

# *La PEZZOTAITE*



Florian Le Goff  
B.P. Gemmologue  
2006-2008 Saumur

*Merci a mes professeurs,  
qui m'ont permis d'acquérir  
de réelles connaissances  
en gemmologie. . .*

Illustration : cristal tabulaire de pezzotaite brut (collection personnelle)  
et pezzotaite taillée (collection personnelle)

# sommaire



# SOMMAIRE

• <b>Histoire</b>	page 6
• <b>Différents occurrences</b>	page 9
-gisement Malgache	page 10
-gisement Afghan	page 11
-gisement du Myanmar	page 12
• <b>Présentation de la mine Malgache</b>	page 13
• <b>Propriétés chimiques</b>	page 18
-composition chimique	page 19
-le Césium	page 20
-le Lithium	page 23
-le Manganèse	page 24
• <b>Propriétés physique</b>	page 25
-système cristallin	page 26
-cristallographie	page 26
-densité	page 28
-dureté	page 29
-réaction aux ultra-violets	page 29
-clivage	page 29
-cassure	page 29
-magnetisme	page 30
• <b>Propriétés optiques</b>	page 31
- Indice de réfraction / biréfringence / caractères optiques des trois gisements	page 32
-spectre	page 32
• <b>Analyses spectrales</b>	page 35
-IRFT	page 36
-EDAX	page 38
-UV VIS	page 38
-RAMAN	page 41
• <b>Inclusions</b>	page 42
-identification d'inclusion a la spectrometrie RAMAN	page 46
• <b>Taille des pierres/Coloration/ Traitement/ Synthèse</b>	page 49
-taille des pierres	page 50
-Coloration	page 50
-Traitement	page 50
-Synthétique	page 50
-Confusion	page 50

• <b>Remerciements</b>	page 52
-Remerciements	page 53
• <b>Annexes</b>	page 54
• <b>Bibliographie</b>	page 73
-bibliographie	page 74

# HISTORIQUE



**Officiellement** la Pezzotaite fut découverte au mois de novembre 2002 a Ambatovita a 150 km au sud ouest d'Antsirabe dans la région de Mandrosonoro dans un trou appelé « le trou du lièvre ».

Ce gisement exploité par un Français, Laurent Thomas a produit une quarantaine de kilos de cristaux de belles qualités (taillable en joaillerie), quelques dizaines de kilos de qualités moyenne et quelques kilos d'une qualité médiocre...

Au départ elle n'était pas considérée comme nouvelle gemme car certain pensait que c'était une morganite « foncé » ou une Bixbite « claire » (béryl rouge de Wah-Wah Mountain,U.S.A).Néanmoins après être passé dans plusieurs laboratoires (CRG,SSEF,GRS,Museum D'Histoire Naturelle De Milan, Université De La Nouvelle Orléans...) et dans les mains de plusieurs grands gemmologues (tel que M<sup>ieur</sup> LULZAC ,D<sup>teur</sup> PERRETTI , D<sup>teur</sup> PEZZOTTA...) ,on s'aperçut que cette pierre différait sur plusieurs points tant au niveau de sa composition chimique que de sa cristallographie ou que de ses propriétés optiques...

Dès lors, plein d'analyse très complètes furent effectuées pour en connaître les différentes caractéristiques et aboutir au nom qui sera le sien en septembre 2003 à l'IMA(International Mineralogical Association) qui après s'être appelée Raspberry Beryl, Raspberyl,cesium Beryl...s'appela Pezzotaite en hommage a Frederico Pezzotta suite aux nombreux travaux de ce monsieur sur les pegmatites Malgaches...

Il est dit plus haut qu'elle a été découverte OFFICIELLEMENT en 2002 car dans un livre intitulé « Emerald and other beryls » de Sinkankas il y est mentionné la découverte de deux Anglais dans les années 1970 et 1980 de béryl rose de Madagascar très riche en césium... (« [...] *Even more remarkable is the finding of Cs2O alone of 11.3 % found by Evans and Mrose in a beryl from **Antsirabe**, Madagascar [...]* »), sachant que l'on appelle Pezzotaite tout béryl rose riche de plus de 9% de césium ils avaient donc probablement découvert la Pezzotaite...Etait ce le même gisement...

De plus Lacroix durant ses travaux sur le sol Malgache a fait état de béryl rose fortement césifère. Etait ce de la Pezzotaite ? On parle la du 19 début 20eme siècle...



cristal de Pezzotaite brut sur gangue  
(environ 5cm)  
source : internet

Par la suite on trouva un autre petit gisement (quelques cristaux) en Afghanistan malheureusement je n'ai pu en avoir pour études et peu d'information circule sur ce gisement...Le S.S.E.F en possède 2...depuis que monsieur Hänni m'en a échanger un lors du stage(*SGC august 2008*) contre une Pezzotaite birmane car il en avait pas !...merci a lui.

Septembre 2006 découverte d'une nouvelle occurrence à Momeik (burma) Myanmar, seulement 24 cristaux de sortie (2 en ma possession), la majorité de la production ayant été achetée par un gems dealer français...

J'appris par la suite lors d'un repas avec un grand gemmologue que ces informations étaient erronées...en effet une demi douzaines de geodes sont sorties de birmanies mais ces découvertes sont restées secrètes car les mines sont sous le joug de la junte birmanes...

Je lui demanda alors si il savait ou en trouver et il me repondit tu veux un cristal ou un lot ?!!!...

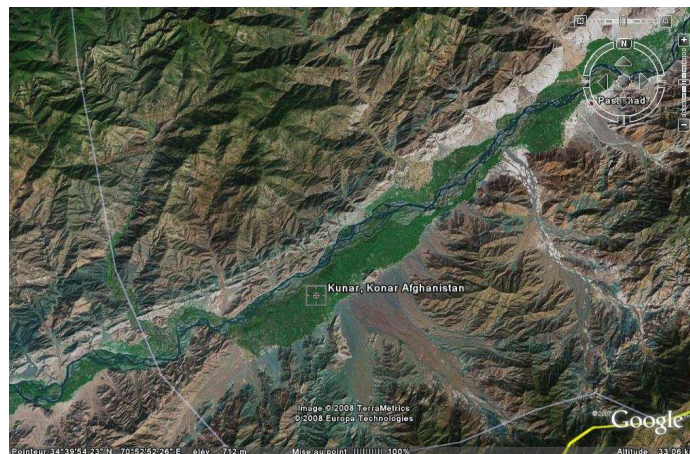


macle de cristaux  
tabulaire de Pezzotaite  
origine : Madagascar  
*source : internet*



# DIFFERENTES

# OCCURRENCES



Dans ce chapitre nous allons voir les différentes occurrences de la Pezzotaite...

## Le gisement de Madagascar :

Le gisement de la Pezzotaite de Madagascar est la pegmatite dit de SAKAVALANA proche du village de AMBATOVITA...cette pegmatite, d'une épaisseur de 4 à 6m et d'environ 200 mètres de long, est d'origine granitique, de composition « sodo-lithique » (c'est-à-dire composé de sodium et de lithium) et encaissée dans un cipolin...

Dans le 50<sup>ème</sup> numéro d'octobre 1965 du magazine « the American mineralogist » il est dit que les bérils des pegmatite granitique « poussent » dans un environnement riches en métaux alcalin et pauvre en cuivre, magnésium, titane, nickel, chrome et vanadium. Néanmoins les bérils « poussant » dans les veines, granite, adjacent aux pegmatites et rhyolites « poussent » dans des environnement qui sont généralement plus pauvre en métaux alcalins et plus riche en autre éléments (« *Beryls in granitic pegmatites occur in an environment rich in alkali metals and poor in iron, magnesium, titanium, nickel, chromium, and vanadium. Beryls from veins, granites, wallrock adjacent to pegmatites, and rhyolite occur in environments that are generally poorer in the alkali metals and richer in other elements* »). Ceci explique donc clairement de part la nature de son gisement pourquoi la pezzotaite s'est trouver "mêler" a du lithium et a du Césium...

Cette poche était constitué de muscovite, de quartz fumé, de clevelandite(albite), d'amazonite verte(microcline), de tourmaline, danburite, zircon et spessartite...

Quelques chiffres concernant les pierres gemmes trouvées dans cette mine:

- 700 kg de quartz fumé et citrine mélangés avec certains cristaux de 50 kg...
- 280 kg de tourmaline polychrome couvert d'une « peau » de tourmaline noire (les trois plus gros cristaux faisant 15, 25, 50 kg)
- 25 kg de spodumènes gemme et autant de spodumènes de mauvaises qualités...



Exemple de spodumène gemme d'Ambatovita

Schema de la mine :

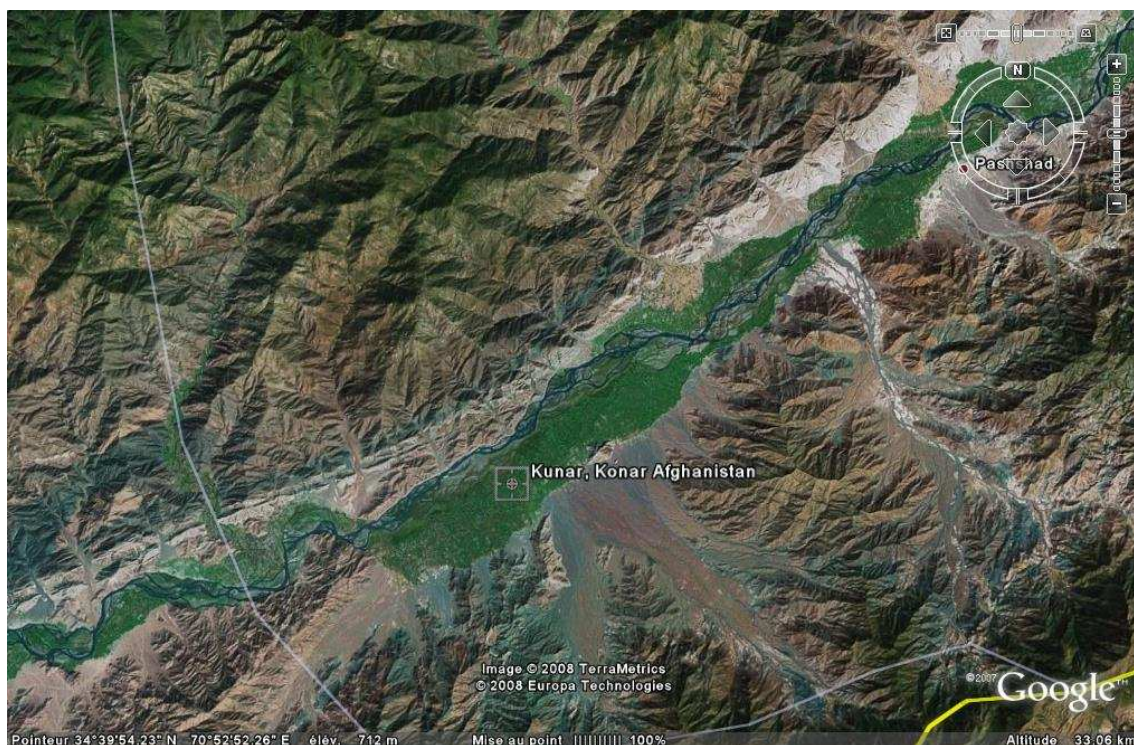


## Le gisement Afghan :

Très peu d'information sont paru sur cette occurrence de Pezzotaite .Certains sites mentionne la découverte mais ne mentionne ni le nombre ni la qualité ni la date de la découverte :

cette mine est situé en Afghanistan dans la province de Kunar dans la vallée de paroon a la mine de Deva (Deva mine).

Aperçut de la vallée (vu satellite : *google earth*) :





## Le gisement du Myanmar (ex Birmanie) :

En octobre 2006 une poignée de cristaux (environ 24 cristaux) de Pezzotaite ont été découvert au Myanmar dans la région de Momeik .La quasi-totalité a été achetée par Patrick de Koenigswarter vendeur de gemmes français. Puis plus tard (entre 2006 et 2008) une demi-douzaine de géodes aurait été trouvée...

Aperçut de la région de Momeik (vu satellite : *Google earth*) :



# PRESENTATION DE LA mine MALGACHE



Le premier gisement de Pezzotaite a été découvert à Madagascar dans l’océan indien :



Madagascar est situé dans l’océan indien

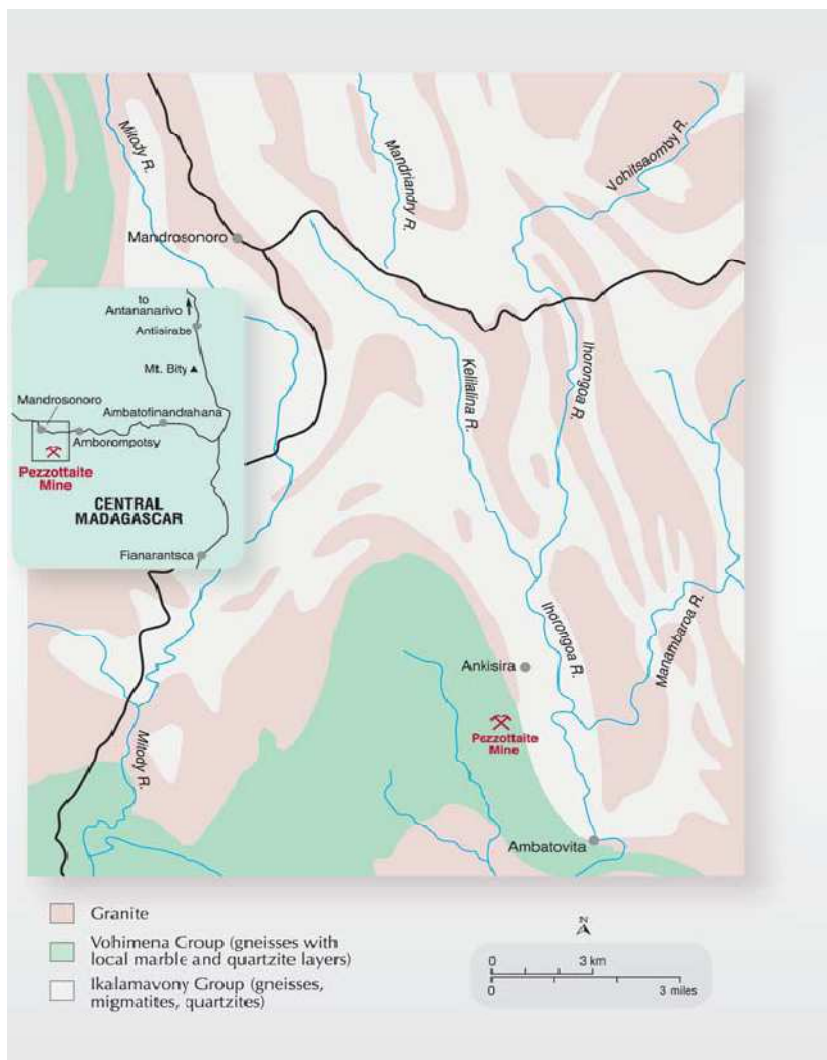
Source : GRS

Ambatovita se situe sur la route nationale d’Ambositra et de Morondova

Source : Google

Localisation d’Ambatovita

Source : GRS



Plan de localisation « du trou du lièvre »  
Source : GIA



Photos de la mine de décembre 2002 à 2007 :



Chemin de la mine 2002 (L.Thomas)



Mine mai 2004 (L.Thomas)



