



Université Claude Bernard



Lyon 1

# DIPLÔME UNIVERSITAIRE DE GEMMOLOGIE SCIENTIFIQUE

« Jade et traitements »

**Guillaume Zuber**

Matériaux et ingénierie des surfaces  
Polytech Lyon

Tuteur pédagogique : Pr. Gérard Panczer

2017

---

# Remerciements

Je souhaite remercier l'ensemble des personnes qui ont pu me soutenir durant ce projet.

- Le professeur Gérard Panczer pour m'avoir offert l'opportunité de débiter cette formation. Pr Panczer m'a également permis d'étudier de nombreux échantillons de jade en sa possession, m'a invité à travailler avec lui sur le terrain et enseigné de précieuses leçons de professionnalisme.
- Mme Dominique Vouagner, ma tutrice pédagogique pour son écoute, ses conseils avisés et toute l'aide apportée à mon projet professionnel.
- Mes collègues Rebecca C. Bokanowski, Delphine Chabert, Catherine Ben Guigui et Elisa Landais, pour leur enthousiasme, leur aide constante et le travail d'équipe agréable qu'elles ont rendu possible lors de cette formation.
- L'ensemble de l'équipe pédagogique de Polytech Lyon pour leurs conseils théoriques concernant les matériaux cristallins.
- L'ensemble de l'équipe de recherche de l'Institut Lumière Matière pour leur gentillesse et leur aide tout au long de cette formation.
- L'ensemble des intervenants de la formation au Diplôme Universitaire de gemmologie.
- Le Dr. Henri Liu pour m'avoir fait confiance en mettant à ma disposition sa collection de jade, sans laquelle ce mémoire n'aurait pas pu être aussi abouti.

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION

### I. Les jades

- A. Gisements
- B. Caractéristiques gemmologiques
  - 1. Caractéristiques chimiques
    - a) *Jade-jadéite*
    - b) *Jade-néphrite*
    - c) *Smaragdite*
  - 2. Caractéristiques cristallines
  - 3. Caractéristiques physiques
  - 4. Caractéristiques optiques
- C. Histoire des jades, traditions et vertus supposées

### II. Caractérisation et traitements

- A. Techniques de gemmologie conventionnelles
  - 1. Observation directe et binoculaire
  - 2. Balance hydrostatique
  - 3. Réfractomètre
  - 4. Polariscope
  - 5. Lampe Ultra-Violet
  - 6. Spectroscope
- B. Techniques de laboratoire
  - 1. La spectroscopie de diffusion Raman
  - 2. La spectroscopie d'absorption UV-visible
  - 3. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)
  - 4. La spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF)
- C. Types de traitements

### III. Echantillons

- A. Caractérisation des échantillons
- B. Identification des traitements

## CONCLUSION

## BIBLIOGRAPHIE

## INTRODUCTION

Matériau aux propriétés multiples, pierre gemme de grande valeur et symbole au cœur de nombreuses traditions, le jade est un minéral qui ne cesse de faire parler de lui depuis des décennies. Le plus souvent confondu avec d'autres minéraux, le jade est régulièrement mal identifié et son appellation utilisée avec peu de rigueur.

Le but de ce mémoire est donc de lever le voile autour de cette gemme par une approche scientifique et rigoureuse. Approche nous permettant d'en apprécier l'histoire, les propriétés, nous permettant d'appliquer des méthodes de caractérisation efficaces et d'apporter des éléments sur les types de traitements qui peuvent être effectués sur ce type de minéraux.

Ce mémoire sera structuré en trois parties distinctes où nous effectuerons tout d'abord une dissection du jade, autant sur le plan gemmologique que sur le plan historique afin de définir sa véritable nature.

Dans une deuxième partie, nous passerons en revue les différentes techniques permettant d'identifier et de caractériser le jade ainsi que les éventuels traitements effectués sur une telle pierre. Enfin, dans une troisième partie j'exposerai mes travaux de recherche portant sur des collections de jade et mettant en œuvre l'ensemble des connaissances et des outils acquis tout au long de cette formation.

## I. Les jades

### A. Gisements

On trouve le jade dans les roches métamorphiques d'enfouissement.

Le jade-jadéite est bien plus rare sur Terre que le jade-néphrite. Sa présence est reconnue depuis longtemps, mais uniquement sous la forme de blocs façonnés par les torrents (Gisements alluviaux). Il est issu d'un phénomène de formation métamorphique. Plusieurs environnements géologiques sont associés aux gisements de jadéite. Une grande partie d'entre elles s'observe dans ou près de serpentinite (une roche métamorphique résultat de l'hydratation de péridotite)

Une autre proportion des jadéites référencées proviennent des ceintures de schistes bleus et éclogites (indicateurs des conditions métamorphiques de haute pression et basse température). Ces zones sont les vestiges des sutures des collisions intercontinentales.

On trouve également des gisements de jadéite au bord des grandes failles en décrochements (où les mouvements des côtés sont horizontaux). Par exemple en Californie, où les jadéites sont au bord de la faille San Andreas, en Birmanie près de la faille Sagaing, et au Guatemala près de la faille Motagua.

Le gisement de jade-jadéite « Jade Tract »<sup>11</sup> est le plus important en terme de commerce et est situé en Burma, anciennement Birmanie, aujourd'hui appelé Myanmar.

Le deuxième gisement le plus important de jade-jadéite est situé au Guatemala et est connu pour être la source de jade de nombreux artefacts archéologiques Méso-américains. On trouve ce jade sous la forme d'objets gravés dans les ruines Mayas, Aztèques, Toltèques, au Mexique et au Guatemala.

Le jade-néphrite est essentiellement composé d'actinolite, un produit de métamorphisme de contact de roches basiques, dans les calcaires et les dolomies. Celle-ci peut également provenir de roches volcaniques par transformation de l'augite ou de l'olivine, sous des conditions de haute pression et de faible température. L'actinolite est aussi présente dans les roches intrusives, comme les gabbros, mais en tant que minéral secondaire, dérivé de l'altération de pyroxènes préexistants. C'est le cas de la smaragdite, dérivée de l'altération de l'augite.

Des dépôts primaires de néphrite (ill 1.) peuvent être trouvés dans plus de 20 pays, notamment en Chine, Russie, Canada, Australie, Nouvelle Zélande et en Corée du sud.

### Les gisements de jade dans le monde



Sources : Shigley, J. & alli (2010) ["Gem localities of the 2000s", GEMS & GEMOLOGY, Vol. 46, No. 3, pp. 188-216] et bibliographie associée.

Illustration 1. Carte des gisements de jade dans le monde. (n) = néphrite, (j) = jadéite

## B. Caractéristiques gemmologiques

### 1. Caractéristiques chimiques

#### a) Jade-jadéite

La jadéite pure est un silicate d'aluminium et de sodium de formule :  $\text{Na Al Si}_2 \text{O}_6$

On observe la plupart du temps une légère substitution des ions aluminium par les ions fer (III).

Ainsi sa formule la plus commune est :  $\text{Na (Al,Fe) Si}_2 \text{O}_6$

Elle est cependant très rare sous sa forme pure. Les jades-jadéite que l'on peut trouver sont souvent des minéraux se positionnant chimiquement entre la Jadéite pure et la solution solide qu'elle peut former avec d'autres pyroxènes. Ces compositions intermédiaires sont appelées omphacites, de formule  $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al}) \text{Si}_2 \text{O}_6$

En addition des abus de langage autour du jade concernant la différence entre le jade-jadéite et le jade-néphrite, il y a parfois confusion entre les termes jade et omphacite.

Le terme de Jade, normalement employé pour désigner les roches faites de jadéite est aussi utilisé parfois pour désigner des roches ne contenant que de l'omphacite. De plus, le terme d'omphacite a aussi été utilisé pour désigner des roches qui contiennent entre 20 et 80 % de Jadéite.

La jadéite pure étant rare, elle contient bien souvent des éléments traces. En effet, sa formule s'agrément de trace de chrome, titane, manganèse, calcium, potassium et d'eau.

#### b) Jade-néphrite

La néphrite pure est composée essentiellement d'actinolite, un silicate hydraté de calcium et de magnésium.

Sa formule la plus commune est  $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Comme la jadéite, on la retrouve bien souvent sous la forme de solution solide entre :

- La trémolite magnésifère de formule  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

et

- La ferroactinolite de formule  $\text{Ca}_2\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  ( beaucoup plus rare sous sa forme pure)

On peut y trouver des traces de manganèse, aluminium, sodium, potassium et de titane.

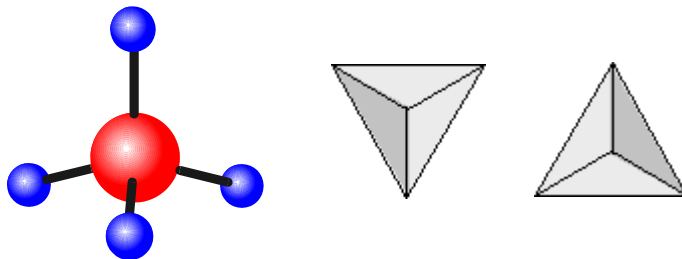
### c) Jade-smaragdite

La smaragdite est chimiquement semblable à l'actinolite. Les seules différences sont sa couleur, son éclat vitreux et ses aiguilles courtes.

En effet, le terme smaragdite vient du latin *smaragdus* qui signifie « émeraude ». Ce choix d'appellation vient de la présence d'ions chromogènes (les ions  $\text{Cr}^{3+}$ ) lui donnant sa teinte verte caractéristique.

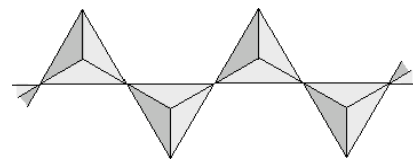
## 2. Caractéristiques cristallines

Les jades sont des silicates et sont donc principalement composés de d'oxyde de silicium  $\text{SiO}_4$  (ill. 2)



Ces complexes  $\text{SiO}_4$  peuvent s'agencer dans l'espace de différentes façons.

