

**2011**

**DIPLÔME D'UNIVERSITÉ DE GEMMOLOGIE**

Présenté

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

Par

Mme Wan Huang Bresson

**Les Traitements de la Jadéite**

Soutenu publiquement le 18 novembre 2011

Au Département des Sciences de la Terre et de l'Univers  
Devant la commission d'examen composée de :

M. E. FRITSCH	Professeur	Président
M. B. RONDEAU	Maître de conférences	Vice-président
M. F. NOTARI	Directeur, Gem TechLab	Examineur
M. C. EWELS	Chargé de Recherches	Examineur
M. C. MONNIER	Maître de Conférences	Examineur
M. B. LASNIER	Professeur émérite	Invité

## **Avant-propos**

Lorsque nous avons décidé d'étudier la gemmologie, nous nous sommes adressées au Professeur Fritsch afin de pouvoir nous inscrire au Diplôme d'Université de Gemmologie. Il nous a alors conseillé d'entreprendre préalablement des études de gemmologie classique. Nous avons suivi son conseil et durant nos études nous avons pu nous spécialiser dans l'étude de la jadéite à l'Institut de Gemmologie de l'Université des Géosciences de Chine. Ce DU en Gemmologie à l'issue duquel nous présentons ce mémoire est la dernière étape d'un projet vieux de cinq ans.

## Remerciements

Nous voudrions exprimer notre reconnaissance et adresser nos remerciements

à Monsieur le Professeur Fritsch, qui a dirigé notre formation et qui nous a suggéré le sujet de notre mémoire,

à M. Benjamin Rondeau pour ses lectures de notre mémoire et ses précieux conseils qui nous ont permis d'éviter maints écueils,

à M. Oliver Ségura qui nous a prêté ses échantillons et qui lors à son passage à Hongkong a accepté d'aller acheter des ouvrages sur la jadéite dont nous avons un besoin urgent,

à M. Zhu Yuanyi qui nous a procuré un gros bloc de cire blanche et qui nous a aussi autorisés à utiliser ses clichés qui illustrent notre travail,

à M. Guillaumet de l'Institut de Minéralogie et de Physique des Milieux Condensés qui a accepté d'analyser notre échantillon de cire blanche,

à nos camarades de promotion pour leurs témoignages d'amitié.

# Plan

## Introduction

## Première Partie

### La jadéite du Myanmar

#### I. Le gisement principal et la production

#### II. Le commerce de la jadéite au Myanmar et en Chine

##### II.1. Le commerce de la jadéite au Myanmar

##### II.2. Le commerce de la jadéite en Chine

#### III. Les caractéristiques gemmes de la jadéite

##### III. 1. Composition chimique

##### III. 2. Système cristallographique

##### III. 3. Caractéristiques physiques

###### III. 3. a. Densité

###### III. 3. b. Dureté

###### III. 3. c. Ténacité

###### III. 3. d. Clivage

###### III. 3. e. Point de fusion

##### III. 4. Caractéristiques optiques

###### III. 4. a. Couleur

###### III. 4. b. Lustre

###### III. 4. c. Transparence

###### III. 4. d. Indice de réfraction

###### III. 4. e. Polychroïsme

###### III. 4. f. Spectre d'absorption

###### III. 4. g. Luminescence

#### IV. Méthodes d'identification de la jadéite A

##### IV. 1. Tests de gemmologie classique

##### IV. 2. Les techniques de laboratoire

## Deuxième Partie

### Les principaux types de traitement de la jadéite

#### II. 1. Nomenclature: Jade A. B. C. D.

#### II. 2. Le jade jadéite A ciré

#### II. 3. Le traitement thermique

#### II. 4. Le blanchiment suivi d'imprégnation: Jade B

#### II. 5. La coloration: Jade C

#### II. 6. Le blanchiment suivi d'imprégnation et teinture : Jade B+ C

#### II. 7. Les doublets : Jade D

#### II. 8. La jadéite synthétique

## **Troisième Partie**

### **Partie expérimentale**

#### **I. Les échantillons**

#### **II. Les méthodes d'examen utilisées**

##### **II. 1. En gemmologie classique**

##### **II. 2. En gemmologie de laboratoire**

II. 2. a. Microscopie électronique à balayage (MEB)

II. 2. b. Spectrométrie d'absorption infrarouge

II. 2. c. Spectrométrie de diffusion Raman

#### **III. Résultats**

##### **III. 1 Gemmologie classique**

III. 1. a. La densité

III. 1. b. Luminescence UV

III. 1. c. Sous le filtre Chelsea

III. 1. d. Le spectroscopie à main

III. 1. e. L'indice de réfraction

III. 1. f. Sous la binoculaire

III. 1. e. 1. Les points communs

III. 1. e. 2. Les différences

##### **III. 2 Gemmologie de laboratoire**

III. 2. a. Microscope électronique à balayage (MEB)

III. 2. a. 1. L'analyse chimique

III. 2. a. 2. L'imagerie

III. 2. b. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

III. 2. c. Spectroscopie Raman à transformée de Fourier (FT Raman)

## **Conclusion**

## **Bibliographie**

## Introduction

Le mot jade désigne communément la jadéite et la néphrite. D'après le dictionnaire Larousse le mot jade viendrait de l'espagnol piedra de ijada pierre [pour guérir] la fosse iliaque. Selon l'Encyclopédie, (Diderot et al., 1779) "On a donné au jade les noms de pierre divine, à cause des propriétés merveilleuses que les Indiens lui ont attribuées ; ils croyoient que cette pierre appliquée sur les reins étoit très-propre à en soulager les douleurs, & faisoit passer le sable & la pierre par les urines; ils la regardoient aussi comme un remede souverain contre l'épilepsie, & étoient persuadés que de la porter en amulette c'étoit un préservatif contre les morsures des bêtes venimeuses. (...) Il y a peu de tems que cette pierre étoit fort en vogue à Paris, ses grandes vertus la faisoient rechercher avec empressement par les dames, & elles en payoient très-cherement les plus petits morceaux ; mais il paroît que cet enthousiasme populaire est actuellement passé, & que le jade ou la pierre divine a perdu la réputation qu'on lui avoit si légèrement accordée."

Comme le soulignait Una Pope-Hennessy (Pope-Hennessy, 1923) à propos de la Grande-Bretagne, "ce fut par l'Ouest et non par l'Est que l'*hijada* fut introduite en Europe", pourtant, c'est la Chine qui "est avant tout le pays du jade. Les chinois ont été depuis les temps les plus anciens les amateurs les plus enthousiastes de ce minéral qu'ils estiment plus précieux que les diamants, de plus de valeur que l'or ou l'argent. Il occupe le premier rang parmi les pierres précieuses."

Le mot chinois *yu* 玉 que l'on traduit par jade recouvre une réalité plus large qu'en français. (Certains ont rapidement affirmé que *yu* est composé du caractère 王 qui signifie roi, empereur, souverain et de 丩 qui renvoie à l'idée, qui signifie tenir quelque chose. Sur les carapaces de tortue qui servaient à la divination (XVI<sup>e</sup> siècle av. J.C.). Le mot jade s'écrivait 𠄎 qui renvoie à l'idée d'objets reliés entre eux par un fil. Il s'agirait donc d'une étymologie erronée qui ne serait pas dénuée d'arrière pensées mercantiles.) Le mot désigne tout type de pierre à la texture fine, dure, translucide, qui a du lustre et qui peut être gravé ou taillé pour réaliser un objet d'art. Le mot renvoie aussi à l'idée de prestige, de respect et de beauté. Le mot *yu* signifie aussi belle pierre et la "belle pierre" par excellence était la néphrite qui a d'abord servi à réaliser les objets rituels. Les principaux gisements étaient situés dans la région du fleuve Khotan (和田 Hetian).

C'est avec la conquête du Myanmar par l'empereur Qianlong 乾隆 (1711-1799) en 1769 que débuta l'histoire de la jadéite en Chine. (Lacroix, 1930) L'intérêt que l'empereur portait à cette pierre contribua à en faire la promotion. Ji Xiaolan 纪晓岚 (1724-1805) dans son *Yuewei caotang biji* 阅微草堂笔记, 15<sup>ème</sup> volume publié en 1800 évoque le passage de la jadéite de pierre peu estimée, à son statut de pierre précieuse en moins de cinquante ans. La jadéite était cependant utilisée par les Chinois depuis très longtemps. "Les gisements de Birmanie ont été découverts par un Yunnanais au XIII<sup>ème</sup> siècle ; ils furent exploités irrégulièrement pendant plusieurs siècles." (Lacroix, 1930)

La jadéite présente certaines similitudes avec la néphrite en ce qui concerne la densité et la dureté, aussi les artisans chinois n'eurent pas de mal à substituer la nouvelle pierre à la néphrite.

Signalons tout de suite qu'en gemmologie le terme générique chinois qui désigne la jadéite à l'exclusion de toute autre roche est *Fei Cui* 翡翠 (Hughes, al., 2000 ; Ouyang, 2005).

Le jade jadéite est une roche monominérale qui contient plus de 90% de jadéite. Normalement la jadéite est incolore, la couleur blanche est celle qui s'observe homogène sur un grand volume, (Lacroix, 1930) elle peut aussi être colorée en vert, brun, jaune, violet ...

Ouyang Qiumei dans son ouvrage, la jadéite par Qiumei (Ouyang, 2005), présente la palette de couleurs que peut prendre la jadéite. (Fig.1) La couleur de la jadéite est "rarement homogène dans une même plage" (Lacroix, 1930). Lacroix signale ainsi "un échantillon tirant sur l'améthyste clair tacheté de vert émeraude" il évoque dans le même article des anneaux "d'une couleur bleue lavande, dont l'intensité varie sous forme de nuages plus ou moins foncés" (Lacroix, 1930). La jadéite peut être de translucide à opaque mais "quand la jadéite est très translucide presque transparente et en même temps d'une couleur vert émeraude foncée, assez uniforme, elle devient tout à fait précieuse et sert à faire des bijoux atteignant des valeurs considérables. Elle est alors estimée en Extrême-Orient presque à l'égal de l'émeraude". Ajoutons qu'aujourd'hui cette jadéite que décrit Lacroix surpasse en valeur l'émeraude.



**Fig. 1 : Palette des couleurs de la jadéite**

Source: Ouyang (2005).

Il va de soi qu'une telle jadéite naturelle est exceptionnelle ; la tentation est alors très grande d'essayer de transformer, de la jadéite de qualité médiocre en jade précieux.

Cela peut être réalisé à l'aide de traitements dont la première étape consiste en un blanchissement suivi d'une imprégnation par différents produits.

Le sujet de ce mémoire concerne les traitements de la jadéite et leur détection.

Dans la première partie nous traiterons successivement de la localisation du gisement principal et de la production de la jadéite au Myanmar (I), du commerce de la jadéite au Myanmar et en Chine (II), des caractéristiques gemmes de la jadéite (III) et de sa détection (IV).

La deuxième partie est consacrée aux principaux traitements de la jadéite.

La troisième partie décrit les analyses en gemmologie classique et en gemmologie de laboratoire que nous avons effectuées.

Dans notre mémoire nous emprunterons certaines expressions utilisées par les gemmologues chinois pour décrire la jadéite, qui traduite en français nous semblent assez suggestives pour pouvoir être reprises.

Nous utiliserons parfois les termes jade et jadéite comme synonymes de jade jadéite.

# Première Partie

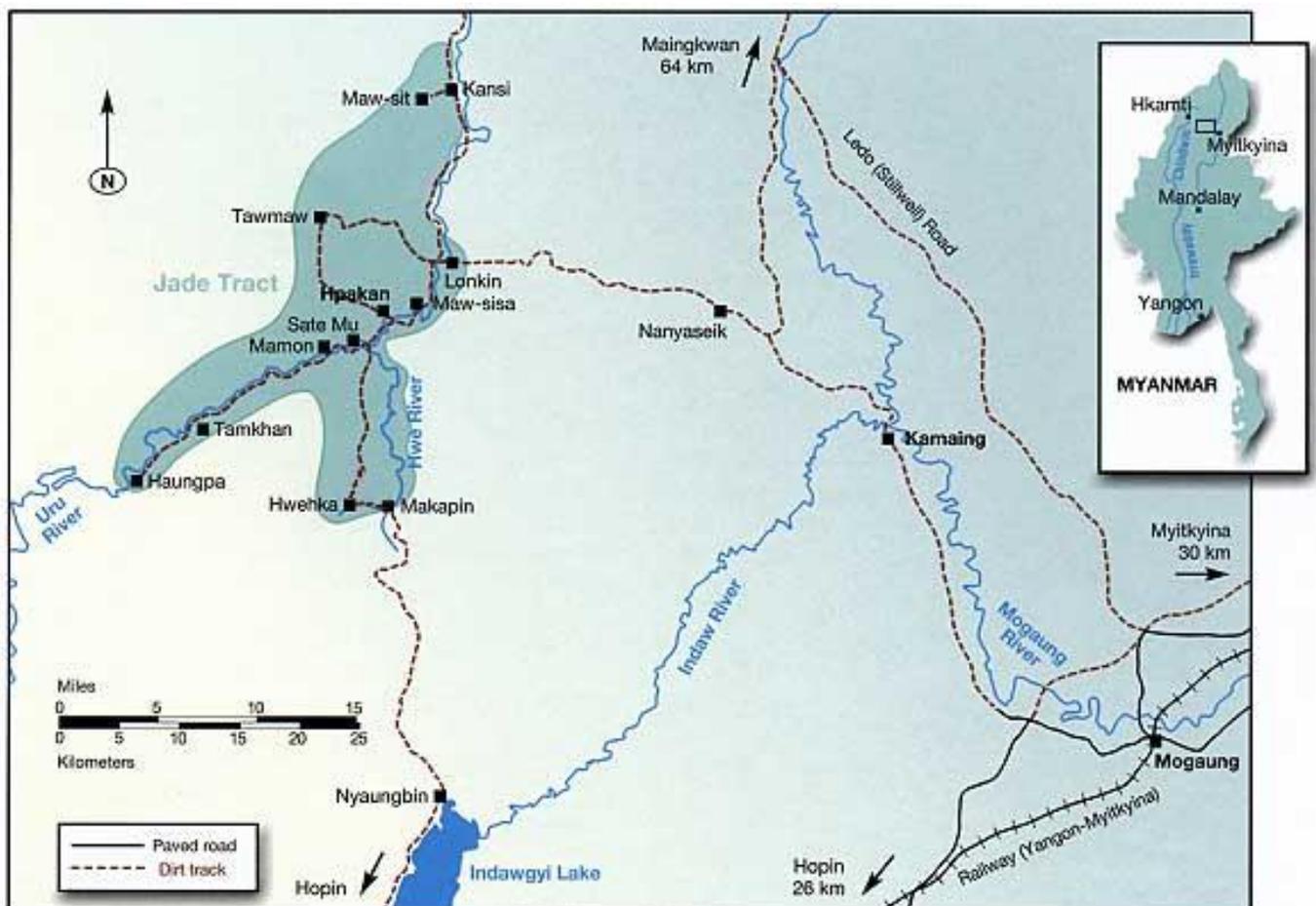
## La jadéite du Myanmar

### I. Le gisement principal et la production

Il n'existe aujourd'hui qu'entre 10 à 12 gisements exploités dans le monde.

On trouve de la jadéite au Guatemala, près de la vallée de Motagua, au Japon, à Omi-gawa et à Kotaki-gawa, (Préfecture de Niigata), au Kazakhstan, à Itmurundy, en Russie, à Ketchpel dans l'Oural polaire, à Khakasse dans les Chaînes de Borus, au Sayan occidental, aux Etats-Unis, dans des filons de serpentinite de New Idria en Californie. Roberto Compagnoni en 2002 a découvert un nouveau gisement en Italie à Punta Rasciassa, dans les Alpes occidentales. (Harlow, Sorensen, 2001) Mais les gisements commerciaux importants sont tous situés au Myanmar.

Le gisement le plus important pour le commerce est le « Jade Tract » ou Route du Jade, dans l'état de Kachin au nord de la Birmanie. Hpakan est le district minier principal (Central Jade Tract) au centre nord du Myanmar. (Fig. 1.I.1)



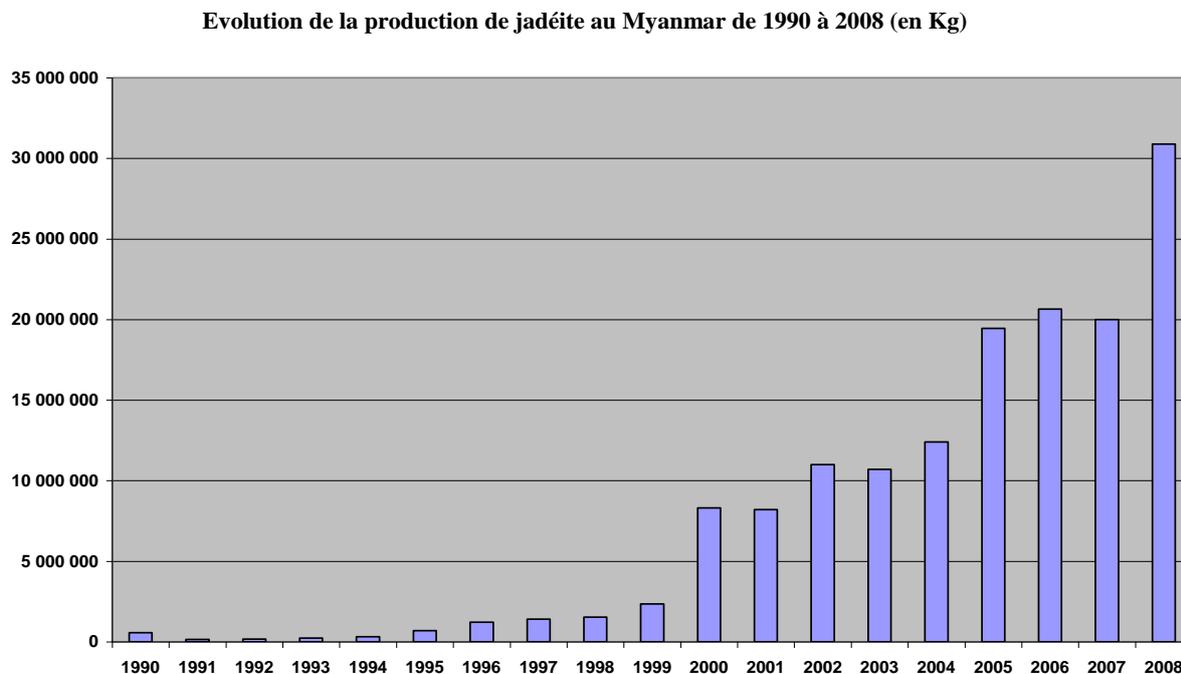
**Fig. 1.I.1 : District minier de Hpakan**  
Source: R.W. Hughes et G. Bosshart (2000).

La production de jadéite au Myanmar est en constante augmentation. Entre 1990 et 2008 la production a été multipliée par 53. (Tableau I) En dépit d'un léger fléchissement en 2007 par rapport à 2006 la production a connu une très forte croissance entre 2007 et 2008 elle est passée de 20 003 tonnes pour atteindre 30 896 tonnes, soit une augmentation de 54%. (Fig. 1.I.2)

**Tableau I : Production de jadéite au Myanmar (kg)**

Année	Kilogrammes
1990	576 000
1991	150 000
1992	162 964
1993	223 980
1994	316 543
1995	702 751
1996	1 214 711
1997	1 400 000
1998	1 525 578
1999	2 342 108
2000	8 318 261
2001	8 200 000
2002	11 000 000
2003	10 692 780
2004	12 407 576
2005	19 445 758
2006	20 646 832
2007	20 003 409
2008	30 896 440

**Fig. 1.I.2 : Evolution de la production de jadéite au Myanmar de 1990 à 2008. (En Kg)**



Source: Association of Southeast Asian Nations,  
<http://www.asean.org/aadcp/repsf/publications.html>

## II. Le commerce de la jadéite au Myanmar et en Chine

### II.1. Le commerce de la jadéite au Myanmar

En 2005 le gouvernement du Myanmar a déclaré que la jadéite constitue un "trésor national" et a décidé que toutes les ventes de jadéite s'effectueraient aux enchères.

Elles se déroulent 6 fois par an, elles sont organisées par "Myanmar Gems Entreprise" à Rangoon et proposent des lots de pierres brutes et polies. (Fig. 1.II.1 à 5)

Les ventes de jadéite ont suivi le même mouvement que la production. (Tableau I) En mars 2011 le 48<sup>ème</sup> Myanma Gems Emporium a proposé 13 608 lots pour un chiffre d'affaire de 2.2 milliards d'euros. En raison du contexte politique il est difficile d'affirmer que les statistiques que nous rapportons sont exactes, elles traduisent cependant une très forte hausse de la production et des revenus qu'elle procure. (Tableau II) Cette hausse pourrait s'expliquer en partie par la croissance du pouvoir d'achat des Chinois qui peuvent maintenant consacrer une part de leur revenu à l'achat de bijoux.

**Tableau II : Vente de Jadéite (aux enchères au Myanmar)**

Année	Nombre de lots	C.A.
Mai 2010	Plus de 7000	Plus de 400 M €
Mars 2009	Plus de 3500	Plus de 140 M €
Nov. 2007	Plus de 5500	Près de 300 M \$
Mars 2007	3508	Près de 300 M \$

Source: Annual (Spring) and Mid-Year (Fall) Myanma Gems Emporium

[http://www.palagems.com/gem\\_news\\_burma\\_stats.php](http://www.palagems.com/gem_news_burma_stats.php)



**Fig. 1.II.1**

Salle des ventes

Mars 2007, à Yangon

Myanma Gems Emporium. (Photos: Mark H. Smith, Thai Lanka Trading Ltd. Part.)

Source: [http://www.palagems.com/gem\\_news\\_2007\\_v3.php](http://www.palagems.com/gem_news_2007_v3.php)



**Fig. 1.II.2**

**Juillet 2007**

**Lot: 5535. 2 blocs, 113Kg**

**Prix de réserve 26 888 000 €.**

Source : <http://aylp.2008.blog.163.com/blog/static/2060765420078220824558/>



**Fig. 1.II.3**

**Novembre 2010, à Yangon.**

**Bloc de jadéite lavande, adjudé : 19 899 999 €.**

Source : <http://www.qchzb.com/info/infoContent/335/72649.html>



**Fig. 1.II.4**

**46<sup>eme</sup> Emporium, Mars 2011**

**À Nay Pyi Taw.**

**Lot : 16614. 2 blocs, 320g**

**Prix de réserve 500 000 €,**

**Adjugé à 2 698 889€.**

Source : Blog de Wan Jun, [http://blog.sina.com.cn/s/blog\\_629e87ff0100qvur.html](http://blog.sina.com.cn/s/blog_629e87ff0100qvur.html)



**Fig. 1.II.5**

**46<sup>eme</sup> Emporium, Mars 2011**

**À Nay Pyi Taw.**

**Lot : 16635. 2 blocs, 1.5Kg.**

**Prix de réserve 168 000 €**

**Adjugé à 1 640 000 €.**

Source : Blog de Wan Jun, [http://blog.sina.com.cn/s/blog\\_629e87ff0100qvur.html](http://blog.sina.com.cn/s/blog_629e87ff0100qvur.html)

## II.2. Le commerce de la jadéite en Chine

La jadéite est un produit de luxe, aussi ce marché est soumis aux variations du revenu des consommateurs. C'est un marché très volatil sensible aux mesures gouvernementales tendant à limiter l'expansion des liquidités et aux actions sur la courbe de l'inflation. La chute de la consommation et de la demande a des répercussions sur le marché du jade. C'est donc un marché sensible à la situation économique globale. Les achats chinois de jadéite brute proviennent du Myanmar qui exporte 90% de sa production vers la Chine.

En Chine les principaux centres de transformation et de vente sont situés à Shenzhen, Panyu, Dongguan et Guangzhou dans la province du Guangdong. Historiquement la province du Guangdong a été un site important de la production bijoutière. Guangzhou est considéré comme la ville du bijou, le chiffre d'affaire pour le jade, le cristal de roche, les perles et les gemmes était estimé à 45 milliards de *Ren Min Bi* en 2008 soit entre 600 et 700 millions de dollars américains (Jade Art Group, [http://www.jadeartgroupinc.com/pdf/jada\\_080618\(AMI%20report\).pdf](http://www.jadeartgroupinc.com/pdf/jada_080618(AMI%20report).pdf), p.12.)

La Compagnie Jade Art Group estime à 150 000 le nombre d'entreprises intervenant sur le marché et qu'en quelques années le nombre de salariés est passé de 20 000 à 2 millions (en 2008). En 2008 la compagnie prévoyait jusqu'en 2013 une croissance annuelle du secteur de 15%. Cette croissance du marché s'est accompagnée d'une hausse des prix ; la compagnie Jade Art Group indique que le prix du jade a été multiplié par 10 000 en trente ans.

Le prix de la jadéite varie en fonction de la qualité du produit. S'il est possible de se procurer des bijoux en jadéite pour quelques euros,<sup>1</sup> les plus belles pièces se négocient à plusieurs centaines de milliers d'euros voire plusieurs millions<sup>2</sup> et c'est ce segment du marché qui est le plus sensible aux contraintes économiques. L'incertitude du public sur la qualité du produit constitue le sujet majeur pour l'industrie de la jadéite. Même si les tentatives d'escroquerie

---

<sup>1</sup>Un site internet propose, " LA PERLE CHINOISE VERTE DE JADÉITE DE JADE DE LA BIRMANIE PERLE LE BRACELET" (il s'agit d'un bracelet) pour 29\$.

<http://fr.aliexpress.com/product-fm/456524772-GREEN-BURMA-CHINESE-JADE-JADEITE-BEAD-BEADS-BRACELET-wholesalers.html>

Sur un autre site un bracelet est proposé pour 59 RMB soit 5 euros environ.

