégat A est présent à  $482\text{ cm}^{-1}$ . Les agrégats B sont présents avec le pic à  $1010\text{ cm}^{-1}$ . Notons également la présence en grande quantité des plaquettes avec un pic à  $1376\text{ cm}^{-1}$ , ainsi qu'un pic à  $1405\text{ cm}^{-1}$  (C-H), mais également des pics à  $2786$  et  $4496\text{ cm}^{-1}$ . Nous constatons que ce diamant ne possède pas d'absorptions à  $1130$ ,  $1344$  ou  $2688\text{ cm}^{-1}$ , de ce fait il ne possède pas de caractère Ib. Dans la zone  $1500 - 1600\text{ cm}^{-1}$ , trois absorptions marquées à  $1495$ ,  $1520$  et à  $1547\text{ cm}^{-1}$  étant décrites par (Zaitsev, 2001) pour des absorptions liées à l'hydrogène dans les diamants de type IaAB. Ce diamant est de type IaB>>A.



**Figure 55** : Spectre infrarouge du diamant fm22, légèrement gris jaune verdâtre. Ce diamant est du type IaAB. En insert : détail de la zone à un phonon.

Les spectres UV-vis du diamant fm22 et fm23, sont eux aussi sensiblement identiques (figure 56). Ils présentent des absorptions à 415 nm (N3), et à 478 nm (N2). Ce sont les lignes du Cap. Le centre N3 possède plusieurs états excités, dont un correspond à une absorption vibronique notée N2 active dans le visible à 478 nm dans les diamants de type Ia (Collins, 1982; Wilks et Wilks, 1991; Woods, 1992). Si nous étions allés voir dans la région allant de 750 à 900 nm, nous aurions sans doute observé une bande à 750 – 900 nm, nous pouvons tout de même identifier une bande à 741 nm (GR1), qui correspond à une irradiation d'origine naturelle ou provoquée par traitement. Cependant sur le spectre du diamant fm23, nous pouvons observer une bande d'absorption à 500 – 600 nm. La bande à 480 nm va légèrement absorber dans le bleu, permettant ainsi à la couleur jaune d'être transmise, tandis que la bande N2 à 478 nm est caractéristique des diamants jaunes gris à violet à brun (Fritsch et al., 1991).



**Figure 56** : Les spectres UV-vis du diamant fm22 et fm 23, légèrement gris jaune verdâtre. Ces diamants sont du type IaAB.

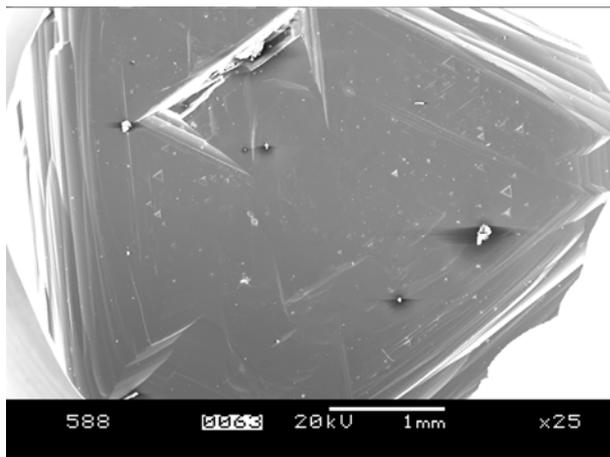
D'après l'article (A Gemological Study of A Collection of Chameleon Diamonds), page 120-121 (gems & gemology in review, 2006), ce type de diamants avec des caractéristiques décrites ci-dessus sont des diamants dits "reverse chameleons", c'est à dire des caméléons inverses, au lieu de passer d'une couleur vert au jaune (classique) avec un changement de couleur thermochromique et photochromique, ils passent du brun jaune / gris jaune au vert / vert jaune. Ce changement de couleur est décrit dans la littérature comme étant causé à la fois par la présence de l'élément hydrogène mais surtout par la réduction de la bande située entre 600 et 900 nm une fois excitée au environ de 140°C. A ce jour la nature exacte des défauts à l'échelle atomique est inconnue. Ce type de

diamants caméléon inverse est d'origine naturelle et de couleur naturelle. Le Gemological Institute of America (GIA), ne reconnaît comme étant des diamants caméléons que le groupe "classique".

## 6. Cathodoluminescence

Certains échantillons choisis ont été observés en imagerie de cathodoluminescence (CL et SE).

Les images de cathodoluminescence ont été enregistrées (en noir et blanc) avec un agrandissement de 20 à 43x.



**Figure 56** : Meb-fm01, SE

Issu d'une croissance octaédrique, on peut voir des trigons inverses sur les faces de l'octaèdre, figures en forme de pyramide provoquée par la dissolution.

**Figure 57** : Meb-fm02, CL

Ce diamant presque incolore présente des secteurs de croissance octaédrique, nettement délimités. La croissance sous forme d'octaèdre est le mode normal de croissance du diamant, signe de croissance lente (cours dug, 2005).

