

2007

DIPLÔME D'UNIVERSITÉ DE GEMMOLOGIE

**Présenté
Devant l'université de Nantes
U.F.R. des Sciences et Techniques**

Par

M. Yves Morrier

**LA CARACTÉRISATION
DES DIAMANTS CANADIENS
PROVENANT DES MINES
EKATI ET DIAVIK**

**Soutenu publiquement le 30 novembre 2007
Au département de Géologie
Devant la commission d'examen composée de :**

| | | |
|---------------------------|-------------------------|----------------|
| M. E. FRITSCH | Professeur | Président |
| M. S. LEFRANT | Professeur | Vice-Président |
| M. J. GIRARDEAU | Professeur | Examineur |
| M. H. GARCIA-GUILLERMINET | Directeur, LFG Paris | Examineur |
| M. B. LASNIER | Invité | Examineur |
| M. F. NOTARI | Directeur, Gem Tech Lab | Examineur |
| M. B. RONDEAU | Maître de conférences | Examineur |

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction
2. L'industrie du diamant au Canada
 - 2.1 La naissance d'une industrie
 - 2.2 L'industrie minière du diamant
 - 2.2.1 La mine Ekati
 - 2.2.2 La mine Diavik
 - 2.2.3 La mine Jericho
 - 2.3 Les projets futurs
 - 2.3.1 Le projet Snap Lake
 - 2.3.2 Le projet Victor
 - 2.3.3 Le projet Fort à la corne
 - 2.3.4 Le projet Star Diamond
 - 2.3.5 Le projet GachoKué
 - 2.3.6 Le projet Foxtrot
 - 2.4 Le Code de conduite volontaire pour l'authentification des indications « diamant canadien »
3. La géologie du diamant et les inclusions
 - 3.1 La formation du diamant
 - 3.2 La géologie des gisements
 - 3.3 Les types de gisements
 - 3.4 Les inclusions dans le diamant
 - 3.4.1 Les inclusions minérales
 - a) Les inclusions d'origine péridotitique
 - b) Les inclusions d'origine éclogitique
 - 3.5 La géologie des diamants des mines Ekati et Diavik, et leurs inclusions
4. Le diamant — fiche technique
 - 4.1 Le matériau
 - 4.2 La structure cristalline
 - 4.3 La couleur
 - 4.4 Les spectrométries vibrationnelles du diamant
 - 4.4.1 La spectrométrie infrarouge
 - 4.4.2 La spectrométrie Raman
 - 4.5 L'azote dans le diamant
 - a) Le centre C
 - b) L'agrégat A
 - c) L'agrégat B
 - d) Les plaquettes
 - e) Le centre N3
 - f) Le centre N-V
 - g) Le centre H3
 - h) Le centre H4

- 4.6 La classification des diamants par type
 - 4.6.1 Les diamants de type I
 - a) Les diamants de type Ia
 - i)* Les diamants de type IaA
 - ii)* Les diamants de type IaB
 - iii)* Les diamants de type IaAB
 - b) Les diamants de type Ib
 - 4.6.2 Les diamants de type II
 - a) Les diamants de type IIa
 - b) Les diamants de type IIb
- 4.7 L'hydrogène dans le diamant

- 5. **La morphologie des cristaux de diamants**

- 6. **Synthèse bibliographique**
 - 6.1 Les recherches portant sur la caractérisation des diamants canadiens
 - 6.1.1 La morphologie
 - 6.1.2 La couleur
 - 6.1.3 Les types de diamants
 - 6.2 Les autres méthodes de caractérisation
 - 6.2.1 La topographie aux rayons X
 - 6.2.2 LA-ICP-MS

- 7. **Matériaux et méthodes**

- 8. **Résultats**
 - 8.1 Propriétés gemmologiques
 - 8.1.1 La couleur
 - 8.1.2 Le grossissement
 - 8.1.3 La densité
 - 8.1.4 La luminescence aux rayons ultraviolets
 - 8.2 La morphologie
 - 8.3 La spectrométrie
 - 8.3.1 La spectrométrie UVvisible
 - 8.3.2 La spectrométrie infrarouge
 - 8.3.3 La spectrométrie Raman
 - 8.4 L'imagerie au microscope électronique à balayage
 - 8.4.1 Observations topographiques
 - 8.4.2 Observations en luminescence
 - 8.5 Tableau récapitulatif des résultats

- 9. **Discussion**

- 10. **Conclusion**

- 11. **Annexes**

Annexe 1

Données statistiques de la production canadienne de diamants bruts
de 1998 à 2006

Annexe 2

Description des échantillons

YM 001 à YM 024

12. Références

13. Remerciements

1. INTRODUCTION

Le Canada est devenu au cours des dernières années un important pays producteur de diamants. Présentement, trois mines de diamants y sont exploitées : la mine Ekati, la mine Diavik et la mine Jericho. Depuis 1998, année au cours de laquelle l'exploitation de la première mine de diamants a commencé, le Canada a produit plus de 63 millions de carats (Mct) de diamants bruts (voir annexe 1, *Données statistiques de la production canadienne de diamants bruts de 1998 à 2006*). À la fin de 2005, le Canada occupait la quatrième place des pays producteurs de diamants « en valeur » et la sixième place « en quantité » (figure 1.1). En 2005, la production mondiale de diamants a atteint 175,9 Mct pour une valeur totale de 11,3 G\$US. La part canadienne de cette production s'élevait à 12,3 Mct pour une valeur de 1,7 G\$, soit environ 12,3 % de la valeur de la production mondiale (Perron L. 2006).

La valeur de la production mondiale de diamants bruts en 2005 ('000 SCAN)

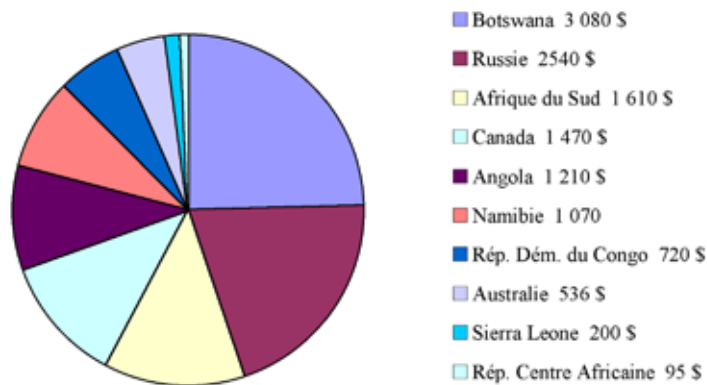


Figure 1.1 Valeur de la production mondiale de diamants bruts en 2005, d'après Perron, 2006.

Cependant, l'ouverture de la mine Jericho en 2006 et celles de la mine Snap Lake prévue en 2007, de la mine Victor en 2008 et de la mine Gacho Kué en 2011, devraient établir à plus de 20 % la part canadienne de la production mondiale de diamants en valeur.

Motivées par toutes ces découvertes, les sociétés minières continuent d'explorer le sous-sol canadien à la recherche de diamants. En effet, en 2005, 123 sociétés ont effectué de l'exploration diamantaire, répartissant leurs travaux dans les Territoires du Nord-Ouest, au Nunavut, en Alberta, en Saskatchewan, au Manitoba, en Ontario, au Québec et à Terre-Neuve-et-Labrador. Les dépenses à ce titre ont totalisé 251 M\$.

Cette somme impressionne, compte tenu des principaux projets que sont Jericho, Snap Lake et Victor, maintenant rendus à l'étape de l'aménagement des complexes miniers. C'est au Québec, en Ontario, en Saskatchewan, au Nunavut et aux Territoires du Nord-Ouest que les investissements en exploitation sont les plus importants (figure 1.2).



Figure 1.2 Carte du Canada.

À la fin des années 1990, l'industrie diamantaire mondiale était secouée par le scandale des « diamants du sang » ou « diamants de conflit ». L'industrie diamantaire canadienne, alors naissante, souhaitait se démarquer de cette situation fort embarrassante pour l'industrie diamantaire mondiale. C'est ainsi que des stratégies de marketing fondées sur l'argument de l'origine géographique canadienne de ces diamants ont été développées pour assurer leur mise en marché. De telles stratégies n'avaient jusqu'alors jamais été utilisées. En effet, avec le quasi monopole qu'a exercé De Beers pendant près d'un siècle, la distribution des diamants s'est toujours faite sans aucune précision de leur origine géographique.

À l'heure actuelle, la certification de l'origine géographique des diamants canadiens repose sur des mécanismes de traçabilité mis en place par des sociétés du secteur du commerce des diamants, des agences gouvernementales, ainsi que des organismes sans but lucratif œuvrant au sein de l'industrie canadienne de la bijouterie (par exemple, le programme de certification instauré par le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest; le programme CANADA MARKTM développé par BHP Billiton; le programme MCP CANADATM (figure 1.3) élaboré par le Centre canadien de valorisation du diamant et reconnu par le Bureau de la normalisation du Québec, etc.). Ces mécanismes de traçabilité répondent aux normes minimales prévues au Code de conduite volontaire pour l'authentification des indications « Diamant canadien » (ci-après « le Code ») et respectent le Processus de Kimberley qui vise la certification des diamants bruts légitimes.



Figure 1.3 Le Certificat d'authenticité de MCP-CANADA délivré par le Centre canadien de valorisation du diamant.

Afin de mettre en place une certification « inviolable », il faudrait se doter d'un système de traçabilité fondé sur des critères scientifiques de reconnaissance. Voilà d'ailleurs un sujet qui intéresse les chercheurs depuis un bon moment déjà.

Ce travail de recherche a pour but de caractériser les diamants canadiens. Pour y arriver, j'ai d'abord cherché à déterminer les caractéristiques propres aux mines canadiennes en m'intéressant tout d'abord à la géologie des gisements et, ensuite, aux traces que laissent la géologie dans les diamants, c'est-à-dire les inclusions. Vingt-quatre échantillons disponibles, dont neuf de la mine Ekati et quinze de la mine Diavik, ont alors été analysés (figure 1.4).



Figure 1.4 Les échantillons de diamants analysés dans cette recherche. Photo : G. Bosshart.

Des méthodes d'analyse reconnues ont été utilisées pour effectuer la caractérisation de ces échantillons de diamants. Les échantillons ont d'abord été étudiés à l'aide de techniques issues de la gemmologie classique que sont la description de la morphologie, la mesure de la densité, l'observation de la luminescence aux rayons ultraviolets, l'observation du spectre d'absorption avec spectroscopie à main, l'observation des inclusions à la binoculaire et enfin, la description de la couleur, de la transparence et de l'aspect.

En deuxième lieu, les diamants ont été analysés à l'aide de techniques de laboratoire telles que les spectroscopies infrarouge et UV visible, la spectrométrie Raman et l'imagerie en cathodoluminescence.

Je tenterai ici de mettre en lumière, à partir des résultats d'analyse obtenus, des pistes à explorer permettant de poursuivre la recherche scientifique nécessaire à la définition de critères scientifiques valables de détermination de l'origine.

2. L'INDUSTRIE DU DIAMANT AU QUÉBEC

2.1 La naissance d'une industrie

Lors de son troisième voyage en Amérique au milieu du 16^e siècle, Jacques Cartier pensait avoir trouvé de l'or et des diamants à un endroit qu'il nomma Cap Diamant, le site de l'actuelle ville de Québec. À son retour en France, on réalisa que les minéraux qu'il avait rapportés n'avaient aucune valeur. Il ne s'agissait en fait, que de quartz et de pyrite – cette dernière étant surnommée « l'or des fous ».

Trois siècles plus tard, en 1842, les résultats des relevés effectués par la Commission géologique du Canada incitèrent les prospecteurs à entreprendre des travaux d'exploration à la recherche de diamants. En 1955, des dykes de kimberlite furent découverts au lac Bachelor, près de Desmaraisville, dans la partie centre-nord de la sous-province de l'Abitibi, lors d'une campagne de prospection pour de l'or (figure 2.1).



Figure 2.1 Carte d'indices de diamants au Québec. Ministère des ressources naturelles, Gouvernement du Québec. (www.mrnf.gouv.qc.ca)

En Amérique du Nord, des diamants isolés ont été découverts durant la première moitié du 19^e siècle dans le Midwest des États-Unis. En 1899, le professeur W. H. Hobbs, de l'université du Wisconsin, énonçait une hypothèse selon laquelle ces diamants avaient été transportés à cet endroit par les glaciers. Les connaissances de l'époque sur le mouvement des glaciers indiquaient que l'origine probable de ces diamants était située dans les basses terres de la Baie James (figure 2.2).



Figure 2.2 C'est par la découverte de cristaux de diamants isolés, dans des dépôts glaciaires dans la région des Grands Lacs aux États-Unis, qu'on a pu émettre l'hypothèse qu'il y avait des kimberlites diamantifères au Canada. *Gems & Gemology*, Vol. 38, No. 3, p. 211.

Dans les années 1960, plusieurs sociétés minières, dont De Beers, entreprirent une exploration systématique à la recherche de diamants au Canada. En 1991, la première kimberlite diamantifère, située dans le secteur du lac de Gras, dans les Territoires du Nord-Ouest, fut découverte, donnant naissance à la mine Ekati. Cette aventure avait débuté en 1981, lorsque Charles Fipke, un géologue originaire de la Colombie-Britannique, lança des recherches dans le but de trouver des diamants au Canada. En 1983, il fonda Dia Met Minerals Ltd pour financer ses projets d'exploration et entrepris de suivre les traces laissées par le mouvement des glaciers dans la toundra nordique, jusqu'au secteur du lac de Gras. Tout au long de ce trajet, Fipke et son équipe explorèrent les affleurements rocheux à la recherche de minéraux tels que les grenats, l'olivine et le diopside chromifère, des minéraux indicateurs qui signalent la présence possible d'une kimberlite diamantifère dans les environs (figure 2.3).



Figure 2.3 Plusieurs minéraux sont utilisés comme indicateurs d'un gisement de diamants, entre autres, du haut vers le bas : le grenat pyrope chromifère, le grenat écolgittitique, le spinelle chromifère, l'olivine, la picroilménite, le grenat pyrope titanifère et le diopside chromifère. *Gems & Gemology*, Vol. 38, No. 3, p. 215.

Il aura fallu dix ans à Charles Fipke (figure 2.4) et à son collègue le Dr. Stewart Blusson (figure 2.5), un géologue expérimenté expert en glaciation, pour découvrir des diamants dans la toundra canadienne. L'année précédant la découverte, Dia Met Minerals Ltd et BHP Billiton conclurent une entente visant à financer un vaste programme d'exploration dans ce secteur.



Figure 2.4 Charles Fipke. Gracieuseté de BHP Billiton.



Figure 2.5 Stewart Blusson. Gracieuseté de BHP Billiton.

Ces années d'efforts furent couronnées de succès en 1991, lorsque Charles Fipke et son équipe, en collaboration avec des géophysiciens de BHP Billiton, découvrirent la première cheminée de kimberlite sous le lac Point Lake, près du site d'exploitation actuel (figure 2.6). Une carotte fut alors forée sous le lac et, après 400 mètres de forage dans le roc, la kimberlite fut atteinte. Un total de 81 diamants furent extraits d'un échantillon de 59 kilos de kimberlite.



Figure 2.6 Carte des Territoires du Nord-Ouest.

Le rêve de C. Fipke et de S. Blusson devint alors réalité, donnant naissance à la plus importante vague de jalonnements de l'histoire minière canadienne (figure 2.7).

Quelques dates historiques :

- 1863 : Un diamant est découvert dans des débris glaciaires en Ontario.
- 1920 : Un diamant de 33 carats est trouvé lors de la construction d'un chemin de fer près de Peterborough, en Ontario.
- 1960 : On signale la découverte de petits diamants à l'est de Prince Albert, en Saskatchewan.
- 1971 : Un diamant de 0,25 carat, de qualité gemme, est découvert dans des sédiments glaciaires associés à un esker⁽¹⁾, près de Timmins en Ontario.
- 1981 : Des minéraux indicateurs de diamants sont découverts près de la chaîne des monts Mackenzie, à la frontière du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest.

(1) Un esker est une formation glaciaire se présentant sous la forme d'une butte allongée parfois sur des centaines de mètres de longueur. Les eskers se forment dans des tunnels sous des glaciers. Lorsque le glacier se retire d'une vallée, des matériaux (un dépôt de sable, de gravier et de blocs de roches variant tant par leur forme que par leur grosseur) se déposent dans les tunnels situés à la base du glacier et empruntés par des rivières sous-glaciaires. Une fois le glacier fondu, le « moulage » obtenu des tunnels reste en formant un esker.

- 1989 : Les efforts d'exploration pour les diamants dans les Territoires du Nord-Ouest s'intensifient. Des concentrations très élevées de minéraux indicateurs de diamants ont été découvertes dans la région du lac de Gras.
- 1998 : Le 14 octobre, BHP Diamonds Inc. et Dia Met Minerals Ltd. annoncent l'ouverture officielle de la première mine canadienne de diamants, la mine Ekati, dans les Territoires du Nord-Ouest.
- 2003 : Au mois de janvier, début de la production à la mine Diavik, dans les Territoires du Nord-Ouest.
- 2006 : Début de la production à la mine Jericho, au Nunavut.

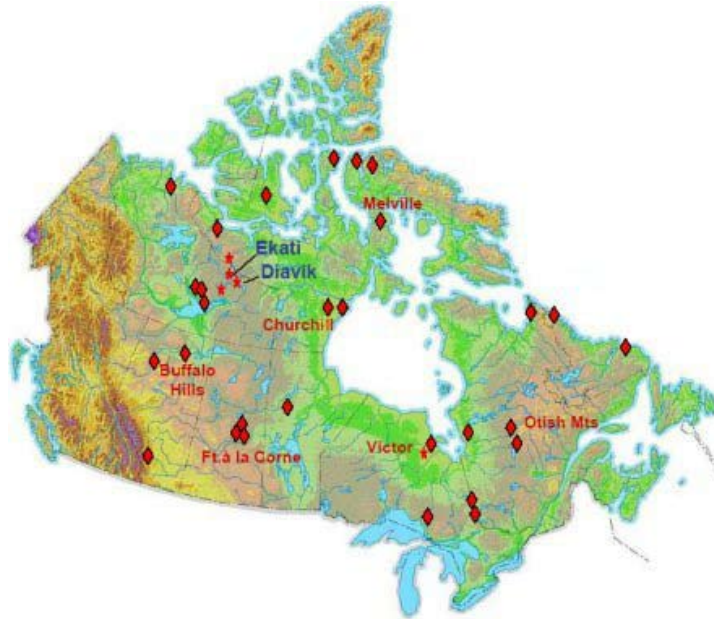


Figure 2.7 Carte du Canada qui montre les endroits où des cheminées de kimberlite diamantifères ont été découvertes.

2.2 L'industrie minière du diamant

Le Canada compte actuellement trois mines de diamants en exploitation. Deux gisements sont situés dans le secteur du lac de Gras, dans les Territoires du Nord-Ouest. Ce sont les mines Ekati (Ekati Diamond MineTM) et Diavik (Diavik Diamond Mines inc.TM). Le troisième gisement, la mine Jericho (Jericho Diamond MineTM), est situé au Nunavut.

Ces gisements de diamants se trouvent dans une zone extrême, au-delà de la ligne des arbres, où règne un des climats les plus inhospitaliers qu'on puisse rencontrer sur terre. Le territoire est couvert d'une importante couche de neige et de glace plus de huit mois par année et la température descend aisément sous les $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant les longs mois d'hiver. À une telle température, la peau, exposée à l'air et au vent, gèle en quelques secondes. De plus, le soleil franchit difficilement la ligne d'horizon de la mi-décembre à la fin janvier.

Malgré ces conditions extrêmement difficiles, ces trois sites d'exploitation ont été découverts et des études de faisabilité y ont été menées pendant plusieurs années. L'impact environnemental a été évalué, les permis ont été émis, les infrastructures ont été construites et les mines sont ensuite entrées en exploitation.

2.2.1. La mine Ekati

L'Ekati Diamond MineTM est une coentreprise détenue à 80 % par BHP Billiton Diamonds Inc. et à 20 % par les géologues Charles Fipke et Stewart Blusson (qui détiennent 10 % chacun).



Figure 2.8 Le camp principal de la mine Ekati dans les Territoires du Nord-Ouest. Gracieuseté de BHP Billiton.

La mine Ekati (figure 2.8) est située dans les Territoires du Nord-Ouest, non loin du lac de Gras, à environ 300 kilomètres au nord-est de Yellowknife, à environ 200 kilomètres au sud du Cercle Arctique et à environ 100 kilomètres au nord de la ligne des arbres. C'est une région de pergélisol permanent. Le secteur où se trouve la mine a été nommé, par les communautés autochtones locales, *e'kati*, qui signifie « lac gras », à cause des importantes quantités de quartz blanc laiteux trouvées dans cette région – d'où le nom de la mine.

L'accès à la mine n'est possible que par les airs, à l'exception de deux mois durant la période hivernale, soit de la fin janvier au début d'avril. Durant cette période, le gel est suffisamment intense pour qu'une route de glace soit construite. D'une longueur d'environ 500 kilomètres, elle permet l'approvisionnement du site par camion.

Le projet minier actuel prévoit l'exploitation de sept cheminées de kimberlite : *Panda, Koala, Misery, Fox, Sable, Pigeon* et *Beartooth* (figure 2.9). La mise en place du projet a coûté près de 850 millions de dollars canadiens et a nécessité près d'une décennie de planification, d'approbations gouvernementales et environnementales, et de travail sur le terrain. La mine est entrée en activité le 14 octobre 1998, dans les délais et en respectant le budget prévus. L'exploitation des gisements se fait d'abord à ciel ouvert et, par la suite, par des galeries souterraines. La durée de vie de la mine est techniquement établie à 17 ans, soit jusqu'en 2015, bien que l'on croit qu'elle puisse facilement atteindre près de 25 années, ou plus, selon les découvertes futures.



Figure 2.9 Vue aérienne de la cheminée Panda de la mine Ekati. Gracieuseté de BHP Billiton.

Le complexe résidentiel sur le site principal est formé d'un édifice de deux étages comportant les espaces communs et de sept édifices de trois étages – les dortoirs – qui comptent 683 chambres. Chacune est équipée d'une salle de bain privée, d'espaces de rangement, du câble pour la télévision, d'un accès à Internet et d'une fenêtre. Les espaces communs comprennent la salle à manger, la cuisine, la buanderie et des espaces de rangement. Les travailleurs ont accès à des équipements de loisir, notamment un gymnase complet, des terrains de squash et de racquetball, des salles de jeux et de télévision, des saunas et des simulateurs de golf.

La mine Ekati emploie environ 850 travailleurs. Les entrepreneurs responsables du développement des réseaux souterrains et de la maintenance embauchent quant à eux, près de 600 employés. Les activités de la mine Ekati fournissent du travail à un total d'environ 1 450 personnes. Les travailleurs passent deux semaines à la mine et sont en congé pour deux semaines. Les quarts de travail durent 12 heures consécutives, sept jours par semaine. La mine est en opération 24 heures par jour, 365 jours par année.

En 1996, une entente socio-économique a été conclue entre BHP et le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest afin de favoriser les populations nordiques et les communauté autochtones locales dans l'embauche du personnel et le bénéfice des occasions d'affaires.

BHP Billiton Diamonds Inc. applique dans le cadre de ses opérations minières des normes strictes qui minimisent les impacts environnementaux qui pourraient en résulter. Une équipe d'urgence a été mise en place et demeure prête à réagir en cas de déversement de produits toxiques sur le site. En effet, en raison de la fragilité du territoire, il fut reconnu qu'un soin particulier devait être porté à l'environnement.

La sécurité est une composante intégrale de l'ensemble et de la philosophie de l'entreprise. Le nombre de personnes affectées à la sécurité représente un peu moins de 10 % de tout le personnel. La mission du service de sécurité est de « maximiser la protection de tous les avoirs de l'entreprise contre les actes hostiles ». Bien que les employés constituent l'avoir le plus précieux de la société, les diamants, la propriété intellectuelle et les lieux physiques doivent également être protégés.

2.2.2. La mine Diavik

Diavik Diamond Mines Inc.TM (DDMI) est une filiale de Rio Tinto plc, une société minière dont le siège social est situé à Londres, en Angleterre. La mine Diavik est une coentreprise détenue à 60 % par Diavik Diamond Mines Inc. et à 40 % par Aber Diamond Limited Partnership, une filiale de Aber Diamond Corporation, une société basée à Toronto au Canada.



Figure 2.10 La route de glace qui permet l'approvisionnement terrestre des sites miniers durant quelques semaines en hiver. Gracieuseté de Diavik Diamond Mine Inc.

La mine DIAVIK est située sur une île de 20 kilomètres carrés, surnommée East Island, dans le secteur du lac de Gras, dans les Territoires du Nord-Ouest. Le lac de Gras mesure environ 60 kilomètres de long par une moyenne d'environ 16 kilomètres de large. Sa profondeur moyenne est de 12 mètres et certaines zones ont une profondeur pouvant atteindre 56 mètres. On appelle la toundra qui ceinture la région du lac de Gras *Barren Lands* (*barren*, un mot anglais qui signifie « stérile » ou « aride »); elle a été ainsi nommée à cause de l'absence d'arbres qui caractérise cette région nordique.

L'accès à la mine n'est possible que par les airs, sauf en période hivernale, alors que des routes de glace sont généralement accessibles de la fin janvier au début d'avril (figure 2.10). Il faut parfois jusqu'à 19 heures pour parcourir la route d'environ 400 kilomètres qui sépare Yellowknife du site de la mine. Cette route de glace privée est partagée par les différentes compagnies minières qui œuvrent dans cette région isolée. Étant constituée à plus de 75 % de la glace qui recouvre les lacs gelés qu'elle traverse, elle doit être reconstruite chaque année.



Figure 2.11 Vue aérienne de la cheminée A154 de la mine Diavik.
Gracieuseté de Diavik Diamond Mine Inc.

Le complexe minier actuel compte trois sources de minerai diamantifère : A154 Sud, A154 Nord et A418 (figure 2.11). La mine, dont la mise en place a coûté près de 1,3 milliard de dollars canadiens, est entrée en exploitation en janvier 2003. Les gisements étant situés sous l'eau, il a d'abord fallu construire des digues pour permettre l'élimination de l'eau et l'accès aux cheminées. La première digue, qui permet l'accès au gîte A154, a été complétée en juillet 2002, après quoi l'eau a pu être éliminée. La construction de la digue du gîte A418 a commencé au début de 2005 et le début de l'exploitation de ce gisement est prévu pour 2007. La réserve estimée de minerai diamantifère est de près de 30 millions de tonnes et la teneur en diamant est évaluée à 3,2 carats par tonne de minerai. La durée de vie de la mine est établie entre 16 et 22 ans.

Les dortoirs pour les employés furent préfabriqués en Alberta en collaboration avec une communauté autochtone. Un total de 156 modules furent construits, transportés par camions sur le site et organisés en quatre ailes. Chacune des ailes compte trois étages et chaque étage 22 chambres, pour un total de 264 chambres. Des installations complémentaires temporaires permettent de recevoir jusqu'à 300 personnes. Les chambres sont équipées d'une salle de bain privée, d'espaces de rangement, d'un téléphone et d'un téléviseur. Il s'agit de chambres à occupation simple, mais partagées entre deux travailleurs qui y séjournent en alternance selon leur horaire de travail.

La mine Diavik emploie environ 700 personnes.

En 1999, une entente socio-économique a été conclue entre DDMI, le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest et les communautés autochtones afin de favoriser les communautés locales, et assurer le respect des droits reconnus et protégés par différents traités.

En matière d'environnement, DDMI respecte ses engagements grâce à un système complet de mesures administratives qui prévoient notamment que les activités de l'entreprise doivent être menées de manière à respecter l'environnement, que les

employés doivent être correctement formés en la matière, et que l'entreprise doit prendre les moyens nécessaires pour anticiper et éviter les désastres environnementaux. Le système de gestion environnemental de Diavik a d'ailleurs été certifié ISO 14001 en 1996. Il prévoit entre autres la protection de l'eau, des habitats naturels et d'espèces comme le caribou. Ce système reconnaît qu'un soin particulier doit être porté à l'environnement en raison de la fragilité du territoire.

2.2.3. La mine Jericho

Jericho Diamond Mine est la propriété à part entière de Tahera Diamond Corporation, une société dont le siège social est situé à Toronto, au Canada. En plus d'exploiter le site de Jericho, Tahera mène des travaux d'exploration sur plusieurs autres sites du même secteur, notamment les sites Jericho, Polar Project et Rockinghorse Property.



Figure 2.12 Vue aérienne estivale du site de la mine Jericho. Gracieuseté de Tahera Diamond Corporation.

La mine Jericho est située au Nunavut, à environ 400 kilomètres au nord-est de Yellowknife (figure 2.12). Tahera Diamond Corporation a annoncé le début de la production commerciale en juillet 2006. Le corps kimberlitique de la mine Jericho est âgé de 172 millions d'années; la superficie de la cheminée en surface est de 1,2 hectare (figure 2.13). Les analyses effectuées ont démontré que la mine comporte un nombre inhabituel de « gros diamants ». L'exploitation du gisement se fait à ciel ouvert. Techniquement, la durée de vie de la mine serait de neuf ans et la production a été estimée à plus de 500 000 carats par an.

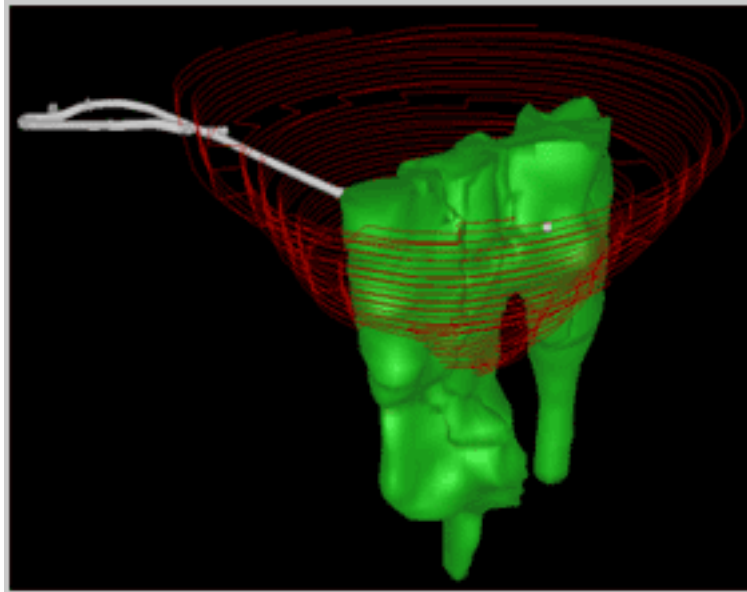


Figure 2.13 Vue schématisée du corps kimberlitique de la mine Jericho. Gracieuseté de Tahera Diamond Corporation.

Tahera Diamond Corporation compte près de 100 employés. Les installations sur le site principal comportent un complexe résidentiel d'une capacité de 192 personnes, une usine de traitement du minerai, un lieu d'approvisionnement en essence, les installations électriques et le gisement. Le complexe résidentiel inclut les dortoirs qui comptent 100 chambres, des équipements récréatifs, des bureaux et la cafétéria.

Tahera Diamond Corporation entretient d'étroites relations avec les communautés inuites locales afin, d'une part, de les renseigner sur les activités de la mine et sur les projets futurs, et d'autre part, de permettre aux citoyens d'exprimer leurs préoccupations et d'obtenir des réponses à leurs questions.

Tahera Diamond Corporation a élaboré une politique environnementale visant à protéger l'environnement naturel unique qui caractérise les sites d'exploitation et d'exploration. La politique de gestion environnementale prévoit une recherche continue en vue d'améliorer la performance de l'entreprise en tenant compte des plus récentes découvertes et des attentes des populations locales.

2.3 Les projets futurs

Plusieurs gisements de diamants ont été identifiés en plus de ceux qui sont actuellement exploités. Déjà, en 2008, le Canada devrait compter 5 mines de diamants en opération.

Les principaux projets sont :

| | |
|-----------------|--------------|
| Snap Lake | Star Diamond |
| Victor | Gacho Kué |
| Fort à la Corne | Foxtrot |

2.3.1 Le projet Snap Lake

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Propriété de : | De Beers |
| Localisation : | Territoires du Nord-Ouest |
| Construction : | 2005 - 2006 |
| Début de la production : | 2007 |
| Durée de vie prévue : | 16 ans |
| Production totale estimée : | environ 18 millions de carats |



Figure 2.14 Vue aérienne du site de la mine Snap Lake, dans les Territoires du Nord-Ouest. Gracieuseté de De Beers Canada.

2.3.2 Le projet Victor

| | |
|-----------------------------|------------------------------|
| Propriété de : | De Beers |
| Localisation : | Ontario |
| Construction : | 2006 - 2007 |
| Début de la production : | 2008 |
| Durée de vie prévue : | 12 ans |
| Production totale estimée : | environ 7 millions de carats |



Figure 2.15 Une aurore boréale hivernale au site de la mine Victor, en Ontario. Gracieuseté de De Beers Canada.

2.3.3 Le projet Fort à la corne

Propriété de : De Beers Canada Exploration Inc. (42,25 %),
Kensington Ressources Ltd (42,5 %),
Cameco Corporation (5,5 %),
UEM Inc. (10 %).

Localisation : Saskatchewan

Le projet Fort à la Corne compte plus de 70 cheminées de kimberlite diamantifère, il est l'un des plus gros ensemble de ce type au monde.

Construction : indéterminée
Début de la production : indéterminé
Durée de vie : indéterminée
Production estimée : indéterminée



Figure 2.16 Quelques diamants bruts extraits de la mine Victor, en Ontario. Gracieuseté de De Beers Canada.

2.3.4 Le projet Star Diamond

Propriété de : Shore Gold
Localisation : Saskatchewan

En juillet 2004, suite à l'analyse d'un échantillon de 1 500 tonnes de kimberlite, 1 459 diamants de taille commercialisable ont été récupérés, dont un diamant de qualité gemme pesant 19,7 carats.

Construction : indéterminée
Début de la production : indéterminé
Durée de vie : indéterminée
Production estimée : indéterminée

2.3.5 Le projet Gacho Kué

Propriété de : De Beers Canada Exploration Inc. (51 %),
Mountain Province Diamonds Inc. (44 %),
Camphor Ventures (4,9 %)

Localisation : Territoires du Nord-Ouest

En juillet 2005, DeBeers annonçait un investissement de 38,5 \$US millions de dollars pour permettre de poursuivre l'échantillonnage du site et de d'amorcer le processus de demande des permis.

Construction : indéterminée
Début de la production : indéterminé
Durée de vie : indéterminée
Production estimée : indéterminée



Figure 2.17 Lever de soleil hivernal sur le site de la mine Gacho Kué, dans les Territoires du Nord-Ouest. Gracieuseté de De Beers Canada.

2.3.6 Le projet Foxtrot

Les mines Ashton du Canada Inc. et son associé en coentreprise SOQUEM Inc. ont entrepris en 1996 des travaux d'exploration en vue de trouver des diamants au Québec. Grâce à son contexte géologique hautement favorable, le Québec est actuellement un pôle majeur dans l'exploration du diamant au Canada. Les principaux sites explorés se situent dans la partie centre-nord du Québec, plus précisément dans les régions des Mont Otish.

De nombreuses sources de minerai diamantifère y ont été découvertes dont l'esaim Renard, un groupe constitué de neuf corps kimberlitiques diamantifères et le complexe Lynx, un groupe de dykes kimberlitiques. Ces deux sites prometteurs sont situés sur la propriété Foxtrot et des travaux d'exploration intensifs y sont menés. Les résultats obtenus jusqu'à date sont encourageants et stimulent les investissements dans le secteur (figure 2.18).

Plusieurs autres secteurs sont actuellement explorés pour le diamant au Québec : Wemindji, la rivière Nottaway, Caniapiscou, Desmaraisville, les monts Torngat, le lac Bienville, le lac Aigneau et le Témiscamingue.



Figure 2.18 Quelques diamants bruts extraits du site du projet Renard, au Québec. Gracieusé de Les mines Ashton du Canada inc.

Dans le but de maximiser les retombées de l'industrie émergente du diamant, le gouvernement du Québec a récemment mis en place la « Stratégie d'accélération de la mise en valeur du potentiel du diamant au Québec ». Cette initiative permettra de soutenir cette industrie à toutes les étapes de son développement, de la découverte d'un diamant jusqu'à sa transformation.

2.4 Le code de conduite volontaire pour l'authentification des indications « diamant canadien »

Le 6 novembre 2002, à Ottawa, la capitale du Canada, l'industrie canadienne des diamants a dévoilé le Code de conduite volontaire pour l'authentification des indications « diamant canadien ». Ce code de conduite volontaire a reçu l'aval du Bureau de la concurrence du Canada et de la Confédération internationale de la bijouterie, de la joaillerie, de l'orfèvrerie, des diamants, pierres et perles (CIBJO). Il a pour objectif principal de servir les intérêts des consommateurs en contribuant à assurer la transparence et l'exactitude dans la commercialisation des diamants canadiens.

Le Code est une initiative mise de l'avant par les partenaires de l'industrie diamantaire du Canada. Il favorise la conformité volontaire des différents intervenants à la Loi sur la concurrence et ainsi, profite aux consommateurs puisqu'il permet d'accroître l'assurance que les diamants représentés comme étant canadiens proviennent d'une mine située au Canada. Le fait de pouvoir valider les indications « diamant canadien » est un élément important au maintien de la confiance des consommateurs.

Le Code de conduite est le résultat d'une vaste consultation initiée au début de l'année 2000. L'industrie minière, les tailleurs, les détaillants et les négociants de diamants, l'Association canadienne des bijoutiers (CJA) et Jewellers Vigilance Canada (JVC), des représentants gouvernementaux, y compris la Gendarmerie Royale du Canada (GRC), se sont concertés afin d'élaborer ce Code.

Le Code définit les normes minimales pour qu'une indication « diamant canadien » puisse être utilisée, elles sont fondées sur une chaîne de documentation papier et de garanties. On a estimé qu'il s'agissait du meilleur système pour authentifier l'origine des diamants.

Le comité responsable du Code est chargé veiller à son application. Il est en outre chargé d'administrer le registre des signataires du Code et le service d'aide de la ligne sans frais. Le comité est en mesure à partir du registre des signataires de retracer le chemin parcouru par un diamant, en remontant du détaillant jusqu'à la société minière.

Les dispositions du code prévoient entre autres, les exigences régissant l'achat de diamants polis. Les négociants, les manufacturiers de bijoux et les détaillants ne peuvent acheter des diamants polis canadiens qu'auprès de négociants, tailleurs et polisseurs qui se conforment aux exigences minimales du Code.



Figure 2.19 Affichette identifiant les membres du Code de conduite volontaire pour l'authentification des indications « diamants canadiens ». Gracieuseté du Comité responsable du code.

Les détaillants doivent afficher dans un endroit bien en vue de leur magasin l'affichette ou le signe approuvé par le comité responsable du Code (figure 2.19). Ils doivent également fournir les renseignements suivants aux clients au moment de la vente d'un diamant canadien ou d'un bijou comportant un diamant canadien :

- a) Un numéro d'identification unique, qui doit être gravé au laser sur chaque diamant d'un poids de 0,18 carat ou plus.

- b) Pour les diamants de moins de 0,18 carat, le détaillant doit fournir un numéro d'identification du diamant, mais il n'est pas tenu de le graver sur le diamant.
- c) Un certificat/rapport de diamant poli ainsi qu'une facture comportant des renseignements précis (une description du diamant, le numéro d'identification du diamant, une déclaration certifiant que le ou les diamants sont d'origine canadienne, etc.)