[http://item.tmall.com/item.htm?id=9249935319&prc=1&source=dou&cm\\_cat=50015926](http://item.tmall.com/item.htm?id=9249935319&prc=1&source=dou&cm_cat=50015926)

<sup>2</sup> Voir Christie's Hongkong novembre 1997 lot. 1843 collier "Doubly Fortunate" constitué de 27 perles en jadéite de 15 mm Ø environs vendu 9,3 millions \$.

[http://www.palagems.com/burma\\_jade\\_pt2.htm](http://www.palagems.com/burma_jade_pt2.htm)

Sotheby's, le 7 avril 2010 vente N° HK 0322 à Hongkong, (lot 1457) un collier en jadéite constitué de 35 perles a été vendu 4 157 302EUR.

<http://www.sothebys.com/fr/catalogues/ecatalogue.html/2010/magnificent-jewels-jadeite-hk0322#/r=/fr/ecat.fhtml.HK0322.html+r.m=/fr/ecat.lot.HK0322.html/1457/>

Sotheby's, le 9 décembre 2010 vente N° N08687 à New York (lot 435) un collier en jadéite constitué de 30 perles et de 2 cabochons a été vendu 1 986 500 \$.

<http://www.sothebys.com/fr/catalogues/ecatalogue.html/2010/magnificent-jewels-n08687#/r=/fr/ecat.fhtml.N08687.html+r.m=/fr/ecat.lot.N08687.html/435/>

Christie's, le 31 mai 2011 vente N° 2866 à Hongkong, (lot 3282) une bague avec un cabochon en jadéite (23.9x20.7x13.5mm) a été vendu 1 242 358\$.

[http://www.christies.com/lotfinder/lot\\_details.aspx?intObjectID=5442134&CID=5447010005801b](http://www.christies.com/lotfinder/lot_details.aspx?intObjectID=5442134&CID=5447010005801b)

Sotheby's, le 8 octobre 2007 vente N° HK 0255 à Hongkong (lot 1088) un bracelet en jadéite a été vendu 1 060 988 EUR.

<http://www.sothebys.com/fr/catalogues/ecatalogue.html/2007/magnificent-jewels-and-jadeite-hk0255#/r=/fr/ecat.fhtml.HK0255.html+r.m=/fr/ecat.lot.HK0255.html/1088/>

Sotheby's, le 9 juin 2010 vente N° PF1016 à Paris (lot 22) un lot comprenant deux tabatières, un bracelet, un pendentif, deux grues sous les lingzhi et un singe tenant une branche de pêcher, estimé à 2000- 3000 EUR adjudgé à 96750 EUR.

<http://www.sothebys.com/fr/catalogues/ecatalogue.html/2010/asian-art-pf1016#/r=/fr/ecat.fhtml.PF1016.html+r.m=/fr/ecat.lot.PF1016.html/22/>

importante sont rares de nombreux détaillants observent un silence dolosif sur les traitements qu'ont subi les produits qu'ils proposent à leur clientèle. On a estimé que 90% des jadéites vendues à Taiwan et Hongkong à la fin des années 1980 avaient subies un blanchiment suivi d'une imprégnation. (Fritsch et al., 1992)

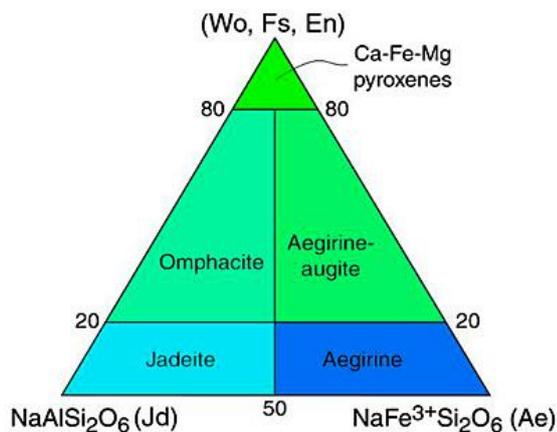
Soulignons pour finir que si les prix pratiqués peuvent sembler dérisoires en euros, ils sont cependant très élevés en parité de pouvoir d'achat.

### III. Les caractéristiques gemmes de la jadéite

#### III. 1. Composition chimique

Le jade jadéite est une espèce minérale qui appartient au groupe des pyroxènes. Sa composition chimique est  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ . (Fig. 1.III.1 et 2) Le jade jadéite est composé à plus de 90% de jadéite. C'est une roche essentiellement monominérale composée de cristaux de jadéite allongés et enchevêtrés. (Ouyang, 2005)

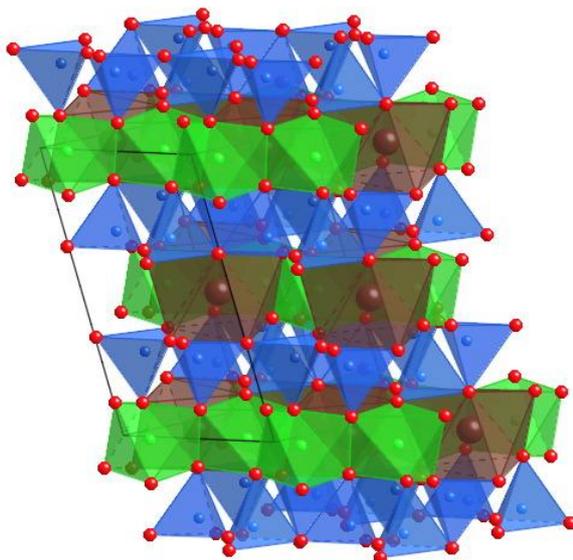
Le jade contient souvent une petite proportion de diopside ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ) qui peut en de rares occasions le faire basculer dans le champ minéralogique de l'omphacite. On parle alors de jade omphacite.



**Fig. 1.III.1 : Triangle de composition des pyroxènes sodiques**

Source :

<http://www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryP.html>



Na<sup>+</sup> : marron  
Al<sup>3+</sup> : vert  
Si<sup>4+</sup> : bleu  
O<sup>2-</sup> : rouge

**Fig. 1.III.2 : Structure de la jadéite en image.**

Source :

<http://som.web.cmu.edu/structures/S093-jadeite.html>

Le vert émeraude provient du chrome, sous forme  $\text{Cr}^{3+}$  en coordination octaédrique et le vert jaunâtre à la présence de  $\text{Fe}^{3+}$  en coordination octaédrique. Le violet résulte du transfert de charge  $\text{Fe}^{2+} - \text{O} - \text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Mn}^{3+}$ . (Fritsch et Rossman, 2001)

### **III. 2. Système cristallographique**

La jadéite appartient au système triclinique.

Dans ce système, la maille élémentaire a trois arêtes différentes et trois angles égaux différents de 90°. Il n'y a qu'un centre de symétrie.

### **III. 3. Caractéristiques physiques**

#### **III. 3. a. Densité**

La densité d'un minéral dépend de sa composition chimique et de sa structure, elle peut en faciliter la détermination.

En raison de sa composition minéralogique variable, la densité de la jadéite varie généralement entre 3,25 et 3,40g/cm<sup>3</sup>. (Lacroix, 1930) Cette variation est due principalement à la présence plus ou moins importante d'autres minéraux plus légers généralement que la jadéite.

#### **III. 3. b. Dureté**

La dureté de la jadéite varie sur l'échelle de Mohs de 6,5 à 7. La dureté sur la direction parallèle à l'axe c est inférieure à celle dans la direction perpendiculaire à l'axe c et la répartition des grains de cristaux est aléatoire. Après polissage, la surface de la jadéite n'est donc pas lisse comme les autres gemmes monocristallines, on peut voir des reliefs irréguliers qui font penser à une peau d'orange, en raison des différences de dureté relative. (Yuan, 2005)

#### **III. 3. c. Ténacité**

La jadéite est constituée de cristaux allongés en forme de prismes enchevêtrés de manière compacte qui enserrant d'autres cristaux. Cette disposition confère au matériau une forte résistance à la rupture et une barrière à la propagation des fissures. L'enchevêtrement des cristaux donne à la roche une plus grande dureté et une plus grande résistance que le monocristal isolé. (Ouyang, 2005)

#### **III. 3. d. Clivage**

Certains minéraux se fracturent suivant des plans privilégiés. Ce sont les plans de clivages, toujours en accord avec la symétrie du cristal et avec la disposition des atomes (plans de liaison plus faibles du réseau cristallin). (Pomerol et al., 2003)

L'angle des {110} et {110} (respectifs) des pyroxènes est d'environ 87° ou 93°. (Ouyang, 2005)

### **III. 4. Caractéristiques optiques**

#### **III. 4. a. Couleur**

Voir pages 5-6 et Fig.1.

#### **III. 4. b. Lustre**

Le lustre de la jadéite peut être vitreux ou gras.

#### **III. 4. c. Transparence**

La jadéite peut être transparente à opaque.

La transparence dépend de la taille des cristaux. (Ouyang, 2005)

1. Structure en gros grain : quand la taille des cristaux visible à l'œil nu est > 2mm, la jadéite est opaque ;
2. Structure en moyen grain : quand la taille des cristaux visible à l'œil nu est comprise entre 1mm et 2mm, la jadéite est entre opaque et translucide ;
3. Structure en petit grain : quand la taille des cristaux visible à la loupe est comprise entre 1mm et 0.5mm, la jadéite est translucide ;

4. Structure en mini grain : quand la taille des cristaux visible à la loupe est comprise entre 0.5-01.mm, la jadéite est entre translucide et transparente ;
5. Structure cryptocristalline : quand la taille des cristaux est <0.1 mm, la jadéite est transparente.

#### III. 4. d. Indice de réfraction (I.R.)

I.R. = 1,66 environ.

Ng (le plus grand des indices) = 1,652-1,673, Nm (l'indice intermédiaire)= 1,645-1,663, Np (le plus petit des indices)= 1,640-1,658, DR (biréfringence) : 0,012-0,015.

(<http://www.geminterest.com/gemlistpop.php?ID=73> )

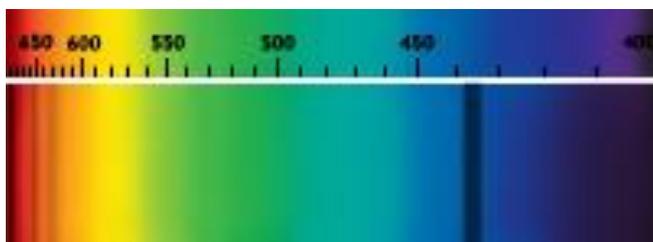
#### III. 4. e. Pléochroïsme

La transparence de la jadéite est peu élevée, elle ne montrera donc pas de dichroïsme. Lorsque la jadéite est assez transparente elle est souvent incolore ou blanche et on ne peut donc pas observer de dichroïsme. Il peut cependant être observé sur de la jadéite tranchée en lame pétrographique mince de 30 µm environ d'épaisseur. (Lacroix, 1930)

#### III. 4. f. Spectre d'absorption

Normalement dans la zone bleue-violet on observe une bande d'absorption à 437 nanomètres (nm) qui indique la présence de Fe<sup>3+</sup>. Avec de la jadéite verte, on observe dans la zone rouge trois fines bandes d'absorption (630 nm, 660 nm, 690 nm) qui proviennent de la présence de chrome. (Fig. 1.III.3)

Les jadéites violettes, rouge brique, jaune, marron ne présentent pas de bande d'absorption dans la zone rouge.



**Fig. 1.III.3 : Bande d'absorption de jadéite A verte sous lumière visible**

Source : <http://www.geminterest.com/gemlistpop.php?ID=73>

#### III. 4. g. Fluorescence

Normalement les jadéites vertes et violettes sous rayonnement ultraviolet (UV) long 365 nm ou sous UV court 254 nm ne présentent pas de fluorescence. Les jadéites rouge brique, jaune, marron sous UV courts présentent de la fluorescence violet pâle que l'on n'observe pas sous UV longs. (Ouyang, 2005)

## IV. Méthodes d'identification du jade jadéite A

### IV. 1. Tests de gemmologie classique

IV. 1. A. à l'œil nu et à l'aide de la binoculaire:

a. la couleur

La couleur de la jadéite est très variable. On ne peut pas détecter la jadéite par sa couleur seulement.

b. la transparence

La transparence n'est pas un critère d'identification du jade jadéite A.

c. la "peau d'orange"

Dans les ateliers chinois les artisans n'utilisent que très rarement de la poudre de diamant pour le polissage de la jadéite, en conséquent la surface des objets est inégale et présente des reliefs qui font penser à une peau d'orange. L'expression "peau d'orange" (桔皮, *jupi*) est une métaphore qui sert à décrire la surface d'un objet en jadéite. (Fig.1.IV.1.)

La binoculaire permet d'observer à la surface de la jadéite avec un polissage moyen un effet "peau d'orange", mais cela ne constitue pas le signe d'un traitement.



**Fig.1.IV.1 : La "peau d'orange"**

Source: Zhang (2006).

d. les "ailes de mouche"

Les deux groupes de clivages des grains de cristaux provoquent des réflexions de la lumière dans deux directions. En raison de la taille des grains, la réflexion de la lumière présente parfois des petits points, parfois des taches brillantes similaires à celles que l'on voit sur les ailes des mouches (蒼蠅翅, *cangying chi*) (Hu Ch-Y, 2003). (Fig.1.IV.2.) On peut observer ce phénomène à l'œil nu ou sous la binoculaire.



**Fig. 1.IV.2 : Les "ailes de mouche"**

Source: Yuan (2005).

e. les "souillures" (脏色, *zangse*, "couleur sale" en chinois)

Dans certains objets en jadéite on peut observer des souillures (inclusions minérales, comme l'hématite ou autres) à l'œil nu ou sous la binoculaire. Certains commerçants en Chine affirment qu'une jadéite n'a pas reçu un traitement chimique lorsqu'elle présente ces inclusions.

IV. 1. B. Le polariscope

La jadéite est un matériau polycristallin. A l'aide du polariscope nous observons que l'échantillon demeure éclairé durant la rotation.

IV. 1. C. Le réfractomètre

Nous avons déjà écrit qu'il est difficile d'obtenir un polissage parfait de la jadéite aussi en laboratoire on mesure son indice de réfraction selon la méthode du point. Pour réaliser cette mesure il est recommandé de choisir le côté le mieux poli de l'échantillon.

#### IV. 1. D. La balance hydrostatique

On utilise une balance hydrostatique pour mesurer la densité.

$$\text{Densité} = A / (A-B)$$

A= Poids de la pierre dans l'air,

B= Poids de la pierre dans l'eau

(Payette, 2002)

#### IV. 1. E. La lampe UV

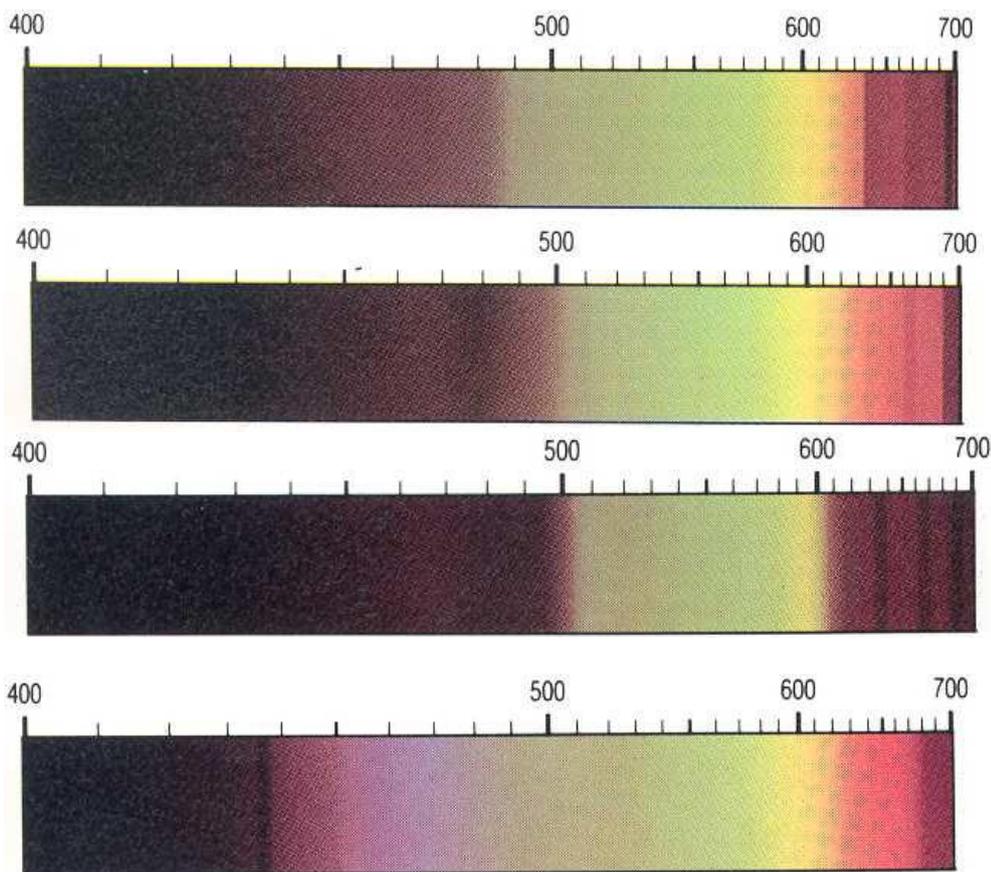
La lampe UV permet d'observer la fluorescence de l'échantillon dans une chambre noire. La lampe produit des rayonnements ultraviolets, UV long à 365nm et UV court à 254nm.

#### IV. 1. F. Le filtre Chelsea

Le filtre Chelsea permet de voir si l'échantillon vert a été coloré par une teinture riche en chrome.

#### IV. 1. G. Le spectroscope

On utilise le spectroscope gemmologique pour observer le spectre d'absorption. (Fig. 1.IV.3.)  
Le spectromètre à main permet de conforter notre opinion, la jadéite a une bande d'absorption à 437 nm, qui est un bon critère de détermination.



**Fig. 1.IV.3 : Quelques spectres caractéristiques du jade jadéite A.** Source: Standard methods for testing Fei Cui (jadeite jade) for Hong Kong (2006).

Dans la zone rouge on peut observer 1 à 3 bandes d'absorption qui indiquent la présence de  $\text{Cr}^{3+}$ , ces bandes n'apparaissent pas en l'absence de  $\text{Cr}^{3+}$ .

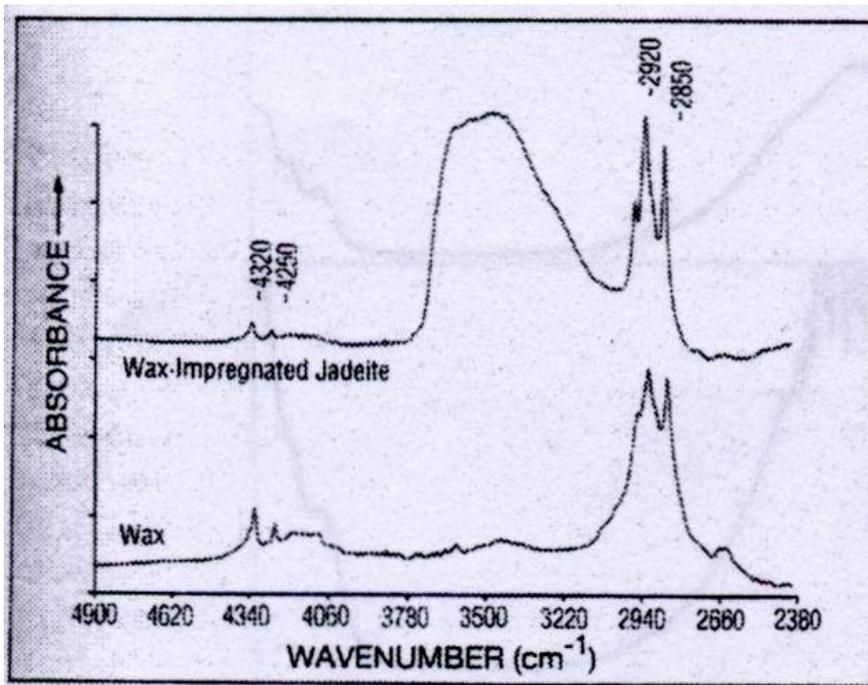
## IV. 2. Les techniques de laboratoire

### II. 2. A. La spectrométrie infrarouge

C'est la technique d'investigation qui fut proposée en premier (Hurwit, 1989 ; Fritsch et al., 1992). Cette technique est liée aux propriétés de vibration des liaisons interatomiques. La méthode consiste à irradier l'échantillon par un rayonnement infrarouge. Quand la fréquence du rayonnement correspond à une fréquence de vibration des molécules exposées, il se produit un phénomène d'absorption. Ceci se traduit par un pic d'absorption sur le spectre en absorbance. La spectroscopie infrarouge est généralement utilisée sur les jadéites pour détecter la présence de résine d'époxy.

Dans les différentes zones d'absorption les pics et les bandes révèlent certaines caractéristiques.

Le jade jadéite A fait apparaître une bande d'absorption à  $2600\text{ cm}^{-1}$  en son centre et une deuxième à  $3500\text{ cm}^{-1}$  en son centre. Cela ne permet pas d'affirmer qu'on est en présence de jadéite parce qu'il est possible de retrouver des bandes d'absorption similaires dans la plupart de silicates. (Yuan, 2005) Nous obtenons aussi un autre spectre d'absorption compris entre  $2960$  et  $2850\text{ cm}^{-1}$  qui lui est dû à la présence de la cire blanche appliquée après de la dernière phase de polissage. (Fig. 1.IV.4) (Fritsch, 1992 ; Qi & Yuan, 2005)



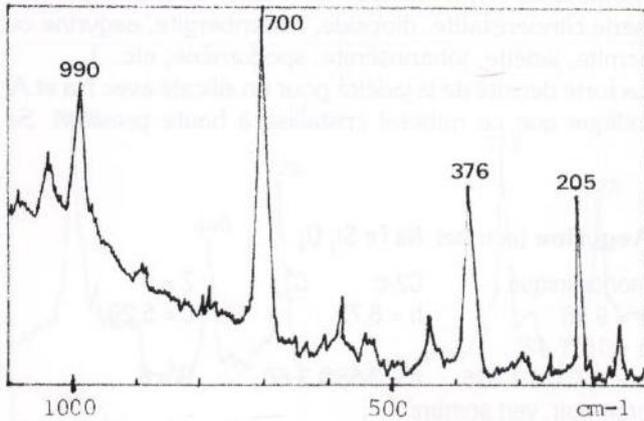
**Fig. 1.IV.4 : Haut : Spectre Infrarouge du jade jadéite A, avec les pics caractéristiques à  $4320\text{ cm}^{-1}$ , à  $4250\text{ cm}^{-1}$ , à  $2920\text{ cm}^{-1}$  et à  $2850\text{ cm}^{-1}$ . Bas : Spectre Infrarouge de la cire blanche.**

Source : Fritsch, 1992.

### IV. 2. C. La spectrométrie de diffusion Raman

La spectrométrie de diffusion Raman fonctionne selon le même principe que la spectrométrie d'absorption infrarouge. Elle transforme la réponse vibrationnelle de systèmes moléculaires et de solides cristallisés et amorphes par la mesure de la lumière diffusée, après excitation avec un rayonnement laser intense monochromatique en une longueur d'onde spécifique. Le spectre obtenu est unique pour la structure moléculaire du matériau analysé. Les pics ou les bandes individuels sont caractéristiques des différents groupes.

Dans la *Microsonde Raman en Gemmologie* H-J Schubnel et M Pinet indiquent que les pics de  $990\text{ cm}^{-1}$ ,  $700\text{ cm}^{-1}$ ,  $376\text{ cm}^{-1}$ ,  $205\text{ cm}^{-1}$  sont les pics caractéristiques de la jadéite. (Fig. 1.IV.5) La vibration asymétrique de la liaison du Si-O-Si peut provoquer les pics caractéristiques de  $702\text{ cm}^{-1}$  et de  $378\text{ cm}^{-1}$  et la vibration symétrique de la liaison du Si-O-Si peut provoquer les pics caractéristiques de  $1041\text{ cm}^{-1}$  et  $993\text{ cm}^{-1}$ . (Yuan, 2005)



**Fig. 1.IV.5 :** Spectre Raman du jade jadéite A, avec les grands pics caractéristiques à  $376\text{ cm}^{-1}$ , à  $700\text{ cm}^{-1}$ , à  $205\text{ cm}^{-1}$  et à  $990\text{ cm}^{-1}$ , d'après Pinet et al, 1992.

## Deuxième Partie

### Les principaux types de traitement de la jadéite

#### II. 1. Nomenclature: Jade A. B. C. D.

Les notions de jade A., B., C. et D. ont été créées à l'usage du commerce de la jadéite à Hongkong dans les années 1980. Pour définir les différents types de jadéite répondant aux types de Jade A, B, C, B+C. nous nous référons au "Standard methods for testing Fei Cui (jadeite jade) for Hong Kong (2006) (HKSM/JJT)" <http://www.gahk.org/en/gemtest.asp>. Selon ce texte :

1. Le type A est un jade jadéite (Fei Cui) qui n'a subi aucune forme de traitement chimique.
2. Le type B est un jade jadéite (Fei Cui) qui a fait l'objet d'un traitement chimique et d'une imprégnation de résine.
3. Le type C est un jade jadéite (Fei Cui) qui a été teinté par un colorant.
4. Le type B+C est un jade jadéite (Fei Cui) qui a été traité par des produits chimiques, qui a été imprégné de résine et teinté avec un colorant.

La notion de Jade D qui n'est pas citée par le HKSM/JJT et que Madame Ouyang signale (Ouyang, 2005) est un assemblage de jadéite naturelle et d'un autre matériau ; un doublet.

Le jade D est une jadéite constituée d'une surface extérieure en jadéite naturelle dans laquelle on a inséré une matière exogène : teinture, verre ou quartz coloré, ce peut-être aussi un simple collage. (Lacroix, 1930) La catégorie Jade Jadéite D a été créée plus tardivement et on ne la rencontre que rarement. Dans la suite de ce travail nous nous référons aux définitions données ci-dessus.

