

ANNÉE 2009

DIPLÔME D'UNIVERSITÉ DE GEMMOLOGIE

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

**Par
M. Outhman Sidki**

***Le spinelle synthétique Verneuil
en gemmologie***

**Soutenu publiquement le 19 juin 2009
au Département des Sciences de la Terre
devant la commission d'examen composée de :**

M. E. FRITSCH	Professeur	Président
M. B. RONDEAU	Maître de Conférences	Vice-Président
M. H. GARCIA	Directeur du Laboratoire	Examineur
GUILLERMINET	Français de Gemmologie	
M. F. NOTARI	Directeur, Gemtechlab	Examineur
M. C. EWELS	Chargé de recherches	Examineur
M. C. MONNIER	Maître de Conférences	Examineur
M. B. LASNIER	Professeur	Invité

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier M. Fritsch pour son aide précieuse, pendant le cycle de formation et particulièrement pour son soutien et sa contribution dans les analyses effectuées dans le cadre de ce mémoire.

Je remercie M. Lasnier de nous avoir ouvert sa bibliothèque afin que nous puissions y trouver les références nécessaires à notre recherche, mais aussi pour ses conseils et sa bonne humeur.

Je remercie M.Barreau, ingénieur à l'IMN, pour avoir passé l'ensemble de nos échantillons au microscope électronique à balayage et d'avoir sauvegarder celles-ci sur son ordinateur.

Je remercie enfin ma famille sans laquelle je n'aurai pas été aussi motivé pour écrire le DUG et qui m'a soutenu tout le long des différentes étapes.

PLAN

Introduction

I- Historique

II- Définition et Caractéristiques

- A. spinelle naturel
- B. spinelle synthétique Verneuil
- C. verre

III- Matériaux et méthodes

- A. Réfractomètre
- B. Balance hydrostatique
- C. Spectros Raman (Raman à transformée de Fourier & spectromètre Raman Jobin Yvon T64000)
- D. Microanalyse MEB

IV- Mesures gemmologiques

Tableau (méthodes utilisées & gemmologie classique)

V- Analyses à la microscopie électronique à balayage

- A. spinelle synthétique Verneuil bleu
- B. spinelle naturel rose
- C. verre
- D. conclusion

VI- Analyses à la microsonde Raman à transformée de Fourier & Jobin Yvon T64000

A. analyses à la microsonde Raman à transformée de Fourier

- A.1. spinelle naturel bleu
- A.2. spinelle naturel rose
- A.3. spinelle synthétique Verneuil jaune
- A.4. spinelle synthétique Verneuil bleu
- A.5. verre
- A.6. conclusion

B-analyses à la grande sonde Jobin Yvon T64000

B.1- spinelle naturel rose

B.2- spinelle synthétique Verneuil jaune

B.3- spinelle synthétique Verneuil bleu

B.4-verre naturel

B.5-conclusion

VII- Conclusion

VIII- Références

Introduction

Ce mémoire a pour objet de résumer mon année d'étude en gemmologie effectuée au sein de l'UFR des sciences et des techniques. Elle s'est déroulée sous forme de cours théoriques, et de Travaux Pratiques, qui nous ont permis de concrétiser l'apprentissage grâce à un encadrement omniprésent, et d'opter pour une spécialité que j'espère pouvoir communiquer au milieu de la joaillerie et de la gemmologie.

Ma formation à l'UFR des sciences et des techniques m'a permis de connaître et étudier différentes sortes de gemmes, en particulier mon projet de fin d'étude s'est porté sur le spinelle synthétique Verneuil.

En effet, le spinelle existe sous forme naturelle et synthétique, et l'étude du spinelle synthétique Verneuil (la gemme synthétique) me semble très intéressante, afin de la comparer à la gemme naturelle ainsi qu'au verre. L'objectif de cette étude est de démontrer la ressemblance du spinelle synthétique Verneuil avec le verre.

J'ai choisi cette gemme (le spinelle synthétique Verneuil) qui suscite la curiosité d'un grand nombre de professionnels qui l'utilisent pour sa ressemblance à l'aigue marine ou à la topaze.

I- Historique

Spinelle naturel

Le terme spinelle, apparu tardivement au XVII^{ème} siècle comme épithète de rubis, dérive probablement du latin spina, épine, par allusion aux pointes octaédriques qui le différencient du cristal brut de corindon rouge, « rouge oriental » : c'était la « petite épine rouge ». Rubicelle est un diminutif de rubace, lui-même issu du latin ruber, rouge (ne pas confondre « rubace » et « rubasse »). Connue depuis l'antiquité indienne, la spinelle, qualifiée alors de diamant rouge, était attribuée à la caste des guerriers. Elle provenait des sables diamantifères du fleuve Penner (à l'ouest de Madras) dans la région du Balaghat (« au-delà du Ghats », chaîne de montagne du sud-est indien), conquise par Haydar 'Ali en 1780, en l'honneur de qui fut ultérieurement nommée Hyderabad. Elle provenait aussi du Badakhchan, province du nord-est de l'Afghanistan près de la frontière avec le Tadjikistan, comme l'indiquait dès le X^{ème} siècle le voyageur arabe : Mohammed ibn Mansur notait au XII^{ème} siècle que lal-Bedaschan (spinelle rouge) (mot d'origine Arabe, lal signifiant pierre rouge) se trouvait dans les fractures d'une roche blanche.

Marco Polo (1254-1324) parle d'une montagne particulière, le Syghinan (nom qui évoque l'actuelle Shignan), dans la région dénommée Balascia, comme source des rubis balais. Albert le Grand

(1200-1280) parlait déjà du balagius comme pierre femelle de l'escarboucle ou grenat rouge. Ainsi les pierres rouges du Balaghat et du Badakhchan étaient nommées balagius puis ballas en langage germanique et balais en français, d'où, là encore, opposition entre deux pierres rouges, l'oriental (corindon) et le balais (spinelle). « Il ya sur cette montagne (le mont Ballenée) une pierre nommée aster qui, au commencement de l'automne, brille comme le feu pendant la nuit. Dans la langue du pays elle s'appelle ballen, nom qui signifie roi » (traité des fleuves, Pseudo-Plutarque, env.225).

Les spinelles découverts vers 1990 au Tadjikistan sont peut-être ces fameux rubis balais des anciens, enfin retrouvés.

Dans l'Antiquité romaine, toutes les gemmes rouges étaient confondues sous le nom de carbunculus. Aussi, les vertus prêtées au spinelle rouge étaient celles accordées au rubis, symbole d'ardeur guerrière, talisman contre les blessures, médecine contre les hémorragies.

En fait, sa rareté constitue la grande raison qui empêche le spinelle d'occuper la place qu'il mériterait. Les spinelles sont plus rares que les rubis qu'ils étaient censés imiter. Il est donc étrange qu'ils soient si bon marché : dans le monde des gemmes la trop grande rareté est un écueil car elle restreint à un trop petit nombre, ceux qui pourraient aimer et acheter cette gemme.

Le spinelle est une pierre de bonne dureté, qui s'adapte à tous les usages en joaillerie. Elle est généralement facettée en formes ovale, ronde, rectangle à coins arrondis, mais rarement, à cause de sa rareté, en petites pierres calibrées.(Bariand et Poirot, 1998, <http://www.gemstone.org>).

II- Définition et Caractéristiques

A. Spinnelle naturel

Tableau 1 (quelques propriétés du spinelle naturel)

Système cristallin	Cubique
Composition chimique	$MgAl_2O_4$
Couleur	Il existe dans des teintes diverses, surtout rouge, pourpre, bleu.
Dureté	8.0 sur l'échelle de Mohs
Densité	3.6
Indice de réfraction	1.71

Cette pierre existe dans des teintes diverses, mais la variété la plus prisée est sans nul doute d'un rouge rubis mais un peu plus orangé. Ses substances colorantes les plus courantes sont le chrome et le fer.

Le spinelle noir « ceylanite » ou « pléonaste », une solution solide spinelle-hercynite, est maintenant utilisé comme gemme noire en bijouterie, ou il remplace l'onyx teinté. (<http://www.gemmes-infos.com/>).

Le spinelle zincifère gahnite est parfois faceté comme gemme de collectionneur. La variété brune s'appelle « picotite », le spinelle orange se nomme « rubicelle » et le spinelle rouge ou rose vif est qualifié de « rubis balai » du nom d'une localité d'Afghanistan, ou encore « rubis spinelle » (ces deux appellations sont interdites). Les gros spinelles sont assez nombreux.