Les négociants en diamants polis, les fabricants de bijoux ainsi que les détaillants doivent quant à eux se conformer à certaines règles de conduite, par exemple :

- a) Traiter et entreposer les diamants d'origine canadienne séparément des diamants d'origine non canadienne.
- b) Les négociants, les fabricants ainsi que les détaillants doivent obtenir et conserver les factures d'achat des diamants canadiens pendant une période d'au moins sept ans.
- c) Les détails relatifs au processus d'authentification des diamants canadiens doivent être fournis au client

2.4.1 Le processus d'authentification d'un diamant canadien

Un individu peut authentifier une indication « diamant canadien » en appelant au numéro d'assistance de la ligne sans frais et en se conformant à la procédure prévue par le Code. Toute demande d'authentification doit être faite au cours des cinq années qui suivent l'achat du diamant.

L'auteur d'une demande doit obtenir une réponse dans un délai de 30 jours. Sinon, une lettre lui est envoyée pour l'informer de la prorogation du délai. Lorsqu'il est impossible de satisfaire à une demande d'authentification parce que l'origine du ou des diamants en question ne peut pas être liée à une mine canadienne, le comité avise l'auteur de la demande de la possibilité de porter plainte auprès du Bureau de la concurrence en vertu des dispositions de la Loi sur la concurrence en matière d'identifications fausses ou trompeuses.

Voilà un bref aperçu de ce que contient le Code. Pour obtenir de plus amples informations, on peut visiter le site Internet à l'adresse : www.canadiandiamondcodeofconduct.ca.

Tous les programmes visant la certification de l'origine des diamants canadiens sont élaborés en respectant les normes édictées par le Code et parfois même, des normes plus rigoureuses encore.

3. LA GÉOLOGIE DU DIAMANT ET LES INCLUSIONS

3.1 La formation du diamant

La majorité des diamants se sont formés il y a plus de 990 millions d'années (Ma), plus précisément sur une période s'échelonnant entre 3 300 et 990 Ma – soit une moyenne de 2 300 Ma –, ce qui correspond à près de la moitié de l'existence de la terre qui est d'environ 4 500 Ma. Ils se sont formés à de grandes profondeurs souterraines – entre 150 et 200 kilomètres –, dans deux types de roches : les péridotites et les éclogites. L'essentiel des diamants a cristallisé à des températures variant de 900 à 1 300 °C et à des pressions de 45 000 à 60 000 atmosphères. Les diamants, une fois formés, sont entreposés sous les cratons et les protons. Le craton est une masse continentale qui est stable depuis une longue période de temps et âgée de plus de 2 500 Ma, alors que le proton est une masse continentale plus jeune, d'environ 1 500 Ma, logée à une profondeur d'au moins 110 kilomètres. (Kirkley et al., 1991) La kimberlite et la lamproïte, deux types de roche habituellement associés au diamant, ne constituent que la mécanique permettant aux diamants de rejoindre la surface de la terre et ne peuvent en aucun cas être liées à leur formation. En effet, on peut comparer la kimberlite ou la lamproïte à un ascenseur qui prend des passagers dans le manteau terrestre et les conduit jusqu'à la surface de la terre.

On l'a dit : les diamants se sont formés bien avant la roche – la kimberlite ou la lamproïte – qui les transporte jusqu'à la surface. Ce sont plutôt la péridotite et l'éclogite, deux roches d'origine ignée et ultramafiques⁽¹⁾ à gros grains, qui constituent le milieu dans lequel les diamants se sont formés (Kirkley et al., 1991).

La péridotite est une roche verte composée principalement d'olivine (environ 60 %), un silicate de fer et de magnésium de couleur olive. Elle contient parfois des pyroxènes, c'est-à-dire des silicates de Mg et de Fe ou de Ca et de Mg, de couleur bronze et vert sombre. Elle contient aussi parfois des grenats rouges, plus spécifiquement des silicates d'Al, de Ca et de Fe, riches en magnésium (Kirkley et al., 1991).

L'éclogite est une roche verte et rouge dont la moitié est constituée d'un pyroxène vert riche en sodium – un clinopyroxène jadéitique ou une solution solide entre la jadéite et le diopside – et d'un grenat plus riche en fer et en calcium que celui des péridotites (figure 3.1) (Kirkley et al., 1991).

⁽¹⁾ *Mafique* est le terme utilisé pour décrire une roche composée principalement d'un ou plusieurs minéraux – fer-magnésium – foncés, tel que le pyroxène, l'amphibole et l'olivine. Une roche mafique contient généralement 42 à 52 % de son poids en SiO₂ et 16 à 26 % de son poids en FeO et MgO. *Ultramafique* est le terme utilisé pour décrire une roche mafique dont la proportion de SiO₂ est plus faible (la limite entre mafique et ultramafique se situe à 42 % de son poids en SiO₂) et par conséquent, la proportion de FeO et MgO est plus grande. (Kirkley M. B. et al. 1991)



Figure 3.1 Un xénolite d'éclogite de la mine Ardo-Excelsior, en Afrique du Sud, qui montre des cristaux de diamants incolores, des grenats rouges et des clinopyroxènes verts. *Gems & Gemology*, Vol. XX, No. X, p. 7.

Les diamants sont amenés à la surface de la terre lors d'une éruption magmatique de kimberlite ou de lamproïte qui, poussée à travers des fissures ou des fractures dans la roche encaissante, arrache aux parois des xénolites⁽²⁾ de péridotite ou d'éclogite qui eux, contiennent les diamants. On a remarqué que dans les laves kimberlitiques, les xénolites de péridotite sont beaucoup plus fréquents que les xénolites d'éclogite (94 à 98 % contre 2 à 6 %, Sautter et al., 2002).

Ce n'est que récemment qu'on a pu réellement déterminer l'âge des diamants. Les méthodes de datation fondées sur la désintégration des éléments radioactifs (la datation au carbone 14, par exemple) demeurent inefficaces dans le cas du diamant qui est constitué de carbone pur. Cependant, l'analyse des inclusions minérales contenues dans les diamants permet d'obtenir les éléments nécessaires pour déterminer leur âge. De manière générale, il est convenu de dire que les diamants qui renferment des inclusions de type péridotitique sont âgés de deux à trois milliards d'années, alors que ceux contenant des inclusions de type éclogitique sont plus récents, c'est-à-dire d'environ 1 à 1,5 milliard d'années (Sautter et al., 2002). On peut donc dire que si les inclusions dans les diamants sont des défauts rédhibitoires qui diminuent considérablement la valeur de ces gemmes pour les bijoutiers détaillants, elles constituent par ailleurs pour les chercheurs des trésors irremplaçables (figure 3.2).

⁽²⁾ Un *xénolite* peut être défini comme un fragment de roche qui est étranger à la masse ignée dans laquelle il se retrouve. Les xénolites ne se forment pas dans le magma lui-même, mais sont plutôt incorporés au magma au fur et à mesure de sa montée.

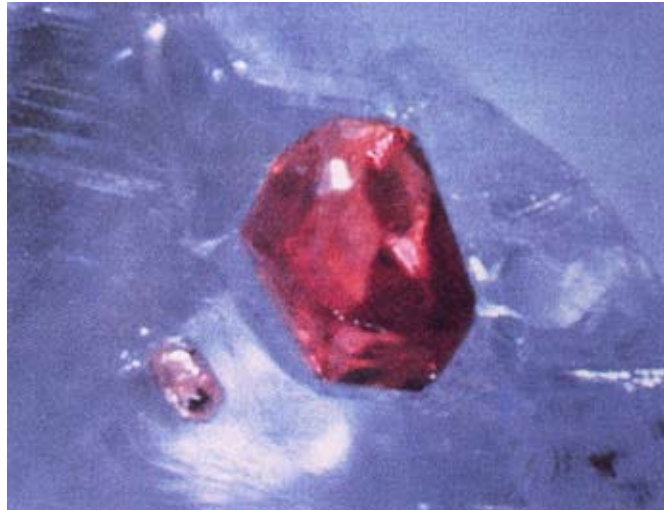


Figure 3.2 Une inclusion de grenat rouge dans un diamant de la mine Finsch, en Afrique du Sud. *Gems & Gemology*, Vol. XX, No. X, p. 4.

3.2 La géologie des gisements

La kimberlite est une roche ignée hybride, riche en composantes volatiles, potassiques et ultramafiques, tirant son origine des profondeurs de la terre (plus de 150 kilomètres sous la surface) pour se retrouver près de la surface sous forme de petites cheminées volcaniques et de filons. La kimberlite est composée principalement d'olivine (tant sous forme de phénocristes que dans la masse comme telle) et de plus faibles quantités de phlogopite, de diopside, de serpentine, de calcite, de grenat, d'ilménite, de spinelle ou d'autres minéraux. Le diamant ne se retrouve que rarement dans la composition de la kimberlite (figure 3.3) (Kirkley et al., 1991).

La kimberlite est une roche de couleur foncée (nommée « blue ground », lorsqu'elle est fraîche) résultant de la cristallisation des différents produits contenus dans le magma kimberlitique lui-même (olivine, phlogopite, etc.). La kimberlite s'introduit dans la croûte terrestre à partir du manteau et jusqu'à près de la surface. Elle prend la forme d'une cheminée conique formée à la suite d'une explosion volcanique (Kirkley et al., 1991).



Figure 3.3 Un octaèdre de diamant dans un bloc de kimberlite. Gracieuseté de Diarough Canada.

La lamproïte, quant à elle, réfère à un groupe de roches de composition chimique rapprochée plutôt qu'à une variété de roche spécifique. Elle affiche une apparence caractéristique : gris à gris verdâtre, bigarré. Comme la kimberlite, il s'agit d'une roche hybride. La cristallisation primaire du magma produit surtout de l'olivine. Chimiquement, la lamproïte est une roche ignée ultrapotassique, riche en magnésium (mafique). Par comparaison, la kimberlite contient beaucoup de composés volatils ($\text{CO}_2 \sim 8,6 \%$), alors que la lamproïte en contient généralement moins (moins de 1 %). Cependant, la lamproïte contient un autre élément volatil : le fluor. La lamproïte contient également moins de Mg, de Fe et de Ca que la kimberlite, mais plus de Si et de Al (Kirkley et al., 1991).

Tout comme la kimberlite, la lamproïte se présente sous forme de petites cheminées et de filons (figure 3.4 et 3.5). Cependant, les cheminées de lamproïte ressemblent plus à une « coupe à champagne », alors que les cheminées de kimberlite ressemblent plus à une « flûte à champagne ».



Figure 3.4 Cheminée de kimberlite diamantifère Panda, Mine Ekati. Gracieuseté de BHP Billiton.

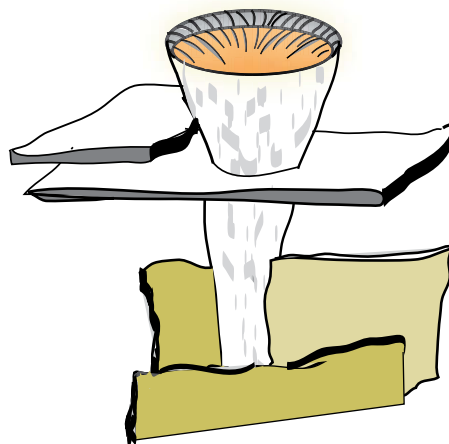


Figure 3.5 Pipe de kimberlite avec à la base les sills qui traversent horizontalement et les dykes qui traversent verticalement.

Le magma kimberlitique qui conduit les diamants des profondeurs de la terre jusqu'à la surface doit se déplacer à grande vitesse, car si le refroidissement se fait trop lentement, les diamants se transformeront en graphite, une forme beaucoup plus stable du carbone (voir la figure 4.2, *Diagramme de phase – pression et température – du carbone*). Seule une ascension rapide vers la surface – et donc une diminution rapide de la pression et de la température – permet de maintenir les atomes de carbone sous la structure métastable qu'est le diamant.

3.3 Les types de gisements

On distingue deux types de gisements de diamants : les gisements primaires et secondaires. Les premiers sont les « roches mères » originellement hôtes du diamant, tandis que les seconds résultent de l'érosion de ces roches et de la reconcentration des diamants libérés dans des roches ou dans des dépôts spécifiques.

Immédiatement après leur arrivée à la surface, la kimberlite et la lamproïte sont soumises à des agents atmosphériques destructeurs : l'eau s'infiltré, oxyde et désagrège la roche qui, dans le cas de la kimberlite, devient jaunâtre en surface. Le « blue ground » devient le « yellow ground ». Les eaux de ruissellement dégagent la roche et, en même temps, les diamants qu'elle contient, et les dispersent sur des étendues parfois énormes. Ainsi se constituent des gisements alluviaux liés aux réseaux hydrographiques actuels ou anciens. La majorité des diamants trouvés provenaient des alluvions jusqu'à la fin du 19^e siècle.

3.4 Les inclusions dans le diamant

Un diamant « parfait » est constitué d'un réseau d'atomes de carbone et de rien d'autre, ce qui produit un matériau cristallin incolore et transparent. La réalité est cependant toute autre, car les diamants affichent généralement une coloration, parfois légère parfois marquée, et contiennent des « particules » incluses dans la masse cristalline. Ces « particules » sont des inclusions, c'est-à-dire des matériaux étrangers introduits dans la masse principalement lors de la formation du cristal. La coloration quant à elle suggère généralement la présence d'impuretés dans le réseau cristallin, plus spécifiquement des atomes étrangers qui ont été incorporés dans le matériau à l'échelle atomique (l'azote, par exemple, est une impureté qu'on trouve couramment dans le diamant, figure 3.6). Il est important de noter qu'une absence de coloration ne signifie pas pour autant que le diamant soit exempt d'impuretés. La coloration peut aussi être induite par de simples défauts dans le réseau cristallin, par un espace « vide » entre une inclusion et la masse du diamant, ou encore, par des cristaux négatifs qui n'ont rien à voir avec les inclusions et qui peuvent contenir certains gaz.

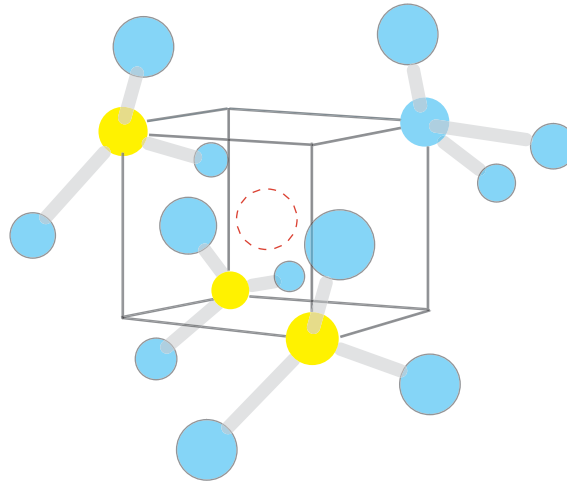


Figure 3.6 Des impuretés d'azote dans la structure d'un diamant. On remarque la présence de trois atomes d'azote (en jaune) substitués entourant une lacune de carbone (en pointillé rouge), le centre N3.

Comme on le sait, le diamant n'est pas la forme stable du carbone aux conditions de température et de pression existants sur terre. Les diamants se sont formés en profondeur et les inclusions qu'ils contiennent offrent aux géologues des parcelles de matériaux, issus de grandes profondeurs, qui ont été isolées et encapsulées dans le diamant à l'intérieur duquel elles ont été amenées jusqu'à la surface de la terre. En plus de fournir des données minérales issues des profondeurs, les inclusions nous renseignent sur l'âge des diamants. En effet, les techniques de datation fondées sur la désintégration des éléments radioactifs peuvent être utilisées pour estimer le laps de temps qui s'est écoulé depuis le moment où l'inclusion a été incorporée au diamant— ce qui correspond à peu près à l'âge du diamant. C'est ainsi qu'on a pu déterminer que l'âge des diamants varie selon leurs origines, de 3 300 à 990 millions d'années (Kirkley et al., 1991).

3.4.1 Les inclusions minérales

Les « taches de carbone » sont sans aucun doute les inclusions les plus courantes dans les diamants de qualité gemme (figure 3.7). Ce sont en fait plusieurs inclusions différentes que l'on regroupe sous l'appellation courante « taches de carbone »; on peut dire qu'il s'agit plutôt d'un groupe d'inclusions. De manière générale, ce vocable est utilisé pour décrire toute inclusion foncée, visible soit à l'œil nu, soit sous un grossissement de 10x. Parmi ces inclusions foncées, on en distingue trois principales : les sulfures, la chromite et le graphite. Les sulfures sont, croit-on, l'inclusion foncée la plus courante dans le diamant. Comme on le constate, il n'y a en fait qu'une seule inclusion, parmi les « taches de carbone », qui soit constituée de carbone : le graphite. Les autres possèdent une composition chimique et une structure tout à fait différentes (Koivula, 2000).



Figure 3.7 L'échantillon YM 020 contient une inclusion de type « tache de carbone », facile à observer à l'œil nu.

Les cristaux d'olivine incolore à vert clair et les grenats chromifères rouge nuancé de pourpre à rose (figure 3.8) sont deux autres inclusions cristallines que l'on rencontre assez fréquemment dans les diamants. Il y a également les inclusions de cristaux de diamant incolore qui sont plus fréquentes que plusieurs ne le croient, bien qu'elles ne soient pas nécessairement faciles à repérer vu que les propriétés optiques de l'inclusion sont les mêmes que celles du cristal hôte (figure 3.9) (Koivula, 2000).

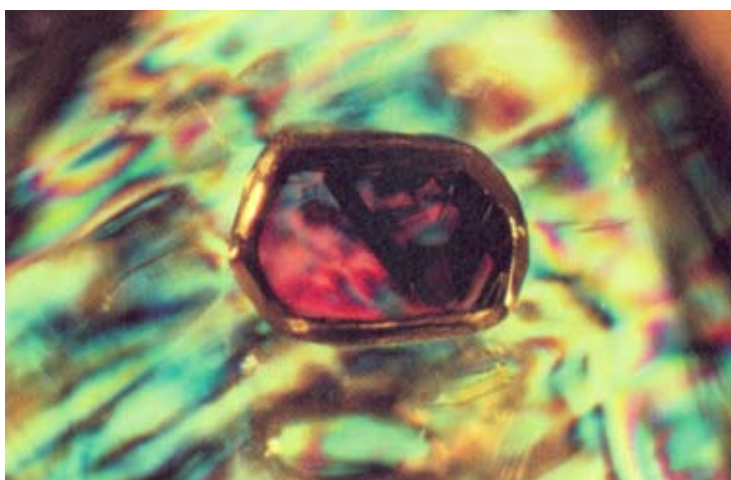


Figure 3.8 Une inclusion de grenat pyrope dans un diamant d'origine péridotitique de la mine Udachnaya, République de Sakha, Russie. Koivula J. I. (2000) *The Microworld of Diamonds*, p. 69.

Les inclusions minérales trouvées dans les diamants sont généralement séparées en deux groupes distincts, selon le type de roche dans laquelle les diamants ont cristallisé : la péridotite et l'éclogite. Ces deux types de roche sont identifiés à partir de certaines inclusions qui leurs sont exclusives. Il est admis que les diamants d'origine péridotitique sont plus courants que les diamants d'origine éclogitique, simplement parce que l'éclogite est une roche plus rare que la péridotite. Parfois, il arrive qu'un diamant contienne à la fois des inclusions d'origine péridotitique et éclogitique. Cela démontre que les diamants peuvent croître à des périodes différentes dans des environnements différents. Les inclusions typiques de chaque environnement suivent une zonation représentative dans le cristal hôte.

Ainsi, les inclusions caractéristiques d'un type d'environnement sont localisées plutôt vers le centre, alors que celles de l'autre type d'environnement sont localisées dans la partie plus éloignée du centre du cristal (Koivula, 2000).

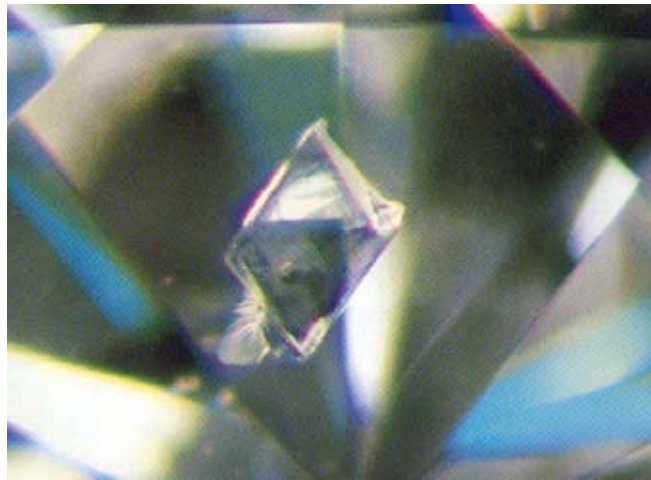


Figure 3.9 Une inclusion de diamant dans un diamant. *Gems & Gemology*, Vol. XX, No. X, p. 4.

a) Les inclusions d'origine péridotitique

Les inclusions d'origine péridotitique les plus courantes sont le grenat pyrope chromifère, un cristal transparent dont la couleur varie de rose très clair (voire même incolore) à rouge nuancé de pourpre à rouge vif; la chromite, un cristal qui présente généralement une forme cubo-oaédrique, est essentiellement opaque et noire, et affiche un éclat métallique; le diamant, une inclusion que l'on retrouve évidemment aussi dans les diamants d'origine éclogititique (parfois l'inclusion ne sera pas de la même couleur que le diamant hôte ou réagira différemment sous les rayons ultraviolets); l'enstatite, un cristal le plus souvent incolore et transparent, mais qui est parfois vert clair ou jaune à brun (il est impossible de distinguer l'enstatite de l'olivine à l'aide du seul microscope); l'olivine, une inclusion cristalline transparente, le plus souvent incolore, mais parfois vert très clair; les sulfures, qui, dans le cas du diamant, sont des minéraux opaques, affichant un éclat métallique, composés de soufre et d'ions métalliques tels que le cuivre, le fer et le nickel (on trouve également des sulfures dans les diamants d'origine éclogititique) (Koivula, 2000).

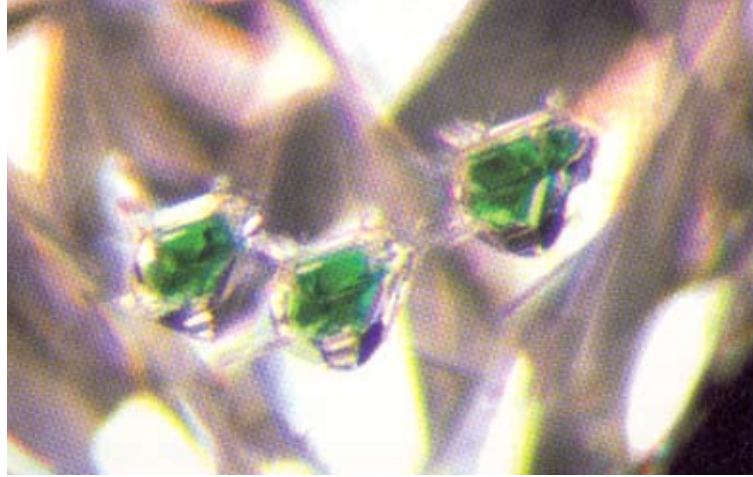


Figure 3.10 Une inclusion unique de diopside chromifère (qui est reflétée par les facettes) d'un vert émeraude intense, dans un diamant, caractéristique d'un diamant d'origine péridotitique. Koivula J. I. (2000) *The Microworld of Diamonds*, p. 74.

Le diopside chromifère, l'ilménite, la knorringite, la magnétite et le fer natif sont quelques-unes des inclusions minérales que l'on rencontre beaucoup plus rarement dans les diamants d'origine péridotitique (figure 3.10) (Koivula, 2000).

b) Les inclusions d'origine éclogitique

Les inclusions d'origine éclogitique les plus courantes sont le grenat pyrope-almandin, l'omphacite, le diamant et les sulfures. Le grenat pyrope-almandin est un cristal dont la couleur varie d'orange vif, à orange nuancé de jaune, à orange nuancé de rouge (la couleur est très caractéristique et permet de distinguer facilement ce minéral). L'omphacite, sans doute l'inclusion minérale typique des diamants d'origine éclogitique la plus courante, est généralement transparente à translucide et sa couleur varie de vert grisâtre clair à foncé. Le diamant, voir la description à 3.4.1a. Finalement, les sulfures (voir la description à 3.4.1a), sont considérés comme étant d'origine éclogitique lorsqu'ils ne contiennent qu'une faible quantité de nickel (figure 3.11) (Koivula, 2000).

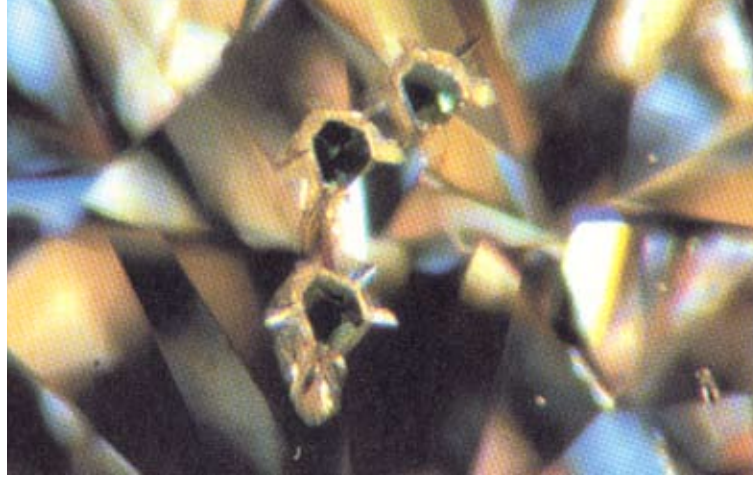


Figure 3.11 Une inclusion d'omphacite – un clinopyroxène – dans un diamant, caractéristique d'un diamant d'origine écolititique. Koivula J. I. (2000) *The Microworld of Diamonds*, p. 76.

La coesite, le corindon chromifère (saphir rose ou rubis), l'ilménite, la kyanite, la magnétite, la moissanite et le rutile sont quelques-unes des inclusions minérales que l'on rencontre beaucoup plus rarement dans les diamants d'origine écolititique.

3.5 La géologie des diamants des mines Ekati et Diavik, et leurs inclusions

Les cheminées des mines Ekati et Diavik sont situées très près l'une de l'autre, à environ une cinquantaine de kilomètres de distance. Elles sont situées sur le bouclier canadien, dans la partie centrale du craton des Esclaves, près du lac de Gras dans les Territoires du Nord-Ouest (figure 3.12). Le champ de kimberlites de la région du lac de Gras compte plus de 236 cheminées (Kjarsgaard and Levinson, 2002) qui datent de la période du crétacé à celle de l'éocène (86 Ma à 47 Ma). Leur emplacement dans la Province des Esclaves est constitué de roches archéennes et protérozoïques. L'analyse des xénolites provenant de la cheminée A154 de la mine Diavik suggère que les diamants se sont formés à une pression d'environ 45 000 à 60 000 atm. et à une température d'environ 890 à 1 250 °C (Donnelly C.L. et al., 2007).



Figure 3.12 Le craton des Esclaves regorge de cheminées de kimberlite. La figure montre quatre zones particulièrement riches : la partie centrale (près du lac de Gras, là où se trouvent les mines Ekati et Diavik), la partie sud-est (là où se trouvent les projets Snap lake et Gacho Kué), la partie sud-ouest et la partie nord où se trouve la mine Jericho. *Gems & Gemology*, Vol. 38, No. 3, p. 220.

Deux études portant sur les inclusions minérales des diamants des mines Ekati et Diavik ont permis de déterminer de quel type de roche (péridotite ou éclogite) proviennent les diamants canadiens extraits de ces deux mines.

L'étude de Ralf Tappert et al. (2004) porte sur l'analyse des inclusions minérales de 88 diamants extraits de la cheminée Panda de la mine Ekati. Il ressort de cette étude que la majorité des diamants sont d'origine péridotitique (82 %), alors que 14 % sont d'origine éclogitique et seulement 4 % sont des diamants issus des profondeurs du manteau inférieur. Les principales inclusions analysées dans les diamants d'origine péridotitique sont le grenat (saturé en Ca), l'olivine, l'orthopyroxène, la magnésiochromite et les sulfures de Fe et de Ni. Quant aux inclusions des diamants d'origine éclogitique, il s'agit principalement de grenats riches en Ca et Ti, de clinopyroxène jadéitique (un seul échantillon), du rutile et de sulfures de type éclogitique. Quant aux diamants issus du manteau inférieur, on y a trouvé du périclase ferreux, de la pérovskite et du spinelle.

L'étude de Cara L. Donnelly et al. (2007) porte sur l'analyse de 100 diamants provenant de la cheminée A154 Sud de la mine Diavik. Tout comme dans l'étude de R. Tappert et al. (2004), il ressort que la majorité des diamants sont d'origine péridotitique (83 %), alors que seulement 12 % sont d'origine éclogititique. Les inclusions de périclase ferreux dans 4 % des échantillons, et de diamants dans 1 % des échantillons, représentent des paragenèses indéterminées. Les principales inclusions analysées dans les diamants d'origine péridotitique sont le grenat, l'olivine, le clinopyroxène, la magnésiochromite et les sulfures de Fe et de Ni (des résultats qui présentent une très grande similitude avec les résultats obtenus par Tappert R. et al., (2004), dans le cas des diamants de la cheminée Panda, de la mine Ekati). Quant aux inclusions des diamants d'origine éclogititique, il s'agit principalement de grenats, de clinopyroxènes, de SiO₂ (coesite) et de sulfures de Fe. Les diamants dont la paragenèse est indéterminée contiennent des inclusions de diamants et des inclusions de périclase ferreux. De manière générale, des inclusions de diamants ont été observées tant dans des diamants d'origine péridotitique qu'éclogititique.

4. LE DIAMANT

4.1 Le matériau

Le diamant est un corps simple. Lorsqu'il est pur, il est composé uniquement d'atomes de carbone (C). Cependant, il présente généralement d'autres éléments chimiques, des impuretés telles que l'azote (N) ou le bore (B), ou des défauts dans sa structure cristalline. Ces particularités ont une incidence sur ses propriétés et son apparence. Le diamant est un minéral qui possède des propriétés remarquables, ce qui en fait un matériau aux multiples applications (Massi, 2006).

Sa dureté est sans aucun doute la plus reconnue de ses propriétés mécaniques. C'est le matériau naturel le plus dur (niveau 10 sur l'échelle de dureté des minéraux de Mohs, figure 4.1), ce qui explique d'ailleurs qu'il soit largement utilisé en abrasion. Toutefois, le diamant se clive facilement. Quant à ses propriétés thermiques, le diamant est le matériau naturel qui possède la conductivité thermique la plus élevée à la température ambiante. Au chapitre des propriétés électriques, il est un excellent isolant, sauf lorsqu'il est du type IIb et qu'il contient des impuretés de bore; il est alors semi-conducteur. Le diamant est chimiquement inerte et ne se corrode pas (Massi, 2006).

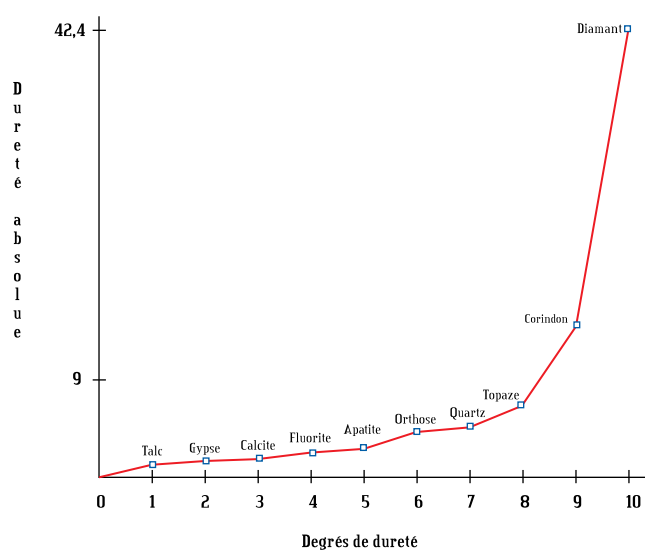


Figure 4.1 L'échelle de dureté des minéraux de Mohs qui montre la dureté du diamant (niveau 10), nettement supérieure à celle de tous les autres minéraux.

Le diamant, comme les autres minéraux naturels cristallisés, contient des inclusions qui ont permis aux géologues de mieux connaître le manteau terrestre (~ 50 à 300 kilomètres de profondeur). En effet, celles-ci ont fourni des renseignements sur la minéralogie des profondeurs, ce qui n'aurait pu être possible autrement.

La structure diamant des atomes de carbone est la forme cristalline métastable de cet élément. À température et pression ambiantes, la forme stable du carbone est la structure du graphite. La figure 4.2 présente le diagramme de phase (pression et température) du carbone. Le diamant est la forme stable au dessus de la ligne d'équilibre graphite-diamant, alors que le graphite l'est, en dessous.

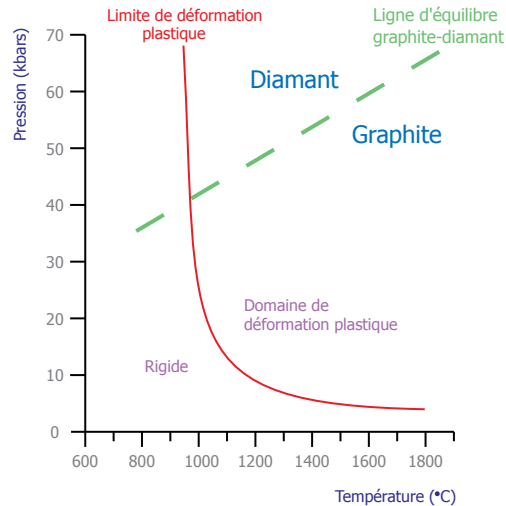


Figure 4.2 Diagramme de phase (pression – température) du carbone (d’après de Vries, 1975).

Enfin, le diamant possède des propriétés optiques distinctives. Lorsqu’il est pur, il est transparent aux ultraviolets jusqu’à 230 nm. De plus, il possède une dispersion élevée (0,044) qui, entre autres, lorsqu’il est facetté, en fait une gemme très convoitée. L’éclat adamantin unique du diamant est d’ailleurs le reflet de sa très grande dureté.

4.2 La structure cristalline

Comme pour tous les matériaux cristallisés, les atomes du diamant sont reliés entre eux de manière simple et régulière. Chaque atome de carbone partage chacun des quatre électrons de son orbitale la plus externe avec quatre autres atomes de carbone. Les liens qui unissent chaque paire d’électrons sont de type covalent et assurent la cohésion du matériau (figure 4.3). La disposition des atomes se répète à travers tout le diamant suivant une maille dite « cubique à faces centrées » (figure 4.4). Les principales formes cristallines naturelles du diamant, dérivées de cette structure cristalline, sont l’octaèdre (la forme la plus fréquente), le cuboïde et certaines autres formes plutôt plates ou arrondies (résultant de macles, de dissolution ou de déformation plastique).

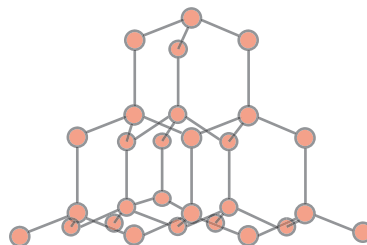


Figure 4.3 Illustration de la structure simple et régulière d’un diamant pur ne contenant aucune impureté ou défaut.

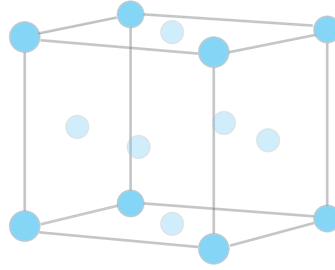


Figure 4.4 Illustration de la maille cubique à faces centrées du diamant (d'après Gicquel et Silva, 2002).

4.3 La couleur

Le diamant pur est incolore; en effet, il est transparent dans le visible (environ 1,50 eV à 3,25 eV). La bande interdite du diamant est de 5,5 eV. Un tel diamant n'altère aucunement la composition de la lumière blanche; il est donc parfaitement incolore (figure 4.5). Cependant, comme il contient souvent des impuretés à l'état de trace et que son réseau cristallin comporte parfois des défauts qu'on appelle « centres colorés », ceux-ci introduisent des niveaux d'énergie dans la bande interdite (le « gap »). L'absorption sélective de certaines longueurs d'onde de la lumière visible fait naître une vaste gamme de teintes et de couleurs. Ce sont les « diamants de fantaisie » (figure 4.6). Ces couleurs peuvent parfois être liées à la présence d'inclusions de tailles variables et à des causes physiques telles que la déformation plastique.



Figure 4.5 Cristaux de diamants incolores.
Gracieuseté de Diavik Diamond Mine Inc.



Figure 4.6 Quatre diamants de fantaisie (rose vif, bleu, vert jaune et orange).

4.4 Les spectrométries vibrationnelles du diamant

4.4.1 La spectrométrie infrarouge

Comme on peut le constater, la spectrométrie infrarouge est incontournable lorsqu'il s'agit de caractériser les diamants. On parle ici d'une spectroscopie vibrationnelle. C'est généralement le domaine du moyen infrarouge (4000 à 400 cm^{-1}) qui est analysé dans le cas des diamants. Le spectre infrarouge du diamant est subdivisé selon le nombre de phonons qui interviennent lors des transitions vibrationnelles. On distingue les zones à un, deux ou trois phonons (figure 4.7).

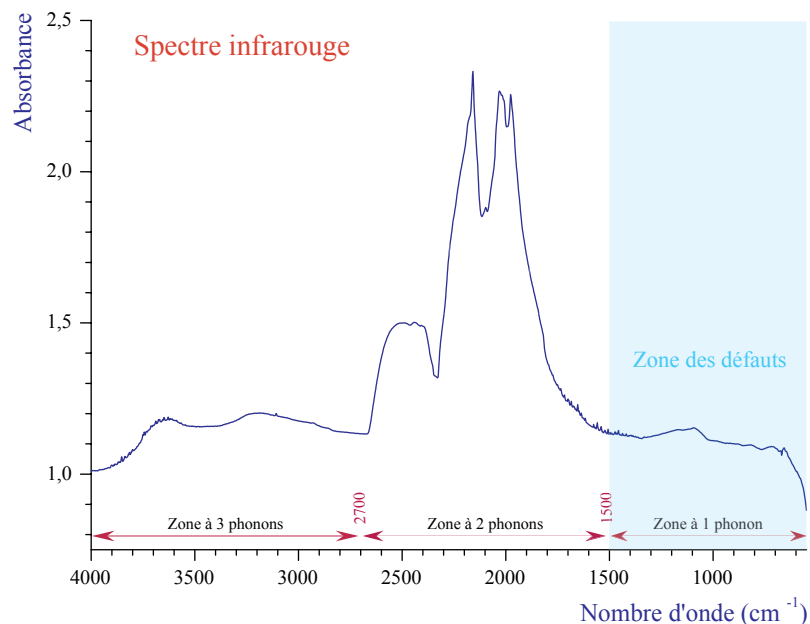


Figure 4.7 Le spectre infrarouge des diamants.

La zone à un phonon s'étend d'environ 400 à 1500 cm^{-1} ; c'est la zone où l'on observe les principales absorptions reliées à la présence de défauts, plus particulièrement l'azote. On appelle parfois la zone à un phonon la « zone des défauts » ou « zone de l'azote ». La zone à deux phonons s'étend quant à elle d'environ 1500 à 2700 cm^{-1} ; c'est dans cette zone qu'on retrouve les bandes d'absorption intrinsèques du diamant. Enfin, la zone à trois phonons s'étend d'environ 2700 à 3900 cm^{-1} .

L'observation du spectre infrarouge d'un diamant permet de déterminer de quel type de diamant il s'agit.

4.4.2 La spectrométrie Raman

La spectrométrie Raman est peu utile pour caractériser les diamants. Cependant, elle permet d'identifier le matériau. En effet, le diamant présente un pic d'absorption caractéristique à 1332 cm^{-1} (figure 4.8).