#### II. 2. Le jade jadéite A ciré

Dans le Standard methods for testing Fei Cui (jadeite jade) for Hong Kong (2006) le jade jadéite A est défini négativement. Le critère qui le distingue des autres types de jadéite est l'absence de traitement chimique, mais cela ne signifie pas que le jade jadéite ne puisse pas recevoir un quelconque traitement. Au pied du tableau qui définit les différents types de jadeite une note indique : "To polish natural Fei Cui (Jadeite Jade) with colourless wax, which does not cause any damage on the crystalline structure of the jadeite jade, shall not be classified as a chemical treatment."

Dans le même esprit le décret (français) du 14 janvier 2002 relatif au commerce des pierres gemmes et des perles dispose dans son article 3.

L'apposition de la mention "traité" ou l'indication du traitement n'est pas obligatoire pour les pierres gemmes, matières organiques, perles fines et perles de culture ayant subi les pratiques lapidaires traditionnelles suivantes :

- une imprégnation par une substance incolore fluide ;
- un traitement thermique, sous réserve que les éventuels résidus de chauffage en surface ne provoquent pas de rupture de réflexion visible à la loupe de grossissement 10 fois ;
- un blanchiment sans adjonction de produits colorants ou de vernis.

Tous les objets en jade reçoivent un traitement de finition à la cire blanche. C'est un abus de langage de qualifier le jade jadéite A de jade non traité et l'imprégnation de la jadéite par de la cire blanche ne saurait disqualifier le jade jadéite A pour en faire du jade B.

On peut cependant distinguer les traitements de surface des traitements plus intenses.

Le traitement de surface consiste à plonger l'objet dans de la cire blanche liquide pour en assurer une égale répartition. L'objet est ensuite soigneusement essuyé et poli avec un tissu doux. (Fig. 2.II.1 et 2) L'objet est tout simplement ciré. Ce traitement est aussi pratiqué sur la néphrite, l'agate, et sur les marbres paysagés. (Zhang B. et al. 2006)

L'objet peut aussi subir un traitement plus intense. L'objet est placé dans de la cire liquide à basse température (le point de fusion de cette cire se situe à environ 80°C). La durée de ce traitement est variable mais peut se prolonger pendant plusieurs heures. Par ce procédé la cire pénètre la jadéite et cela constitue une véritable imprégnation. Ce traitement qui était autrefois pratiqué sur la néphrite est un traitement traditionnel. Ce traitement avec imprégnation concerne la quasi-totalité des objets que l'on retrouve sur le marché. Il n'est en aucun cas considéré comme un traitement chimique.



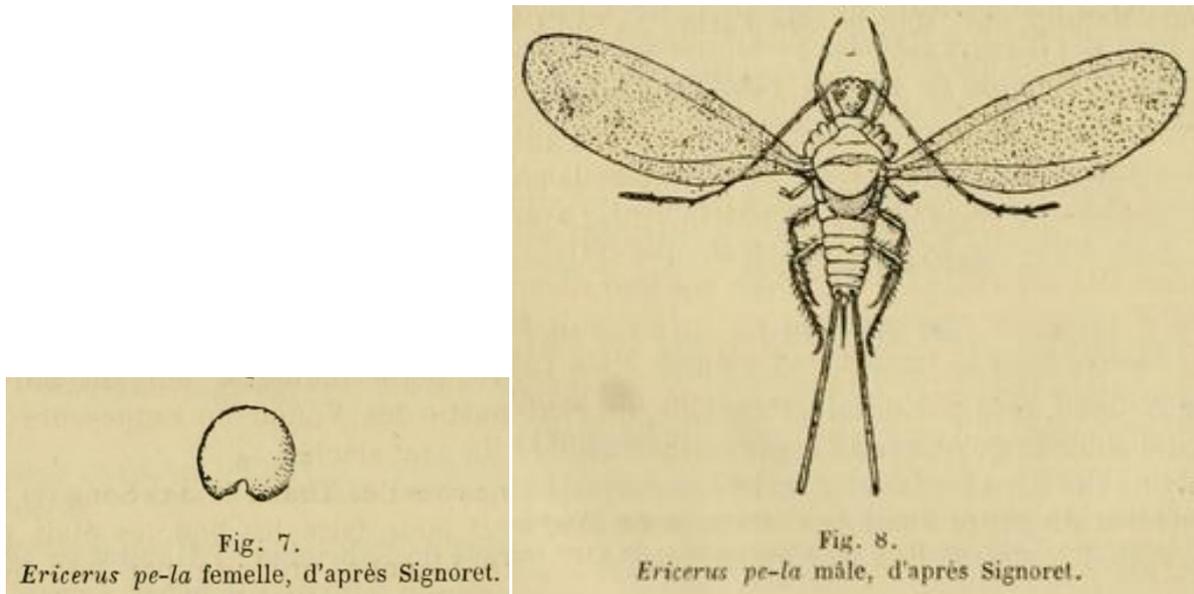
**Fig. 2.II.1 : Bracelets trempés dans la cire blanche chauffée au bain-marie. (Photo : Zhu Yuanyi)**



**Fig. 2.II.2 : Ouvrière retirant l'excédent de cire avant le polissage de finition. (Photo : Zhu Yuanyi)**

Cette cire appelée Tchang-Pilah (川白蜡 *chuan baila*) a été observée en Chine à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle par des scientifiques français. (Cibot, 1788 ; Reclus, 1882 ; Bugnion & Popoff, 1908) Cette cire est la sécrétion de l'*Ericerus Pela* mâle (Chavannes) (Fig. 2.II.3) qui donne le

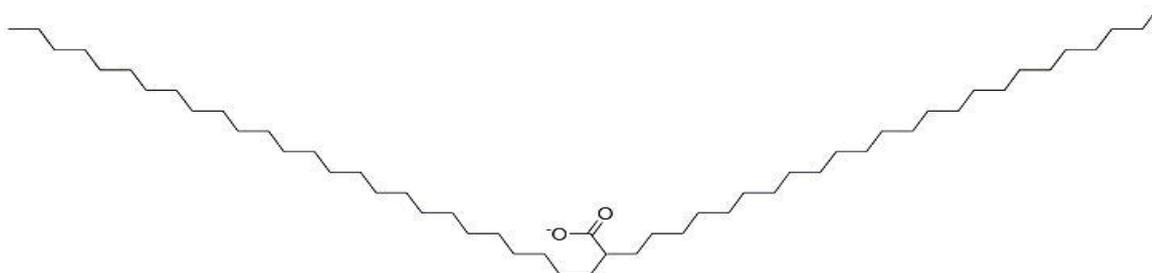
Cerylcerotate, dont la composition chimique est  $C_{25}H_{51}COOC_{26}H_{53}$ . (Fig. 2.II.4) (Blanchard, 1883 ; Lung, 2001)



**Fig. 2.II.3 : *Ericerus pe-la* femelle et mâle. (Bulletin de la Société zoologique de France, 1883, t.8, pp.240-241.)**

"L'*Ericerus pe-la* est au nombre des Cochenilles cirières, mais il présente ceci de remarquable, que les femelles restent libres, tandis que le soin de fabriquer la cire est dévolu aux mâles."

<http://www.biodiversitylibrary.org/page/11227034#page/262/mode/1up>



**Fig. 2.II.4 : Structure du Cerylcerotate.**

**Tableau III : Principales bandes caractéristiques du Cerylcerotate**

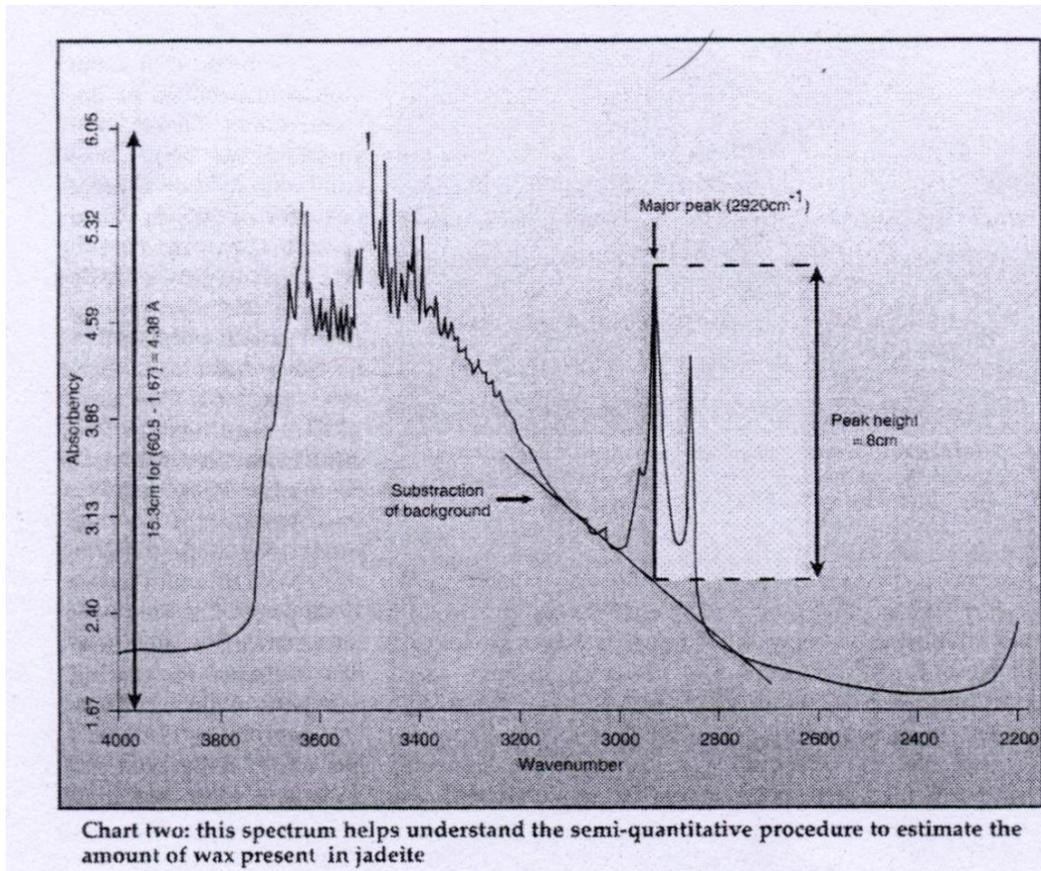
Fréquence ( $cm^{-1}$ )	Attribution
2960	Vas —CH <sub>3</sub>
2880	Vs —CH <sub>3</sub>
2926	Vas —CH <sub>2</sub> —
2850	Vs —CH <sub>2</sub> —

s= symétrique ; as= asymétrique, v= vibration de valence.

Il contient 46 groupements —CH<sub>2</sub>— et 2 groupements —CH<sub>3</sub>. Le groupe méthylène est beaucoup plus important que le groupe méthyle. Donc l'absorption du Vas CH<sub>2</sub> (2926  $cm^{-1}$ ) est plus importante que Vas CH<sub>3</sub> (2960  $cm^{-1}$ ), l'absorption du vs CH<sub>2</sub> (2850  $cm^{-1}$ ) est plus importante que vs CH<sub>3</sub> (2880  $cm^{-1}$ ). (Qi & Yuan, 2005)

La spectrométrie infrarouge permet de détecter la présence de cette cire. Les 3 pics d'absorption à 2850  $cm^{-1}$ , à 2926  $cm^{-1}$  et à 2960  $cm^{-1}$  sont la signature de cette cire. Le pic à 2926  $cm^{-1}$  est le plus important. (Yuan, 2005)

Le Professeur Fritsch propose une méthode qui permet de comparer les concentrations de matériaux d'imprégnation et de cire en particulier : "Pour cela on mesure l'intensité du plus haut pic à environ  $3000\text{ cm}^{-1}$  puis on divise cette hauteur par l'épaisseur de l'échantillon (selon le trajet du faisceau infrarouge) exprimé en cm." On peut ainsi différencier de la jadéite légèrement frottée avec de la cire d'une jadéite fortement imprégnée de ce produit. (Fritsch, 1994 ; Fritsch et al., 1999) (Fig. 2.II.5)



**Fig. 2.II.5 :** Le spectre permet d'estimer la quantité de cire dans la jadéite.  
Source : Fritsch, 1994.

### II. 3. Le traitement thermique

Le traitement thermique de la jadéite se pratique depuis fort longtemps, ce traitement est non réversible. Seuls les jades jadéites jaunes et marrons sont soumis à ce type de traitement. La procédure est simple.

#### - la procédure

La jadéite doit tout d'abord être lavée afin d'éliminer les résidus d'huile qui s'y trouvent après la coupe et le polissage. La jadéite est ensuite suspendue au-dessus d'une flamme dans un four en prenant garde que la jadéite n'entre pas en contact avec les parois du four. Lorsque la jadéite atteint la température de  $100^{\circ}\text{C}$  (selon certains artisans) la couleur commence alors à changer et prend une teinte rouge qui se rapproche de celle d'un "foie de porc"(猪肝红.*zhugan hong*). Lorsque ce résultat est atteint on la laisse refroidir. Si la couleur obtenue n'est pas suffisamment profonde on procède alors à un nouveau chauffage. L'opération sera recommencée autant de fois que nécessaire pour parvenir à la couleur recherchée. (Ouyang, 2005)

Le chauffage de la jadéite s'effectue dans un four dont la température est comprise entre  $250^{\circ}\text{C}$  et  $400^{\circ}\text{C}$ . (Ouyang, 2005)

- *le résultat*

Après chauffage la jadéite a pris une couleur rouge brique, rouge sang. "Si le résultat n'est pas satisfaisant la jadéite est alors trempée dans de l'hypochlorite de sodium NaClO pour provoquer une oxydation plus complète et rendre la couleur plus vive." Sur le marché de la jadéite ce type de rouge est qualifié de "rouge cuit" (熟红 *shu hong*). (Ouyang, 2005) (Fig.2.II.6)

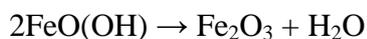


**Fig. 2.II.6: Gauche : Jadéite "rouge cuit"(chauffée) ; droite : Jadéite non chauffée.**

Source: Ouyang (2005).

- *le principe*

La goethite  $\text{FeO}(\text{OH})$  qui entre parfois dans la composition de la jadéite se transforme sous l'action de la chaleur en hématite  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .



La poudre d'hématite rouge remplace alors la goethite entre les espaces des grains. En théorie, dans la nature, la jadéite en contact avec l'oxygène de l'air peut aussi subir la même réaction. Cette réaction est accélérée sous l'effet de la chaleur. L'eau combinée dans la jadéite va se vaporiser, c'est la raison pour laquelle l'eau combinée est absente de la jadéite qui a subi un traitement thermique. (Ouyang, 2005)

Le traitement par chauffage n'a pas changé la structure de la jadéite il est donc difficile de faire la différence entre la jadéite naturelle et la jadéite chauffée. (Ouyang, 2005) Selon Madame Ouyang, on considère que le chauffage de la jadéite constitue un traitement traditionnel et que ni les commerçants ni les chercheurs ne s'en préoccupent. Nous pouvons utiliser la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier pour détecter la présence de l'eau combinée afin de savoir si la jadéite a subi un traitement thermique.

## **II. 4. Le blanchiment suivi d'imprégnation: Jade B**

Le blanchiment de la jadéite suivi d'imprégnation est destiné à accroître la transparence et à blanchir le matériau.

Au début des années 1980 on a recherché des moyens d'obtenir un blanchiment de la jadéite. En 1985 on a vu apparaître sur le marché des échantillons traités avec un bon résultat. (Fritsch et al., 1992)

- *la procédure*

La jadéite préalablement entourée d'un cerclage en métal (lorsqu'il s'agit d'anneaux) (Fig. 2.II.7) est lavée dans de l'acide acétique, puis elle est placée dans de l'eau en ébullition

pendant 2 heures. Elle est ensuite immergée dans de l'acide du type acide chlorhydrique HCl et acide nitrique HNO<sub>3</sub>, (1 :1) en ébullition pendant une durée de 2 semaines à 20 jours. Puis la jadéite est plongée dans une solution d'eau et de soude en ébullition pendant 2 semaines. (Cela aura aussi pour résultat de neutraliser l'effet du premier traitement avec de l'acide.) Pour finir la jadéite sera rincée dans un bain d'eau chaude pour la débarrasser des résidus de soude. (Fig. 2.II.8)



**Fig. 2.II.7 : Bracelets baignant dans de l'hydroxyde de sodium (soude). Chaque bracelet est entouré d'un cerclage en métal. (Photo : Zhu Yuanyi)**



**Fig. 2.II.8: Après traitement à l'acide et à la soude, les bracelets sont devenus très cassants. Source : Yuan, (2005)**

A l'issue de ces deux traitements quelques minéraux (non jadéitiques) ont été dissous. L'aspect est changé. Les minéraux exogènes, les "souillures" ont disparus. (On désigne en Chinois les inclusions sous le vocable *zangse*, 脏色 couleur sale.) La jadéite a blanchi mais les parties colorées vertes ont conservé leur couleur. La jadéite va être séchée par chauffage à 150 °C environ afin de provoquer une dilatation thermique.

Après avoir été débarrassée de son cerclage, la jadéite est placée dans un récipient relié à une pompe à vide. Lorsque tout l'air a été expulsé, une résine mélangée à un durcisseur est introduite afin que la jadéite soit plongée dans ce bain à 100 °C pendant 2 à 3 heures. (Ouyang, 2005) (Fig. 2.II.9-13)



**Fig. 2.II.9 : Cuve reliée à une pompe à vide. (Photo : Zhu Yuanyi)**



**Fig. 2.II.10 : Bracelets avant imprégnation de résine. (Photo : Zhu Yuanyi)**      **Fig. 2.II.11: Bracelets imprégnés qui vont être retirés de la cuve.**

Source : <http://www.xs21.com/info.asp?Articleid=815&page=3>



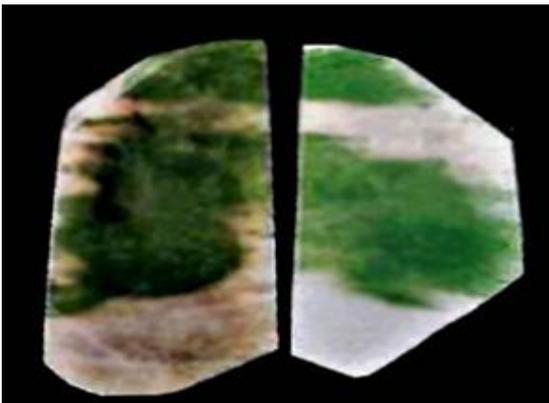
**Fig. 2.II.12 : Installation des bracelets pour le séchage. (Photo : Zhu Yuanyi)**



**Fig. 2.II.13 : Four de séchage. Les bracelets sont séchés à 88°C. (Photo : Zhu Yuanyi)**

*- le résultat*

La jadéite est devenue plus blanche et plus transparente, les parties colorées sont devenues plus éclatantes. (Fig.2.II.14-17)



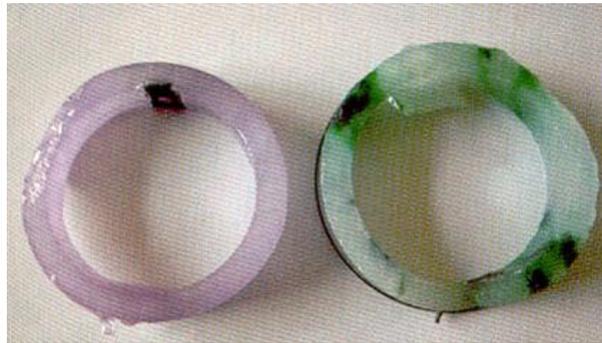
**Fig. 2.II.14: Gauche : jadéite naturelle. Droite : après traitement chimique, les "souillures" ont disparus.** Source : Fritsch, 1992, in Yuan, 2005.



**Fig. 2.II.15 : Gauche : jadéite naturelle. Droite : après traitement chimique, les "souillures" ont disparus.** Source : Zhang, 2006.



**Fig. 2.II.16 : Gauche : jadéite naturelle ; centre : après traitement chimique ; droite : jadéite imprégnée de résine.** Source : Zhang, 2006.



**Fig. 2.II.17 : Bracelets imprégnés avant polissage.** (Photo G. : Zhu Yuanyi, D. : Yuan, (2005))

#### - le principe

Les "souillures", les minéraux étrangers à la jadéite mis en contact avec un acide provoquent une réaction de réduction.



Le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_2$ ) dissout dans l'acide a définitivement migré hors de la jadéite et les espaces entre les grains des cristaux se sont élargis.

Le bain d'époxy mélangé à un durcisseur dans lequel la jadéite a été immergée a permis de combler ces vides. Il importe de doser correctement le durcisseur. Si la quantité de durcisseur est correctement dosée, la résine d'époxy demeurera liquide suffisamment longtemps et pénétrera bien dans les espaces entre les grains de la jadéite. Elle va constituer une armature pour cette jadéite endommagée, mais elle sera plus cassante si la quantité de durcisseur est insuffisante.

A l'opposé, quand la quantité de durcisseur est trop importante, la quantité de résine d'époxy entre les grains de jadéite est moins importante et le produit obtenu a moins de transparence.

La résine d'époxy a été retenue parce qu'elle doit être utilisée chaude et que cela permet une meilleure pénétration du produit dans la jadéite.

#### -la détection

Pour détecter ce type de traitement il faut d'abord observer l'aspect de la jadéite.

Les couleurs de la jadéite sont souvent très vives. Lorsque la jadéite est traitée avec de la résine d'époxy la surface apparaît trop brillante pour un œil exercé. Sous une binoculaire on observe une couche de "verniss" sur la surface du matériau. Cette couche laisse apparaître de nombreux trous et des cassures. Sur la surface de l'époxy vieillie on peut observer l'effet typique "toile d'araignée". (Mok, 1999 ; Ouyang, 2005) La surface de la jadéite peut aussi présenter des "trous de sable" (砂眼 *shayan*, mot à mot). Les "trous de sable" sont causées par de l'absence de cristaux (disparus pendant le blanchissement), ils sont différents des reliefs que l'on observe sur la surface de la jadéite naturelle.

Le jade jadéite B imprégné de résine d'époxy exposé à de la lumière UV fait apparaître de la luminescence qui provient de l'intérieur et non de la surface. La luminescence observée est blanche-bleue et d'intensité variable. Ouyang et Yan affirment qu'après imprégnation le jade B vert foncé exposé à de la lumière UV ne révèle pas de luminescence et que cela serait dû à la présence de  $Fe^{3+}$  ajouté par les artisans ; (Ouyang & Yan, 2005) le  $Fe^{3+}$  empêche l'apparition de la luminescence. (Fritsch, 1992)

Selon Madame Ouyang, les artisans utilisent de la résine d'époxy de type bisphénol A (polystyrène) pour réaliser l'imprégnation. (Ouyang, 2005) La composition chimique du bisphénol A est  $C_{15}H_{16}O_2$ . (Fig. 2.II.18)

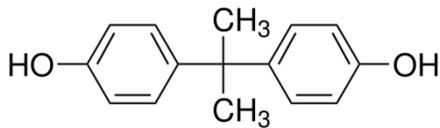


Fig. 2.II.18 : Structure du bisphénol A

Tableau III : Principales bandes caractéristiques de la résine d'époxy

Fréquence ( $cm^{-1}$ )	Attribution
3100-3000	v C—H aromatique
3053	v =C—H
2960	Vas —CH <sub>3</sub>
2880	Vs —CH <sub>3</sub>
2926	Vas —CH <sub>2</sub> —
2850	Vs —CH <sub>2</sub> —

s= symétrique ; as= asymétrique, v= vibration de valence

Le bisphénol A contient 2 groupements fonctionnels phénols et fait partie des composés organiques aromatiques. Entre 3100 et 3000  $cm^{-1}$ , on observe plusieurs pics (ou bandes) d'absorption, mais le pic 3053 $cm^{-1}$  est une caractéristique importante de la vibration étirement du =C—H. (Tableau III) (Fritsch, 1992) (Fig. 2.II.19)

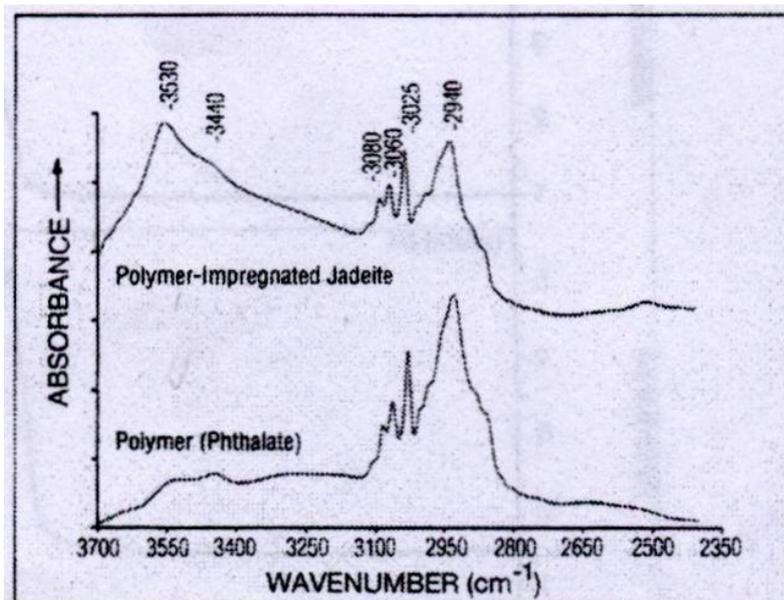


Fig. 2.II.19 : Haut : Spectre Infrarouge du jade jadéite B, avec les pics caractéristiques à 3530  $cm^{-1}$ , à 3440  $cm^{-1}$ , à 3080  $cm^{-1}$ , 3060  $cm^{-1}$ , 3025  $cm^{-1}$  et à 2940  $cm^{-1}$ . Bas : Spectre Infrarouge du polymère, Source : Fritsch, 1992.