Dans le cas de la jadéite, ils s'agencent en chaînes simples :



Dans le cas de la néphrite, ils s'agencent en chaînes doubles superposées sous forme de rubans :

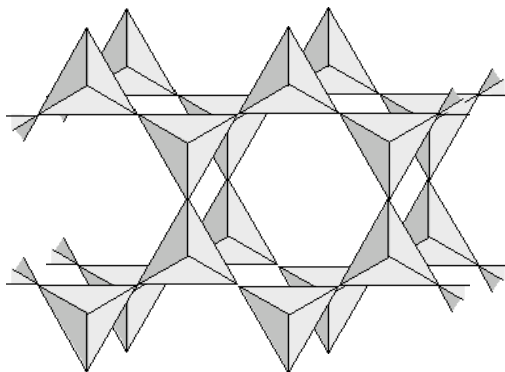





Illustration 2. Représentations dans l'espace de l'oxyde de silicium

Structure cristalline de la jadéite :

Système monoclinique

Groupe d'espace C2/c

-  Silicium (Représenté sous sa forme d'oxyde, Environnement tétraédrique)
-  Sodium
-  Aluminium (Environnement octaédrique non représenté)

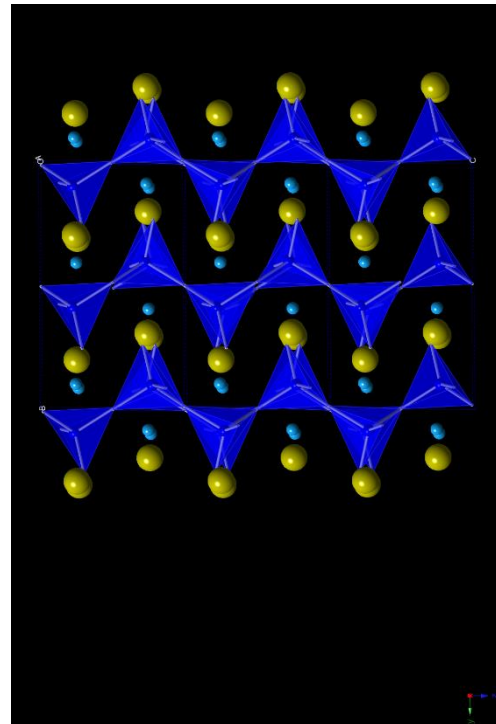






Illustration 3. Structure cristalline de la jadéite.  
G.PANCZER<sup>10</sup>

Structure cristalline de la néphrite :

Système monoclinique

Groupe d'espace C2/c

-  Silicium (Représenté sous sa forme d'oxyde, Environnement tétraédrique)
-  Calcium
-  Magnésium
-  Fer

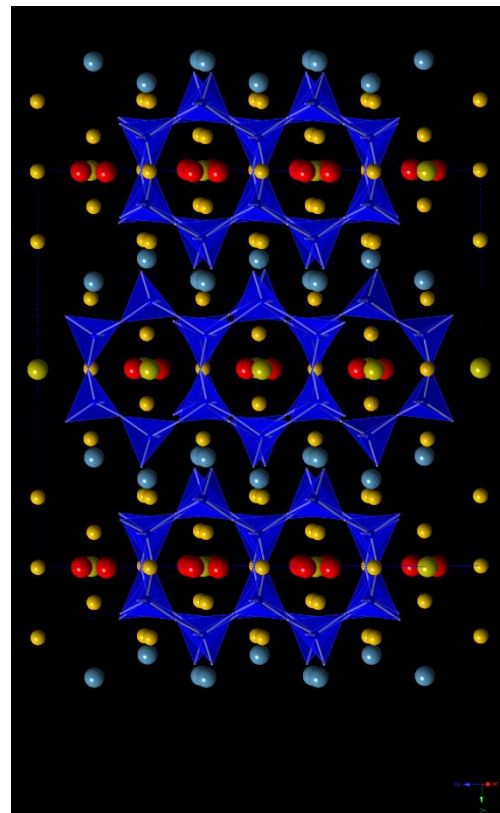


Illustration 4. Structure cristalline de la néphrite.  
G.PANCZER<sup>10</sup>



### 3. Caractéristiques physiques

Le jade, en plus de jouir de caractéristiques gemmologiques intéressantes, est également un matériau aux caractéristiques physiques étonnantes.

La jadéite est un matériau relativement **dense**. Sa densité moyenne se situe entre 3,24 et 3,43. La néphrite est légèrement moins dense avec une densité allant de 2,9 à 3,3.

C'est également un minéral très **dur** ce qui est une caractéristique typique des pierres gemmes, avec une dureté sur l'échelle de Mohs allant de 6 à 7 pour la jadéite et 5,5 à 6 pour la néphrite. On appelle souvent ces deux minéraux « jade dur » (jadéite) et « jade tendre » (néphrite).

Le jade est constitué de cristaux allongés en forme de prismes enchevêtrés de manière compacte qui enserrant d'autres cristaux. Ces fibres sont en général fines d'environ 10µm de diamètre et l'on observe un ratio longueur/diamètre allant de 10 à 50. Cette disposition confère au matériau une forte résistance à la rupture et ralentit la propagation de fissure. L'enchevêtrement des cristaux donne à la roche une plus grande résistance que le monocristal isolé.

Les travaux menés par différents chercheurs ont montré que la grande résistance du jade ne venait pas des énergies mises en œuvre dans les liaisons chimiques du matériau. Elle viendrait en réalité de sa texture et notamment de l'état de surface du jade le protégeant efficacement contre l'apparition et la propagation des fissures (tab. 1).

Tableau 1	
Matériau	Résistance à la fissure ( $10^7$ dyn)
Jadéite	71.10
Néphrite	77.10
Corindon	7.10
Quartz	5.10

*Tableau 1. Seuils de résistance à la fissure correspondants à certains matériaux.  
 La dyne est une ancienne unité de mesure et vaut  $10^5$  Newton. (G.Panczer, 2017)*

Il m'a été impossible d'étudier expérimentalement la résistance à la fissure du jade pour des raisons de coût et de reproductibilité.

Tout d'abord le phénomène de fatigue d'un matériau qui diminue sa résistance à la rupture dans le temps si on lui applique une contrainte (cyclique ou non) nous empêche de travailler sur des échantillons de provenances différentes. Ils ne sont pas parfaitement semblables et ne peuvent pas servir lors des tests. Cela est particulièrement vrai pour les minéraux naturels qui subissent des contraintes très différentes avant d'être sortis de terre.

De plus, la résistance à la rupture d'un matériau fragile diminue avec la taille de l'échantillon de test, ce qui n'est pas attendu pour une propriété intrinsèque du matériau et rend les essais de compression compliqués.

Ajouté à cela le prix des gemmes de qualité suffisante pour un tel test, et après concertation avec un expert en mécanique des matériaux, j'ai choisi de ne pas mener d'investigation plus poussée sur ce sujet.

## 4. Caractéristiques optiques

Le jade sous forme de cristaux prismatiques n'existant que très peu, il est rare d'observer une transparence parfaite chez ce minéral. Ainsi, pour des raisons esthétiques la majorité des gemmes de jades ne sont pas facettées mais taillées sous forme d'objets décoratifs, de perles ou tout simplement laissées sous forme de cabochons.

Les Chinois ont une grande variété d'expressions pour témoigner de la couleur d'un jade : *mousse dans la neige, sang de poulet, feuille de la vallée, vieille mine, herbe de printemps...*

Il existe communément 6 couleurs pour ce minéral, chacune d'entre-elles bénéficiant de nombreuses variations : blanc, vert, jaune, rouge, lavande et noir.

La jadéite peut exhiber une forte fluorescence selon sa contenance en éléments chromogènes et changer radicalement de couleur (ill. 5.) :

- ✓ Le jade blanc est le jade pur.
- ✓ Le jade vert contient des sels de chrome. (Aussi appelé « Jade Impérial »)
- ✓ Le jade bleu-vert contient des sels de cobalt. (Aussi appelé « Bleu Olmec »)
- ✓ Le jade rouge est obtenu après chauffage.
- ✓ Le jade lavande contient des sels de fer et de manganèse.
- ✓ Le jade noir contient des sels de titane.



Illustration 5. Bracelet de perles en jade de type A en différentes couleurs usuelles de la jadéite. Crédits photographique : <http://www.asian-mood.com>

Deux variétés de jade de qualité gemme de couleur bleue ont *récemment* été répertoriées au Guatemala par la société de minage Ventana, respectivement en 1999 et 2000.<sup>8-12</sup>

- La très rare variété « Midnight Blue » de couleur bleue foncée (ill. 6.) très transparente et associée à des inclusions de titane.



Illustration 6. Jade "Midnight Blue"<sup>8</sup>

- La toute aussi rare variété appelée aujourd'hui « Ventana Blue » de couleur bleue claire (ill. 7.) également très transparente. Sa teinte est associée au fer et au titane, éléments chromogènes présents dans ce jade contenant une forte proportion de jade-omphacite.



Illustration 7. Jade "Ventana Blue"<sup>12</sup>

Il est plus courant de trouver une teinte verte vive et éclatante sur du jade-néphrite ou des jades-jadéite traitées que sur des jades-jadéite de type A qui correspondent à des gemmes plus rares et beaucoup plus onéreuses.

## C. Histoire des jades, traditions et vertus supposées

Depuis très longtemps, les objets en jade sont associés à de nombreuses traditions, pouvoirs mystiques et curatifs supposés.

Les objets « archaïques » en jade retrouvés en Chine sont composés de jade-néphrite, la jadéite n'étant pas communément utilisée dans cette partie de l'Asie avant la dynastie Ching (milieu du 17<sup>ème</sup> siècle)

Dans la tradition Chinoise, le jade est considéré comme un lien entre le monde physique et spirituel. On y attribue les atouts du yin et du yang, du Ciel et de la Terre, et c'est pourquoi on l'appelle souvent « La Pierre du Ciel ». Parmi les anciennes traditions chinoises, on parle également des « Six Jades Rituelles ». Ces six objets de jade aux formes différentes constituent des objets rituels de l'art Chinois. Ces traditions sont aujourd'hui perdues, leur utilité et signification religieuse ont été oubliées depuis longtemps et ces objets témoignent plus maintenant du statut social de celui qui les porte. En effet, Ces objets sont symboles de la dépense associée à leur création. Ils témoignent de l'autorité nécessaire à l'acheminement des ressources ainsi que du travail accomplis dans sa création.

Il existe une relation forte entre l'anatomie humaine et le jade. Appelé *Lapis nephriticus* en latin, piedra de ijada en espagnol (pierre pour la fosse (iliaque)), il fait étymologiquement référence à la croyance des peuples mésoaméricains anciens, qui pensaient que le jade soignait les problèmes néphrétiques.

Aujourd'hui, de nombreuses croyances populaires offrent à la jadéite un vaste lot de propriétés supposées de sérénité et de bien-être. La néphrite est utilisée en lithothérapie pour soigner les problèmes urinaires et rénaux.

## II. Caractérisation et traitements

### A. Techniques de gemmologie conventionnelle

La gemmologie possède de nombreux outils pour observer et caractériser les pierres gemmes et certains sont utilisés depuis très longtemps. Même si moins automatiques que les techniques de laboratoire, certains outils sont encore aujourd'hui très utilisés car relativement fiables et peu onéreux d'utilisation.

#### 1. Observation directe et avec une loupe binoculaire.



*Illustration 8. Loupe binoculaire*

Cette technique est instantanée et tire ses résultats d'une observation à l'œil nu de la pierre. Cela permet de rendre compte de sa couleur, sa texture et plus subjectivement de toutes ses propriétés optiques. Autant pour ces propriétés que pour sa couleur, cette technique donnera toutefois autant de résultats différents que le nombre d'observateurs. La vue est un sens subtil qui fonctionne différemment chez chacun c'est pourquoi il est hâtif de tirer des conclusions par le biais d'une simple observation.

Les conditions d'éclairages peuvent elles-aussi changer complétement les résultats de l'étude.

Le choix d'une loupe binoculaire pour une étude directe est donc préférable.

Elle permet une plus grande netteté d'observation et permet d'observer des zones plus petites inaccessibles à l'œil humain.