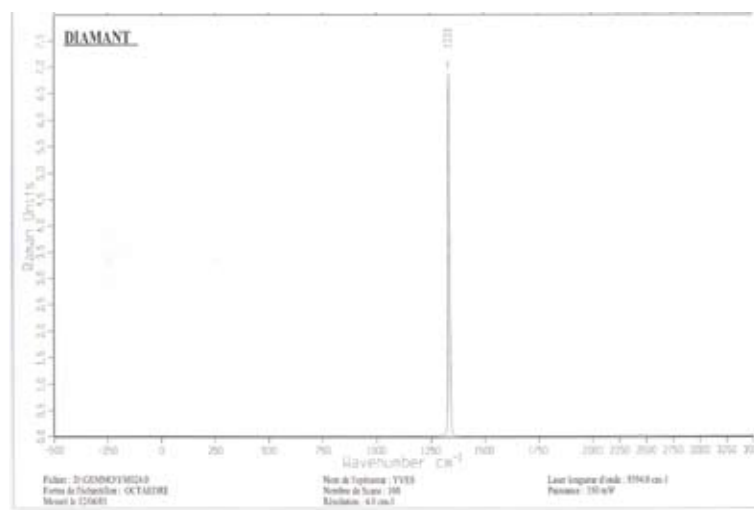


Figure 4.8 Spectre Raman d'un diamant.

4.5 L'azote dans le diamant

L'azote, l'impureté la plus courante dans le diamant, se trouve dans tous les types de diamants, mais principalement dans les diamants de type I. Il peut être incorporé dans la structure cristalline de différentes façons, affectant ainsi les propriétés physiques des diamants. Les principales formes d'incorporation de l'azote dans le réseau cristallin sont les suivantes :

a) Le centre C (ou centre N)

Le centre C apparaît lorsqu'un atome d'azote isolé remplace un atome de carbone (figure 4.9).

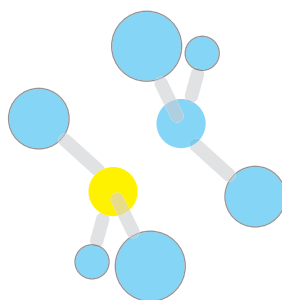


Figure 4.9 Illustration du centre C qui montre un atome d'azote (en jaune) isolé substitué à un atome de carbone (en bleu) (d'après Nazaré M.H., 2001).

b) L'agrégat A

L'agrégat A est une association de deux atomes d'azote voisins substitués à des atomes de carbone (figure 4.10).

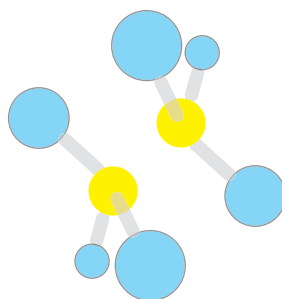


Figure 4.10 Illustration de l'agrégat A qui montre deux atomes d'azote voisins (en jaune) substitués à des atomes de carbone (en bleu) (d'après Nazaré M.H., 2001).

c) L'agrégat B

L'agrégat B est une association de quatre atomes d'azote voisins substitués à des atomes de carbone, autour d'une lacune de carbone (figure 4.11).

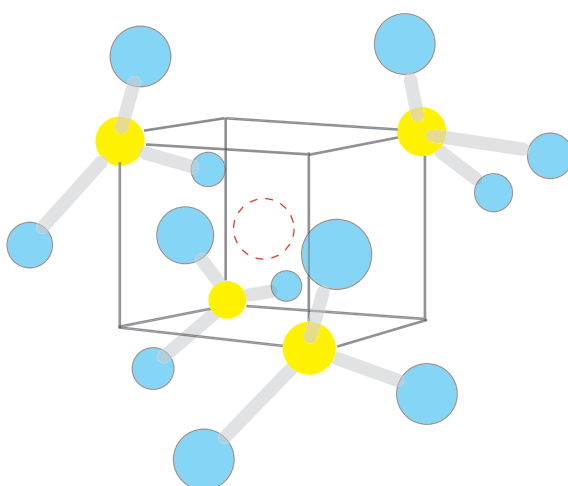


Figure 4.11 Illustration de l'agrégat B qui montre quatre atomes d'azote voisins substitués autour d'une lacune de carbone (l'azote en jaune, le carbone en bleu et la lacune de carbone en pointillé rouge) (d'après Nazaré M.H., 2001).

d) Les plaquettes

Il semble que les plaquettes soient constituées d'une ou deux couches d'atomes supplémentaires insérées dans le réseau cristallin, créant ainsi un défaut plan disposé selon les faces du cube $\{001\}$. La dimension des plaquettes varie largement d'un diamant à l'autre, de quelques nanomètres à quelques micromètres (Wilks & Wilks, 1991).

e) Le centre N3

Le centre N3 est formé de trois atomes d'azote substitués entourant une lacune de carbone (Bursill et Glaisher, 1985) (figure 4.12). L'absorption causée par le centre N3 est caractérisée par un pic à 415 nm (la raie à zéro phonon – structure vibronique située essentiellement dans l'ultraviolet). Le centre N3 n'est pas actif en infrarouge et possède plusieurs états excités dont un correspond à une absorption notée N2, active dans le visible à 478 nm (figure 4.13).

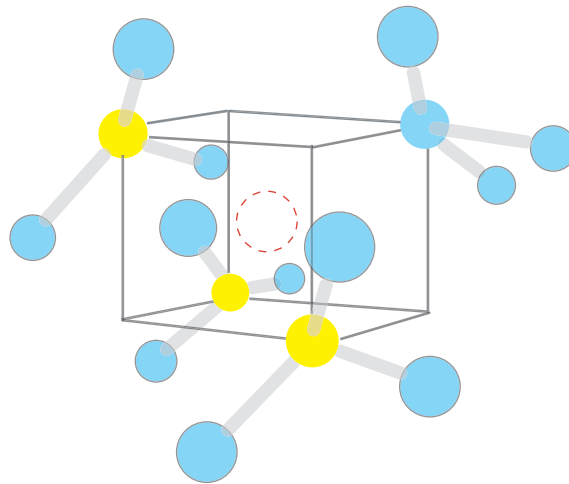


Figure 4.12 Illustration du centre N3 qui montre trois atomes d'azote substitués entourant une lacune de carbone (l'azote en jaune, le carbone en bleu et la lacune de carbone en pointillé rouge) (d'après Nazaré M.H., 2001).

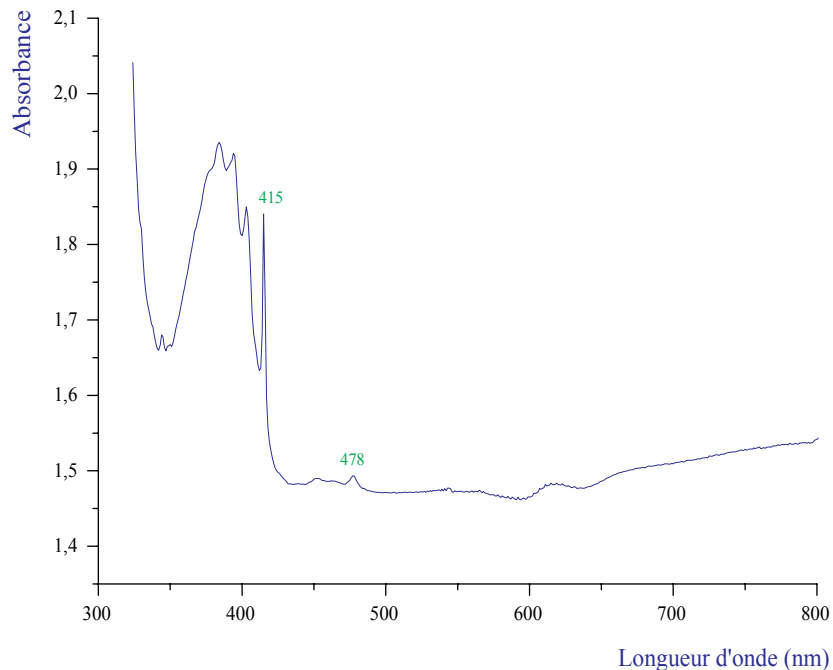


Figure 4.13 Spectre UVvisible d'un diamant IaAB contenant beaucoup d'azote et qui montre les absorptions caractéristiques des centre N2 et N3.

f) Le centre N-V

Le centre N-V est formé d'un atome d'azote et d'une lacune de carbone adjacente (figure 4.14). Ce centre a deux états de charge possibles, $N-V^0$ et $N-V^-$, qui produisent des absorptions dont la raie à zéro phonon est située à 575 nm ($N-V^0$) et 637 nm ($N-V^-$). Ces deux absorptions possèdent une structure vibronique dans le visible.

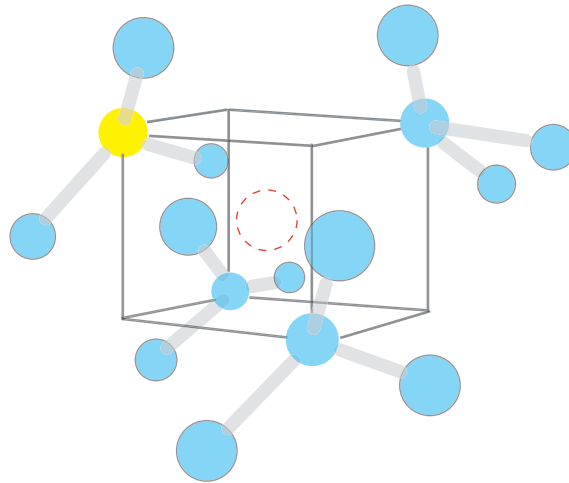


Figure 4.14 Illustration du centre N-V qui montre un atome d'azote substitué et une lacune de carbone adjacente (l'azote en jaune, le carbone en bleu et la lacune de carbone en pointillé rouge) (d'après Nazaré M.H., 2001).

g) Le centre H3

Le centre H3 est formé par l'association d'un agrégat A et d'une lacune de carbone (figure 4.15). Ce centre produit une raie à zéro phonon (503 nm) et possède une structure vibronique qui absorbe le bleu donnant ainsi une couleur jaune à orange.

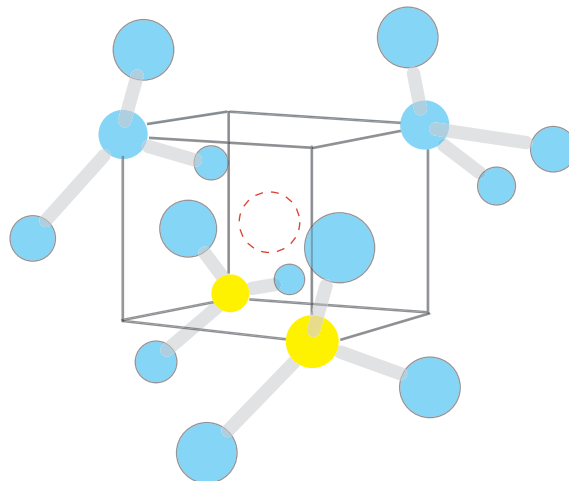


Figure 4.15 Illustration du centre H3 qui montre l'association d'un agrégat A et d'une lacune de carbone (l'azote en jaune, le carbone en bleu et la lacune de carbone en pointillé rouge) (d'après Nazaré M.H., 2001).

h) Le centre H4

Le centre H4 est formé par l'association d'un agrégat B et d'une lacune de carbone (figure 4.16). Ce centre produit une raie à zéro phonon (496 nm) et possède une structure vibronique dans le bleu.

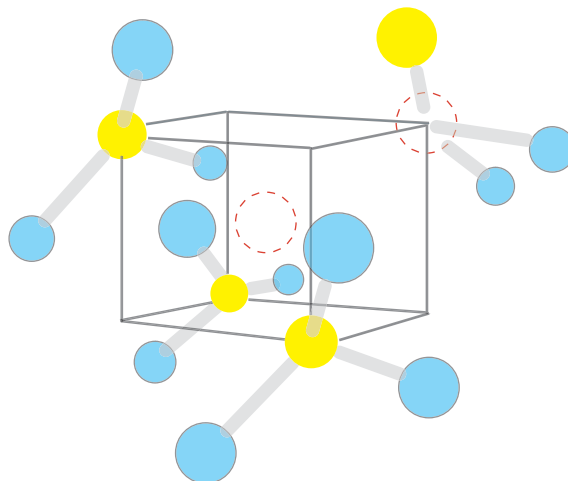


Figure 4.16 Illustration du centre H4 qui montre l'association d'un agrégat B et d'une lacune de carbone (l'azote en jaune, le carbone en bleu et la lacune de carbone en pointillé rouge) (d'après Nazaré M.H., 2001).

4.6 La classification des diamants par types

Les diamants sont regroupés en deux types (I et II) afin de rendre compte de leur principales propriétés physiques (Robertson et al., 1934). À l'origine, la distinction reposait sur deux critères : la transparence aux rayons ultraviolets (les diamants de type I ne sont pas transparents aux UV, alors que ceux du type II sont transparents jusqu'à environ 230 nm [Fritsch, 1992]) et les absorptions dans le moyen infrarouge (~ 4000 à 400 cm^{-1}). De nos jours, c'est principalement à partir des absorptions dans l'infrarouge que la classification des diamants par types est établie.

4.6.1 Les diamants de type I

Les diamants de type I sont caractérisés par la présence d'azote – donneur d'électrons vis à vis du carbone –, l'impureté principale présente dans le réseau cristallin. Selon que les atomes d'azote sont isolés ou agrégés, et en fonction des absorptions caractéristiques, on distingue deux catégories dans le type I : le type Ia et le type Ib.

a) Les diamants de type Ia

Les diamants de type Ia contiennent des impuretés d'azote agrégés, non magnétiques, dont la concentration peut atteindre 2 500 ppm (Woods, 1992). L'azote est présent sous forme d'agrégats A ou d'agrégats B (voir les sections 4.5 b et c), ainsi que les figures 4.10 et 4.11). La majorité des diamants naturels sont de ce type (98 % selon Koivula, 2000).

Ces diamants sont divisés en trois sous-catégories – le type IaA, le type IaB et le type IaAB – qui sont définis par leurs caractéristiques spectrales en infrarouge.

i) Les diamants de type IaA

Les diamants de ce type contiennent uniquement des impuretés d'azote sous forme d'agrégats A. Ils sont relativement courants.

Les absorptions distinctives des diamants de type IaA sont caractérisées par un pic principal à 1280 cm^{-1} et un pic annexe à 1212 cm^{-1} (figure 4.17).

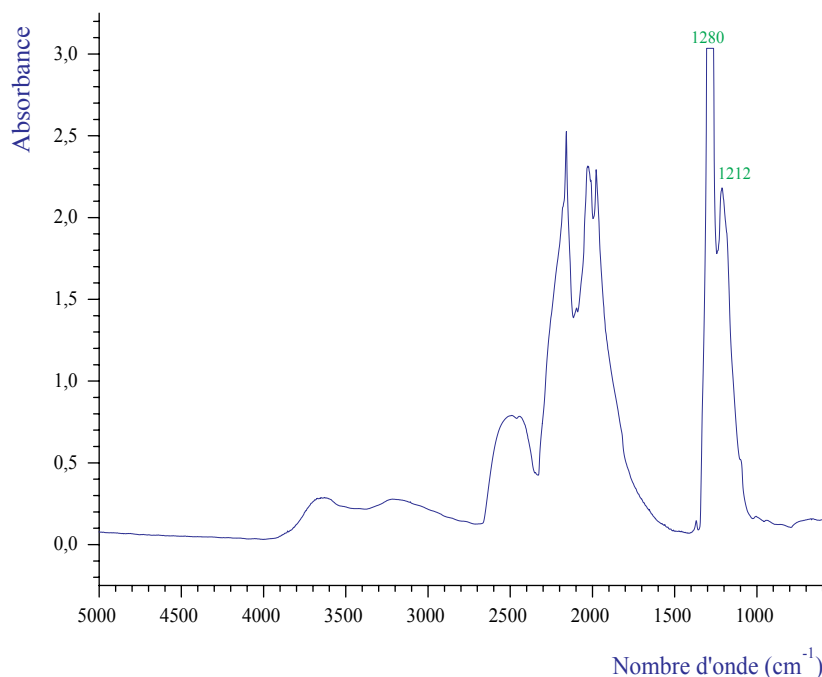


Figure 4.17 Spectre infrarouge d'un diamant IaA (échantillon YM 022).

ii) Les diamants de type IaB

Les diamants de ce type contiennent uniquement des impuretés d'azote sous forme d'agrégats B. Ils sont très rares.

Les absorptions distinctives des diamants de type IaB sont caractérisées par un pic assez large à 1180 cm^{-1} , un épaulement à 1096 cm^{-1} et un pic à 1010 cm^{-1} (figure 4.18).

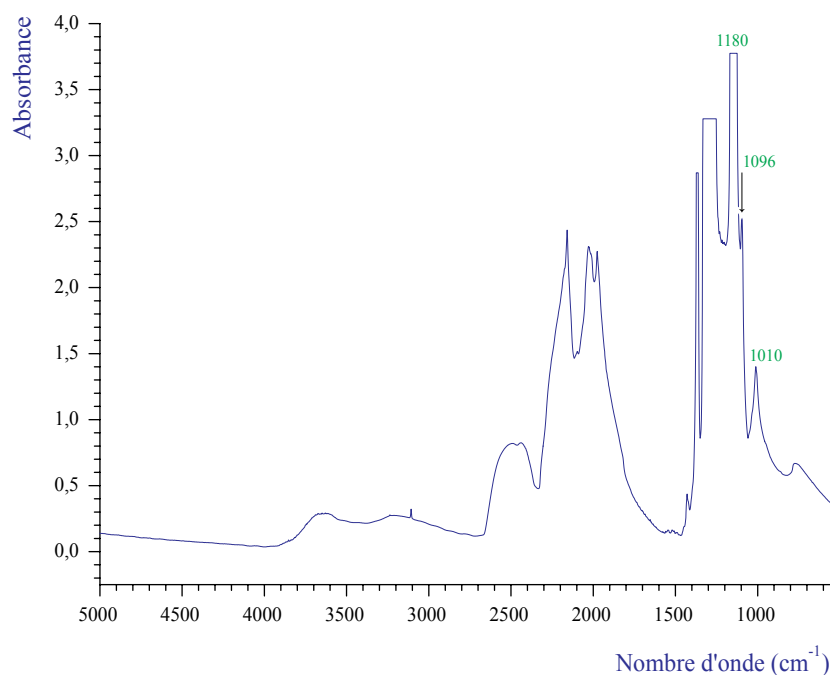


Figure 4.18 Spectre infrarouge d'un diamant de type IaB > A, qui montre les absorptions caractéristiques des agrégats B (échantillon YM 006).

iii) Les diamants de type IaAB

Les diamants de ce type contiennent des impuretés d'azote sous forme d'agrégats A, d'agrégats B et de plaquettes (voir la section 4.5 d), en proportions variables. Il s'agit, et de loin, du cas le plus courant pour les diamants de type Ia.

Évidemment, les absorptions distinctives des diamants de type IaAB sont caractérisées par l'addition des particularités propres aux diamants de type IaA et IaB, en plus du pic d'absorption caractéristique des plaquettes à environ 1365 cm⁻¹ (figure 4.19).

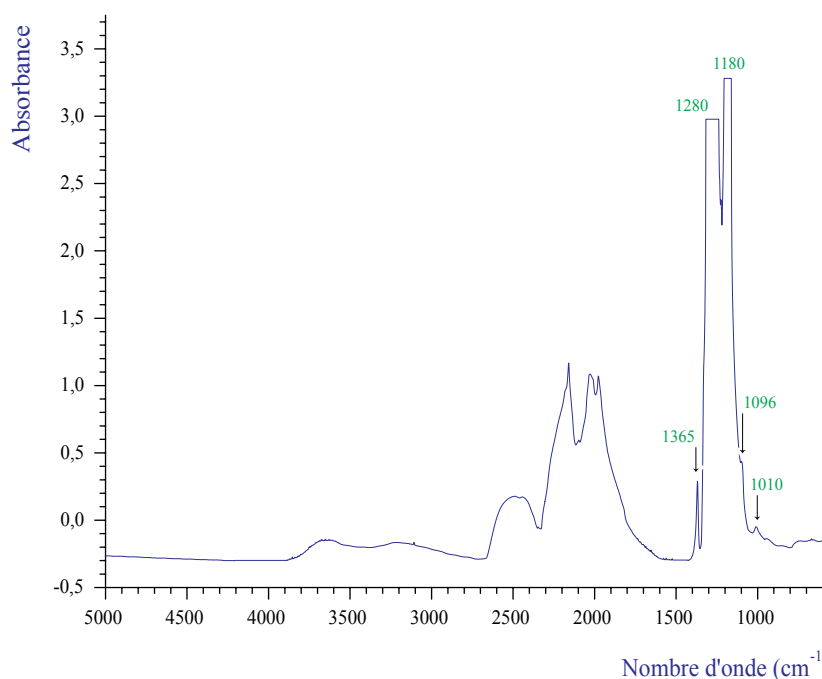


Figure 4.19 Spectre infrarouge d'un diamant de type IaAB (échantillon YM 009).

Il est d'usage de préciser, à l'aide des symboles « > » et « >> », quel agrégat est majoritaire ou très majoritaire dans un diamant de type IaAB. Il est possible de préciser la prédominance des agrégats A ou B en observant la zone des défauts (voir figure 4.7) – celle comprise entre ~ 1500 et 400 cm^{-1} – qui correspond à la zone à un phonon. L'observation des caractéristiques spectrales de cette zone permet de préciser de manière qualitative la prédominance d'un signal, celui des agrégats A ou celui des agrégats B.

b) Les diamants de type Ib

Les diamants de type Ib contiennent des impuretés d'azote isolées et dispersées, paramagnétiques, situées sur un site de carbone dans le réseau cristallin. Les diamants de type Ib sont rares, 0,1 % étant le chiffre le plus souvent cité (Woods, 1992). C'est dans ce type de diamant qu'on trouve les diamants jaune vif dont le spectre d'absorption ne présente pas les lignes du Cap. Ils sont mieux connus dans le commerce sous l'appellation « diamants canaris ».

Les absorptions distinctives des diamants de type Ib sont caractérisées par des pics d'absorption situés à 1130, 1344 et 3476 cm^{-1} .

4.6.2 Les diamants de type II

Les diamants de type II ne contiennent pas d'azote ou alors très peu ($< 2 \text{ ppm}$; Woods, 1992), c'est-à-dire trop peu pour la détection à l'aide d'un spectromètre infrarouge. On dit de ces diamants que ce sont les plus purs (Wilks & Wilks, 1991). On distingue deux catégories dans ce groupe : le type IIa et le type IIb. La distinction repose sur un critère de conductivité électrique. C'est cependant à partir de l'observation du spectre infrarouge qu'ils sont identifiés.

a) Les diamants de type IIa

Les diamants de type IIa, dits « purs », sont des isolants électriques. Ils sont généralement incolores à moins qu'ils ne contiennent des défauts générateurs d'absorption dans le visible. Ils sont transparents dans l'ultraviolet jusqu'à 230 nm. La zone des défauts du spectre infrarouge et le spectre visible de ce type de diamants ne montrent pas d'absorption.

Bien que la majorité de ces diamants soient de petite taille, plusieurs « gros » diamants, dont le Cullinan, sont de ce type.

Les absorptions distinctives des diamants de type IIa sont caractérisées par l'absence d'absorption dans la zone des défauts.

b) Les diamants de type IIb

Les diamants de type IIb ont des propriétés de conduction électronique dues à la présence de l'élément bore (B) sur un site de carbone. Afin de présenter une propriété de conduction électronique, le bore – un accepteur d'électrons vis à vis du carbone – doit être en concentration supérieure à celle de l'azote – un donneur d'électrons.

Les absorptions distinctives des diamants de type IIb sont situées à 1290 cm^{-1} et au-delà de 2500 cm^{-1} , dont celle à 2790 cm^{-1} qui s'étend jusque dans la partie rouge du spectre visible et qui donne la teinte bleue caractéristique de ces diamants.

4.7 L'hydrogène dans le diamant

Après l'azote, l'hydrogène est la principale impureté présente dans le diamant. La présence de l'hydrogène, tout comme celle de l'azote, peut être détectée à l'aide de l'infrarouge. Les absorptions caractéristiques causées par la présence de l'hydrogène se situent principalement dans les zones à deux et trois phonons, contrairement à celles de l'azote qui se situent dans la zone à un phonon (la zone des défauts). Seuls les diamants de type Ia contiennent de l'hydrogène (Fritsch et al., 1991). Il semble que l'incorporation de l'hydrogène soit liée à la présence d'azote.

Les absorptions distinctives des diamants riches en hydrogène sont caractérisées par une série de pics dont le plus intense se situe à 3107 cm^{-1} ; les autres pics se situent à 1405 , 2786 , 3235 et 4496 cm^{-1} (figure 4.20).

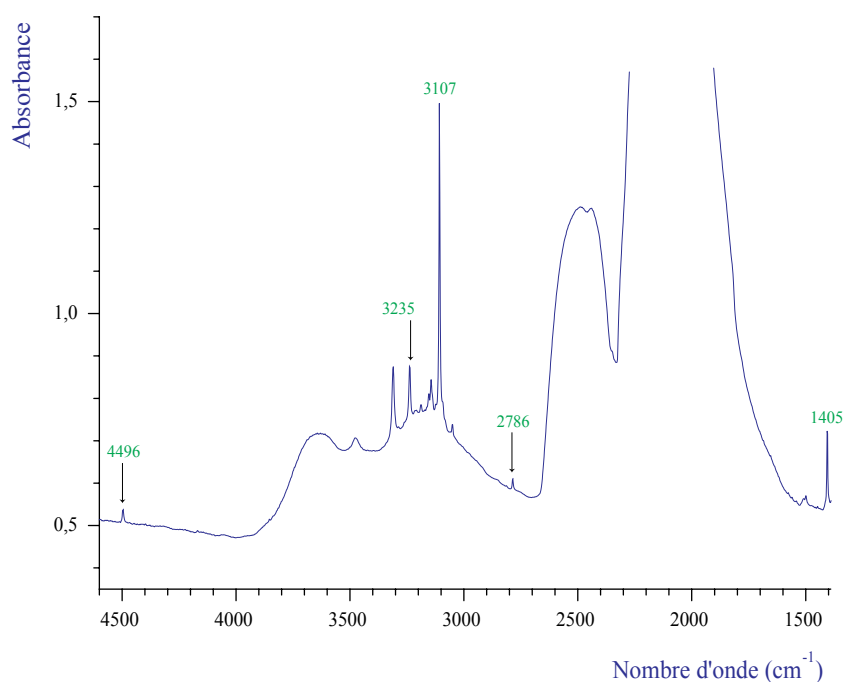


Figure 4.20 Détail du spectre infrarouge d'un diamant, riche en hydrogène (échantillon YM 004).

5. LA MORPHOLOGIE DES CRISTAUX DE DIAMANTS

Il existe un lien direct entre la morphologie des cristaux de diamants, leur croissance et leur histoire géologique. Avant qu'on ne découvre les gisements de diamants in situ, les seuls cristaux trouvés dans les alluvions avaient généralement des formes arrondies qu'on croyait dues aux abrasions provoquées par le transport dans les rivières. Avec la découverte des gisements primaires, on découvrit également de beaux octaèdres bien formés (figure 5.1). Cependant, on constata que plusieurs cristaux issus des ces gisements avaient une forme plutôt quelconque et que les cristaux de diamants présentaient plusieurs faciès différents, bien qu'ils n'aient pas été altérés lors d'un transport dans les rivières. Les experts conclurent que des mécanismes, dont l'origine est probablement géologique, entrent en jeu lors de l'évolution du cristal de diamant, depuis sa formation jusqu'à sa découverte (Sunagawa et al., 2002).



Figure 5.1 Un octaèdre de diamant bien formé.

Les géologues et les minéralogistes qui ont étudié la question ont établi quelques règles de la croissance des cristaux, aujourd'hui reconnues. Tout d'abord, si l'on tient uniquement compte de la structure interne des cristaux de diamants, on distingue trois types de faces : les faces octaédriques $\{111\}$, les faces dodécaédriques $\{110\}$ et les faces cubiques $\{100\}$.

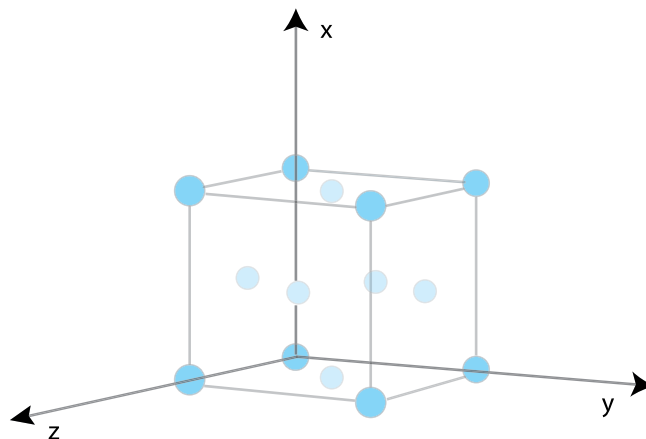


Figure 5.2a La maille cubique à faces centrées du diamant qui montre les axes x , y et z (d'après Gicquel et Silva, 2002).

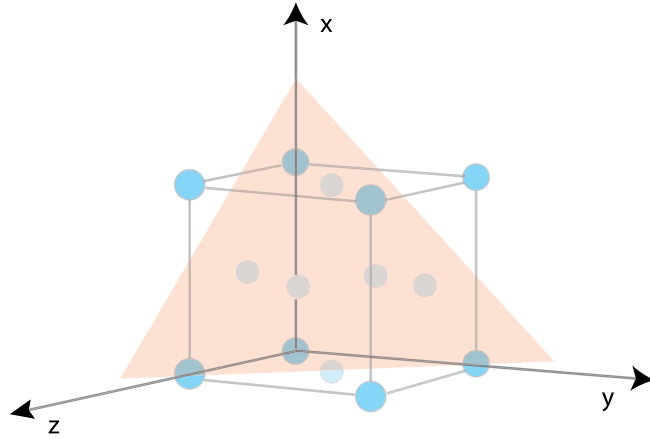


Figure 5.2b Le plan $\{111\}$ qui crée les faces octaédriques (d'après Gicquel et Silva, 2002).

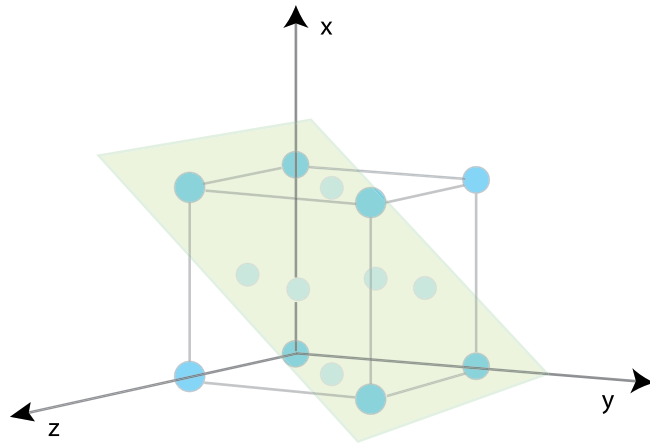


Figure 5.2c Le plan $\{110\}$ qui crée les faces dodécaédriques (d'après Gicquel et Silva, 2002).

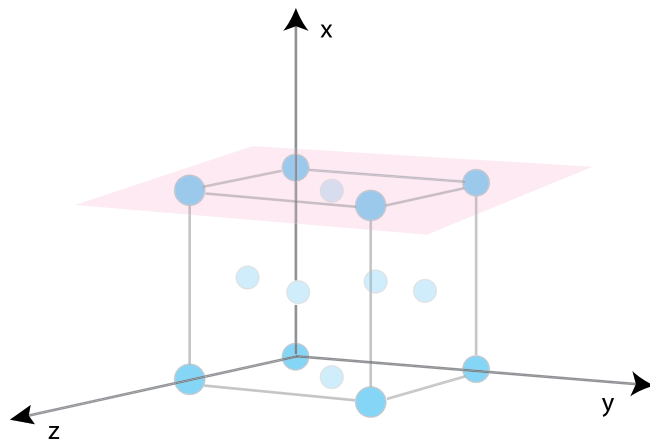


Figure 5.2d Le plan $\{100\}$ qui crée les faces cubiques (d'après Gicquel et Silva, 2002).

Les faces octaédriques (le plan $\{111\}$) favorisent une croissance qui est soit de type couche par couche, soit le fait d'une nucléation bidimensionnelle, soit une croissance en spirale. De plus, les faces octaédriques sont les seules à être planes à l'échelle atomique. Elles commandent la croissance et, par conséquent, la structure du cristal. Les faces dodécaédriques (le plan $\{110\}$) favorisent, à l'échelle atomique, une surface de croissance en « marches ». Les faces dodécaédriques ne commandent ni la croissance ni la structure du cristal. Enfin, les faces cubiques (le plan $\{100\}$) favorisent une croissance soit de type couche par couche, soit par nucléation bidimensionnelle. À l'échelle atomique, la surface de croissance est rugueuse.

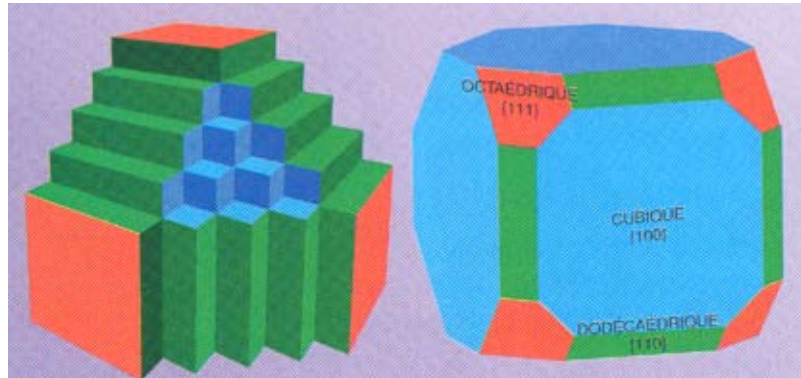


Figure 5.3 Dans un cristal de diamant (celui à droite), on distingue les plans octaédriques $\{111\}$ (en rouge), cubiques $\{100\}$ (en bleu) et dodécaédriques $\{110\}$ (en vert). Le cristal à droite montre que seule la face octaédrique est plane à l'échelle atomique, la face dodécaédrique est en « marches » et la face cubique forme des coins : elle est rugueuse à l'échelle atomique et la croissance y est de type adhésif (Tiré de : Sunagawa et Fritsch, 2002).

La croissance des différents types de faces des cristaux de diamants est liée à la « force motrice », c'est-à-dire à des paramètres thermodynamiques qui déclenchent la croissance cristalline (cela peut être une chute de la température, de la pression ou une surconcentration par exemple). C'est d'ailleurs cette force motrice qui commande les transitions entre les différentes faces et règle les mécanismes de croissance des cristaux. On sait notamment que lorsque la force motrice est élevée, la croissance est rugueuse. On obtient alors des cristaux aux formes variées, qu'ils soient fibreux, fractals ou dendritiques. Par contre, lorsque la force motrice est faible, ce sont surtout les formes simples qui dominent et c'est alors que naissent les beaux octaèdres. Les cristaux maclés sont également issus d'une croissance lente, tout comme le cuboïde (figure 5.4), dont la croissance lente des faces $\{100\}$ est contemporaine à celle des faces $\{111\}$. Enfin, il y a les situations intermédiaires où la force motrice est moyenne. On obtient alors les diamants enrobés et les agrégats polycristallins (Sunagawa et Fritsch, 2002).



Figure 5.4 Un diamant de forme cuboïde issu d'une croissance lente.

Comme on l'a dit, des mécanismes géologiques entrent en jeu lors de l'évolution des cristaux. Ils sont alors soumis à des événements qui altèrent leur forme. Les modifications dépendent de la durée de résidence dans la terre et des conditions physico-chimiques qui y règnent. On distingue trois types de phénomènes post-croissance que subissent les cristaux : la dissolution; les cassures et les clivages; et enfin, la déformation plastique.

- La dissolution – une résorption morphologique et une forme d'érosion chimique – provoque une modification de la forme initiale des cristaux. Par exemple, les arêtes de l'octaèdre sont parfois dissoutes et remplacées par des faces rhombododécaédriques, ou encore, les faces octaédriques deviennent des pyramides à trois ou six côtés, plates. Les trigones – des dépressions triangulaires généralement tête-bêche par rapport à la face de l'octaèdre sur laquelle elles se trouvent – sont des figures de dissolution courantes sur la surface des cristaux bruts (figure 5.5). Le mécanisme de la dissolution est habituellement symétrique.
- Les diamants cassés ou clivés sont courants. En effet, les cristaux se cassent très souvent à cause des chocs ou des contraintes qu'ils rencontrent et sont ensuite dissous, ce qui donne naissance à toutes sortes de formes de cristaux. C'est connu, les gros diamants ont généralement une forme quelconque qui résulte de la cassure d'un diamant encore plus gros.
- Dans l'ensemble, les déformations plastiques sont provoquées par les fortes contraintes que subissent les cristaux de diamants lors de leur remontée des profondeurs de la terre. Les diamants de type II (a ou b) sont souvent cassés et ne présentent que rarement une belle forme du fait de cette déformation plastique et des fortes contraintes internes qui en résultent (Sunagawa et Fritsch, 2002).



Figure 5.5 Des trigones – des figures de dissolution – sur une face octaédrique d'un diamant brut.

En terminant, on classe la morphologie des cristaux de diamants naturels en trois catégories principales. Tout d'abord, il y a les pierres qui se sont formées dans des conditions de force motrice faible; ce sont les « monocristaux » (octaèdres et cuboïdes) et les « bicristaux » (cristaux maclés). Ensuite, il y a celles qui se sont formées dans des conditions de force motrice forte; ce sont les agrégats polycristallins et les pierres fibreuses. Enfin, il y a les pierres pour lesquelles les conditions de force motrice ont varié; ce sont les diamants de croissance mixte, les pierres enrobées : une croissance monocristalline sur un germe fibreux ou, à l'inverse, une croissance dendritique ou fibreuse sur un germe monocristallin.

6. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES DIAMANTS CANADIENS

6.1 Les études portant sur la caractérisation des diamants canadiens

Des groupes de chercheurs se sont intéressés à la caractérisation des diamants canadiens, non seulement pour mieux comprendre les spécificités de la géologie du craton des Esclaves et des kimberlites diamantifères qu'on y trouve, mais également pour faciliter les recherches visant à découvrir d'autres gisements de diamants d'une qualité comparable à ceux qu'on connaît.

Trois études sont particulièrement intéressantes dans le cadre du présent travail : l'étude de Donnelly C. L. et al., effectuée en 2006, qui s'intéresse à cent diamants de la cheminée A154 de la mine Diavik, et à leurs inclusions; celle de Davies R. M. et al., menée en 2004, qui porte sur les inclusions minérales et la caractérisation géochimique de 576 microdiamants provenant de plusieurs pipes de kimberlite du craton des Esclaves, dont bon nombre sont situées sur la propriété de la mine Diavik; et enfin, l'étude de Tappert R. et al. (2004), centrée quant à elle sur les inclusions minérales trouvées dans 88 diamants de la mine Ekati. Comme les travaux de Tappert R. et al. ne rapportent aucune information relative à la morphologie, la couleur ou le type de diamants, les résultats de ces travaux sont présentés au chapitre 3, qui traite de la géologie des diamants.