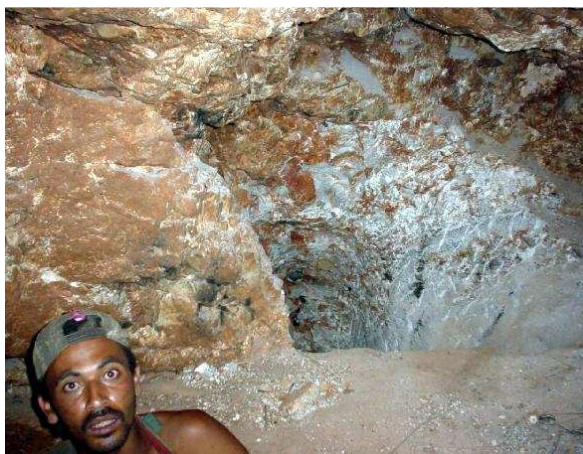
Mine en décembre 2002 lors du « rush »  
(L.Thomas)



Entree de la galerie (L.Thomas)



Extraction de l'eau avec des seaux (L.Thomas)



Ancienne cavité à Pezzotaite (L.Thomas)



Mine déserté en janvier 2007 (F.Danet)



Echantillon de Pezzotaite (taille : 2,6cm)  
(L.Thomas)

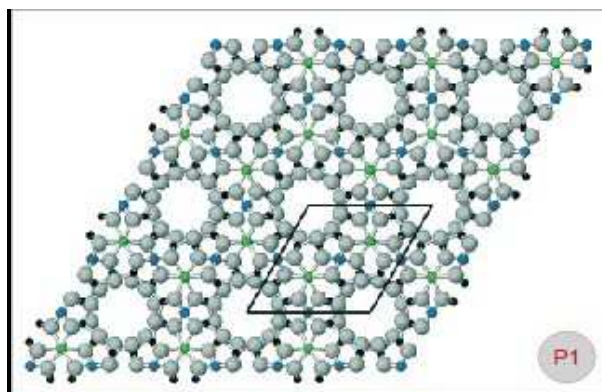




Pezzotaite taillée

# PROPRIETES

# CHIMIQUES



# Propriétés chimiques

## Composition chimique :

La formule chimique de la pezzottaite est  $\text{Cs}(\text{Be}_2\text{Li})\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ . Elle est donc de part sa composition apparentée au groupe du béryl...elle doit être composée d'au moins 9% de césium...

comparaison des différents taux de césium dans les trois gisements de pezzottaite :

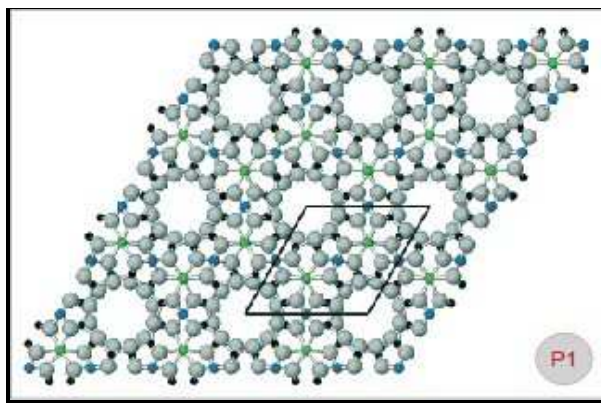
Pourcentage du poids total en $\text{Cs}_2\text{O}$	Madagascar : 14,27-14,63%	Myanmar : 2,69-13,12%	Afghanistan : 9,70%
---	------------------------------	--------------------------	------------------------

en bleu : donnée du SSEF(Suisse )

en orange : donnée du CRG (Nantes )

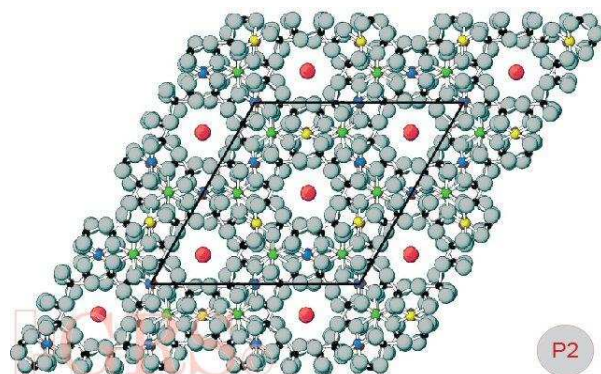
Les beryls sont des Cyclosilicates (c'est-à-dire que les atomes s'arrangent en forme de « cercles ») composés de silice et de beryllium au milieu desquels viennent s'incorporer des éléments .Dans le cas de la pezzottaite c'est l'ion alcalin césium qui s'incorpore dans les anneaux de beryl et de silice...

-structure du béryl :



(source GRS)

-structure de la pezzottaite (beryl+césium+lithium) :



(source GRS)

quelques  
exemples  
de  
composition  
chimique  
de béryls  
rares :

**R      X<sub>3</sub>      Y<sub>2</sub>      (T<sub>6</sub>O<sub>18</sub>)**

**Beryl Group Compositions**

<i>Sites</i>	(R)	(X)	(Y)	T <sub>6</sub> O <sub>18</sub>
<b>Species</b>				
<b>Beryl</b>	□	Be <sup>2+</sup> <sub>3</sub>	Al <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub>
<b>Bazzite</b>	□	Be <sup>2+</sup> <sub>3</sub>	Sc <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub>
<b>Stoppaniite</b>	□	Be <sup>2+</sup> <sub>3</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub>
<b>Pezzottaite</b>	Cs <sup>1+</sup>	Be <sup>2+</sup> <sub>2</sub> Li <sup>1+</sup>	Al <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub>
<b>Indialite</b>	□	(Al <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Si <sup>4+</sup> )	Mg <sup>2+</sup> <sub>2</sub>	(Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> ) O <sub>18</sub>

(source  
e  
GIA)

## Le césium :

La caractéristique principale de la pezzottaite est sa teneur en césium (> à 9%) anormalement élevée. Nous allons donc nous pencher sur les principales caractéristiques de ce métal alcalin:

Le **Césium** est un élément chimique de symbole Cs et de numéro atomique 55.

C'est un métal alcalin argent-doré.



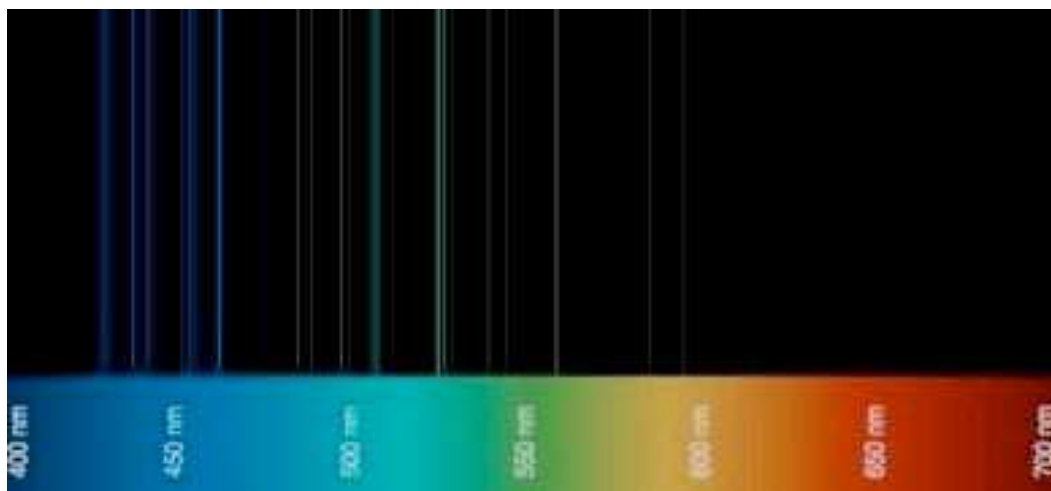
Césium cristallisé dans une ampoule de verre.

Le **césium** a la particularité de se liquéfier à température ambiante, comme le **gallium** et le **mercure**. (Uniquement ces 3 métaux ont cette spécificité).



Césium liquide à température ambiante (dans une fiole en verre)

Son nom **cesium** (du latin "**caesius**") vient de la couleur bleu clair des deux lignes caractéristiques de son spectre d'émission. (*Ceci expliquerait pourquoi la pierre contient du bleu dans sa couleur...*)



Raies spectrales d'émission du césium

La présence du **cesium** a été découverte, quelques mois après celle du rubidium - en 1861, par Robert Wilhelm Bunsen et par Gustav Robert Kirchhoff par spectroscopie de la **lépidolite**.

Le **cesium** naturel est constitué du seul isotope stable  $^{133}\text{Cs}$ .

*N.B : L'isotope  $^{137}\text{Cs}$  est utilisé en médecine comme source de rayonnement pour traiter le cancer du col de l'utérus et de la vessie.*

Le **cesium** a aussi une triste réputation, car il est l'un des multiples éléments radioactif relâchés dans l'air lors de la catastrophe de Tchernobyl... Le Césium 137 présent à la surface des sols européens en est la triste signature...

définition ENCARTA :

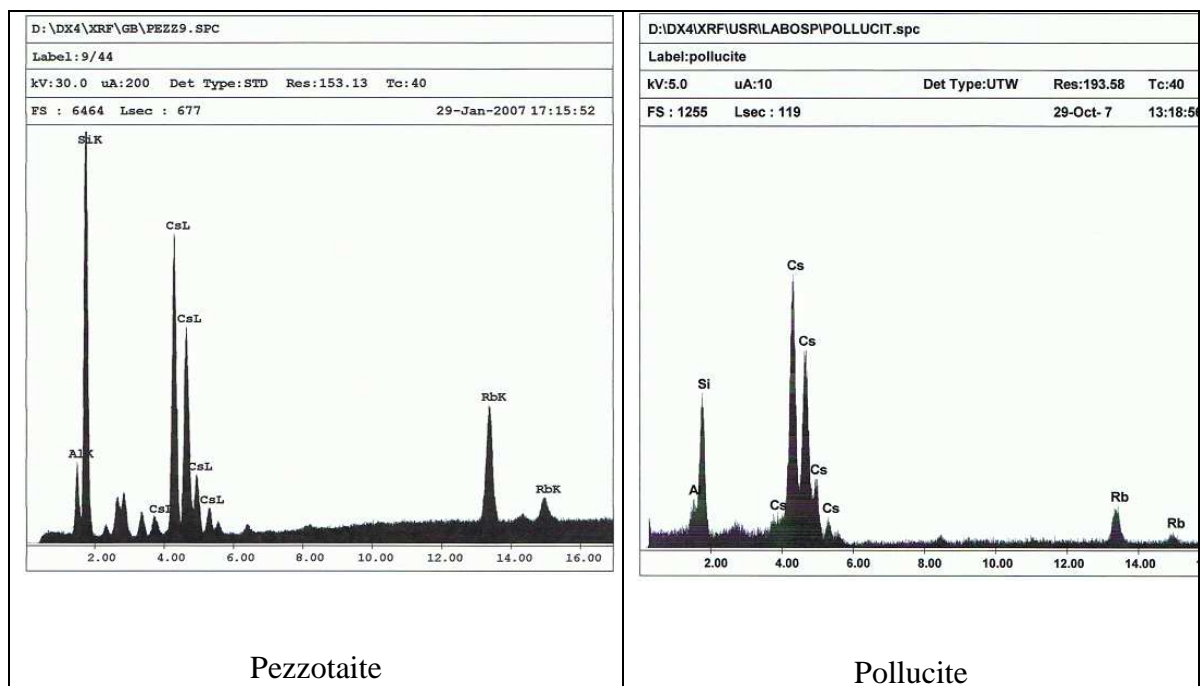
**césium**, métal alcalin mou, jaune pâle, chimiquement réactif, de symbole Cs, de numéro atomique 55 et de masse atomique 132,905 (voir [Classification périodique](#)).

Le césium a été découvert en 1861 par le chimiste allemand Robert Bunsen et le physicien allemand Gustav Kirchhoff en utilisant l'analyse spectrale (voir [Spectroscopie](#)).

Le césium est relativement rare. Il fond vers 28 °C, bout vers 670 °C ; sa densité est égale à 1,9. Dans la nature, on le trouve dans certaines eaux minérales, dans le lépidolite, le pollux de l'île d'Elbe. On obtient le césium par décomposition dans le vide de son chlorure fondu en présence de calcium, suivi d'une distillation. Le césium commercial contient généralement du rubidium, souvent présent avec le césium dans les minéraux et qui a de nombreuses similitudes chimiques avec lui. On emploie le césium dans la fabrication de cellules photoélectriques.

Comme il est dit dans la définition d'encarta le césium est souvent associé au rubidium qui possède de nombreuses similitudes avec lui...En effet sur les analyses que j'ai effectué a la fluorescence X (EDAX)(voir chapitre « analyses spectrales ») les massifs du rubidium apparaissent très clairement que ce soit sur une Pezzotaite comme sur une pollucite ou une rhodizite...

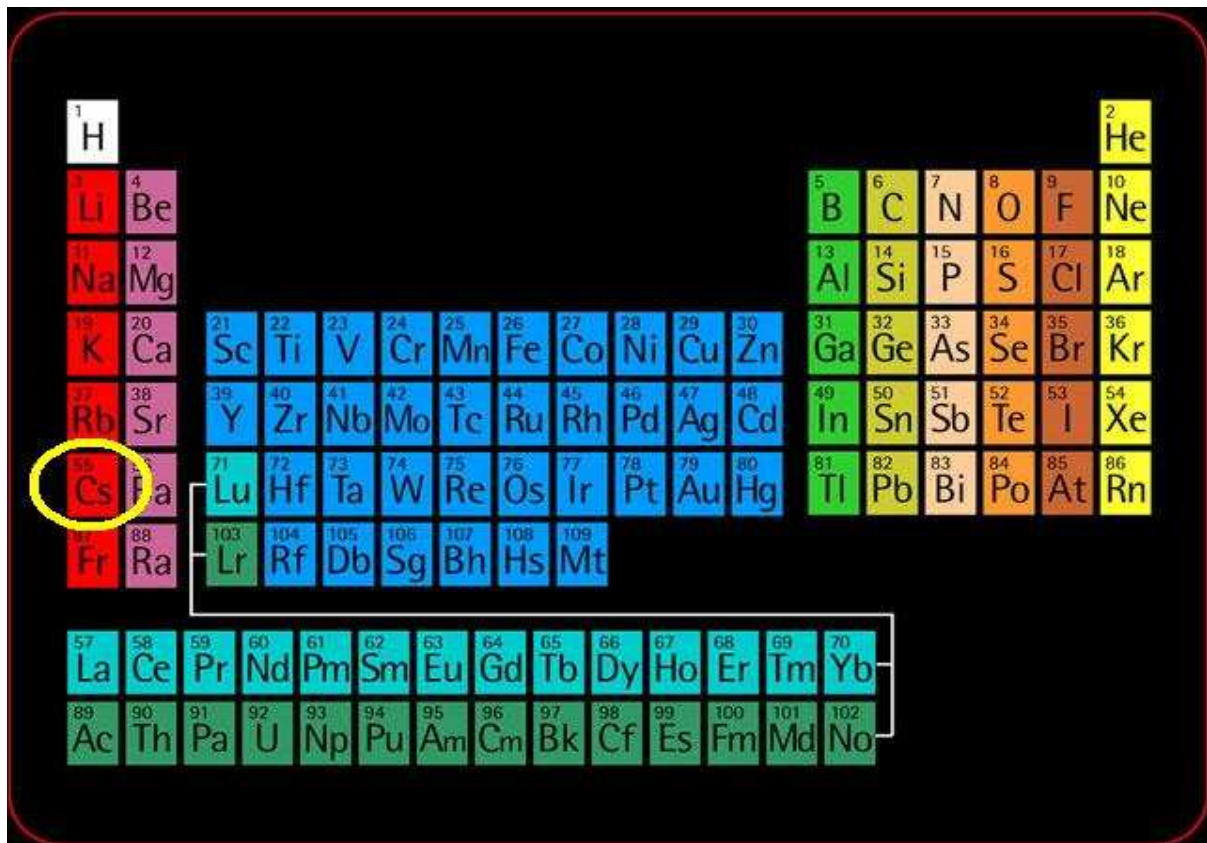
exemple de courbe en fluorescence X :



On observe bien que sur une Pollucite ou une Pezzotaite le rubidium est présent en même temps que le césium...