B. Spinelles synthétique Verneuil

Procédé de fabrication:

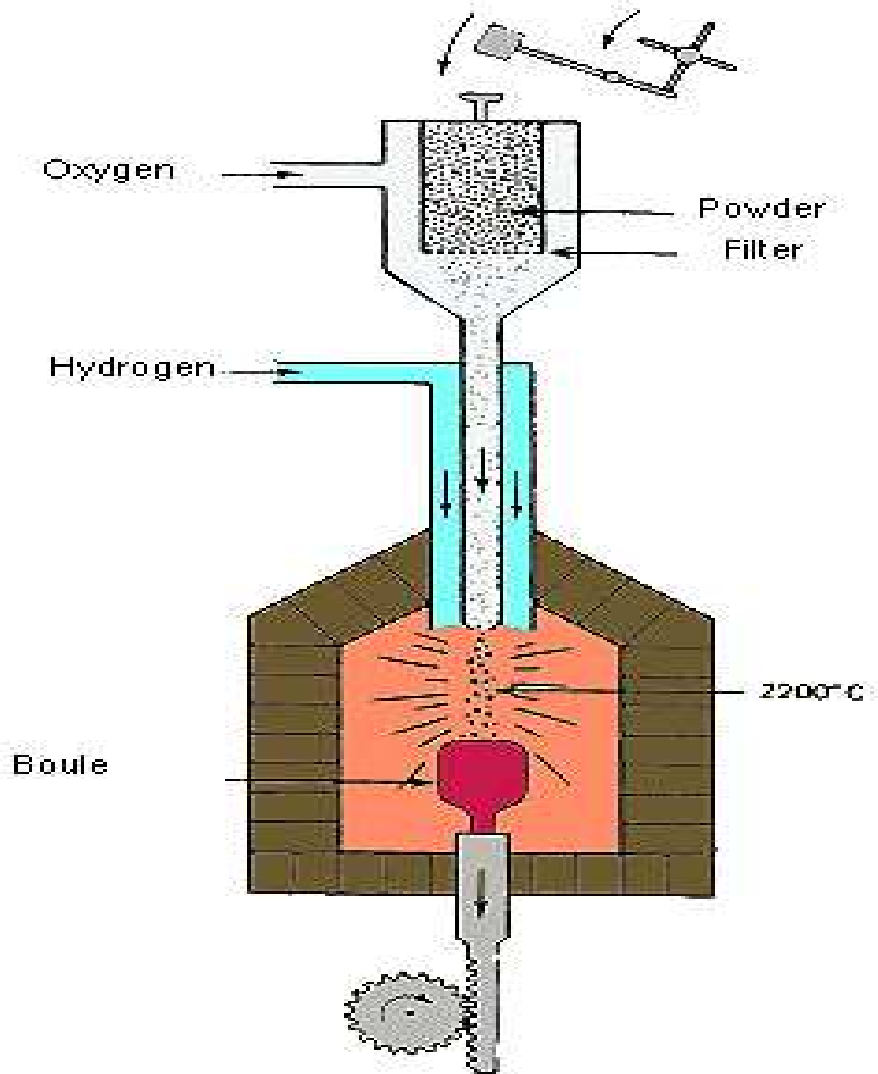


Figure N°1 : Schéma d'un four pour le procédé Verneuil

<http://www.bwsmigel.info>

Tableau 2 : quelques propriétés du spinelle synthétique Verneuil

Système cristallin	Amorphe
Composition chimique	MgO + Al ₂ O ₃ à 2MgO+7Al ₂ O ₃
Couleur	Surtout bleu imitant l'aigue marine
Dureté	7.5 – 8
Densité	3.64
Indice de réfraction	1.72 – 1.73

Le procédé Verneuil , mis au point dès 1891, utilise un four à chalumeau oxyhydrique (hydrogène + oxygène), toujours employé aujourd'hui ; la poudre fond dans la flamme du chalumeau, qui atteint 2100 °C, et la goutte tombe sur un germe plus froid où elle cristallise ; un moufle réfractaire entoure le cristal en formation pour éviter les chocs thermiques ; il se forme un pédoncule qui s'évase rapidement et la cristallisation s'arrête lorsque la surface supérieure du cristal atteint une zone de température trop élevée. Initialement, en 1902, le support réfractaire du germe était fixe et la forme du cristal obtenu similaire à celle des globules précédents ; aussi le nomma-t-on familièrement boule Verneuil. (Nassau, 1980).

Plus tard, la hauteur du four fut augmentée et le support de la boule éloigné de la flamme au fur et à mesure de la croissance cristalline, si bien que le cristal synthétique prit une forme cylindrique de plus en plus allongée, ce qui, avec le pédoncule, évoque l'aspect d'une bouteille. Actuellement, les bouteilles Verneuil peuvent atteindre

10 cm de long typique sur 2 cm de large. Les corindons synthétiques Verneuil, d'abord seulement rouges (coloré au Chrome) à partir de 1911, connurent un grand succès commercial tant en bijouterie qu'en horlogerie, où ils furent utilisés comme pivots et contre pivots, à la place des rubis naturels et des diamants taillés en roses plates des montres du XVIIIème siècle. En 1913 Verneuil produisait annuellement 2000 kg de rubis synthétique et 1200 kg de saphir synthétique. D'autres industriels s'installèrent bientôt pour répondre à une demande importante, notamment de l'industrie horlogère où le corindon sert également comme verre de montre pour protéger le cadran, à la place des diamants portraits (diamants taillés en lames à face parallèles) parfois utilisés au XVIIIème siècle dans les fabrications de luxe.

Actuellement, 200 t de corindon synthétique sont fabriquées annuellement par procédé Verneuil, notamment dans les alpes françaises et suisses ; la fabrication de spinelles synthétiques Verneuil de diverses couleurs, pour des applications en bijouterie fantaisie, est courante. Des cristaux de titanate de strontium (fabulite), de rutile (titania), uniquement destinés à imiter le diamant, sont aussi obtenus par cette méthode (300 kg en 1948). (Bariand et Poirot , 1998).



Figure N°2 : Boules de spinelles synthétique Verneuil, montrant l'aspect allongé caractéristique

(<http://www.agta-gtc.org/>)

C. verre :

Le verre est un solide non cristallisé (amorphe). Il ne présente pas comme pour les structures cristallines d'ordre à longue distance, mais seulement à courte distance. C'est un état particulier de la matière : l'état vitreux. Le verre est un solide obtenu par trempe d'un liquide surfondu. (<http://www.primeverre.com/>)

-Les propriétés optiques: la plupart des verres sont transparents.

-Les propriétés mécaniques : le verre est fragile, mais avant de casser, il a un comportement élastique.

-Les propriétés chimiques: la composition chimique des verres est très variable, la plupart sont à base de silicate, mais certains sont à base de phosphates ou du borates. Les verres standard de bijouteries sont des verres silicates enrichis en plomb.

-Les propriétés thermiques: chaleur massique et dilatation thermique font du verre un bon isolant thermique.

(<http://www.primeverre.com/proprietes.htm>)

III- Matériaux et méthodes

A- Réfractomètre



Figure N° 3 : Réfractomètre

Les mesure des indices de réfraction ont été prises grace à un réfractomètre qui sert à déterminer l'indice de réfraction d'une pierre.

Il est indispensable que la pierre à tester possède une facette plate et polie, avec un liquide de contact la pierre est posée sur l'appareil.

On détermine aisément l'indice de réfraction sur l'échelle visible dans l'oculaire.

L'appareil utilisé est un réfractomètre russe appartenant à l'association Marocaine de gemmologie et de bijouterie, acheté au salon de la minéralogie de Paris.

B-Balance hydrostatique



Figure N° 4 : Balance hydrostatique

Pour le calcul de la densité des différents échantillons, on a utilisé une balance hydrostatique permettant de peser la densité d'une pierre. Cet outil repose sur le principe d'Archimède. C'est le rapport de masse dans l'air à la masse de son volume dans l'eau. C'est un nombre pur. La gemme est tout d'abord pesée dans l'air puis pesée dans l'eau.

La balance que j'avais utilisé était une cb 203 de la maison Mettler Toledo.

C.Spectromètre Raman

C.1- Spéctromètre Raman à transformée de Fourier



Figure N° 5 : Raman à transformée de Fourier

Certaines analyses ont été effectuées sur un appareil de spectrométrie Raman à transformée de Fourier Bruker RFS 100 équipé d'un laser Nd : Y AG à 1064 nm à une puissance de 340 mW avec une accumulation de 1000 spectres à une résolution spectrale de 2 à 4 cm^{-1} .

C.2- Spectromètre Raman dispersif Jobin & Yvon T64000



Figure N° 6 : spectromètre Raman Jobin Yvon T64000

Le deuxième type d'analyse Raman à été réalisé sur un dispositif Raman Jobin & Yvon T64000 dispersif dans une configuration triple soustractive pour éliminer le pied de la raie d'excitation, avec un réseau de 600 lignes par mm, et une résolution d'environ 4 cm^{-1} en mode confocal vrai avec l'excitation par la raie à 514 nm du laser argon ionisé.