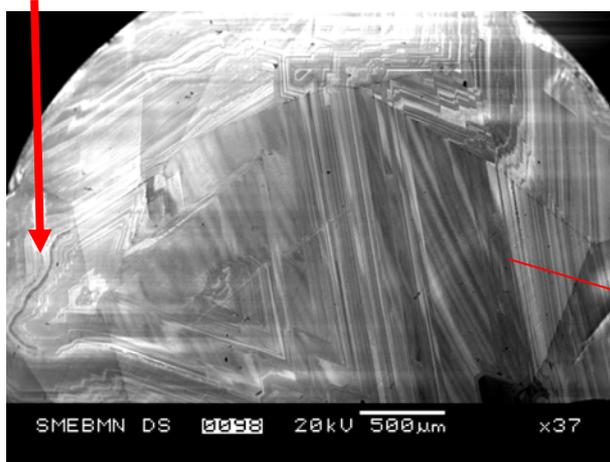


**Figure 58** : Meb-fm08, CL

On distingue plusieurs étapes de croissance au sein d'une croissance octaédrique, ainsi que des petits épisodes de croissance cuboïde.

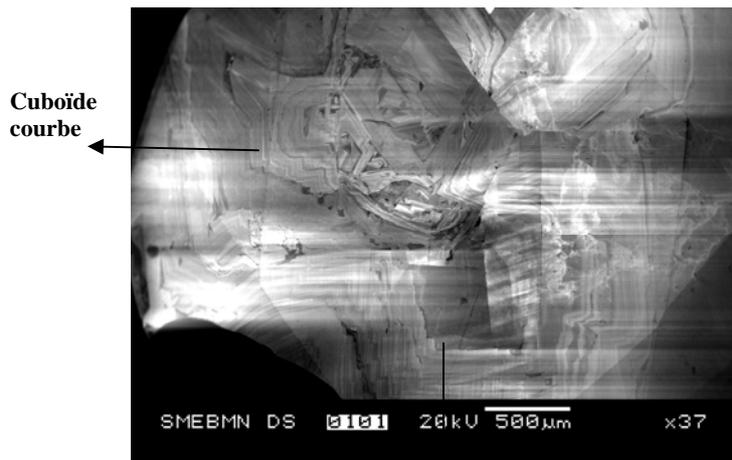
Il semblerait que ce diamant brun verdâtre foncé, soit issu de la croissance octaédrique.

Un peu de cuboïde



A3

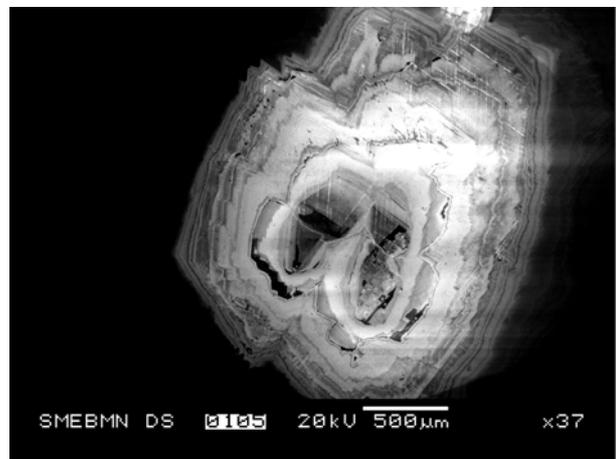
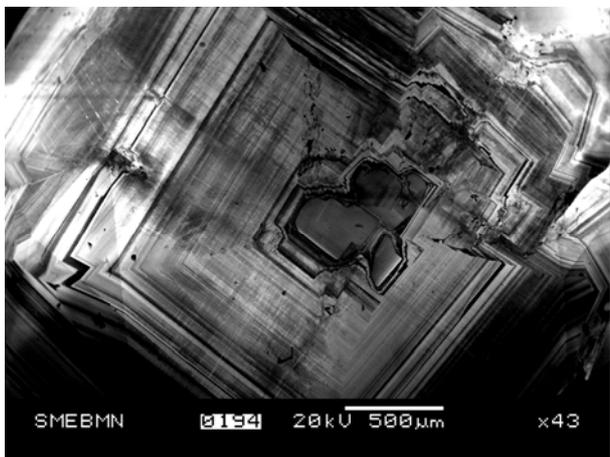
Croissance octaédrique discordante sur l'autre n'ayant pas la même orientation



Secteur octaédrique net

**Figure 60** : Meb-fm10, CL

Ce diamant comme nous l'expliquerons dans le chapitre suivant a subi un traitement, il est bleu vert. Noter la présence d'un nœud confus au centre de l'image avec une alternance cuboïde et octaédrique.