Les résultats de ces recherches fournissent de l'information sur la morphologie et la couleur des cristaux, ainsi que sur le type de diamants, la concentration en impuretés d'azote et le niveau d'agrégation. Ces études fournissent également des renseignements sur l'origine géologique (éclogititique, péridotitique ou *ultra-deep*) de ces diamants. Les résultats qui traitent de l'aspect géologique sont présentés au chapitre 3.

a) La morphologie

Les travaux de Donnelly et al. ont permis non seulement d'effectuer une analyse détaillée des cent diamants choisis, mais également de compiler des données sur la morphologie de plusieurs milliers de diamants pris au hasard (*run-of-mine production*). Il ressort de cette compilation, et ce, bien que les diamants de la mine Diavik soient réputés pour être de grande qualité, incolores et octaédriques, que la majorité des diamants qui ont été observés (*run-of-mine production*) sont des dodécaèdres dissous (30 % des diamants avaient plus de 50 % de leurs faces dissoutes). En effet, les octaèdres ne constituent que 14 % de la population et seulement le tiers sont des octaèdres aux arêtes vives, non dissous. Enfin, environ 12 % des diamants présentent une morphologie cuboïde, parmi lesquels plusieurs ont des arêtes plutôt saillantes, quelques-uns des faces planes et certains une forme plutôt arrondie. Des cristaux maclés de forme triangulaire ainsi que des agrégats comptant aux moins trois cristaux ont également été observés. Les résultats de cette compilation ont en outre fait ressortir que plus la taille des diamants augmente, plus la forme octaédrique domine les formes dodécaédriques et cuboïdes.

En ce qui a trait à la morphologie des cent diamants choisis, une distribution différente des morphologies a été notée. Les octaèdres dominent la compilation avec 41 % des diamants, suivis des dodécaèdres arrondis qui comptent pour 22 % des échantillons, les cristaux irréguliers et les fragments qui représentent 21 %, les macles 8 % et les agrégats, 8 %. Aucun des diamants de cet échantillonnage ne présente une forme cuboïde, car, semble-t-il, les diamants de forme cuboïde ne contiennent que très rarement des inclusions minérales. De plus, comme l'analyse des inclusions était le but visé, les cuboïdes n'ont pas été retenus lors de la sélection des échantillons de cette recherche.

Les travaux de Davies R.M. et al. ont permis de dresser le profil suivant de la morphologie des microdiamants analysés : pour les microcristaux d'origine écologitique, 50 % sont des cuboïdes-octaèdres, 45 % des dodécaèdres issus de la dissolution des formes originelles octaédriques et cuboïdes-octédriques, et seulement 4 % sont de beaux octaèdres. Les microcristaux d'origine péridotitique présentent quant à eux des proportions différentes : 50 % sont des dodécaèdres, 33 % des octaèdres et 17 % des cuboïdes-octaèdres. Les diamants issus des grandes profondeurs (*ultra-deep*) sont tous des octaèdres dissous. Enfin, les agrégats et les fragments sont courants, quel que soit le type d'origine géologique.

b) La couleur

En ce qui a trait à la couleur, il ressort des travaux de Donnelly et al. que la population non sélectionnée (*run-of-mine*) de diamants est dominée par les pierres incolores (63 %), que les pierres brunes représentent quant à elles 23 % et que les 14 % qui restent sont réparties entre des pierres de couleur jaune, rose et grise. Inversement, parmi les cents échantillons « inclus » choisis, 58 sont bruns, 34 incolores, 4 roses, 2 jaunes et enfin, 2 sont gris. Les travaux de Davies R.M. et al. montrent que parmi les microdiamants d'origine écologitique, 72 % sont des diamants bruns, 19 % sont incolores, 5 % sont jaunes et 4 % sont opaques. Les microdiamants d'origine péridotitique comptent 53 % de pierres incolores, 32 % de pierres brunes, 10 % de pierres jaunes et 5 % de pierres opaques. Quant aux diamants issus des grandes profondeurs (*ultra-deep*), on constate une proportion égale de diamants incolores et bruns (45 % – 45 %) et une proportion de 10 % de microdiamants jaunes.

c) Les types de diamants

Dans les travaux de Donnelly et al., la concentration en azote des cent échantillons choisis varie d'en deçà du niveau de détection (≤ 10 ppm) à 1200 ppm. Les diamants de type IaA dominent cette population (65 %), alors que ceux de type IaAB représentent 25 % et ceux de type IaB (> 90 % de l'azote sous forme d'agrégats B) seulement 5 %. Les 5 % qui restent sont de type II, des diamants qui ont une concentration en azote en deçà du niveau de détection.

Les concentrations en azote relevées dans les microdiamants analysés dans le cadre des travaux de Davies R.M. et al. permettent les regroupements suivants : parmi les microdiamants d'origine éclo-gititique, 10 % sont de type II (azote non détectable), 67 % sont de type IaA (la concentration en azote est constante à ~ 500 ppm et ils ne contiennent pas d'azote sous forme de plaquettes) et 17 % sont de type IaAB (concentration en azote ~ 650 ppm). Tous les diamants d'origine éclo-gititique contiennent de l'hydrogène. Parmi les microdiamants d'origine péridotitique, 43 % sont de type II, 32 % sont de type IaA (la concentration d'azote est de ~ 440 ppm et ils ne contiennent pas d'azote sous forme de plaquettes) et 25 % de type IaA (concentration en azote ~ 660 ppm). De plus, parmi les microdiamants issus des grandes profondeurs, 88 % sont de type II, 0 % sont de type IaA et 12 % sont de type IaAB (concentration en azote ~ 340 ppm).

Enfin, il ressort de l'étude de Davies R.M. et al. que la majorité des microdiamants de type IaA, peu importe l'origine géologique, ont une morphologie cuboïde-octaèdre, alors que les microdiamants de type IaAB et de type II présentent une morphologie octaédrique.

6.2 Les autres méthodes de caractérisation

6.2.1 La topographie aux rayons X

La prise systématique, aux rayons X, d'empreintes de la structure des défauts du réseau cristallin des diamants est une méthode dont la validité a été établie lorsqu'il s'agit de confirmer l'identité d'un diamant déjà topographié. En effet, comme il n'existe pas deux visages humains identiques, il n'existe pas non plus deux diamants présentant une similitude parfaite de la structure de son réseau cristallin.

La technique de la topographie aux rayons X est non destructive et permet la visualisation des défauts internes dans le réseau cristallin d'un diamant, qu'il soit brut ou taillé. Cette technique fournit une empreinte unique, qui n'est pas modifiée par la plupart des procédés de transformation auxquels sont soumis les diamants, tels que la taille, le chauffage ou l'irradiation. Par contre, dans certains cas, une retaille majeure, une perforation au rayon laser ou un traitement HPHT pourrait rendre difficile toute réidentification.

La technique impose aussi une série de contraintes en ce qui a trait à l'orientation de la pierre lors de la prise de clichés de topographie et nécessite la prise de plusieurs clichés « originaux » afin de garantir un important pourcentage de réidentifications ultérieures.

La méthode est sûre et fournie de bons résultats. Toutefois, elle est non seulement relativement longue à effectuer, elle est coûteuse et nécessite l'utilisation d'équipements sophistiqués de même que l'embauche de personnel spécialisé (Diehl et Herres, 2004).

6.2.2 LA-ICP-MS (*laser ablation inductively coupled plasma mass spectroscopy*)

Des projets de recherche qui font appel à la technique de l'ICPMS à ablation laser pour discriminer chimiquement les diamants sont actuellement en cours au Canada, en Belgique et en Australie (Resano et al. 2003). C'est dans le cadre d'un projet de recherche mené par le service judiciaire de la Gendarmerie Royale du Canada (GRC), sous la direction de Dave Ballantyne et Claude Dalpé, qu'on élabore actuellement une banque de données des éléments mesurés dans les diamants bruts afin de les discriminer chimiquement par une ablation au laser couplée à un spectromètre de masse. Il semble que les résultats obtenus soient fort intéressants et permettent d'isoler les diamants provenant des mines canadiennes des diamants d'autres origines (communication personnelle avec Claude Dalpé, 3 juillet 2007). Pour la GRC, le but de cette recherche est d'avoir accès à une banque de données permettant d'identifier les diamants d'origine douteuse ou criminelle, saisis par les différents corps policiers du Canada. Les résultats de cette recherche devraient être publiés au début de l'année 2008.

7. MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Des cristaux de diamants bruts, issus des deux mines en exploitation au Canada en 2004 – la cheminée Panda, de la mine Ekati et la cheminée A154, de la mine Diavik –, ont été utilisés pour effectuer ce travail de recherche. Les échantillons YM 001 à YM 009 proviennent de la mine Ekati et ceux numérotés YM 010 à YM 024 proviennent de la mine Diavik. Les diamants de la mine Ekati ont été fournis par la société Candiar, une division du Groupe Diarough NV, d'Anvers, en Belgique. Ils ont été importés(1) au Canada le 16 décembre 2004 (Consignment Invoice no CDC00201); ils étaient accompagnés d'un certificat du Processus de Kimberley émis par la Communauté Européenne et portant le numéro EC 00085950. Les diamants de la mine Diavik ont été fournis par la société Diarough NV, d'Anvers, en Belgique. Ils ont été importés au Canada le 16 décembre 2004 (Consignment Invoice no DRC01040); ils étaient accompagnés d'un certificat du Processus de Kimberley émis par la Communauté Européenne et portant le numéro EC 00085949.

Les diamants ont été sélectionnés de manière à constituer un échantillonnage aussi diversifié que possible sur les plans de la forme, de la couleur et de l'aspect. Le poids des diamants provenant de la mine Ekati varie de 0,69 carat à 1,11 carat, alors que celui des diamants issus de la mine Diavik varie de 0,36 carat à 0,92 carat.

La détermination de la morphologie, de la couleur, de la transparence et de l'aspect des cristaux de diamants, ainsi que l'observation des inclusions, ont été effectuées à l'aide d'une loupe Krüss 10x, aplanétique et achromatique, et d'une binoculaire GEMOLITE MARK X, sous un grossissement variant de 10 à 45x, en utilisant une lumière fluorescente réfléchie et un éclairage en champ noir.

La densité a été mesurée en adoptant la méthode de la pesée hydrostatique, avec une balance électronique METTLER CM200 et de l'eau distillée à température ambiante. Le poids en carats des échantillons a également été déterminé avec cette balance. La luminescence sous les rayons ultraviolets a été observée sous une lampe UV MINERALIGHT UBGL 25. L'observation a été faite sous les ondes longues (~ 366 nm) et sous les ondes courtes (~ 254 nm). Le spectre d'absorption a été observé avec un spectroscope à main Krüss (modèle à prisme) sous un éclairage à fibre optique intégré à l'appareil.

Un spectromètre à transformée de Fourier BRUKER IFS 28 a été utilisé en réflectance, à une résolution de 4 cm^{-1} , pour obtenir les spectres infrarouges. Ils ont été mesurés entre 5000 et 550 cm^{-1} .

(1) Après leur extraction du minerai, les diamants canadiens sont triés en vue de l'évaluation aux fins du paiement des redevances gouvernementales. Ensuite, ils sont envoyés aux bureaux des sociétés minières à Anvers, en Belgique, où ils sont triés aux fins de distribution commerciale. Voilà pourquoi j'ai dû importer les diamants, car il n'est pas possible de les obtenir directement de la mine. Ils doivent d'abord passer par Anvers.

Un spectrophotomètre dispersif Cary 5G Varian a été employé pour obtenir les spectres UVvisible. Les spectres ont été mesurés à la température ambiante entre 300 et 1000 nm, avec une bande passante d'une largeur de 1 nm, une vitesse de 30 nm à la minute et un pas d'échantillonnage de 1 nm.

Un spectromètre à transformée de Fourier BRUKER RFS 100 a été utilisé pour déterminer le spectre Raman. Le spectre a été mesuré entre -500 et $3\ 500\text{ cm}^{-1}$, à une résolution de 4 cm^{-1} et à une vitesse de 100 scans à la minute.

Les images de topographie et de luminescence ont été produites à l'aide d'un microscope électronique à balayage JEOL JSM-5800 LV. Les images de la topographie des échantillons ont été obtenues en électrons secondaires. Quant aux images de luminescence, elle ont été obtenues en cathodoluminescence.

8. RÉSULTATS

8.1 Propriétés gemmologiques

8.1.1 La couleur

Les diamants analysés dans le cadre de cette étude sont majoritairement de la gamme des diamants dits « incolores ». Parmi les 24 échantillons, 13 sont nettement incolores (Ekati [5]) et Diavik [8]), alors que trois présentent une teinte grisâtre (Ekati [1] et Diavik [2]), cinq affichent une teinte jaune clair à très clair (Ekati [3] et Diavik [2]) et trois de la mine Diavik ont une teinte brun clair (Figure 8.1). La teinte grisâtre de l'échantillon YM 002 est causée par la présence d'inclusions floconneuses réfléchissantes situées juste sous la surface, alors que la masse cristalline exhibe une légère teinte brunâtre.



Figure 8.1 Trois cristaux de diamants de couleur différentes, un octaèdre incolore (YM 024; 0,92 ct), un cuboïde jaune clair (YM 004; 0,75 ct) et un octaèdre brisé de couleur brune (YM 014; 0,63 ct).

8.1.2 Le grossissement

Aucune caractéristique particulièrement intéressante n'a été observée sous grossissement. Toutefois, deux échantillons (YM 002 et YM 024) révèlent des inclusions floconneuses grisâtres et réfléchissantes qui n'ont pas été identifiées. Deux diamants laissent voir, quant à eux, des inclusions à l'apparence cristalline, de couleur orange vif. Une d'entre elles est cerclée d'un halo irisé. Bien sûr, les inclusions de type « taches de carbone » sont présentes dans plusieurs échantillons, plus précisément dans 14 diamants. De plus, six diamants n'exhibent aucune inclusion visible sous un grossissement de 45x (il faut évidemment tenir compte du fait que les diamants sont bruts, ce qui diminue, dans certains cas, la possibilité d'observer la totalité du volume intérieur).

8.1.3 La densité

Les densités mesurées pour les diamants varient peu; elles se situent près de la mesure de densité généralement reconnue pour les diamants, c'est-à-dire 3,52. Cependant, il est intéressant de noter que la moyenne de la densité des diamants de la mine Ekati est légèrement supérieure à celle des diamants de la mine Diavik. En effet, les mesures obtenues sur les échantillons de la mine Ekati varient de 3,46 à 3,64 (la densité moyenne étant 3,55), alors que celles obtenues sur les échantillons de la mine Diavik varient de 3,44 à 3,62 (la densité moyenne étant 3,50). La valeur moyenne de la densité pour l'ensemble des échantillons est 3,52. (Figure 8.2).

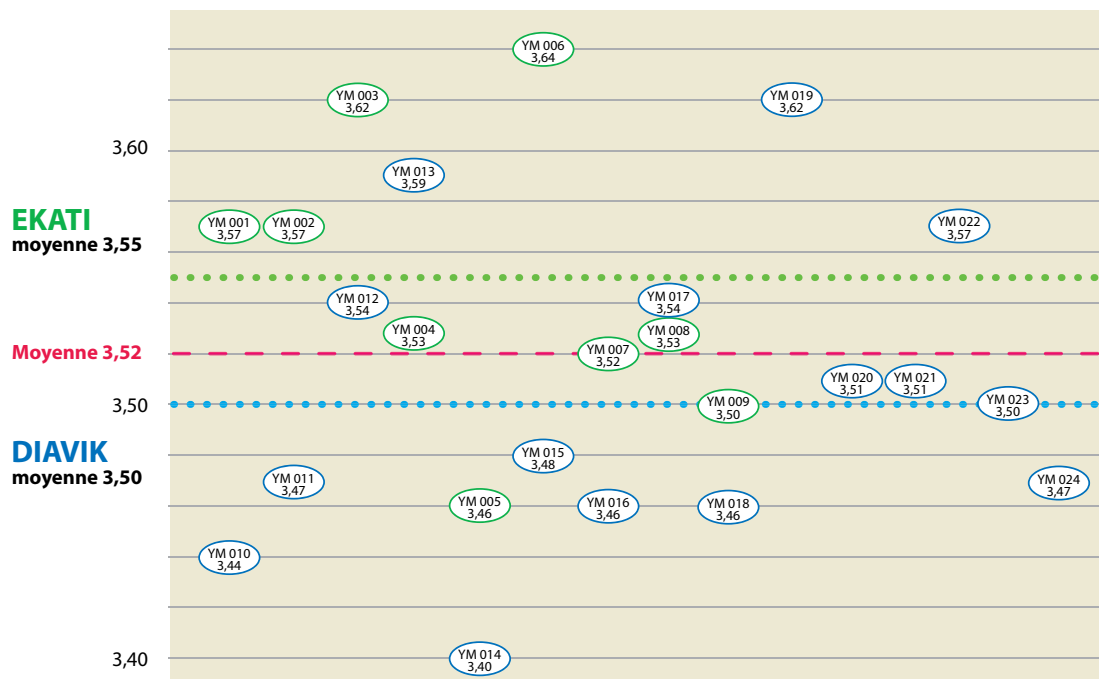


Figure 8.2 Graphique de la densité des diamants. Les bulles vertes montrent la densité des diamants de la mine Ekati, les bulles bleues montrent la densité des diamants de la mine Diavik et la ligne pointillée rouge indique la densité moyenne obtenue pour l'ensemble des échantillons analysés.

8.1.4 La luminescence aux rayons ultraviolets

Comme le veut la rumeur, les diamants canadiens sont peu luminescents sous les rayons ultraviolets. Trois des diamants de la mine Ekati n'exhibent aucune luminescence, alors que six montrent une luminescence sous les ondes longues (bleue, intensité forte [1]; bleue, intensité faible [3]; et jaune, intensité faible [2]) et que seulement deux échantillons, l'une bleue, l'autre jaune, révèlent une luminescence faible sous les ondes courtes. Aucun des diamants de la mine Diavik n'affiche une luminescence sous les ondes courtes. Par contre, huit dégagent une luminescence de faible intensité sous les ondes longues, parmi lesquels quatre ont une luminescence bleue et quatre une luminescence jaune.

8.2 La morphologie

C'est la forme octaédrique ou, à tout le moins la croissance octaédrique, qui représente la morphologie dominante des échantillons issus de la mine Ekati. Il y a cependant deux diamants qui se démarquent : l'un a une forme cuboïde régulière et bien définie, dont les arêtes sont légèrement saillantes par rapport à la masse, de même qu'une surface granuleuse (YM004); l'autre a une forme rhombododécaédrique irrégulière, est fortement dissous et exhibe une surface lisse (YM006). La majorité des cristaux dont la croissance est octaédrique montrent des trigones nettes sur la surface qui, comme il se doit, apparaissent tête-bêche par rapport à la face sur laquelle ils se trouvent. Le diamant YM 007 possède des faces octaédriques en gradins, ce qui suggère une pierre « jeune », il est peu dissous. La majorité des cristaux sont cassés et affichent des degrés de dissolution variables. Enfin, on constate la présence de la macle du spinelle dans deux diamants (YM001 et YM008).

Tout comme dans le cas des diamants de la mine Ekati, la croissance octaédrique domine pour ceux de la mine Diavik. Ils présentent les caractéristiques classiques que sont la dissolution des arêtes et les trigones. Deux de ces diamants sont peu dissous et révèlent des faces en gradins, ce qui suggère des diamants « frais » (c.-à-d. jeune). De plus, deux diamants (YM016 et YM017) indiquent une croissance mixte cuboïde-octaédrique. Seul le cristal YM 012 exhibe une forme cuboïde. Enfin, l'échantillon YM 008 affiche une forme triangulaire, cassée, typique de la macle du spinelle (YM018) (figure 8.3).



Figure 8.3 Cinq cristaux de diamants qui montrent différentes morphologie : un octaèdre (YM 019; 0,36 ct), un cuboïde (YM 016; 0,63 ct), un rhombododécaèdre (YM 006; 0,73 ct), un diamant de forme pyramidale allongée (YM 005; 1,11 ct) et un diamant maclé (YM 001; 0,88 ct).

8.3 La spectrométrie

8.3.1 La spectrométrie UV visible

Les principales absorptions observées en UV visible sont le pic à 415 nm causé par les centres N3 et l'absorption à 478 nm causée par les centres N2, qui lui est liée. Ces absorptions sont responsables de la teinte jaune observée dans ces diamants. Tout indique que l'intensité de l'absorption à 478 nm est responsable de l'intensité de la teinte jaune. En effet, lorsque l'absorption à 478 nm est très faible, le diamant demeure incolore (YM 001 et YM 024). Les diamants dont la teinte est brunâtre (YM 002, YM 012, YM 013 et YM 014) montrent tous un continuum d'absorption qui croît du proche infrarouge vers l'ultraviolet. En plus du continuum, l'échantillon YM 014 laisse voir un épaulement large à 550 nm qui lui confère une nuance rose (Massi et al. 2005). En outre, un diamant grisâtre et un diamant jaune clair (YM 004 et YM 012) affichent le même type de continuum (figures 8.4 et 8.5).

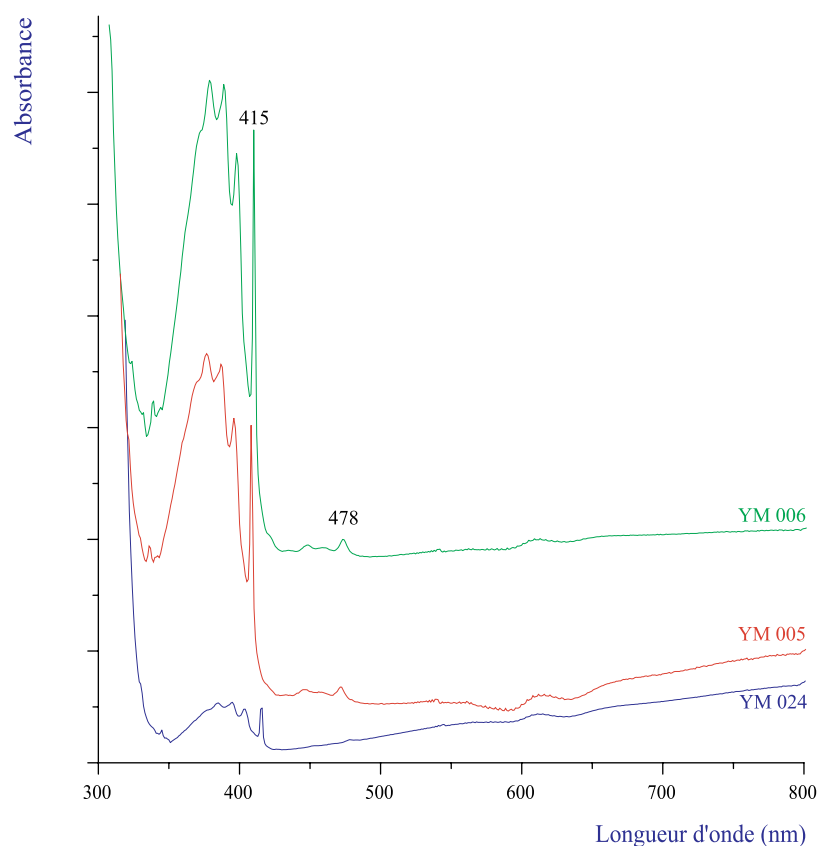


Figure 8.4 Spectre UV visible qui montre l'absorption caractéristique des centres N3 à 415 nm et celle des centres N2 à 478 nm.

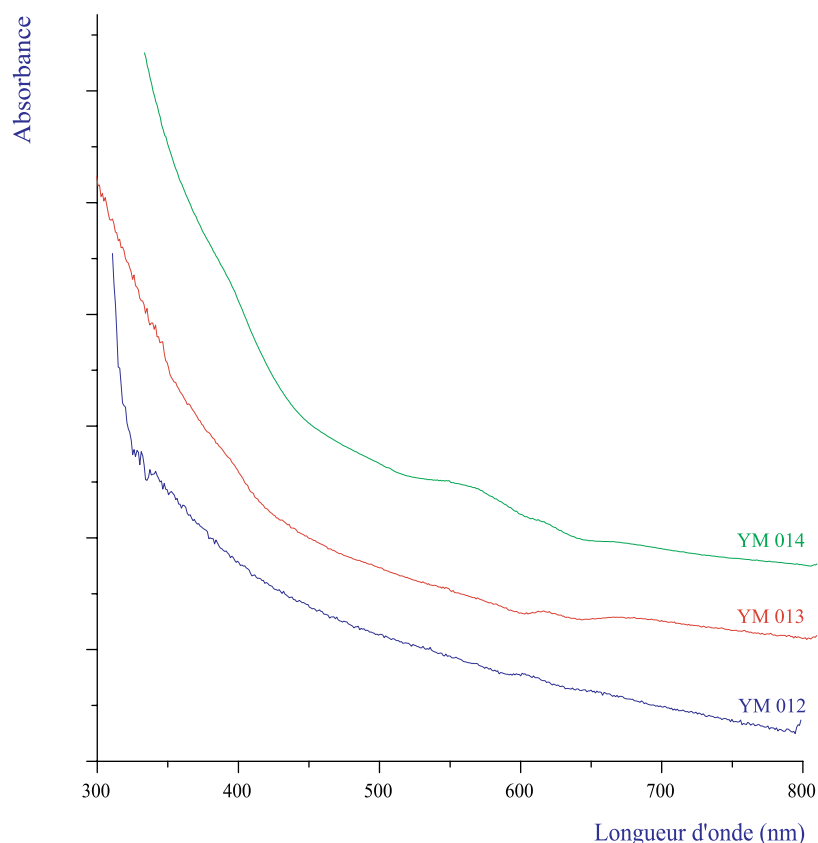


Figure 8.5 Spectre UV visible qui montre le continuum responsable de la teinte brunâtre de ces diamants.

8.3.2 La spectrométrie infrarouge

Les absorptions observées en infrarouge indiquent que la vaste majorité des diamants analysés – en fait, tous les diamants de la mine Ekati et 14 des 15 diamants de la mine Diavik – sont de type Ia. Des neuf diamants de la mine Ekati, deux sont de type IaAB, deux autres sont de type IaA > B, alors que trois montrent une nette dominance des agrégats A et sont donc de type IaA >> B (figure 8.6). Un seul échantillon présente une dominance des agrégats B (type IaB > A) et, enfin, le diamant YM 004 est de type IaA quasiment pur. De plus, il affiche une absorption à 3476 cm^{-1} , généralement liée au caractère Ib. Quant aux diamants de la mine Diavik, ce sont les diamants de type IaA quasiment purs qui dominent (8 des 15 échantillons) (figure 8.7). Les diamants de type IaAB suivent en nombre avec cinq échantillons. Il n'y a aucun diamant de type IaA > B; par contre, un diamant présente une dominance des agrégats A (type IaA >> B) et un autre une dominance des agrégats B. Enfin, l'échantillon YM 013 exhibe les caractéristiques d'absorption des diamants de type IIa.

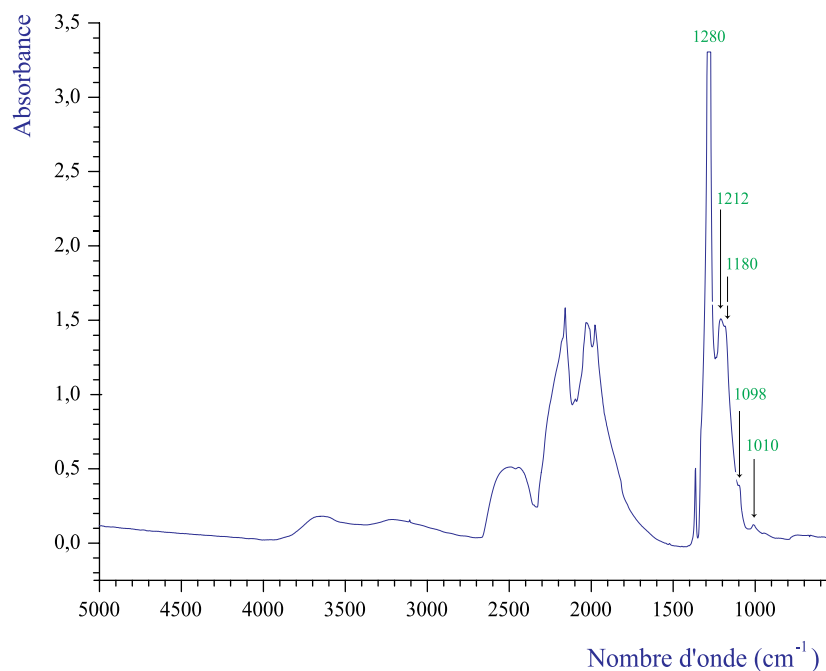


Figure 8.6 Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA >> B qui montre la nette dominance des absorptions causées par les agrégats A à 1280 et 1212 cm^{-1} sur les absorptions causées par les agrégats B à 1180, 1098 et 1010 cm^{-1} (YM 001).

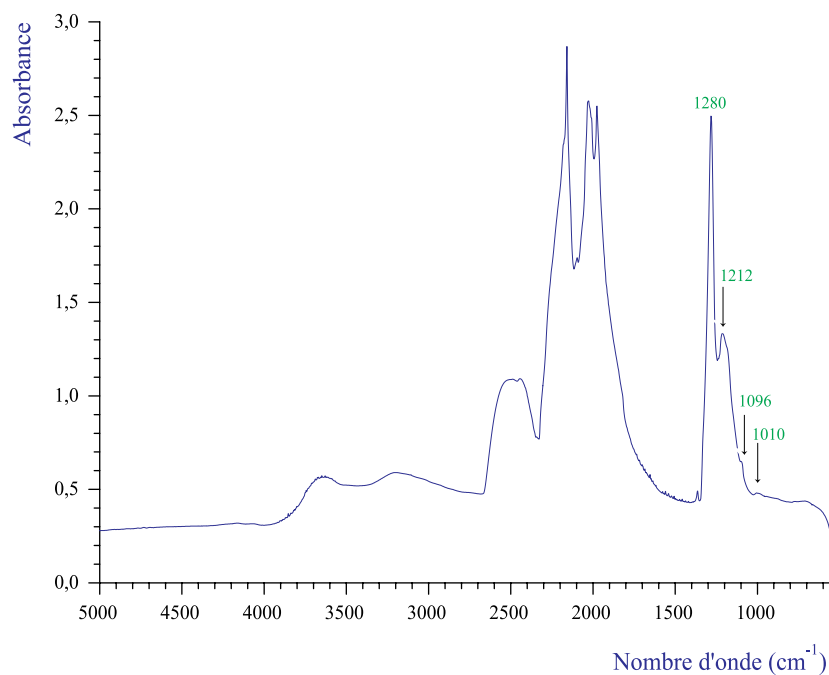


Figure 8.7 Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA quasiment pur qui montre les absorptions des agrégats A à 1280 et 1212 cm^{-1} , ainsi que l'absence de l'absorption à 1180 cm^{-1} des agrégats B et les très faibles absorptions à 1096 et 1010 cm^{-1} (agrégats B) (YM 014).

En plus de caractériser les diamants par types, les résultats observés en infrarouge permettent de relever la présence de l'élément hydrogène. L'hydrogène est décelé dans huit des neuf échantillons de la mine Ekati, en très petite quantité. Par contre, dans les diamants de la mine Diavik, deux sont riches en hydrogène. En effet, les diamants YM 011 et YM 012 ont un pic de l'hydrogène à 3107 cm^{-1} qui dépasse en intensité l'absorption à 2500 cm^{-1} (figure 8.8), alors que dans le cas des diamants YM 010, YM 016 et YM 017, le pic de l'hydrogène est à peu près égal en intensité à l'absorption à 2500 cm^{-1} . On note également que les diamants riches en hydrogène ont souvent une morphologie cuboïde. Trois diamants ne présentent aucune trace d'hydrogène détectable en infrarouge et on en décèle qu'une très faible quantité dans sept échantillons. De plus, deux des trois diamants qui affichent une teinte brunâtre (YM 014 et YM 015) montrent quelques-unes des absorptions dues aux *amber centres* (un pic principal à 4165 cm^{-1} , un pic secondaire à 4730 cm^{-1} et d'autres petits pics à 4007 , 4070 , 4215 , 4230 , 4691 et 4768 cm^{-1}) (figure 8.9).

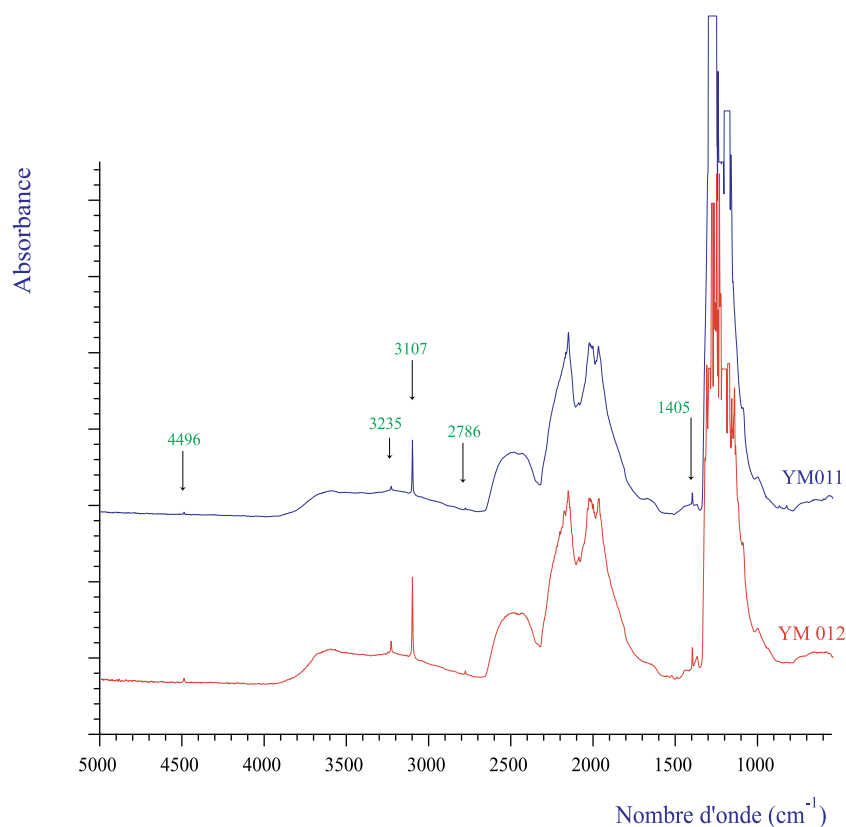


Figure 8.8 Spectre infrarouge de deux diamants riche en hydrogène qui montre les absorptions propres à cet élément : un pic principal à 3107 cm^{-1} (plus fort en intensité que l'absorption à 2500 cm^{-1}) et des pics secondaires à 1405 , 2786 , 3235 et 4496 cm^{-1} .

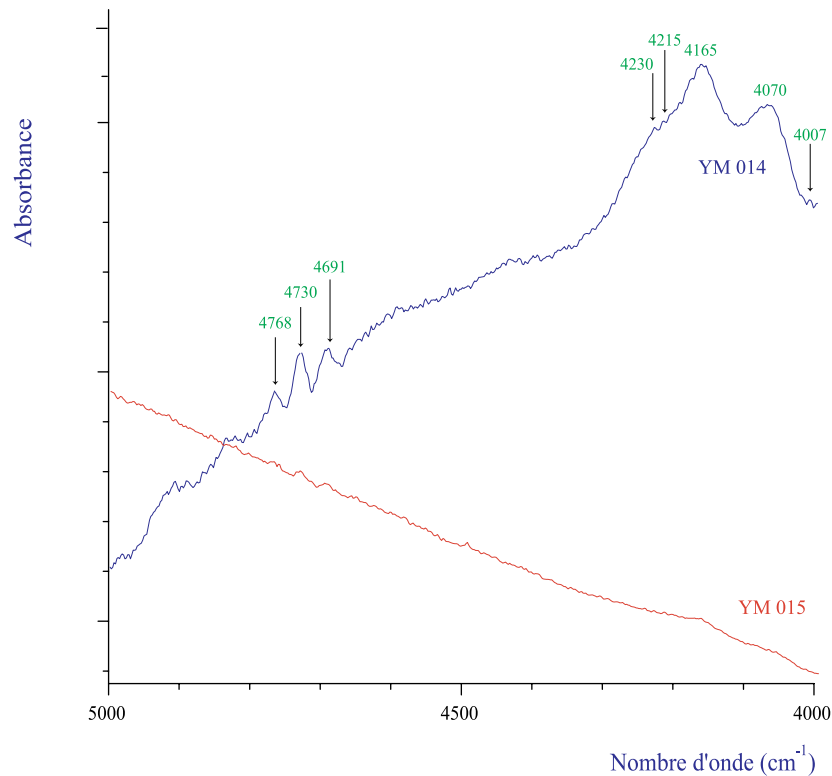


Figure 8.9 Spectre infrarouge de deux diamants qui montrent les absorptions dues aux amber centres qui montrent un pic principal à 4165 cm^{-1} , un pic secondaire à 4730 cm^{-1} et d'autres petits pics à 4070 , 4215 , 4230 , 4495 , 4691 et 4768 cm^{-1} .

8.3.3 La spectrométrie de diffusion Raman

Un seul échantillon (YM 024) a été analysé au spectromètre Raman et, tel que prévu, il montre une seule raie à 1332 cm^{-1} (figure 4.20).

8.4 L'imagerie au microscope électronique à balayage

8.4.1 Observations topographiques

Les observations en topographie permettent de mettre en relief les caractéristiques de la surface des cristaux. On remarque dans la plupart des cas qu'il s'agit d'une croissance octaédrique assez régulière, souvent en couches, avec trigones. Dans le cas des cristaux cuboïdes, on observe la structure de croissance cuboïde, à l'exception de l'échantillon YM 004, un cuboïde qui montre une croissance mamelonnée (*hillocks*) avec sous-joints de grains. Il y a apparence de remplissage entre les buttes (*growth hillocks*), ce qui indique vraisemblablement une zone de dissolution privilégiée. Les buttes présentent une structure de croissance qui semble être disposée en couches parallèles, ce qui pourrait correspondre à une croissance en spirale. On observe, plus loin sur la surface d'une butte, des figures de dissolution carrées qui dénotent une croissance régulière (figure 8.10).

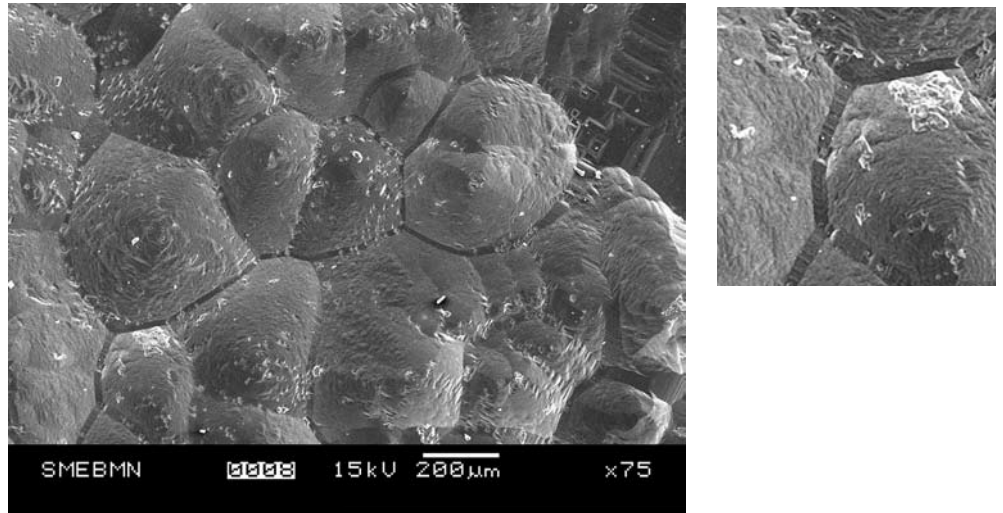


Figure 8.10 Image de topographie au microscope électronique à balayage d'un cristal de forme cuboïde qui montre une croissance mamelonnée (*hillocks*) avec des sous joints de grains; il y a une apparence de remplissage (voir agrandissement à droite) entre les buttes (*growth hillocks*); il s'agit peut être plutôt d'une zone de dissolution privilégiée; les buttes présentent une structure de croissance qui semble être en couches parallèles qui pourraient correspondre à une croissance en spirale; plus loin, sur la surface d'une butte, on observe des figures de dissolution carrées qui dénotent une croissance régulière (YM 004).