Emplacement dans le tableau de Mendeleïev :



The image shows a standard periodic table of elements. The element Cesium (Cs), with atomic number 55, is highlighted with a yellow circle. It is located in the first column (Group 1) and the sixth row (Period 6). The table includes elements from Hydrogen (H) to Oganesson (Og), with the lanthanide and actinide series shown below the main body.

source :google

Le lithium :

Définition de Wikipedia :

Le lithium (du grec *lithos* signifiant « pierre ») a été découvert par Johan August Arfwedson en 1817.

Le lithium est le métal ayant la plus faible masse molaire et le plus léger, avec une densité égale à la moitié de celle de l'eau.

Le lithium pur est un métal mou, d'une couleur blanche argentée, qui se ternit et s'oxyde très rapidement au contact de l'air et de l'eau.

C'est l'élément solide le plus léger. Il est principalement employé dans les alliages conducteurs de chaleur et dans les accumulateurs électriques.



Photo de lithium

source :Wikipedia

Cet élément joue un rôle très important dans la symétrie interne de la Pezzotaite (voir chapitre « propriétés physique »). En effet de part son diamètre (167pm au lieu de 112pm pour le béryllium) le lithium casse la maille cristalline originel et crée une symétrie tetragonale (contre symétrie hexagonale pour le béryl).

### Le manganèse :

Cet élément chimique de numéro atomique 25 est l'élément de coloration de cette pierre...en effet les pegmatite de Sakavalana contiennent du Manganèse ( $Mn^{2+}$ ), mais c'est sous l'exposition à l'irradiation ionique naturelle que le manganèse peut prendre effet...La présence de cette irradiation naturelle peut être démontré grâce au quartz fumé trouver dans la poche...La coloration de la Pezzotaite est donc due à une irradiation incluant des centres colorés impliquant le  $Mn^{3+}$ ...



# PROPRIETES

# PHYSIQUES



Dans ce chapitre nous allons voir tout ce qui a trait aux propriétés physique de la Pezzotaite...

## Système cristallin :

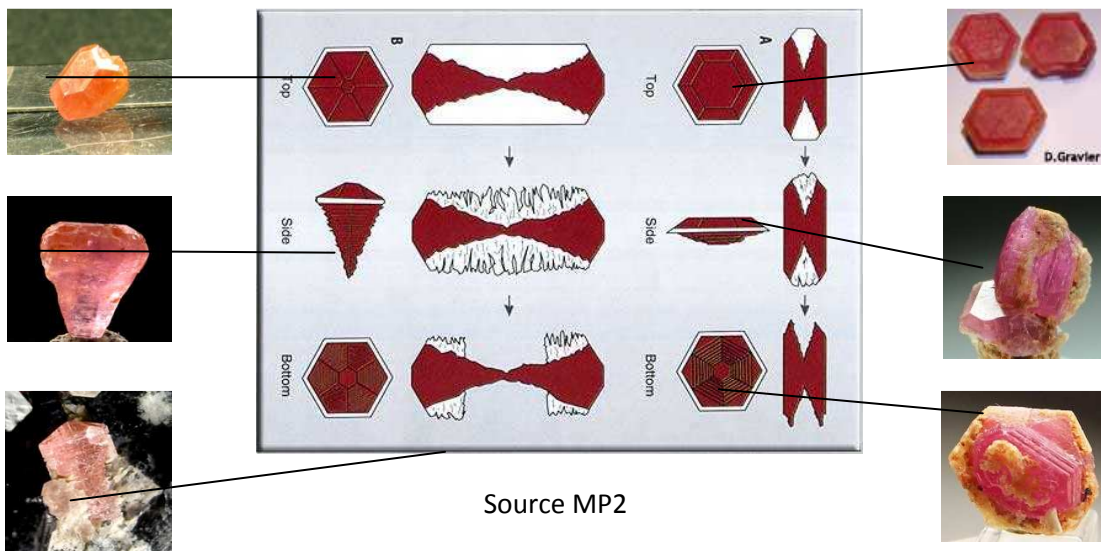
En raison de sa composition chimique (voir chapitre « propriétés chimique ») la pezzotaite est hexagonal (habitus externe) mais possède une symétrie tétragonale, ceci étant du au diamètre de l'atome de lithium (167pm) au lieu de 112pm (diamètre du béryllium) dans la maille élémentaire qui casse la symétrie originel du béryl...



Habitus : hexagonal (symétrie interne tétragonal)

## Cristallographie :

Explication sur la forme (l'habitus) des pezzotaites...



Belle collection de cristaux bruts !!! :



Ma propre collection de cristaux bruts (les deux petits en bas à gauche sont du Myanmar) *manque sur la photo un brut de 46ct:*

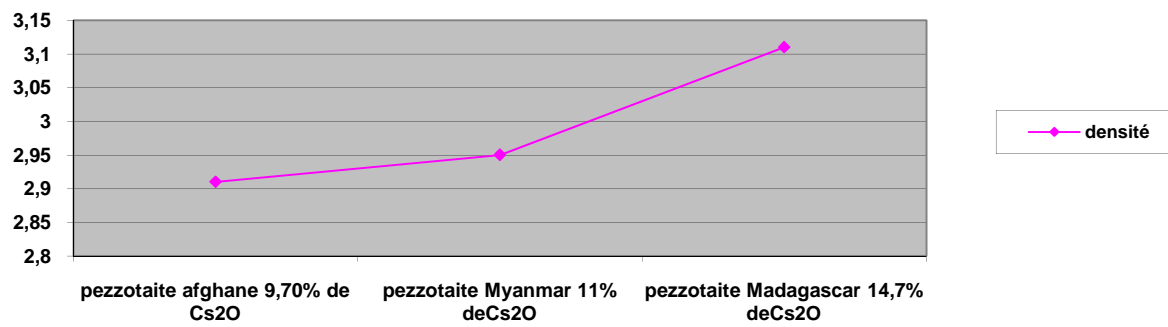


## Densité :

Diverses sources donnent des densités autour de 3,09.j'ai donc effectué mes propres calculs pour avoir mes données...

poids (ct)	poids dans air (g)	poids dans l'eau (g)	densite prise au laboratoire francais de gemmologie	densite prise a saumur	Moyene labo /saumur
4,4364	0,8871	0,5964	3,05	3,05	3,05
3,0282	0,6051	0,4065	3,05		3,05
1,3465	0,2692	0,1826	3,11	2,93	3,02
1,3063	0,2615	0,1763	3,07	3,11	3,09
1,155	0,2314	0,157	3,11	3,09	3,1
1,0846	0,2171	0,1468	3,09	3,07	3,08
1,0487	0,21	0,1431	3,14	3,09	3,115
1,039	0,2082	0,1407	3,08	3,14	3,11
1,0216	0,2049	0,1382	3,07	3,11	3,09
0,9895	0,1984	0,1343	3,09	3,09	3,09
0,9797	0,1959	0,13	2,97	3,09	3,03
0,9739	0,1949	0,1325	3,12	3,07	3,095
0,9727	0,1931	0,1306	3,09	3,08	3,085
			moyenne=	moyenne =	moyenne=
			3,08	3,076666667	3,077

Variation de la densité en fonction de la teneur en césium :



Dureté : 8 sur l'échelle de mohs



Talc	Gypse	Calcite	Fluorite	Apatite	Orthose	Quartz	Topaze	Corindon	Diamant
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)

Réaction aux Ultra-Violets (U-V):

UVCourt : inerte

UVLong : inerte

Clivage : imparfait

Cassure : conchoïdale a esquilleuse

exemple :



Magnétisme : aucun

# PROPRIETES

# OPTIQUES



Dans ce chapitre nous allons voir tout ce qui touche aux propriétés optiques de la Pezzotaite...

## Indice de réfraction / biréfringence / caractères optiques des trois gisements :

	Madagascar	Myanmar	Afghanistan
Indice de réfraction \biréfringence\ caractère optique	1,604-1,608 1,611-1,615 \ 0,007 \ U-  1,601-1,611 1,612-1,620 \ ? \ U-(B-)	1,594-1,609 \ ? \ U-	1,598-1,606 \ 0,008 \ U-  1,598-1,604 \ ? \ U-

en bleu : donnée du SSEF(Suisse)

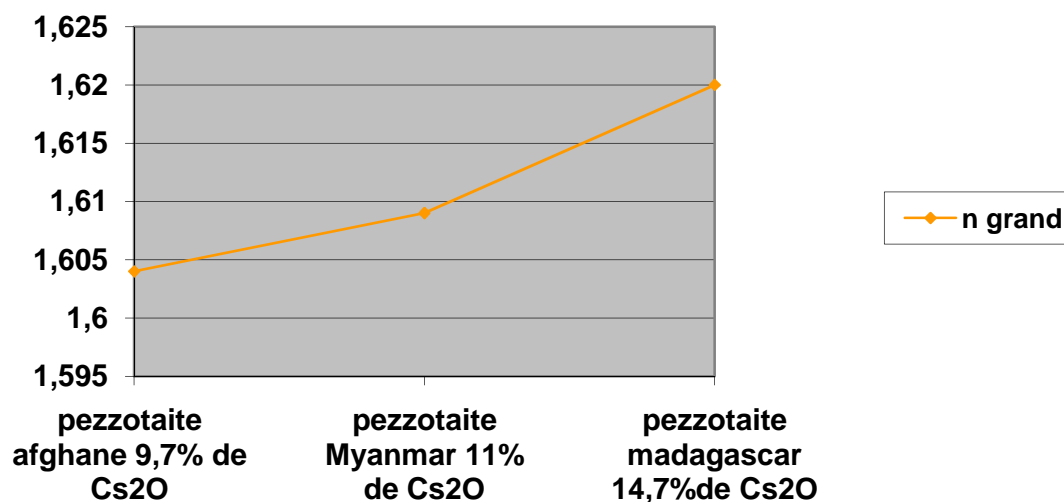
en orange : donnée du CRG (Nantes)

Corrélation entre % de Cs<sub>2</sub>O et indice de réfraction (n grand) :

	Pezzotaite afghane	Pezzotaite Myanmar	Pezzotaite Madagascar
% de Cs <sub>2</sub> O	9,7	11	14,7
n grand	1,604	1,609	1,62

Voici le graphique réalisé à partir des données du tableau :

n grand / pourcentage de césium :





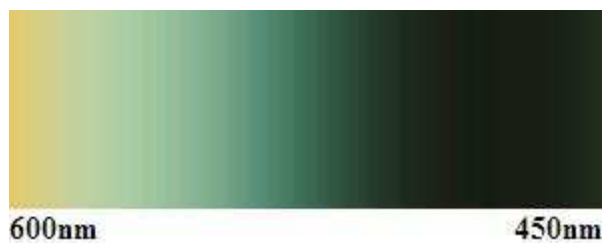
## Spectre d'absorption :

La Pezzottaite est une pierre dichroïque, c'est-à-dire qui présente deux couleur :

- l'une lorsque l'on se place parallèle a l'axe « c »
- l'autre lorsque l'on se place perpendiculaire a cet axe « c »

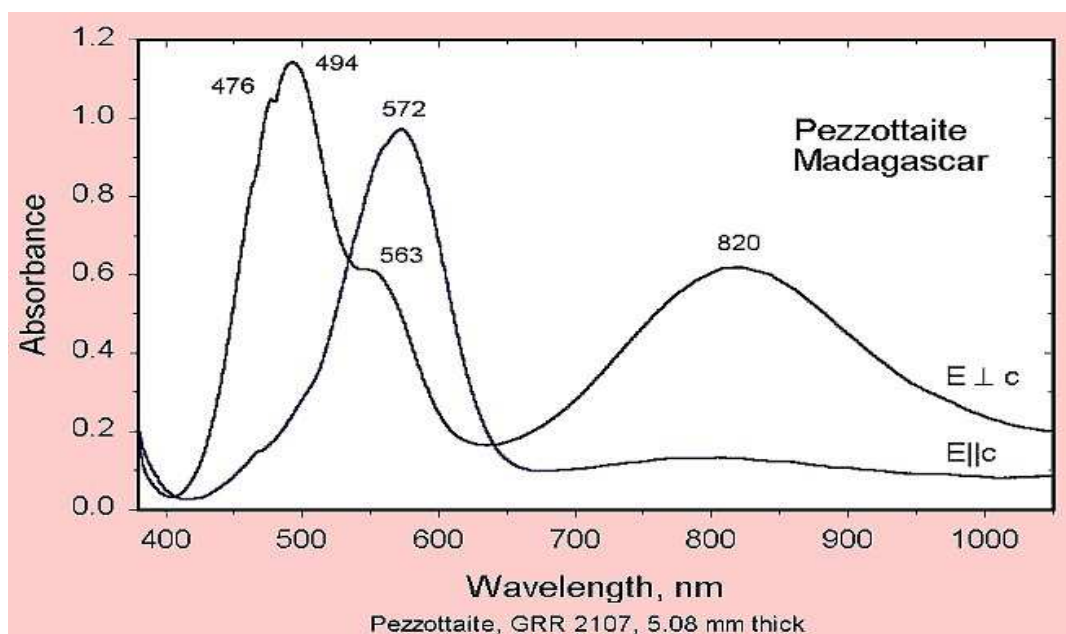
Autrement dit en théorie la Pezzottaite devrait avoir deux spectres d'absorption mais cette différence d'absorption n'est visible qu'en spectrométrie et non en spectroscopie...

Spectre d'absorption au spectroscopie :



Gemstone	ПНК	Absorption spectrum seen with diffraction grating spectroscope	Colour Comment	Absorption in "nm" ► : total absorption (...) : broad absorption [...] : occasional * : emission line
Pezzottaite	1.598		Pinkish red	// c-axis 477, 465 and B : (500—485) ⊥ c-axis (580—550), (500—485)

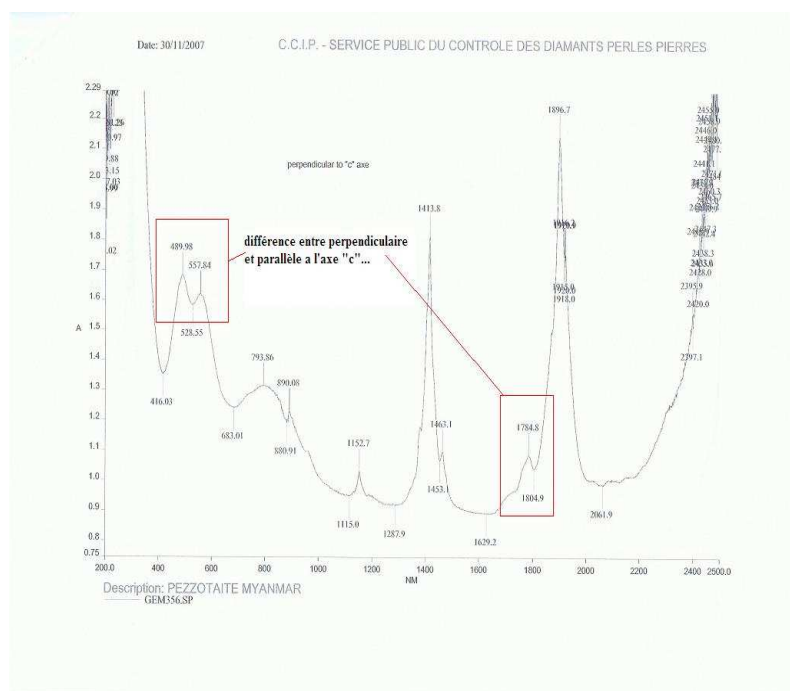
Différences en spectrométrie :



A savoir que les massifs (476, 494, 572, 563, 820nm) sont les longueurs d'ondes absorbées.