**Figure 61** : Meb-fm13, CL

Remarquons que les structures de croissance peuvent présenter diverses configurations (selon l'orientation du cristal par rapport à la taille). Ce diamant est brun jaune clair, on distingue une croissance octaédrique régulière. Les variations en apports d'impuretés tout au long de la croissance du cristal peuvent sans doute expliquer les différences d'intensité observées en CL.

Pour conclure les six échantillons en CL présentent beaucoup de secteurs de croissance différents :

- Croissance octaédrique plus ou moins perturbée
- Passage de croissance cuboïde

Elles reflètent parfois des histoires plus complexes difficiles à comprendre sur une seule CL.

### 1. Traités ou de couleur naturelle?



**Figure 62** : Différentes couleurs de diamant obtenues après irradiation suivie ou non de chauffage. Photo : lotuscolors.

La majorité des diamants de la collection de 110 diamants étudiés ici sont de couleur brune avec des teintes secondaires diverses. En les observant un par un en lumière diffuse, nous avons pu établir qu'environ 80% contiennent du graining coloré. Les diamants bruns sont les diamants de couleur les plus abondants de tous (Fritsch, 2002). On ne traite pas un diamant pour qu'il devienne brun mais plutôt pour lui donner une couleur attrayante.

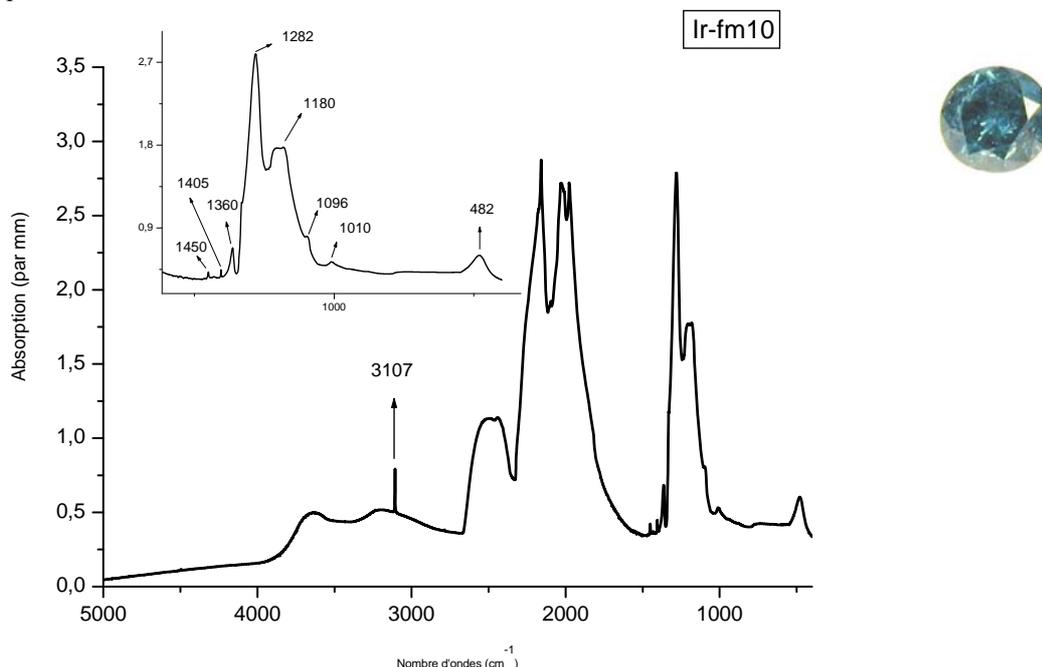
Selon le matériau de départ et le procédé employé, on obtiendra une diversité de diamants de couleur artificielle.

Par exemple pour des diamants de type II :

- Si l'on souhaite éliminer la teinte brune (type IIa) causé par la déformation plastique afin de les rendre incolores ou encore pour les rendre rose ou bleu (Deljanin, 2001).
- HPHT : diverses couleurs (Figure 62).

Suite aux résultats obtenus et aux observations des réactions aux UV courts et longs, ainsi que les absorptions mesurées en IR et en UV-vis, il nous est possible de statuer sur leur origine naturelle, tant pour la matière que pour la couleur. Cependant comme il a été précisé dans l'introduction, nous avons volontairement enrichi cette collection de quelques échantillons qui eux semblent avoir subi un traitement. Les spectres IR du diamant fm10 et fm11, sont sensiblement identiques :