D. Microanalyse MEB



Figure N° 7 : Microscopie électronique à balayage (MEB)

Les analyses chimiques quantitatives ont été effectuées sur un microscope électronique à balayage (MEB) JEOL-5800LV, équipé d'un détecteur à dispersion d'énergie PGT (Princeton Gamma Tech) IMIX-PTS. Ce détecteur utilise un cristal de Ge (haute résolution) (115 eV). Le MEB opère avec une tension d'accélération de 20 kV, un courant d'1 nA, et un angle de vue du détecteur de 37°.

La pièce polaire est située à 15 mm de la surface de l'échantillon analysé. Les standards utilisés étaient soit des éléments purs, soit des composés simples. Les données expérimentales ont été corrigées en utilisant un programme PGT contenant une correction du type phi-rho-z. La teneur en oxygène est calculée par stœchiométrie. La précision de la mesure est de l'ordre de 1 à 2% suivant les échantillons.

IV- Mesures Gemmologiques

Tableau 3 : (méthodes utilisées & gemmologie classique):

Echantillons	Méthodes utilisés	Densité	Indice de réfraction
Spinnelle naturel rose (Brut)	1- M.E.B 2- Raman à transformée de Fourier 3- Jobin Yvon T64000	3.70	Pas mesuré
Spinnelle naturel bleu (Brut)	1- Raman à transformée de Fourier 2- Jobin Yvon T64000	3.59	Pas mesuré
Spinnelle synthétique Verneuil bleu (Brut)	1- M.E.B 2- Raman à transformée de Fourier 3- Jobin Yvon T64000	3.60	Pas mesuré
Spinnelle synthétique Verneuil jaune (Brut)	1- Raman à transformée de Fourier 2- Jobin Yvon T64000	3.98	Pas mesuré
Verre naturel (taillé)	Jobin Yvon T64000	2.64	1.54

-Pour les mesures d'indice de réfraction non effectués, il s'agit d'échantillons bruts sans surface plate polie adéquate.

V- Analyses à la microscopie électronique à balayage

A. Spinelle synthétique Verneuil bleu:

Nous relevons une teneur en oxygène, la teneur en aluminium est nettement plus importante que celle du Mg, avec un rapport $Al/Mg = 7$. Le rapport Al/Mg est déterminé sur la hauteur des pics, ici et dans le reste de ce document. (Voir figure n° 9).



Figure N°8 : spinelle synthétique Verneuil bleu

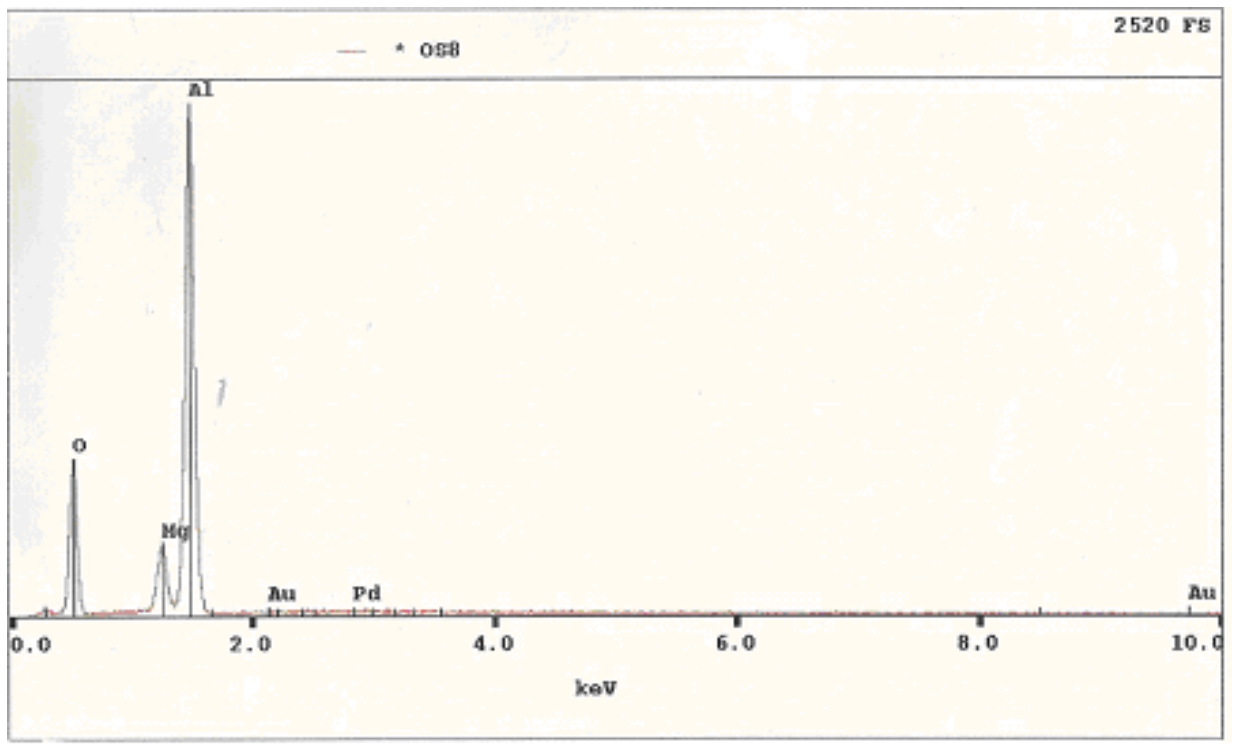


Figure N°9 : analyse au M.E.B du spinelle synthétique Verneuil bleu

B.Spinelle naturel rose

Le rapport Al/Mg = 2, de l'oxygène avec du Cr et du Fe, Zn en élément traces.
(Voir figure n°11).