# ANALYSES

# SPECTRALES



Dans ce chapitre nous allons exposer les spectres types de la Pezzotaite aux divers instruments de laboratoire...

Courbe IRFT(infra rouge)

Courbe EDAX (fluorescence X)

Courbe RAMAN

Courbe UV-Vis (spectromètre d'absorption)

## L'IRFT

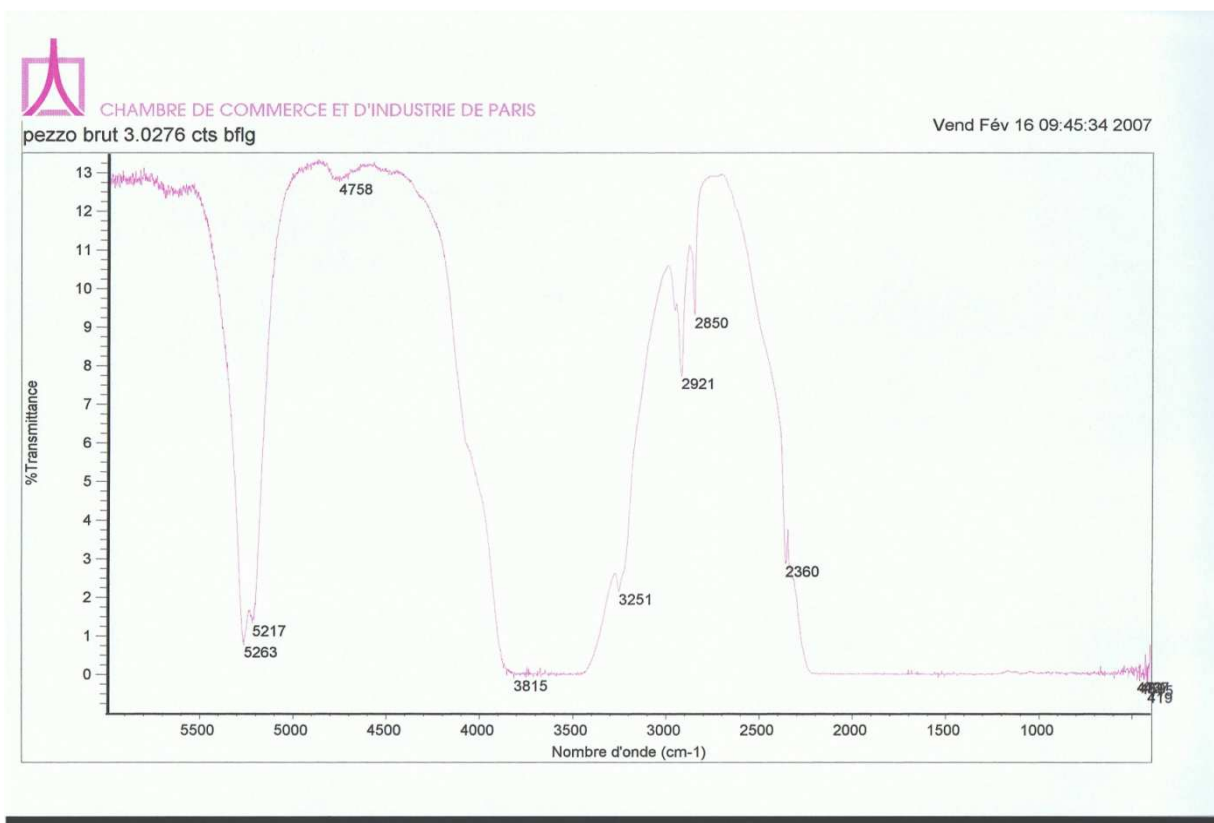
Cet appareil sert à traduire sous forme de graphique (courbe) l'intensité vibrationnelle des liaisons moléculaires constituant la pierre (ou le gaz ou le liquide...).

Il peut servir en gemmologie à repérer si une pierre est naturelle /synthétique, si elle est chauffée si elle contient de l'huile (pratique traditionnelle) ou de la résine (traitement si celle-ci durci) d'après le décret 2002...

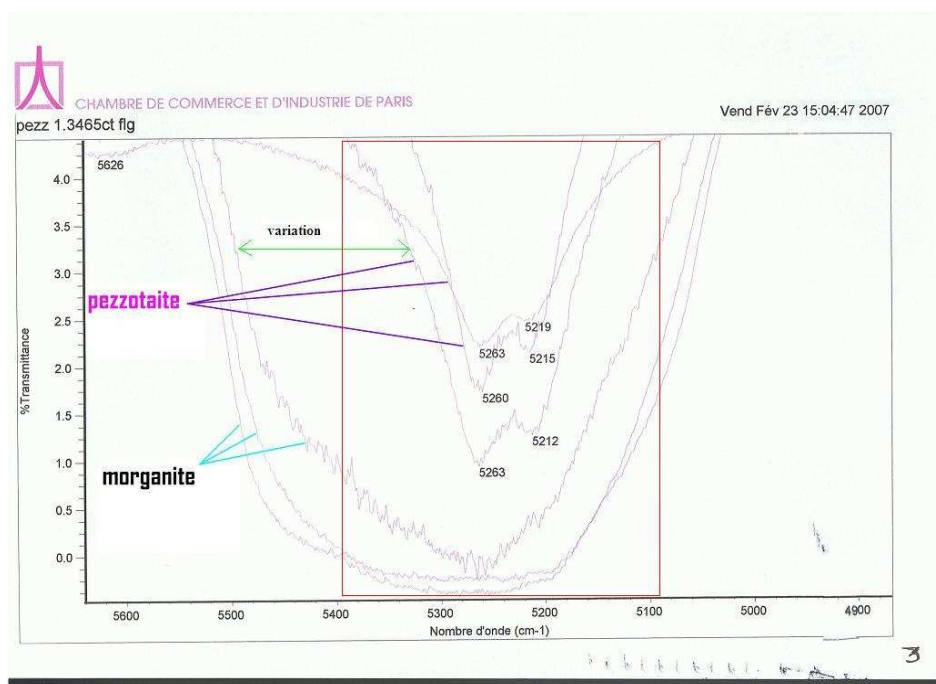
Exemple de courbe IRFT (Laboratoire Français de Gemmologie) :

courbe IRFT d'une Pezzotaite (Madagascar).

Les absorptions à 2850 et 2921 indiquent la présence d'huile dans cette pierre...



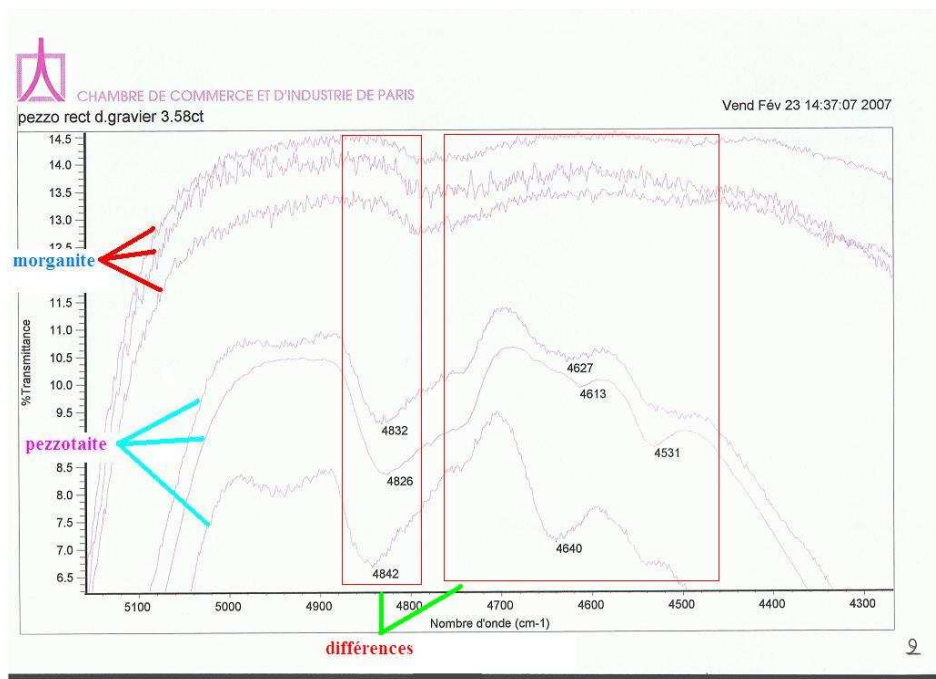
## Différences entre Morganite et Pezzotaite :



Différences entre Pezzotaite et Morganite à la spectrométrie infrarouge (IRFT).

Ce spectre a été effectué en absorption et représente la zone entre 4900 et 5600 cm⁻¹.

Le carré rouge représente les différences visibles sur le spectre...

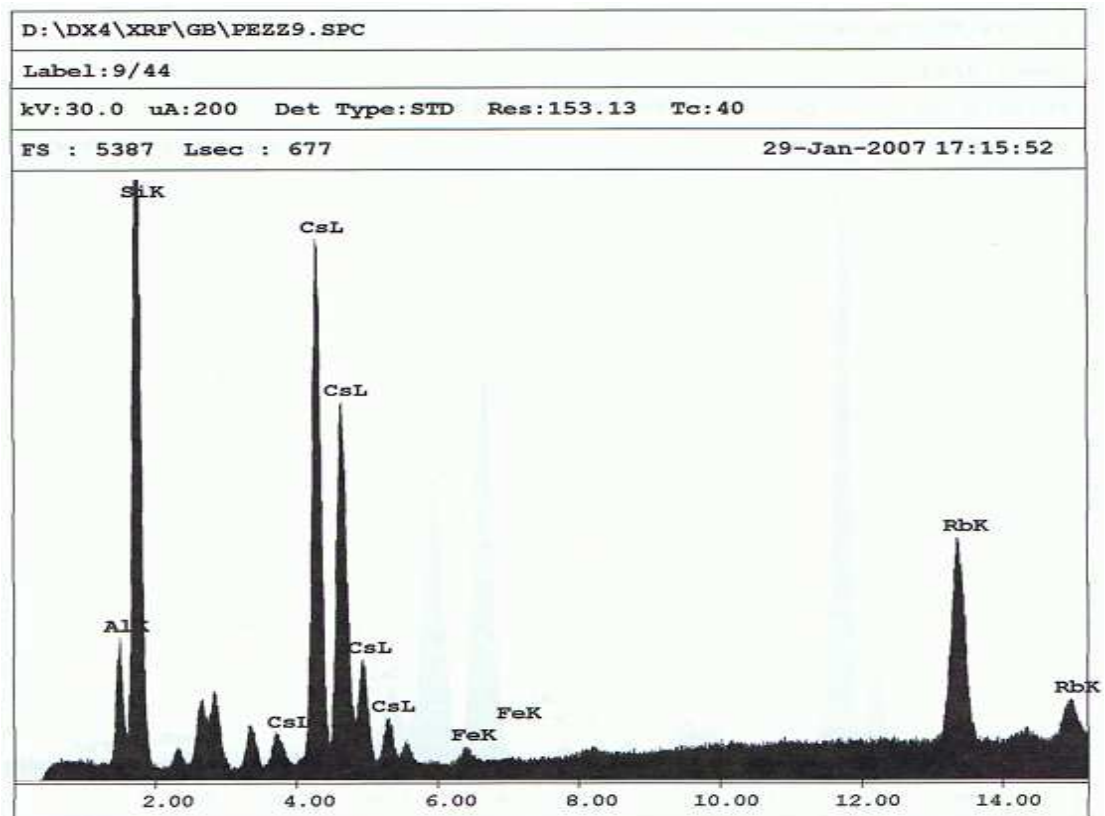


Zone entre 4300 et 5200 cm⁻¹

Les carrés rouges représentent les différences visibles sur le spectre

## L'EDAX (fluorescence X)

Cet appareil effectue une analyse semi quantitative des éléments plus lourds que l'oxygène présent dans la pierre sur une zone d'environ 1 mm<sup>2</sup> grâce à un laser.



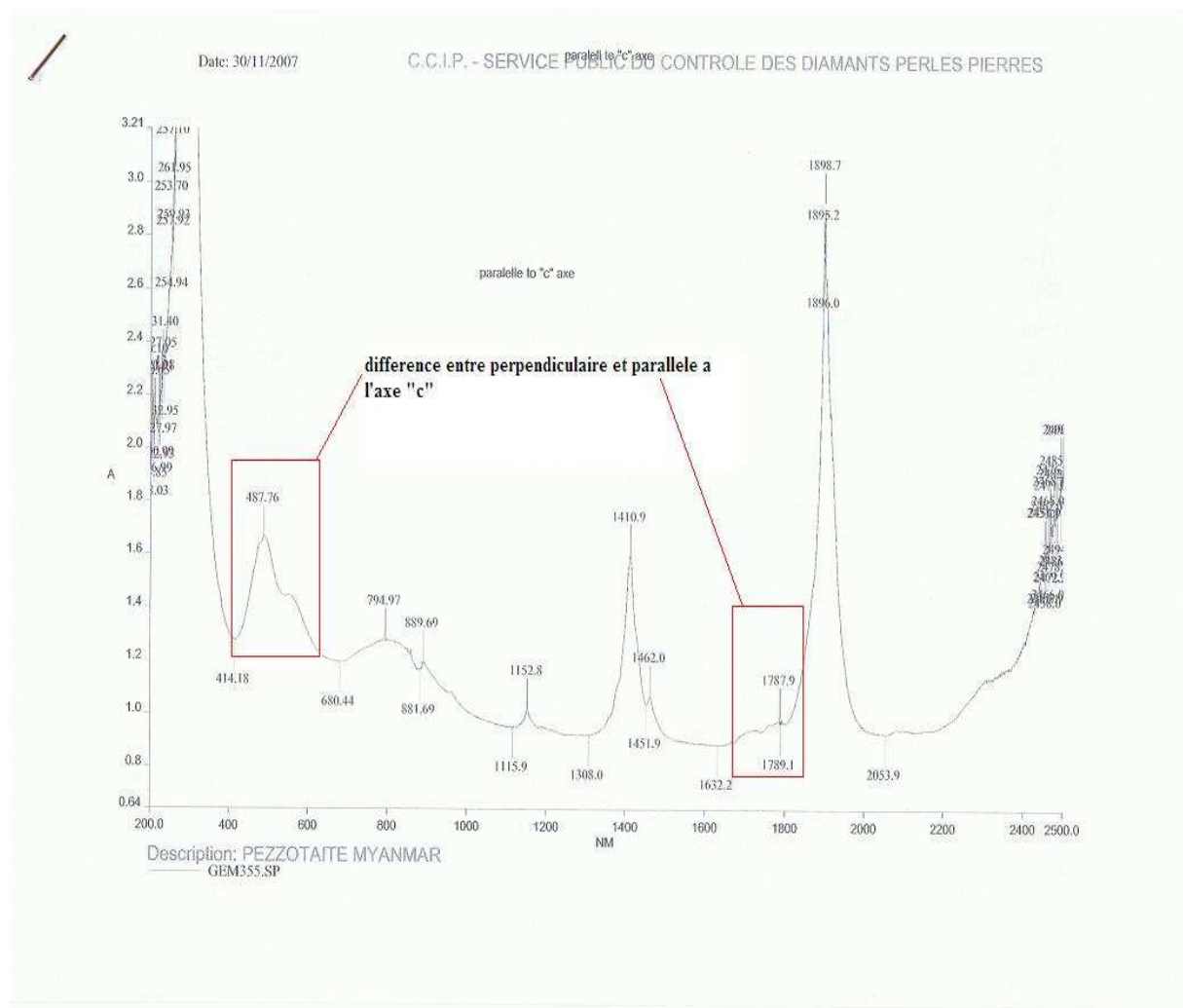
A noter que le césium se trouve, sur tous les graphiques effectués, tout le temps associé avec le rubidium...