8.4.2 Observations en luminescence

Les observations en luminescence mettent en relief l'historique de croissance des cristaux. Dans le cas des cristaux à croissance octaédrique, on constate une structure de croissance en couches, révélée par la structure de la luminescence, également en couches, formant ainsi une alternance de couches inertes et de couches luminescentes. La structure de la luminescence est souvent régulière (figure 8.11) et, parfois, un peu plus complexe. Les cristaux octaédriques, les cristaux mixtes « cuboïde-octaédrique » et les cristaux maclés affichent quant à eux une luminescence peu contrastée, ou pas de luminescence du tout. L'échantillon YM 004, qui présente une croissance mamelonnée en topographie, est rehaussé en luminescence de figures de dissolution carrées, en creux, dans les sous-joints de grains, qui correspondent aux faces du cube. Enfin, l'échantillon YM 010 déploie une très forte luminescence sur une petite zone et de la phosphorescence, alors que le diamant YM 013 révèle une luminescence très forte, non homogène et variable, dans des zones qui ont l'air bien régulières en topographie.

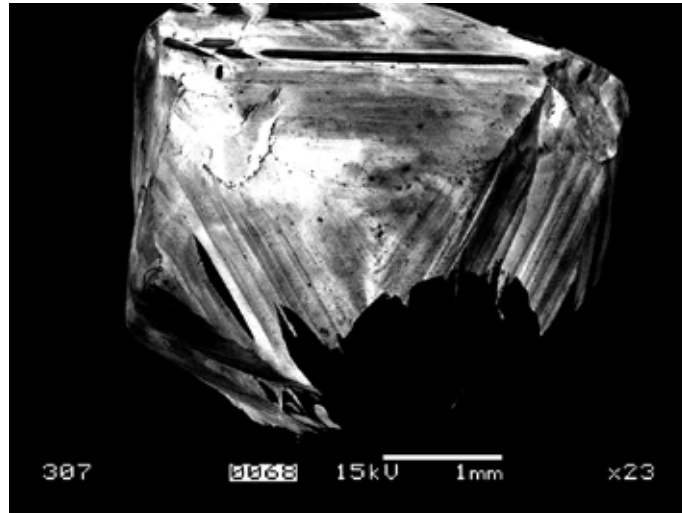


Figure 8.11 Image d'un octaèdre de diamant dissous qui montre en cathodoluminescence une structure de croissance en couches régulières qui alternent, couches lumineuses, couches moins lumineuses (YM 014).

| Échantillon | Origine | Poids | Densité | Couleur | Morphologie |
|-------------|---------|---------|---------|--------------------------------------|--|
| YM 001 | Ekati | 0,88 ct | 3,57 | Incolore | Triangle maclé. Croissance octaédrique. Partiellement dissous |
| YM 002 | Ekati | 0,83 ct | 3,57 | Brunâtre (avec inclusions grisâtres) | Octaèdre partiellement dissous |
| YM 003 | Ekati | 0,88 ct | 3,62 | Incolore | Octaèdre partiellement dissous |
| YM 004 | Ekati | 0,75 ct | 3,53 | Jaune clair | Cuboïde aux arêtes saillantes. Surface granuleuse |
| YM 005 | Ekati | 1,11 ct | 3,46 | Jaune très clair | Pyramide allongée. Croissance octaédrique, dissoute |
| YM 006 | Ekati | 0,73 ct | 3,64 | Jaune clair | Rhombododécaèdre, très dissous |
| YM 007 | Ekati | 0,69 ct | 3,52 | Incolore | Octaèdre partiellement dissous |
| YM 008 | Ekati | 0,81 ct | 3,53 | Incolore | Octaèdre fortement dissous |
| YM 009 | Ekati | 0,78 ct | 3,50 | Incolore | Octaèdre dissous vers l'hexoctaèdre |
| YM 010 | Diavik | 0,56 ct | 3,44 | Laiteuse | Octaèdre dissous |
| YM 011 | Diavik | 0,66 ct | 3,47 | Grisâtre | Croissance octaédrique, ressemble à un agrégat polycristallin dissous |
| YM 012 | Diavik | 0,60 ct | 3,54 | Grisâtre | Cuboïde aux arêtes et sommets saillants |
| YM 013 | Diavik | 0,65 ct | 3,59 | Champagne clair | Morceau d'octaèdre dissous et cassé |
| YM 014 | Diavik | 0,63 ct | 3,40 | Champagne clair | Octaèdre aux faces en gradins |
| YM 015 | Diavik | 0,57 ct | 3,48 | Champagne clair | Octaèdre fortement dissous |
| YM 016 | Diavik | 0,63 ct | 3,46 | Incolore | Cuboïde aux arêtes saillantes, forme qui semble se diriger vers un cube squelettique |
| YM 017 | Diavik | 0,46 ct | 3,54 | Incolore | Mixte cuboïde/octaèdre |
| YM 018 | Diavik | 0,56 ct | 3,46 | Incolore | Macule du spinelle, cassée |
| YM 019 | Diavik | 0,36 ct | 3,62 | Incolore | Octaèdre aux arêtes en gerbes |
| YM 020 | Diavik | 0,36 ct | 3,51 | Jaune très clair | Octaèdre |
| YM 021 | Diavik | 0,36 ct | 3,51 | Jaune très clair | Octaèdre dont les faces vont vers l'hexoctaèdre |
| YM 022 | Diavik | 0,36 ct | 3,57 | Incolore | Octaèdre aux faces en gradins |
| YM 023 | Diavik | 0,75 ct | 3,50 | Incolore | Octaèdre dissous |
| YM 024 | Diavik | 0,92 ct | 3,47 | Incolore | Octaèdre aux faces en gradins |

| Échantillon | UVL | UVC | Type / IR | Uvvis | MEB/Topo | MEB/CL |
|-------------|----------------|---------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------------|---|
| YM 001 | Bleu, faible | Inerte | IaA >> B H, très faible | 415 et 478 nm | Crois. octa | CL couches |
| YM 002 | Inerte | Inerte | IaA >> B H, très faible | Continuum + 415 nm | | CL couches |
| YM 003 | Inerte | Inerte | IaA >> B H, très faible | | | |
| YM 004 | Jaune, moyen | Jaune, faible | IaA H riche | Continuum | Croissance en spirale (mamelonnée) | Figures de dissolution dans les joints |
| YM 005 | Inerte | Inerte | IaAB H moyen | 415 et 478 nm | Rien de particulier | Croissance octaédrique. Beaucoup de luminescence, complexe. |
| YM 006 | Bleue, forte | Bleue, faible | IaB > A H, très faible | 415 et 478 nm | Rien de particulier | Luminescence régulière sur l'ensemble de la surface |
| YM 007 | Bleue, faible | Inerte | IaA > B H, très faible | | | |
| YM 008 | Bleue, faible | Inerte | IaA > B H, très faible | | Rien de particulier | Luminescence régulière sur l'ensemble de la surface |
| YM 009 | Jaune, faible | Inerte | IaAB H, très faible | | Rien de particulier | Aucune luminescence |
| YM 010 | Bleue, moyenne | Inerte | IaAB H, riche | | Croissance octaédrique | Luminescence très forte |
| YM 011 | Inerte | Inerte | IaA >> B H, presque riche | | Rien de particulier | Luminescence irrégulière |
| YM 012 | Inerte | Inerte | IaA H, riche | Continuum | Rien de particulier | Luminescence en couches peu contrastées |
| YM 013 | Jaune, faible | Inerte | IaA | Continuum | Croissance en couches | Luminescence inhomogène |
| YM 014 | Inerte | Inerte | IaA Amber centres | Continuum | Croissance octaédrique en couches | Luminescence en couches |
| YM 015 | Jaune faible | Inerte | IaA Amber centres | | Croissance octaédrique | Luminescence irrégulière en couches |
| YM 016 | Jaune, faible | Inerte | IaA H, riche | Continuum | Croissance cuboïde | Luminescence peu contrastée |
| YM 017 | Inerte | Inerte | IaA H, riche | | Rien de particulier | Peu de luminescence, structure en couches |
| YM 018 | Inerte | Inerte | IaA H, faible | | Rien de particulier | Aucune luminescence |
| YM 019 | Bleue, faible | Inerte | IaA > B H, très faible | | | |
| YM 020 | Bleue, faible | Inerte | IaAB H, très faible | | | |
| YM 021 | Inerte | Inerte | IaAB | | | |
| YM 022 | Inerte | Inerte | IaAB | | | |
| YM 023 | Jaune, faible | Inerte | IaA H, moyen | | Rien de particulier | Luminescence homogène |
| YM 024 | Bleue, moyenne | Inerte | IaAB H, très faible | 415 et 478 nm | | |

9. DISCUSSION

Il n'y a à l'heure actuelle aucune méthode scientifique qui permette de certifier l'origine géographique des diamants, qu'ils soient bruts ou taillés. Les sociétés diamantaires canadiennes qui ont intégré l'argument géographique dans la mise en marché de leurs diamants ont élaboré des programmes de certification qui reposent sur les traces écrites et une chaîne de garanties, le tout, conformément au Code de conduite volontaire pour l'authentification des indications « diamant canadien ».

Les résultats de l'analyse des échantillons menée dans le cadre de ce travail de recherche n'ont évidemment pas permis de révéler des caractéristiques particulières, propres aux diamants provenant des mines Ekati et Diavik. Par contre, ils sont comparables aux résultats publiés à la suite d'autres travaux de recherches portant sur ce sujet (Donnelly, 2007; Davies, 2004; Tappert, 2004) et sur d'autres aspects du diamant.

Par exemple, la croissance octaédrique, dissoute ou partiellement dissoute, est la morphologie dominante des échantillons que j'ai analysés. En effet, plus de 75 % des échantillons analysés présentent une morphologie liée à la croissance octaédrique. De plus, la luminescence de ces diamants, observée au microscope électronique à balayage (MEB), met bien en évidence la structure octaédrique qui se présente souvent en couches. J'ai également noté que les diamants qui affichent une morphologie cuboïde (trois échantillons, soit 12,5 %) ou une morphologie mixte cuboïde-octaèdre (un seul échantillon, soit 4 %) sont tous riches en hydrogène. De plus, ils exhibent une luminescence peu contrastée au MEB et sont tous de type IaA.

Les diamants incolores à grisâtre constituent plus de la moitié des échantillons (15 échantillons, soit 63 %). Des trois diamants bruns (champagne clair) que compte cet échantillonnage, deux sont de type IaA et présentent les caractéristiques d'absorption dues aux *amber centres*, alors que celui qui ne les affiche pas est de type IIa.

La présence des centres N2 et N3 (absorptions à 415 et 478 nm) est responsable, dans plusieurs cas, de la teinte jaune de ces diamants. Par contre, les diamants incolores montrent parfois un continuum d'absorption, parfois les absorptions à 415 et 478 nm, parfois les deux. Il y a sans doute une corrélation entre la concentration en azote et l'intensité de la coloration jaune observée.

En ce qui a trait aux types de diamants, ce sont bien sûr les diamants de type Ia qui domine très largement l'ensemble (96 %) et, surtout, les diamants riches en agrégats A (33 % des échantillons sont de type IaA quasiment pur).

Enfin, la mesure moyenne de la densité de l'ensemble des échantillons est de 3,52, ce qui correspond exactement à la densité reconnue pour le diamant.

10 CONCLUSION

La tâche dont l'objectif était de caractériser un lot de diamants provenant de deux mines canadiennes a été menée à bien et les résultats obtenus correspondent à l'information disponible sur le sujet. Qu'ils soient canadiens ou d'une autre région du globe, les diamants demeurent, dans leurs caractéristiques générales, des diamants. En effet, les analyses courantes, effectuées de façon routinière en laboratoire, ne permettent pas de mettre en relief quelque particularité que ce soit propre aux diamants canadiens.

Malheureusement, je n'ai pas eu la possibilité d'explorer deux aspects des échantillons qui auraient peut-être révélé des caractéristiques particulières. En premier lieu, j'aurais aimé faire une analyse systématique des inclusions, car, comme on le sait, dans le cas de certaines autres gemmes, les inclusions nous renseignent parfois précisément sur leur lieu d'origine. Deuxièmement, j'aurais souhaité analyser les éléments présents dans les échantillons à l'état de trace. Il semble d'ailleurs que cette dernière avenue soit prometteuse (C. Dalpé, communication personnelle).

En terminant, j'aimerais souligner que bien que les échantillons analysés n'aient rien révélé de bien particulier et ont confirmé des données reconnues, il demeure que ce travail de recherche m'a permis d'approfondir considérablement ma connaissance des diamants. Les nombreuses heures que j'ai passées à lire, à chercher, à analyser, à tenter de comprendre, à faire des liens, à produire des graphiques, à pointer des pics, etc., furent des plus enrichissantes.

11 ANNEXES

Annexe 1

Données statistiques de la production canadienne de diamants bruts de 1998 à 2006

Production de la mine Ekati depuis son ouverture ('000 carats).

| | |
|--|-------|
| Ouverture au 30 juin 1999 | 2 428 |
| 1 ^{er} juillet 1999 au 30 juin 2000 | 2 435 |
| 1 ^{er} juillet 2000 au 30 juin 2001 | 2 802 |
| 1 ^{er} juillet 2001 au 30 juin 2002 | 4 563 |
| 1 ^{er} juillet 2002 au 30 juin 2003 | 5 425 |
| 1 ^{er} juillet 2003 au 30 juin 2004 | 6 853 |
| 1 ^{er} juillet 2004 au 30 juin 2005 | 4 521 |
| 1 ^{er} juillet 2005 au 30 juin 2006 | 3 201 |
| 1 ^{er} juillet 2006 au 31 décembre 2006 | 1 424 |

Les données ont été tirées du site Internet www.bhpbilliton.com.

Production de la mine Diavik depuis son ouverture ('000 carats).

| | |
|---|-------|
| Ouverture au 31 décembre 2003 | 3 833 |
| 1 ^{er} janvier au 31 décembre 2004 | 7 575 |
| 1 ^{er} janvier au 31 décembre 2005 | 8 250 |
| 1 ^{er} janvier au 31 décembre 2006 | 9 800 |

Les données ont été tirées du site Internet www.riotinto.com.

Production de la mine Jericho depuis son ouverture ('000 carats).

| | |
|--|------|
| 1 ^{er} janvier au 31 mars 2006 | 28,3 |
| 1 ^{er} avril au 30 juin 2006 | 98,6 |
| 1 ^{er} juillet au 20 septembre 2006 | 96,5 |
| 1 ^{er} octobre au 31 décembre 2006 | 72,6 |

Les données ont été obtenues du site Internet www.tahera.com.

Origine : Mine Ekati

Poids : 0,876 carat

Densité : 3,57

Type : IaA \gg B

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Cristal de forme plus ou moins triangulaire, plat et maclé (macles du spinelle, cassée). Croissance octaédrique. Cristal partiellement dissous. Trigones marquées en surface.

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ».

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Bleue, intensité faible

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

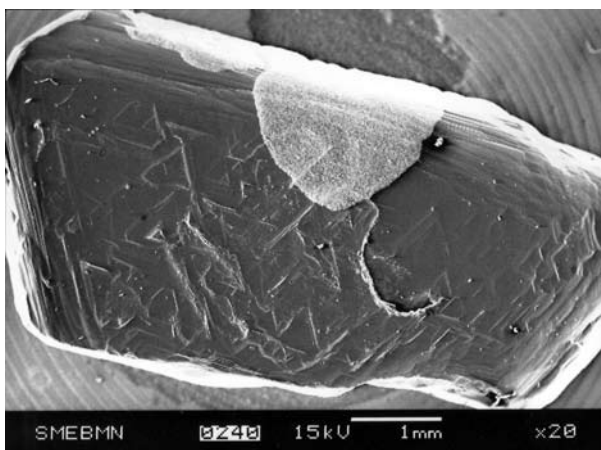


Figure YM 001-1a.
Observations au MEB — topographie : croissance octaédrique; trigones sur une face d'octaèdre.

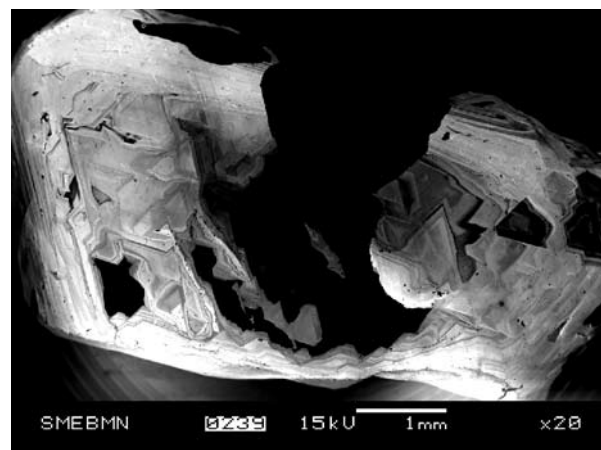


Figure YM 001-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : croissance octaédrique concentrique relativement régulière; alternance de couches luminescentes et de couches inertes.

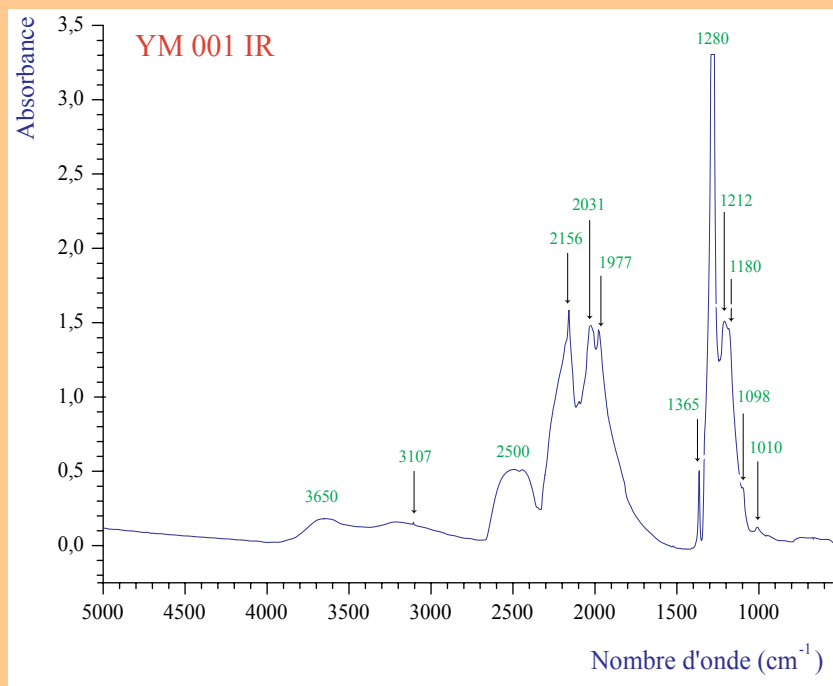


Figure YM 001-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA \gg B. La présence d'azote sous forme d'agrégats A (pic à 1280 et 1212 cm⁻¹) est nettement plus importante — le pic à 1280 cm⁻¹ est environ deux fois plus intense que celui à 1180 cm⁻¹ — que celle sous forme d'agrégats B (pic à 1180 cm⁻¹, épaulement à 1098 cm⁻¹ et petit pic à 1010 cm⁻¹). On remarque également la présence d'hydrogène (pic à 3107 cm⁻¹) en très faible quantité. On note aussi la présence des plaquettes (pic à 1365 cm⁻¹).

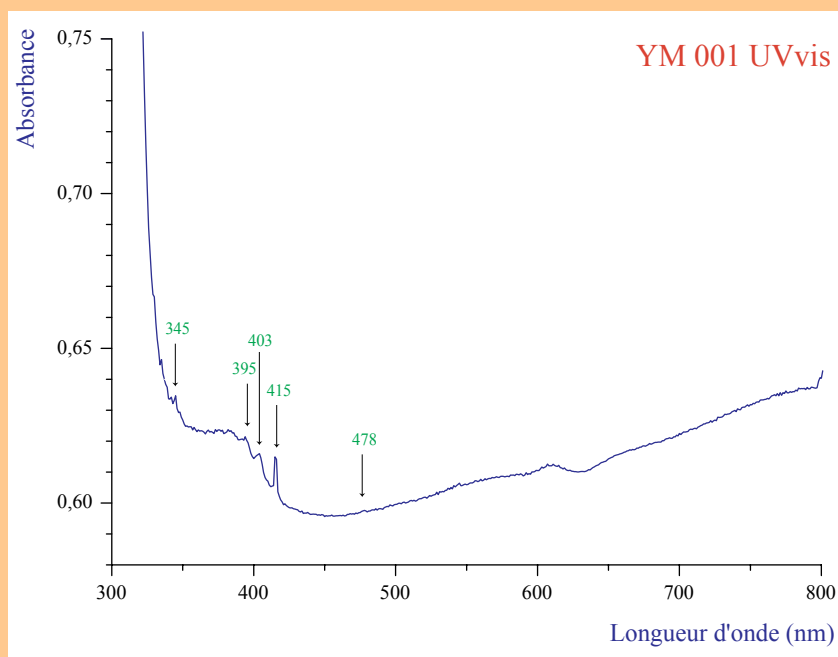


Figure YM 001-3.

Spectre UVvisible d'un diamant incolore qui montre un pic principal à 415 nm causé par les centres N3 et, une légère absorption à 478 nm causée par les centres N2.

Origine : Mine Ekati

Poids : 0,832 carat

Densité : 3,57

Type : IaA \gg B

Couleur : Grisâtre en surface (dû aux inclusions); brunâtre à l'intérieur

Transparence : Transparent

Aspect : Métallique dû aux inclusions

Morphologie : Octaèdre légèrement déformé et partiellement dissous. Trigones marquées en surface. Une pointe de l'octaèdre est cassée.

Inclusions : Inclusions floconneuses, réfléchissantes, situées juste sous la surface de presque toutes les faces de l'octaèdre.

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Inerte

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

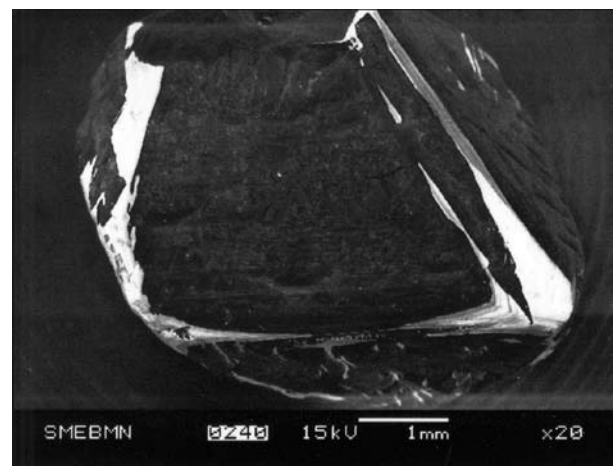


Figure YM 002-1.
Observations au MEB — cathodoluminescence : croissance octaédrique; luminescence en couches nettes et définies.

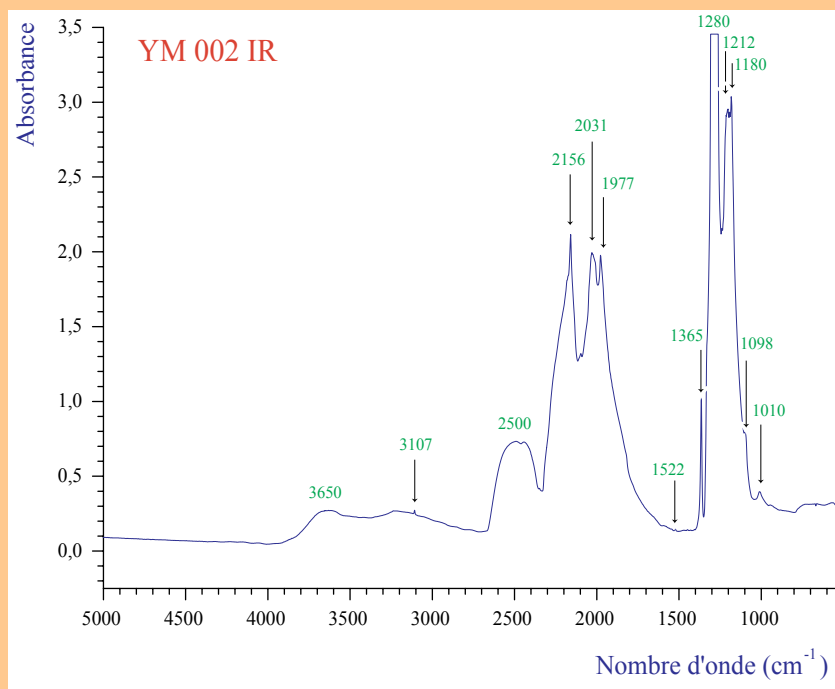


Figure YM 002-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA \gg B. La présence d'azote sous forme d'agrégats A (pic à 1280 et 1212 cm^{-1}) est plus importante que celle des agrégats B (pic à 1180 cm^{-1} , épaulement à 1098 cm^{-1} et petit pic à 1010 cm^{-1}). On observe également la présence d'hydrogène (pic à 3107 cm^{-1}) en très faible quantité. On note aussi la présence des plaquettes (pic à 1365 cm^{-1}).

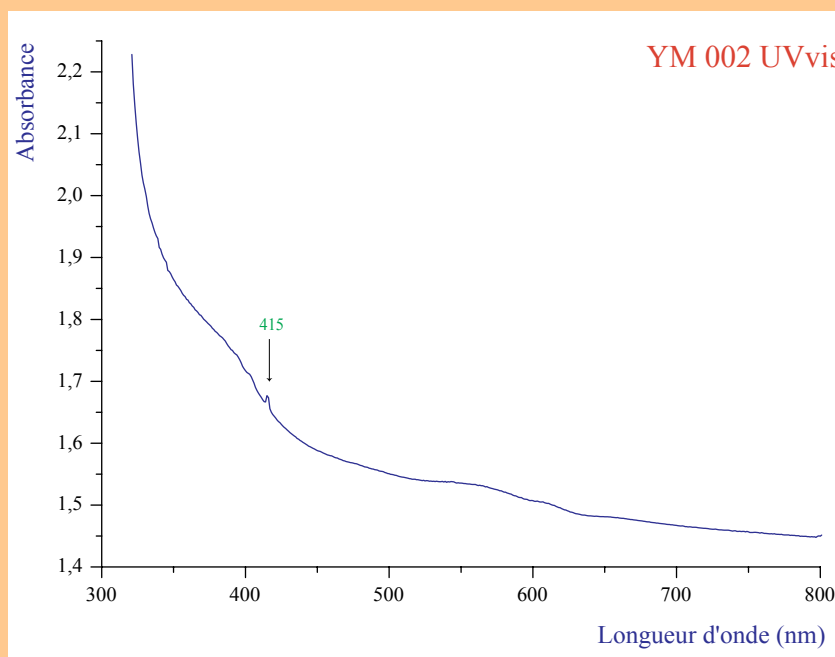


Figure YM 002-3.

Spectre UVvisible d'un diamant brunâtre. Le continuum explique la coloration brune. On observe également une absorption à 415 nm.

Origine : Mine Ekati

Poids : 0,880 carat

Densité : 3,62

Type : IaA \gg B

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Octaèdre légèrement irrégulier. Partiellement dissous. Quelques trigones nettes en surface. Présence d'une croissance parallèle.

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ». Fracture irisée.

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Inerte

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

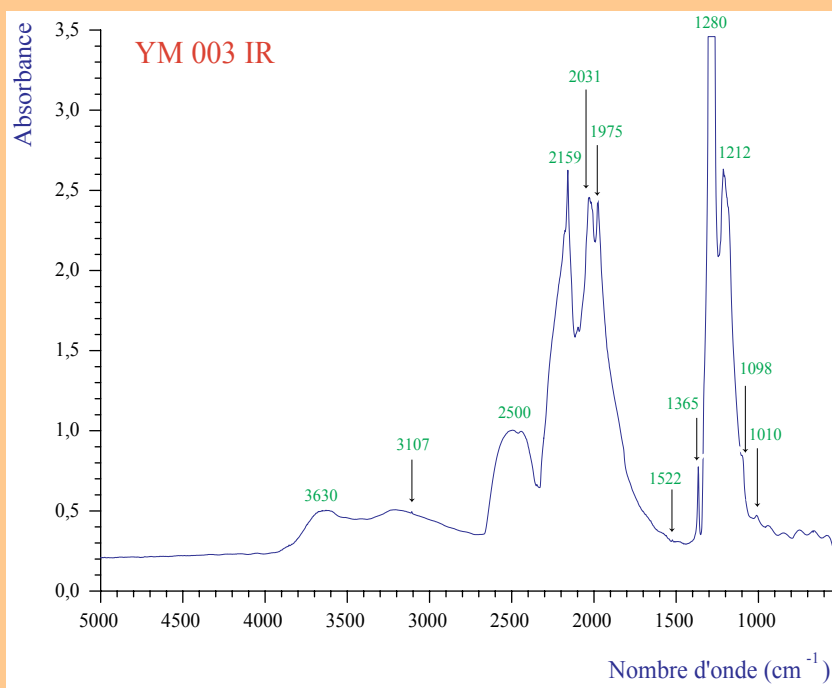


Figure YM 003-1.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA \gg B. La présence d'azote sous forme d'agrégats A (pic à 1280 et 1212 cm^{-1}) est plus importante que celle des agrégats B (épaulement à 1098 cm^{-1} et petit pic à 1010 cm^{-1}). On observe également la présence d'hydrogène (pic à 3107 cm^{-1}) en très très faible quantité. On note aussi la présence des plaquettes (pic à 1365 cm^{-1}).

Origine : Mine Ekati

Poids : 0,750 carat

Densité : 3,53

Type : IaA

Couleur : Jaune clair

Transparence : Transparent

Aspect : Apparence givrée

Morphologie : Cuboïde aux arêtes légèrement saillantes par rapport à la masse. Surface granuleuse. Présence d'un petit cuboïde interpénétré.

Inclusions : Impossible de voir l'intérieur

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Jaune, intensité moyenne

UVC : Jaune, intensité faible

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

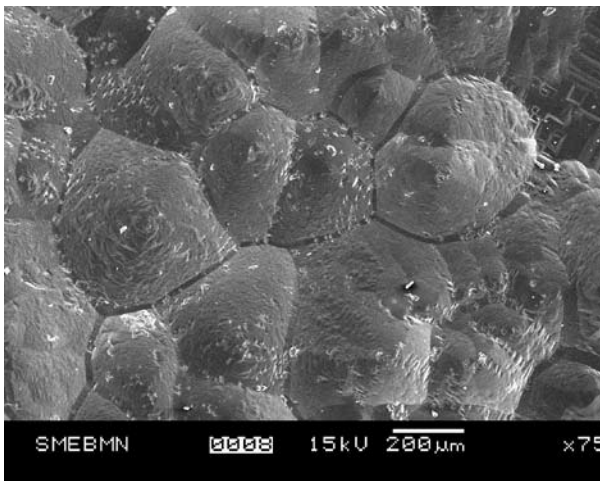


Figure YM 004-1a.

Observations au MEB — topographie : croissance mamelonnée (hillocks) avec des sous joints de grains; il y a apparence de remplissage entre les buttes (growth hillocks); il s'agit peut être plutôt d'une zone de dissolution privilégiée; les buttes présentent une structure de croissance qui semble être en couches parallèles qui pourraient correspondre à une croissance en spirale; plus loin, sur la surface d'une butte, on observe des figures de dissolution carrées qui dénotent une croissance régulière.

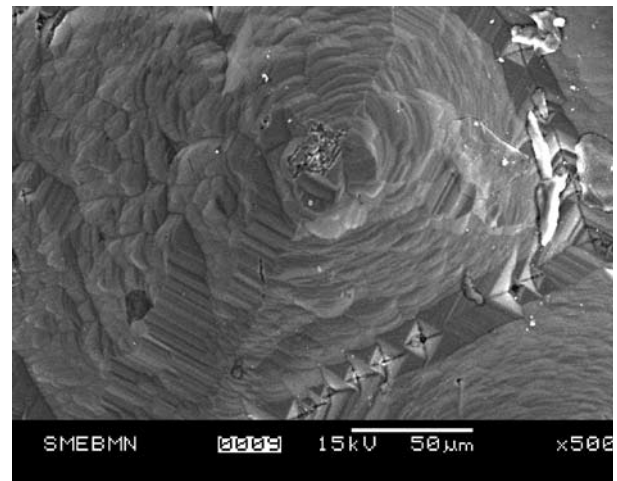


Figure YM 004-1b.

Observations au MEB — topographie : on observe dans les sous joints de grains des figures de dissolution carrées, en creux, qui correspondent aux faces du cube.

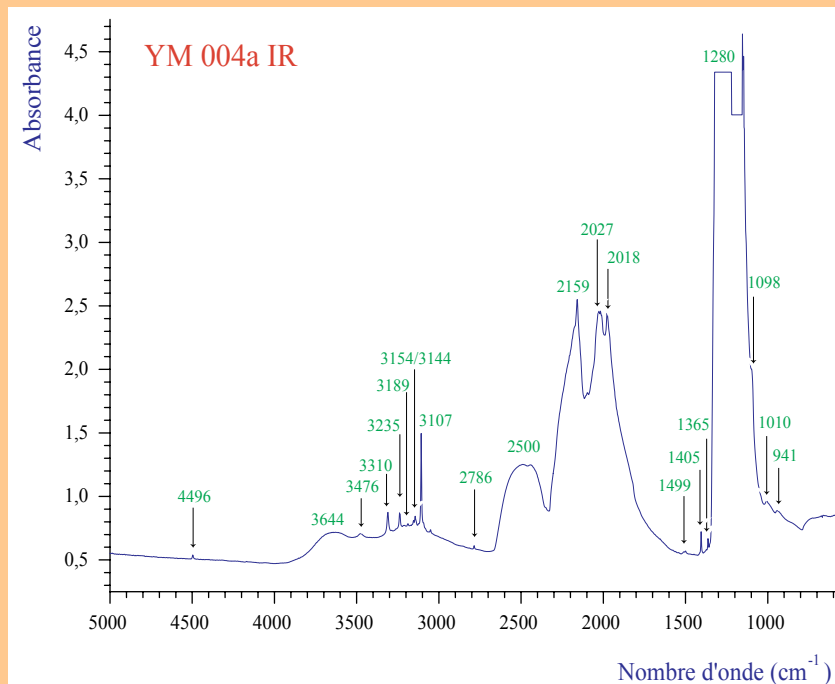


Figure YM 004-2a.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA quasiment pur. Il y a très peu d'agrégats B (épaulement à 1098 cm^{-1} et pic à 1010 cm^{-1} peu marqués). La présence d'hydrogène est quant à elle très marquée, tous les pics dus à cet élément sont présents (1405 , 2786 , 3107 , 3235 et 4496 cm^{-1}). De plus, la teneur en hydrogène doit être importante car le pic à 3107 cm^{-1} est plus marqué que la gaussienne située à 2500 cm^{-1} . On observe également une absorption à 3476 cm^{-1} qui est généralement liée au caractère Ib. On remarque également la présence des plaquettes à 1365 cm^{-1} .

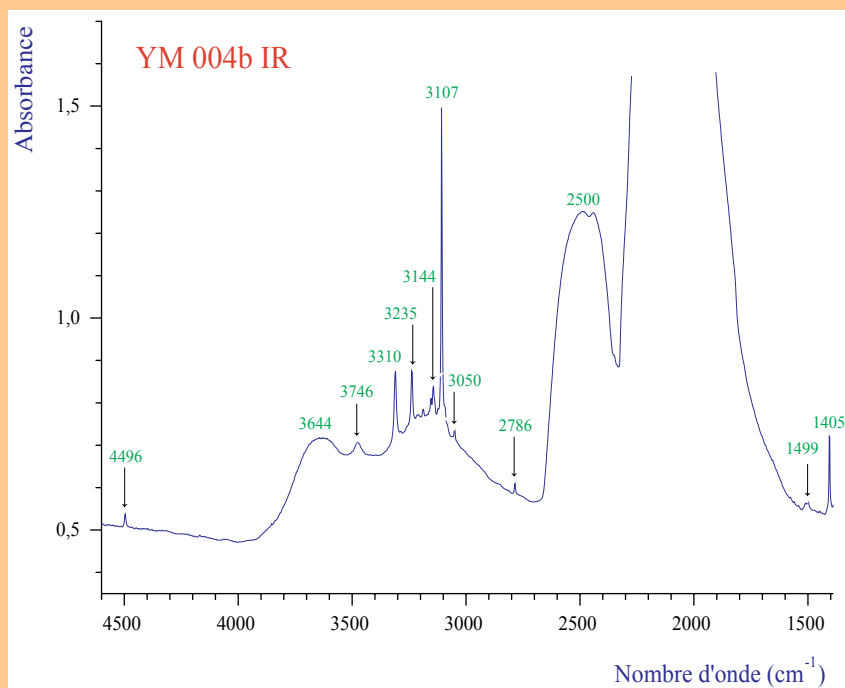


Figure YM 004-2b.

Détail du spectre infrarouge qui montre les principaux pics dus à l'hydrogène : 1405 , 2786 , 3107 , 3235 et 4496 cm^{-1} . On note également une absorption à 3476 cm^{-1} liée au caractère Ib.

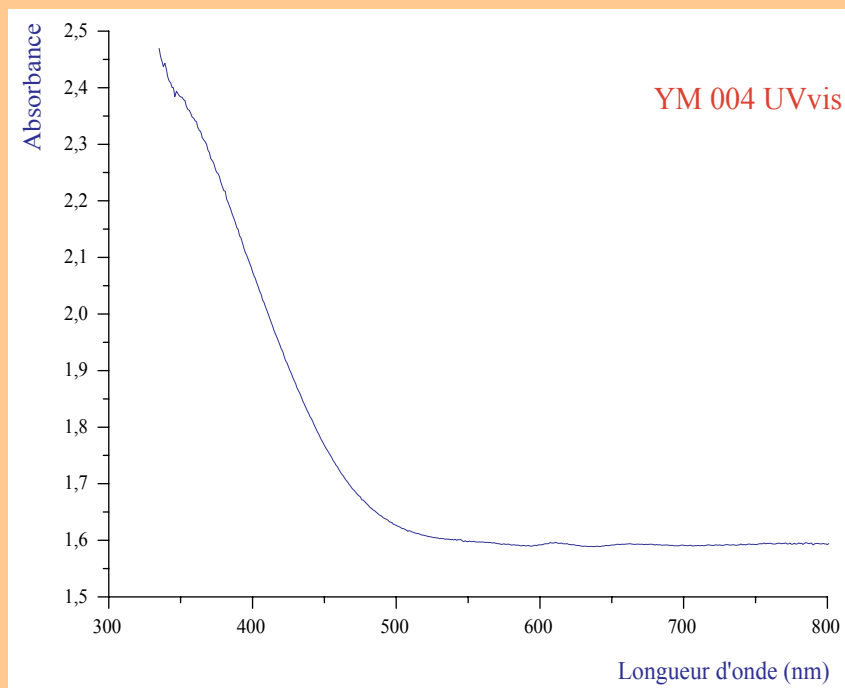


Figure YM 004-3.
Spectre UVvisible d'un diamant jaune clair qui montre un continuum régulier lié au caractère Ib.

Origine : Mine Ekati

Poids : 1,112 carat

Densité : 3,46

Type : IaAB

Couleur : Jaune très clair

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Forme pyramidale allongée. Croissance octaédrique, dissoute, cassée, dissoute à nouveau et cassée à nouveau, etc. Dans la partie la plus large, on remarque les caractéristiques d'un rhomboèdre fortement dissous.

Inclusions : Impossible de voir l'intérieur

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Inerte

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Raie d'absorption fine et nette à environ 472 nm; légère bande d'absorption à 415 nm.