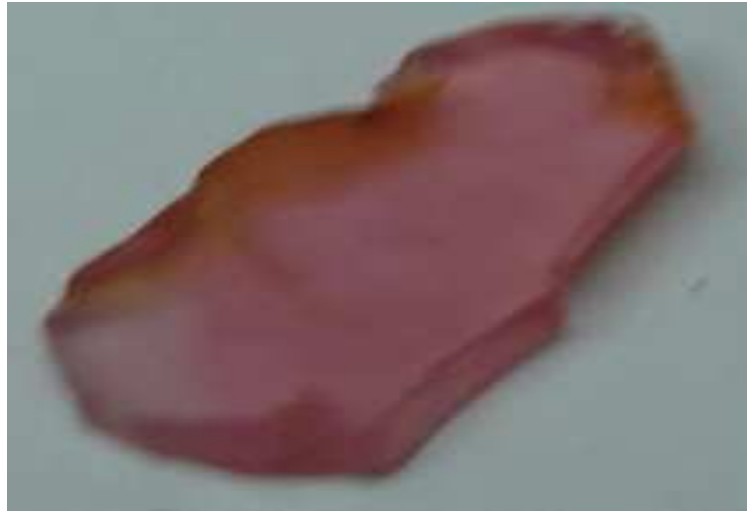


Figure N°10 : spinelle naturel rose

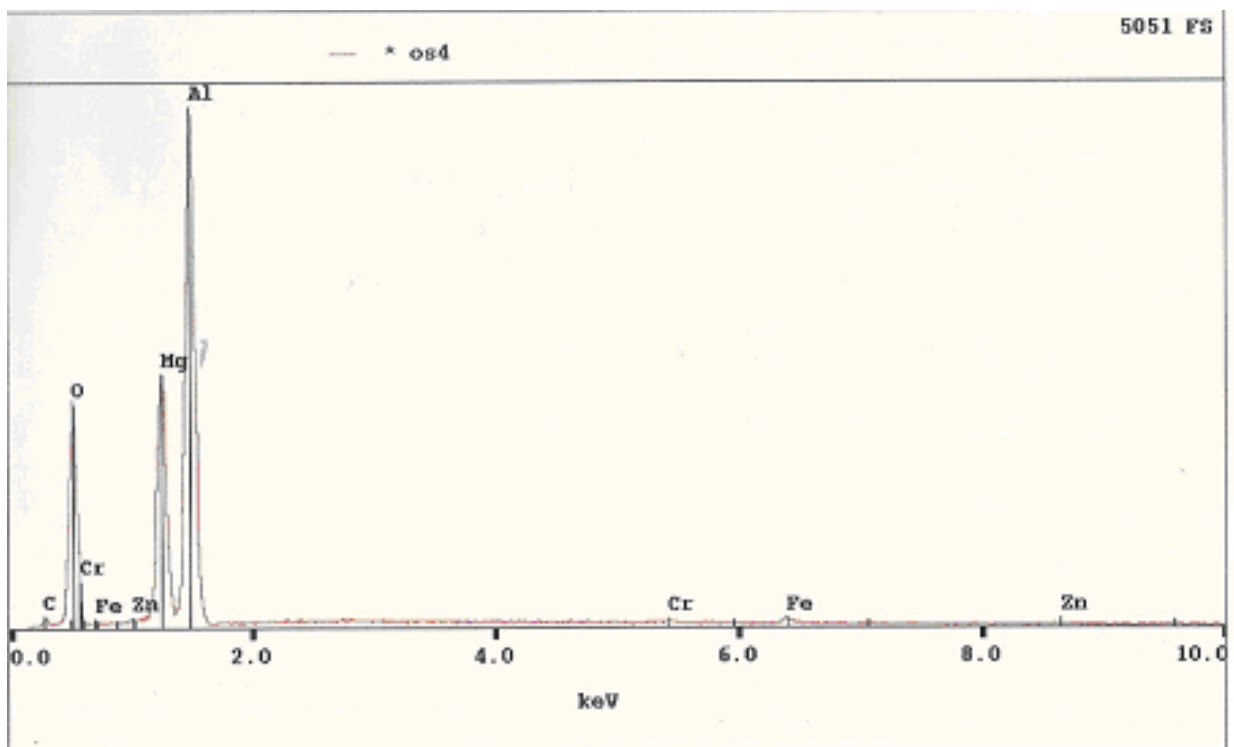


Figure N°11 : analyse au M.E.B du spinelle naturel rose

C- Verre:

Le rapport Al/Mg = 2.2 (pure coincidence), nous relevons une grande teneur en Si, et une présence du Ni, Pd, et du Ti. C'est une chimie totalement différente de celle du spinelle, avec en plus du Si & Ti.
(Voir figure n°13).



Figure N°12 : verre

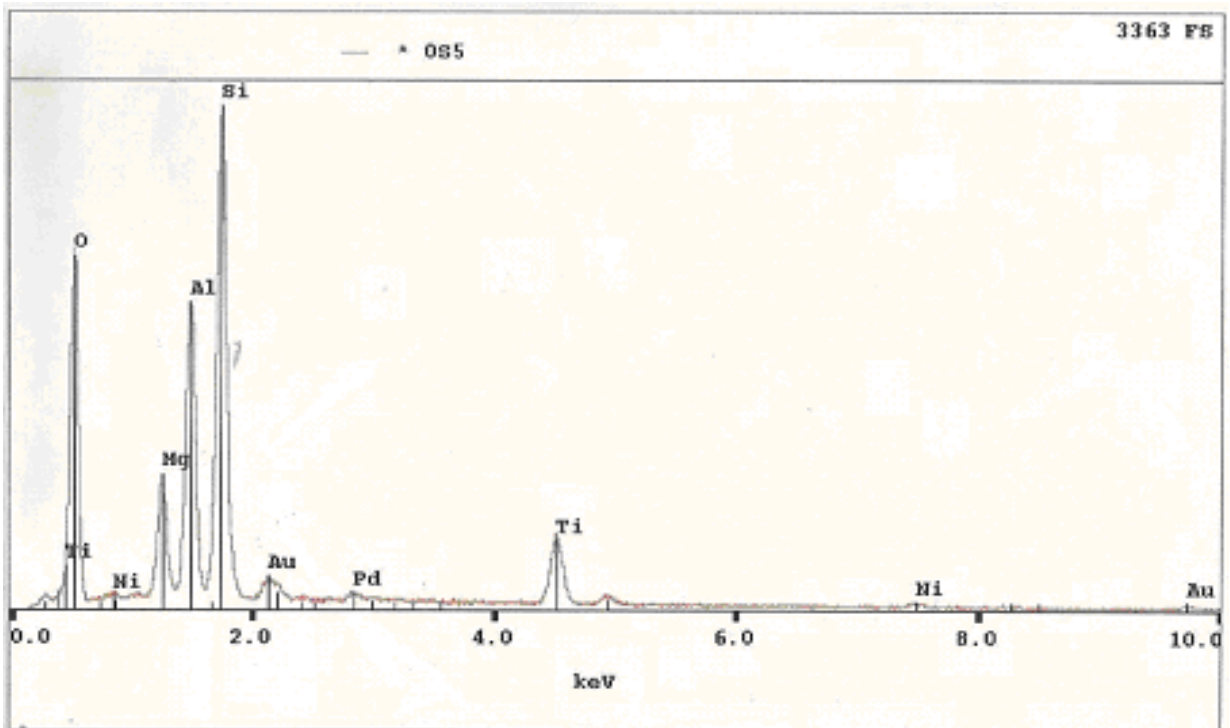


Figure N°13 : analyse au M.E.B du verre

D. Conclusion de la microanalyse au MEB

D'après les tests effectués au MEB sur les pierres spinelle synthétique Verneuil bleu, et le spinelle naturel rose que la composition chimique de ces gemmes contient les mêmes éléments chimiques c'est à dire du Al, Mg et O. Le rapport de la hauteur des pics Al/Mg est d'à peu près 2 pour le spinelle naturel rose et le verre par pure coïncidence, alors que pour le spinelle synthétique Verneuil bleu il est de 7.

VI- Analyses à la microsonde Raman à transformée de Fourier & Jobin Yvon T64000

A. Analyses à la microsonde Raman à transformée de Fourier

A.1- Spinelle naturel bleu

Le Spinelle naturel bleu montre 3 bandes fines à environ : 405 cm⁻¹, 664 cm⁻¹, et 765 cm⁻¹. (Voir figure n°15).



Figure N°14 : spinelle naturel bleu

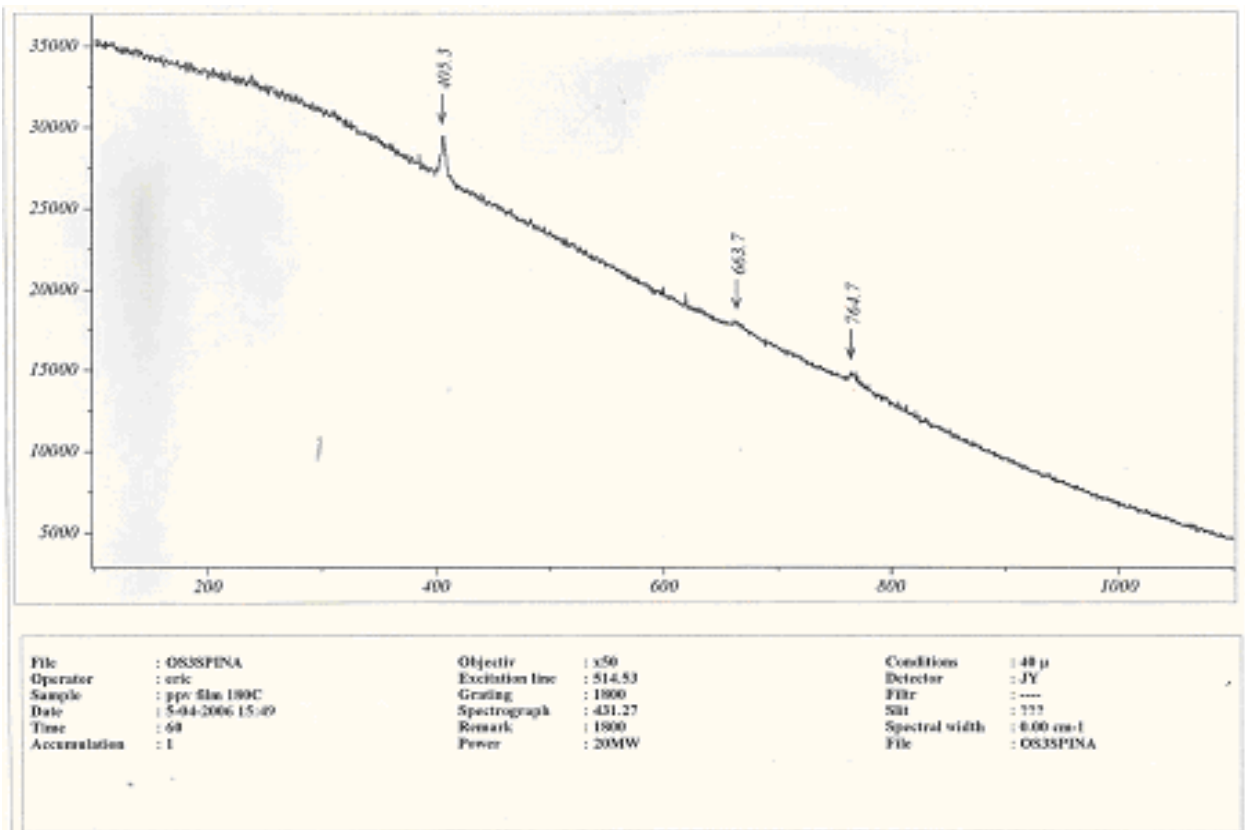


Figure N°15 : analyse du spinelle naturel bleu au Raman à transformée de Fourier

A.2- Spinelles naturel rose (analyses à la Microsonde Raman):

Le spinelle naturel rose présente une bande principale vers 406 cm^{-1} , ainsi que d'autres bandes toutes assez fines vers 313, 665, et 765 cm^{-1} . (Voir figure n°16).