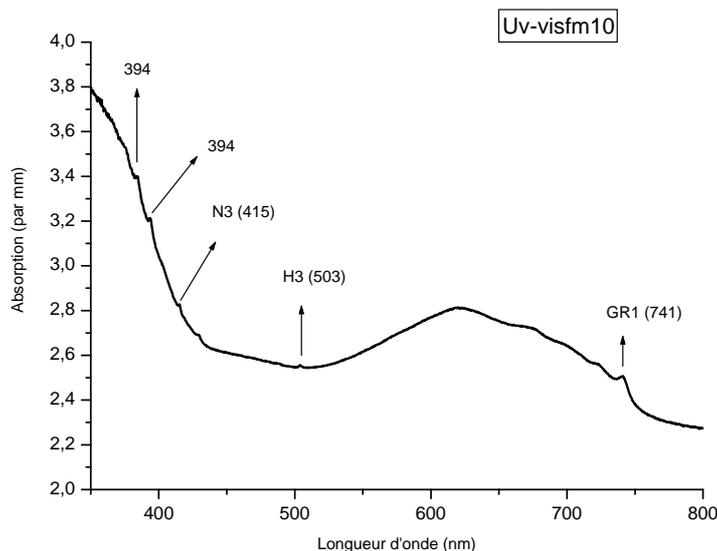
- Diamant fm10, (figure 63) : ce diamant contient des agrégats A en plus grande quantité, de ce fait il est de type IaA>>B



**Figure 63** : Spectre infrarouge du diamant fm10, bleu vert, ce diamant est de type IaA>>B. En insert : détail de la zone à un phonon, ainsi que la photo du diamant fm10.

La présence du pic à  $1450\text{ cm}^{-1}$  pourrait éventuellement être attribuée au pic du traitement H1a, cependant il existe d'autres défauts pouvant provoquer une absorption à cette position, telle la déformation angulaire de la liaison carbone-hydrogène (C-H). Dans la zone  $4900 - 5200\text{ cm}^{-1}$ , nous n'avons pas identifié les présences, ni du H1b à  $4940\text{ cm}^{-1}$ , ni du H1c  $5170\text{ cm}^{-1}$ . Pour confirmer que ce diamant est bel et bien traité, nous présentons son spectre UV-vis (figure 64).

Le pic à 394 nm correspond à la réplique de la bande à 415 nm, ainsi que l'autre pic à 394 nm, qui devrait être 391 nm.



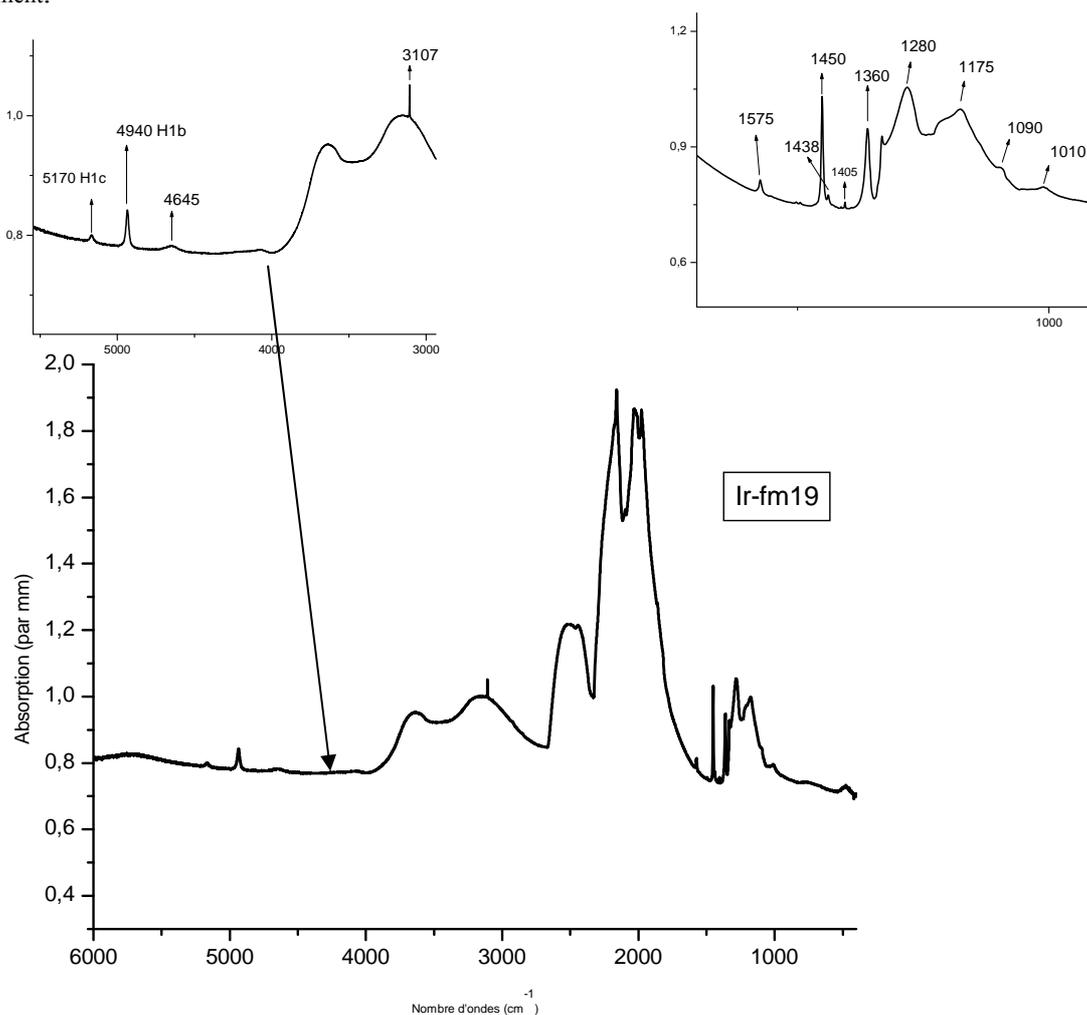
**Figure 64** : Spectre UV visible du diamant fm10 bleu vert, ce diamant est traité.