Sur un objet en Jade jadéite B (jadéite blanchie et imprégnée) nous obtenons normalement un spectre de quatre ou cinq pics d'absorption entre 2200 et 3100  $\text{cm}^{-1}$  cela en raison de l'imprégnation de résine d'époxy de type bisphénol A. (Hurwit, 1989 ; Fritsch et al. 1992 ; Qi & Yuan, 2005, Zhang & Wang, 2006)

Avec la spectroscopie Raman à transformée de Fourier, on relève aussi 6 pics caractéristiques de la jadéite imprégnée : 1114  $\text{cm}^{-1}$ , 1606  $\text{cm}^{-1}$  (Fritsch et al. 1999), 1183  $\text{cm}^{-1}$ , 2869  $\text{cm}^{-1}$ , 2905  $\text{cm}^{-1}$  et 3070  $\text{cm}^{-1}$  (Yuan, 2005 ; Zhang & Wang, 2006)

En réalité chaque atelier préfère certaines résines mais la base de la résine d'époxy est toujours la même : phénol et aromatique. Donc les absorptions de pics ou bandes n'ont pas toujours la même fréquence mais elles ont des pics ou des bandes très proches. (Qi & Yuan, 2005 ; Gao, 2008)

## II. 5. La coloration: jade C

La coloration est tout comme le chauffage une méthode ancienne de traitement de la jadéite. Ce sont les jadéites incolores, de couleur claire ou monochromes qui font l'objet de ce traitement. On a constaté que le temps d'imprégnation des jadéites à petits grains de cristaux est plus long que celui qui est nécessaire pour les jadéites à gros grains. (Ouyang, 2005)

### - la procédure

L'échantillon doit être débarrassé des résidus d'huile qui s'y sont déposés lors de la coupe et du polissage, on procède pour cela à un lavage au moyen d'acide acétique (vinaigre) qui n'endommage pas l'échantillon. Après ce lavage, la jadéite est chauffée puis s'il y a lieu, lavée et chauffée à nouveau autant de fois que nécessaire pour nettoyer les espaces entre les grains. (Ouyang, 2005)

La jadéite est ensuite placée dans un récipient relié à une pompe à vide. Lorsque tout l'air a été retiré du récipient on injecte alors le colorant dans lequel la pierre va baigner. Parfois le récipient est chauffé pour améliorer l'imprégnation.

Le colorant peut être organique ou inorganique, mais dans tous les cas il doit être dissout dans un liquide qui peut être de l'eau, de l'huile ou de l'isopropanol ; alcool isopropylique  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{-CH}_3$ .

Le temps nécessaire à l'opération varie en fonction de la taille de l'objet.

L'imprégnation peut se faire en quelques jours et peut durer jusqu'à 2 semaines. L'opération de coloration peut être répétée jusqu'à ce que l'on obtienne la couleur recherchée mais on ne peut utiliser qu'une seule teinte à chaque fois.

### - le résultat

C'est ainsi que la jadéite incolore devient colorée. Ce procédé est aussi utilisé pour renforcer les couleurs claires.

Le résultat obtenu pour la coloration en violet est meilleur que celui que l'on obtient pour la coloration en vert ou en rouge, parce qu'on utilise plutôt de la jadéite au grain moyen ou petit pour réaliser ce traitement et que les espaces entre les grains sont moins visibles à l'œil nu. La coloration en vert laisse apparaître un ton bleuté, il arrive aussi, mais rarement, qu'elle laisse apparaître un ton jaune qui provient du mélange des teintures jaunes et bleues qui permet d'obtenir le vert. (Ouyang, 2005)

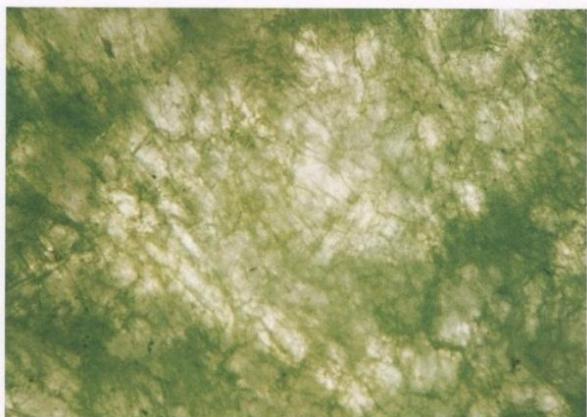
### - le principe

Il y a toujours des espaces entre les cristaux de jadéite ; le lavage et le chauffage ont pour résultat de réaliser un nettoyage qui va faciliter le passage du colorant. Dans des conditions de

vide le liquide tinctorial va pénétrer tous les espaces, les combler et s'y maintenir. C'est ainsi que va être réalisée la coloration.

#### -la détection

Sous une binoculaire avec une lumière de moyenne intensité qui traverse la roche nous constatons que la répartition de la couleur évoque la forme de "branches d'arbre desséchées" (枯树枝, *ku shuzhi*). (Fig. 2.II.20) La teinture a pénétré dans les espaces entre les grains des cristaux et s'y est accumulée. La couleur d'origine de la pierre a changé, la teinture a fait apparaître le contour des grains des cristaux.

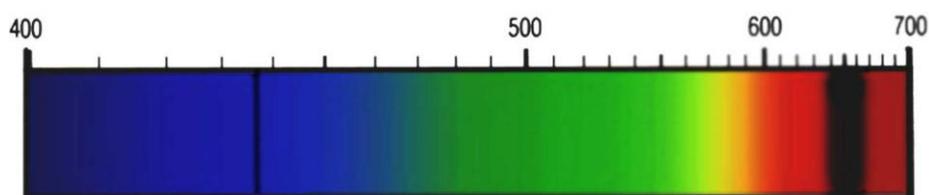


**Fig. 2.II.20 : "Branches d'arbre desséchées". Jade C.** Source: Ouyang (2005).

Dans les années 1980 le filtre Chelsea fut très utilisé par les marchands de jadéite. Ils l'utilisaient pour savoir si la jadéite avait été colorée en vert. La jadéite apparaissait rouge, rose ou violette sous le filtre Chelsea lorsqu'elle avait été colorée par de la teinture. Pour contrer la détection de la jadéite teintée grâce au filtre Chelsea des faussaires ajoutèrent du fer dans la teinture afin de faire disparaître le phénomène. (Ouyang, 2005)

Pour la jadéite verte colorée avec une teinture, le spectromètre à main est parfois suffisant. L'absorption est de 437 nm, mais les trois fines bandes d'absorption ne sont plus visibles, elles deviennent une large bande. Cela s'explique par l'importante quantité de  $\text{Cr}^{3+}$  contenu dans la teinture. (Fig.2.II.21)

Pour les autres couleurs, le spectre d'absorption n'est pas caractérisé.



**Fig. 2.II.21 : Jadéite teinté. (Jade C)**

Source: Standard methods for testing Fei Cui (jadeite jade) for Hong Kong (2006).

Le rayonnement ultraviolet (UV) ne permet pas de détecter la jadéite traitée avec un colorant organique ou avec d'autres colorants inorganiques.

## II. 6. Le blanchiment suivi d'imprégnation et teinture : Jade B+ C

Ce traitement de blanchiment suivi de coloration est appliqué aux jadéites de qualité inférieure : jadéite opaque, incolore ou présentant des inclusions de matériaux divers. Ces informations nous ont été communiquées par M. Zhu Yuanyi qui a visité des ateliers de transformation.

### - la procédure

La jadéite va subir un traitement à l'acide et à la soude tel que celui que nous avons décrit pour le jade B. Après le lavage à l'eau qui suit le traitement à la soude intervient la phase de coloration.

Contrairement au traitement de coloration du jade C qui se fait par immersion dans un bain de toutes les pièces à colorer, la coloration du jade B+C se fait pièce par pièce. L'ouvrier utilise pour cela un bâtonnet de bois enduit de teinture. La jadéite est ensuite placée dans une chambre à vide pour être imprégnée de résine d'époxy. La procédure suivie est celle qui est utilisée pour le traitement du jade B. (Fig. 2.II.22 à 24)



**Fig. 2.II.22 : Cuve pour les traitements à l'acide et à la soude. (Yuan, 2005)**



**Fig. 2.II.23 : Ouvrier colorant des bracelets avec une teinture liquide. (Photo G.: source: <http://jingyan.baidu.com/article/0aa22375e5899488cc0d64ef.html> , D.: Zhu Yuanyi)**



**Fig. 2.II.24 : Après coloration, les bracelets sont prêts pour l'imprégnation. (Photo : Zhu Yuanyi)**

*- le résultat*

A l'issue du traitement les jadéites opaques sont devenues translucides, les minéraux étrangers ont été éliminés et la jadéite incolore a été teinte. (Fig. 2.II.25) On peut si on le souhaite teinter de plusieurs couleurs la même pièce ; un bracelet pourra recevoir deux couleurs : du vert et du violet par exemple. Cela aura pour résultat d'en augmenter la valeur sur le marché.



**Fig. 2.II.25 :  
Bracelet B+C (coloration et imprégnation)**

Source :

<http://jingyan.baidu.com/article/0aa22375e5899488cc0d64ef.html>

*- le principe*

Le traitement de la jadéite B+C est le même que celui utilisé pour la première phase de traitement du jade B. Le traitement diffère lors de la phase de coloration. La teinture utilisée est mélangée à de la colle, ce qui permet de fixer le colorant à l'endroit où il a été appliqué et interdit toute dilution ou migration de la couleur. (Ouyang, 2005) L'imprégnation de résine d'époxy se fait de la même manière que pour le jade B.

*-la détection*

La méthode de détection de la jadeite B+C est la même que pour le jade B.

## **II. 7. Les doublets : Jade D**

Les doublets sont des assemblages de jadéite naturelle et d'un autre matériau de jadéite et de verre ou de jadéite et de quartz coloré par exemple. C'est un procédé que l'on ne rencontre que très rarement. La littérature gemmologique sur le jade D est quasi inexistante. Les échantillons détectés montraient que la jadéite naturelle utilisée pour cela était incolore et très transparente. Le matériau rajouté avait pour fonction de colorer la jadéite transparente. Pour coller ces deux parties une colle transparente avait été utilisée. (Chen & Deng, 2007)

Sous la binoculaire on peut observer qu'il y a des bulles d'air entre les deux matériaux : la jadéite et le matériau rajouté. Sous les UV longs le matériau rajouté provoque une luminescence moyenne. (Fig. 2.II.26) (Chen & Deng, 2007)



**Fig. 2.II.26 : Pendentif en Jade D. (de gauche à droite : sous lumière naturelle, sous UV longs, sous UV courts.)** Source: Chen et Deng, 2007.

## II. 8. La jadéite synthétique

En 1994 la Société Général Electric of America a produit des échantillons de jadéite synthétique blanche, verte, noire et lavande à partir de matériaux soumis à une haute pression à une température d'environ 1400°C. (Fig. 2.II.27) (Read, 1995)

La jadéite synthétique qui a été examinée par Kurt Nassau et James E. Shigley se présente sous forme de disques ronds ou aplatis qui ont un indice de réfraction d'à peu près 1.66 et une densité de 3.28-3.34 g/cm<sup>3</sup>. Elle est similaire à la jadéite naturelle mais elle a une dureté de 7.5-8. Elle se différencie par son lustre, sa translucidité et son apparence. Elle résulte d'études expérimentales. Il n'existe pas de projet pour la commercialiser. (Nassau & Shigley, 1987 ; Cao & Qi, 2008) Les conditions dans lesquelles cette jadéite a été produite exclut qu'elle puisse faire partie dans un proche avenir des produits qui participent à l'incertitude sur le marché de la jadéite.



**Fig.2.II.27 : Jadéite synthétique produite par la Société Général Electric of America**  
Source: Admas Gemological Laboratory, <http://www.adamasgem.org/gejade.html>

## Troisième Partie

### Partie expérimentale

#### I. Les échantillons

Notre étude a porté sur 12 échantillons, 3 nous ont été prêtés par Monsieur le professeur Emmanuel Fritsch, 4 par Monsieur Olivier Ségura et les autres nous appartenaient. Tous ces échantillons ont été acquis sur le marché, nous ignorons donc la situation des gisements.

Parmi ces douze échantillons trois nous sont donnés pour du jade jadéite A de couleur verte, brun orange et violet clair, neuf pour des jadéites traitées de couleur verte, vert clair, jaune, marron et pourpre.

**Tableau des échantillons**

Images des échantillons	Numéro d'échantillon	Masse (g)	Dimension (cm)
	J1A	25,5	3,40 x 1,70 x 0,58
	J1B	2,0	1,10 x 1,21 x 0,19
	J1C	7,0	Diamètre : 1, 48 épaisseur : 0,32
	J1D	1,0	0,91 x 1,15 x 0,58
	J2A	1,1	1,16 x 1,30 x 0,37

Images des échantillons	Numéro d'échantillon	Masse (g)	Dimension (cm)
	J2B	1,0	0,98 x 1,27 x 0,48
	J2C	1,2	0,99 x 1,40 x 0,43
	J2D	1,5	1,04 x 1,25 x 0,71
	J3A	0,3	0,77 x 0,86 x 0,31
	J3B	1,5	1,01 x 1,24 x 0,70
	J3C	2,2	1,31 x 1,81 x 0,58
	J3D	1,3	1,01 x 1,16 x 0,68

## II. Les méthodes d'examen utilisées

### II. 1. En gemmologie classique

- *l'œil nu et avec la loupe x10.*

- *la balance*

Nous avons utilisé une Balance TANITA model 1210 pour mesurer la densité du matériau.

- *le réfractomètre*

Nous avons utilisé un réfractomètre GR-5 d'Institut de Gemmologie de l'Université des Géosciences de Chine.

- *le filtre Chelsea*

Nous avons utilisé un filtre Chelsea SL-3 d'Institut de Gemmologie de l'Université des Géosciences de Chine.

- *le spectromètre à main*

Nous avons utilisé un spectromètre à main SP-4 d'Institut de Gemmologie de l'Université des Géosciences de Chine.

- *la lampe ultraviolette*

Pour observer la luminescence nous avons préparé une chambre noire équipée d'une lampe UV A.KRÜSS (OPTRONIC) UV-Lamp UV240 émettant des UV court (UVC) de 254 nm et des UV long (UVL) de 365 nm

- *la binoculaire*

Nous avons utilisé un Microscope LEICA MZ6, Sortoscope by Nossigem avec Fibre optique Eurolex fiber optic light source EK-1. Grossissement ou zoom : 6,3x à 40x (oculaires 10x). Avec le zoom de l'appareil photo et le 3ème œil, nous obtenons un grossissement allant de 34x à 216x.

### II. 2. En gemmologie de laboratoire

II. 2. a. Microscope électronique à balayage (MEB)

Nous avons utilisé à l'Institut des Matériaux Jean Rouxel un microscope électronique à balayage Jeol JSM-5800 LV fonctionnant sous 15 kV et équipé d'un spectromètre PGTIMIX-PTS. (Fig. 3.II.1)



Fig. 3.II.1 : Microscope électronique à balayage Jeol JSM-5800 LV

Nos échantillons ont été métallisés avec un métalliseur à tresse de carbone BALZERS CED 030. (Fig. 3.II.2 - 3)



**Fig. 3.II.2 : Métalliseur à tresse de carbone  
BALZERS CED 030**

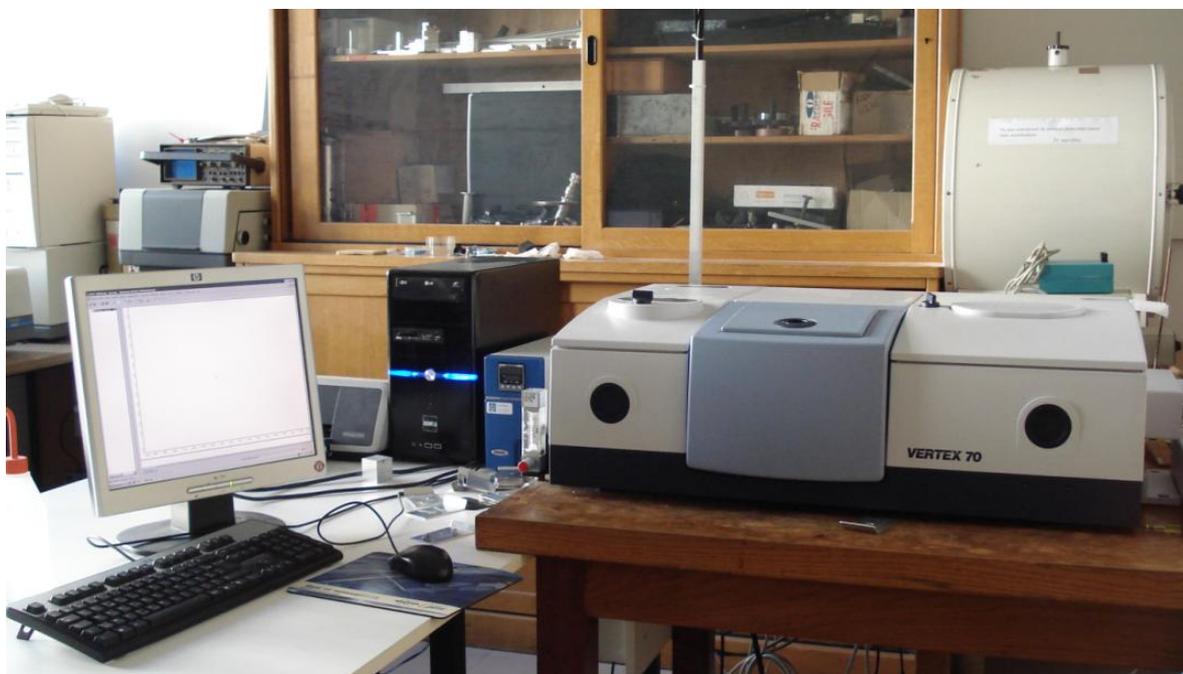


**Fig. 3.II.3 : Echantillons  
après métallisation**

Après métallisation, les échantillons ont été fixés sur le plateau support du microscope électronique à balayage, puis mis en place.

#### II. 2. b. Spectrométrie d'absorption infrarouge

Nous avons utilisé un spectromètre FTIR Vertex 70, de la Société Bruker Optics. (Fig. 3.II.4) Son domaine spectral s'étend de 8000 à 350  $\text{cm}^{-1}$ .

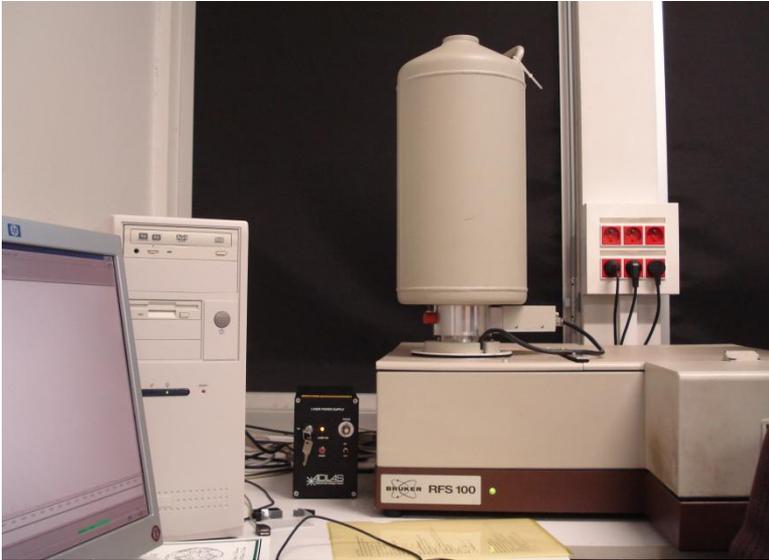


**Fig. 3.II.4 : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier vertex 70**

Nous avons choisi l'infrarouge moyen entre 4000 et 400  $\text{cm}^{-1}$ , le temps de scanner était de 120 secondes pour les 12 échantillons.

## II. 2. c. Spectrométrie de diffusion Raman

Nous avons utilisé un spectromètre FT Raman Bruker RFS 100 (Fig. 3.II.5) équipé d'un laser Adlas DPY 421 Nd : YAG à 1064 nm. Pour chaque échantillon, on a effectué 30 balayages de laser de 50 mV et une résolution de 1 cm<sup>-1</sup>.



**Fig. 3.II.5 : Spectromètre à transformée de Fourier BRUKER RFS100.**

### III. Résultats

#### III. 1 En gemmologie classique

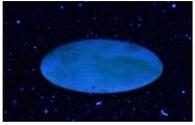
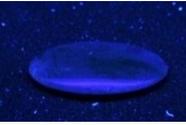
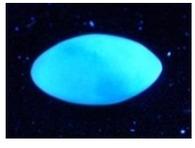
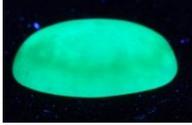
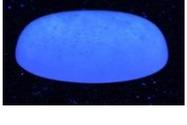
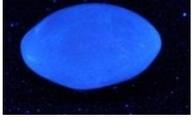
Images des échantillons	Numéro d'échantillon	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Sous UVL (365nm)	Sous UVC (254nm)	Conclusion
	J1A	3,334			Jade jadéite A
	J1B	3,245			Jade jadéite B (blanchi et imprégné)
	J1C	3,325			Jade jadéite C (teinté)
	J1D	3,283			Jade jadéite B+C (blanchi, imprégné et teinté)
	J2A	3,291			Jade jadéite A
	J2B	3,315			Jade jadéite B+C (blanchi, imprégné et teinté)

Image d'échantillon	Numéro d'échantillon	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Sous UV longs (365nm)	Sous UV courts (254nm)	Conclusion
	J2C	3,315			Jade jadéite B+C (blanchi, imprégné et teinté)
	J2D	3,314			Jade jadéite B+C (blanchi, imprégné et teinté)
	J3A	3,396			Jade jadéite A
	J3B	3,323			Jade jadéite B+C (blanchi, imprégné et teinté)
	J3C	2,558			Quartz B+C (blanchi, imprégné et teinté)
	J3D	3,351			Jade jadéite B+C (blanchi, imprégné et teinté)

### III. 1. a. La densité

*Les échantillons verts :*

Parmi les échantillons verts la densité de l'échantillon J1A (jade jadéite A) est la plus élevée : 3,334 g/cm<sup>3</sup>.

La densité de l'échantillon J1B est la plus basse : 3,245 g/cm<sup>3</sup>.

Parmi les échantillons "traités", la densité de l'échantillon J1C est la plus élevée : 3,325 g/cm<sup>3</sup>.

*Les échantillons marron ou jaune :*

La densité de l'échantillon J2A (jade jadéite A) 3,291 g/cm<sup>3</sup> est inférieure à celle des deux échantillons traités (échantillons J2B 3,315 g/cm<sup>3</sup> et J2D 3,314 g/cm<sup>3</sup>).

*L'échantillon violet :*

La densité de l'échantillon J3C 2,558 g/cm<sup>3</sup> est la moins élevée de tous les échantillons et se rapproche de la densité du quartz (2.56 g/cm<sup>3</sup>) ce n'est donc pas de la jadéite.

### III. 1. b. Sous les UV

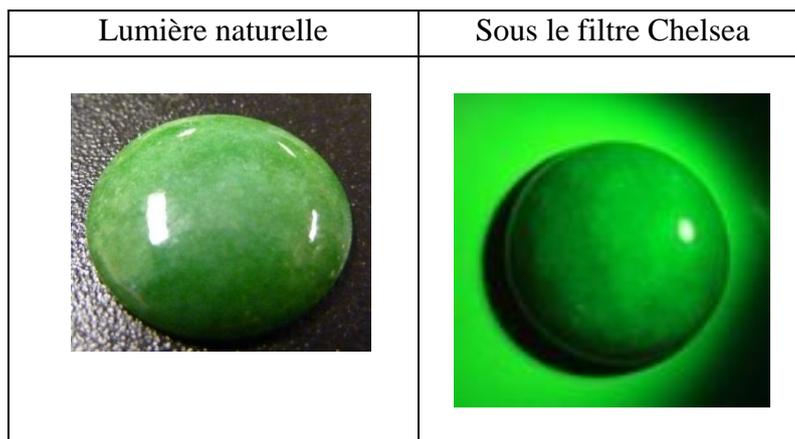
Parmi les échantillons de jade jadéite A, les échantillons J1A, J2A, J1C et J3A ne présentent pas de fluorescence sous les UV.

Les échantillons J1B et J3D présentent de la fluorescence blanche d'intensité moyenne sous les UV longs.

Les autres échantillons révèlent aussi de la fluorescence. Sous les UV longs l'intensité de la fluorescence est plus importante que sous les UV courts. La couleur de la fluorescence est marron pour J2B ; verte pour J2C ; jaune pour J2D; violette pour J3B et J3C.

### III. 1. c. Sous le filtre Chelsea

Seul l'échantillon J1C apparaît en rose, rose gris sous le filtre Chelsea. (Fig. 3.III.1) Les autres échantillons sont de couleur verte sous le filtre Chelsea.



**Fig. 3.III.1: L'échantillon J1C sous lumière naturelle (G.) et sous le filtre Chelsea (D.)**

### III. 1. d. Le spectre de la lumière visible

Tous les échantillons hormis les échantillons J3B et J3C, ont une bande intense et nette vers 437 nm. Sur le spectre de ces échantillons on relève une bande d'absorption large dans la zone violette.

### III. 1. e. L'indice de réfraction

L'indice de réfraction de tous les échantillons hormis celui de l'échantillon J3C (1.53 environ) est de 1,66 environ selon la méthode du point. Les traitements de la jadéite n'entraînent pas de modification claire de l'indice de réfraction.