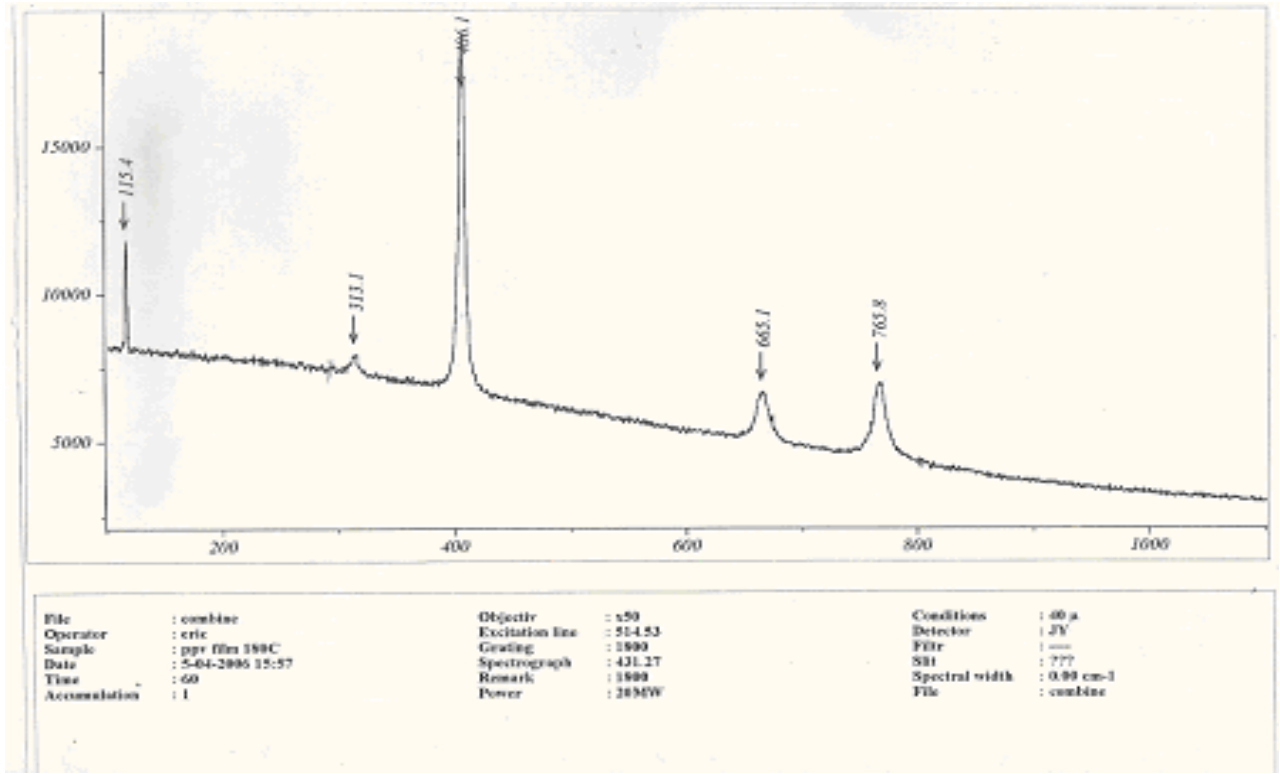


Figure N°16 : analyse du spinelle naturel rose au Raman à transformée de Fourier

A.3 – Spinelles synthétique Verneuil jaune

Il s'agit donc d'un composé légèrement différent, qu'il faudrait déterminer par des études plus détaillées. Comme ce matériau est peu courant, nous n'avons pas poursuivi cette étude plus loin.

Le spectre du spinelle synthétique Verneuil jaune obtenu sur le spectromètre Raman à transformée de Fourier, montrant trois bandes assez fines et intenses à environ 379, 417 et 645 cm^{-1} au spectromètre Raman à transformée de Fourier. Nous constatons tout d'abord que ces bandes sont d'une largeur comparable à celle observée pour les cristaux, ce composé est donc cristallisé. Ceci contraste avec les spectres obtenus sur l'équivalent bleu.

Cependant les positions des pics ne correspondent pas exactement à celles observées pour le spinelle naturel. (Voir figure n°18)



Figure N°17 : spinelle synthétique Verneuil jaune

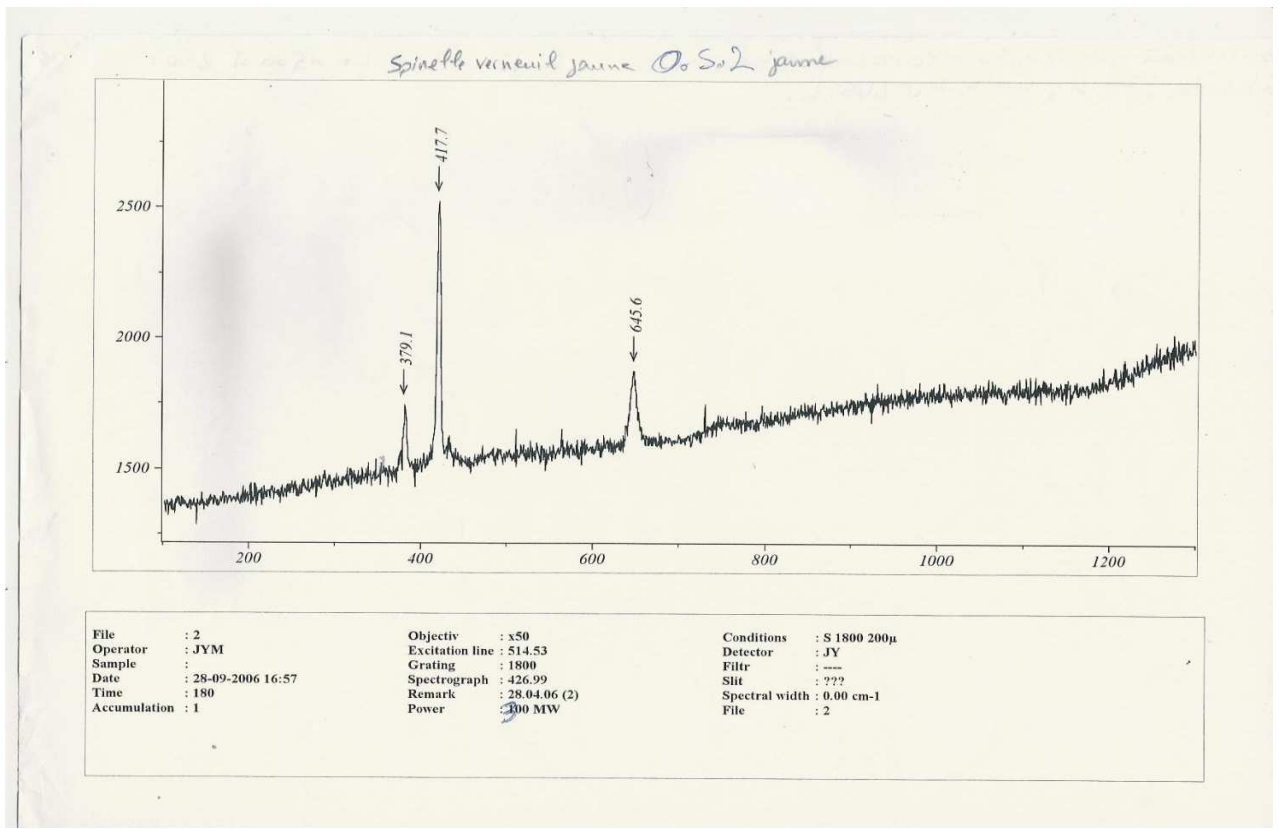


Figure N°18 : analyse du spinelle synthétique Verneuil jaune au Raman à transformée de Fourier

A.4 – Spinelles synthétique Verneuil bleu (analyses à la Microsonde Raman):

Contrairement au spinelle naturel bleu, les bandes sont larges. Il y a une similitude avec le spinelle naturel, dans la position des bandes principales en cm^{-1} , on a : 339, 412, 691, 775 cm^{-1} . Par contre il y a des bandes additionnelles vers 205, 295, et 880 cm^{-1} . Les largeurs des bandes sont beaucoup plus importantes, de l'ordre de 50 cm^{-1} au lieu de quelques cm^{-1} . (Voir figure n°19).