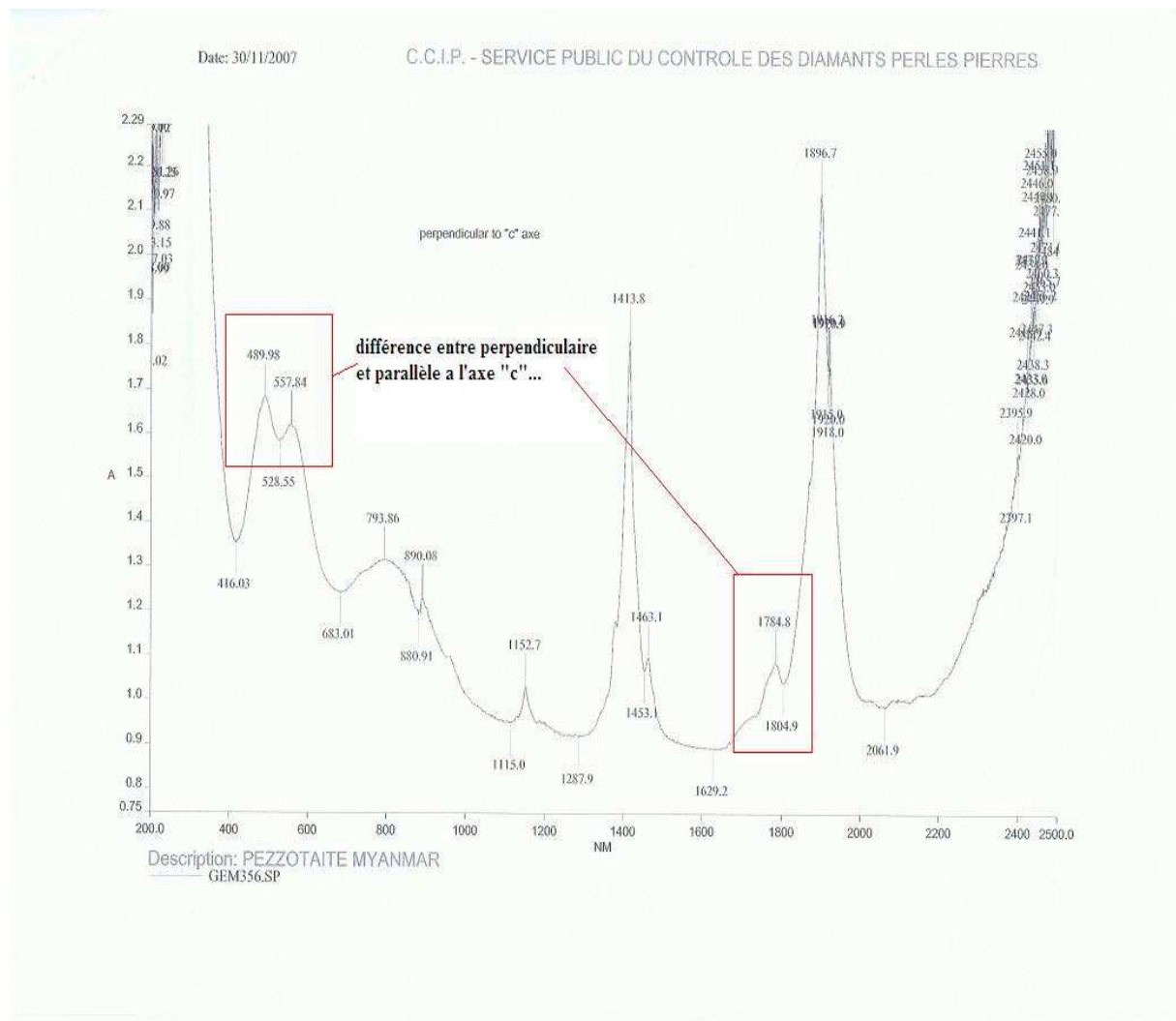
Un article publié sur Wikipedia le mentionne

## L'UV-Vis (spectrométrie) :

L'UV-Vis permet de traduire sous forme de graphique les longueurs d'ondes absorbées par la pierre...

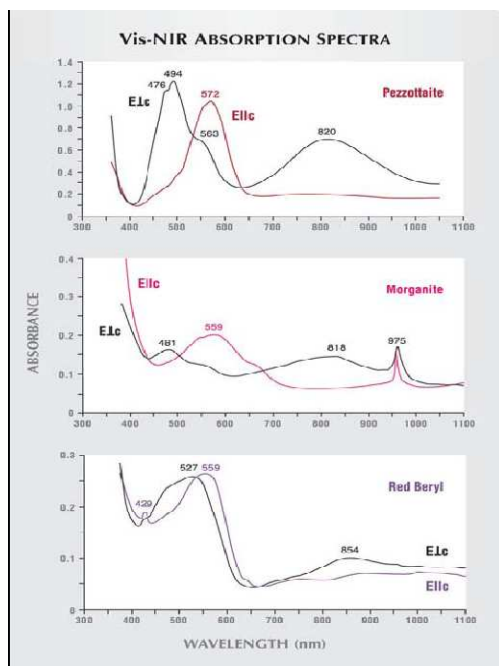
Différences entre absorption parallèlement à l'axe « c » et perpendiculairement à l'axe « c »  
(Laboratoire Français de Gemmologie) :





Pezzottaite mais perpendiculaire a l'axe « c » (collection personnel) :

On observe un massif différent à 489 nm et 557 nm ainsi qu'un massif d'absorption à 1784 nm

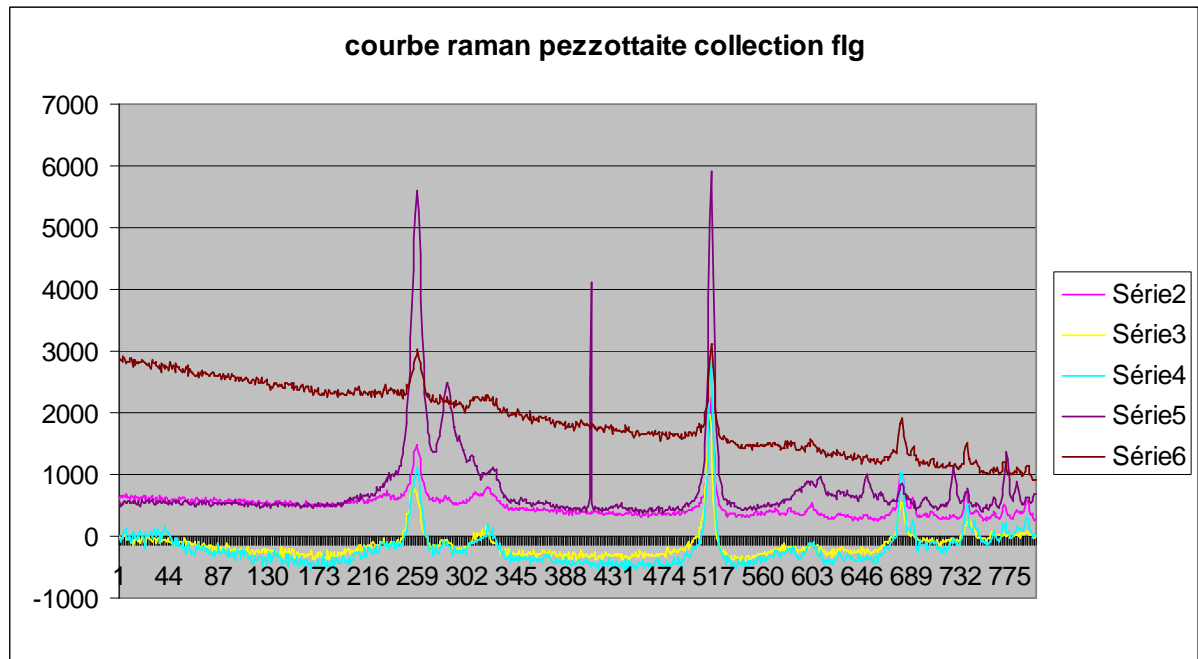


Comparaison a la spectrométrie proche infra-rouge de spectre de Pezzottaite Morganite et Bixbite  
source : GIA

## Le Raman :

Cette outil sert a identifier, grâce a l'intensité vibrationnelle des molécules la nature de l'objet analysé :

exemple de courbe Raman de Pezzotaite (Laboratoire Français de Gemmologie) :



La série rose/jaune/bleu et marron sont des Pezzotaites malgache alors que la série violette est une Pezzotaite du Myanmar

A noter que la Pezzotaite du Myanmar possède des pics non observé sur les Pezzotaites Malgaches. Ces pics sont du à la légère différence de composition chimique : en effet il semblerait que les Pezzotaites du Myanmar soient une alternance de « zone » composée de béryl césifère (environ 2 à 4% de césium) et des zones avec un taux de césium supérieur a 9% : cela implique que certaines zones ont une courbe de Béryl...



# inclusions

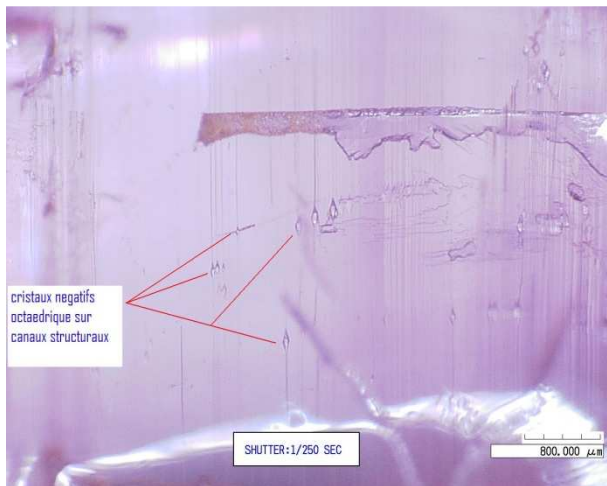


Dans ce chapitre nous allons voir les différentes inclusions que j'ai pu prendre en photo...



Pezzotaite facetté

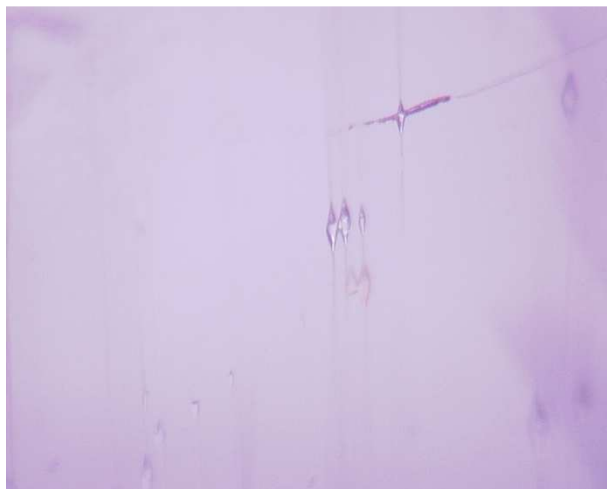
*source : internet*



Inclusion de type solide : cristaux négatifs sur canaux structuraux (photo perpendiculaire a l'axe « c »)

photo HIROX Laboratoire Français de Gemmologie

*collection CFA de Saumur*



Zoom sur cristaux négatifs alignés sur canaux structuraux

photo HIROX Laboratoire Français de Gemmologie

*collection CFA de Saumur*



Chapelet de cristaux négatifs alignés sur canaux structuraux...

photo HIROX Laboratoire Français de Gemmologie

*collection Florian Le Goff*



Détail d'un cristal négatif

photo HIROX Laboratoire Français de Gemmologie

*collection personnelle*

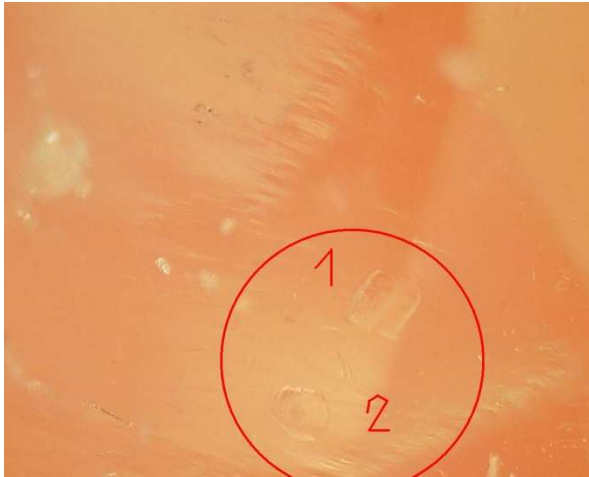


Remplissage d'huile dans givre.