La plupart des binoculaire utilisées en gemmologie permettent aussi de varier les types d'éclairages (direct, réflexion, transmission...) afin d'obtenir une vision plus globale des propriétés optiques de la gemme.

Elle est très utile pour chercher des inclusions ou des résidus caractéristiques de procédés de synthèse.

Bien que volumineux, c'est un appareil que l'on peut qualifier de « portable » et qu'il est possible d'emmener pour une étude de terrain.

## 2. Balance hydrostatique

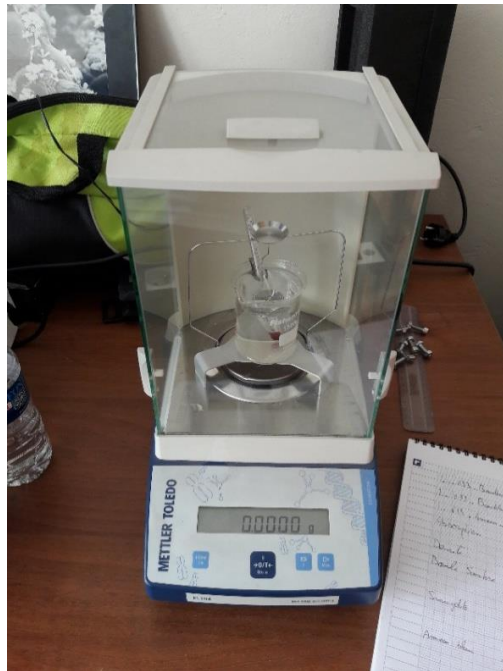


Illustration 9. Balance hydrostatique

Cette balance (ill. 9.) est différente de celle utilisée pour mesurer la masse d'un corps. Elle permet en effet de mesurer la densité relative d'un corps par rapport à un autre corps pris comme référence (ici l'eau)

La densité est une grandeur physique sans dimension car elle découle en fait d'un rapport de masse volumique :

$$d = \frac{\rho_{\text{gemme}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

Grace à ce principe il est possible de calculer la densité d'une pierre en utilisant une balance hydrostatique. On mesure la masse relative d'une pierre dans l'air, ainsi que sa masse relative dans l'eau.

$$d = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{air}} - m_{\text{eau}}}$$

**La densité d'une pierre est une grandeur précise et invariable qui établit une signature physique de la pierre** : C'est un outil rapide et fiable à condition que la pierre étudiée soit homogène et suffisamment petite pour entrer dans la balance.

### 3. Réfractomètre

Le réfractomètre à réflexion totale interne (ill. 10.) est un outil de caractérisation optique permettant de déterminer l'indice de réfraction d'une pierre.

Grace au principe de la loi de Snell-Descartes, il est possible de déterminer l'angle limite de réflexion totale d'un milieu transparent.

En plaçant un endroit suffisamment poli d'une pierre gemme sur le réfractomètre, une facette par exemple, il est possible de déterminer son indice de réfraction. En effectuant des rotations de la pierre, il est possible d'observer si elle présente une biréfringence et de la mesurer. Cet outil permet donc de différencier les pierres biaxe ou uniaxe.



Illustration 10. Réfractomètre

Afin de faciliter l'adhérence et la continuité optique entre les deux milieux, on utilise un liquide de contact, l'iodure de méthylène, qui possède un indice de 1,79 environ.

Remarque : Tous les matériaux qui sont au-delà de cet indice sont impossibles à tester via cette technique. Cela concerne par exemple le diamant, le zircon, la moissanite, etc...

Il est possible de tester des pierres non-facettées, en cabochon par exemple, mais la lecture de l'indice devient délicate et très approximative.

Il existe des réfractomètres de poche faciles et pratiques à utiliser.

### 4. Polariscope



Illustration 11. Polariscope

Le polariscope (ill. 11.) est un autre outil très utile dans la caractérisation des pierres gemmes. Il permet de rendre compte du réseau cristallin de la pierre (brute ou facettée) observée.

Il est constitué d'un ou plusieurs réseaux permettant de polariser la lumière avant de la faire traverser la pierre. Cela permet de déterminer rapidement si une gemme rétablit ou non la lumière (si elle s'éclaire ou s'éteint). Cela nous apporte des informations sur la nature physique de la pierre et nous permet d'observer si elle est isotrope ou anisotrope.

Une pierre isotrope (système cubique ou solide amorphe) restera éteinte, et ne rétablira pas la lumière. Cette différenciation est une méthode directe et rapide pour différencier les systèmes cubiques des autres systèmes cristallins ou encore de lever le doute sur l'organisation amorphe d'un solide.

C'est également un bon moyen pour déterminer si une pierre anisotrope est uniaxe ou biaxe.

C'est un outil qui existe sous format de poche et qui s'utilise facilement.

## 5. Lampe Ultra-Violet

Le rayonnement Ultra-Violet est un outil qui permet d'exhiber les effets de fluorescence d'une pierre. Une telle lampe offre des informations sur le type de la pierre et sa composition en éléments chromogènes.

On distingue 2 types d'U.V. différents :

- Les U.V. Courts (UVC) à 254 nm environ.
- Les U.V. Longs (UVL) à 365 nm environ.

Tous deux offrent des informations différentes. Cette technique est très utile pour mettre en évidence la présence de traitements sur les pierres tels que l'utilisation de colles, de résines, ou pour identifier les doublets et triplets.

Cet outil est facile d'utilisation et transportable facilement.

Lampe utilisée : Lampe UV Vilber 2x6W 265 nm 365 nm

## 6. Spectroscope



*Illustration 12. Spectroscope*

Le spectroscope (ill. 12.) est un outil à main qui permet d'observer le spectre d'absorption d'un solide. Relativement délicat à utiliser à cause de la pollution lumineuse ambiante et des difficultés de visée, cet outil est cependant assez utile une fois bien entraîné. Il permet d'obtenir les raies d'absorptions propres à la pierre étudiée ce qui correspond à une signature chimique assez précise. C'est la version « manuelle » du spectroscope d'absorption UV-Visible.

## B. Techniques de laboratoire

La gemmologie a beaucoup évolué avec l'arrivée des techniques de laboratoire. Notamment grâce à l'invention du laser qui a permis d'élaborer de nombreuses techniques de spectroscopie.

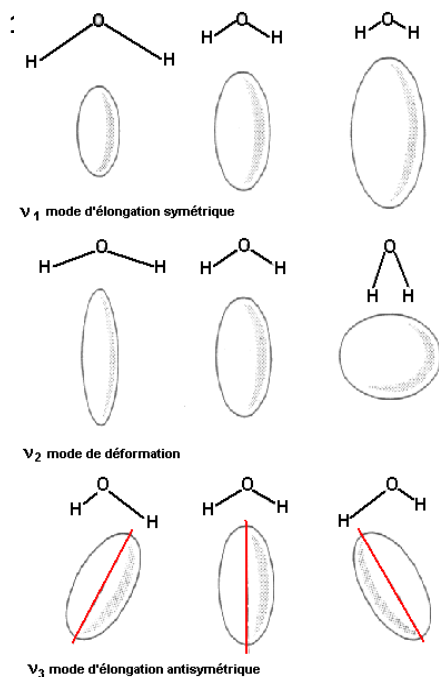


Illustration 13. Modes de vibration d'une molécule d'eau



Illustration 14. Microspectromètre RAMAN Horiba Jobin-Yvon ARAMIS

La spectroscopie Raman est une technique non destructive d'observation et de caractérisation de la composition moléculaire et structurale d'un cristal.

Elle exploite le phénomène physique selon lequel **un milieu modifie légèrement la fréquence de la lumière qui le traverse**. Ce décalage en fréquence appelé « déplacement Raman » correspond à un échange d'énergie entre le rayon lumineux et le cristal.

La spectroscopie Raman consiste à envoyer une lumière monochromatique très intense (laser) sur l'échantillon et à analyser la lumière diffusée. Exploitées sous forme d'un graphique, ces données exhibent des raies de déplacement Raman qui correspondent à des modes de vibrations particuliers des molécules et des ions au sein du cristal (ill. 13.).

Ainsi, un solide élémentaire parfaitement pur comme le diamant par exemple, ne fera apparaître qu'une seule raie de diffusion correspondant aux vibrations carbone-carbone.

Couplée avec une banque de donnée de spectres Raman de référence, cette technique de laboratoire est très efficace et permet de caractériser une pierre avec grande précision.

Ces données nous offrent une signature chimique très précise de l'échantillon. Cette signature sera identique quel que soit le type de laser utilisé, cependant la possibilité de modifier la longueur d'onde du laser incident offre également des données supplémentaires sur la fluorescence de la pierre.



Le spectromètre est une machine volumineuse et couteuse, mais il existe des spectromètres Raman monochromatiques de poche, transportable pour une étude de terrain.

Spectromètres utilisés :

1 ) Raman portable Ocean Optics 532 nm

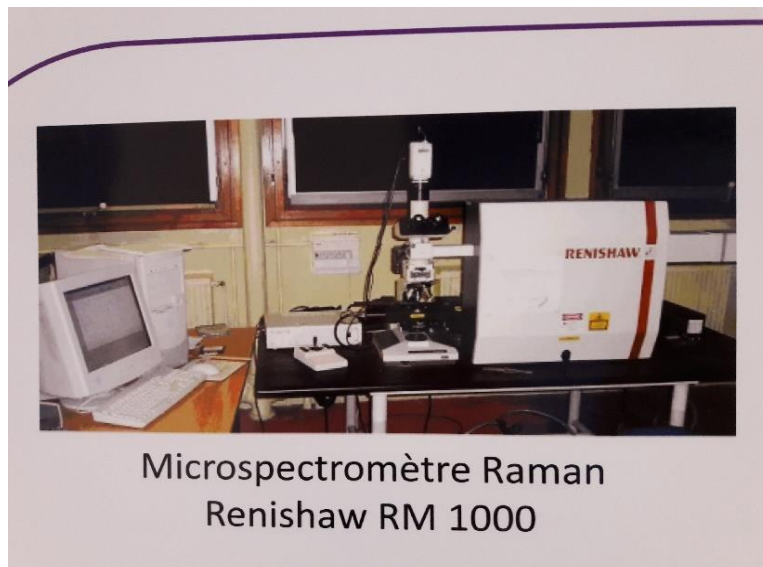
Excitation 532 nm vert ; 50 mW

2 ) Microspectromètre RAMAN Horiba jobin-Yvon ARAMIS (ill. 14.)

Excitations	Réseaux :
633 nm rouge, 17 mW sortie laser	600 traits/mm
473 nm bleu	1800 traits/mm
325 nm UV, 30 mW sortie laser	

3 ) Microspectromètre Raman Renishaw RM 1000 (ill. 15.)

Excitation 532 nm vert (300 mW maximum)



*Illustration 15. Microspectromètre RAMAN Renishaw RM 1000*

## 2. Spectroscopie d'absorption UV-Visible

Cette technique est la version informatisée du spectroscope à main.

Elle permet d'obtenir rapidement le spectre d'absorption d'une pierre.