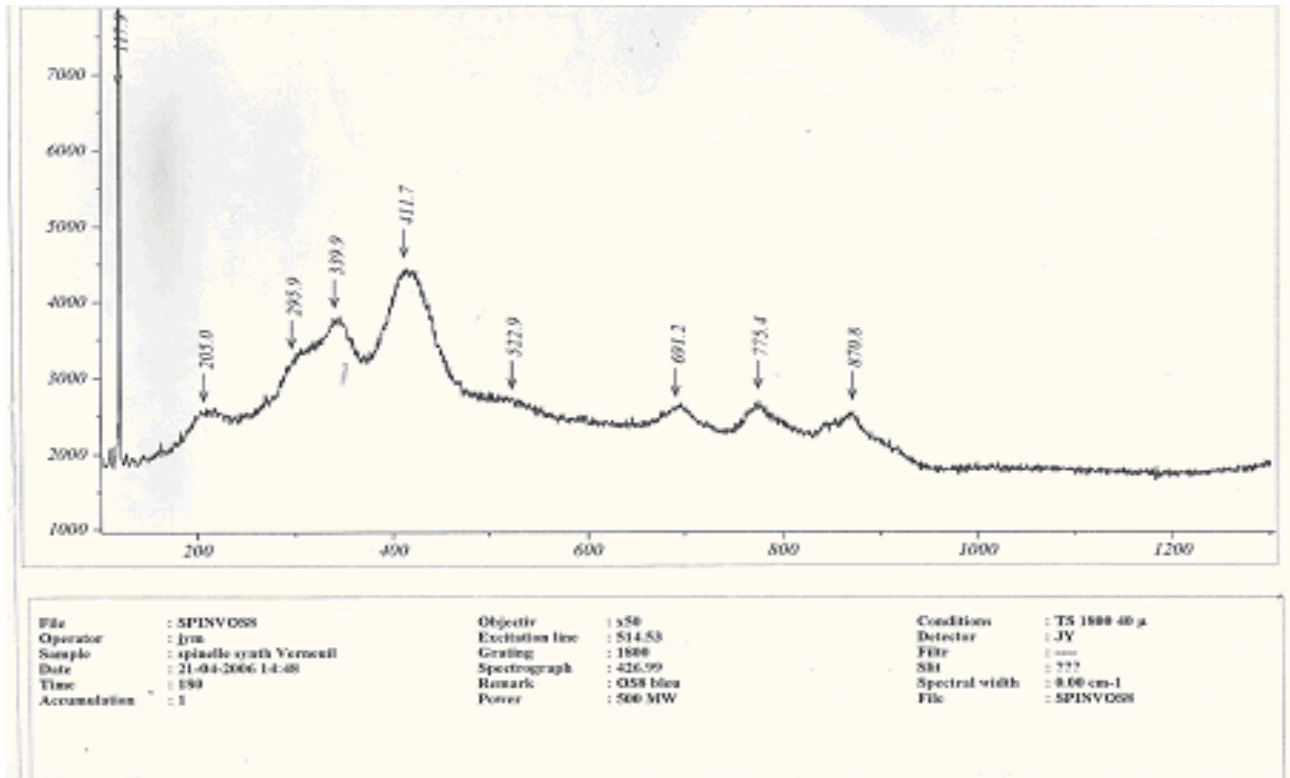


Figure N°19 : analyse du spinelle synthétique Verneuil bleu au Raman à transformée de Fourier

A.5-Verre :

Ce spectre se caractérise également par des bandes larges notamment celle avec un maximum vers 800 cm^{-1} , ou celle vers 450 cm^{-1} . On note quelques pics plus étroits vers 160, 260, 670, et 791 cm^{-1} , correspondant probablement à des modes locaux (vibrations de cycles de tétraèdres par exemple). (Voir figure n°20).

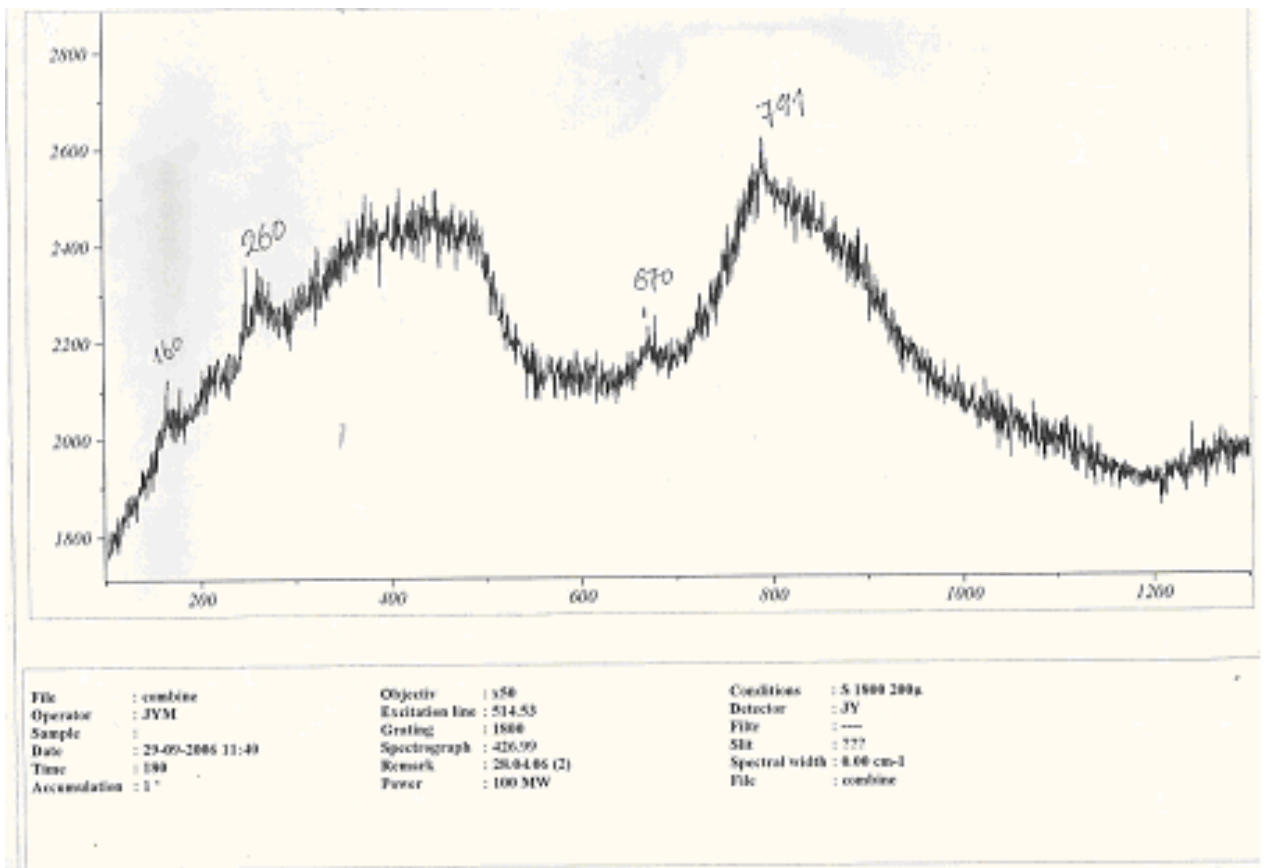


Figure N° 20 : analyse du verre au Raman à transformée de Fourier

A.6 – conclusion :

Les spinelles naturels bleu et rose présentent des pics communs vers 406, 665, et 765 cm^{-1} , qui sont donc dus aux vibrations intrinsèques du spinelle.

A l'opposé, le spinelle synthétique Verneuil et le verre présentent tous deux des pics larges. Ceci indique leur caractère très désordonné ou amorphe, mal cristallisé. Les positions approximatives des pics se correspondent entre spinelle naturel et spinelle synthétique Verneuil, ce qui indique que ce dernier est une variété désordonnée du premier.

Les structures, l'une cristalline, l'autre amorphe, sont différentes, donc le spinelle synthétique Verneuil n'est pas à proprement parler un synthétique, puisqu'il ne possède pas la structure de l'équivalent naturel.

Les bandes Raman du spinelle synthétique Verneuil et du verre ne se correspondent pas, car les chimies sont différentes, et donc les vibrations de la structure ne se ressemblent pas.

B.1 -analyses Raman à la grande sonde Jobin Yvon T64000

B.1- Spinelle naturel rose :

Le spinelle naturel rose présente une bande vers 405 cm⁻¹, comme à l'appareil à transformée de Fourier, mais le signal est moins intense. (Voir figure n°21).