A noter que certain givre sont alignés sur les canaux structuraux eux même parallèle a l'axe « c » (comme ici).

photo HIROX Laboratoire Français de Gemmologie

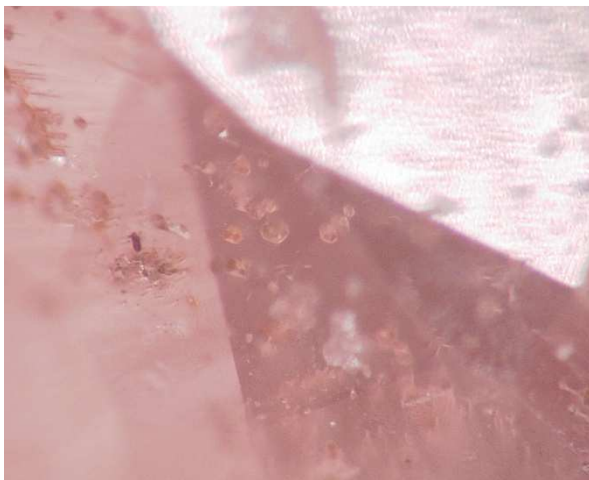
*collection CFA de Saumur*



Inclusion de cristaux automorphes.

photo HIROX Laboratoire Français de  
Gemmologie

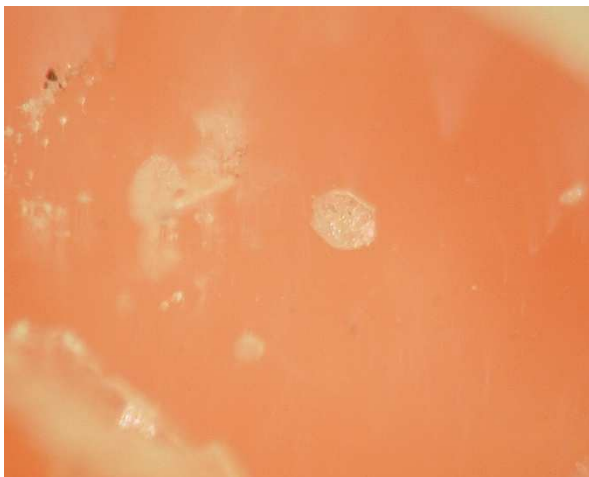
*collection personnelle*



Inclusion de cristaux hexagonaux (cristaux  
négatifs ?)

photo HIROX Laboratoire Français de  
Gemmologie

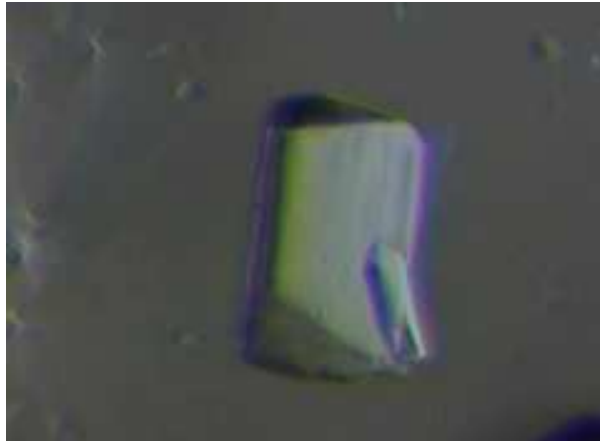
*collection personnelle*



Inclusions de cristaux hexagonaux (cristaux  
négatifs ?)

photo HIROX Laboratoire Français de  
Gemmologie

*collection personnelle*



Inclusion d'un cristal automorphe

photo Raman Laboratoire Français de  
Gemmologie

*collection personnelle*



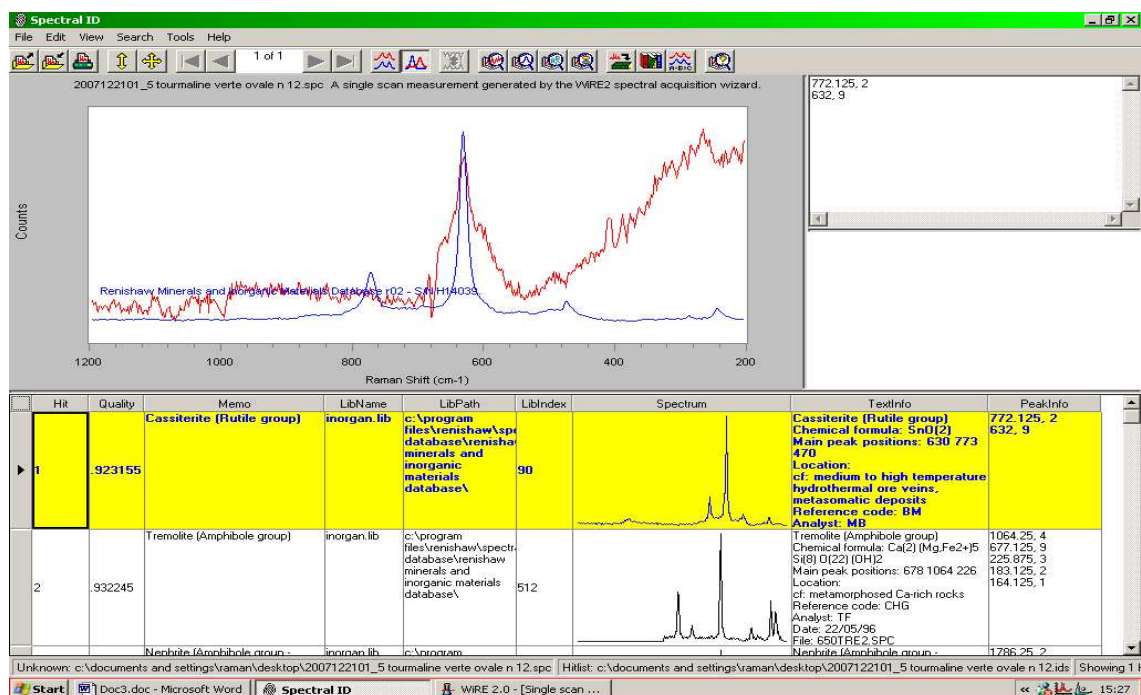
Affleurement en surface de canaux  
structuraux eux aussi hexagonaux !!!

photo Raman Laboratoire Français de  
Gemmologie

*collection personnelle*

## Identification d'inclusion a la spectrométrie RAMAN :

Identification d'une cassitérite au Raman (en inclusion dans une Pezzotaite) :



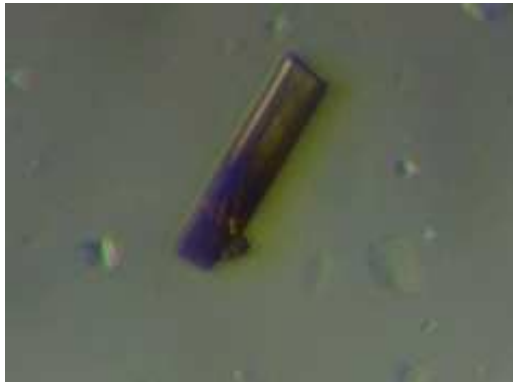


Image prise par le Raman lors de l'analyse

Identification d'un quartz au Raman (inclus dans une Pezzottaite):

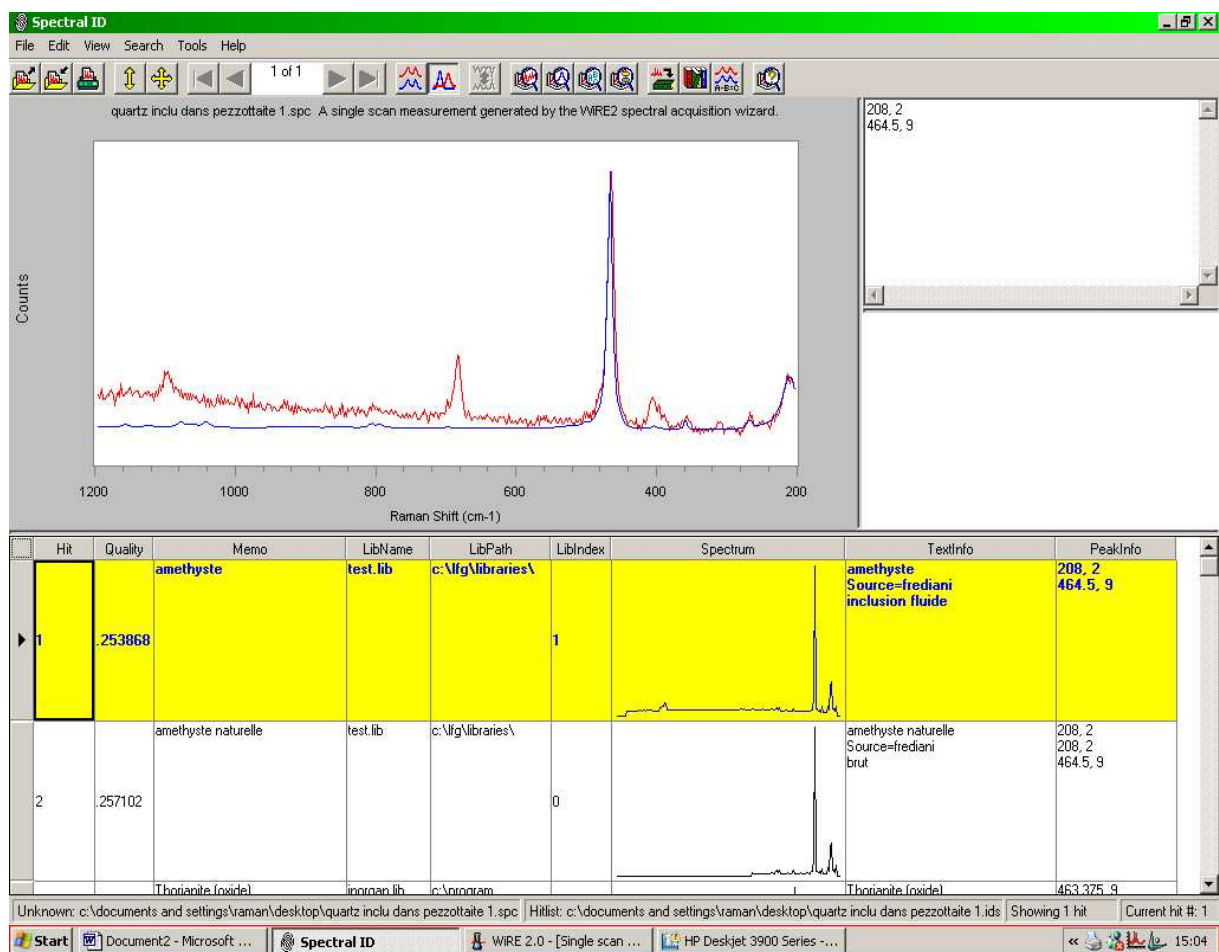




Image du quartz pris en photo lors de l'analyse

**TAILLE DES**

**PIERRES/**

**COLORATION/**

**TRAITEMENT/**

**SYNTHÈSE**



Dans ce chapitre nous allons voir tout ce qui touche à la pierre que ce soit des traitements...

## Taille des pierres :

Avec seulement 40 kg dans le monde les pierres ne sont pas grandes...

Les cristaux dépassent rarement les 7cm. Néanmoins quelques échantillons exceptionnels ont atteint 500 grammes... (Comme a pu me le raconter Fabrice Danet lors de mon expédition à Madagascar)

Les pierres taillées n'excèdent pas 1ct et une pierre de 2ct pure est déjà une pierre d'exception...

## Coloration :

D'une façon traditionnelle les Pezzotaites ne sont pas colorées du fait de leur couleur déjà franche...Néanmoins une chauffe à 450°C pendant 2 heure leur ferait perdre leur couleur...Une irradiation au rayon gamma permet de retrouver cette couleur...(Une irradiation qui était déjà effective naturellement..).A noter que lors d'un entretien avec Denis Gravier j'appris que des béryls cesifères incolores du même gisement étaient sortis malheureusement à l'heure où j'écrivais mon rapport Denis Gravier n'en possédait plus...

## Traitement :

Une interview à Fabrice Danet en Aout 2007 m'a permis d'apprendre que les premières Pezzotaites trouvées ont été emmenées en Amérique du sud pour y tester le huilage ainsi que le résinage à la façon des belles émeraudes colombiennes mais l'embellissement n'était pas flagrant. Ceci a rapidement été abandonné du fait du prix déjà élevé de la pierre lié à sa rareté...

## Synthétique :

Dans l'article du GIA (l'abstract) il est signalé que contrairement au Bixbite la Pezzotaite n'a pas été synthétisée...la cause principale étant que le plus fort taux de césium connu dans un béryl synthétique est de 2.36 %...

## Confusion :

La différenciation entre une morganite très rose et une Pezzotaite un peu « pâlotte » est facile car les indices de la Morganite sont assez différents : indice ordinaire=1.572–1.592 et indice extraordinaire = 1.578–1.600, alors que la Pezzotaite est à 1.607-1.610 pour l'indice ordinaire et 1.615-1.619 pour l'indice extraordinaire ce qui les différencie très nettement. Néanmoins pour les cabochons la lecture de l'indice ne suffit pas il faut alors se rabattre sur la densité 2.86 pour la Morganite contre 3.09 pour la Pezzotaite.

La confusion est encore plus troublante avec certaine tourmaline et la pour le coup ni l'indice de réfraction ni la densité ne peuvent différencier (pour la tourmaline : environ 1.62 pour l'indice et 3 à 3.2 pour la densité). De plus les inclusions de Pezzotaites ressemblent étrangement à celle de la tourmaline : givres, canaux structuraux parallèles à l'axe « c ». Cela est encore plus dur pour un cabochon... pour un novice la chatoyance présente sur les deux pierres induirait forcément dans l'erreur...

Tableau des comparaisons :

Nom de la pierre	Indice de réfraction	densité	pléochroïsme	inclusions
Pezzottaite facetté (Madagascar : la plus courant sur le marché)	$n_e=1.607-1.610$ $n_o=1.615-1.619$	Environ : 3.09	Modérer : rose orangé à rose violacé	-Givres -canaux structuraux parallèles à l'axe « c » -cristaux négatifs/canaux structuraux
Pezzottaite brut avec un faible taux de césium (Madagascar)	$n_e=1.601$ $n_o=1.612$	$\leq 3.09$	idem	idem
Pezzottaite brut avec un fort taux de césium (Madagascar)	$n_e=1.611$ $n_o=1.620$	$\geq 3.09$	idem	idem
Pezzottaite cabochon	$n=1.60$ à $1.62$	Environ : 3.09	idem	idem
Morganite	$n_e=1.578-1.600$ $n_o=1.572-1.592$	<b>2.71 à 2.90</b>	Faible à modérer	givres
Bixbite naturel	$n_e=1.564-1.569$ $n_o=1.568-1.572$ biré : $4 \text{ à } 10 /_{000}$	<b>2.66 à 2.70</b>	?	givres
Bixbite synthétique	$n_e=1.569-1.573$ $n_o=1.576-1.580$	<b>2.67 à 2.70</b>	?	?
Tourmaline rose	1.62 à 1.65 si $> 1.62$ alors déterminant attention au lecture « cab »	3.01 à 3.06	<b>Fort + spectre</b>	-givres -libelles -canaux structuraux -chatoyance possible
Tourmaline rose cabochon	1.62 à 1.65 SI $> 1.62$ alors déterminant attention au lecture « cab »	3.01 à 3.06	<b>Fort + spectre</b>	-givres -libelles -canaux structuraux -chatoyance possible

En **gras** l'élément qui différencie ...

# REMERCIEMENTS



## Remerciements

Je voudrais dans un premier temps remercier toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont aidé à faire ce dossier très enrichissant.

Je remercie tout d'abord le Laboratoire Français de Gemmologie pour m'avoir pris en apprentissage pendant 1an et m'avoir laissé faire des analyses sur des outils couteux et difficiles a utilisé tel que l'IRFT, l'UV Vis, l'EDAX, et m'avoir analysé mes pierres au Raman...merci pour le savoir que j'ai acquis, pour leur pédagogie et aussi pour leur PATIENCE face aux nombreuses erreurs que j'ai pu faire...

Merci a monsieur Christophe Lamiraud (mon maitre, mon gourou, mon dieu) pour m'avoir aidé dans le choix et la construction de mon dossier et m'avoir prêté des Pezzotaites de la collection du CFA de Saumur...

Je voudrais aussi remercier le CRG pour m'avoir laissé utiliser le PowerPoint de monsieur Lulzac sur la Pezzotaite présenté lors de l'assemblée générale d'avril 2007...

Un grand merci à monsieur Hugues et Krzeminsky pour leurs réponses a mes questions parfois futiles...

Merci aussi a ceux qui m'ont prêté des pierres pour analyses : je pense a monsieur Denis Gravier, monsieur De Koenigswarter, le CFA de Saumur ...

Merci a Fabrice Danet que j'ai pu rencontrer a Madagascar et avec qui j'ai pu m'entretenir sur le sujet et qui à donné réponses aux nombreuses questions que je lui ai posé...Merci aussi pour les photos de la mine...

Pour finir une photo de Monsieur Pezzota et de la plus belle des Pezzotaites !



# ANNEXES





Voici ici quelques photos de ma collection personnel de Pezzotaite ainsi que des photos de mon voyage à Madagascar...