III. 1. f. Sous la binoculaire

III. 1. f. 1. Les points communs

- l'effet "peau d'orange"

Sous la binoculaire on observe à la surface des échantillons J2B et J3A, un effet "peau d'orange" très visible. (Fig. 3.III.2 - 3)



**Fig. 3.III.2 : Echantillon J2B**  
(grossissement 20x)



**Fig. 3.III.3 : Echantillon J3A**  
(grossissement 10x)

- les "ailes de mouche"

Sous la binoculaire on distingue nettement à la surface des échantillons J2A et J2B, les "ailes de mouche". (Fig. 3.III.4 - 5)



**Fig. 3.III.4 : Echantillon J2A**  
(grossissement 30x)



**Fig. 3.III.5 : Echantillon J2B**  
(grossissement 10x)

III. 1. f. 2. Les différences

- sur la surface

- les "trous de sable"

Sous la binoculaire, on relève la présence de "trous de sable" sur la surface des échantillons J2D et J3B. (Fig. 3.III.6 - 7)



**Fig. 3.III.6 : Echantillon J2D**  
(grossissement 20x)



**Fig. 3.III.7 : Echantillon J3B**  
(grossissement 10x)

- la "toile d'araignée"

Sous la binoculaire on peut observer la "toile d'araignée" sur la surface de l'échantillon J1C.  
(Fig. 3.III.8 - 9)



**Fig. 3.III.8 : Echantillon J1C  
(grossissement 10x)**

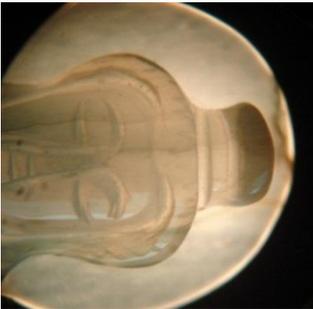


**Fig. 3.III.9. : Echantillon J1C  
(grossissement 20x)**

- à l'intérieur

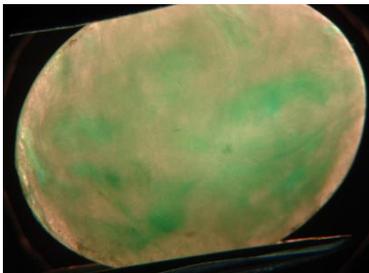
- les "souillures" :

Comme l'échantillon J1A n'a pas été blanchi, on discerne sur le visage du Bouddha des lignes d'inclusions (Fig. 3.III.10) que l'on ne retrouve pas sur les autres échantillons traités par imprégnation, blanchis et (ou) teintés.



**Fig. 3.III.10. : Echantillon J1A (grossissement 10x)**

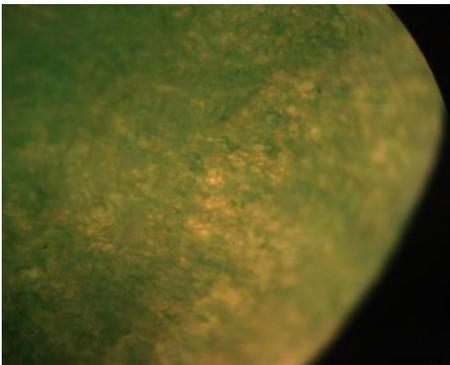
- la répartition des couleurs



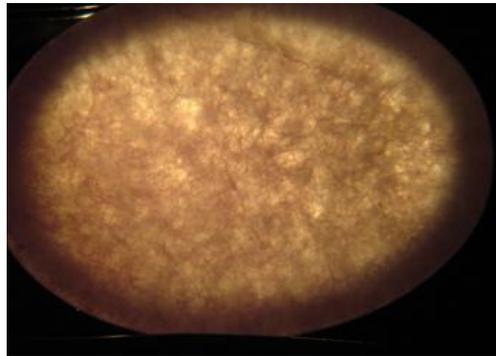
**Fig. 3.III.11 :  
Echantillon J1B (grossissement 10x)**

L'échantillon J1B après imprégnation et blanchiment garde sa couleur verte d'origine, les zones colorées paraissent distribuées au hasard. (Fig. 3.III.11) La coloration n'est pas uniforme, elle présente des nuances.

Sur certains échantillons teints (échantillons J1C et J3C), apparaissent des "branches d'arbre desséchées", qui proviennent de la concentration de couleur aux joints de grains. (Fig. 3.III.12 - 13)



**Fig. 3.III.12 : Echantillon J1C**  
(grossissement 20x)

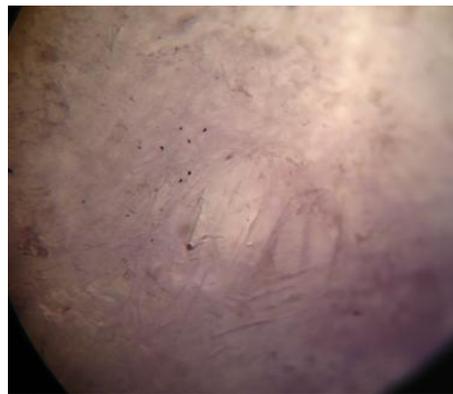


**Fig. 3.III.13. : Echantillon J3C**  
(grossissement 10x)

Sur les échantillons imprégnés, blanchis et teints (échantillons J2B et J3B), l'époxy coloré a pénétré dans les espaces entre les cristaux. (Fig. 3.III.14 - 15)



**Fig. 3.III.14 : Echantillon J2B**  
(grossissement 20x)



**Fig. 3.III.15. : Echantillon J3B**  
(grossissement 20x)

La gemmologie classique dispose des moyens efficaces pour la détection de la jadéite. Nous avons relevé la densité comprise entre 3,245 et 3,412g/cm<sup>3</sup>, nous avons observé le spectre de lumière blanche (une bande d'absorption de 437 nm) et l'indice de réfraction (1,66 environ selon la méthode du point).

La densité de l'échantillon J3C est de 2,558g/cm<sup>3</sup>. La lumière visible fait apparaître une bande large d'absorption de 437nm et l'indice de réfraction de l'échantillon se situe aux environs de 1,53 selon la méthode du point. L'observation à la binoculaire avec une lumière de moyenne intensité qui traverse la pierre révèle une répartition de couleur typique de l'effet "branches d'arbres desséchés". Nous avons ainsi conclu à l'aide de ces résultats que 11 échantillons étaient en jadéite et un en quartz blanchi, imprégné et coloré comme cela se fait pour la jadéite.

## III. 2 Gemmologie de laboratoire

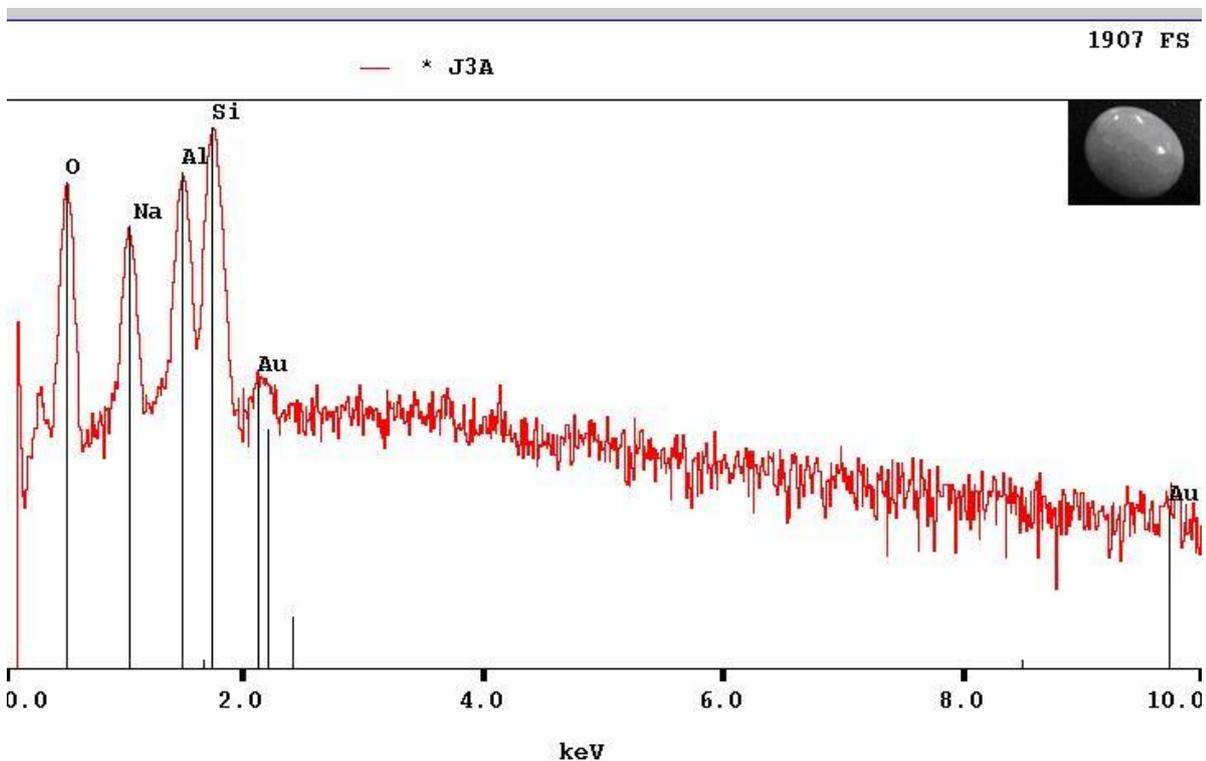
### III. 2. a. Microscope électronique à balayage (MEB)

#### III. 2. a. 1. L'analyse chimique

Nous avons choisis 3 échantillons au hasard ; parmi ceux-ci figurent l'échantillon J3A qui est en jade jadéite A, l'échantillon J1C et l'échantillon J3C qui ont subi un traitement.

#### *Etude du spectre de l'échantillon J3A au MEB*

Le spectre indique la présence de sodium (Na), d'aluminium (Al), de silicium (Si) et d'oxygène (O) qui sont les éléments principaux de la jadéite. On peut aussi lire la présence d'or (Au) qui s'explique par la métallisation qui a nécessité une couche d'or et d'argent à la surface des échantillons. (Fig. 3.III.16)



**Fig. 3.III.16 : Spectre de l'échantillon J3A au MEB.**

### Etude du spectre de l'échantillon J1C au MEB

L'échantillon J1C a subi une coloration. Nous avons concentré notre observation sur une fracture dans laquelle aurait pu s'accumuler du pigment. Lors de l'observation au filtre Chelsea la pierre apparaissait de couleur rouge gris ce qui indiquait la présence de teinture. L'observation à la binoculaire a montré un effet "branches d'arbres desséchés". Nous avons aussi mesuré une densité de  $3,325\text{g/cm}^3$  qui est la plus élevée parmi les échantillons traités de couleur verte.

Outre la présence d'oxygène (O), sodium (Na), d'aluminium (Al) et de silicium (Si) le spectre révèle la présence de fer (Fe), de magnésium (Mg) et de calcium (Ca) combinés aux autres minéraux dans la jadéite. (Fig. 3.III.17)

Notons cependant que le spectre ne montre pas la présence de teinture organique que nous nous attendions à retrouver. (Peut-être est-t-il utile de rappeler que l'observation porte sur une surface de l'ordre du micromètre et que n'importe quel élément peut être de ce fait absent de la partie observée.)

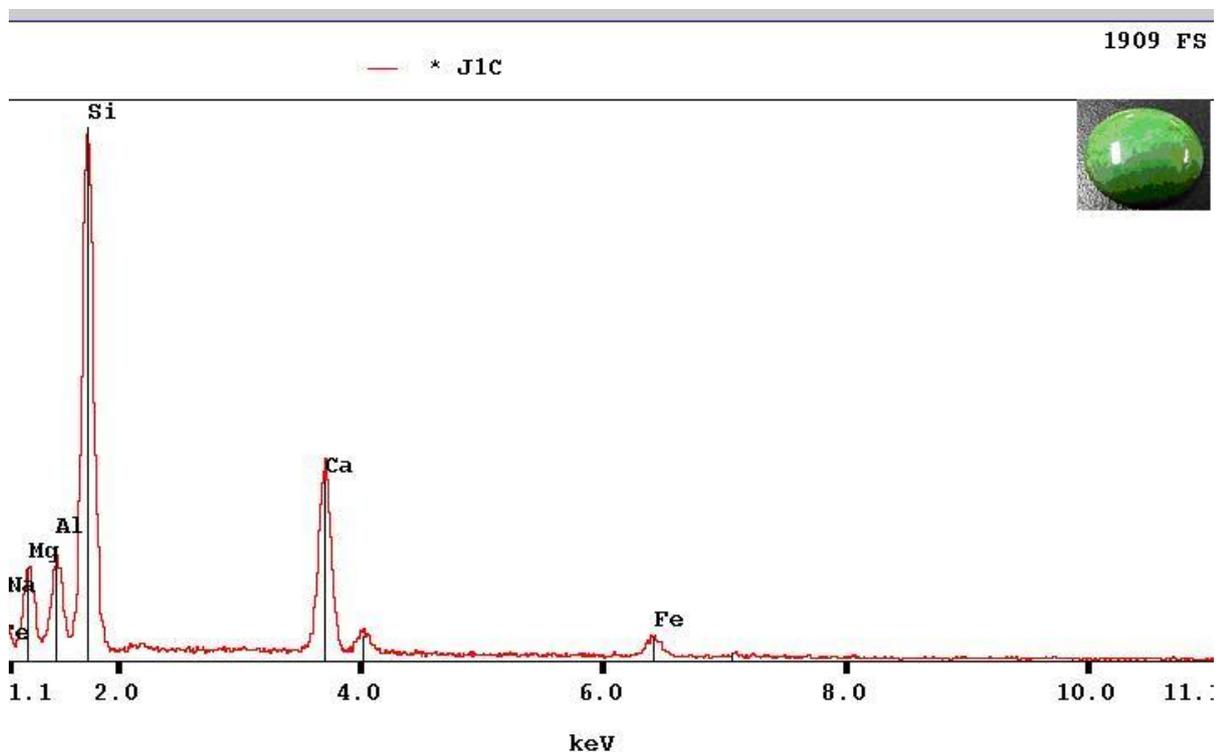
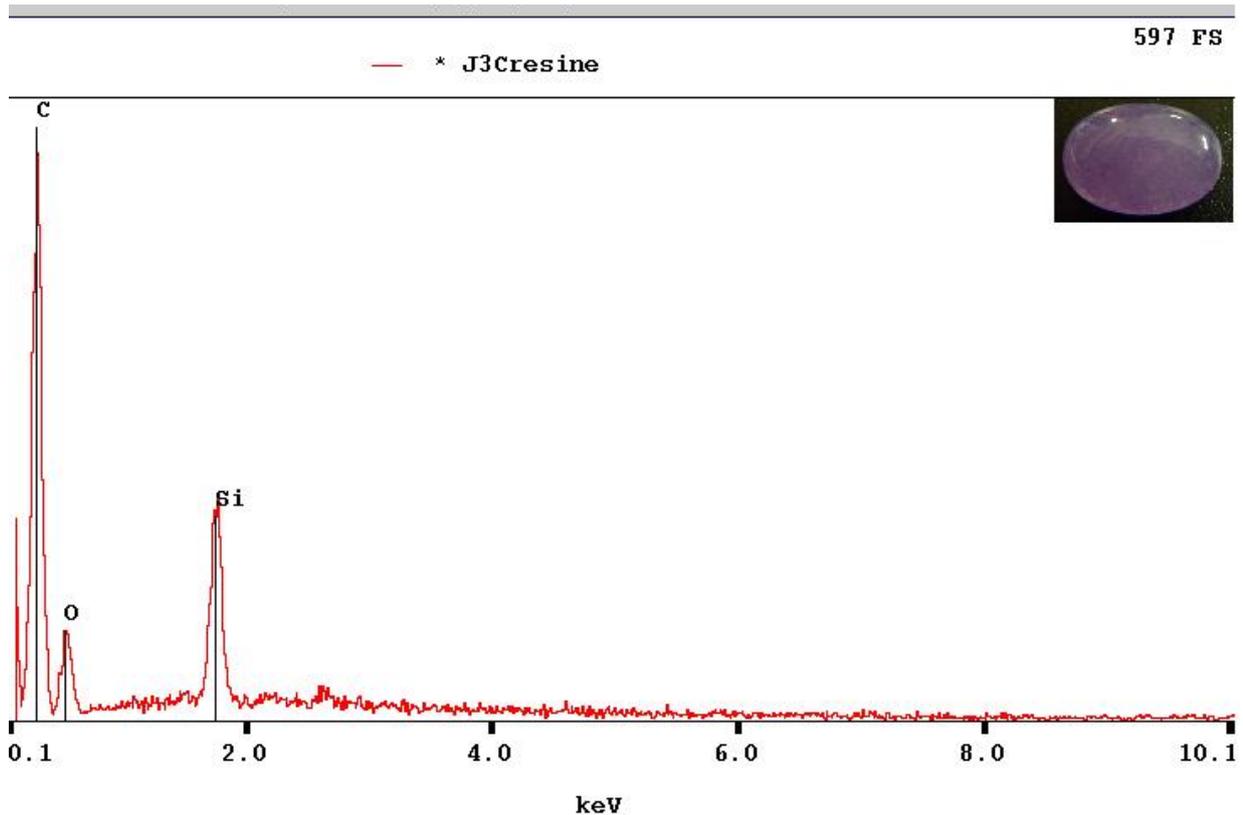


Fig. 3.III.17 : Spectre de l'échantillon J1C au MEB.

### Etude du spectre de l'échantillon J3C au MEB

Le spectre révèle la présence de carbone (C), de silicium (Si) et d'oxygène (O). Nous avons observé un pic d'absorption important de carbone alors que la composition du quartz est silice ( $\text{SiO}_2$ ) et que le carbone n'entre pas dans sa composition. Cela provient de la résine d'époxy qui est un produit organique riche en carbone, en oxygène et en hydrogène. (Fig. 3.III.18). Rappelons que le MEB ne peut pas révéler la présence d'éléments légers tels que l'hydrogène.



**Fig. (3.III.18):** Spectre de l'échantillon J3C au MEB.

L'analyse chimique au MEB présente un réel intérêt car elle permet de déterminer l'espèce du matériau et ainsi de lever le doute sur l'échantillon analysé.

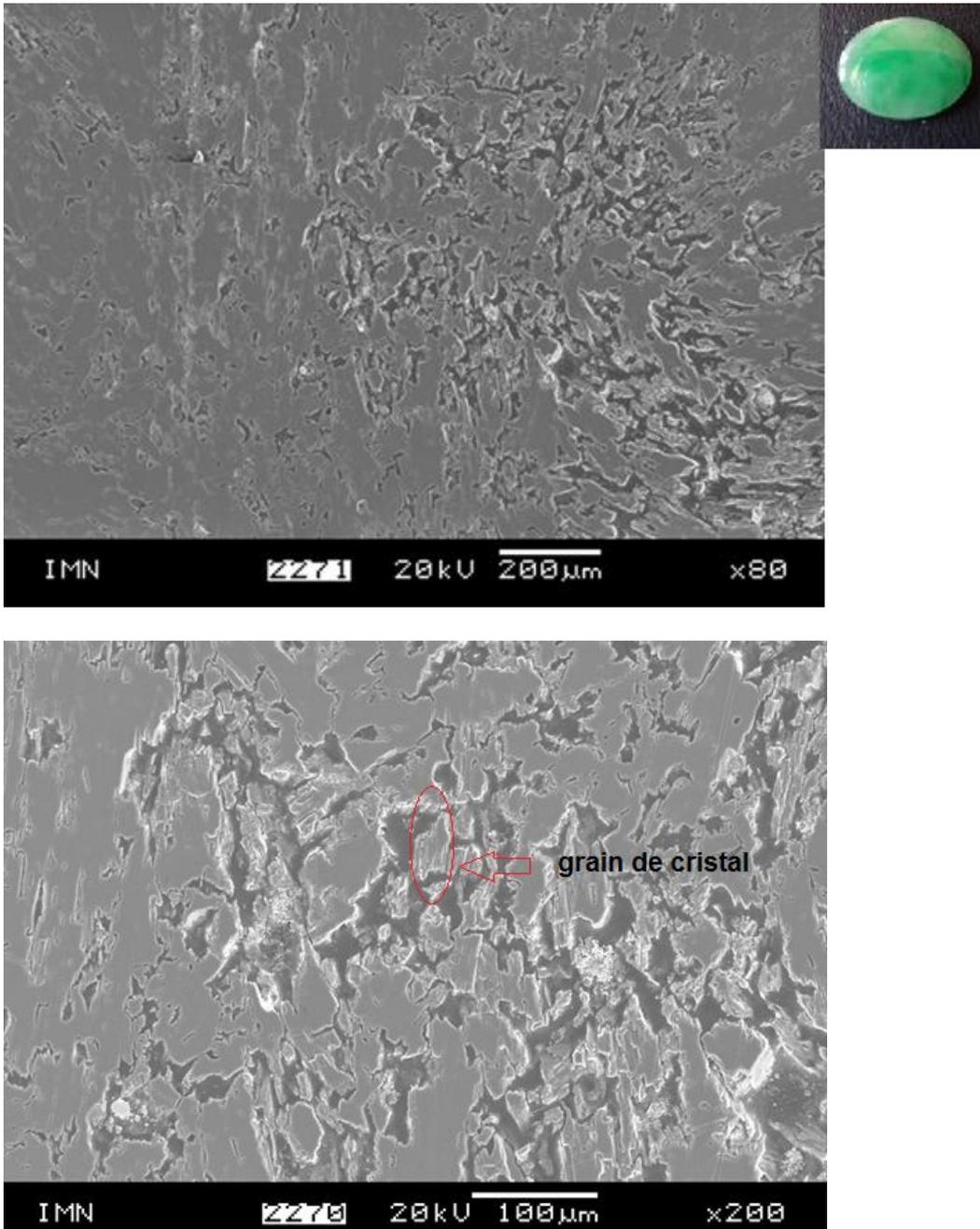
### III. 2. a. 2. L'imagerie

L'imagerie produit des images à très forts grossissements, qui permettent d'observer l'aspect de la surface d'un échantillon. L'imagerie était au centre de l'utilisation du MEB pendant cette étude.

L'échantillon J1A était trop volumineux (3,40 x 1,70 x 0,58 cm) pour pouvoir être observé au MEB, nous avons donc dû l'écartier.

*L'échantillon J1B*

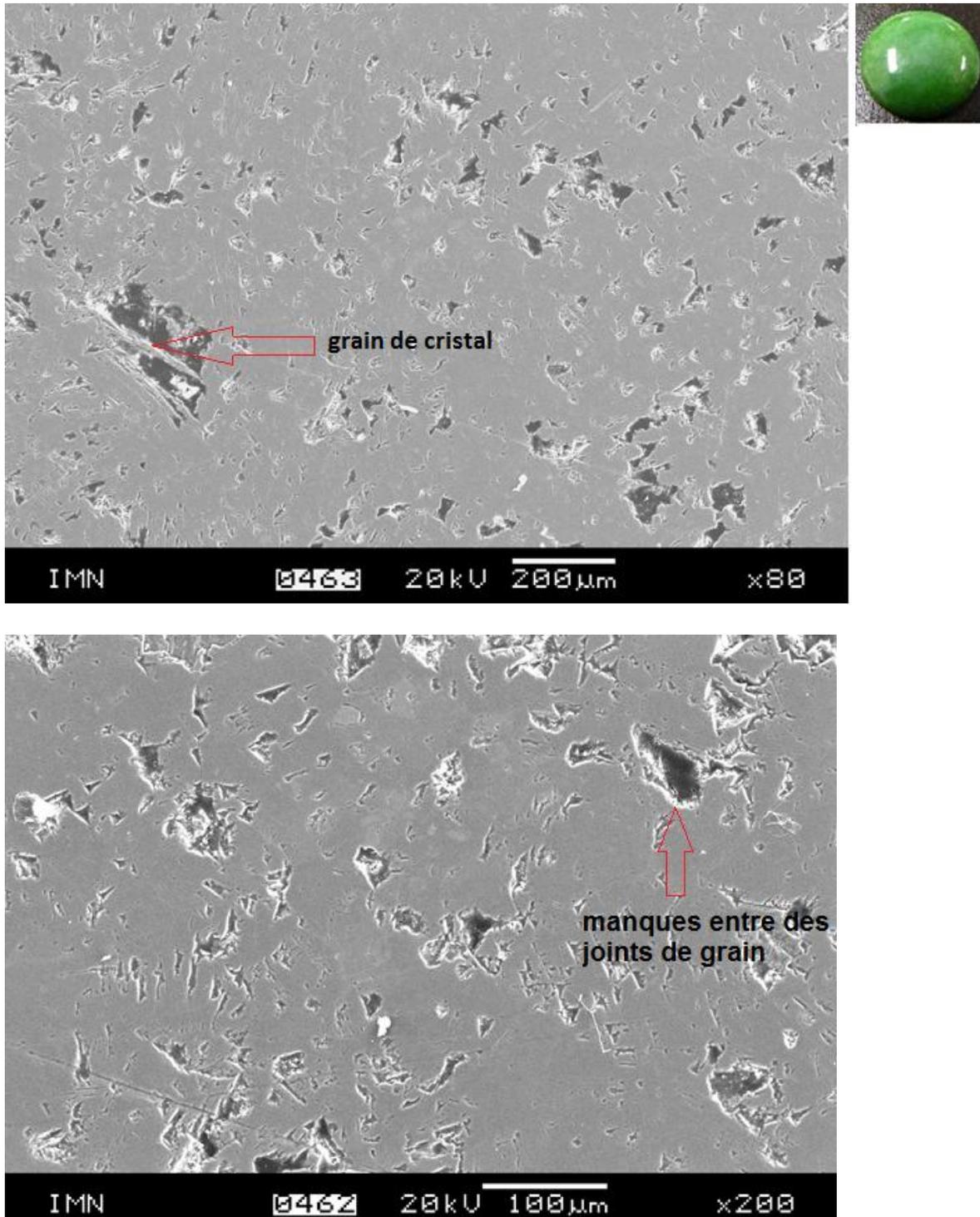
Sur ces images (Fig. 3.III.19) nous observons la forme de quelques cristaux et des joints qui les relie. Au cours du blanchiment l'acide et la soude ont endommagé la structure d'origine de la jadéite, certains grains sont tombés et on observe des espaces vides, comme des trous. On voit que les espaces entre les grains de cristaux sont plus ouverts que sur les images suivantes. (Fig.3.III.10 à 29) Cet échantillon a fait l'objet de plusieurs examens. Nous avons pu constater en comparant nos clichés à d'autres plus anciens que l'époxy avait disparu à certains endroits. Nous pensons que ce phénomène est dû aux divers nettoyages à l'alcool dont l'échantillon a fait l'objet. Cela indiquerait une certaine solubilité de l'époxy avec l'alcool.