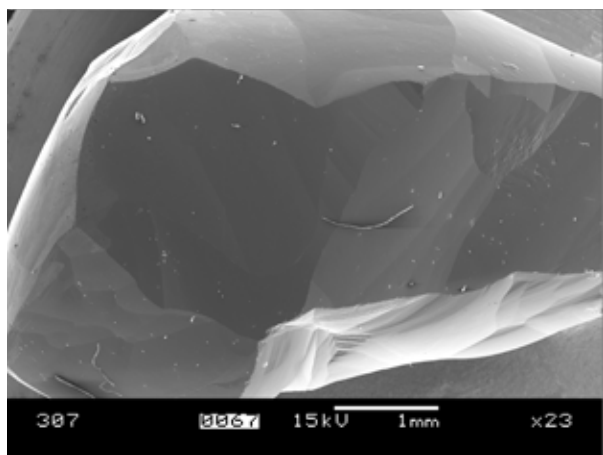


Figure YM 005-1a.
Observations au MEB — topographie : rien de particulier.

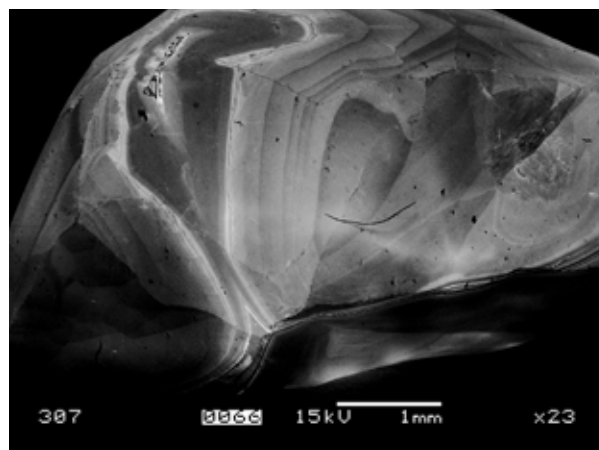


Figure YM 005-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : figures de croissance octaédriques; beaucoup de luminescence; la complexité de la forme cristalline se reflète dans la complexité de la luminescence.

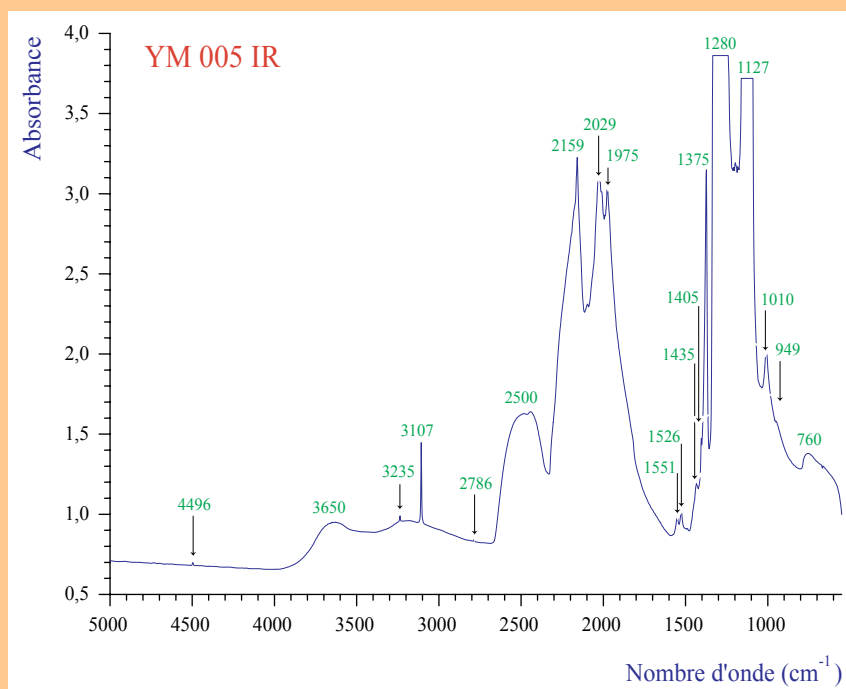


Figure YM 005-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaAB. La présence d'azote sous forme d'agrégats A et d'agrégats B est à peu près équivalente comme le montre la hauteur à peu près égale des pics à 1280 et 1127 cm^{-1} . De plus, le pic à 1010 cm^{-1} est lui aussi important. On observe également la présence d'hydrogène en quantité moyenne (pics à 1405, 2786, 3107, 3235 et 4496 cm^{-1}). On note aussi une importante présence des plaquettes (pic à 1375 cm^{-1}).

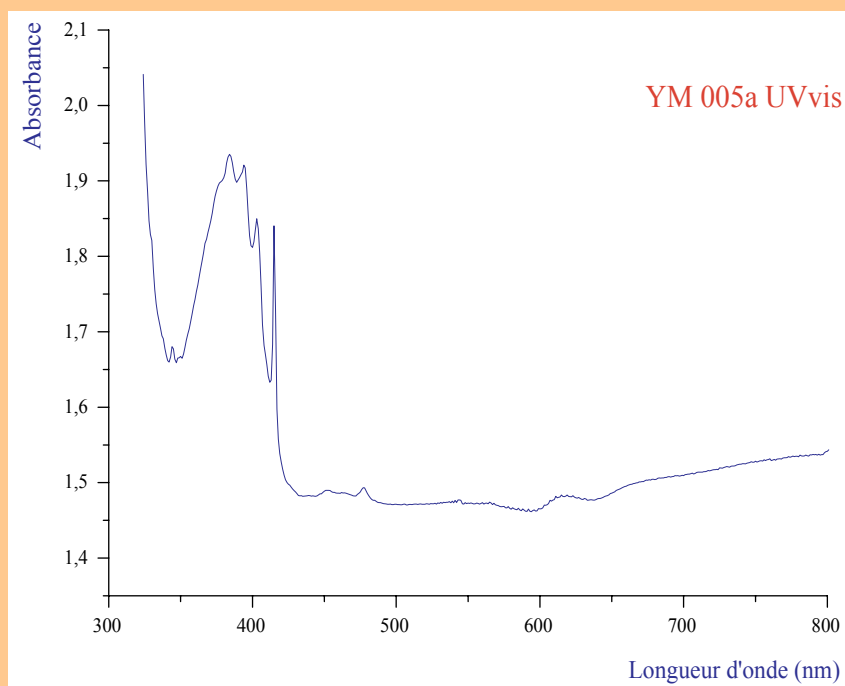


Figure YM 005-3a.
Spectre UVvisible d'un diamant jaune très clair contenant beaucoup d'azote. Voir la figure 3b pour le détail des absorptions causées par les centres N2 et N3.

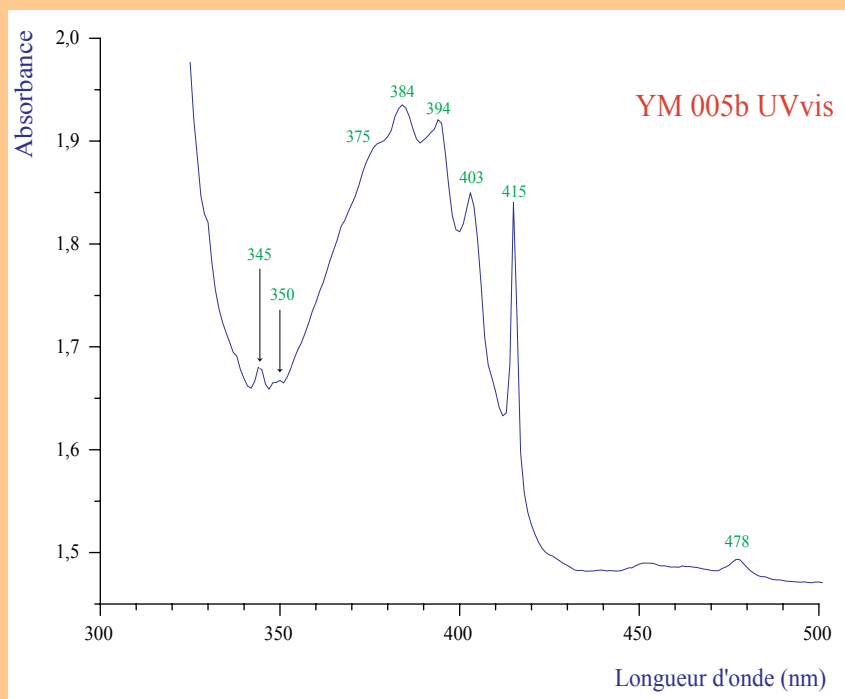


Figure YM 005-3b.
Détail du spectre UVvisible qui montre le pic net à 415 nm causé par la présence des centres N2 ainsi que l'absorption à 478 nm due à la présence des centres N3 (responsable de la couleur jaune). On remarque également des absorptions à 345, 350, 375, 384, 394 et 403 nm.

Origine : Mine Ekati

Poids : 0,733 carat

Densité : 3,64

Type : IaB>A

Couleur : Jaune clair

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Cristal rhombododécaédrique irrégulier, très dissous. Surface assez lisse.

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ».

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Bleue, intensité forte

UVC : Bleue, intensité faible

Spectre d'absorption : Raie fine à 472 nm

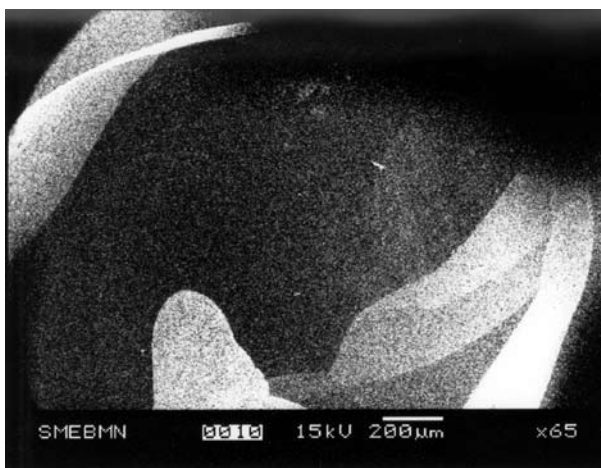


Figure YM 006-1a.
Observations au MEB — topographie : rien de particulier.

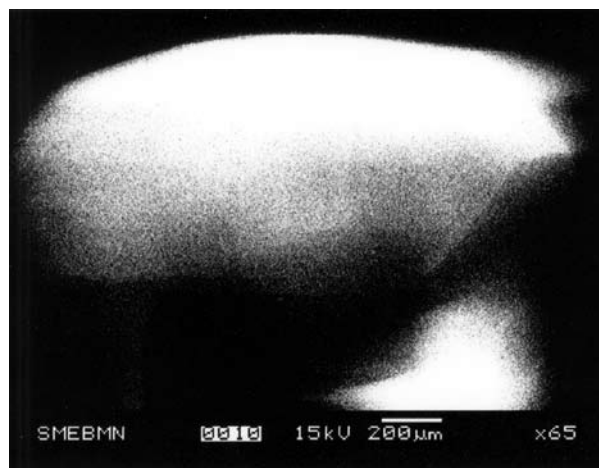


Figure YM 006-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : luminescence régulière sur l'ensemble de la surface.

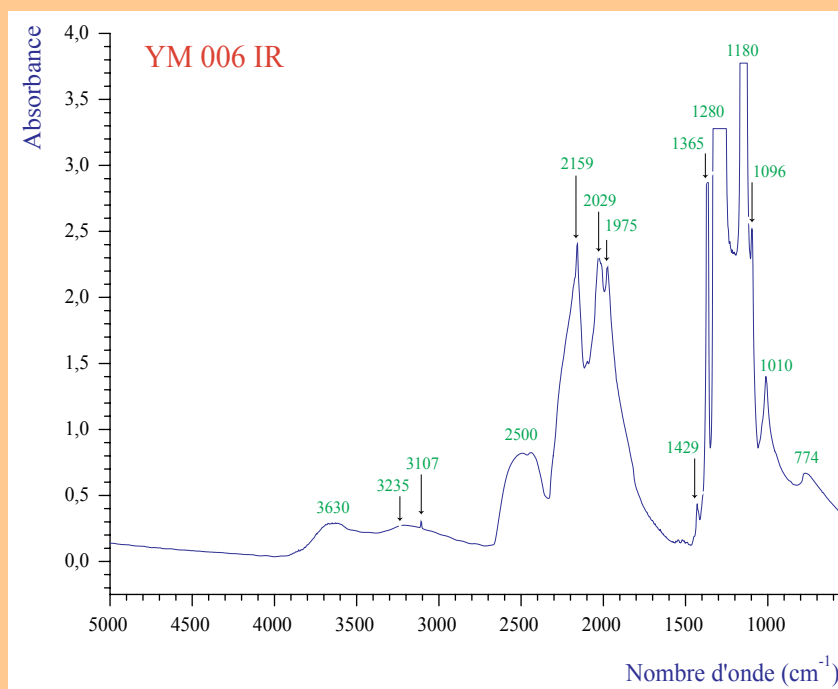


Figure YM 006-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaB>A. La présence d'azote sous forme d'agrégats B caractérisée par les pics à 1180, 1096 et 1010 cm^{-1} est légèrement plus importante que celle sous forme d'agrégats A dont le pic principal est situé à 1280 cm^{-1} . On observe également la présence d'hydrogène (pic à 3107 et 3235 cm^{-1}) en très faible quantité. On remarque aussi une importante présence des plaquettes (pic à 1365 cm^{-1}).

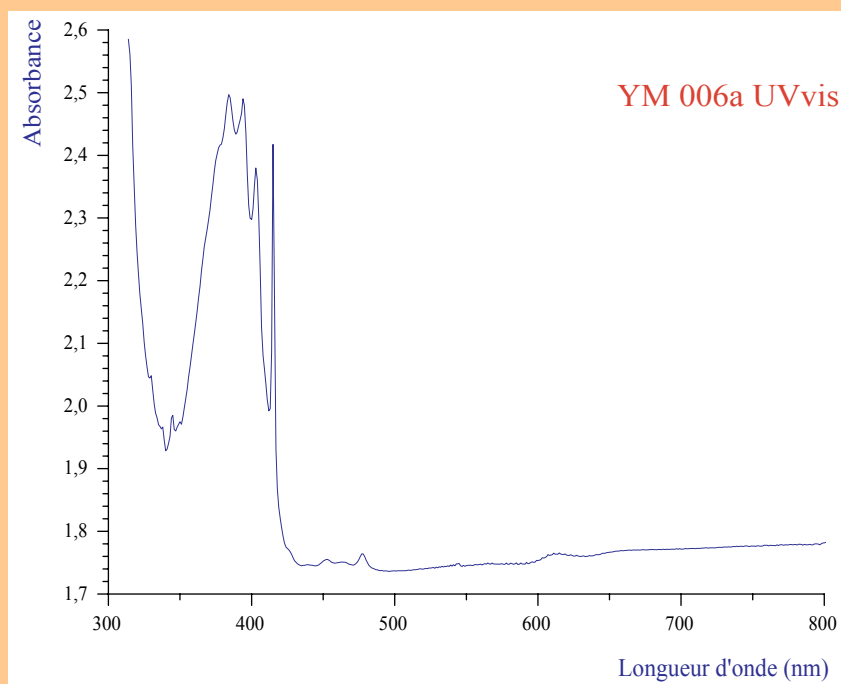


Figure YM 006-3a.

Spectre UVvisible d'un diamant jaune clair contenant beaucoup d'azote. Voir la figure 3b pour le détail des absorptions causées par les centre N2 et N3.

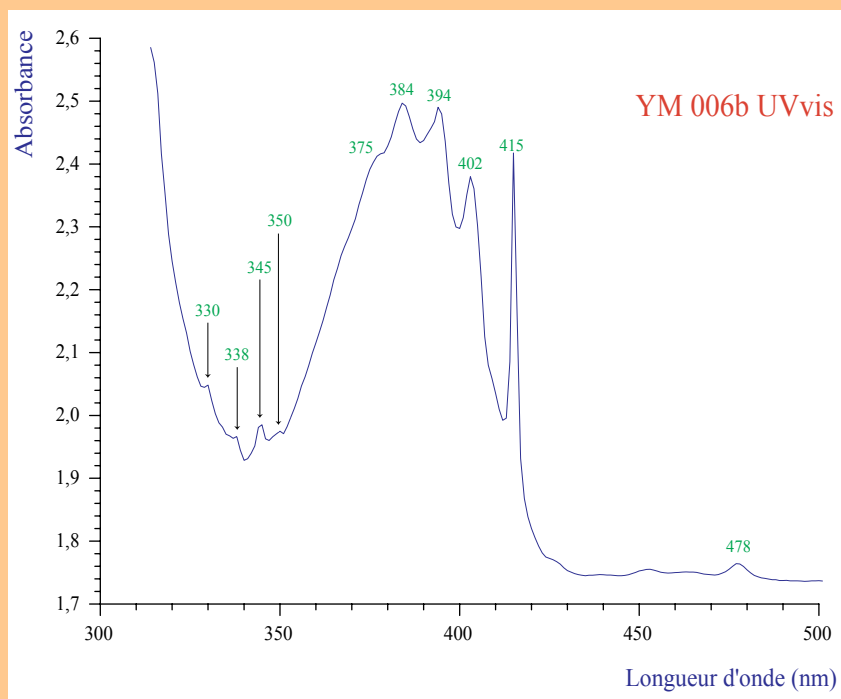


Figure YM 006-3b.

Détail du spectre UVvisible qui montre le pic net à 415 nm causé par la présence des centres N2 ainsi que l'absorption à 478 nm due à la présence des centres N3 (responsables de la couleur jaune). On remarque également des absorptions à 345, 350, 375, 384, 394 et 402 nm.

Origine : Mine Ekati

Poids : 0,686 carat

Densité : 3,52

Type : IaA>B

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Octaèdre cassé qui présente une croissance en gradins. Partiellement dissous. Trigones marquées en surface. Les arêtes sont en récession par rapport aux faces.

Inclusions : Aucune inclusion observée

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Bleue, intensité faible

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé



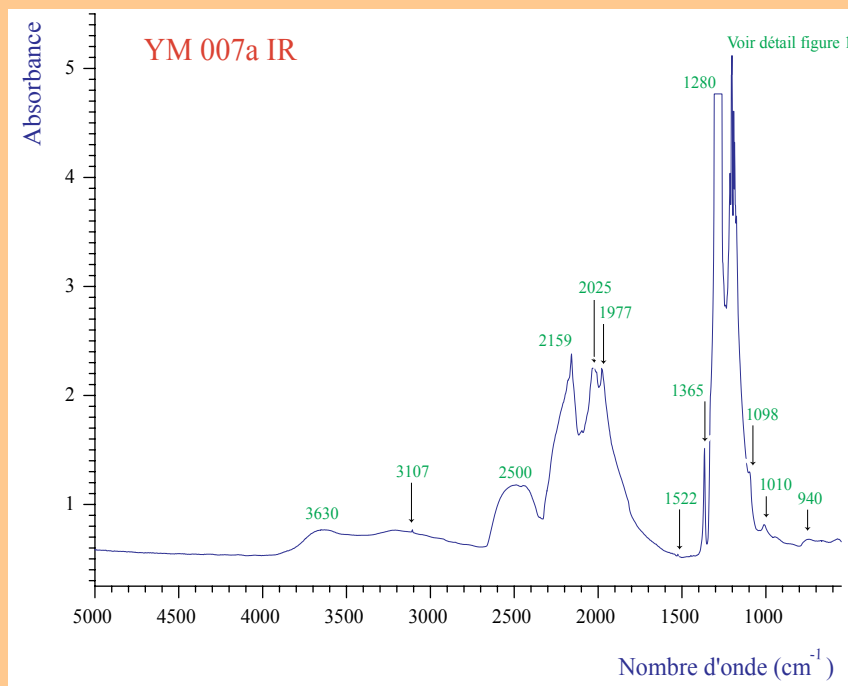


Figure YM 007-1a.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA > B. On remarque les pics caractéristiques des agrégats A à 1280 et 1212 cm⁻¹ (voir figure 1b) et ceux typiques des agrégats B situés à 1180, 1098 et 1010 cm⁻¹. On remarque également une très faible présence d'hydrogène (petit pic à 3107 cm⁻¹). On note la présence des plaquettes à 1365 cm⁻¹.

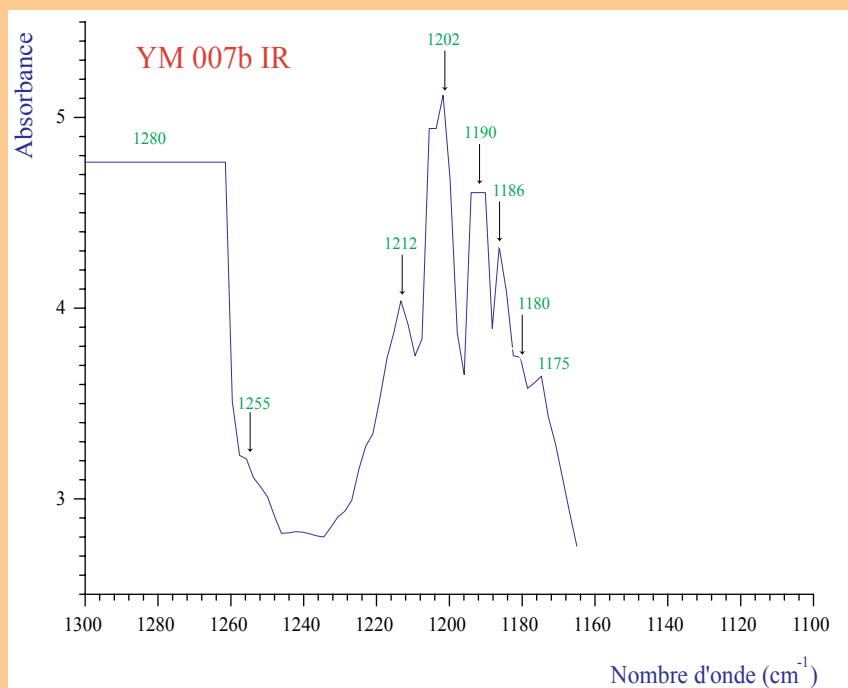


Figure YM 007-1b.

Le détail des absorptions montre clairement les pics à 1212 et 1280 cm⁻¹ (agrégats A) et le pic à 1180 cm⁻¹ (agrégats B).

Origine : Mine Ekati

Poids : 0,812 carat

Densité : 3,53

Type : IaB>A

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Cristal octaédrique fortement dissous qui présente une macle du spinelle (fortement cassée) relativement épaisse. Il y a très peu de marques en surface. Présence de surfaces clivées bien nettes.

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ». Fractures irisées.

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Bleue, intensité faible

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

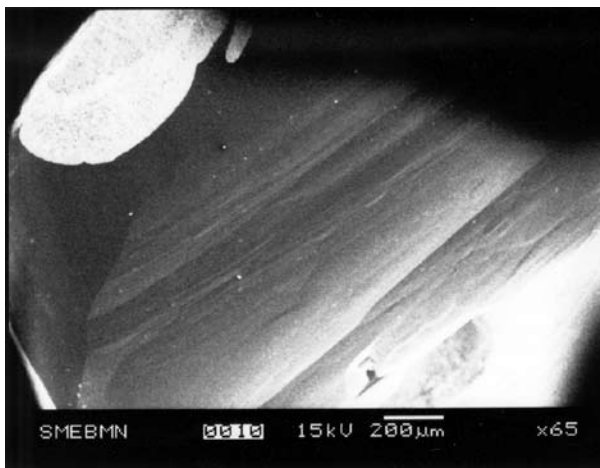


Figure YM 008-1a.
Observations au MEB — topographie : rien de particulier, surface lisse et régulière.

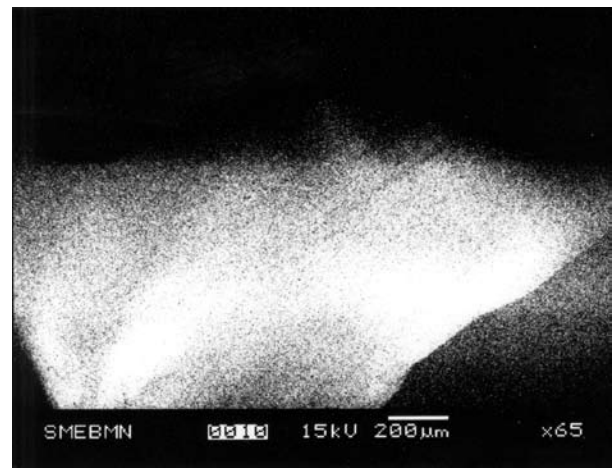


Figure YM 008-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : luminescence régulière sur l'ensemble de la surface.

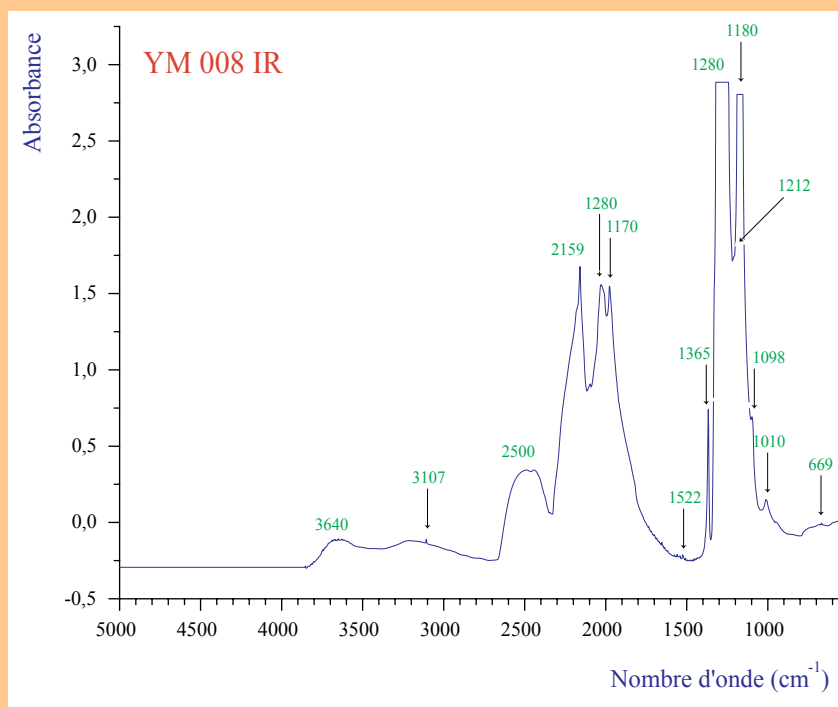


Figure YM 008-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA > B. On remarque les pics caractéristiques des agrégats A à 1280 et 1212 cm⁻¹ et ceux typiques des agrégats B situés à 1180, 1098 et 1010 cm⁻¹. On remarque également une très faible présence de l'hydrogène (petit pic à 3107 cm⁻¹). On note aussi les plaquettes à 1365 cm⁻¹.

Origine : Mine Ekati

Poids : 0,775 carat

Densité : 3,50

Type : IaAB

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Croissance octaédrique suivie d'une dissolution vers l'hexoctaèdre, les faces de l'hexoctaèdre sont visibles. Trigones en surface. On observe en surface des « monticules » qui sont probablement des reliquats de la face octaédrique originelle.

Inclusions : Quelques très petites inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ».

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Jaune, intensité faible

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

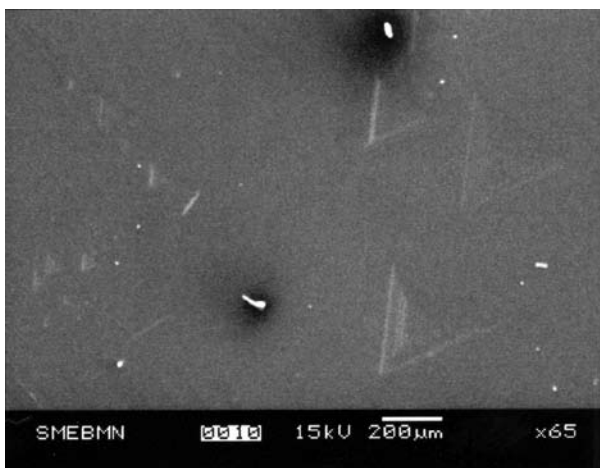


Figure YM 009-1a.
Observations au MEB — topographie : figures de dissolution en trigones sur une face de l'octaèdre.

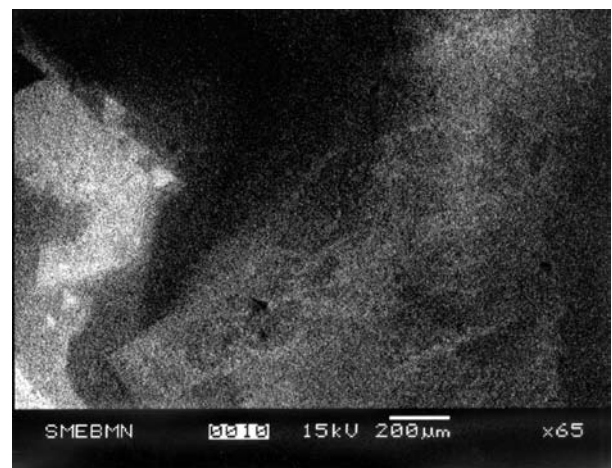


Figure YM 009-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : aucune luminescence

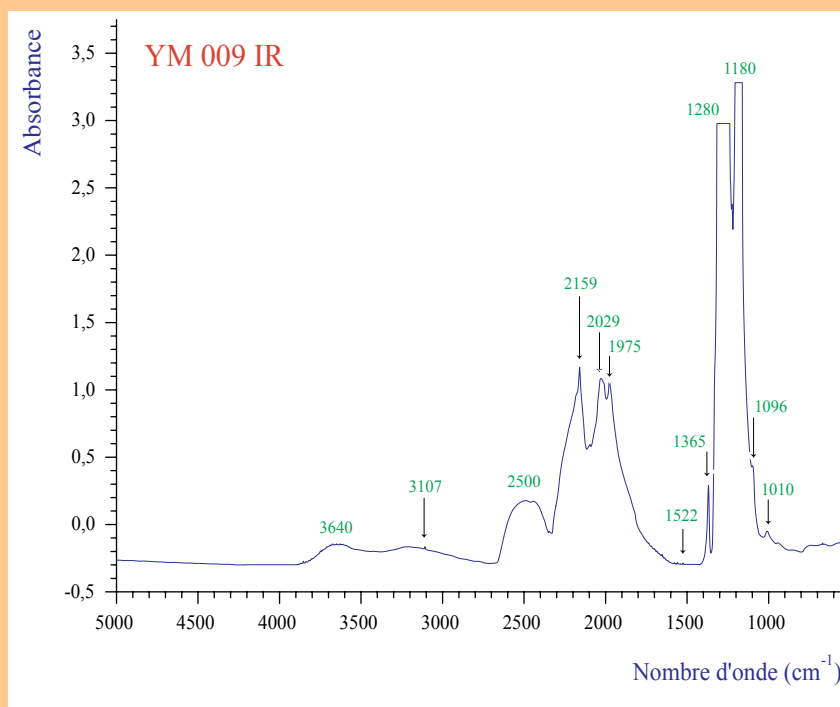


Figure YM 009-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaAB. La présence d'azote sous forme d'agrégats A et d'agrégats B est à peu près équivalente comme le montre la hauteur à peu près égale des pics à 1280 et 1180 cm^{-1} . On observe une légère absorption à 1010 cm^{-1} . On note également la présence de l'hydrogène en très faible quantité (pic à 3107 cm^{-1}). On note aussi une présence des plaquettes (pic à 1365 cm^{-1}).

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,558 carat

Densité : 3,44

Type : IaAB

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : Blanchâtre et laiteux

Morphologie : Octaèdre dissous, fortement fracturé (les faces originelles sont très dissoutes alors que les faces clivées le sont peu). La surface est irrégulière et granuleuse et présente quelques trigones.

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ».

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Bleue, intensité moyenne

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

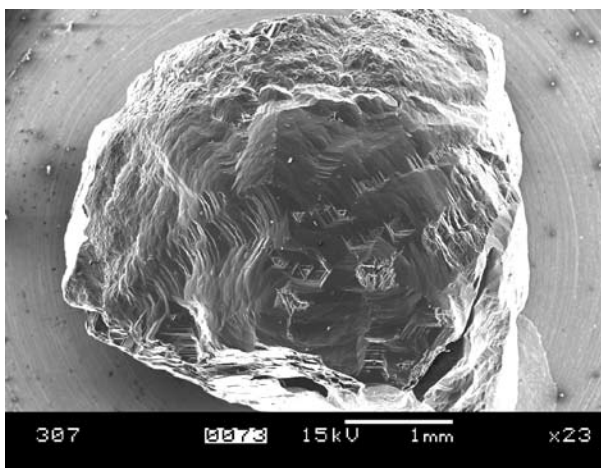


Figure YM 010-1a.
Observations au MEB — topographie : croissance octaédrique; quelques trigones visibles.

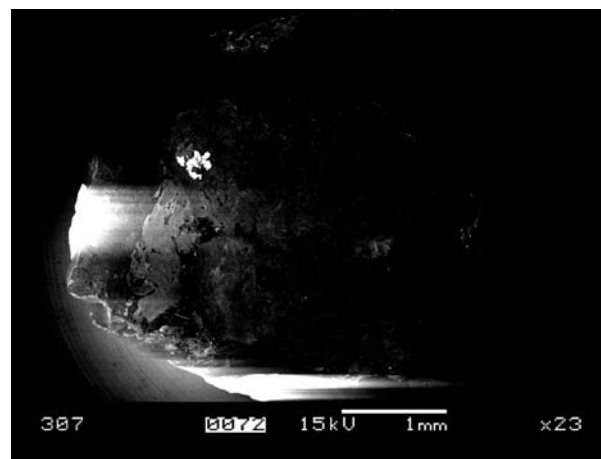


Figure YM 010-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : luminescence (phosphorescence) très forte sur une très petite zone.

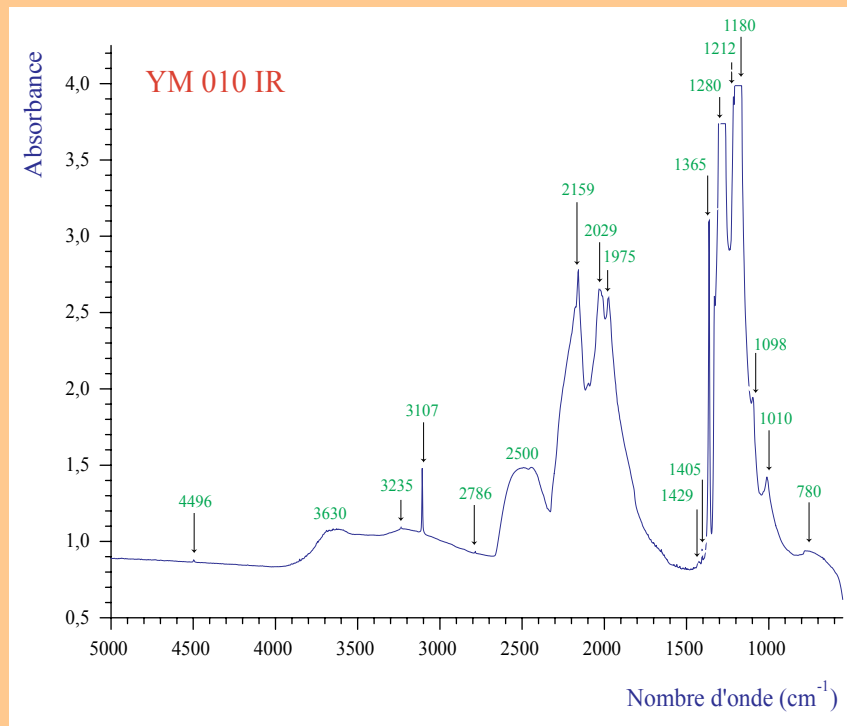


Figure YM 010–2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaAB. La présence d'azote sous forme d'agrégats A et d'agrégats B est à peu près équivalente comme le montre la hauteur à peu près égale des pics à 1280 et 1212 cm⁻¹ des agrégats A et le pic à 1180 cm⁻¹ des agrégats B. De plus le pic à 1010 cm⁻¹ et l'épaule à 1098 cm⁻¹ sont importants. On observe également une nette présence de l'hydrogène (pics à 1405, 2786, 3107, 3235 et 4496 cm⁻¹), on peut presque affirmer qu'il s'agit d'un diamant riche en hydrogène si on considère que le pic à 3107 cm⁻¹ est à peu près égale à l'absorption à 2500 cm⁻¹. On note aussi une importante présence des plaquettes (pic à 1365 cm⁻¹).

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,660 carat

Densité : 3,47

Type : IaA»B

Couleur : Grisâtre

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Croissance octaédrique (ressemble à un agrégat polycristallin dissous). Forme quelconque. Surface granuleuse et irrégulière.

Inclusions : Aucune inclusion observée

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Inerte

UVC : Inerte

Spéctre d'absorption : Aucun spectre observé

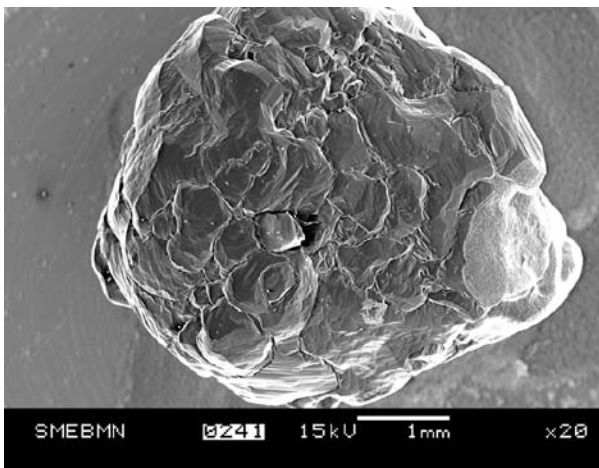


Figure YM 011-1a.
Observations au MEB — topographie : rien de particulier, structure de croissance complexe.

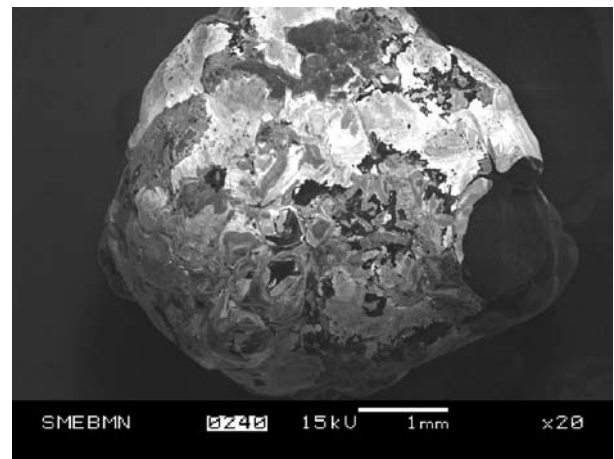


Figure YM 011-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : luminescence irrégulière.