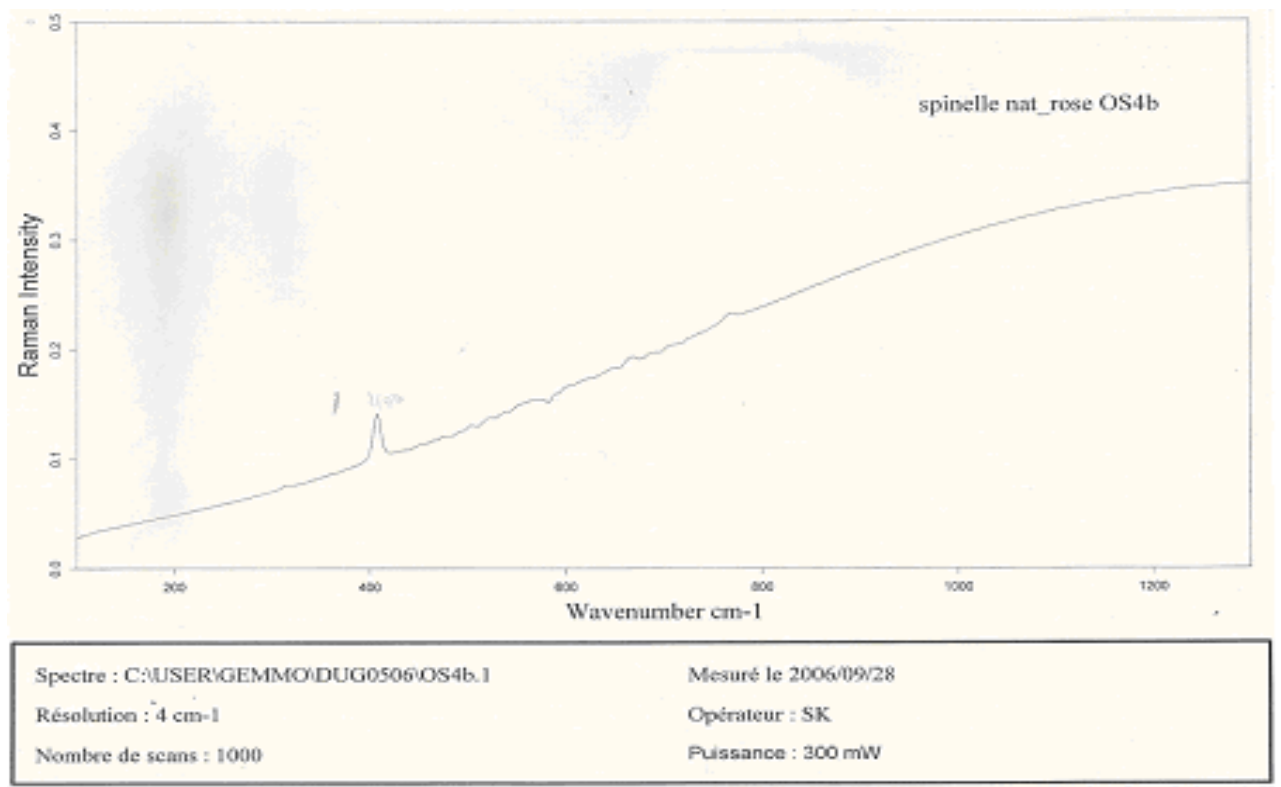


Figure N° 21 : analyse du spinelle naturel rose à la grande sonde Jobin Yvon T64000

B.2 – spinelle synthétique Verneuil jaune

Sur l'appareil dispersif, seule la bande la plus intense est vue, car le spectre peu distinct est assis sur un fond de fluorescence important.
(Voir figure n°22)

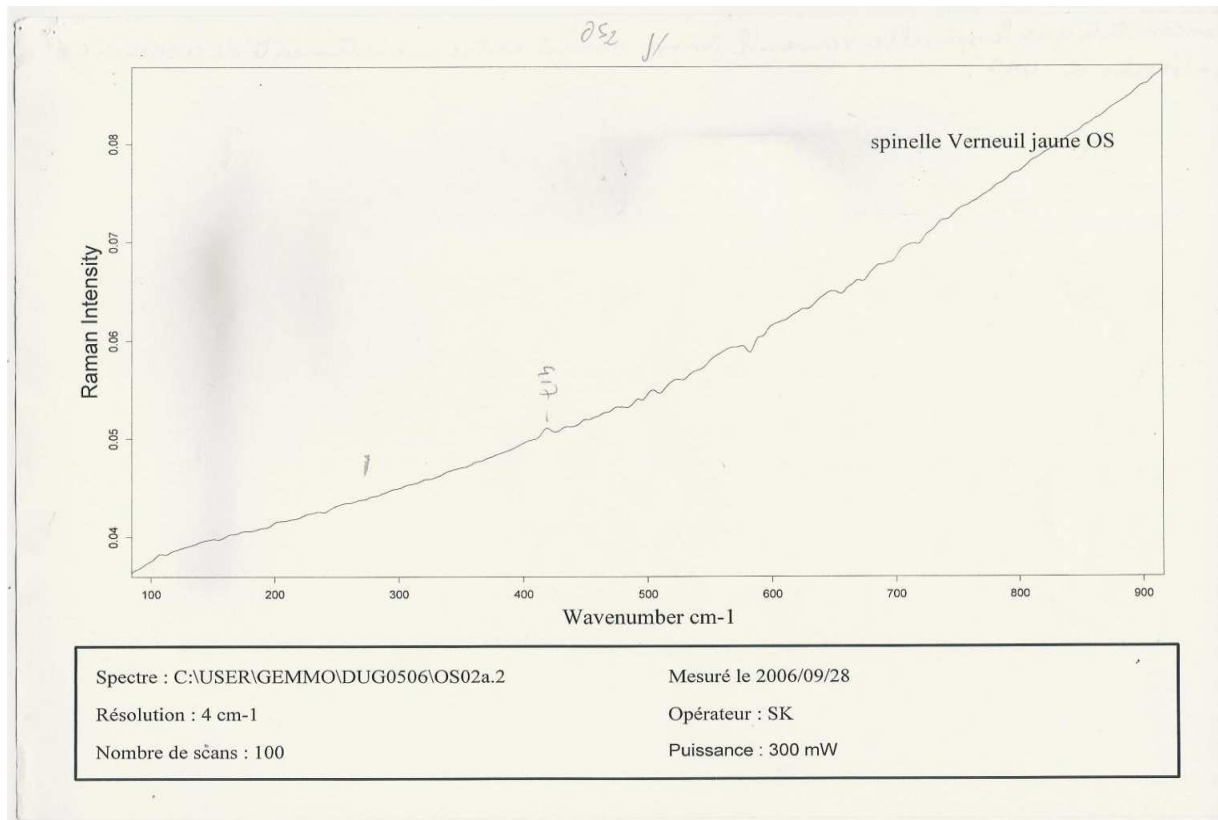


Figure N°22 : analyse du spinelle synthétique Verneuil jaune à la grande sonde Jobin Yvon T64000

B.3- Spinelle synthétique Verneuil bleu :

En ce qui concerne le spinelle synthétique Verneuil bleu, on constate des signaux faibles et larges vers 295, 340 et 410 cm-1. Très semblable à ceux observés avec l'appareil à transformée de Fourier, ceci est rassurant mais peu utile. (Voir figure n°23).