Lorsqu'on regarde son spectre d'absorption dans le domaine UV-vis, on retrouve le pic du N3 à 415 nm. Le centre H3 est présent à 503 nm, ainsi que le pic du GR1 à 741 nm. Notons également une bande d'absorption

prononcée entre 550 et 750 nm, correspondant à la structure vibronique du GR1. Si la bande à 595 nm est combinée aux centres H3 et H4, la pierre est fortement suspectée d'avoir subi un traitement en laboratoire (Fritsch et Shigley, 1991). Le centre GR1 apparaît dans les diamants suite à une irradiation naturelle ou artificielle, il absorbe la lumière dans la partie orange - rouge du spectre visible (Walker, 1979; Collins, 1982). Ce diamant est donc traité.

- Diamant FM19, (figure 65) : ce diamant de couleur brun orange foncé est de type IaA>>B. Dans la zone à un phonon, on observe la présence du H1a, avec un pic prononcé à  $1450\text{ cm}^{-1}$ , associés aux pics à  $1438$  et  $1575\text{ cm}^{-1}$  (Woods, 1984). La zone à 3 phonons présente trois absorptions plus ou moins marquées à  $4645$ ,  $4940$  et  $5170\text{ cm}^{-1}$ . Ces absorptions à  $4940$  et  $5170\text{ cm}^{-1}$  sont d'origine électronique, impliquant les agrégats A, elles sont présentes dans les diamants de type Ia suite à une irradiation suivie d'un chauffage, dès  $650^\circ\text{C}$  (Fritsch et al., 1988), par conséquent lors du traitement HPHT. Elles sont présentes dans les diamants de type IaA et IaB traités dans la gamme de couleur jaune à brun (Fritsch et al., 1988), ainsi que dans certains diamants naturels de type Ia de couleur brun à brun vert ou même incolore, (comm. pers. F. Notari, 2003 et E. Fritsch, 2006). Ce diamant est donc traité.

La flèche ci-dessous correspond au pic à  $4168\text{ cm}^{-1}$ , signature de l'amber center, preuve que ce diamant était brun avant traitement.



**Figure 65** : Spectre infrarouge du diamant fm19 brun orange foncé, ce diamant est traité. En insert : zone 1 et 3 phonons.

La présence des pics H1b et H1c en infrarouge sont des preuves reconnues du traitement par irradiation et chauffage pour les diamants, même si ceux-ci présentent une couleur verte dans la masse (Fritsch et Shigley, 1991). La présence du pic H1a ne suffit pas pour le prouver, mais associé au GR1 en UV-vis, il permet d'affirmer que les diamants fm10 et fm11 sont traités. Pour le diamant fm19, le spectre IR suffit pour nous permettre d'affirmer qu'il est traité.

## **2. Caractéristiques des diamants de la mine d'Argyle en Australie**

Lors de l'acquisition de cette collection, la personne chargée de la mise en vente ne nous a pas divulgué la provenance géographique de ces diamants, tout en faisant mention d'une suspicion sur une éventuelle provenance géographique qui serait l'Australie.

Voici la raison pour laquelle nous allons essayer de comparer quelques critères communs des diamants d'Argyle en Australie avec les échantillons étudiés. Il est clair qu'une particularité significative des diamants de la mine d'Argyle est que la majorité d'entre eux ont subi une déformation plastique post-croissance.

Nous présentons un tableau récapitulatif des caractéristiques de ces diamants selon "The Gemmological Association of Australia, 2005" (tableau 7).