On éclaire une pierre d'une lumière blanche intense, et on analyse la lumière réfléchi.

Cela nous permet de récupérer un spectre d'absorption allant des UV longs aux infrarouges proches en passant par le domaine du visible dans son intégralité.

Ces données analysées sous la forme d'un graphique nous permettent d'apprécier la « couleur » de l'échantillon au sens physique.

Ce spectre met en évidence la présence ou l'absence de certains éléments chromogènes responsables de certains pics d'absorption dans les pierres.

C'est un appareil portable, rapide et facile d'utilisation ayant pour seule limite la taille des échantillons analysables.

Spectromètre utilisé :

Spectromètre d'absorption visible-infrarouge en réflexion diffuse Ocean Optics (ISP REF)

### 3. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

De l'anglais *Fourier Transform InfraRed spectroscopy*, c'est est une technique permettant d'obtenir le spectre de diffusion Raman d'un échantillon dans le domaine infrarouge.

Le terme « spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier » vient du fait qu'il est nécessaire de passer par une transformation de Fourier pour convertir les données brutes en un résultat spectral analysable.

Cette technique permet de mettre en évidence les modes de vibrations de molécules légères telles que l'eau dans les pierres, ce qui est impossible avec la spectroscopie Raman standard.

Elle permet aussi d'exhiber les traces d'un éventuel traitement par ajout de cire, de polymères ou d'époxy.

Cependant, cette technique est plus sensible que le Raman standard et entraîne parfois de puissants phénomènes de fluorescence qui rendent l'analyse des spectres impossibles.

Il est possible de diluer l'échantillon dans du bromure de potassium KBr, un produit transparent pour ce type de spectroscopie et de le piéger sous forme de pastille pour l'analyse. Cette technique est efficace mais destructive donc moins utilisée en gemmologie où les matières premières sont rares et coûteuses.

L'appareil utilisé pour cette technique est volumineux et onéreux mais offre un complément de données intéressant lors de l'analyse d'une pierre.

### 4. La spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF)

Cette technique d'analyse chimique utilise une propriété physique de la matière : la fluorescence de rayons X.

Lorsque l'on bombarde de la matière avec des rayons X, la matière réémet de l'énergie sous la forme de rayons X et d'autres rayonnements.

Le spectre des rayons X émis par la matière est caractéristique de la composition élémentaire de l'échantillon. L'analyse de ces données nous offre la possibilité de remonter aux concentrations massiques en éléments de la pierre.

Cette technique est très utile pour toute sorte de caractérisation dans le textile, la joaillerie, la plasturgie, etc...

Elle permet entre-autre de déterminer le pourcentage d'or dans les alliages métalliques de joaillerie.

## C. Types de traitements

Depuis que le commerce de gemme existe, des techniques de traitements et de modifications des gemmes ont été utilisées.

Si grâce à ces techniques, une gemme de pauvre qualité récupère en éclat ou intensifie sa couleur, sans que l'altération de la pierre ne soit trop évidente, le commerce de la pierre accepte le

traitement.

Bien qu'étant une altération humaine sur un produit issu de la nature (et que le mouvement actuellement populaire est plutôt de revenir vers du « complètement naturel »), l'intérêt esthétique et économique est tel que les traitements sont encore aujourd'hui effectués et sans cesse améliorés. Le principal traitement effectué sur les gemmes est le **chauffage**, qui permet d'en modifier efficacement la couleur.

Chauffer une jadéite permet de lui donner une couleur « rouge cuit » entre le rouge sang et le rouge brique. Cette teinte étant moins recherchée que celle du jade incolore, vert ou lilas, ce type de traitement thermique n'est appliqué qu'aux jadéites de couleur jaune ou marron. (Bresson, 2011)

**La teinture** est une technique très largement utilisée sur les jades.

Ce procédé visant à modifier la couleur de la pierre sans en modifier sa structure nécessite que l'agent de traitement puisse s'infiltrer au cœur de la gemme. La jadéite étant une roche relativement poreuse, c'est un traitement très efficace *et souvent utilisé avec excès*.

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)" ( voir : <http://www.gahk.org/en/gemtest.asp> ).

Selon ce texte :

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

Par exemple, une jadéite blanchie à l'acide et imprégnée de polymère sera appelée de type B .

Ce procédé de blanchiment à l'acide vise à éliminer les impuretés. La pierre est ensuite rincée avec de la soude caustique puis imprégnée de polymère pour améliorer sa translucidité. La structure de la jadéite est en général endommagée par ces traitements et ce type de jade perdra donc de son lustre avec le temps, à mesure que le polymère se détériorera. En outre, ce type de jade traité sera beaucoup moins résistant à la chaleur et à la pression.

### III. Échantillons

Dans cette étude pratique des jades j'ai disposé d'un certain nombre de minéraux, la plupart de qualité gemme. Ces pierres proviennent essentiellement de prêts issus de la collection de l'Université Claude Bernard de Lyon ainsi que de la collection du gemmologue G.PANCZER. Le reste provient de mises à disposition par des particuliers.

#### A. Caractérisation des échantillons

##### Trio de pierres UCBL



Illustration 166. "Néphrite" Collection UCBL



Illustration 17. "Smaragdite" Collection UCBL



Illustration 18. "Jade de Chine" Collection UCBL

Ces trois minéraux provenant de la collection UCBL (ill. 16-18.) sont suivis d'une identification de laquelle je suis parti dans le but de les identifier, et de les caractériser avec la plus grande précision.

- La première démarche que j'ai menée fut une observation directe des pierres. Celles-ci, de dimension importante, ne sont pour deux d'entre elles, pas de qualité gemme. C'est-à-dire que seule la pierre identifiée comme « JADE DE CHINE » pourrait éventuellement être travaillée dans le but d'en produire un bijou ou un objet décoratif.

Les deux pierres brutes, non polies et sans forme particulière n'ont pas pu être observées avec certaines techniques de gemmologie conventionnelle.

Notamment, toutes les techniques de caractérisation faisant appel aux propriétés optiques des pierres :

- Ces trois pierres n'étant pas polies, et ne présentant aucune zone suffisamment lisse, elles n'ont pas permis l'utilisation du **réfractomètre** pour en extraire l'indice de réfraction du minéral.
- Leur opacité totale n'a pas non plus permis de les observer au **polariscope**.

De même que la pierre identifiée comme « Jade de Chine » bien que plus ou moins lisse, était trop opaque pour avoir pu utiliser efficacement ces deux techniques. Cela sera le cas pour la plupart des jades car on trouve cette pierre le plus souvent sous la forme d'une masse cryptocristalline. Il est très rare de trouver de la jadéite ou de la néphrite sous forme de cristaux prismatiques.

- La plus petite de ces pierres, identifiée dans la collection comme de la **smaragdite**, était suffisamment petite pour être placée dans la **balance hydrostatique** et j'ai ainsi pu en déterminer sa densité.

Masse dans l'eau :  $m_{\text{eau}} = 9.4423 \text{ g}$

Masse dans l'air :  $m_{\text{air}} = 15.5591 \text{ g}$

Densité :  $d = 3.16$

- ⇒ Cette valeur de densité mesurée correspond avec précision à la densité de la **smaragdite** donnée par la littérature.

- Dans le but d'identifier avec précisions ces trois pierres, j'ai procédé à une caractérisation par **spectroscopie de diffusion Raman**.

Les données de ces analyses, croisées avec la littérature ainsi que la banque de donnée RRUFF m'ont permis de préciser, pour chaque pierre, s'il s'agissait bel et bien de jade et si oui, de quel type.

Trois valeurs de longueur d'onde d'excitation laser ont été utilisées dans mes recherches : 473nm (laser bleu), 532nm (laser vert) et 633nm (laser rouge). La qualité des données issues de l'analyse sont plus ou moins pertinentes selon le type de laser utilisé, et selon le type de pierre.

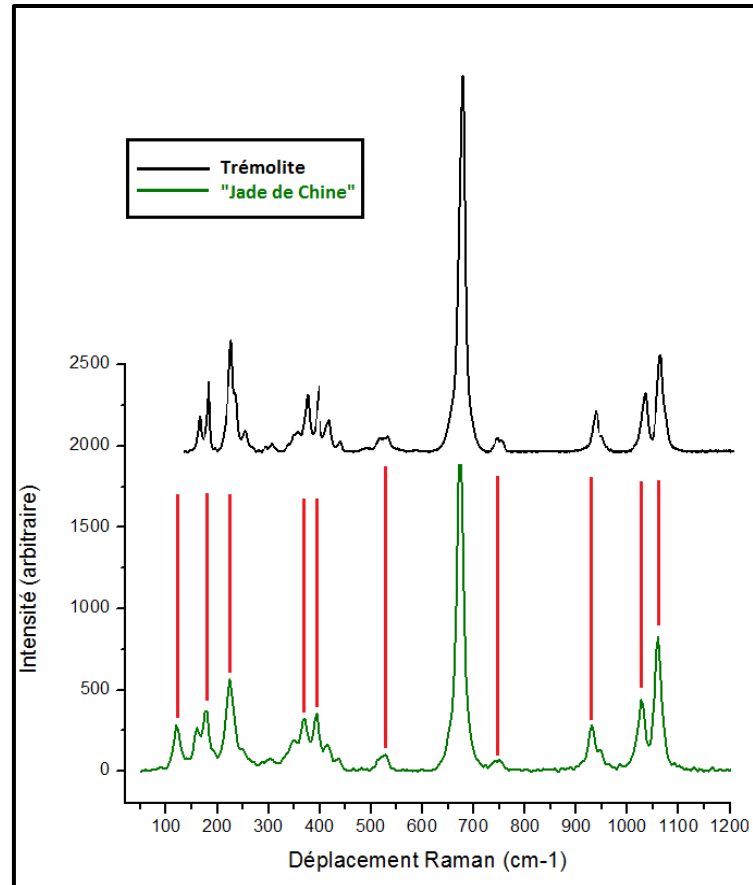
Certaines excitations ont généré d'importants effets de luminescence (dont nous parlerons plus loin dans ce mémoire) ce qui a grandement nuit à la qualité des graphiques. En effet, les raies Raman « noyées » sous cette fluorescence deviennent difficiles à identifier dans le but d'une caractérisation précise du minéral.

Voici les résultats de ces analyses :

Figure 1. Juxtaposition de spectres de diffusion Raman de 50 à 1200  $\text{cm}^{-1}$  (473nm).

En haut : Spectre de référence RRUFF de la Trémolite.