Collection personnel :

Gemmes taillées



Collection personnel :

Gemmes taillées et  
cristaux brut (dont deux  
de la dernière  
découverte au  
Myanmar)



Collection personnel :

Cristaux brut  
(manquant sur la photo  
un cristal de 46 ct...)  
En bas à gauche  
Pezzotaite du Myanmar



Premières pierres  
achetées à Madagascar  
(aout 2007) au marché  
de la gare a  
Tananarive...au centre  
une Pezzotaite...(autres  
pierres :grenat change  
color, saphir change  
color, apatite, divers  
quartz,zircon,tsavorite,  
emeraude...)



Trois tourmalines dont  
deux achetés  
(Antsirabe)



Boîte de tourmaline  
d'un vendeur du cercle  
mess mixte (garnison  
d'Antsirabe)



Vente de quelques  
échantillons de  
Pezzotaite... (cercle  
mess mixte ; garnison  
d'Antsirabe)



Ici aperçu les illustrations d'un article du règne minéral (mars avril 2005 n°62) :cet article traite de l'association de la Pezzotaite avec de la Chiavennite



Mine de Salomoni en juillet 2003 - Photo : F. Pezzotta



Vue journalière de la mine de Salomoni en avril 2004, après le passage d'un important cyclone au mois août qui expose les collines des alentours. Photo : F. Pezzotta.



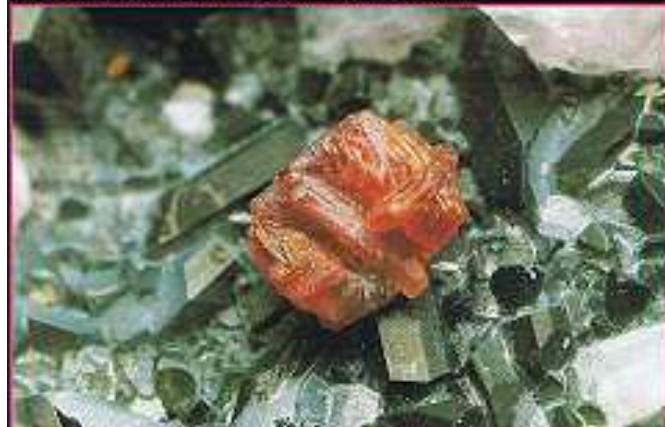
Chiavennite : aggrégats de cristaux de 1 à 3 mm de diamètre.  
Coll. : J. Casarini  
Photo : R. Appiani

Chiavennite associée avec une large surface riche en groupes de cristaux de chiavennite.

pezzottaite, tourmaline et bombegne. Vue de l'aiguille : 7 cm de diamètre.  
Coll. : Musée d'Histoire Naturelle de Milan - Photo : R. Appiani.



Aggrégats de chiavennite de 2 mm de diamètre partiellement recouverts par un dépôt de calcédoine.  
Coll. : Musée d'Histoire Naturelle de Milan - Photo : R. Appiani.



Chiavennite - Aggrégat de 2 mm de diamètre sur tourmaline.  
Coll. : Musée d'Histoire Naturelle de Milan - Photo : R. Appiani



Bombegne - Cristal de 7 mm associé à la chiavennite.  
Coll. : Musée d'Histoire Naturelle de Milan - Photo : R. Appiani

Voici l'abstract publier par le ssef sur la pezzotaite en entier(avec dedicace des auteurs s'il vous plait !)...

13. Aug 2008

David S. Krzemnicki  
Hänni FGA

## Caesium-rich morganite from Afghanistan and Madagascar

Prof. Dr H.A. Hänni FGA and Dr M.S. Krzemnicki FGA

SSEF Swiss Gemmological Institute, Basel, Switzerland

email: gemlab@ssef.ch

**ABSTRACT:** Quite saturated pink beryl of Madagascar and Afghanistan are described. They display densities between 2.91 and 3.10 g/cm<sup>3</sup> and RI values up to 1.608 ( $n_o$ ) and 1.615 ( $n_e$ ) which exceed the values reported so far in the literature. Chemical analyses reveal very high caesium concentrations (up to 15.18 wt.% Cs<sub>2</sub>O). The incorporation of Cs in the structural channels of beryl is mainly coupled with a substitution on the tetrahedrally-coordinated beryllium site. Such stones belong to the so-called tetrahedral beryls. UV-Vis-NIR spectra show manganese and water absorption features typical for morganite. XRD data and Raman spectra reveal a distinct increase in cell parameters (mainly  $c_0$ ) compared to pure beryl, thus underlining the unusual character of the studied material. While the sample from Afghanistan is semi-transparent, transparent stones are found among the samples from Madagascar. Inclusions consist mainly of fine tubes parallel to the  $c$ -axis, flat fluid-filled inclusions parallel to the basal pinacoid, and tension fractures. Based on chemical composition, spectral data and colour saturation we suggest that the simple term morganite be retained to describe the stones, unless a new term is approved by the IMA to recognize the extraordinary composition and structure of the material.

417

### Introduction

In mid-2002 a small quantity of pink to raspberry-red beryls were mined in Madagascar (Figure 1). Some time before that, a minor amount of similar specimens had already been found in Afghanistan. Pink to red varieties of beryl have been reported with various names in the gemmological literature. In this paper we intend to describe the new stones and compare them with earlier material of similar colours, i.e. morganite and red beryl. Initial measurements have indicated high values for refractive indices and density, and

therefore we felt it necessary to determine not only the customary gemmological properties, but also to carry out a sound mineralogical investigation including chemical analyses, structural data and spectral characteristics in UV-Vis and NIR.

When the composition of beryl is close to the ideal formula  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ , it is considered as n-beryl (normal beryl). The crystal structure of beryl is characterized by Be-O tetrahedra and distorted Al-O octahedra, linked with six Si-O tetrahedra forming a hexagonal ring structure. The stacking of the  $\text{Si}_6\text{O}_{18}$  rings forms large







Figure 1: Morganite crystals from Madagascar and Afghanistan from left: M2, M1, M3 and A1; faceted stones from Madagascar, from left: M5, M4, M6. The largest faceted stone is 3.025 ct.

structural channels parallel to the crystallographic *c*-axis of the beryl and the structure offers a large number of possible substitutions both on the different lattice sites and in the channels (Deer *et al.*, 1992).

When the main substitution takes place on the octahedral lattice site, commonly occupied by aluminium, we speak of o-beryl (octahedral beryl). Partial substitutions of  $\text{Al}^{3+}$  by ions such as  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{V}^{3+}$ , or  $\text{Mn}^{3+}$  are common in this kind of material. Bivalent ions such as  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  require a charge compensation that may be satisfied by monovalent alkalis (e.g.  $\text{Na}^+$ ), which are incorporated in the channels of the structure. Most emeralds and aquamarines are o-beryls. When  $\text{Be}^{2+}$  on the tetrahedral lattice site is partially replaced, we speak of t-beryl (tetrahedral beryl). Based on our investigations it soon became obvious that the new pink beryls belong to this group. Substitution of  $\text{Be}^{2+}$  by monovalent ions (mainly lithium) requires a charge compensation, which may be realized by introducing a further monovalent ion in the channel structure (Bakakin *et al.*, 1970). The structural channel can accommodate large alkali ions and other large molecules such as  $\text{H}_2\text{O}$  or  $\text{CO}_2$ .

Both substitutions, octahedral and tetrahedral, as well as the absorption of ions and molecules in the channels, have the effect of increasing the density and refractive indices of beryl (Cerny and Hawthorne, 1976; Hänni, 1980; Sinkankas, 1981). We can thus assume that beryls with high constants contain more substitute elements and are relatively impure. Data from the literature demonstrate that high constants are usually related to high alkali contents, particularly of the heavy alkalis Cs and Rb (Evans *et al.*, 1966).

### Sample description and origin

The present report is based on a small number of samples, which were obtained in March 2002 and January 2003. The first sample (A1) of a surprisingly strong pink colour was presented to one of the authors by Haleem Khan, of Hindukush Mala Gems & Minerals, Pakistan. It consists of a tabular crystal with flat hexagonal hillocks on the basal plane, similar to those described as a consequence of rapid growth by Flamini *et al.* (1983) on red beryl from Utah (Figure 2). The translucent material is more saturated than would be expected in morganite in the gem trade, but it is less saturated than the red beryl from Utah, USA. The sample was reported to have come from

the Deva mine, Paroon Valley (Konar, Nuristan) in Afghanistan (Haleem Khan, pers. comm. 2002). The other samples are from Madagascar and are similar in colour to sample A1. Sample M2 is a flat hexagonal tabular crystal of an orangey-pink colour. Alexander Leuenberger (Switzerland) provided that stone in December 2002. A short time later, five more samples were obtained from Denis Gravier (Le Mineral Brut, St. Jean-le-Vieux, France) during the Tucson Mineral and Gem Show 2003. Two of the samples (M1, M3) consist of rough translucent stones with broken surfaces. Three more samples (M4, M5, M6) are faceted transparent and semi-transparent stones. They are reported to come from Mandrosonoro, approximately 150 km SW of Antsirabe (Central Madagascar). Some dealers give Ambatovita as the local name for the origin of Madagascar samples. The source is described as a pegmatite which also contains danburite, tourmaline and kunzite. The pink beryls are intergrown with lepidolite and amazonite feldspar (F. Danet, pers. comm., 2003). On one of our rough samples dark green tourmaline is also present, and this supports a pegmatitic origin.

As reference samples, red beryl (R1, R2) from the Wah Wah Mountains and Thomas Range, Utah (courtesy Ted and Rex Harris, Delta, 1983), and light pink morganite (R3) from Madagascar (courtesy Werner Spaltenstein, Chanthaburi) were used. Red beryl is well described in the literature (Nassau and Wood, 1968; Hänni, 1980; Flamini *et al.*, 1983; Shigley and Foord, 1984). A remarkable property of the rhyolitic red beryls is their sectorized colour zoning which resembles an hourglass pattern. The prismatic growth sectors are intensely coloured as they attracted more Mn and Fe, while the basal growth sector is pale.

The colours of the faceted samples were compared with the Biesalski Pflanzenfarben-Atlas DIN 6164 colour chart. Since the stones possess a distinct pleochroism (orangey-red and purplish-pink), the perceived colour depends on the orientation selected for the cutting. When viewed in the *c*-axis direction the colour was orangey-pink and described as



Figure 2: From left to right: Morganite from Madagascar (M2), red beryl from Utah (R1), and morganite from Afghanistan (A1).

7.5:3:1 following DIN 6164 (observed in samples M4 and M5). Perpendicular to the *c*-axis the colour is more purplish-pink and described as 10.5:2:1.5 (sample M6).

### Specific gravities and refractive indices

Specific gravity (SG), refractive index (RI) and birefringence were determined by usual gemmological testing methods. Both SG and RI of the new material from Afghanistan and Madagascar distinctly exceed the values so far reported in the literature (Table I). The birefringence, however, is not affected by these increases. The values for the reference samples (light pink morganite and red beryl) are consistent with those reported in the literature. The increases in SG and RI correlate with the amount of substitution by the heavy alkali ions, Cs and Rb (Table I).

### UV-Vis spectra

Spectra of morganite and red beryl have been published by Wood and Nassau, 1968; Nassau and Wood, 1968; and Shigley and Foord, 1984. Both pink and red colours in beryl have been attributed to the incorporation of manganese on the aluminium site in the beryl structure, but the situation is complicated by the possibility of two manganese related colour types of beryl,



**Table 1:** Specific gravities, refractive indices and caesium contents of morganites and red beryl.

Sample	SG	RI		Birefringence	Cs <sub>2</sub> O wt. %
		<i>n<sub>e</sub></i>	<i>n<sub>o</sub></i>		
pink morganite (Madagascar) M4	M4	3.103	1.608 1.615	-0.007	14.27
	M5	3.101	1.608 1.615	-0.007	14.63
	M6	3.089	1.604 1.611	-0.007	14.31
pink morganite (Afghanistan) A1	A1	2.906	1.598 1.606	-0.008	9.70
morganite (Madagascar) R3	R3	2.760	1.592 1.600	-0.008	1.09
red beryl (Wah Wah, Utah) R1	R1	2.670	1.564 1.570	-0.006	0.13
red beryl (Thomas Range, Utah) R2	R2	2.670	1.568 1.575	-0.007	

which are dependent on the valence state of manganese (Mn<sup>2+</sup> or Mn<sup>3+</sup>) (after Deer *et al.*, 1992 and Wood and Nassau, 1968).

In morganite (light pink), bivalent manganese is incorporated probably by substitution for Al according to the formula [Mn<sup>2+</sup> + alkali<sup>+</sup> = Al<sup>3+</sup>] where the alkali (e.g. Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Rb<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>) is in the structural channels of beryl. Other substitutions involving Mn<sup>2+</sup> may also be possible in morganite. As the concentration of Mn<sup>2+</sup> generally is much lower than the alkalis in such morganites, the proposed substitution remains essentially based on charge balance and bond length considerations.

In red beryl from Utah trivalent manganese acts as a chromophore element by a simple substitution of Mn<sup>3+</sup> for Al<sup>3+</sup> in o-beryl. Platonov *et al.* (1989) have described the spectral characteristics of the two Mn-related colours and underlined a clear difference in pleochroism: morganite exhibits distinct dichroism despite having a weaker colour saturation.

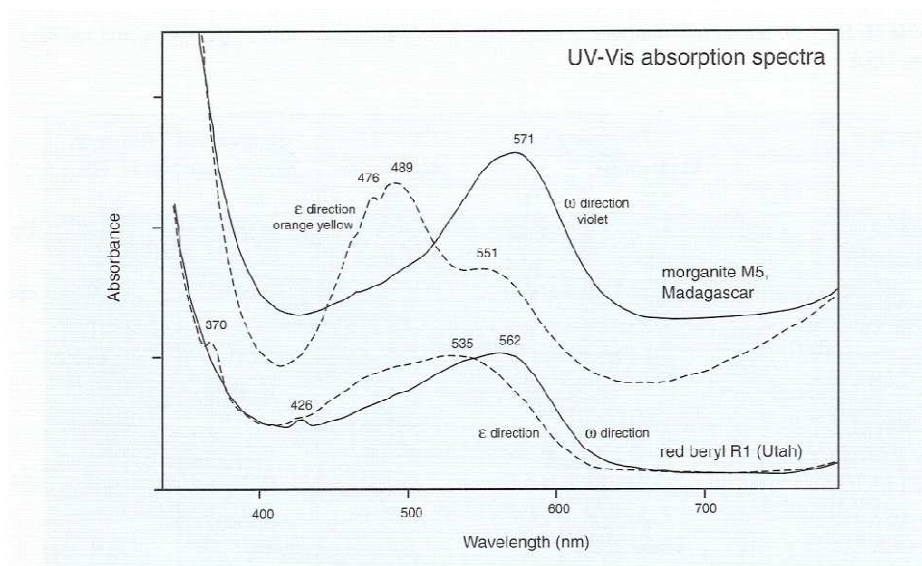
UV-Vis-NIR spectra were recorded on the samples from Afghanistan (A1), Madagascar (M5) and Utah (R1) with a Varian Cary Scan 500 spectrometer, using polarization filters to

obtain  $\omega$ - and  $\epsilon$ -absorption spectra (Figure 3). The spectra of samples A1 and M5 showed a strong correlation with spectra reported by Platonov *et al.* (1989) for morganite. In the spectrum of the o-vibration a strong maximum at 570 nm and a general absorption below 370 nm are present. The  $\epsilon$ -vibration curve is characterized by a main absorption at 489 nm, with a side peak at 476 nm, and a second maximum at 550 nm, with an absorption edge at 370 nm.