### **CARACTÉRISTIQUES DES DIAMANTS D'ARGYLE**

Association Australienne de Gemmologie © 2005

<b>Caractéristiques gemmologiques</b>	<b>Diamant incolore</b>	<b>Diamant brun</b>	<b>Diamant rose-rouge-mauve</b>
<b>Classification</b>	Type Ia - Type II (rare)	Type Ia	Type Ia
<b>Teneur en azote</b>	500-1,000 ppm	100-500 ppm	10-100 ppm
<b>Statut d'agrégation de N</b>	B- >>A-agrégats	B- >A-agrégats	A->>B-agrégats
<b>Habitus</b>	Les formes irrégulières (<60%), macles (~ 25%), agrégats en cristal (~ 10%), fortement résorber le dodécaèdre et les octaèdres-dodécaèdres (~ 5%). Les cubes sont rares. La Plupart des diamants d'Argyle sont fortement givrés, ils présentent des caractéristiques de surfaces externes en forme de canal hexagonal.		
<b>Couleur</b>	Brun (~ 80%), le jaune (16%), incolore (2%), le gris (2%), le rose et le vert (<1%).		
<b>Zonation de couleur</b>	Aucune	Zonation (111) avec un ou rarement plus de plan associé. Une fois examiné entre polarisateurs croisé on observe une figure de biréfringence dû aux contraintes internes.	
<b>UV Fluorescence</b>	Bleu (UVL> UVC) dû au centre N3	Vert (UVL> UVC)	Bleu (UVL > UVC)
<b>UV Phosphorescence</b>	Jaune	Jaune ou inerte	Jaune
<b>X-ray Fluorescence</b>	Bleu - blanchâtre	Bleu - blanchâtre	Bleu - blanchâtre
<b>X-ray Phosphorescence</b>	Jaune	Jaune	Jaune
<b>Absorption infrarouge</b>	Absorptions agrégat B (8.4m >7.8 m)	Absorptions mélangées agrégat A et B (8.4m » 7.8m)	Agrégat A (7.8m >8.4m)
<b>- Visible</b>	Absorptions N3	Absorption croissante vers le bleu avec N3 superposé (415.2 nm, N2 (478 nm), et absorptions H3 (503.2 nm). Limite d'absorption entre 230 et 320 nanomètre	Une large absorption centré à 550 le nanomètre, N3 et absorption de N2. Limite d'absorption à ~ <320 nanomètre
<b>- Ultraviolet</b>	Limite d'absorption à ~ >230 nm		

<b>Inclusions caractéristiques</b>	75 % éclogites, 10 % péridotites, sulfures indéterminables 10 %. Les inclusions éclogitiques et syngénétiques étant du grenat orange (57%), grenat + clinopyroxène (16%), le pyroxène omphacitique (6%), le cyanite (3%), le rutile (2%), le coésite (1%), mélanges de rutile-grenat, grenat-sulfure, grenat-cpx-sulfure, grenat-cyanite, le cyanite-sulfure (15%). Les inclusions péridotitiques étant de : l'olivine (45%), du grenat pyrope (9%), l'enstatite (9%), un mélange d'olivine-diopside, olivine-grenat, olivine-grenat-enstatite, et enfin enstatite-grenat (37%). Les inclusions épigénétiques de graphite, les clivages et les fractures sont communes dans les diamants d'Argyle.
------------------------------------	--

**Tableau 7:** Tableau récapitulatif des caractéristiques gemmologiques des diamants d'Argyle en Australie.

Voici un récapitulatif des données récoltées sur nos échantillons lors de cette recherche :

- La couleur : 90% des diamants ont un teinte brune avec du rose, jaune, vert, ou gris.
- Ils possèdent une couleur typique des diamants dits « Champagne ».
- Présence de graining environ 80% des échantillons.
- Le type auquel ils appartiennent en majorité ce sont des types Ia.
- La quantité en azote est variable.
- La réaction aux UV : bleu – blanchâtre à jaune.
- La présence des agrégats A et B en infrarouge.
- La présence des pics N2, N3, H3 en UV visible.
- Les inclusions de graphite, les clivages et les fractures sont présents dans environ 50% des échantillons, ce sont les inclusions les plus communes dans le diamant Argyle.



**Figure 66 :** Palette de diamants bruns "Champagne".  
Photo : Argylediamonds.

Toutes ces caractéristiques sont très proches des données résumées dans le tableau 7. Nos observations permettent de dire que les propriétés de notre collection de diamants sont compatibles avec celles des diamants de la mine Argyle. Étant donné la nature géographique et géologique des diamants (en général), il n'existe actuellement aucun système pouvant déterminer scientifiquement l'origine géographique des diamants.

## VIII – CONCLUSION

Tout au long de cette étude, nous avons gardé à l'esprit que le diamant est une famille en soi. C'est un matériau avec un certain nombre de données connues et identifiées, mais il reste encore beaucoup d'inconnus à son sujet.

Comme nous l'avons constaté, affirmer qu'un diamant a une origine de la couleur naturelle ou artificielle n'est pas des choses des plus évidentes, si l'on manque d'expérience. Quand un laboratoire de gemmologie reçoit un diamant à identifier, il doit pouvoir apporter des preuves scientifiques se basant sur plusieurs critères reproductibles pour affirmer ses conclusions.