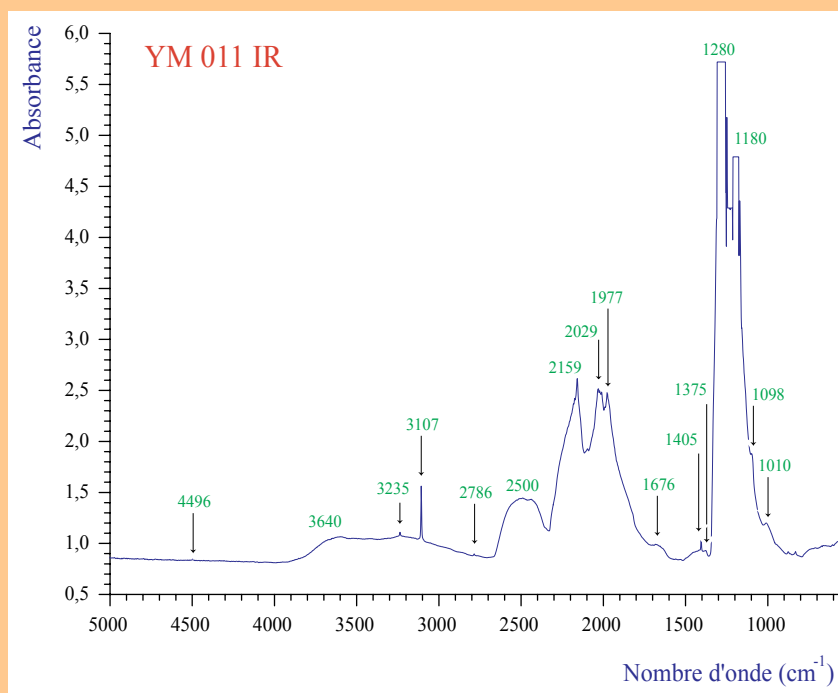


Figure YM 011-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA \gg B. La présence d'azote sous forme d'agrégats A (pic à 1280 cm^{-1}) est plus importante que celle des agrégats B (pic à 1180 cm^{-1}). De plus le pic à 1010 cm^{-1} et l'épaulement à 1098 cm^{-1} sont légers. On observe également une nette présence de l'hydrogène (pics à 1405, 2786, 3107, 3235 et 4496 cm^{-1}), on peut presque affirmer qu'il s'agit d'un diamant riche en hydrogène si on considère que le pic à 3107 cm^{-1} est supérieur en intensité à l'absorption à 2500 cm^{-1} . On remarque que la présence des plaquettes (pic à 1375 cm^{-1}) est très peu marquée.

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,596 carat

Densité : 3,54

Type : IaA (assez pur)

Couleur : Grisâtre

Transparence : Transparent

Aspect : Surface givrée

Morphologie : Forme cuboïde dont les arêtes et les sommets sont légèrement saillants. La surface est irrégulière et granuleuse.

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ». Une inclusion de couleur orangée (il n'est pas possible de déterminer s'il s'agit d'une inclusion cristalline).

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Inerte

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

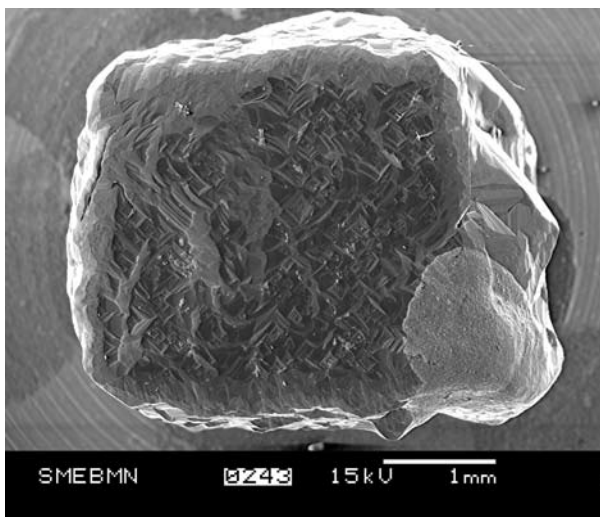


Figure YM 012-1a.
Observations au MEB — topographie : rien de particulier, croissance qui semble homogène.

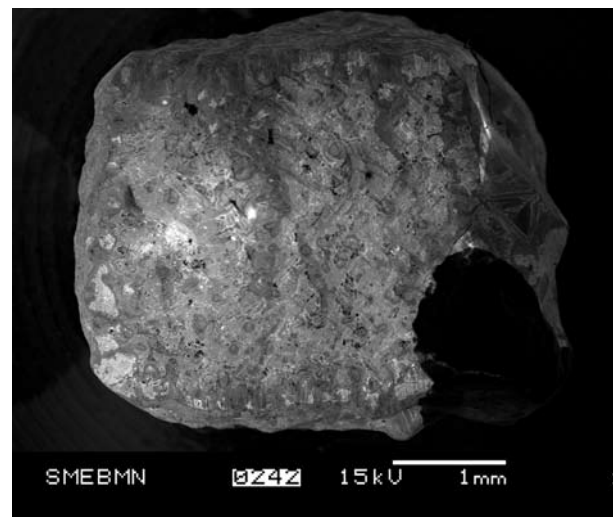


Figure YM 012-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : aucune luminescence particulière; figures de luminescence assez homogènes; faible contraste de cathodoluminescence, disposition en couches peu contrastées.

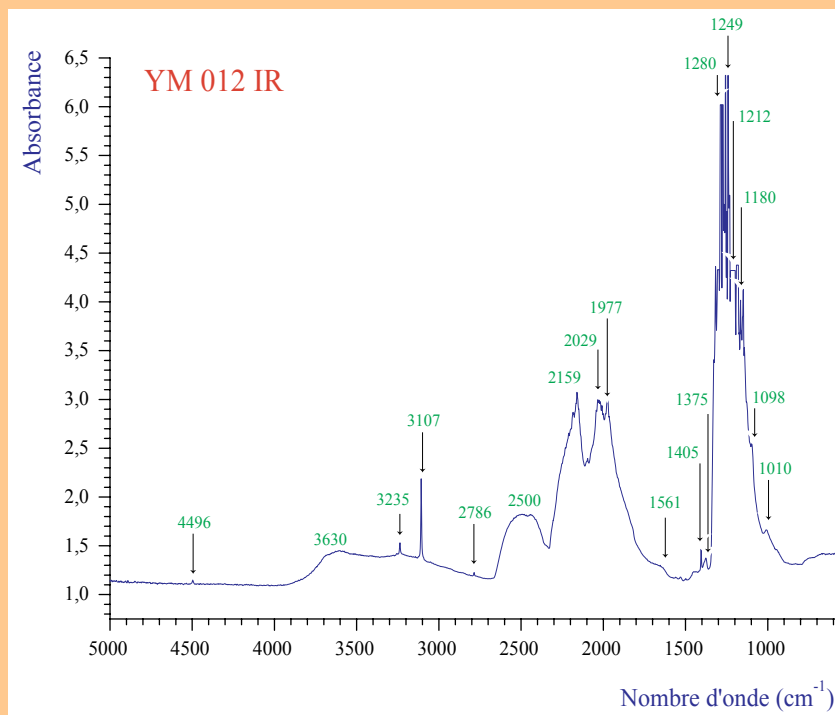


Figure YM 012-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA assez pur. Il y a très peu d'agrégats B (pic à 1180 et 1010 cm^{-1} et épaulement à 1098 cm^{-1} peu marqués). La présence d'hydrogène est quant à elle très importante, tous les pics dus à cet élément sont présents (1405, 2786, 3107, 3235 et 4496 cm^{-1}). De plus, la teneur doit être importante car le pic à 3107 cm^{-1} est plus marqué que la gaussienne située à 2500 cm^{-1} . Il y a très peu de plaquettes, le pic à 1375 cm^{-1} est très petit.

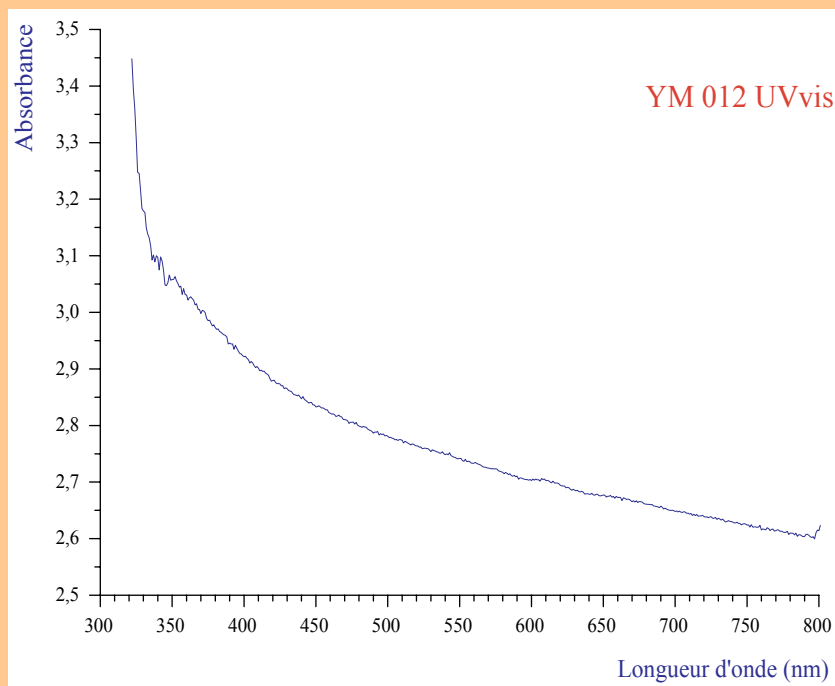


Figure YM 012-3.

Spectre UVvisible d'un diamant de type IaA (assez pur), de couleur grisâtre. Il est étonnant d'observer que bien qu'il s'agisse d'un diamant contenant beaucoup d'azote, les absorptions relatives aux centres N2 (pic à 478 nm) et N3 (pic à 415 nm) sont absentes du spectre.

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,650 carat

Densité : 3,59

Type : IIa (presque)

Couleur : Champagne clair

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Morceau d'octaèdre légèrement dissous, cassé. Trigones sur la surface. Maclé (seulement dans une partie du cristal).

Inclusions : Inclusion cristalline (qui semble de couleur orangée), cerclée d'un halo irisé.

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Jaune, intensité faible

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

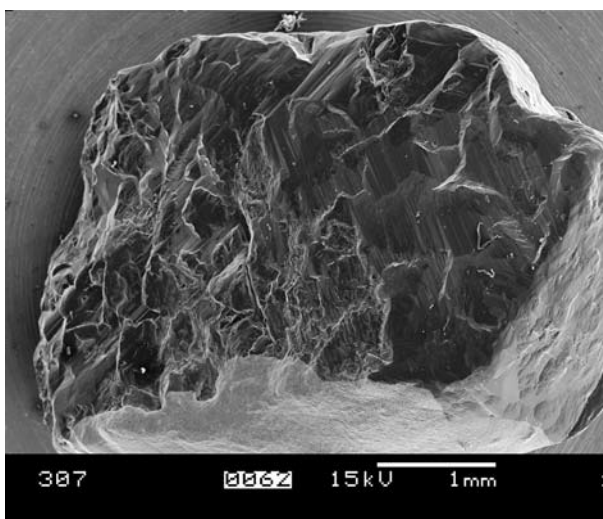


Figure YM 013-1a.
Observations au MEB — topographie : croissance en couches irrégulières.

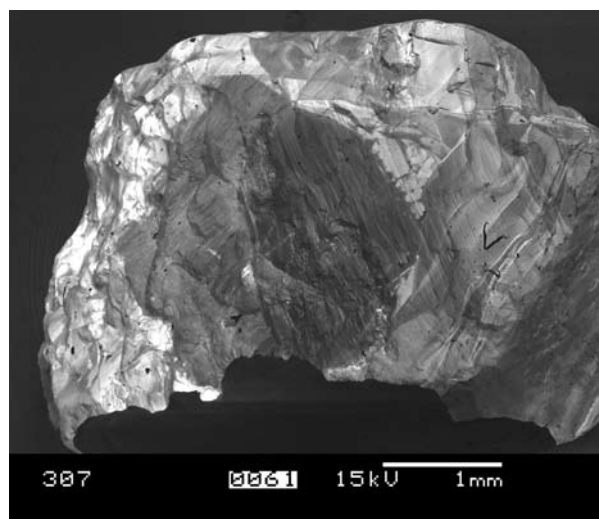


Figure YM 013-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : luminescence forte en certains endroits qui semble reliée à une structure en couches. Inhomogénéité de croissance importante. Zones de luminescence variable dans des zones qui ont l'air bien régulières en topographie.

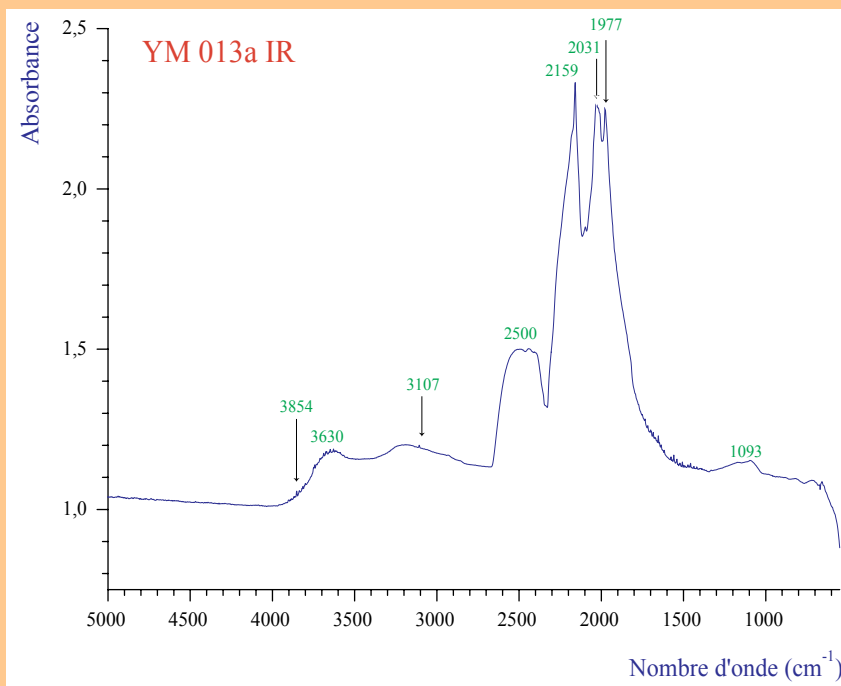


Figure YM 013-2a.
Spectre infrarouge d'un diamant de type IIa.

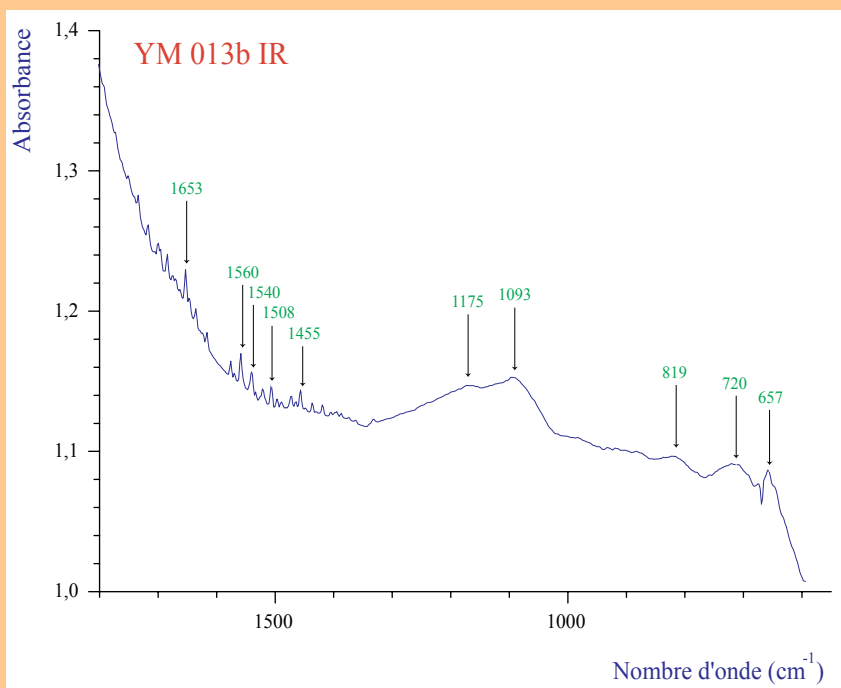


Figure YM 013-2b.
Détail des absorptions situées entre 550 et 1800 cm⁻¹.

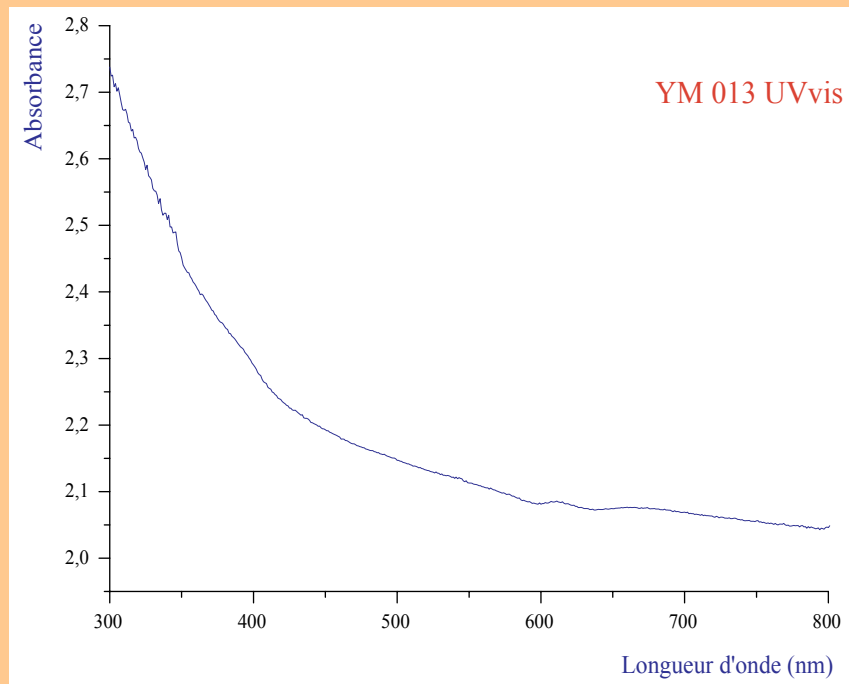


Figure YM 013-3.
Spectre UVvisible d'un diamant champagne clair qui montre un continuum régulier.

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,626 carat

Densité : 3,40

Type : IaA (quasiment pur)

Couleur : Champagne clair
(légère zonation verdâtre)

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Forme grosso modo octaédrique à faces en gradins (soit cassé, soit dissous). Quelques trigones.

Inclusions : Aucune inclusion observée

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Inerte

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

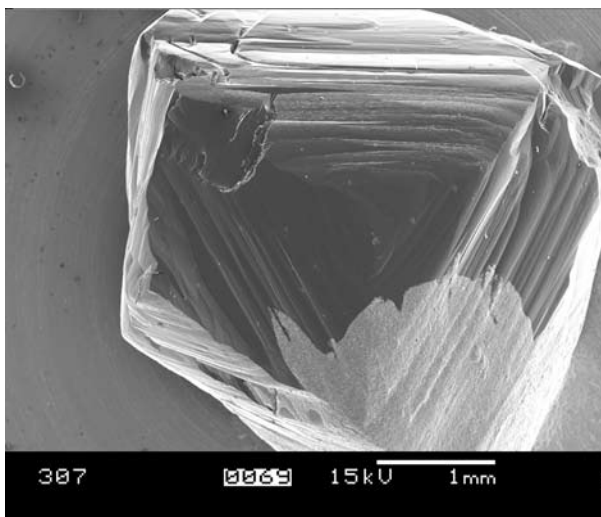


Figure YM 014-1a.
Observations au MEB — topographie : croissance octaédrique en couches.

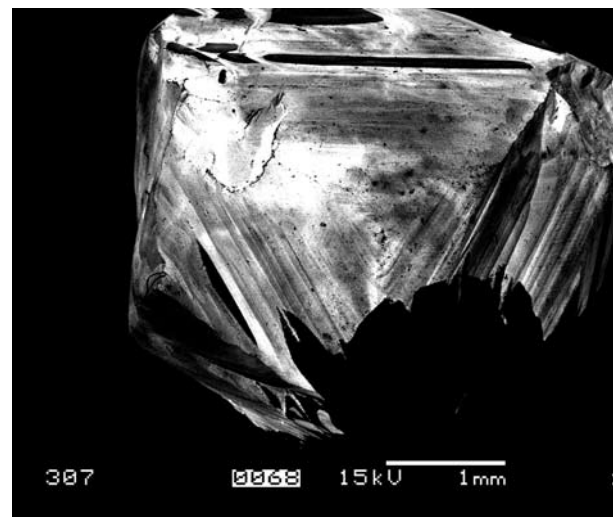


Figure YM 014-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : luminescence en couches.

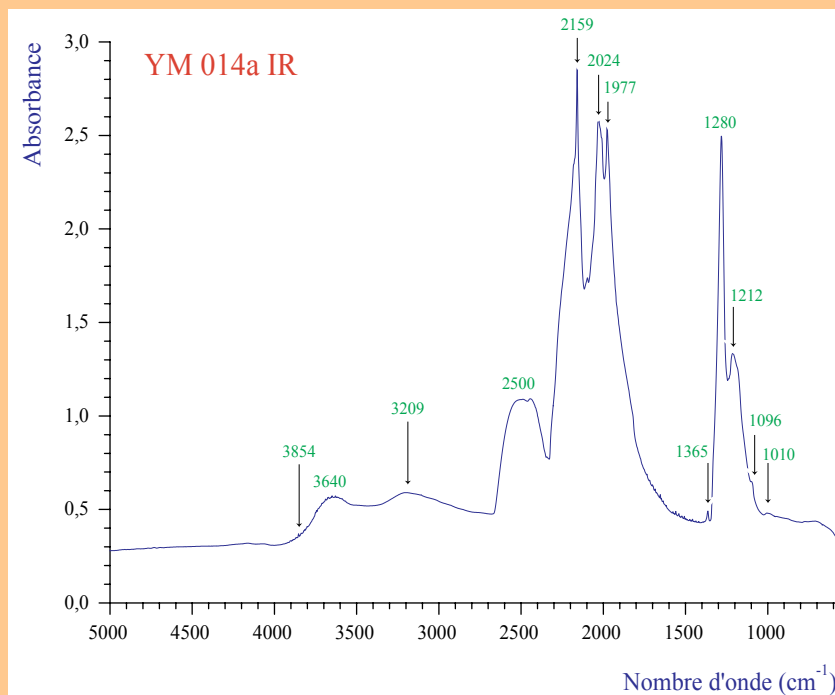


Figure YM 014-2a.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA quasiment pur. On remarque les pics typiques des agrégats A à 1280 et 1212 cm⁻¹. Il y a très peu de plaquettes (pic à 1365 cm⁻¹). Les agrégats B sont très discrets dans ce diamant, il y a absence du pic à 1180 cm⁻¹, on note un petit épaulement à 1096 cm⁻¹ et un léger pic à 1010 cm⁻¹. On soupçonne la présence de quelques pics dus aux *amber centres* aux environs de 4100 cm⁻¹ (voir Figure 2b).

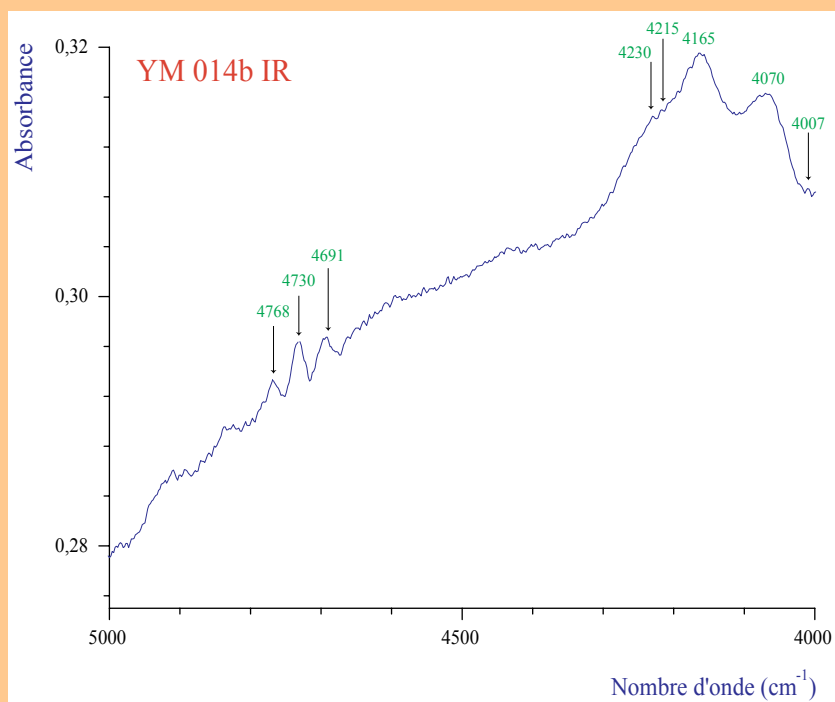


Figure YM 014-2b.

Détail du spectre infrarouge d'un diamant de type IaA de couleur champagne qui montre certains pics caractéristiques dus aux *amber centres* avec un pic principal à 4165 cm⁻¹, un pic secondaire à 4730 cm⁻¹ et d'autres petits pics à 4070, 4215, 4230, 4691 et 4768 cm⁻¹.

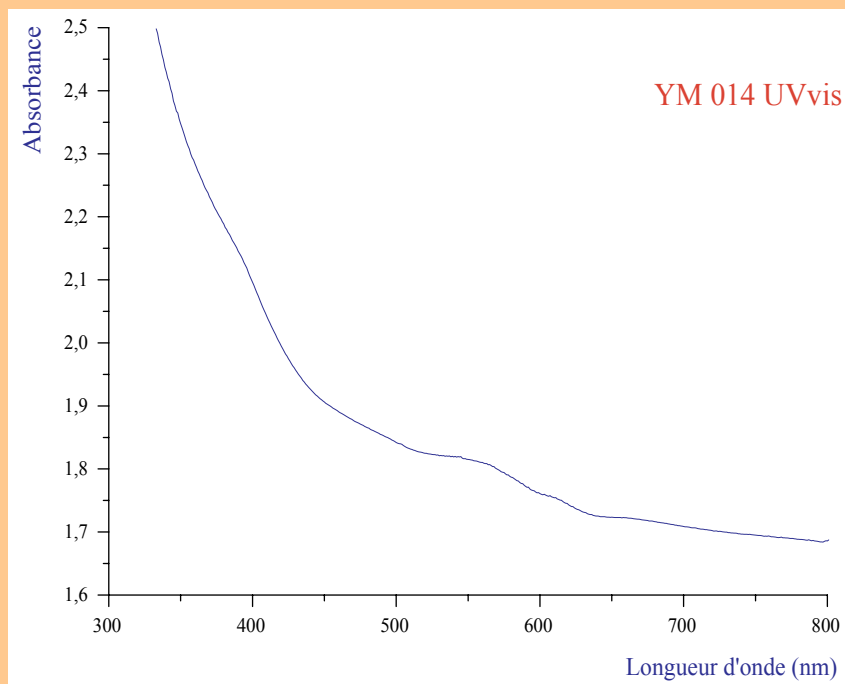


Figure YM 014-3.

Spectre UVvisible d'un diamant de couleur champagne clair qui montre le continuum caractéristique des diamants de couleur brune.

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,571 carat

Densité : 3,48

Type : IaA (quasiment pur)

Couleur : Champagne clair

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Octaèdre fortement dissous (peut-être une croissance parallèle).
Présente une protubérance ou une excroissance. Surface non lisse.

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ».

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Jaune, intensité faible

UVC : Inerte

Spéctre d'absorption : Aucun spectre observé

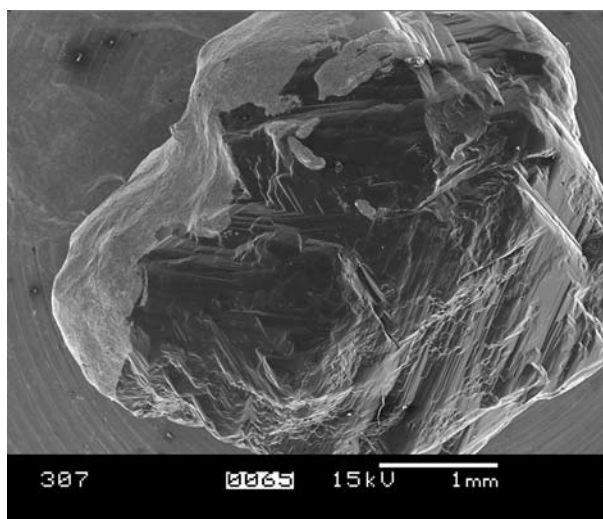


Figure YM 015-1a.
Observations au MEB — topographie : croissance octaédrique avec une excroissance.

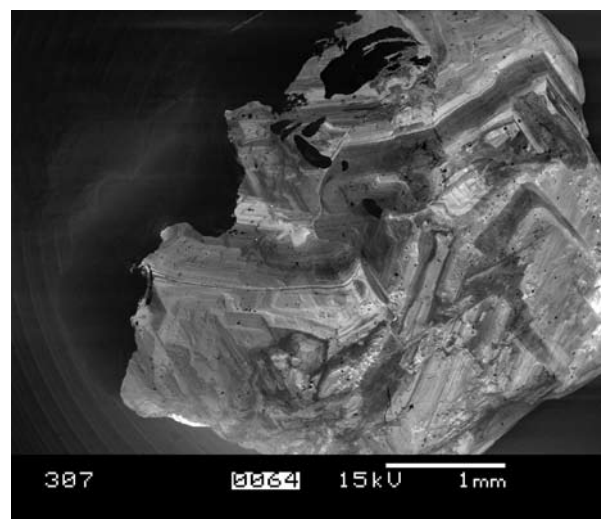


Figure YM 015-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : octaèdre fortement dissous; luminescence irrégulière en couches.

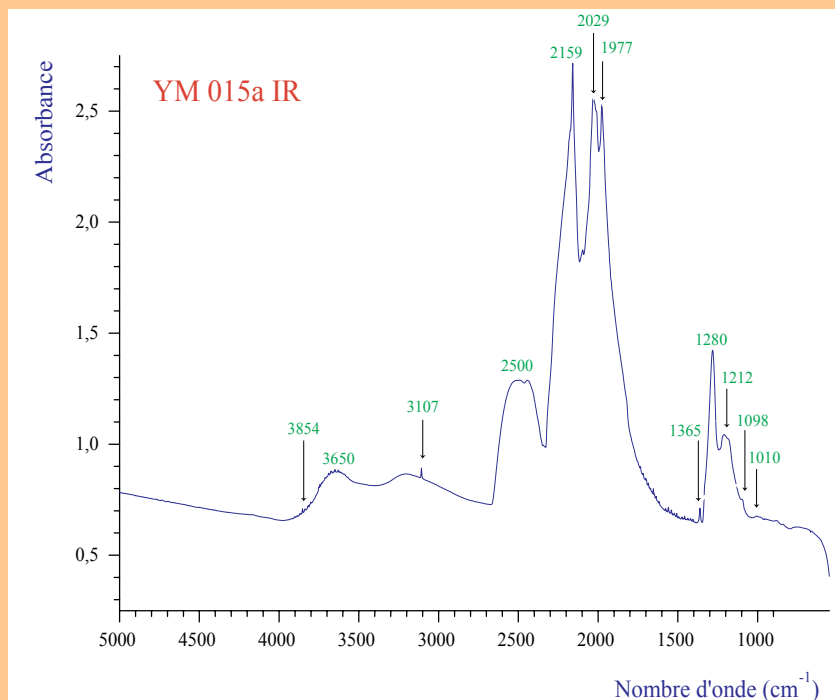


Figure YM 015-2a.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA quasiment pur. On remarque les pics typiques des agrégats A à 1280 et 1212 cm^{-1} . Il y a très peu de plaquettes (pic à 1365 cm^{-1}). Les agrégats B sont très discrets dans ce diamant, il y a absence du pic à 1180 cm^{-1} , on note un très petit épaulement à 1098 cm^{-1} et un minuscule pic à 1010 cm^{-1} . Il y a également une présence en très faible quantité d'hydrogène (pic à 3107 cm^{-1}).

Considérant la couleur de l'échantillon, on soupçonne peut être la présence de quelques pics dus aux *amber centres* (voir Figure 2b).

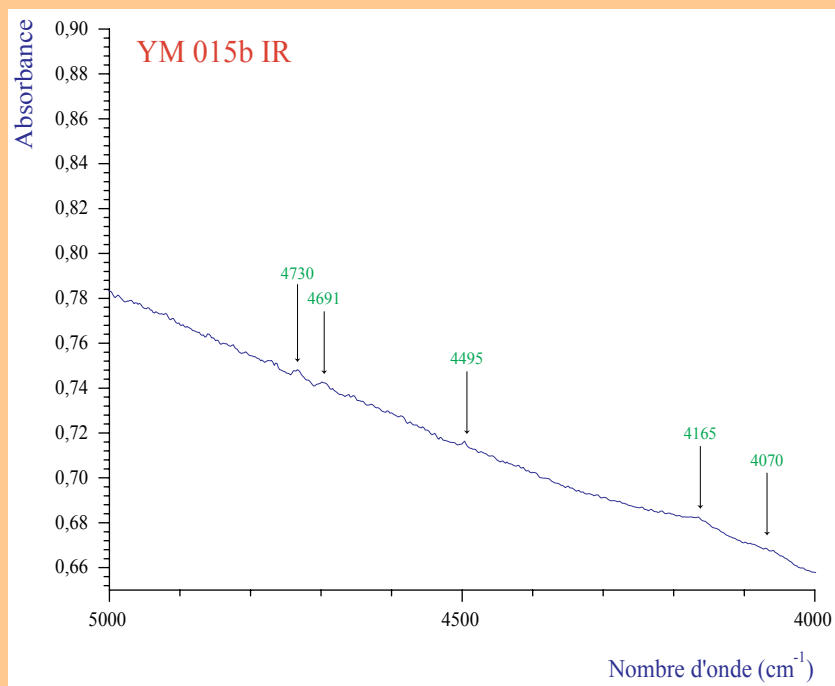


Figure YM 015-2b.

Détail du spectre infrarouge d'un diamant de type IaA de couleur champagne qui montre certains pics dus aux *amber centres* à 4070, 4165, 4495, 4691 et 4730 cm^{-1} .

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,629 carat

Densité : 3,46

Type : IaA pur

Couleur : Incolore

Transparence : Presque opaque

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Cuboïde aux arêtes saillantes (suggère une croissance mixte cuboïde/octaèdre (très minoritaire)). Plusieurs arêtes en plusieurs épaisseur. Figures de dissolution carrées. Forme qui semble se diriger presque vers un cube squelettique. Surface irrégulière mais non granuleuse.

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ».

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Jaune, faible intensité

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

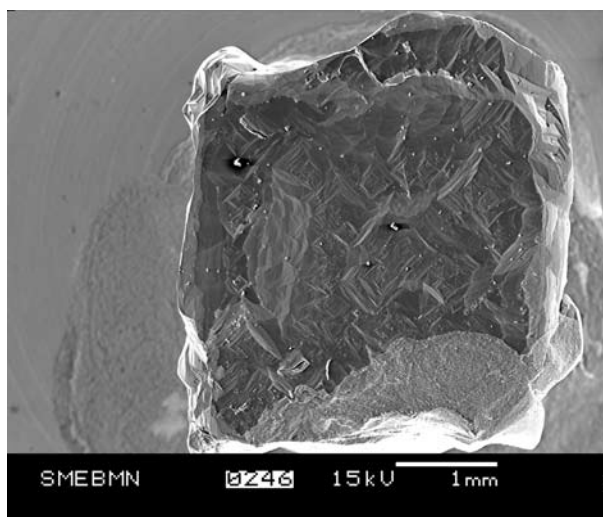


Figure YM 016-1a.
Observations au MEB — topographie : croissance cuboïde.

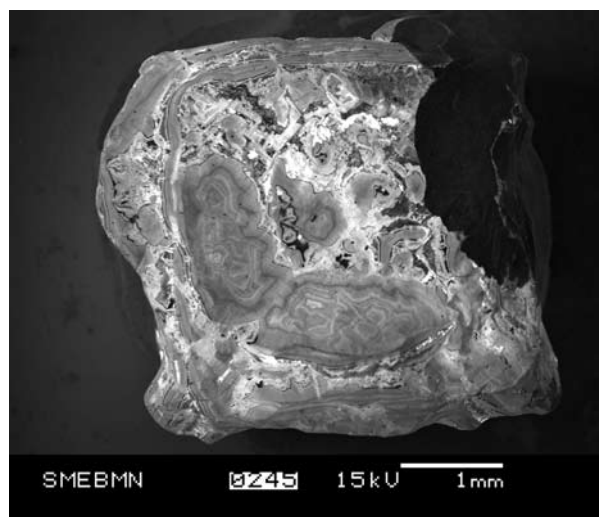


Figure YM 016-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : luminescence peu contrastée.

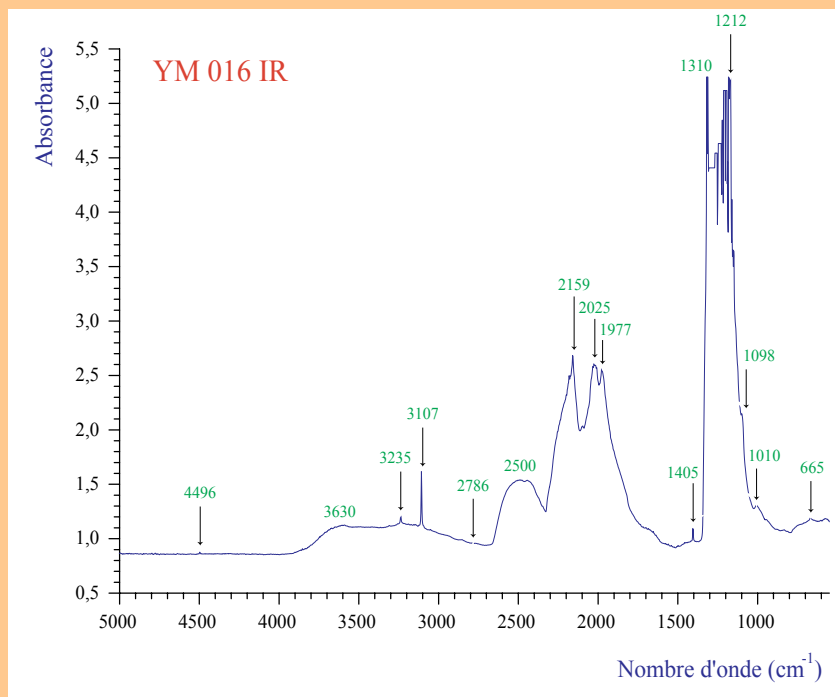


Figure YM 016-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA pur. Le spectre montre les absorptions caractéristiques des agrégats A (1310 cm^{-1} (devrait être 1280 cm^{-1}) et 1212 cm^{-1}). On observe aucune absorption reliée aux plaquettes. Les pics typiques des agrégats B sont également quasiment absents, on note un léger épaulement à 1098 cm^{-1} et un tout petit pic à 1010 cm^{-1} . On observe également la présence d'hydrogène en quantité importante (pics à 1405 , 2786 , 3107 , 3235 et 4496 cm^{-1}), en effet, l'intensité du pic à 3107 cm^{-1} est plus importante que celle de l'absorption à 2500 cm^{-1} .

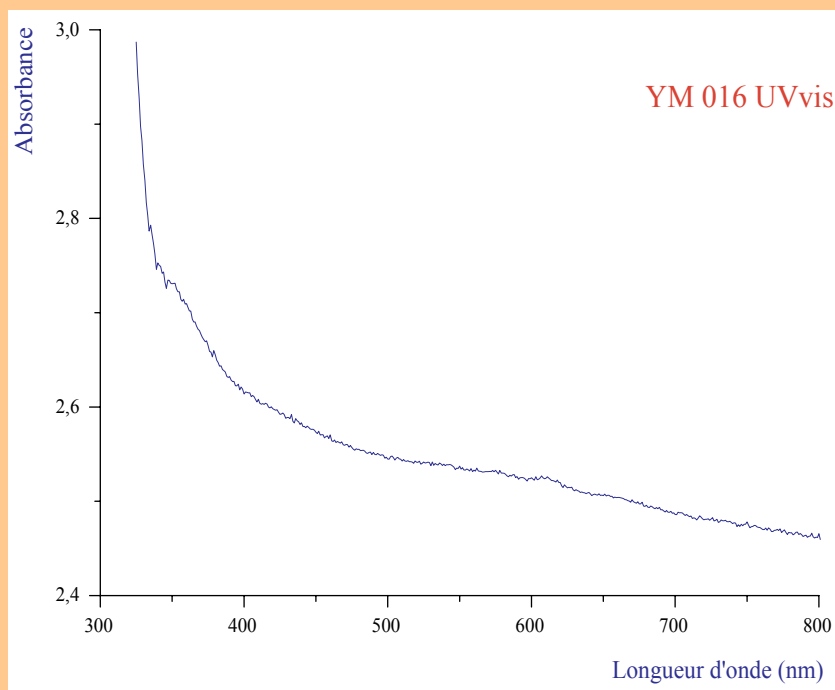


Figure YM 016-3.