En bas : Spectre expérimental du "Jade de Chine"



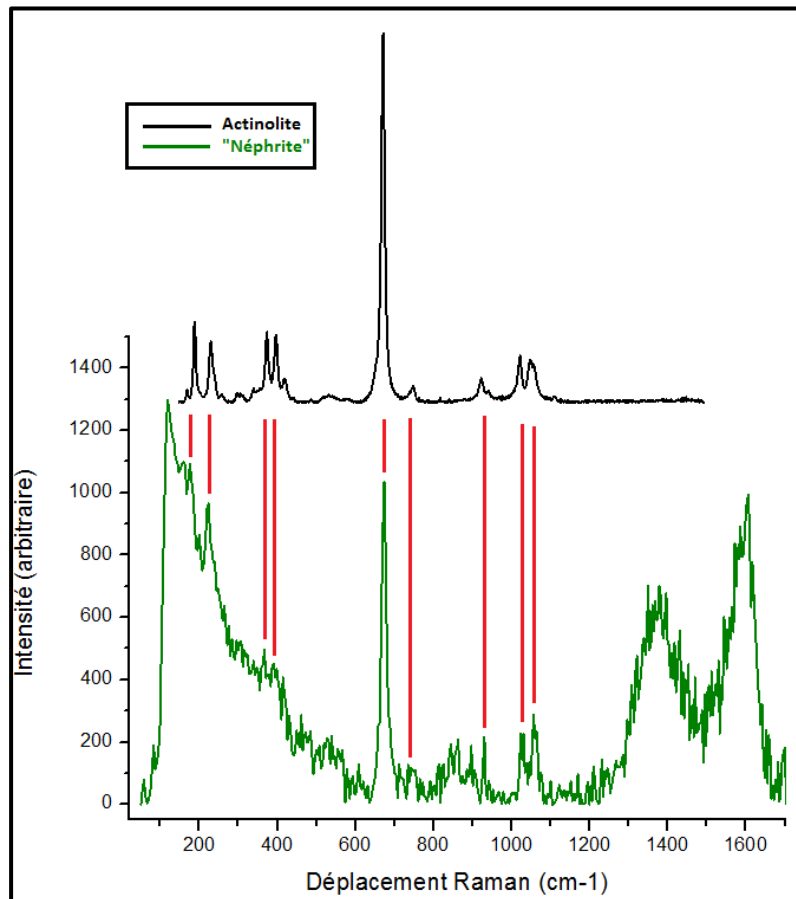
Le spectre ci-dessus (Fig. 1.) permet de statuer sur l'identification de cette pierre. Précédemment identifiée comme du « Jade de Chine », il s'agit en réalité d'une pierre de la famille de la **Trémolite**. La trémolite est très semblable à l'actinolite, le minéral présent dans la néphrite. Blanche quand elle est pure, seule la présence du fer et la teinte verte associée de la néphrite permet de les séparer.

⇒ Cette pierre peut donc être considérée comme une variété de **jade-néphrite**.

Figure 2. Juxtaposition de spectres de diffusion Raman de 50 à 1700  $\text{cm}^{-1}$  (473nm).

En haut : Spectre de référence RRuFF de l'actinolite.

En bas : Spectre expérimental du "Néphrite"



Le spectre ci-dessus (Fig. 2.) bien que peu précis, permet d'isoler des raies de diffusion inélastique Raman, et de procéder à une identification de la pierre (tab. 2.)

J'ai utilisé la banque de données RRuFF pour croiser ces données avec un spectre de référence de l'**actinolite**.

⇒ Cette pierre est donc bien une variété de jade, et plus précisément du **jade-néphrite**.

Tableau 2		
Jade de Chine	Néphrite	Assignment
119m	-	
162sh	-	
178m	179m	
224s	227m	
348sh	-	Un groupe de bande caractéristique du jade-néphrite
373m	368m	
396m	396m	
417w	415sh	Mode de déformation Si – O – Si et O – Si – O
527vw	-	
676vvs	677vvs	Mode d'élongation Si – O – Si
745vw	747vw	
-	846sh	
-	869w	
931m	932m	Mode d'élongation Si – O
948sh	-	
1027s	1025s	
1064vs	1061s	Mode de déformation OH ?

Tableau 2. Assignment des raies de diffusion Raman (473nm).  
 w=weak, m=medium, s=strong, sh=shoulder, v=very

- Les échantillons de pierres sur lesquels j'ai travaillé sont de couleurs assez différentes les unes des autres. Certains d'un vert « typique » du jade, d'autres de teinte sensiblement plus claire, à la limite de l'incolore. Un des jades de la collection du Professeur PANCZER arbore une magnifique teinte lilas.

Ces différences importantes m'ont amené à analyser ces échantillons à l'aide d'un appareil portable de **spectroscopie d'absorption UV-visible**.

La couleur verte associé au jade vert est dû majoritairement à la présence d'ions chromogènes, notamment les ions Fer  $Fe^{3+}$  et Chrome  $Cr^{3+}$  en coordination octaédrique dans la structure cristalline.

L'utilisation de la spectroscopie d'absorption UV-visible m'a permis de mettre en évidence la présence ou l'absence de ces ions dans les échantillons et ainsi en expliquer la couleur.

Voici les résultats obtenus pour chaque pierre (fig. 3-5.) :

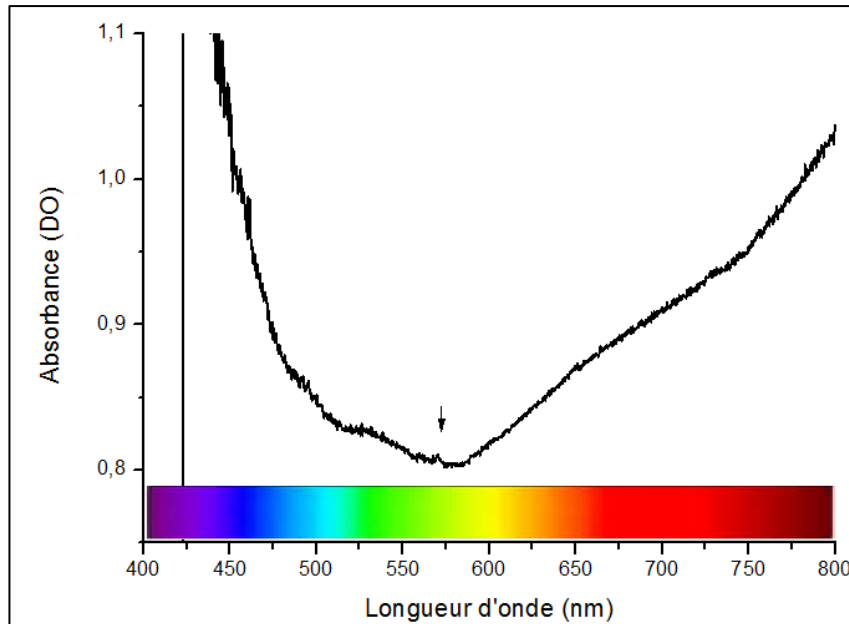


Figure 3. Spectre d'absorption de lumière UV-visible "Jade de Chine" de 400 à 800 nm

Ce spectre (Fig. 3.) peut paraître peu pertinent, mais cela est dû en réalité à la couleur vert sombre proche du marron de l'échantillon en question. En effet, il nous indique que le minéral étudié absorbe en majorité le bleu et le rouge mais aussi une partie de la lumière verte. Il apparaît donc d'une couleur correspondant à la moyenne du vert et de l'orange, de teinte peu intense.

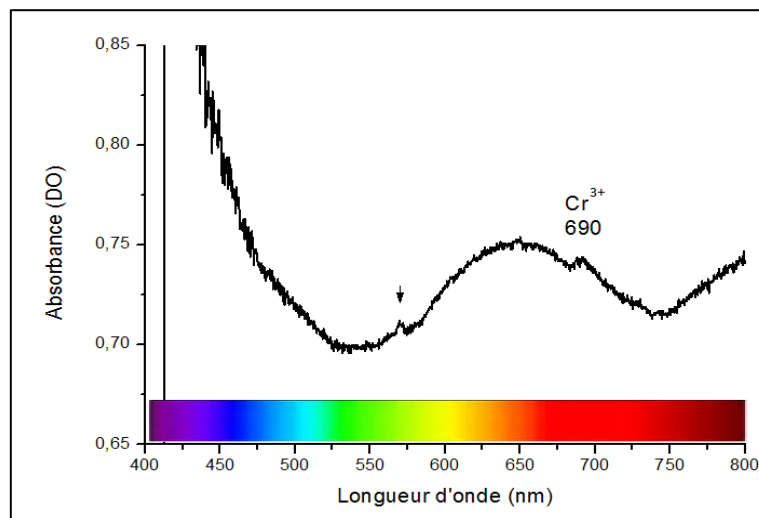


Figure 4. Spectre d'absorption de lumière UV-visible "Néphrite" de 400 à 800 nm

Ce spectre d'absorption (Fig. 4.) nous indique la présence caractéristique d'ions  $\text{Cr}^{3+}$  dans l'échantillon analysé. En effet, les deux grandes bandes d'absorption aux alentours de 450 nm et de 650 nm sont associées à l'absorption de la lumière par le Chrome. Ce pic marqué à 690nm nous permet d'affirmer que ce jade possède bien une couleur naturelle (non teintée).

Cette pierre absorbe en grande partie la lumière bleue ainsi qu'une partie de la lumière allant du jaune au rouge. Elle apparaît donc d'une couleur verte peu intense.



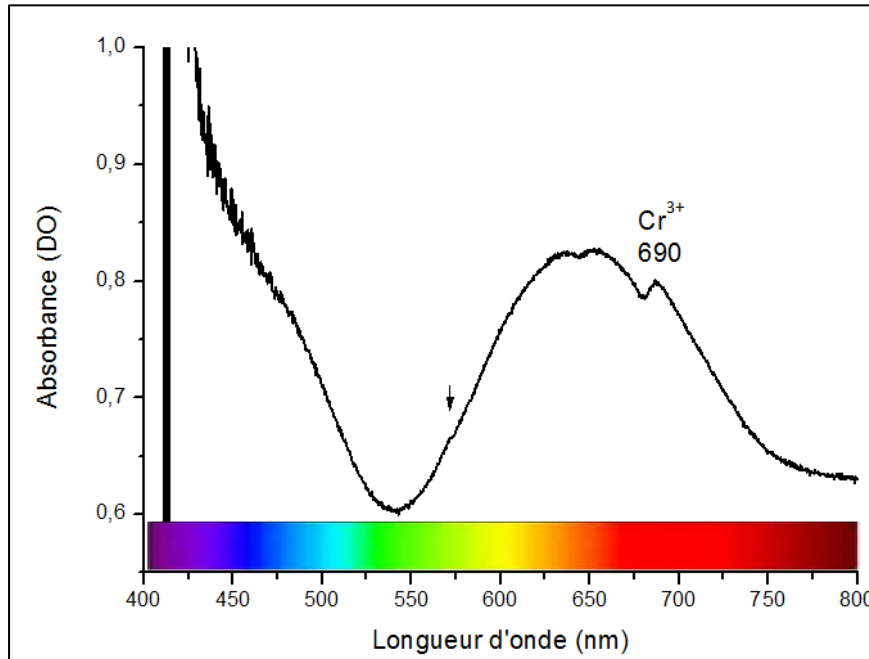


Figure 5. Spectre d'absorption de lumière UV-visible "Smaragdite" de 400 à 800 nm

Le spectre ci-dessus (Fig. 5.) nous indique la présence marquée de chrome conférant à la pierre analysée une intense couleur verte. Nous pouvons observer le pic d'absorption caractéristique des ions  $\text{Cr}^{3+}$  aux alentours de 690 nm. Ce pic marqué nous permet d'affirmer que ce jade possède bien une couleur naturelle (non teintée). Cette pierre absorbe la majorité de la lumière bleu et rouge du spectre de la lumière blanche. Nous pouvons voir que la lumière verte, aux alentours de 550 nm, n'est pas ou peu absorbée par cet échantillon. La teinte est intense, la couleur verte éclatante.