Suite à nos multiples voyages et participation aux salons de joaillerie/gemmes à travers le monde, nous constatons que la majorité des diamants de couleur naturelle et ceci à partir d'une certaine gamme de couleurs, et de ce fait de prix, sont certifiés en majorité par le GIA, mais aussi la SSEF, le laboratoire Gubelin, le HRD, le IGI et enfin le laboratoire Français de Gemmologie (LFG). Ces derniers ont l'expérience et les moyens en instruments scientifiques nécessaires afin d'établir un rapport d'authenticité crédible.

D'un point de vue gemmologique, nous nous sommes tout d'abord intéressé aux caractéristiques externes et internes de ces échantillons, ceci nous a permis entre autres de nous familiariser avec les diverses et complexes causes de la couleur du diamant, mais aussi nous n'avions pas eu l'occasion avant cette étude d'observer différents types de graining. La détermination des types et des sous types ainsi que la détection et la cause du phénomène caméléon, nous ont permis d'en apprendre beaucoup sur les diamants. Par ailleurs, nous avons pu constater lors des manipulations et résultats obtenus que la majorité de la collection (110 diamants), semble être de couleur naturelle. Cependant, les échantillons fm10, fm11 et fm19 montrent des absorptions H1a, H1b, et H1c, preuve irréfutable de l'origine artificielle de leur couleur.

Lors de discussion avec le vendeur sur le sujet de la provenance géographique de ces diamants, il nous souleva l'hypothèse d'une possible origine géographique australienne. De ce fait nous nous sommes intéressés aux caractéristiques gemmologiques des diamants d'Argyle en Australie. Nos observations permettent de dire que les propriétés de nos diamants sont compatibles avec celles des diamants d'Argyle.

## IX – BIBLIOGRAPHIE

**Argyle Diamonds.** <http://www.argylediamonds.com>. Consulté le 2.06.2007.

**Bursill L.A., Glaisher R.W.** (1985) *Aggregation and dissolution of small and extended defect structures in type Ia diamond*. American Mineralogist, vol.70, pp. 608-618.

**Collins A.T.** (1982) *Colour centres in diamonds*. Journal of gemmology, vol.18, No.1, pp. 37-75.

**Collins A.T.** (2003) *The detection of colour-enhanced and synthetic gem diamonds by optical spectroscopy*. Diamond and Related Materials, vol. 12, pp. 1976-1983.

**Clark C.D., Collins A.T., Woods G.S.**(1992) Absorption and luminescence spectroscopy. Dans: "*The properties of natural and synthetic diamond*", éditeur J.E. Field, Academic Press, London, pp. 35-79.

**Davies G.** (1976) *The A nitrogen aggregate in diamond – its symmetry and possible structure*, Journal of Physics, vol. C19, pp. L537-L542.

**Deljanin B.** (2001) *Étude de diamants traités à haute pression et haute température*. Mémoire de Diplôme d'Université de Gemmologie, Université de Nantes, Nantes, France, p. 30.

**Different color enhanced diamond.** <http://www.Prisminternational.co.in>. Consulté le 20.03.2007.

**Ekati.** <http://www.ekati.bhpbilliton.com>. Consulté le 23.05.2007.

**Fritsch E., Scarratt K.** (1992) *Gems News: Natural-color nonconductive gray-to-blue diamonds*. Gems and Gemology, vol. 28 et 1, pp. 35-42.

**Fritsch E.** (1998) *The nature of color in diamond*. The nature of diamonds, éditeur G.E. Harlow. Cambridge University Press, Cambridge UK, chap 2, pp. 23-47.

**Fritsch E., Deljanin B.** (2001) *Les diamants de type I traités à HPHT : Novotek, General Electric, russes et suédois*. Revue de gemmologie a.f.g, pp. 54-142.

**Fritsch E., Shigley J.** (2002) *Des diamants bien traités*. Pour la science, dossier n 35, pp. 78-83.

**Fritsch E., Moore M., Rondeau B., Waggett R.** (2005) *X-ray topography of a natural twinned diamond of unusual pseudotetrahedral morphology*. Journal of crystal growth, vol.280, No. 1-2, pp. 279-285.

**Fardy J.J., Farrar Y.J.** (1992) *Trace-element profile of Argyle diamonds using instrumental neutron activation analysis*. Radioanalytical Nuclear Chemistry. Letters, pp.164-345.

**Gaillou E.** (2005) *Nouvelles Absorptions Photoinduites dans le Diamant H1b, H1c et système à 4850 cm<sup>-1</sup>*. Mémoire de Diplôme d'Université de Gemmologie, Université de Nantes, Nantes, France, 52 pages.

**Gemological Association of Australia.** <http://www.gem.org.au>. Consulté le 01.06.2007.

**Hainschwang T.** (2003) *Classification and color origin of brown diamonds*. Mémoire de Diplôme d'Université de Gemmologie, Université de Nantes, Nantes, France, 91 pages.

**Hainschwang T.** (2004) *Les diamants bruns : classification et origine de la couleur*. Revue de gemmologie a.f.g, No. 150, pp. 13-17.