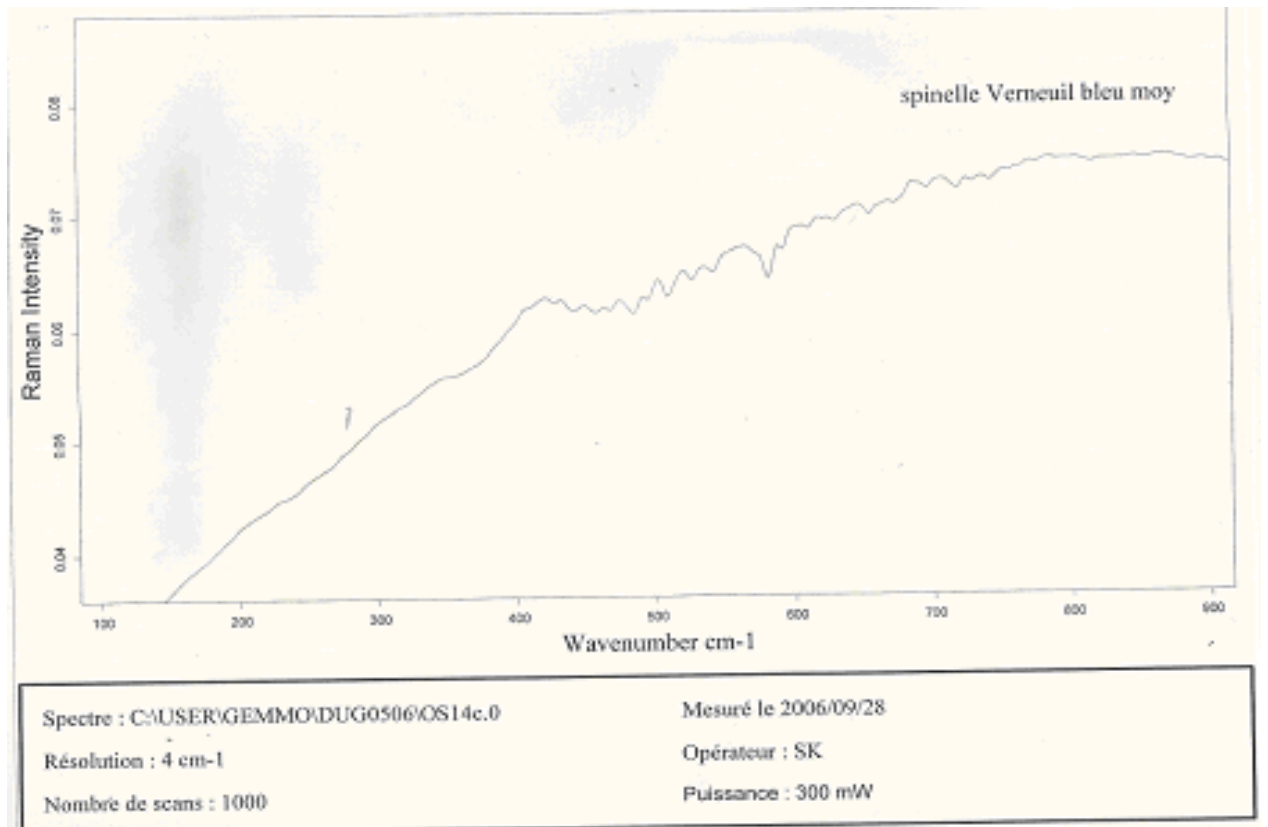


Figure N° 23 : analyse du spinelle synthétique Verneuil bleu à la grande sonde Jobin Yvon T64000

B.4-Verre Naturel:

On constate une bande large vers 400 cm^{-1} similaire à ce qui est observé avec l'instrument à transformée de Fourier, mais le signal est de très mauvaise qualité. (Voir figure n°24).

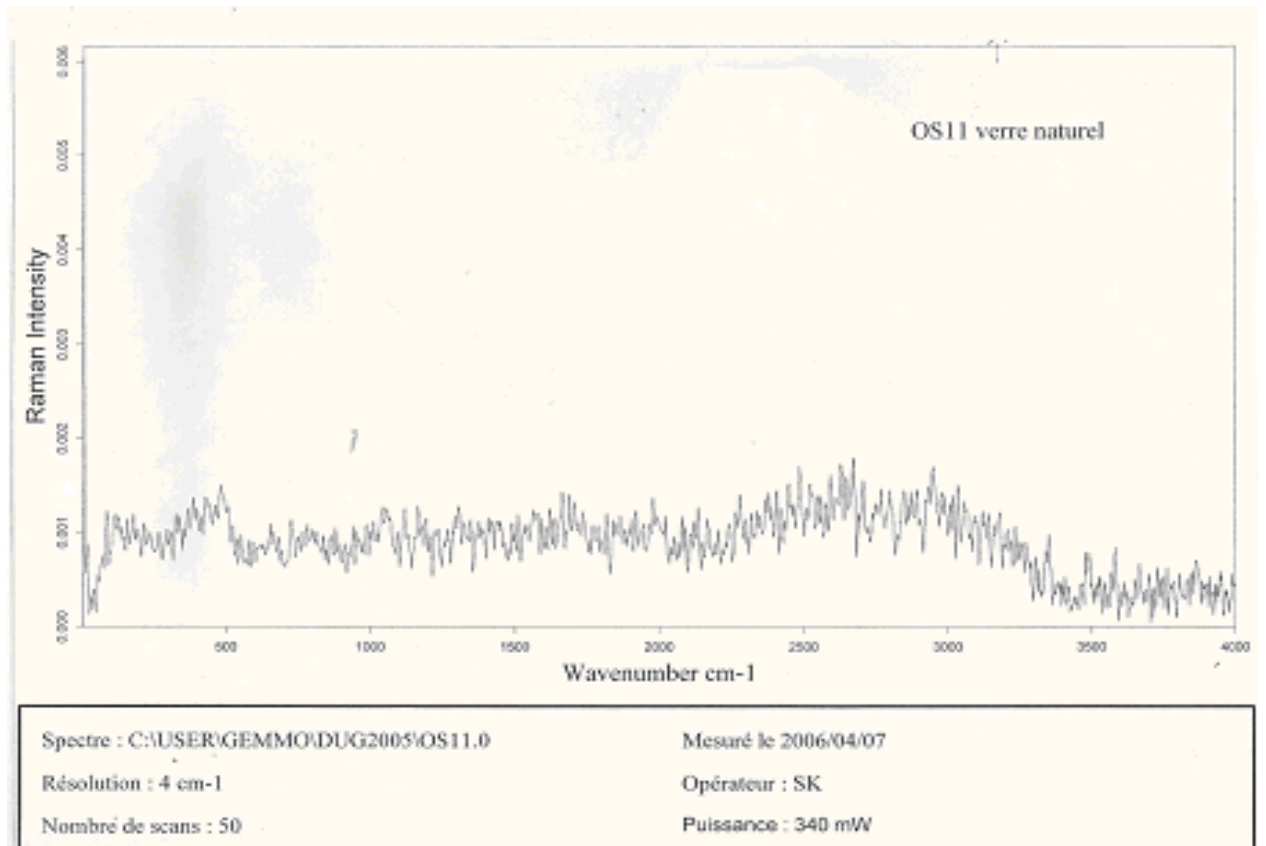


Figure N° 24 : analyse du verre naturel à la Jobin Yvon T64000

B.5.Conclusion (résultat du Raman à transformée de Fourier)

Les résultats observés confirment que le verre et le spinelle synthétique Verneuil ont une structure très désordonnée, mais avec des spectres moins utiles que ceux obtenus avec l'appareil à transformée de Fourier.

VII- Conclusion :

Le but de ce rapport est de démontrer que le spinelle Verneuil se rapproche du verre,

Pour ce faire j'ai mené des expériences sur trois sortes de pierres (spinelle naturel, Spinelle synthétique Verneuil et du verre). Les expériences menées au laboratoire avaient pour but de trouver des points en commun entre le spinelle Verneuil et le verre.

Des tests avec le spectromètre Raman à transformée de Fourier, la grande sonde dispersive Jobin Yvon T64000 et microanalyse M.E.B, qui nous ont permis de trouver des points communs entre le spinelle Verneuil et le verre, ainsi nous avons pu observer que les deux gemmes ont une structure très désordonnée.

En conséquence, le spinelle synthétique Verneuil ne mérite pas vraiment son appellation de synthétique. Sa structure désordonnée est différente de la structure cristalline (donc ordonnée) du spinelle naturel. De plus sa chimie est différente (rapport Mg/Al de 2 contre 7) mais ceci était déjà connu.

Références

- American Gem Trade Association Gemological Testing Center, AGTA GTC's Laboratory Update for October 4, 2005:
 - http://www.agta-gtc.org/images/newsletter_images/2005-10-04_verneuil/20051004figure01.jpg&imgrefurl=http://www.agta-gtc.org/2005-10-04_verneuil.htm&usq=__yuHjVJbkbJc0CNfxbzVnRgAt38w=&h=428&w=500&sz=38&hl=fr&start=6&um=1&tbnid=-TmWW6rR6zvwjM:&tbnh=111&tbnw=130&prev=/images%3Fq%3Dboule%2Bde%2Bverneuil%26um%3D1%26hl%3Dfr%26sa%3DN, Lu le 25/02/09.
- Bariand P ; & Poirot J._P. (1998), Larousse des pierres précieuses, Larousse, Paris pp.62-63, 243-244
- Gemmes Infos, spinelle,
 - <http://www.gemmes-infos.com/pierres/spinelle.html>, lu le : 28/02/09
Copyright © 2004-2009
- <http://www.bwsmigel.info/Lesson9/Images.9/vernuil1good.jpg>, Lu le 25/02/09
Copyright Barbara W. Smigel, 2009 LESSON9:SYNTHETICANDSIMULANT
- *ICA Gem Bureau Idar-Oberstein* Le spinelle favori des collectionneurs, <http://www.gemstone.org/gem-by-gem/french/spinel.html>, lue le : 25/02/09.
- *Nassau K ,(1980), Gems made by man Chilton book company, Radnor, PA, 364 pages.*
- *Prime verre Sarl, France 2001, définition du verre,* <http://www.primeverre.com/definition.htm>, Lu le 25/02/09.