Spectre UVvisible d'un diamant incolore.

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,464 carat

Densité : 3,54

Type : IaA (assez pur)

Couleur : Incolore

Transparence : Semi-transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Croissance mixte cuboïde/octaèdre (un octaèdre qui surgit d'un cube; la pointe de l'octaèdre est bien orientée par rapport aux faces du cube). Surface irrégulière mais non granuleuse. Les faces sont en récessions par rapport aux arêtes

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ».

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Inerte

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

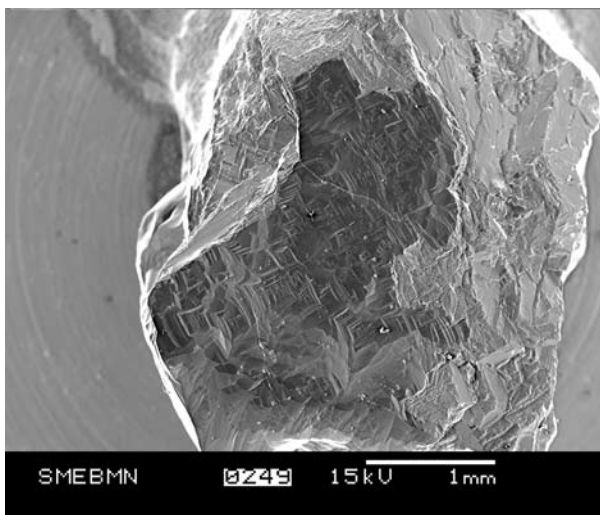


Figure YM 017-1a.
Observations au MEB — topographie : rien de particulier.

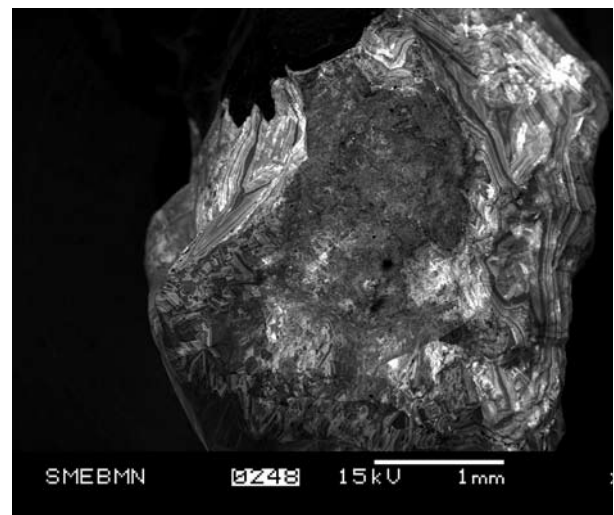


Figure YM 017-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : peu de luminescence; structure en couches; couches de croissance visibles.

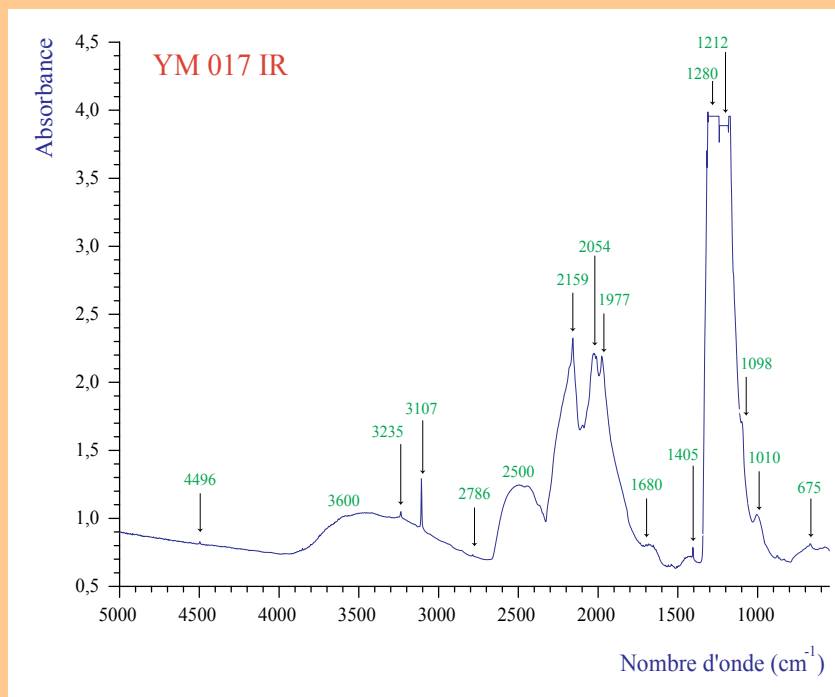


Figure YM 017-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA (assez pur). Le spectre montre les absorptions caractéristiques des agrégats A (1280 et 1212 cm^{-1}). On observe aucune absorption liée aux plaquettes. Les pics typiques des agrégats B sont également quasiment absents, on note un léger épaulement à 1098 cm^{-1} et un tout petit pic à 1010 cm^{-1} . On remarque également la présence d'hydrogène en quantité assez importante (pics à 1405, 2786, 3107, 3235 et 4496 cm^{-1}), en effet, l'intensité du pic à 3107 cm^{-1} est légèrement plus importante que celle de l'absorption à 2500 cm^{-1} .

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,558 carat

Densité : 3,46

Type : IaA (assez pur)

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Macle du spinelle cassée à 2 endroits (peut-être des clivages dissous). Surface légèrement givrée. Plusieurs trigones nettes.

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ».

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Inerte

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

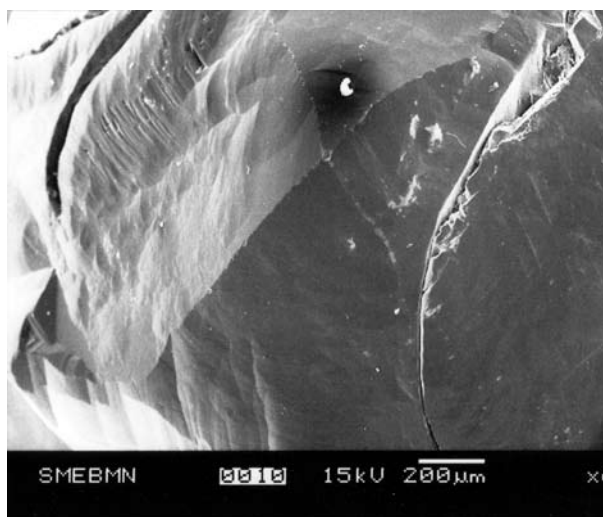


Figure YM 018-1a.
Observations au MEB — topographie : présence d'un axe de symétrie d'ordre 4, donc une face du cube.

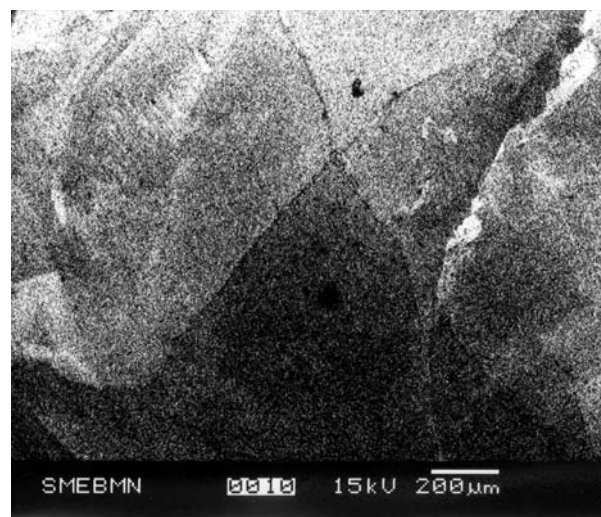


Figure YM 018-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : aucune luminescence.

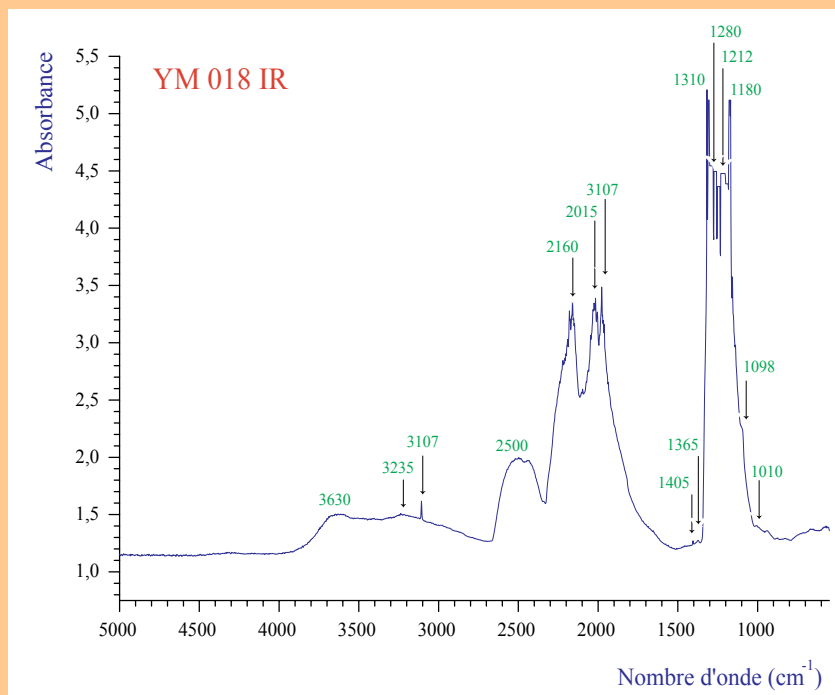


Figure YM 018-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA (assez pur). Le spectre montre les absorptions caractéristiques des agrégats A (1280 et 1212 cm^{-1}). On observe une très légère absorption reliée aux plaquettes. Les pics typiques des agrégats B ne sont pas dominants, on remarque une légère absorption à 1180 cm^{-1} , on note un léger épaulement à 1100 cm^{-1} et un tout petit pic à 1007 cm^{-1} . On note également la présence d'hydrogène en faible quantité (pics à 1405, 3107 et 3235 cm^{-1}).

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,362 carat

Densité : 3,63

Type : IaB>A

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Octaèdre légèrement irrégulier. Figure de dissolution, arêtes en forme de gerbe. Très beaux trigones. Surface lisse.

Inclusions : Quelques inclusions minérales foncées, de type « taches de carbone ».

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Bleue, intensité faible

UVC : Inerte

Spéctre d'absorption : Aucun spectre observé

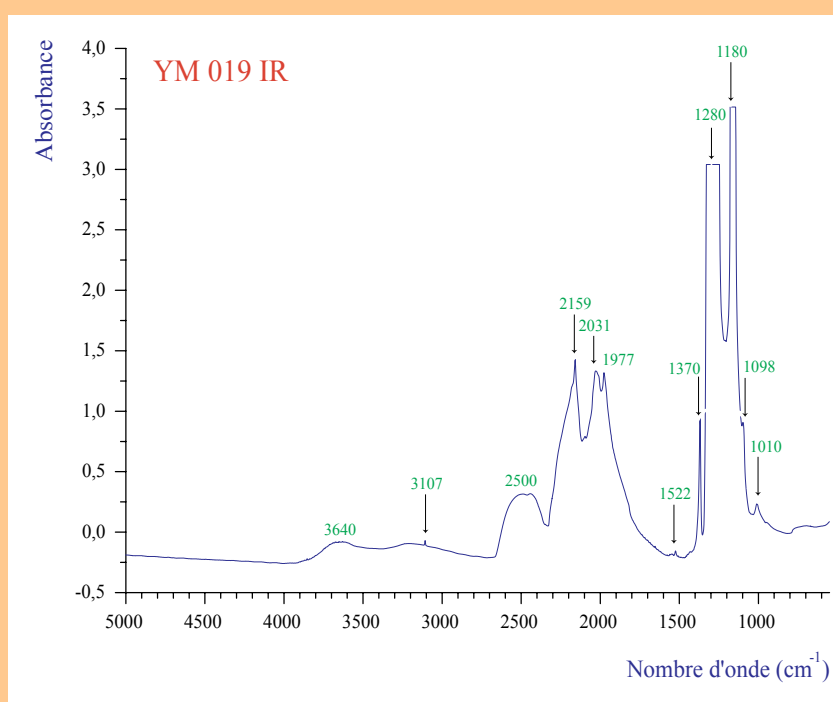


Figure YM 019-1.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaB > A. La présence d'azote sous forme d'agrégats B caractérisée par les pics à 1180, 1096 et 1010 cm^{-1} est légèrement plus importante que celle sous forme d'agrégats A dont le pic principal est situé à 1280 cm^{-1} . On observe également la présence d'hydrogène (pic à 3107 cm^{-1}) en très faible quantité. On remarque aussi la présence des plaquettes (pic à 1370 cm^{-1}).

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,362 carat

Densité : 3,51

Type : IaAB

Couleur : Très légèrement jaunâtre

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Octaèdre légèrement irrégulier. Figures de dissolution classiques. Trigones. Surface lisse.

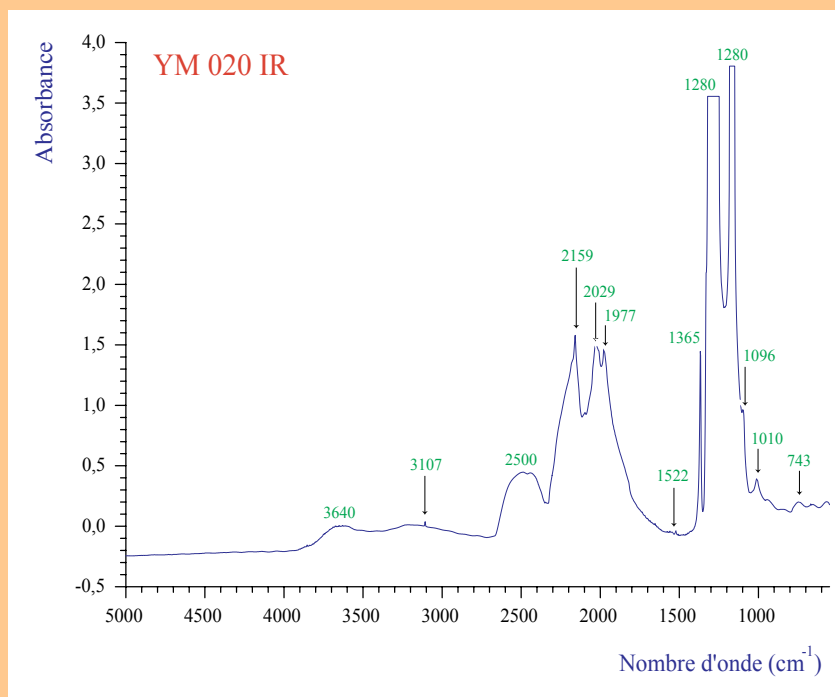
Inclusions : Une « grosse » inclusion minérale foncée, de type « tache de carbone ».

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Bleue, intensité faible

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé



Origine : Mine Diavik

Poids : 0,362 carat

Densité : 3,51

Type : IaAB

Couleur : Très légèrement jaunâtre

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Octaèdre dont les faces vont vers l'hexoctaèdre. Surface lisse.

Inclusions : Aucune inclusion observée

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Bleue, intensité faible

UVC : Inerte

Spéctre d'absorption : Aucun spectre observé

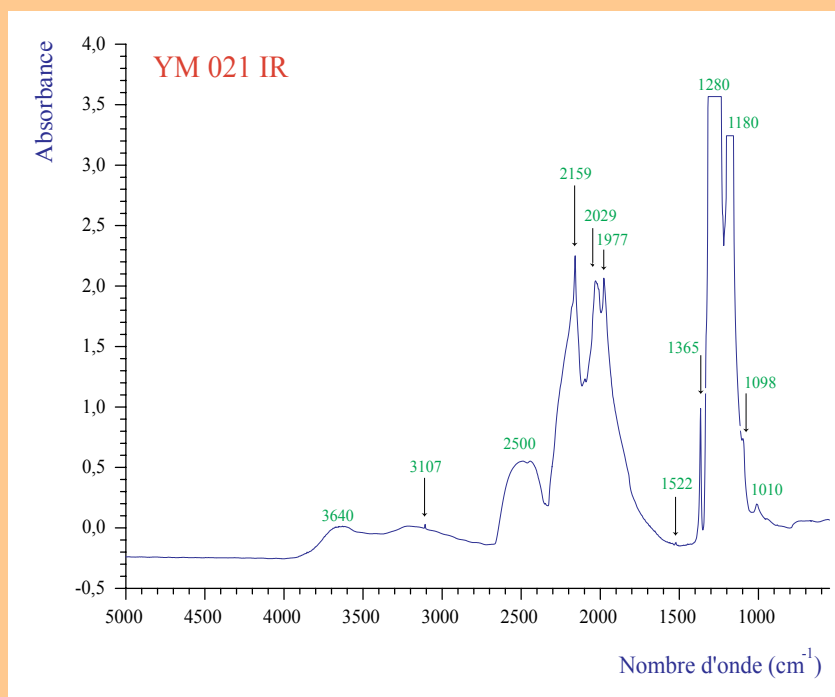


Figure YM 021-1.

Spéctre infrarouge d'un diamant de type IaAB. La présence d'azote sous forme d'agrégats A et d'agrégats B est à peu près équivalente comme le montre la hauteur à peu près égale des pics à 1280 et 1180 cm^{-1} . On observe une légère absorption à 1010 cm^{-1} et un petit épaulement à 1098 cm^{-1} . On note également la présence d'hydrogène en très faible quantité (pic à 3107 cm^{-1}). On note aussi une présence des plaquettes (pic à 1365 cm^{-1}).

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,364 carat

Densité : 3,57

Type : IaAB

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : La surface est givrée

Morphologie : Octaèdre aux faces en gradins. Peu dissous (cristal frais). Surface givrée causée par une multitude de microtrigones.

Inclusions : Aucune inclusion observée

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Inerte

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

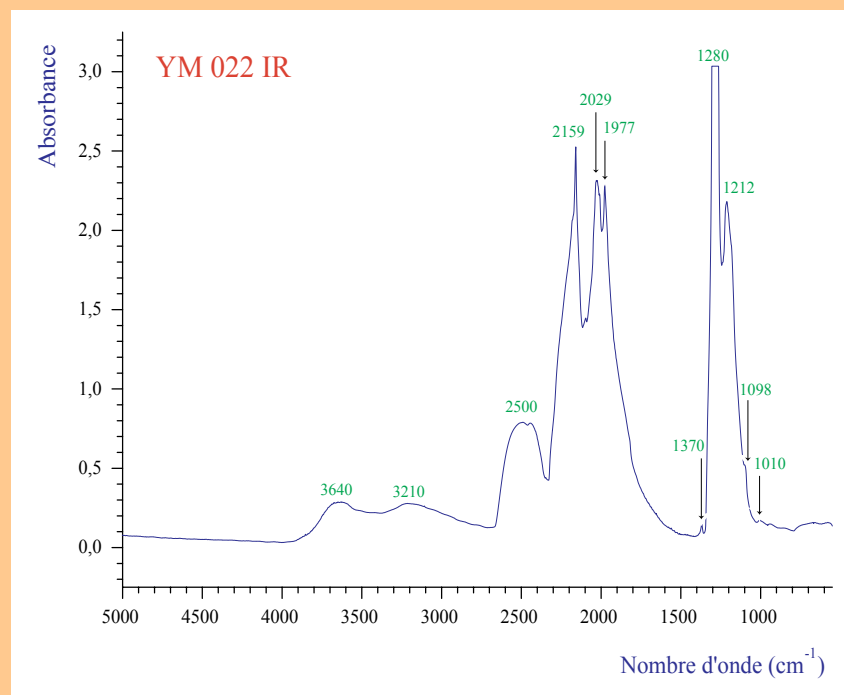


Figure YM 022-1.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA quasiment pur. On remarque les pics typiques des agrégats A à 1280 et 1212 cm^{-1} . Il y a très peu de plaquettes (pic à 1370 cm^{-1}). Les agrégats B sont quasiment absents dans ce diamant, il y a absence du pic à 1180 cm^{-1} , on note cependant un petit épaulement à 1098 cm^{-1} et un pic très léger à 1010 cm^{-1} .

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,752 carat

Densité : 3,50

Type : IaA (assez pur)

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Octaèdre dissous. Structure sur la base du rhombododécaèdre, assez simple. Beaucoup de dissolution (qui fout tout en l'air). Surface givrée.

Inclusions : Aucune inclusion observée

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Jaune, intensité faible

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé

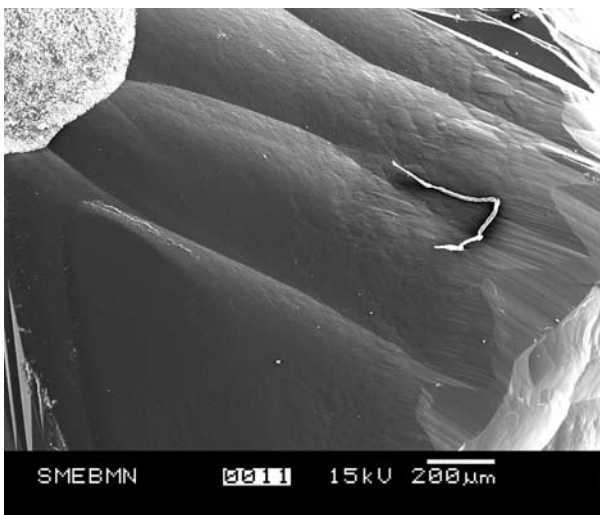


Figure YM 023-1a.
Observations au MEB — topographie : croissance octaédrique régulière qui ne présente rien de particulier.

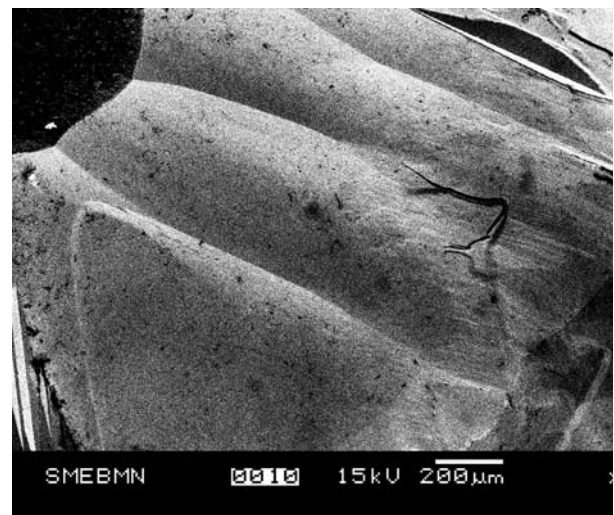


Figure YM 023-1b.
Observations au MEB — cathodoluminescence : luminescence homogène sur toute la surface qui montre une croissance régulière. Très proche d'un niveau de croissance.

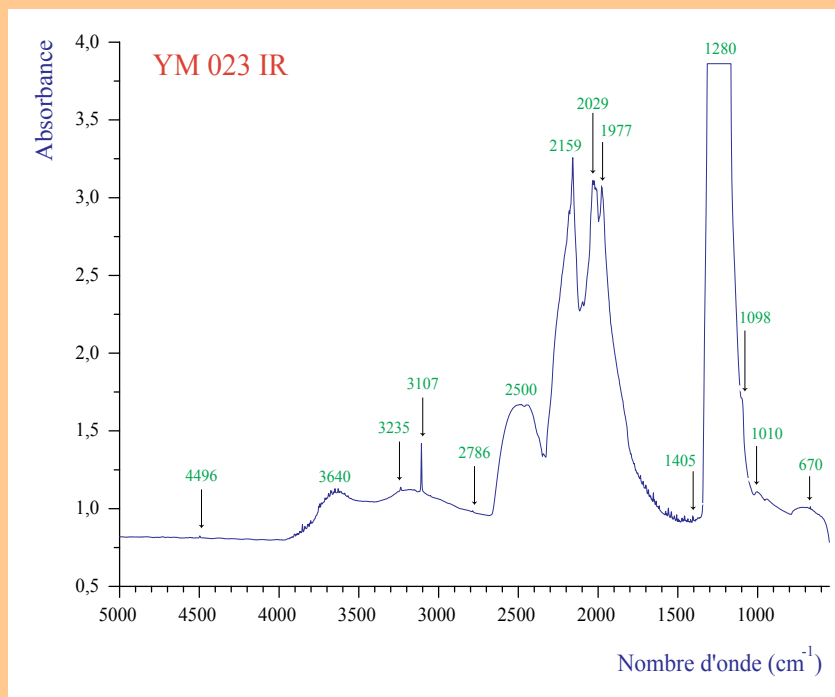


Figure YM 023-2.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaA assez pur. On remarque la dominance du pic typique des agrégats A à 1280 cm⁻¹. Il y a absence de plaquettes. Les agrégats B sont très discrets dans ce diamant, absence du pic à 1180 cm⁻¹, on note un petit épaulement à 1098 cm⁻¹ et un pic très léger à 1010 cm⁻¹. Il y a également une présence d'hydrogène (pics à 1405, 2786, 3107, 3235 et 4496 cm⁻¹).

Origine : Mine Diavik

Poids : 0,921 carat

Densité : 3,47

Type : IaAB

Couleur : Incolore

Transparence : Transparent

Aspect : Aucune caractéristique particulière

Morphologie : Octaèdre aux faces en gradins, peu dissous (cristal frais, jeune).
Trigones.

Inclusions : Inclusions floconneuses blanches, orangées et grises à noires.

Luminescence aux rayons ultraviolets :

UVL : Bleue, moyenne

UVC : Inerte

Spectre d'absorption : Aucun spectre observé



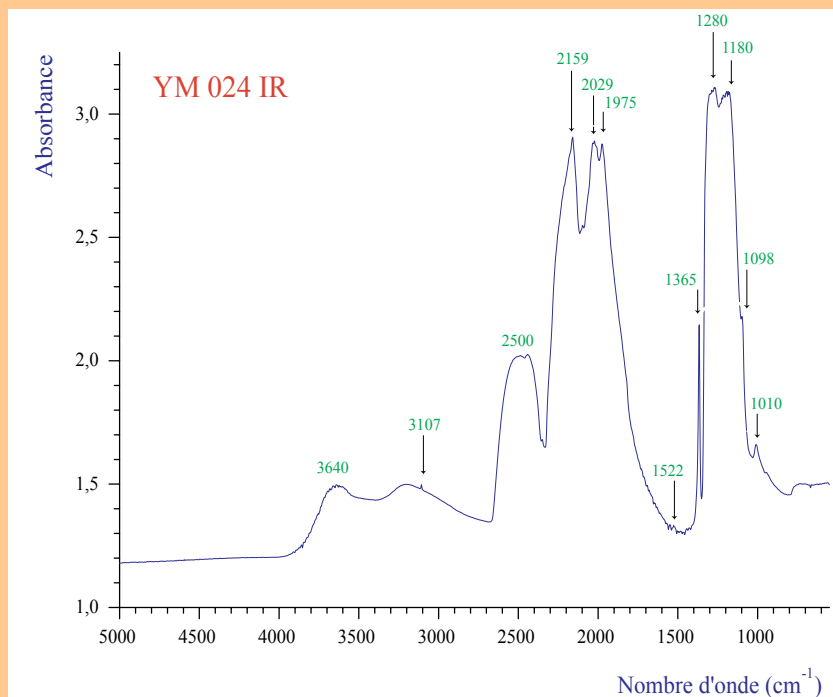


Figure YM 024-1.

Spectre infrarouge d'un diamant de type IaAB. La présence d'azote sous forme d'agrégats A et d'agrégats B est à peu près équivalente comme le montre la hauteur à peu près égale des pics à 1280 et 1180 cm^{-1} . On observe un épaulement à 1098 cm^{-1} et une absorption à 1010 cm^{-1} . On remarque la présence de l'hydrogène en très faible quantité (pic à 3107 cm^{-1}). On note aussi une présence des plaquettes (pic à 1365 cm^{-1}).

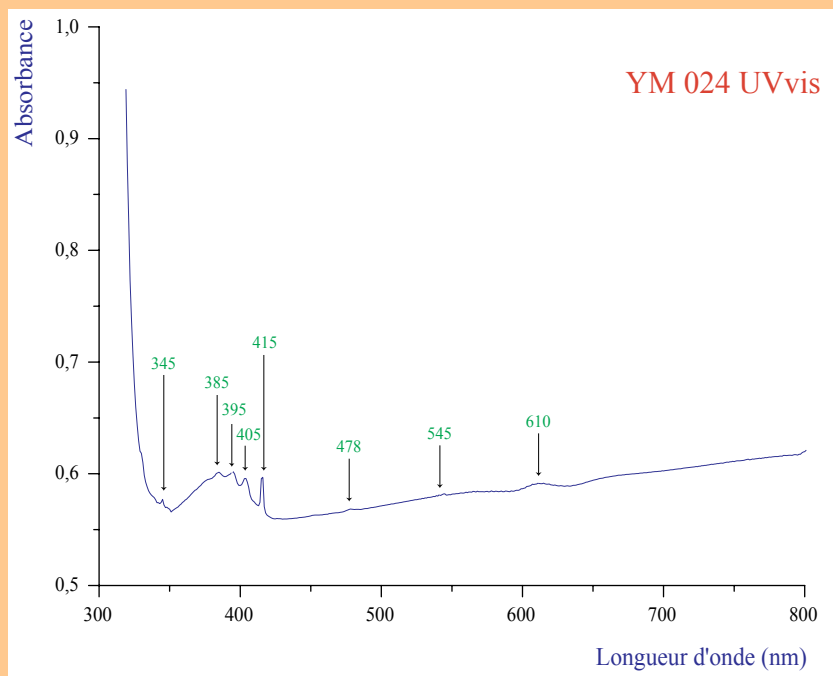


Figure YM 024-2.

Spectre UVvisible d'un diamant incolore contenant de l'azote. Le spectre montre le pic net à 415 nm causée par la présence des centres N2, ainsi qu'une légère absorption à 478 nm, due à la présence de centres N3 (l'absorption est cependant trop légère pour induire une coloration jaune). On remarque également des absorptions à 345, 385, 395, 404, 545 et 610 nm.

12. RÉFÉRENCES

12.1 Bibliographie

- ANCKAR E., GURNEY J., THIART C. (2003) A statistical approach to fingerprint run-of-mine diamonds using FTIR spectra, size distributions and physical characteristics. 8th International Kimberlite Conference, long Abstract.
- BURSILL L.A., GLAISHER R.W. (1985) Aggregation and dissolution of small and extended defect in type Ia diamond. *American mineralogist*, Vol. 70, p. 608 – 618.
- CANADIAN JEWELLERS ASSOCIATION (2006) Manuel de cours. JETS 2006. Livre 3 : Le diamant 2 – L'industrie canadienne. CJA, 24 pages.
- CARTIGNY P. (2002) La genèse du diamant. Pour la science. Dossier hors-série, avril/juin, p. 12-15.
- DAVIES R.M., GRIFFIN W.L., O'REILLY S.O., DOYLE B.J. (2004) Mineral inclusions and geochemical characteristics of microdiamonds from the D027, A154, A21, A418, D018, DD17 and Ranch Lake kimberlites at Lac de Gras, Slave Craton, Canada. *Lithos*, Vol. 37, p. 39 – 55.
- DE VRIES R.C. (1975) Plastic deformation and “work hardening” of diamond. *Material Research Bulletin*, Vol. 10, No 11, p. 1193-1199.
- DIEHL R., HERRES N. (2004) X-Ray fingerprinting routine for cut diamonds. *Gems & Gemology*, Vol. 40, No. 1, p. 40-57.
- DONNELLY C.L., STACHEL T., CREIGHTON S., MUEHLENBACHS K., WHITEFORD S. (2007) Diamonds and their mineral inclusions from the A154 South pipe, Diavik Diamond Mine, Northwest Territories, Canada. *Lithos*, Vol. 98, p. 160 – 176. Uncorrected proof.
- EBERLÉ J.M. (2002) Les gisements de diamant. Pour la science. Dossier hors-série, avril/juin, p. 18-25.
- FERRER N., NOGUÉS-CARULLA J.M. (1996) Characterisation study of cut diamond by IR spectroscopy. *Diamond & Related Materials*, Vol. 5, p. 598-602.
- FRITSCH E., SCARRATT K. (1992) Natural-color nonconductive gray-to-blue diamonds. *Gems & Gemology*, Vol. 28, No 1, p. 35-42.
- GICQUEL A., SILVA F. (2002) La fabrication du diamant à basse pression. Pour la science. Dossier hors-série, avril/juin, p. 52-57.

GRIFFIN W.L., DOYLE B.J., RYAN G.G., PEARSON N.J., O'REILLY S.O., DAVIES R., KIVI K., VAN ACHTERBERG E., NATAPOV L.M. (1999) Layered Mantle Lithosphere in the Lac de Gras Area, Slave Craton: Composition, Structure and Origin. *Journal of petrology*, Vol. 40, No 5, p. 705-727.

KIRKLEY M.B., GURNEY J.J., LEVINSON A.A. (1991) Age, origin, and emplacement of diamonds. *Gems & Gemology*, Vol. 20, No. 10, p. 2-25.

KJARSGAARD B.A., LEVINSON A.A. (2002) Diamond in Canada. *Gems & Gemology*, Vol. 38, No. 3, p. 208 – 238.

KOIVULA J.I. (2002) Musée des profondeurs. Pour la science. Dossier hors-série, avril/juin, p. 26-29.

KOIVULA J.I. (1981) Photographing inclusions. *Gems & Gemology*, Vol. 17, No 3, p. 132-142.

KOIVULA J.I. (2000) *The MicroWorld of Diamonds*. Gemworld International Inc., 157 pages.

MASSI L. (2006) Extrait de « Défauts responsables de la couleur brune dans les diamants ». Mémoire de thèse D.E.A. Université de Nantes.

MASSI L. FRITSCH E., COLLINS A.T., HAINSCHWANG T., NOTARI F. (2005) The “amber centres” and their relation to brown colour in diamond. *Diamond & Related Materials*, Vol. 14, p. 1623-1629.

NAZARÉ M.H., NEVES A.J. (2001) Properties, growth and applications of Diamonds. EMIS Datareviews Series, No. 26, INSPEC Publication. 427 pages.

NOWICKI T., CRAWFORD B., DYCK D., CARLSON J., McELROY R., OSHUSTB P. HELMSTAEDTD H. (2004) The geology of kimberlite pipes of the Ekati property, Northwest Territories, Canada. *Lithos*, Vol. 76, p. 1 – 27.

RESANO M., VANHAECKE F., HUTSEBAUT K., DE CORTE K., MOENS L. (2003) Possibilities of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry for diamond fingerprinting. *JAAS*, The Royal Society of Chemistry, Vol. 18, p. 1 – 6.

ROBERTSON R., FOX J.J., MARTIN A.E. (1934) Two types of diamond. *Philosophical Transactions*, A232, p. 463-355.

SAUTTER V., LORAND J.P., GILLET P. (2002) Le diamant, témoin des profondeurs. Pour la science. Dossier hors-série, avril/juin, p. 6-11.

STACHEL T. (2003) Peridotitic and Eclogitic Diamond Sources and the Origin of Cratonic Roots. *Diamond Research Group*. University of Alberta.

SUNAGAWA I, FRITSCH E. (2002) La forme des cristaux. Pour la science. Dossier hors-série, avril/juin, p. 34-39.

TAPPERT R., STACHEL T., HARRIS J.W., BREY G.P. (2004) Mineral inclusions in diamonds from the Panda kimberlite, Slave province (Canada). 8th International Kimberlite Conference Long Abstract. European Journal of mineralogy, Vol. 17, No 33, p. 423 – 440.

WILKS E., WILKS J. (1991) Properties and Applications of Diamond. Butterworth and Heinemann, 525 p.

WOODS G.S. (1992) The “type” terminology for diamond. Properties and growth of diamond. G. Davies ed., p. 83-84.

12.2 Sites Internet

Aber Corporation
Annual Reports 2006
<http://www.aber.ca>
Consulté le 15 mars 2006

BHP Billiton
Annual Reports 1998 à 2005.
Quarterly Reports 2006
<http://www.bhpbilliton.com>
Consulté le 15 mars 2006

Code de conduite volontaire pour l'authentification des indications « diamant canadien »
<http://www.canadiancodeofconduct.ca>
Consulté le 18 mars 2007

International Diamond Consultants Ltd
<http://www.diamondwww.com>
Consulté le 16 mars 2006

Perron L. 2006 Annuaire des minéraux 2005. Diamants.
Ressources naturelles Canada
<http://www.nrcan.gc.ca/mms/cmy/contenu/2005/28.pdf>
Consulté le 19 mars 2007

Perron L. 2006 Diamants.
Ressources naturelles Canada
http://www.nrcan.gc.ca/mms/cmy/2005revu/diam_f.htm
Consulté le 19 mars 2007

Processus de Kimberley
<http://www.rncan.gc.ca/processuskimberley>
Consulté le 18 mars 2007

Rio Tinto plc
Annual Reports 2003 à 2006
<http://www.riotinto.com>
Consulté le 15 mars 2006

Stornoway Diamond Corporation
News
<http://www.stornowaydiamonds.com>
Consulté le 16 mars 2007

Sweet A. R., McIntyre D.J., Stasiuk L.D. (2006) Gîtes minéraux et données géoscientifiques de la Province de Esclaves. Palynologie et diamants : une association peu vraisemblable. Ressources naturelles Canada.
http://ess.nrcan.gc.ca/2002_2006/nrd/slavecomp/palynology.

Tahera Diamond Corporation
Quarterly reports 2006
<http://www.tahera.com>
Consulté le 16 mars 2006

13 REMERCIEMENTS

Le projet d'aller étudier en gemmologie à l'Université de Nantes en est un auquel je rêvais depuis de nombreuses années. Comme on le sait, le travail quotidien, les obligations familiales et les contraintes de la vie en général laissent bien peu de temps pour s'asseoir sur les bancs d'école et étudier. Sans compter qu'il y avait tout un océan à traverser!

Je n'aurais pu réaliser ce projet sans les nombreux appuis qu'on m'a accordés. À ce chapitre, j'aimerais remercier tout particulièrement madame Anne Dupéré, directrice du développement des affaires chez Diarough Canada, qui m'a non seulement offert son amitié et son soutien, mais de plus, m'a permis d'avoir accès aux échantillons de diamants nécessaires à la réalisation de ce travail. Je remercie également monsieur Saurin Parikh, président du groupe Diarough NV, qui a gracieusement consenti à me fournir les diamants. Je tiens aussi à remercier le Centre canadien de valorisation du diamant (CCVD), et plus particulièrement messieurs Émery Béland, président du conseil et Alain Bernard, directeur général, car le soutien financier du CCVD a été essentiel à la réalisation du projet.

Bien sûr, je remercie chaleureusement le Dr Emmanuel Fritsch, dont la très grande générosité intellectuelle, la patience, la disponibilité et la compréhension ont été grandement appréciées au cours des trois années qu'a duré ce projet. Enfin, je remercie toute l'équipe qui gravite autour des étudiants de gemmologie à l'Institut des matériaux Jean Rouxel, sans oublier, bien sûr, les quelques thésards qui rôdaient, toujours prêts, eux aussi, à nous aider.