**Fig. 3.III.19 : Espaces entre les grains.**

*L'échantillon J1C*

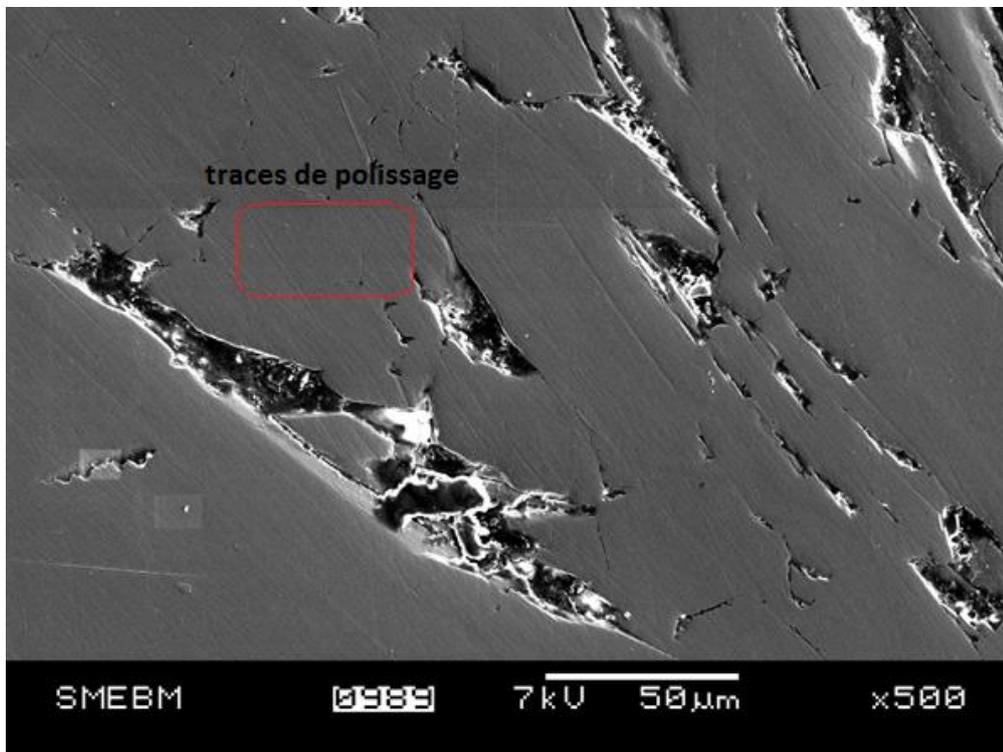
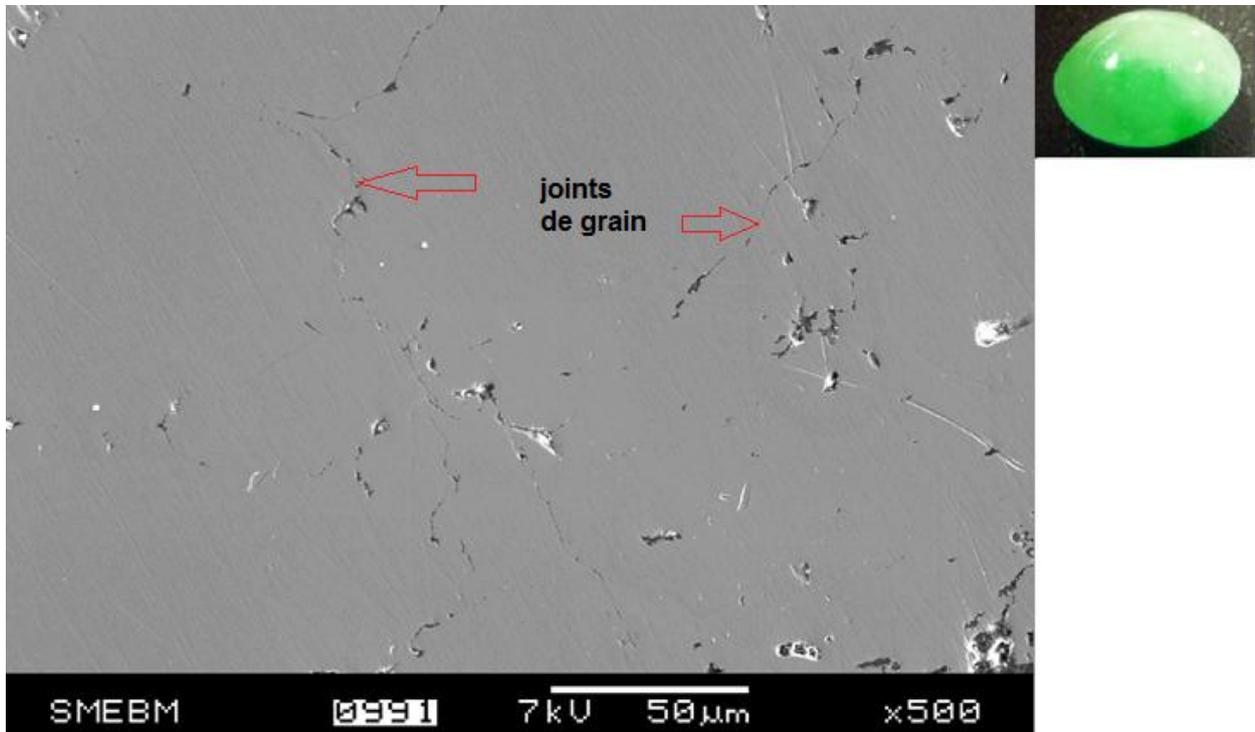
Sur ces images (Fig. 3.III.20) nous relevons de nombreux espaces vides entre les grains et nous voyons la forme des cristaux. La structure de la jadéite est partiellement endommagée et on observe de nombreux trous. Ces trous sont des manques entre des joints de grain en surface.



**Fig. 3.III.20: Manques entre des joints de grain**

*L'échantillon J1D*

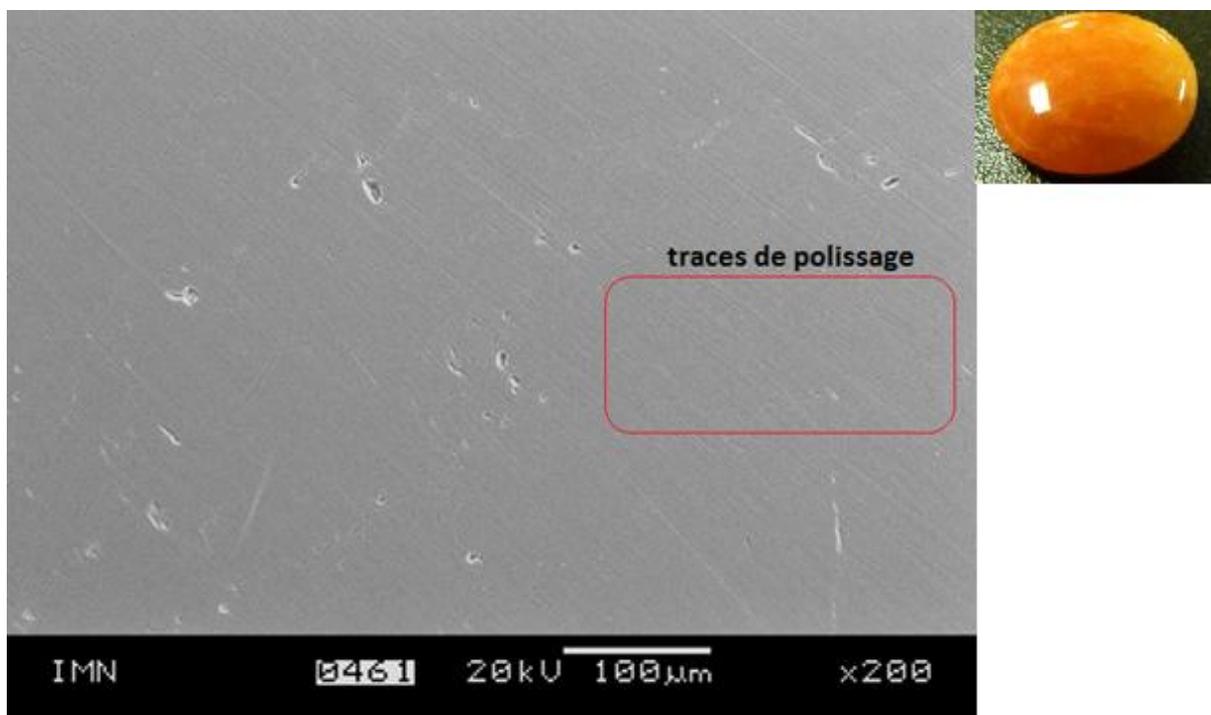
Sur ces images (Fig.3.III.21) nous observons qu'il y a peu de trous et quelques joints de grain. On peut voir aussi des traces dues au polissage.



**Fig. 3.III.21 : H. Trous et joints de grain en surface.  
B. Gros trous et traces de polissage en surface.**

*L'échantillon J2A*

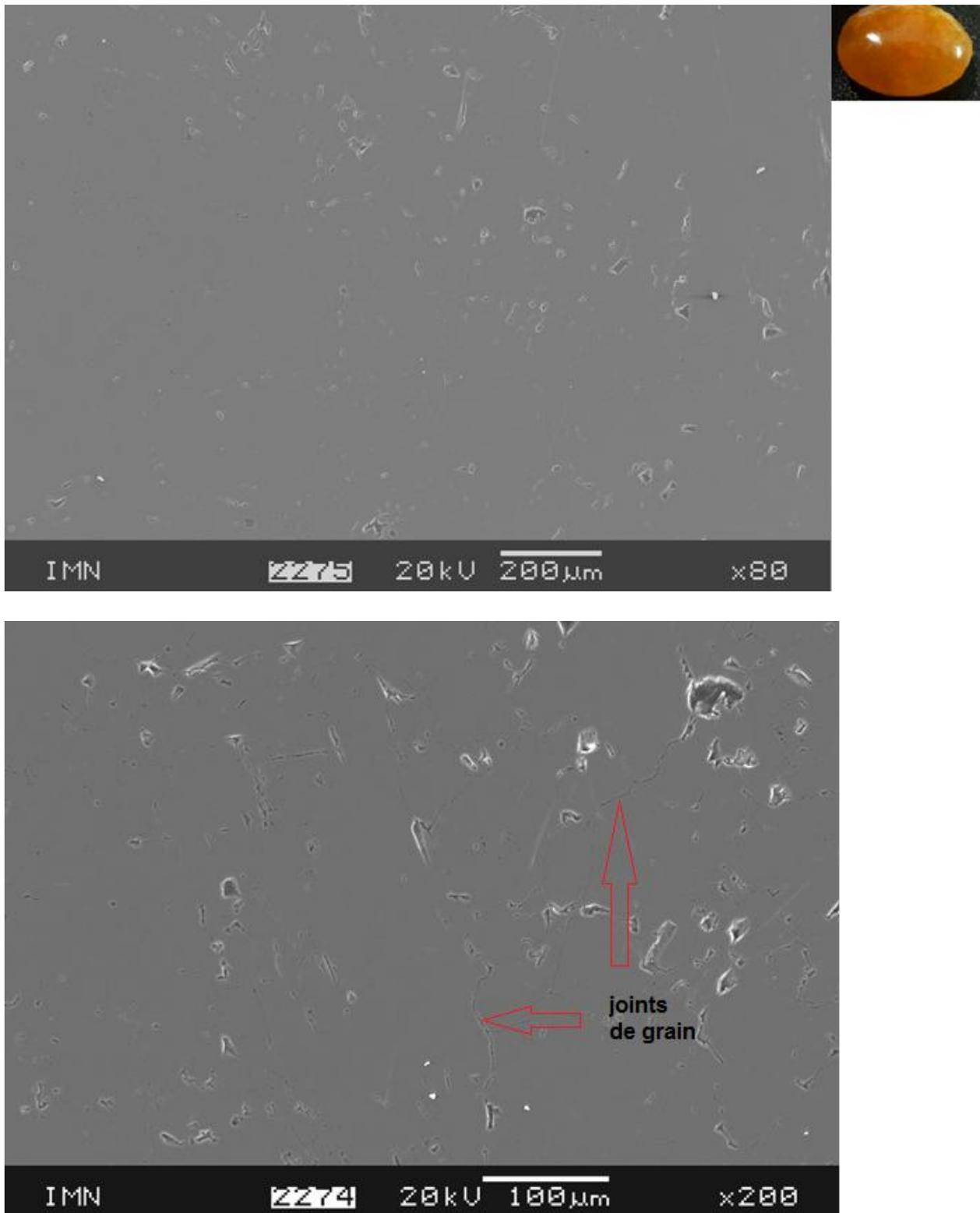
L'échantillon J2A présente peu de trous et les traces régulières du polissage sont bien visibles. Nous observons quelques petits trous en surface. (Fig. 3.III.22)



**Fig. 3.III.22 : Traces de polissage visibles à la surface de l'échantillon.**

*L'échantillon J2B*

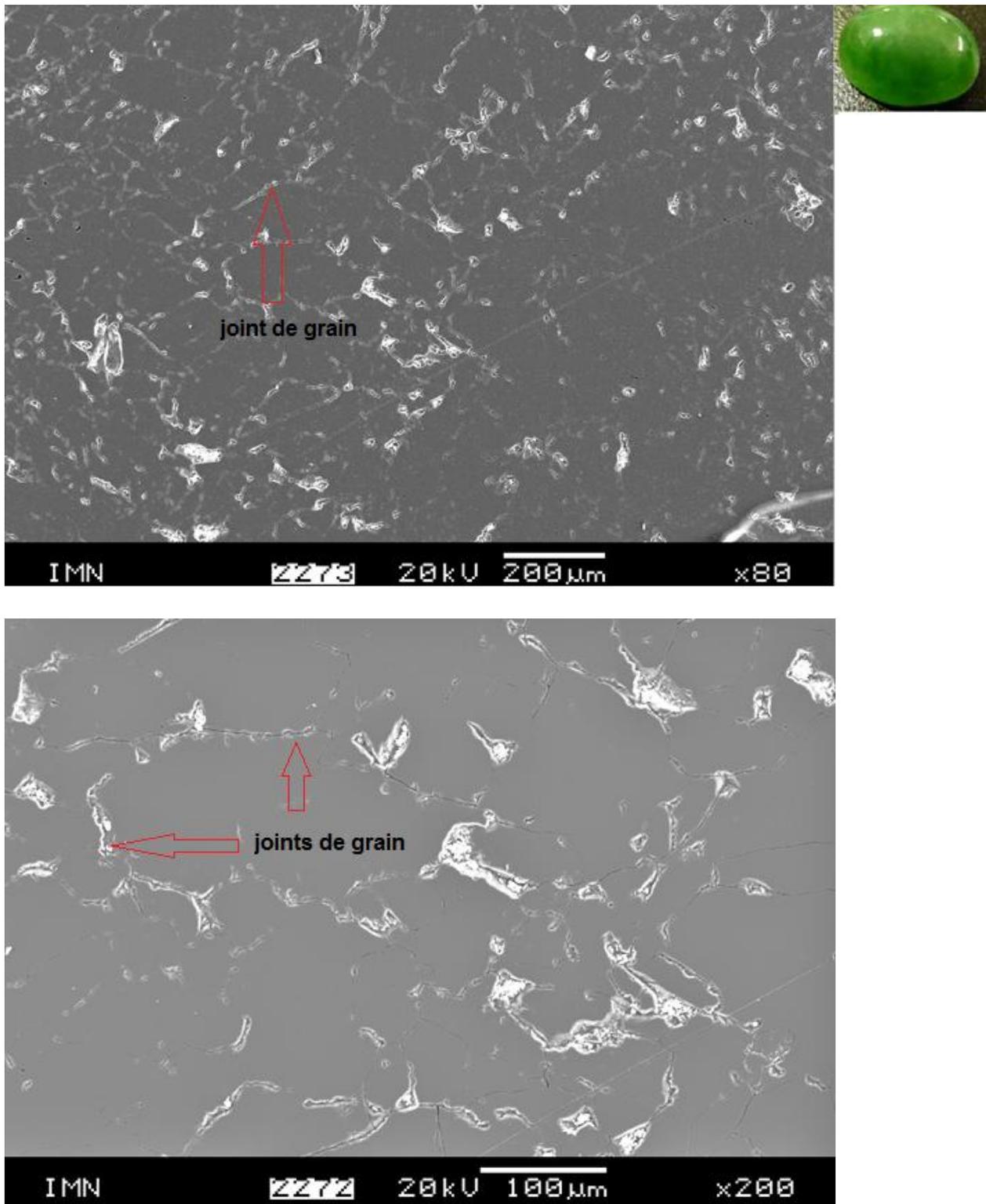
Nous discernons de nombreux trous et des joints de grain à la surface. (Fig. 3.III.23)



**Fig. 3.III.23 : H. Trous entre les grains de cristaux.  
B. Nombreux trous et joints de grain à la surface de l'échantillon.**

L'échantillon J2C

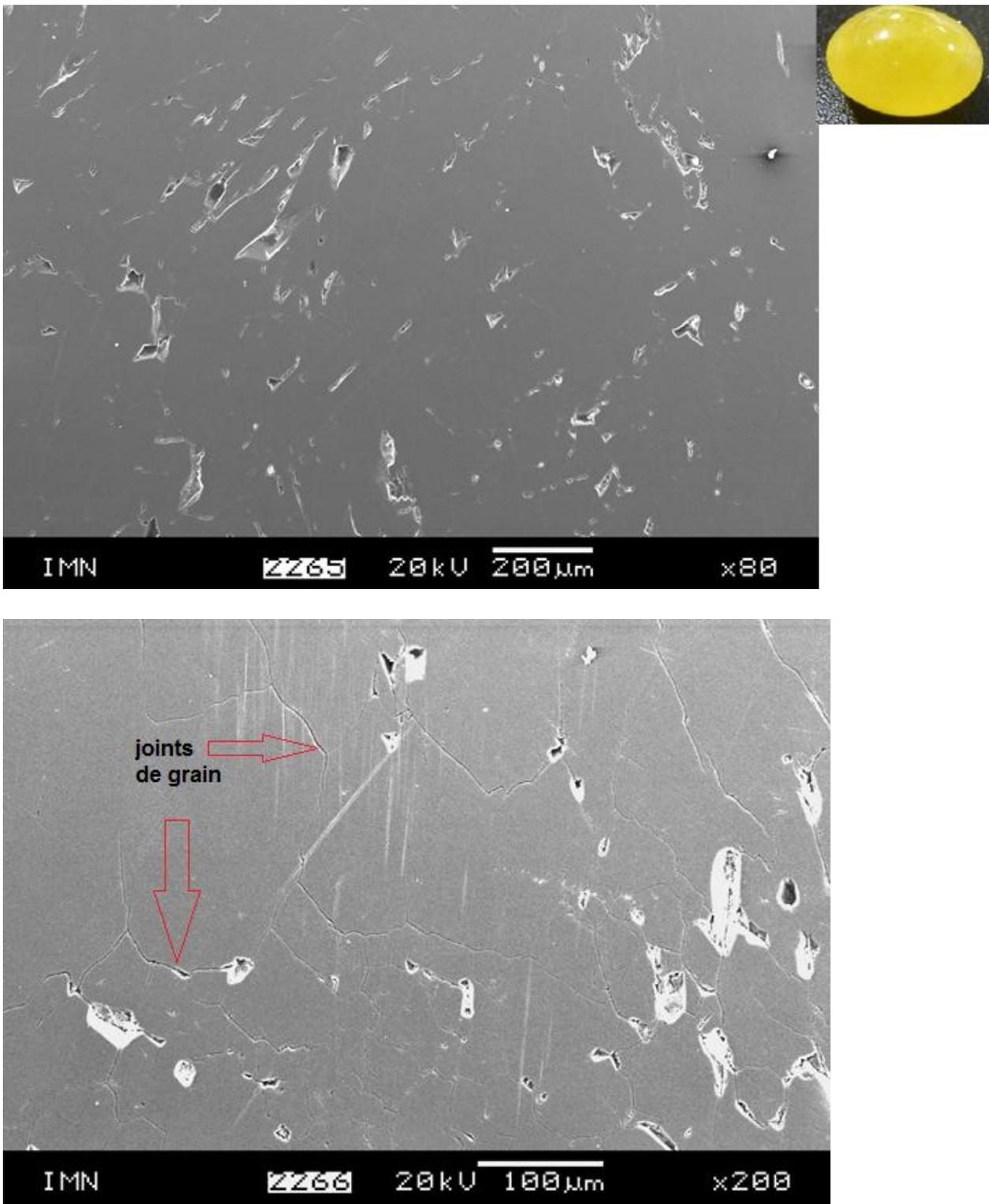
Nous observons de nombreux trous et des joints de grain à la surface. (Fig. 3.III.24)



**Fig. 3.III.24 : H. Nombreux trous et joints de grain à la surface de l'échantillon.  
B. : Trous et joints de grain à la surface de l'échantillon.**

L'échantillon J2D

Les images révèlent de nombreux trous et des joints de grain à la surface. (Fig. 3.III.25)



**Fig.3.III.25 : H. Nombreux trous à la surface de l'échantillon.  
B. Joints de grain et trous à la surface de l'échantillon.**

L'échantillon J3A

Sur cette figure on constate que les trous sont peu nombreux, on distingue un grain de cristal. (Fig. 3.III.26)