D'après la littérature<sup>7</sup>, le pic d'absorption commun à ces 3 spectres et représenté par une flèche aux alentours de 570 nm indique la présence d'un transfert de charge de l'ion Fer de type  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$  dans le jade.

La présence de ce pic d'absorption caractéristique du fer témoigne encore une fois du fait que les échantillons étudiés ne sont pas en jadéite. En effet, le fer bien qu'entrant dans la composition des néphrites, n'est pas présent en assez grande quantité dans la jadéite pour apparaître sur un spectre d'absorption. Ces résultats nous permettent de confirmer l'identification offerte par la spectroscopie de diffusion Raman.

## Collection G. PANCZER

Les échantillons provenant de cette collection (ill. 19-23.) sont des pierres de petite taille (allant de 1,91 carats à 7,15 carats) et de qualité gemme.



*Illustration 19. "Jadéite Burma" 5.70ct  
Collection G.PANCZER*

*Illustration 20. "Jadéite lilas" 2.18ct  
Collection G.PANCZER*

*Illustration 21. "Jadéites pastilles" 7.15ct  
Collection G.PANCZER*



*Illustration 22. "Jadéite gravée" 1.91ct  
Collection G.PANCZER*

*Illustration 23. "Jadéite gravée" 7.15ct  
Collection G.PANCZER*

L'étude minutieuse de chacune de ces pierres a révélé que la plupart d'entre elles sont semblables du point de vue chimique. Ainsi, j'ai choisi dans ce mémoire de ne présenter que les informations nécessaires à leur identification ainsi que les différences notables entre ces différents échantillons.

L'ensemble de ces pierres est identifié au sein de cette collection comme étant de la jadéite.

Dans un premier temps, une observation directe a permis à l'une de ces pierres de se distinguer des autres pierres vertes par sa couleur lilas très claire.

- Ces 5 pierres, ne présentant aucune zone suffisamment lisse ou facettée, n'ont pas permis l'utilisation du **réfractomètre** pour en extraire l'indice de réfraction du minéral.
- Leur opacité presque totale n'a pas non plus permis de les observer au **polariscope**.
- Afin de déterminer avec précision si l'identification initiale de ces pierres est correcte, j'ai effectué une étude spectroscopique par diffusion Raman de celles-ci. Les spectres obtenus sont relativement semblables et donnent tous le même résultat :

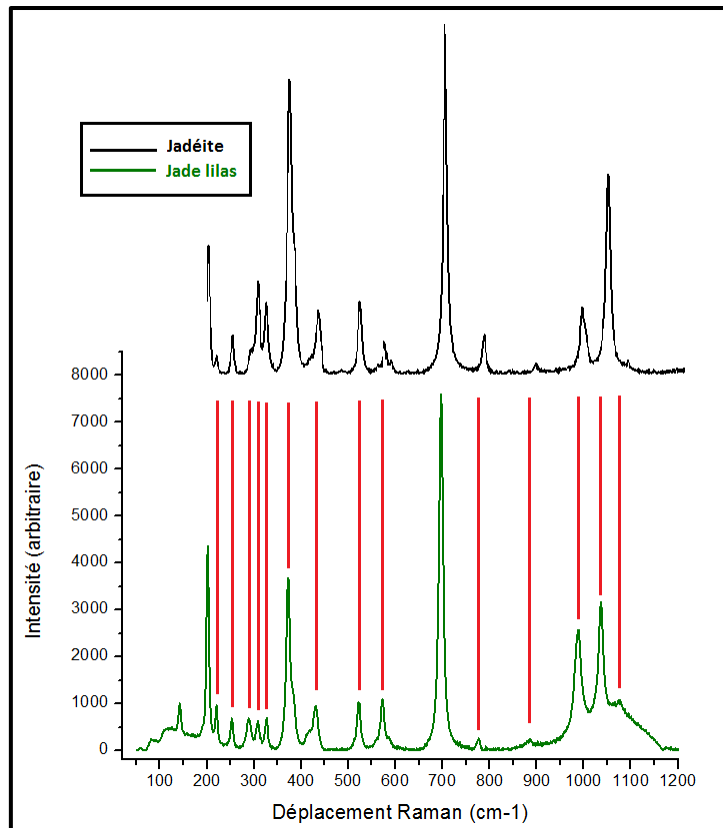


Figure 6. Juxtaposition de spectres de diffusion Raman de 50 à 1200  $\text{cm}^{-1}$  (473nm).  
En haut : Spectre de référence RRUFF de la jadéite.  
En bas : Spectre expérimental du « Jade lilas »

Ce spectre (Fig. 6.) de très bonne qualité, correspond à la signature spectrale de la **jadéite**. Nous pouvons observer un pic très intense aux alentours de  $700\text{cm}^{-1}$  que nous retrouverons sur tous les spectres de diffusion Raman de jade. Il s'agit du mode de vibration symétrique Si – O – Si commun à tous les silicates (tab. 3.).

Expérimentalement, j'ai pu constater que la qualité du spectre obtenu lors des analyses est directement liée à la pureté de l'échantillon, particulièrement sur les échantillons de jade-jadéite.

Celui-ci est obtenu depuis le jade de couleur lilas, qui est un échantillon très clair et de très bonne qualité gemmologique. Nous retrouvons une qualité similaire sur les graphes issus des échantillons de jade blanc (qui correspondent aux jades les plus purs).

Tableau 3	
Jade lilas	Assignment
142vw	Mode externe (maille)
193sh	Mode externe (maille)
204vs	Mode externe (maille)
223w	Mode externe (maille)
258vw	Mode d'élongation Al - O Et mode de déformation O - Si - O
292m	
312m	
329w	Mode de déformation Si - O - Si et O - Si - O
376vs	
385sh	-
437m	Mode de déformation O - Si - O
524s	
576vw	
592vww	
700vvs	Mode d'élongation asymétrique Si - O - Si
780vww	-
988vs	Mode d'élongation Si - O
1039vs	

Tableau 3. Assignment des raies de diffusion Raman (473nm)  
 w=weak, m=medium, s=strong, sh=shoulder, v=very.

## Collection particulière

La nature très diverse des pièces permet de les classer en deux groupes :

La première partie provient d'une boutique de « Litho-thérapie » et concerne trois pierres de taille moyenne taillées en cabochons (ill. 24-26.).



*Illustration 24. "Cabochon clair"  
Collection particulière*



*Illustration 25. "Cabochon sombre"  
Collection particulière*



*Illustration 26. "Cabochon pointe"  
Collection particulière*

La litho-thérapie est une discipline de médecine non-conventionnelle qui consiste à prêter aux roches et aux cristaux diverses propriétés curatives. Chaque minéral possédant un lot de propriétés bien distinct, il est intéressant de déterminer si l'identification des pierres est exacte, celles-ci étant initialement identifiées comme du « jade ».

La deuxième partie m'a été prêtée par un médecin généraliste d'origine chinoise.

Ces pierres proviennent d'une collection familiale de longue génération et donc vraisemblablement d'Asie de l'Est. Ces bijoux sont de très bel ouvrage, de qualité gemme et sont identifiés initialement comme étant du jade (ill. 27-31.).



*Illustration 27. "Anneau blanc"  
Collection particulière*



*Illustration 28. "Anneau vert"  
Collection particulière*



*Illustration 29. "Bouddha long"  
Collection particulière*



Illustration 30. « Bouddha court »  
Collection particulière



Illustration 31. « Dragon blanc »  
Collection particulière  
(Environ 2 cm)

Les deux figurines de Bouddha (ill. 29-30.) sont serties dans une monture de boucles d'oreilles ou de pendentif composé d'un métal non précieux.

- Dans un premier temps, une observation directe a révélé que les échantillons, bien que très clairs pour certains d'entre eux, sont tous plus ou moins opaques. Il s'agit donc vraisemblablement de masses cryptocristallines.

Toute étude au **réfractomètre** et au **polariscope** est donc inenvisageable.

- Une analyse étendue de ces pierres par **spectroscopie de diffusion Raman** a été réalisée. La très bonne qualité de ces échantillons a permis l'obtention de spectres relativement précis et analysable aisément.

Ces spectres, tous très semblables, ont conduit à la même identification, ainsi j'ai choisi de ne présenter que celui de « L'anneau blanc » :

Le spectre obtenu (Fig. 7.) est de très bonne qualité et correspond, par croisement avec un spectre de référence, à celui d'une jadéite très pure (tab. 4.). Il en est de même pour l'ensemble des échantillons de cette collection.

Nous pouvons donc affirmer avec précision que l'identification initiale est correcte et que les pierres analysées sont du **jade-jadéite**.

Figure 7. Juxtaposition de spectres de diffusion Raman de 100 à 1200  $\text{cm}^{-1}$  (473nm).

En haut : Spectre de référence RRuFF de la jadéite.

En bas : Spectre expérimental de "L'anneau blanc"

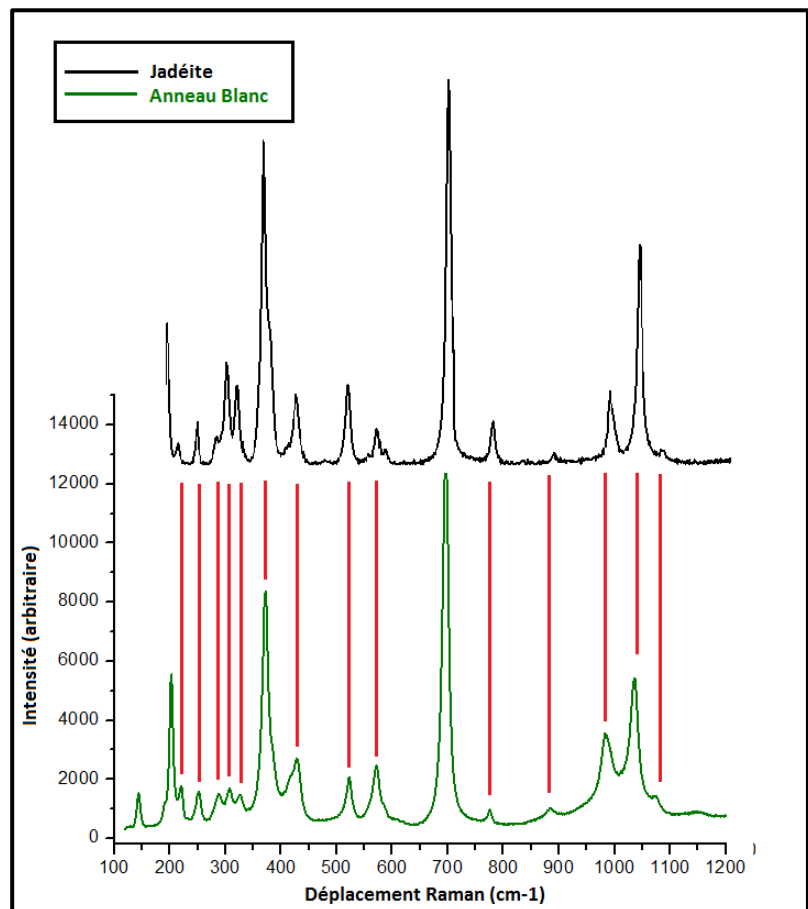


Tableau 4	
Anneau blanc	Assignment
142vw	-
193sh	-
204vs	Mode externe (maille)
223w	Mode externe (maille)
258vw	Mode externe (maille)
292m	Mode externe (maille)
312m	Mode de déformation
329w	O – Si – O
376vs	Mode d'élongation Al – O
385sh	-
437m	Mode de déformation
524s	O – Si – O
576vw	
592vww	-
700vvs	Mode d'élongation symétrique Si – O - Si
780vww	-
988vs	
1039vs	Mode d'élongation Si - O

Tableau 4. Assignment des raies de diffusion Raman (473nm).  
*w=weak, m=medium, s=strong, sh=shoulder, v=very*

Les analyses spectrales des trois pierres taillées en cabochon ont donné des résultats similaires. J'ai choisi de présenter l'échantillon du cabochon le plus sombre pour identifier ces pierres.