**Hainschwang T., Simic D., Fritsch E., Deljanin B., Woodring S., DelRe N.** (2005) *Gem news International : a gemological study of a collection of chameleon diamonds*. Gems & Gemology in review, colored diamonds, pp. 110-123.

- Harris J.W.** (1992) Diamond geology in, "*The properties of natural and synthetic diamond*", Edited by Field J.E., Academic Press Limited, San Diego, CA, USA, pp.345-393.
- Hofer S.C** (1998) *Collecting and classifying coloured diamonds*, Ashland Press, USA.
- International Gemological Institute** (2003) *Étude du Diamant Brut*. IGI Anvers, pp. 10-30.
- King J.M.** (2006) Colored Diamonds. *Gems & Gemology in review*, 317 pages.
- Knight D.S., White W.B.** (1989) *Characterization of diamond films by Raman spectroscopy*, Journal of Materials Research, vol. 4, No. 2, pp. 385-393.
- Koivula J.I.** (2000) *The microworld of Diamonds*. Ed. Gemworld International Inc., Northbrook, IL, USA, pp. 60-61.
- Liddicoat.** (1993), *The GIA Diamond Dictionary*, GIA, USA, pp. 106-108, 401.
- Massi L.** (2003) *Défauts responsables de la couleur brune dans les diamants*. Mémoire de Diplôme d'Études Approfondies, Université de Nantes, 35 pages.
- Massi L.** (2006) *Étude des défauts dans les diamants bruns et les diamants riches en hydrogène*. Mémoire de thèse de doctorat. Université de Nantes, Nantes, France, 372 pages.
- Massi L., Fritsch E., Collins A.T., Hainschwang T., Notari F.** (2005) *The "amber centres" and their relation to the brown colour in diamond*. Diamond and Related Materials, vol. 14, pp. 1623-1629.
- Mine-technology.** [http:// www.mine-technology.com](http://www.mine-technology.com). Consulté le 23.03.2007.
- Notari F.** (2002) *Traitement du diamant noir par graphitisation « Interne »*. Revue de gemmologie a.f.g, vol. 145/146, pp. 42-59.
- Navon O.** (1991) *High internal pressures in diamond fluid inclusions determined by infrared absorption*. Nature, vol. 353, pp. 746-748.
- Rapaport Diamond Report**, juillet 2005. <http://www.diamonds.net>, site consulté le 11.06.2007.
- Reinitz I.E., Buerki P.R., Shigley J.E., McClure S.F., Moses T.M.** (2000) Gem Trade Lab Notes: *Identification of HPHT-treated yellow to green diamonds*. Gems & Gemology, vol. 36 n°2, pp. 128-137.
- Ressources Naturelles Canada.** *Recherche de diamant au Canada*. [http://www.gsc.nrcan.gc.ca/diamonds/canada/index\\_f.php](http://www.gsc.nrcan.gc.ca/diamonds/canada/index_f.php). Consulté le 10.06.2007.
- Respinger A.** (2006) *Introduction au diamant suivie d'un rapport sur : Les absorptions infrarouges peu connues, utiles à l'identification de l'irradiation*. Mémoire de Diplôme d'Université de Gemmologie, Université de Nantes, Nantes, France, pp. 3-20.
- Robertson R., Fox J.J., Martin A.E.** (1934) *Two types of diamond*, Philosophical Transactions, A 232, pp. 460-535.
- Rondeau B., Fritsch E., Moore M., Sirakian J.-F.** (2005) *Diamants cubiques ou presque cubiques : définitions utiles sur la morphologie du diamant*. Revue de gemmologie a.f.g, vol. 150, pp. 13-16.
- Sautter V., Gillet P.** (1994) *Les diamants messagers des profondeurs de la Terre*. La recherche, vol.25, pp. 1238-1245.
- Sautter V., Lorand J.P., Gillet P.** (2002) *Le diamant, témoin des profondeurs*. Pour la science, hors série Avril/Juin 2002, dossier n°35, pp. 6-11.
- Shigley J.** (2005) Gem News International: *in review synthetic diamonds*. Gems & Gemology, pp.5-10.

**Stoneham A.M.**(1992) Diamond: Recent advances in theory. Dans « *The properties of natural and synthetic diamond* ». Academic Press, London. Editeur J.E. Field, chap 1, pp. 3-34.

**Solitaire International** (2007) *Who's Afraid of Synthetic Diamonds*. The Indian Gem & Jewellery Magazine, No. Avril/Mai 2007, pp. 32-45.

**Takaradiamonds**. <http://www.TakaraDiamonds.com>. Consulté le 05.04.2007.

**Wikipedia**. <http://www.wikipedia.com>. L'Encyclopédie libre, recherche faite avec les mots diamants, traitements, synthétiques. Consulté le 10.03.2007.

**Woods G.S.** (1992) The "type" terminology for diamond in *Properties and growth of diamond*. Editeur G. davies, pp. 83-84.