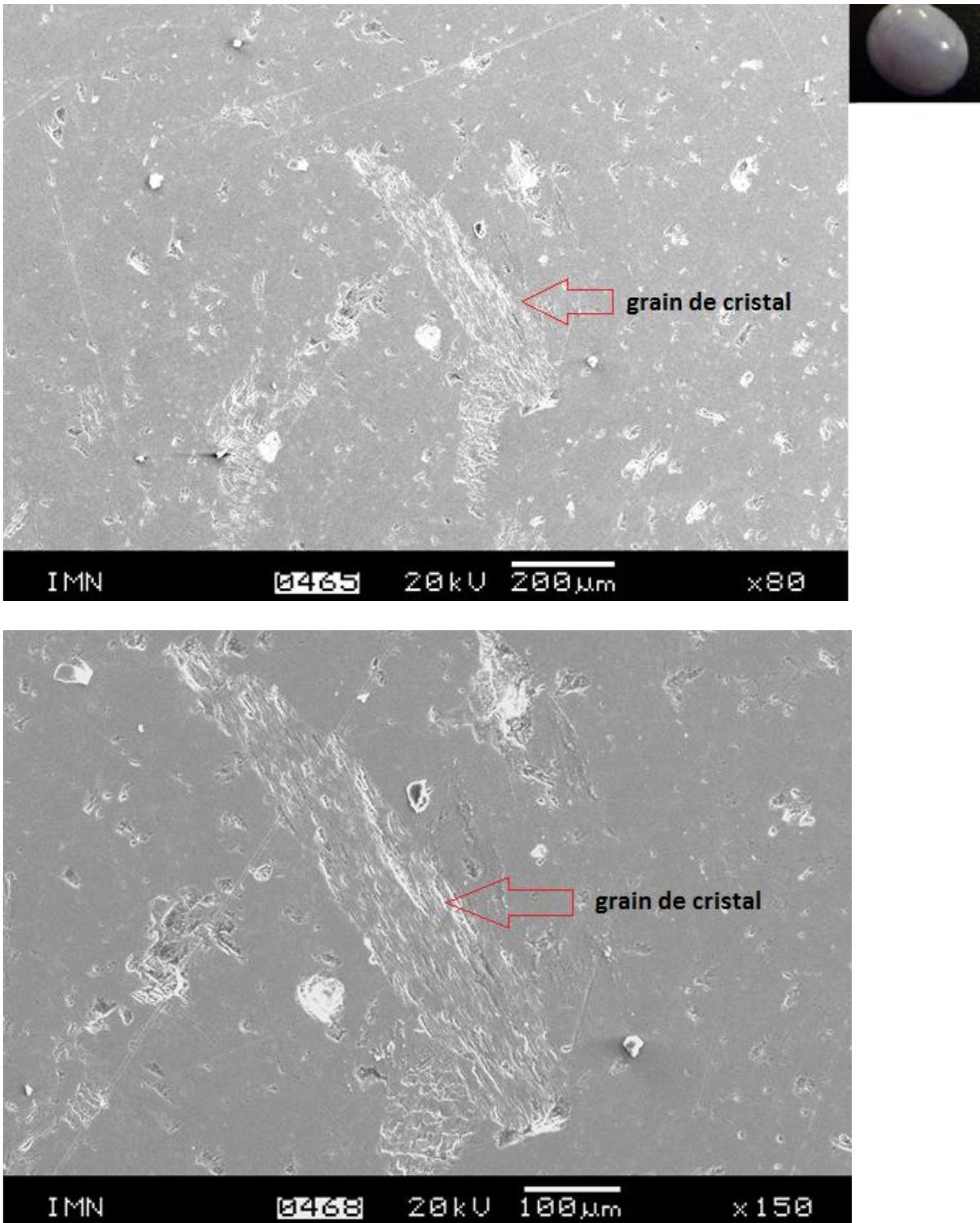
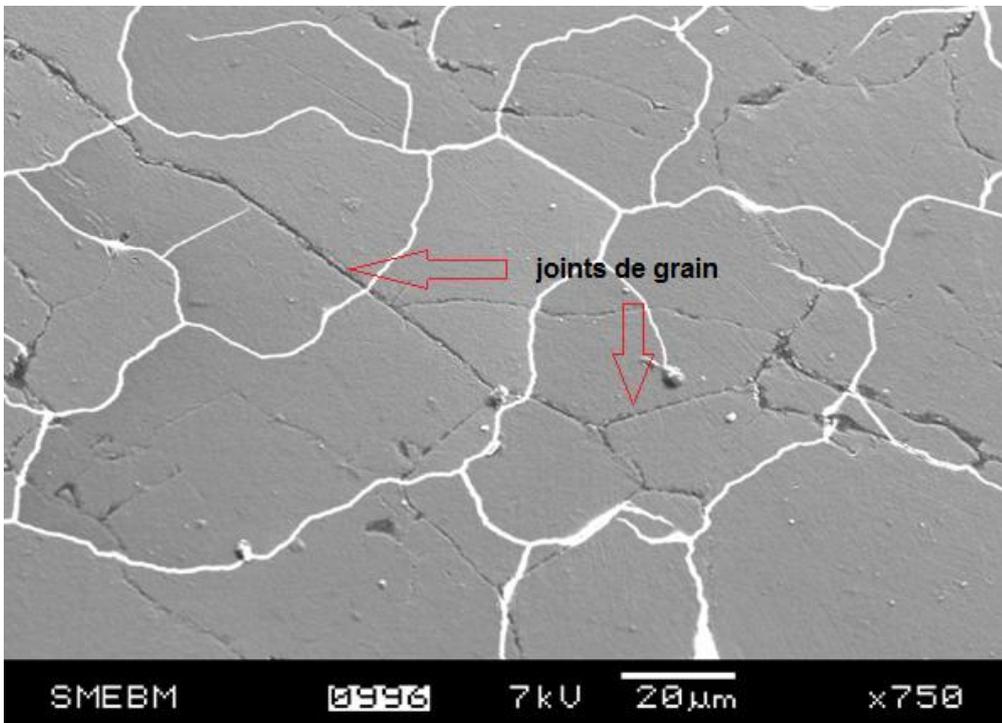
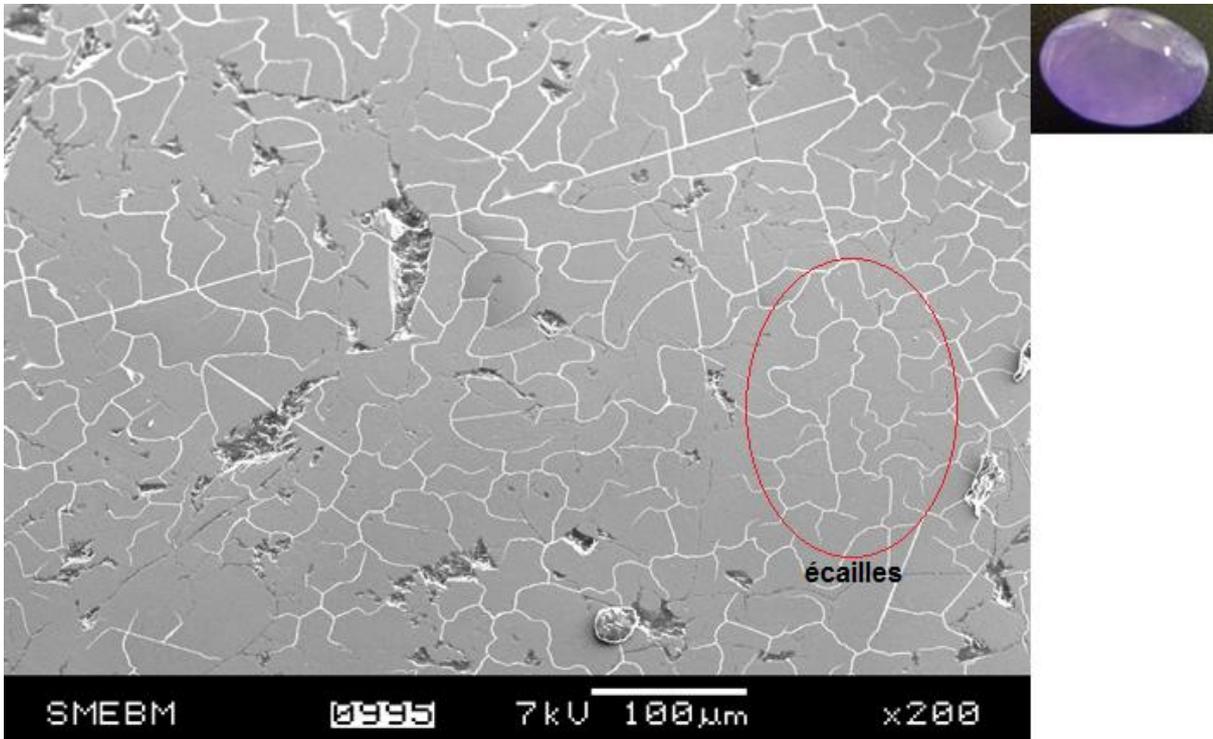


Fig. 3.III.26 : On peut voir un grain de cristal de la jadéite.

*L'échantillon J3B*

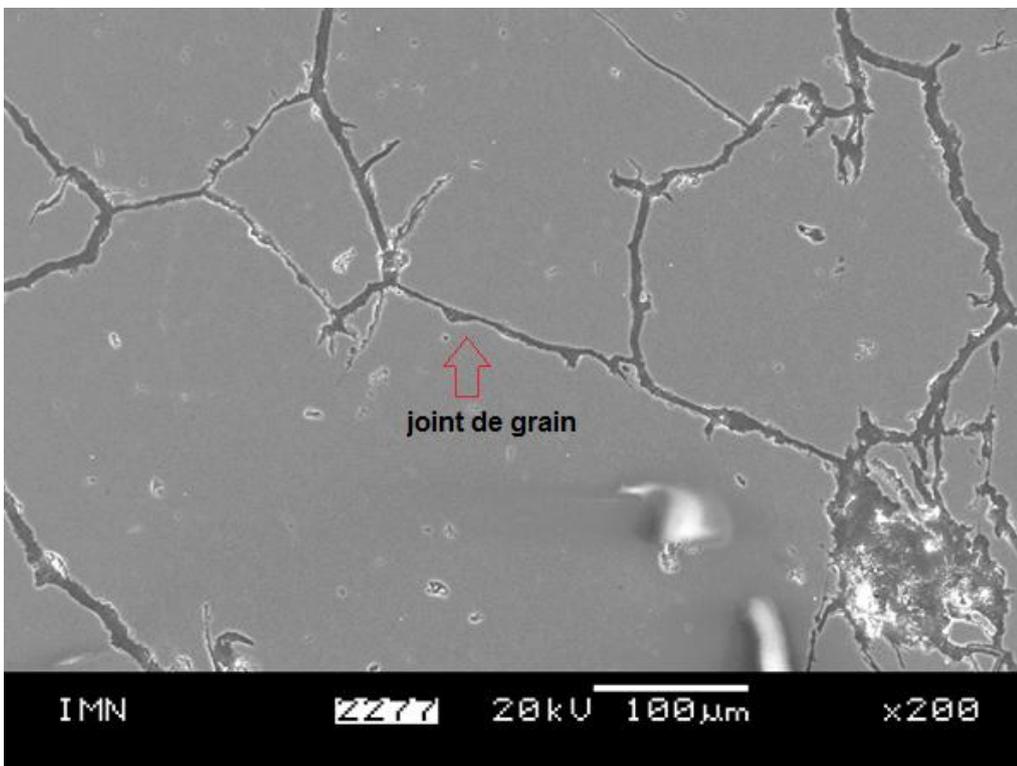
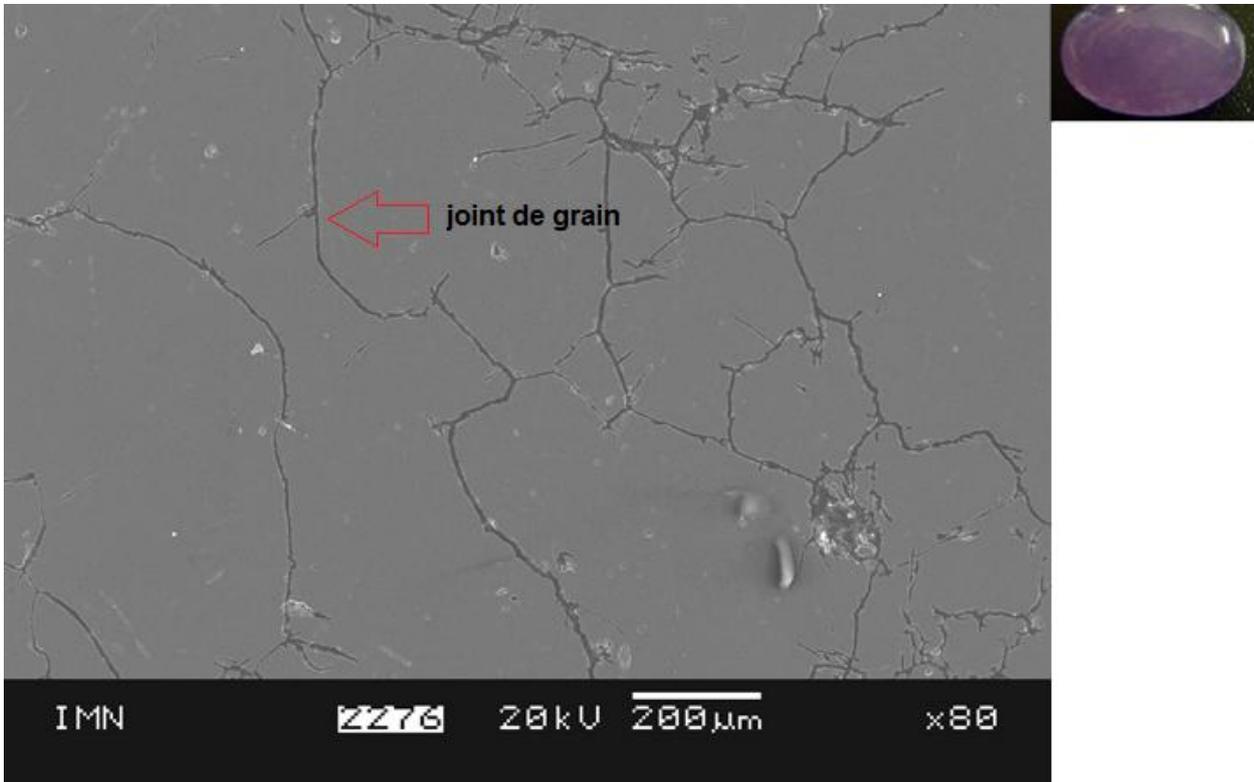
On peut observer quelques grands trous et des joints de grain. Cet échantillon est recouvert d'une couche de vernis, les joints de grain dans le vernis font apparaître des écailles. La couche d'époxy n'a pas été endommagée. (Fig. 3.III.27) Cet échantillon est le plus brillant des échantillons pourpres.



**Fig. 3.III.27 : H. Ecailles et joints de grain.  
B. Joints de grain sous la couche de vernis.**

*L'échantillon J3C*

Nous observons de nombreux joints de grain en surface, la teinture a pénétrée en suivant ces joints de grain. (Fig. 3.III.28) Avec la binoculaire nous avons observé sur cet échantillon l'effet branches d'arbre desséchées.



**Fig. 3.III.28 : Joints de grain et trous en surface.**

L'échantillon J3D

On observe de nombreux trous mais peu de joints de grain en surface. (Fig. 3.III.29)

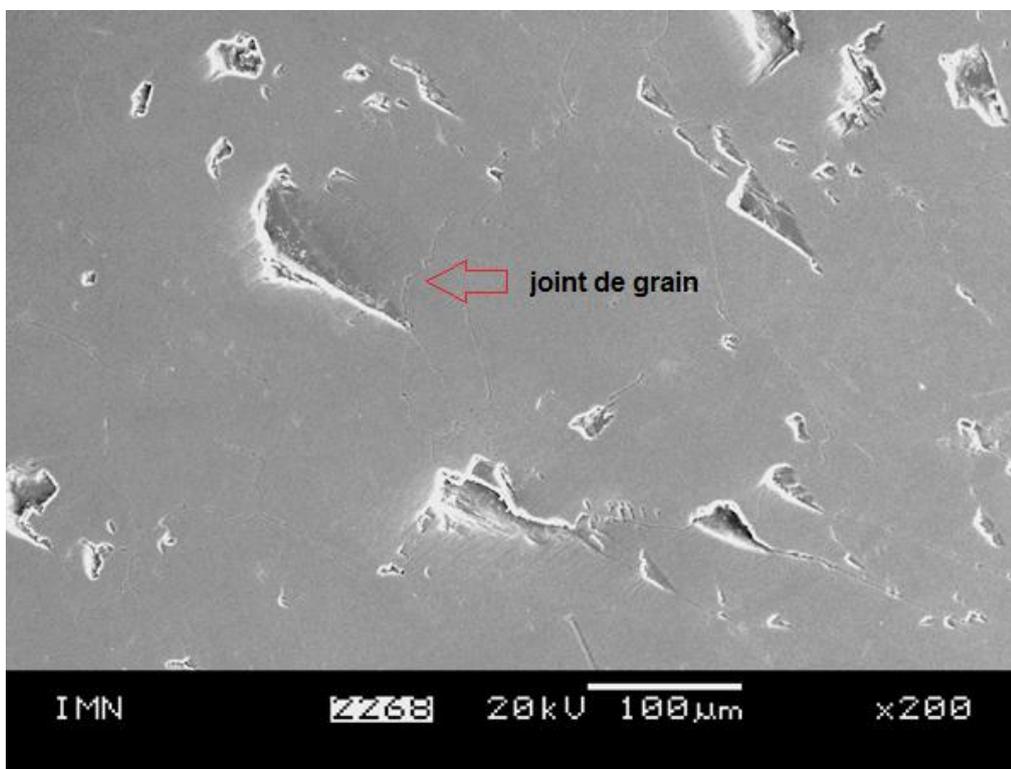
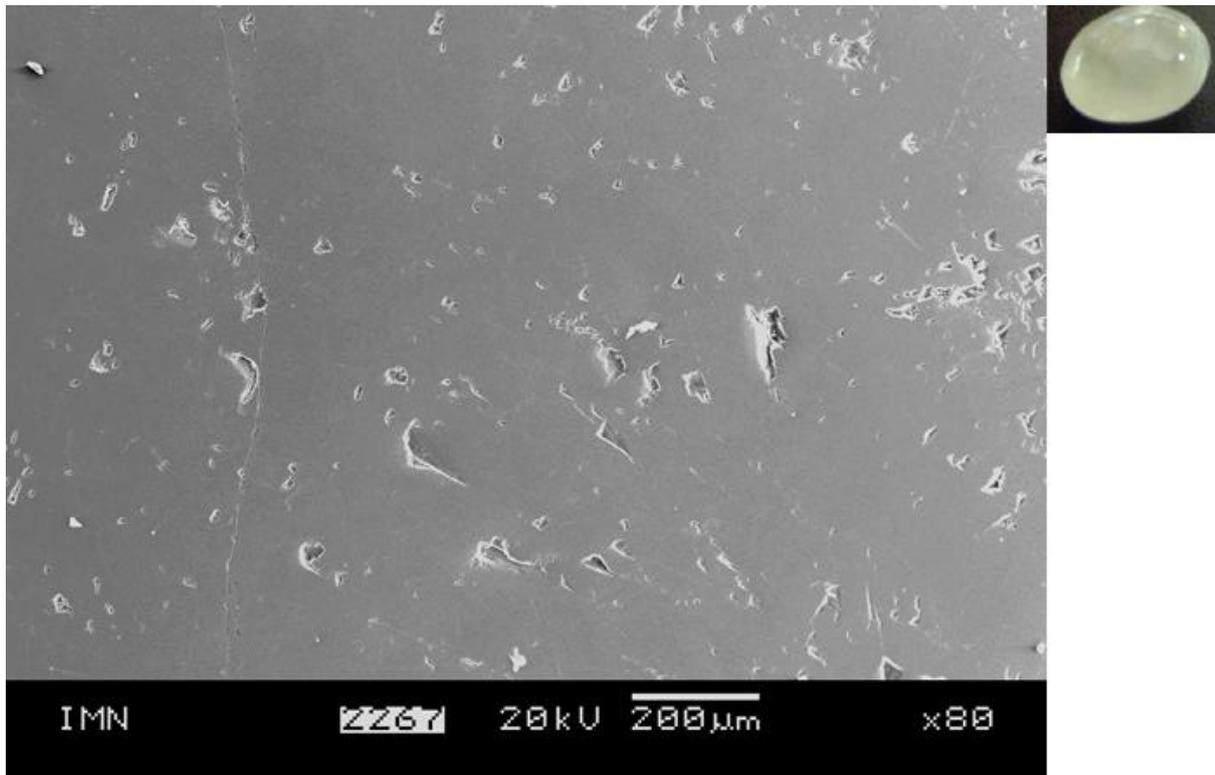
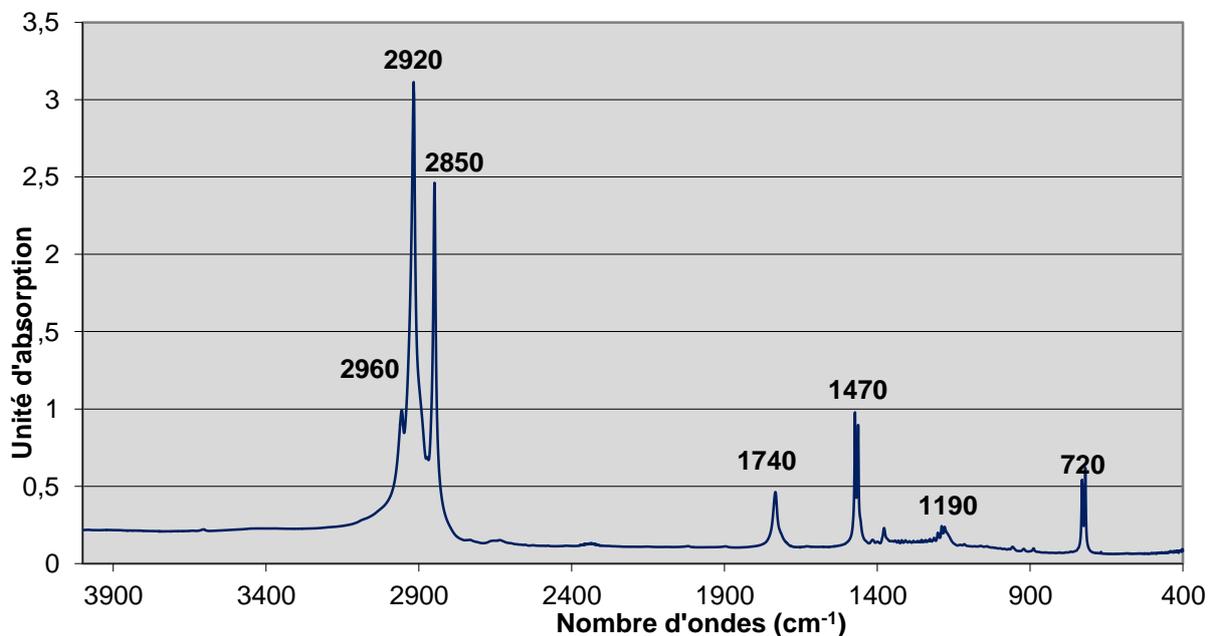


Fig. 3.III.29 : Trous et joints de grain en surface.

### III. 2. b. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

*Spectres d'absorption infrarouge de l'échantillon de cire blanche (Fig. 3.III.30)*

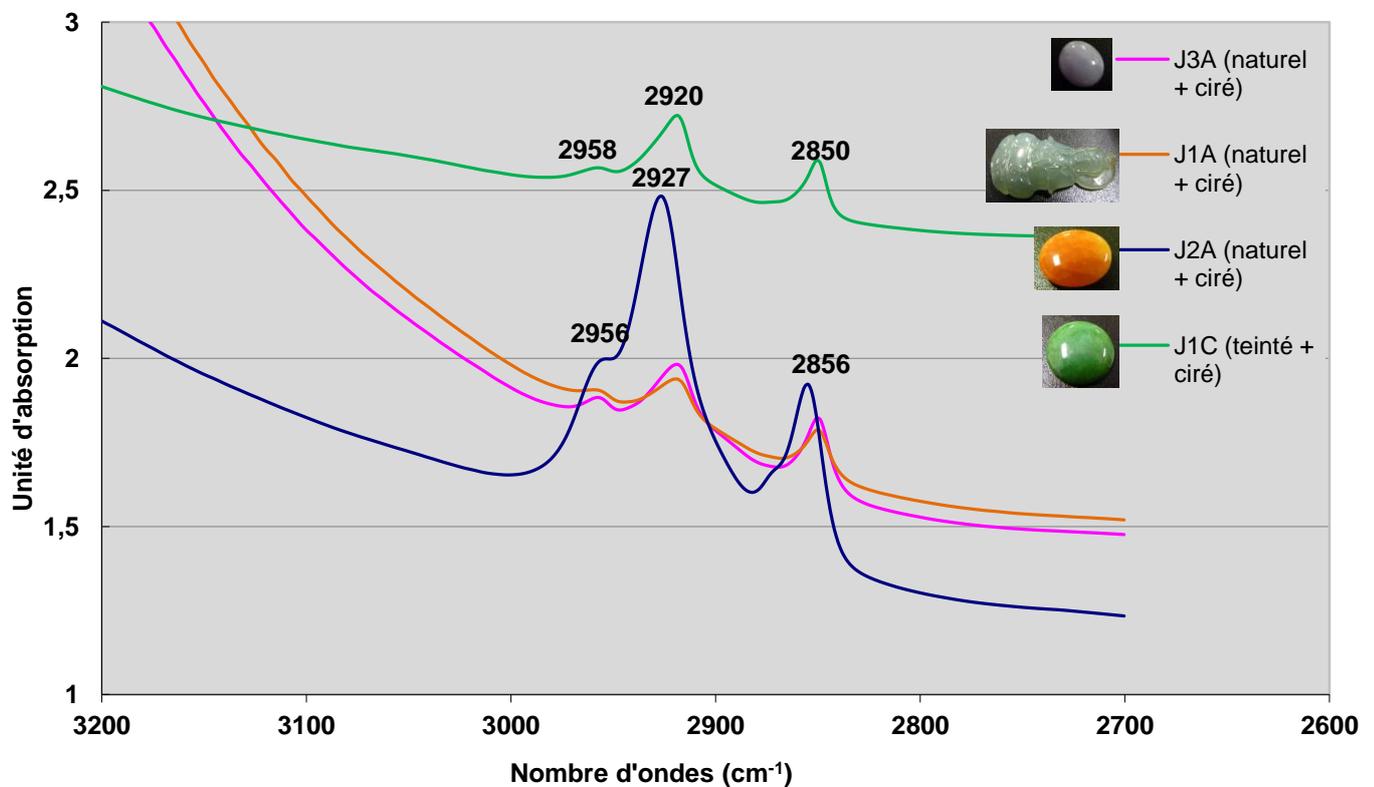


**Fig. 3.III.30 : Spectres d'absorption infrarouge de l'échantillon de cire blanche.**

Nous observons qu'entre 4000 et 400  $\text{cm}^{-1}$  le spectre d'absorption infrarouge de l'échantillon de cire blanche a plusieurs pics, ils sont près de 2960 $\text{cm}^{-1}$ , 2920 $\text{cm}^{-1}$ , 2850 $\text{cm}^{-1}$ , 1740 $\text{cm}^{-1}$ , 1470 $\text{cm}^{-1}$ , 1190 $\text{cm}^{-1}$  et 720 $\text{cm}^{-1}$ .

Cette cire nous a été envoyée de Chine par M. Zhu Yuanyi, nous en avons confié un échantillon à M. Maxime Guillaumet de l'Institut de Minéralogie et de Physique des Milieux Condensés qui a accepté de l'analyser.