Le spectre obtenu (Fig. 8.) ne correspond pas à celui du jade-néphrite ou encore à celui du jade-jadéite. Ce spectre a un aspect différent des autres à cause de l'effet de fluorescence généré par la pierre analysée. La ligne de base n'est donc pas plate, mais semble fuir à haute intensité à mesure que le déplacement Raman augmente.

Les trois cabochons analysés sont des pierres de la famille de la **serpentine**.

En effet, les résultats de la spectroscopie (tab. 5.) m'ont permis d'identifier ces trois pierres comme étant de la **chrysotile**, un phyllosilicate plus communément appelé « amiante blanc ».

Figure 8. Juxtaposition de spectres de diffusion Raman de 100 à 1200  $\text{cm}^{-1}$  (473nm).  
En haut : Spectre de référence RRuFF de la chrysotile.  
En bas : Spectre expérimental du "Cabochon sombre"

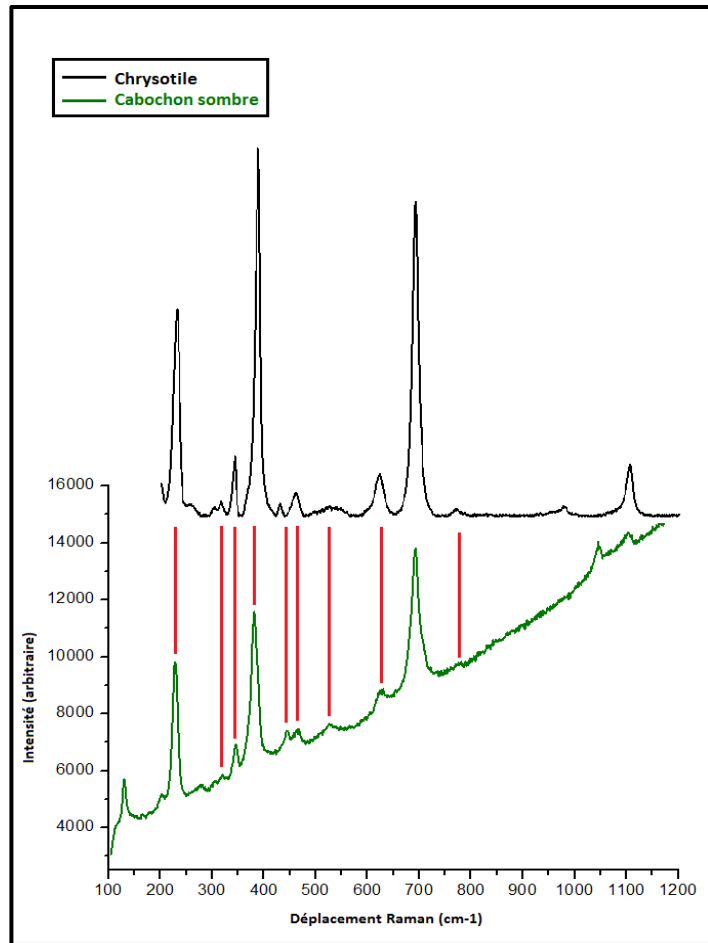


Tableau 5	
Cabochon sombre	Assignment
146w	-
206s	-
221sh	Mode de vibration O – H – O ?
253w	
289w	-
310w	Mode de déformation de $\text{SiO}_4$
326w	
373vs	Mode de vibration symétrique Mg – OH
417sh	-
428m	Mode de translation antisymétrique de Mg – OH
526m	-
574m	-
697vvs	Mode d'élongation Si – O – Si
778vww	-
882vww	-
985m	-
1039s	-
1077sh	-

Tableau 5. Assignment des raies de diffusion Raman (473nm).  
w=weak, m=medium, s=strong, sh=shoulder, v=very



- En addition à l'identification par spectroscopie de diffusion Raman, la taille relativement petite des échantillons fut optimale pour l'utilisation de la **balance hydrostatique**.

Compte tenu de leur identification semblable, j'ai choisi de mesurer la densité d'une seule pierre (« Anneau blanc »).

En voici le résultat :

Masse dans l'eau :  $m_{\text{eau}} = 2.0931 \text{ g}$

Masse dans l'air :  $m_{\text{air}} = 2.9885 \text{ g}$

Densité :  $d = 3.34$

Cette valeur de densité mesurée correspond avec précision à la densité de la **jadéite** donnée par la littérature.

#### ANALYSE EN COMPOSITION :

Nous savons que les jades sont des silicates, d'aluminium et de sodium pour la jadéite, de calcium et de magnésium pour la néphrite. Ces éléments sont présents sous forme d'oxydes, j'ai ainsi essayé d'en mesurer la proportion au sein des échantillons de jade.

- J'ai pour cela utilisé un **appareil portable de spectrométrie de fluorescence des rayons X**.

La ressemblance chimique des échantillons de jadéite et l'accès limité à l'appareil m'ont conduit à effectuer un tri dans les analyses présentées. J'ai choisi d'illustrer dans ce mémoire les différences entre certaines actinolites et les marqueurs de pureté de la jadéite.

Les tableaux ci-dessous (tab. 6-8.) recensent pour chaque échantillon, les éléments et traces détectés par spectrométrie, leur conversion sous forme d'oxyde et une approximation de la formule chimique de la pierre analysée.

<b>Fe</b>	1,57 %	<b>FeO</b>	2,02 %
<b>Mn</b>	0,04 %	<b>MnO</b>	0,05 %
<b>Ca</b>	8,95 %	<b>CaO</b>	12,52 %
<b>K</b>	0,07 %	<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,08 %
<b>Al</b>	0,41 %	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,77 %
<b>Si</b>	30,46	<b>SiO<sub>2</sub></b>	65,16 %
<b>Mg</b>	7,53	<b>MgO</b>	12,49 %
<b>BAL</b>	50,96 %		
<b>TOTAL</b>	100 %	<b>TOTAL</b>	93,09 %

Tableau 6. Analyse en composition de « Jade de Chine » (jade-néphrite)

Approximation de la formule :  $\text{Ca}_2(\text{Mg}_{4,14}\text{Fe}_{0,86})_{\Sigma=5}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Ce jade-néphrite est donc une variété d'actinote entre la trémolite magnésifère de formule :  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  et la ferroactinolite de formule :  $\text{Ca}_2\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Sa composition élevée en magnésium et faible en fer la rapproche plus de la **trémolite magnésifère** qui est plus abondante sur terre que la ferroactinolite.

On remarque des traces de manganèse, de potassium et d'aluminium dans les relevés d'analyse de cette pierre.

<b>Fe</b>	2,63 %	<b>FeO</b>	3,39 %
<b>Mn</b>	0,05 %	<b>MnO</b>	0,07 %
<b>Cr</b>	0,70 %	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,04 %
<b>Ti</b>	0,22 %	<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,37 %
<b>Ca</b>	7,37 %	<b>CaO</b>	10,31 %
<b>K</b>	0,13 %	<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,16 %
<b>Al</b>	5,72 %	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	10,82 %
<b>Si</b>	23,77 %	<b>SiO<sub>2</sub></b>	50,85 %
<b>Mg</b>	4,19 %	<b>MgO</b>	6,96 %
<b>BAL</b>	55,17 %		
<b>TOTAL</b>	100 %	<b>TOTAL</b>	83,97 %

Tableau 7. Analyse en composition de « Smaragdite »

Approximation de la formule :  $\text{Ca}_2(\text{Mg}_{3,07}\text{Fe}_{1,93})_{\Sigma=5}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

La présence de traces de chrome et de titane dans cet échantillon est une preuve de plus pour dire qu'il s'agit de **smaragdite**. Ces deux éléments présents dans la pierre, sont responsables de sa couleur verte.

<b>Fe</b>	0,14 %	<b>FeO</b>	0,18 %
<b>Ti</b>	0,09 %	<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,16 %
<b>Ca</b>	0,34 %	<b>CaO</b>	0,48 %
<b>Al</b>	11,5 %	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	21,64 %
<b>Si</b>	32,28 %	<b>SiO<sub>2</sub></b>	69,06 %
<b>BAL</b>	55,68 %		
<b>TOTAL</b>	100 %	<b>TOTAL</b>	91,52 %

Tableau 8. Analyse en composition de « Jadéite lilas »

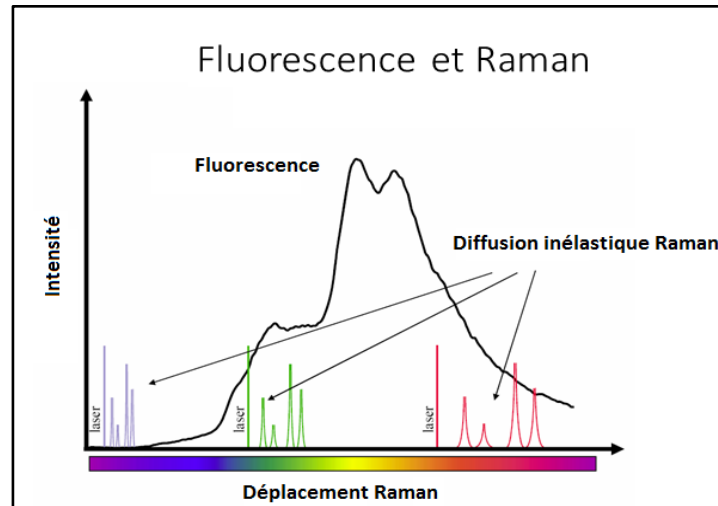
Approximation de la formule :  $\text{Na}(\text{Al}_{0,987}\text{Fe}_{0,012})_{\Sigma=1}\text{Si}_2\text{O}_6$

L'analyse n'a pas permis de révéler la présence de sodium dans l'échantillon. En effet, au même titre que l'hydrogène ou l'oxygène, cet atome est très léger et il est impossible pour l'appareil d'évaluer sa teneur dans la pierre. Si le sodium est bien présent dans cette pierre, sa présence est comprise dans le pourcentage de BAL de l'analyse et il est impossible de la quantifier par cette méthode.

Malgré une légère substitution de l'aluminium par le fer, ce jade est de très bonne qualité et d'une grande pureté. **Nous sommes en effet très proches de la formule de la très rare jadéite pure :**  
**NaAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>**

Comme expliqué plus tôt dans ce mémoire, pour un grand nombre d'analyses effectuées par spectroscopie de diffusion Raman, la précision et la lisibilité des spectres ont été limitées par un phénomène de luminescence. Celui-ci apparaissant au-delà de la plage occupée par les raies Raman ou selon le cas, directement dans la même plage, empêchant l'indexation des raies. Ce phénomène, bien que perturbant la mesure, nous offre des informations supplémentaires sur la pierre analysée (fig. 9.) :

Figure 9. Schéma explicatif de la fluorescence en spectroscopie de diffusion Raman



- Afin de témoigner de cet apport dans la compréhension globale du sujet, j'ai choisi de faire apparaître ci-dessous (fig. 10.) un exemple pertinent de ce phénomène de fluorescence apparut lors des analyses par spectroscopie de diffusion Raman.

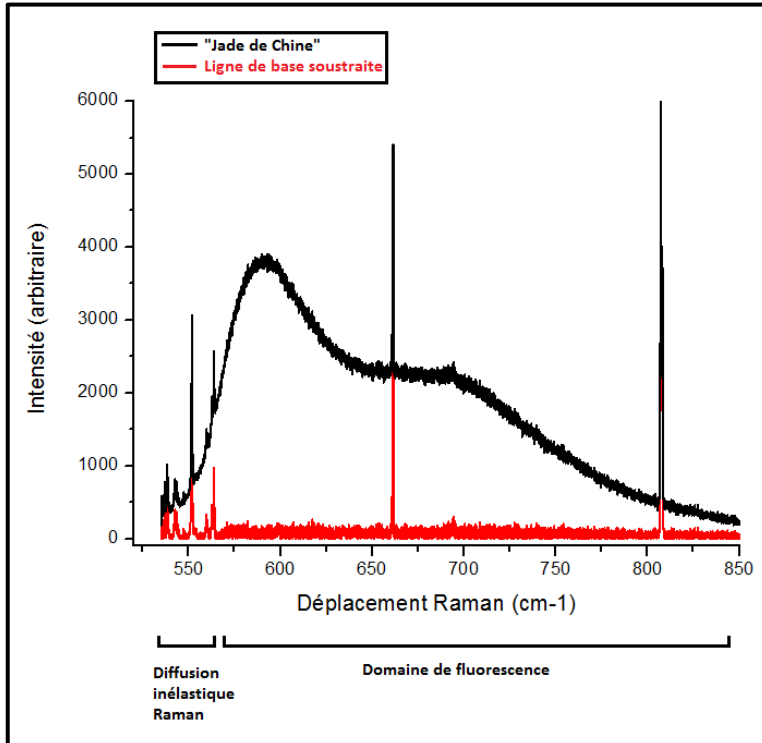


Figure 10. Superposition de spectres de diffusion Raman de 440 à 850  $\text{cm}^{-1}$  (532nm).

En haut : Spectre expérimental enregistré sur domaine Raman étendu du « Jade de Chine ».

En bas : spectre expérimental dont la ligne de base a été soustraite.

Ce spectre fait apparaître une large bande de fluorescence juxtaposée aux pics de signaux Raman. Nous pouvons raisonnablement supposer que ce jade contient une grande quantité d'ions chrome  $\text{Cr}^{3+}$ .

## B. Identification des traitements

Grâce à l'utilisation de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, il est possible de mettre en évidence l'utilisation d'agents de traitements utilisés sur le jade.

Cela nous permet de classer les jades selon leur type A, B, C, B+C ou D.

Les importants phénomènes de fluorescence inhérents à la spectroscopie sur les jades ont rendu impossible leur étude par spectroscopie FTIR directe.

Il m'a donc fallu utiliser une technique plus précise mais destructive.

En effet, j'ai pu diluer l'échantillon dans du bromure de potassium et les presser sous forme de palets très fins afin de m'affranchir de la fluorescence.

Les échantillons auxquels j'ai eu accès pendant mes recherches ne m'appartenant pas, j'ai dû demander une autorisation préalable à l'utilisation d'une technique destructive.

Je n'ai donc pas pu étudier toutes les pierres de la collection via cette technique.

Voici les résultats obtenus :

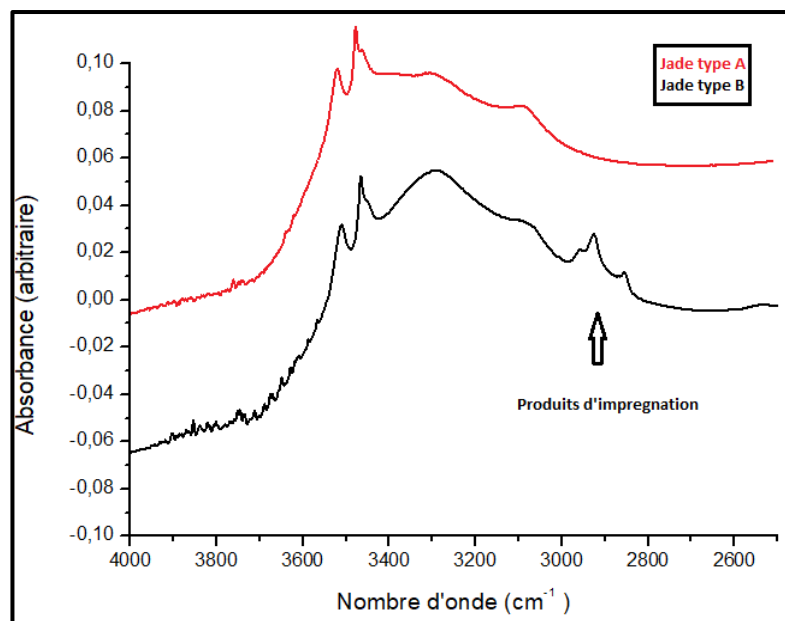


Figure 11. Juxtaposition de spectres de spectroscopie FTIR de 2500 à 4000  $\text{cm}^{-1}$  (Palets d'échantillons dilués dans du KBr).

En haut : Spectre expérimental de jade-jadéite Naturel type A.

En bas : spectre expérimental de jade-jadéite traité de type B.

Ces spectres (Fig.11) mettent bien en évidence la différence entre les différents types de jade.

Ces différences, difficiles à observer avec les autres techniques de laboratoire, sont identifiables grâce à cette technique de spectroscopie sur gamme longue.

La jadéite de type B fait apparaître un pic aux alentours de 2900  $\text{cm}^{-1}$  correspondant d'après la littérature à un produit d'imprégnation. Ce Jade ne rentre donc pas dans le type A puisqu'un traitement a été effectué sur ce jade. Il s'agit probablement d'une résine polymère de type époxy.

Ce type de traitement est classique sur les objets fait en jade.

On peut supposer que l'objectif était de rendre cette jadéite plus blanche et plus transparente en éliminant les inclusions « non jadéitiques ».

## CONCLUSION

J'ai appris au cours de cette formation que la caractérisation de pierres gemmes est bien plus délicate qu'il n'y paraît. C'est un processus parfois long, qui nécessite une grande rigueur scientifique.

*De nombreuses pierres ne sont pas ce qu'elles prétendent être*, et les connaissances que nous pensons acquises dans le domaine de la gemmologie sont parfois erronées et peuvent facilement nous envoyer dans la mauvaise direction lors de l'identification d'une pierre.

Dans cette démarche, certains outils à notre portée sont de conception très ancienne et continuent d'être utilisés encore aujourd'hui, pendant que les techniques de laboratoire se démocratisent et ne cessent de gagner en précision.

Le jade est un minéral à l'histoire complexe et ancienne dont l'identification fait encore aujourd'hui débat. Son appellation regroupe plusieurs familles de minéraux semblables bien que différents sur de nombreux points, si bien que les erreurs d'identification et les dénominations frauduleuses continuent d'être monnaie courante.

Sa nature physique, sa popularité et sa rareté ont généré un vaste marché et vite démocratisé les techniques de traitements. Ces techniques sont nombreuses et leur identification constitue un véritable casse-tête scientifique.

Matériau aux propriétés uniques, ce minéral de grande beauté restera probablement encore longtemps parmi la liste des gemmes les plus convoitées.



Illustration 32. Disque de jade, symbole de fortune – Trésor impérial chinois  
(Crédit Photo : <https://www.joya.life/fr/blog/le-jade-une-pierre-puissante-reele>)

## Bibliographie

1. Alessia Coccato (2014) *Gem quality and archeological green "jadeite jade" vs "omphacite jade": A multi-method study.*
2. H.F. Shurvell, L. Rintoul and P.M. Fredericks  
*Int.J.Vibr.Spec.*, [www.ijvs.com] 5, 5, 4 (2001)
3. George E. Harlow (2004) *L'Origine du Jade Jadéite.*
4. Wan Huang Bresson (2011) *Les Traitements de la Jadéite, Diplôme d'Université de gemmologie*, Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université de Nantes U.F.R. des Sciences et des Techniques, Nantes
5. Identification of Jadeite Treatments with the GL Gem Spectrometer and GL Gem Raman (2013) Gemlab Research & Technology
6. Caterina Rinaudo, Daniela Gastaldi. *Characterization of chrysotile, antigorite and lizardite by FT-Raman spectroscopy.* Dipartimento di Scienze e Tecnologie Avanzate, Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro", Corso Borsalino 54, I-15100 Alessandria, Italy  
Elena Belluso, Dipartimento di Scienze Mineralogiche e Petrologiche, Università di Torino, Via Valperga Caluso 35, I-10125 Torino, Italy
7. Richard C. Bradt (1973) *The Toughness of Jade, American Mineralogist*, Volume 58, pages 727-732, Ceramic Science section, Material Science Department.  
Robert E. Newnham, J. V. Biggers, Materials Research Laboratory, The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania 16802
8. George E. Harlow, *Blue omphacite "jade" from Guatemala* (gharlow@amnh.org)  
3American Museum of Natural History (New York)
9. George E. Harlow, Rossman G.R., Matsubara S. & Miyajima H. (2003). *Blue omphacite in jadeitites from Guatemala and Japan.* Abstracts with Programs, 34, 2003 Annual Meeting, Geol. Soc. Amer., A-??? (Abstract 65497).
10. Gérard Panczer (2017) *Les jades, caractérisations gemmologiques, traitements et imitations*

### SITOGRAFIE

11. <http://research.amnh.org/users/gharlow/L'origineDeJade-Sum.pdf>
12. <http://www.ventanamining.com/jadeite.html>
13. <http://www.lebijoutableau.com/article-jade-etymologie-formation-gisements-76876197.html>
14. <https://www.geminterest.com/materiel.php>
15. <http://www.christies.com/features/Archaic-jade-A-history-7014-1.aspx>