Premier groupe : traitement à la cire blanche : échantillons J1A, J2A, J3A coloration et traitement à la cire blanche : échantillon J1C. (Fig. 3.III.31)



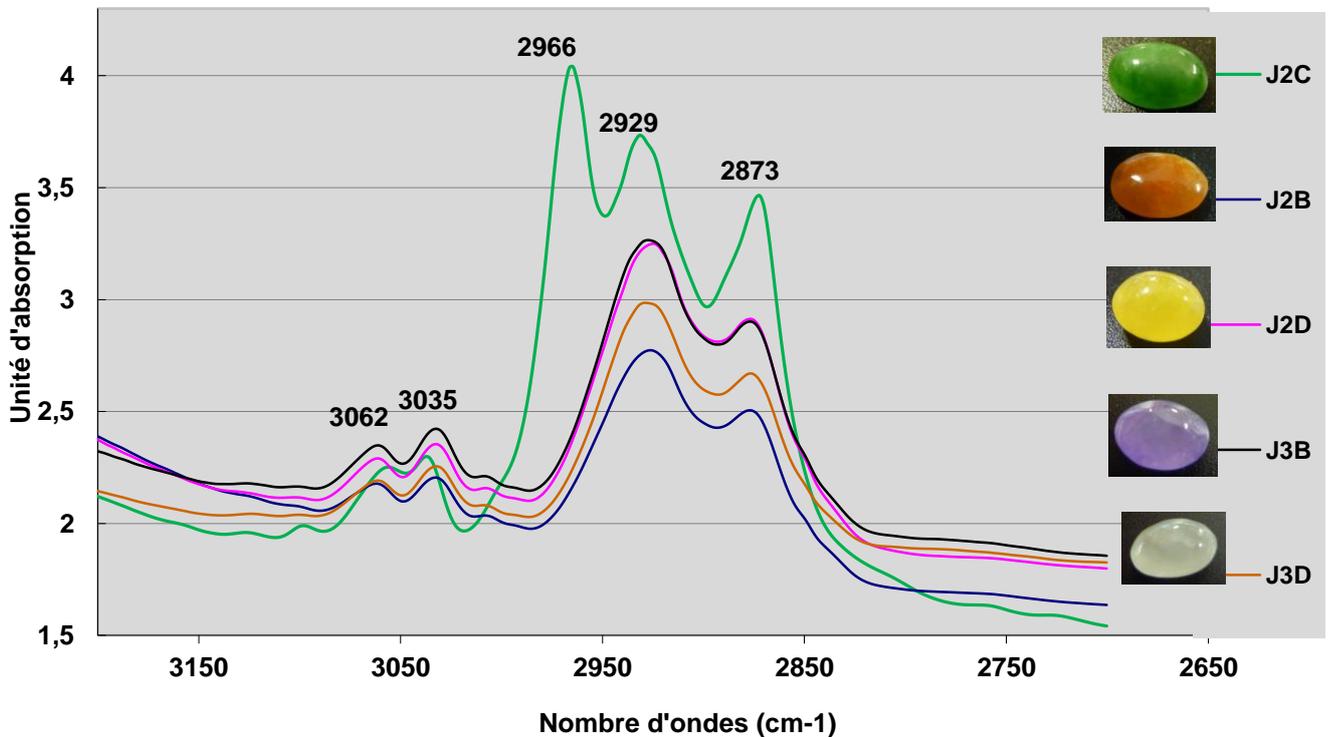
**Fig. 3.III.31 : Spectres d'absorption infrarouge des échantillons traités à la cire naturelle.**

Entre 3100 et 2700  $\text{cm}^{-1}$  les spectres d'absorption infrarouge de l'échantillon J1A, de l'échantillon J2A et de l'échantillon J3A ont trois pics situés près de 2956 $\text{cm}^{-1}$ , 2927 $\text{cm}^{-1}$  et 2856 $\text{cm}^{-1}$ . Sur le spectre d'absorption infrarouge de l'échantillon J1C nous relevons aussi ces trois pics, ils sont situés à environ 2958 $\text{cm}^{-1}$ , 2920 $\text{cm}^{-1}$  et 2850 $\text{cm}^{-1}$ . Avec une marge d'erreur, nous pouvons cependant dire que ces trois pics correspondent aux trois pics caractéristiques de la cire naturelle (2960 $\text{cm}^{-1}$ , 2925 $\text{cm}^{-1}$  et 2850 $\text{cm}^{-1}$ ). Le pic le plus marqué 2925 $\text{cm}^{-1}$  indique la présence de cire naturelle. Ceci apparaît nettement sur la figure 3.III.34.

Dans le spectre d'absorption infrarouge entre 4000 et 400  $\text{cm}^{-1}$  du J1C nous n'avons pas relevé d'indices qui révèlent la présence de teinture.

Les émeraudes traditionnellement traités avec une huile végétale comme du "Cedar Oil" font aussi apparaître sur le spectre d'absorption infrarouge 3 pics d'absorption à environ 2953 $\text{cm}^{-1}$ , 2929 $\text{cm}^{-1}$  et 2867 $\text{cm}^{-1}$  similaires à ceux qu'on observe avec de la jadéite traitée à la cire naturelle. (Zecchini, 1998)

Second groupe : jadéites traitées par imprégnation de résine d'époxy et teintées ; échantillons J2B, J2C, J2D, J3B, J3C et J3D. (Fig. 3.III.32)



**Fig.3.III.32: Spectres d'absorption infrarouge d'échantillons teintés et traités par imprégnation de résine d'époxy.**

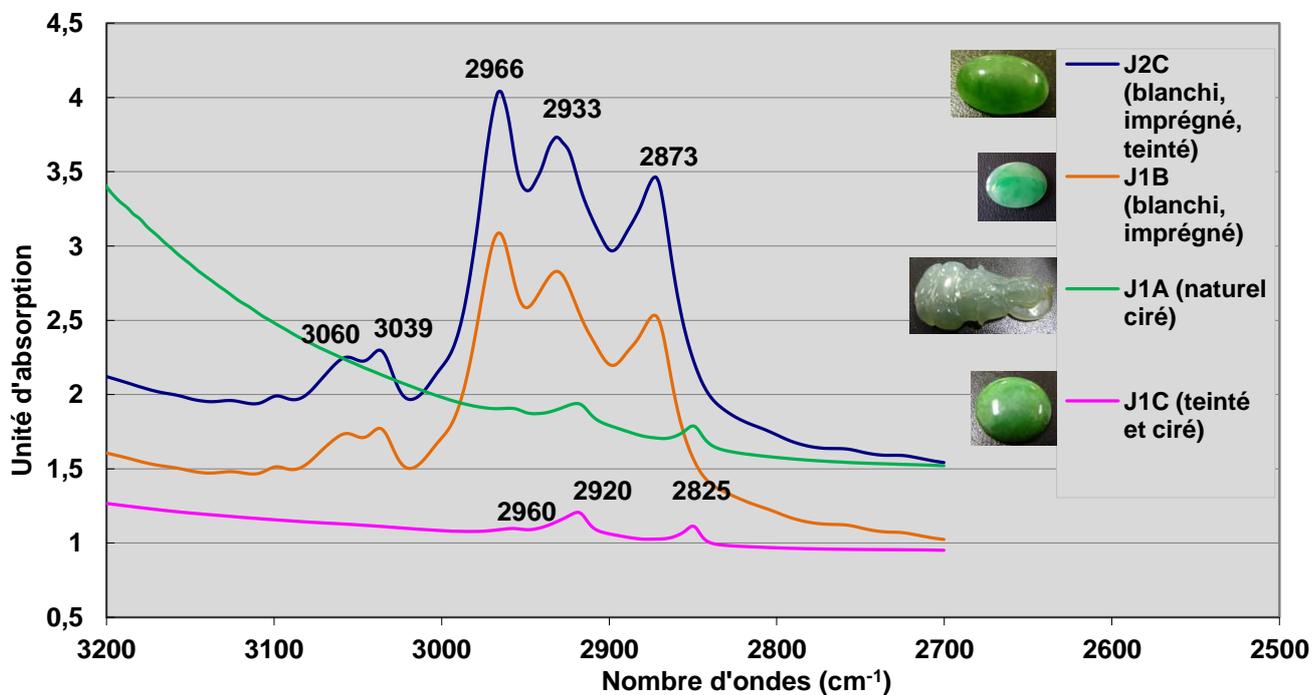
Entre 3100 et 2700  $\text{cm}^{-1}$  les spectres d'absorption infrarouge de l'échantillon J2B, de l'échantillon J2D, de l'échantillon J3B et de l'échantillon J3D sont similaires. Ces quatre spectres ont quatre pics situés à environ  $3062\text{cm}^{-1}$ ,  $3035\text{cm}^{-1}$ ,  $2929\text{cm}^{-1}$  et  $2873\text{cm}^{-1}$ . Ces quatre échantillons sont à peu près de la même taille et leurs spectres respectifs qui suivent des courbes similaires nous amènent à penser que ces échantillons ont été imprégnés par la même résine. (Même recette, même composition chimique).

Sur le spectre de l'échantillon J2C nous observons aussi ces quatre pics et un cinquième situé près de  $2966\text{cm}^{-1}$ .

L'échantillon J3C est un quartz qui a subi le même traitement que les échantillons de jadéite. Sur son spectre d'absorption infrarouge nous relevons aussi les cinq pics caractéristiques de la résine d'époxy,  $3058\text{cm}^{-1}$ ,  $3039\text{cm}^{-1}$ ,  $2966\text{cm}^{-1}$ ,  $2927\text{cm}^{-1}$  et  $2873\text{cm}^{-1}$ . Mais entre 3100 et 2700  $\text{cm}^{-1}$ , nous observons de nombreux autres pics que nous ne pouvons pas expliquer.

De même sur le spectre d'absorption infrarouge de l'émeraude imprégné de "Palm Oil" ou d'"Opticon" on observe 5 pics d'absorption  $3056\text{cm}^{-1}$ ,  $3038\text{cm}^{-1}$ ,  $2965\text{cm}^{-1}$ ,  $2929\text{cm}^{-1}$  et  $2872\text{cm}^{-1}$ . Les deux premiers pics signalent la présence d'un cycle aromatique dans ces composés. (Zecchini, 1998)

Troisième groupe : jade jadéite A traité à la cire naturelle, échantillon J1A ; jadéite blanchie et imprégnée de résine d'époxy, échantillon J1B ; jadéite traitée à la cire naturelle et teinte, échantillon J1C ; jadéite traitée par imprégnation de résine d'époxy et teinte, échantillon J2C. (Fig. 3.III.33)



**Fig.3.III.33: Spectres d'absorption infrarouge d'échantillons traités par différents moyens.**

Nous observons qu'entre 3100 et 2700 cm<sup>-1</sup> les spectres d'absorption infrarouge de l'échantillon J2C et de l'échantillon J1B se ressemblent, ils ont cinq pics près de 3060cm<sup>-1</sup>, 3039cm<sup>-1</sup>, 2966cm<sup>-1</sup>, 2933cm<sup>-1</sup> et 2873cm<sup>-1</sup>. Ce sont des pics qui correspondent au spectre d'absorption infrarouge de la résine d'époxy. Les spectres ne nous permettent pas d'indiquer les différences entre les traitements réalisés sur ces deux échantillons.

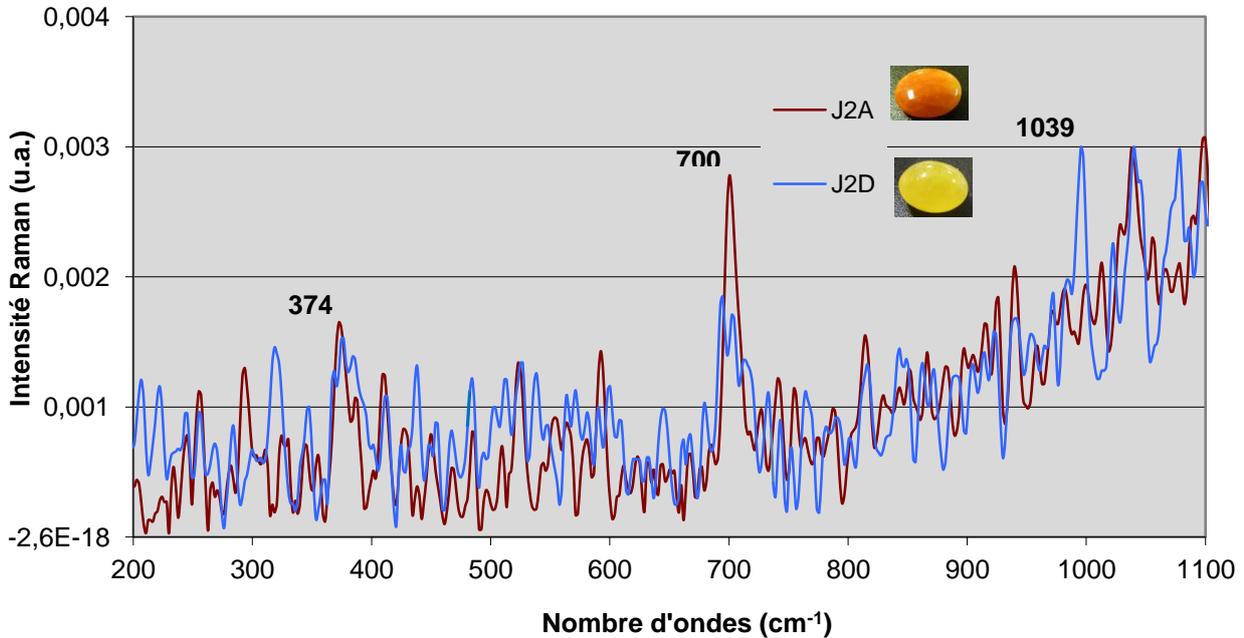
Les spectres d'absorption infrarouge de l'échantillon J1A et de l'échantillon J1C sont semblables, ils ont trois pics situés près de 2960cm<sup>-1</sup>, 2920cm<sup>-1</sup> et 2825 cm<sup>-1</sup>. Ces pics correspondent au spectre d'absorption infrarouge de la cire naturelle. A partir de leurs spectres nous ne pouvons pas indiquer les différences du traitement que ces échantillons ont reçu.

Dans le spectre d'absorption infrarouge entre 4000 et 400 cm<sup>-1</sup> de l'échantillon J1C nous n'avons pas décelé d'indices qui signalent la présence de teinture.

La spectrométrie infrarouge s'est révélée très utile pour la détection de la cire naturelle et de la résine d'époxy.

### III. 2. c. Spectroscopie Raman à transformée de Fourier (FT Raman)

*Groupe couleur jaune : jade jadéite A traité à la cire naturelle, échantillon J2A et jadéite traitée par imprégnation de résine d'époxy et teintée, échantillon J2D.*



**Fig.3.III.34 :** Spectres d'absorption Raman d'un échantillon traité à la cire naturelle et d'un échantillon traité par imprégnation de résine d'époxy.

Sur cette figure (Fig. 3.III.34), nous observons deux pics importants de la jadéite à  $374\text{cm}^{-1}$  et à  $700\text{cm}^{-1}$ .

Dans le spectre d'absorption Raman entre  $3200$  et  $2500\text{cm}^{-1}$  de ces deux échantillons nous n'avons pas décelé d'indices qui signalent la présence de  $-\text{OH}$ .

La spectroscopie Raman à transformée de Fourier qui permet de connaître la structure de moléculaire du matériau analysé présente à notre avis des difficultés pratiques pour la détection des traitements de la jadéite. En effet, l'analyse porte sur des volumes de quelques dizaines de microns-cube. A cette échelle, la jadéite traitée est hétérogène. Si le faisceau rencontre une fissure remplie de résine nous obtiendrons un très fort signal révélant la présence de résine, à l'opposé, si le faisceau rencontre un cristal de jadéite seul apparaîtra le signal de la jadéite à l'exclusion de celui de la résine.

Cette technique nous semble donc inadaptée pour la détection et la quantification du traitement que peut avoir subi l'échantillon analysé.

## VI. Conclusion

En situation réelle afin de répondre aux questions posées dans le cadre d'une expertise de jade nous devons procéder à différents examens. Il faut tout d'abord déterminer la nature du matériau sur lequel va porter notre examen. Il s'agit de répondre à cette première question : de quoi s'agit-il ? On peut tout d'abord mesurer l'indice et la densité du matériau, cependant le jade est parfois serti dans un bijou dont il ne peut pas être séparé il est donc exclu d'utiliser ce moyen de détermination dans ces cas-là.

L'observation à l'œil nu et à la loupe apporte à un gemmologue expérimenté de nombreuses informations. Nous observons tout d'abord si la jadéite présente à sa surface des effets peau d'orange ou ailes de mouche. Il va de soi que cette observation ne peut se faire que si l'objet a une taille suffisante pour se prêter à cet examen. D'autres instruments de gemmologie classique comme le filtre Chelsea sont utilisés pour le matériau de couleur verte et la lampe UV qui permet parfois de détecter la résine d'époxy sont des outils efficaces pour détecter les traitements avec certitude.

Les instruments de laboratoire présentent l'avantage de réaliser des examens non destructifs qui permettent de découvrir les procédés utilisées pour les traitements.

Le FT Infrarouge s'est avéré être un outil particulièrement efficace pour la détection de résine contrairement au FT Raman qui ne permet pas cette détection à tous les coups.

Rappelons pour finir les liens étroits qui unissent la gemmologie au commerce des gemmes ; ainsi les catégories commerciales ont été reprises par les gemmologues. Soulignons que tous les objets en jade ont fait l'objet d'un traitement à la cire naturelle plus ou moins intense, aussi il serait raisonnable en gemmologie s'agissant d'objets destinés au commerce de parler de jade jadéite A ciré ou imprégné en indiquant le niveau d'imprégnation.

## Bibliographie

1. Anonymous - Standard methods for testing Fei Cui (jadeite jade) for Hong Kong (2006). The Gemmological Association of Hong Kong Limited, Hong Kong, 28 pages. <http://www.gahk.org/en/gemtest.asp>. Consulté le 19/12/2009.
2. Anonymous - *National Standard of People's Republic of China: Gem-Nomenclature (2003)*. Version GB/T16552. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ), Standards Press of China, Beijing, p.43.
3. Augé P., (1927-1933) *Le Larousse du XX<sup>e</sup> siècle*. Edition Larousse, Paris. Vol.4, p.144 (c).
4. Blanchard R. (1883) Les Ericerus, *Bulletin de la Société zoologique de France*, au siège de la société, Paris, t.8, pp.239-248. <http://www.biodiversitylibrary.org/page/11227034#page/262/mode/1up>. Consulté le 13/12/2010.
5. Bugnion E., Popoff N. (1908) La Cire Blanche de Chine (Rectification). *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, Lausanne, Paris, Vol. XLIV, N° 164, pp.273-283. <http://www.archive.org/stream/bulletindelasoc30natugooq#page/n344/mode/1up>. Consulté le 13/12/2010.
6. Cao Sh-M, Qi L-J. (2008) Study on the Vibrational Spectra Characterization of Synthetic Jadeite Jade Made by General Electric Company. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, Vol. 28, No. 4, pp.847-851.
7. Cibot P. M. (1788) Notices sur les Abeilles et la Cire, par feu M. Cibot. *Mémoires concernant l'histoire, les sciences, les arts, les mœurs, les usages, &c. des Chinois*. Chez NYON l'aîné, Paris. Vol. XIII, pp.376-388.
8. Chen ML, Deng L. (2007) A news treated jadeite ice in the market. *China Gems*, Vol. 16, N° 4, pp.219-220.
9. Diderot et d'Alembert. (1751-1772) *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, par une société de gens de lettres. Paris, 17 volumes. [http://www.lexilogos.com/encyclopedie\\_diderot\\_alembert.htm](http://www.lexilogos.com/encyclopedie_diderot_alembert.htm). Consulté le 05/01/2010.
10. Fan J-L, Guo Sh-G. (2007) Application of Raman Spectrometer (785nm) to Jadeite Test. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, Vol. 27, No. 10, pp.2057-2060.
11. Fan J-L, Guo Sh-G. (2007) Study on Spectroscopy of Natural and Treated Jadeite. *Laser & Infrared*, Vol. 37, No. 8, pp.769-772.
12. Fritsch E., Wu S.-T. T., Moses T., McClure S.F., Moon M. (1992) Identification of bleached and polymer-impregnated jadeite. *Gems & Gemology*, Vol. 28, No. 3, pp.176-187.

13. Fritsch E. (1994) Type-B jadeite: new polymers and estimating amount of wax. *Jewellery News Asia*, No. 123, pp.106-110.
14. Fritsch E., Carrère P., Moses T. (1999) La détection du Jade B: comparaison des différentes méthodes de laboratoire. *Revue de gemmologie a.f.g.*, No.136, pp.14-18.
15. Fritsch E., Rossman G.R. (2001) L'origine de la couleur dans les gemmes: 4ème partie. *Revue de gemmologie a.f.g.*, No. 143, pp.26-37.
16. Galibert O., Hughes W. (1999) Sur la piste de la ligne verte. *Revue de gemmologie a.f.g.*, No. 136, pp.19-25.
17. Gao Y. (2008) Infrared Spectrum in the Study of the Jadeite. *Infrared Technology*, Vol.30, No. 7, pp.425-428.
18. Grégory C. (1980) Encyclopédia Universalis. Encyclopédia Universalis France, Paris. Vol.5, p.922 (a).
19. Guo L-h, Han J-y. (2006) The infrared reflectance spectra and the identification system of gems. *Acta petrologica et mineralogica*. Vol.25, No.4, pp.349-356.
20. Harlow, G.E. and Sorensen, S.S. (2001) Jade: Occurrence and metasomatic origin — extended abstract from International Geological Congress 2000. *The Australian Gemmologist* 21, 7-10.
21. Harlow G.E. (2004) L'origine du jade jadeite. *Revue de Gemmologie a.f.g.*, No. 150, pp.7-11.
22. Hobbs M., Nassau K, Keller P. (1982) The Jade enigma. *Gems & Gemology*, Vol.18, No. 1, pp.2-19.
23. Hu Ch-Y. (2003) Talk about fly wing in jadeite. *CHINA GEMS & JADES*, No. 2, p.41.
24. Hughes R. alteri. A journey to Burma's jade mines. *Gemmology Canada*, Canadian Institute of Gemmology. <http://www.cigem.ca/425.html>, <http://www.cigem.ca/426.html>. Consulté le 19/11/2009.
25. Hughes R., Galiber O., (2000) Burmese Jade : The Inscrutable Gem. *Gems & Gemology*, Vol.18, No. 1, pp.2-25.
26. Kammerling R.C., McClure S.F., Fritsch E (1994) Lavender Jadeite, Impregnated. *Gems & Gemology*. Vol.30, No.1, p.34.
27. King J.H.Y., A. G. Jade, *Gemmology Canada*, Canadian Institute of Gemmology. <http://www.cigem.ca/pdf/jessie.pdf> . Consulté le 19/11/2009.
28. Kim B. H., A.G., *Jadéite*, Gemmology Canada, Canadian Institute of Gemmology, 85 pages. <http://www.cigem.ca/pdf/jadeite.pdf> . Consulté le 19/11/2009.

29. Lacroix A. (1928) Sur la genèse de la jadéite de Birmanie. *Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences*, Gauthier-Villars, Paris, t.187, pp. 393-396.
30. Lacroix A. (1930) La jadéite de Birmanie, les roches qu'elle constitue ou qui l'accompagnent. Composition et origine. *Bulletin de la Société Française de Minéralogie*, Livre Jubilaire, Paris, t. 53, pp.216-254.
31. Laurian A.-M. (2007) Les cinq sens et les sensations, édition Peter Lang, Paris, 294 pages.
32. Li Y., Que Q., Li L., Chen M. (2006) Manuel de Gemmologie. 1<sup>ère</sup> édition. China University of Geosciences Press, Wuhan Chine, 368 pages.
33. Li J., Liu X. (2008) Visually distinguishing A-jadeite from B-jadeite. *The journal of Gemmology*, Vol. 31, No.3/4, pp.125-131.
34. Lu R, Wu RH. (2008) Study on Mineralogical Characteristics and Optical Principle of "Glimmering" Jadeite Jade. *Journal of Gems and Gemmology*, Beijing Chine, Vol. 10, No. 4, pp.125-131.
35. Lung Ts-Ni (2001) The History of Culturing *Ericerus Pela* (Chavannes) in China. — extended abstract from International Symposium on the Chinese History of Science 2001. <http://www.tri.org.tw/research/impdf/1.pdf> . Consulté le 13/12/2010.
36. McClure S.F., Smith C.P. (2000) Gemstone enhancement and detection in the 1990s. *Gems & Gemology*, Vol. 36, No. 4, pp.336–359.
37. Mok D. (1999) Moyen actuels d'identification de la Jadéite verte. *Revue de Gemmologie a.f.g.*, No. 136, pp.10-18.
38. Nassau K., James E. Shigley (1987) A Study of the General Electric Synthetic Jadeite. *Gems & Gemology*, Vol.23, No.1, pp.27-35.
39. Ouyang Q. (2005) 翡翠全集 Feicui quanji, Tout sur la jadéite. Volume 1 et 2. 2<sup>nd</sup> édition. Cosmos Books, Hongkong Chine, 511 pages.
40. Ouyang Q., Yan J. (2005) 秋眉翡翠 Qiumei feicui, La jadéite par Qiumei. 1<sup>ère</sup> édition. Academia Press, Shanghai Chine, 236 pages.
41. Payette Francine. (2002) La gemmologie notions, principes, concepts. 2<sup>nd</sup> édition. Fischer Presses, Québec Canada, 227 pages.
42. Pomerol J-Ch., Lagabrielle Y., al. (2003) Eléments de géologie, édition Dunod, Paris, 746 pages.
43. Pope-Hennessy U. (1912) Early Chinese Jades, Ernest Benn, London, 448 pages.
44. Qi L-J, Yuan X-Q (2005) Scale Determination of Wax and Macromolecule Polymer-Filled Jadeite Jade. *Journal of Gems and Gemmology*, Vol.7, No.3, pp.1-6.

45. Read P.G. (1995) *Gemmology*. 3<sup>ème</sup> édition, Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam; New York, 1995, 324 pages.
46. Pinet M., Smith D., Lasnier B., Schubnel H.J. (1992) La Microsonde Raman en Gemmologie. *Revue de Gemmologie a.f.g.* No. hors-série. 60 pages.
47. Reclus E. (1882) *Nouvelle géographie universelle*. Hachette, Paris, Vol. VII, p.417.
48. Yuan X. (2005) 翡翠宝石学, Feicui baoshi xue, La jadéite en Gemmologie. 1<sup>ère</sup> édition. China University of Geosciences Press, Wuhan Chine, 258 pages.
49. Zhang B., Wang M. (2006) 系统宝石学, Xitong baoshi xue, Systematic Gemmology. 2<sup>nd</sup> édition. Geological Publishing House, Beijing Chine, 710 pages.
50. Zecchini P, Maitrallet Ph. (1998) Que peut apporter la spectrographie infrarouge dans l'étude des émeraudes. In: Giard D, Giuliani G, L'émeraude. *Connaissances actuelles et prospectives*. AFG, CNRS, ORSTOM, eds, Paris, pp. 81-95.

#### Sites internet :

1. 汉典 (Dictionnaire de la langue chinoise), <http://zdic.net/cd/> .Consulté le 05/01/2010.
2. Admas Gemological Laboratory, <http://www.adamsgem.org/gejade.html>. Consulté le 11/04/2011.
3. Burma Gem Sales and Statistics, Gem news from Pala International, [http://www.palagems.com/gem\\_news\\_burma\\_stats.php](http://www.palagems.com/gem_news_burma_stats.php). Consulté le 11/04/2010.
4. Gallica BNF, <http://gallica.bnf.fr>. Consulté le 13/12/2010.
5. GEMINTEREST, <http://www.geminterest.com/>. Consulté le 14/12/2010.
6. Gemmology Canada, <http://www.cigem.ca/resources/gemmology-canada>
7. Internet Archive, <http://www.archive.org/>. Consulté le 13/12/2010.