Red beryl from the Wah Wah Mountains, Utah (R1) produced an  $\omega$ -ray spectrum with an absorption maximum at 562 nm, and a peak at 428 nm, with general absorption below 350 nm. The  $\epsilon$ -ray spectrum has its maximum at 535 nm, and a very weak peak at 428 nm. The 370 nm peak is absent, and the absorption edge is again at about 350 nm (compare also Shigley and Foord, 1984).

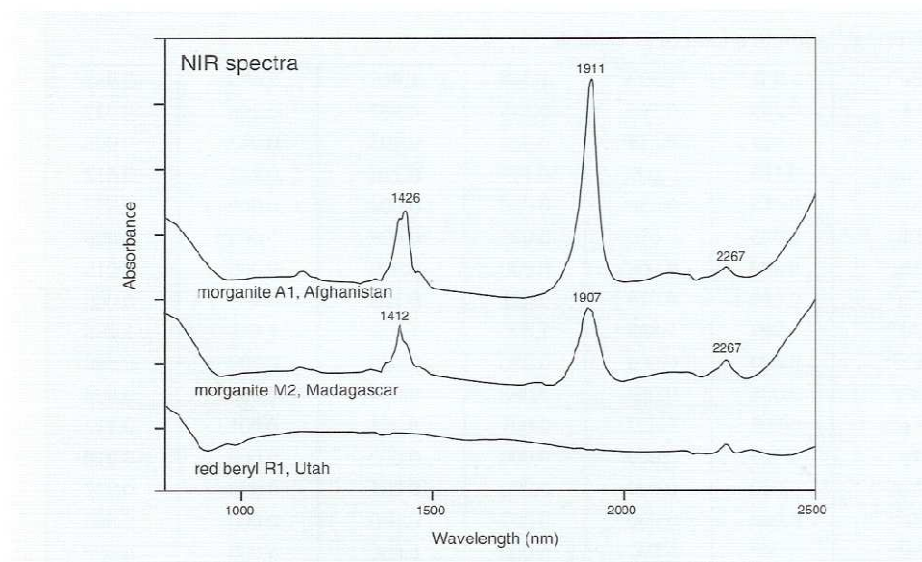
### Near infrared (NIR) spectra

The NIR spectra of our samples were studied with a Varian Cary Scan 500 spectrometer between 800 and 2500 nm. A polarization unit could only be used from 250–900 nm. For morganite samples A1 and M2, three main absorption features near 1412 nm (7082 cm<sup>-1</sup>), 1907 nm (5244 cm<sup>-1</sup>) and 2267



**Figure 3:** UV-VIS spectra of morganite M5 from Madagascar and red beryl R1 from Utah (USA). The spectra reveal a distinct difference between these two beryl varieties with manganese  $Mn^{2+}$  as chromophore in morganite and  $Mn^{3+}$  in red beryl.

421



**Figure 4:** Unpolarized NIR spectra of morganites A1 (Afghanistan), M2 (Madagascar), and red beryl R1 (Utah). Absorption peaks due to water occur near 1420 and 1910 nm in the morganite spectra but are absent in the red beryl spectrum.

Caesium-rich morganite from Afghanistan and Madagascar



Table II: Electron microprobe analyses of morganites from Madagascar and Afghanistan, and red beryl from USA.

Wt. %	Pink morganite				Morganite Madagascar	Red beryl Utah, USA	
	Madagascar			Afghanistan			
	M4	M5	M6	A1			
BeO*	6.36	6.21	6.28	8.13	11.20	13.78	Be-site
Li <sub>2</sub> O*	1.84	1.86	1.83	1.35	0.68	0.09	channel
Cs <sub>2</sub> O	14.27	14.63	14.31	9.70	1.09	0.13	
Na <sub>2</sub> O	0.56	0.50	0.52	1.15	1.35	0.07	
K <sub>2</sub> O	0.14	0.16	0.15	0.03	0.07	0.20	
Rb <sub>2</sub> O	0.38	0.39	0.39	0.14	0.09	0.14	
MgO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.11	Al-site
CaO	0.17	0.17	0.19	0.98	0.01	b.d.	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.84	15.70	15.62	15.72	17.52	16.59	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.09	0.09	0.06	b.d.	0.04	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	2.10	Si-site
TiO <sub>2</sub>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.27	
MnO	b.d.	b.d.	b.d.	0.02	b.d.	0.29	
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	
SiO <sub>2</sub>	59.01	58.60	58.42	61.32	64.82	66.91	
Total	98.65	98.33	97.82	98.60	96.85	100.69	
Normalization to a total of 11 cations							
Be <sup>2+</sup>	1.552	1.528	1.549	1.910	2.490	2.968	
Li <sup>+</sup>	0.753	0.765	0.755	0.532	0.298	0.032	
Cs <sup>+</sup>	0.619	0.639	0.626	0.405	0.043	0.005	
Na <sup>+</sup>	0.110	0.099	0.103	0.218	0.242	0.012	
K <sup>+</sup>	0.018	0.020	0.020	0.004	0.009	0.023	
Rb <sup>+</sup>	0.025	0.026	0.026	0.009	0.005	0.008	
Mg <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	
Ca <sup>2+</sup>	0.019	0.018	0.021	0.103	0.001	0.000	
Al <sup>3+</sup>	1.899	1.895	1.890	1.813	1.911	1.753	
Cr <sup>3+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
V <sup>3+</sup>	0.004	0.007	0.008	0.004	0.000	0.003	
Fe <sup>3+</sup>	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.142	
Ti <sup>4+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	
Mn <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.022	
Sc <sup>3+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Si <sup>4+</sup>	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	
Total	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	
H <sub>2</sub> O*	0.460	0.570	0.749	0.456	0.973	0.000	

N.B. \*BeO, Li<sub>2</sub>O and H<sub>2</sub>O have been calculated. b.d. – below detection limit

nm ( $4411\text{ cm}^{-1}$ ), are present (Figure 4). Without polarisation measurements detailed attributions could not be made and the above absorptions could only be attributed to  $\text{H}_2\text{O}$  vibrations in general.  $\text{H}_2\text{O}$  molecules may be present in two perpendicular positions (type I or II) in the beryl channels (Wood and Nassau, 1968; Charoy, 1998). Infrared analysis of beryl sample powder mixed with KBr would allow an identification of water type and this work is planned for the future. According to the literature, however, most of the water molecules in morganites possess a molecular axis parallel to the structural channels in beryl and are type II. The red beryl reference sample did not show molecular response in the NIR spectral range except for a small peak at 2267 nm, which is in agreement with the  $\text{H}_2\text{O}$ -free nature of this material (Nassau and Wood, 1968; Hänni, 1980).

### Chemical composition

Preliminary compositions of the new material were obtained from ED-XRF analyses, which indicated major Si, Al and also the presence of minor Fe, Mn, Cs and Rb in all samples (red beryl and morganite).

Quantitative chemical analyses of pink samples A1, M4, M5 and M6, light pink morganite R3 (Madagascar) and a red beryl R1 (Utah, USA) (see Table II) were carried out. On each sample six measurements were taken along a traverse of about 3 mm, to gain some information about their homogeneity.

The analyses were carried out with a JEOL-JXA 8600 electron microprobe (Geochemical Laboratory, University of Basel, Switzerland), operated in wavelength-dispersive mode (WDS) at an accelerating potential of 20 kV and a beam current of 20 nA. Fourteen elements were measured on their  $\text{K}\alpha_1$  or  $\text{L}\alpha_1$  lines, respectively, using well-characterized silicates (pollucite for caesium) and oxides as standards. The raw data were fully corrected for matrix effects by a ZAF-type online procedure. Vanadium was further corrected for peak overlap by caesium  $\text{L}\beta_5$ .

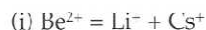
The measurements revealed (Table II) that the pink samples are relatively homogeneous and that the red beryl has zones of different composition. Samples M4, M5 and M6 contain caesium ( $\text{Cs}_2\text{O}$ ) up to 15.18 wt.%, which is distinctly higher than reported so far in the literature (11.3 wt.%  $\text{Cs}_2\text{O}$  reported by Evans and Moore, 1966). Specimen A1 is less rich in caesium ( $\text{Cs}_2\text{O}$  up to 10.05 wt.%), whereas morganite with  $\text{Cs}_2\text{O}$  up to 1.25 wt.% and red beryl with  $\text{Cs}_2\text{O}$  up to 0.19 wt.% are in the range commonly determined in such beryls (Deer *et al.*, 1992; Nassau and Wood, 1968). Further  $\text{R}^+$  and  $\text{R}^{2+}$  in pink beryl M4, M5 and M6 are sodium, rubidium, potassium and calcium, whereas magnesium is below detection limit. Compared to this, specimen A1 has higher contents of sodium, but shows lower values for rubidium. Potassium and magnesium are at or below detection limit. Based on these data, the new pink samples from Afghanistan and Madagascar belong to the alkali beryls, further classified as lithian caesian beryls after Deer *et al.* (1992).

The aluminium concentration is slightly below that required for ideal stoichiometry. This may perhaps be explained by single-site substitutions on the Al-site, but is more likely to be due to the presence of coupled substitution involving caesium. Transition elements, such as iron, chromium, vanadium, titanium and manganese, commonly involved in such substitutions on the Al-site, were only found at the detection limit or below using either the microprobe or the ED XRF. As vanadium had to be corrected for Cs  $\text{L}\beta_5$  interference, these values near the detection limit are only indications. We suspect that the pink beryls do not contain any vanadium. Although there is a general consensus that manganese is the chromophore for the pink and red colours in natural beryl (Nassau and Wood, 1968; Deer *et al.*, 1992), only in the red beryl could the manganese be measured quantitatively (Table II, column 6). However, UV-Vis spectra of the samples where the manganese was below the detection limit of the electron microprobe contain absorption peaks typical for manganese.

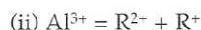


All data were further normalized, on a basis of six silicon atoms per formula unit (pfu), assuming full site occupancy on the tetrahedrally-coordinated Si sites (see *Table II*). Furthermore, beryllium and lithium were calculated for a stoichiometric total of 11 cations, although some Cs-rich beryls with total cations up to 11.25 have been described (Deer *et al.*, 1992).

Since beryllium and lithium contents can not be obtained by means of the electron microprobe, these contents were calculated taking into account any possible substitution mechanisms. Although several single-site and coupled substitutions involving alkalis have been described, most of them are based on unsupported stoichiometry (Wood and Nassau, 1968). Based on the data for the pink beryls, and on charge balance and bond length considerations, the most important substitution mechanism in samples A1, M4, M5 and M6 may be formulated as:



where for charge balance reasons, lithium on the beryllium site (Hawthorne and Cerny, 1977) is coupled with caesium in the channels of the beryl structure. Due to their large ionic size compared to tetrahedrally coordinated beryllium, all alkalis except lithium can only occupy positions in the channels of the beryl structure. This suggests that the other alkalis present ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ) may be charge balanced mostly by a similar mechanism with the possibility of involvement also with a coupled mechanism involving the Al site,



where  $\text{R}^{2+}$  stands for bivalent ions ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) and  $\text{R}^+$  stands for monovalent alkalis except lithium ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Rb}$ ).

Usually substitution mechanisms can be confirmed by plotting the quantities of the involved cations against each other in a diagram. A distinct correlation with a

negative slope between Be and Cs would support the most important suggested substitution mechanism in our pink samples. However, as beryllium and lithium have been calculated in relation to the total amount of cations (in our pink samples basically dependent on the caesium concentration), any diagram representing beryllium content plotted against caesium (or lithium) would necessarily produce a very good negative correlation, due to the so-called constant sum effect (Rollinson, 1993). Therefore no correlation diagram is given in this study.

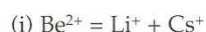
The indicated amounts of beryllium and lithium in *Table II* are necessarily given as approximate concentrations. Light elements can now be measured in gemstones by laser ablation inductively coupled mass spectrometry LA ICP MS, if a small amount of damage on the surface is acceptable (Hänni and Pettke, 2002).

Laser ablation inductively coupled mass spectrometry (LA ICPMS) results, produced after delivery of the manuscript of this paper confirm the presence and quantities of calculated values for BeO and  $\text{Li}_2\text{O}$ . The Afghan sample A1 gave BeO 7.93 wt%,  $\text{Li}_2\text{O}$  2.30 wt% and  $\text{Cs}_2\text{O}$  9.21 wt%. The Madagascar sample M3 gave BeO 8.09 wt%,  $\text{Li}_2\text{O}$  2.04 wt% and  $\text{Cs}_2\text{O}$  13.85 wt%.

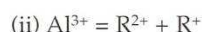
NIR-spectrometry revealed the presence of water in the structural channels of pink beryl from Madagascar and Afghanistan, whereas the sample from Utah showed no water peaks. This was also confirmed by the chemical analyses. Based on total sum considerations, the pink samples A1, M4, M5, and M6 contain 1/2  $\text{H}_2\text{O}$  molecule per formula unit. This is in good agreement with published analyses, which mention  $\text{H}_2\text{O}$  concentrations commonly from 0.3 to 0.8 molecules (Charoy, 1998). The light pink morganite specimen contains 1.0 molecules of  $\text{H}_2\text{O}$  per formula unit, whereas the calculated water concentration in the red beryl from Utah is zero, which

All data were further normalized, on a basis of six silicon atoms per formula unit (pfu), assuming full site occupancy on the tetrahedrally-coordinated Si sites (see *Table II*). Furthermore, beryllium and lithium were calculated for a stoichiometric total of 11 cations, although some Cs-rich beryls with total cations up to 11.25 have been described (Deer *et al.*, 1992).

Since beryllium and lithium contents can not be obtained by means of the electron microprobe, these contents were calculated taking into account any possible substitution mechanisms. Although several single-site and coupled substitutions involving alkalis have been described, most of them are based on unsupported stoichiometry (Wood and Nassau, 1968). Based on the data for the pink beryls, and on charge balance and bond length considerations, the most important substitution mechanism in samples A1, M4, M5 and M6 may be formulated as:



where for charge balance reasons, lithium on the beryllium site (Hawthorne and Cerny, 1977) is coupled with caesium in the channels of the beryl structure. Due to their large ionic size compared to tetrahedrally coordinated beryllium, all alkalis except lithium can only occupy positions in the channels of the beryl structure. This suggests that the other alkalis present ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ) may be charge balanced mostly by a similar mechanism with the possibility of involvement also with a coupled mechanism involving the Al site,



where  $\text{R}^{2+}$  stands for bivalent ions ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) and  $\text{R}^+$  stands for monovalent alkalis except lithium ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Rb}$ ).

Usually substitution mechanisms can be confirmed by plotting the quantities of the involved cations against each other in a diagram. A distinct correlation with a

negative slope between Be and Cs would support the most important suggested substitution mechanism in our pink samples. However, as beryllium and lithium have been calculated in relation to the total amount of cations (in our pink samples basically dependent on the caesium concentration), any diagram representing beryllium content plotted against caesium (or lithium) would necessarily produce a very good negative correlation, due to the so-called constant sum effect (Rollinson, 1993). Therefore no correlation diagram is given in this study.

The indicated amounts of beryllium and lithium in *Table II* are necessarily given as approximate concentrations. Light elements can now be measured in gemstones by laser ablation inductively coupled mass spectrometry LA ICP MS, if a small amount of damage on the surface is acceptable (Hänni and Pettke, 2002).

Laser ablation inductively coupled mass spectrometry (LA ICPMS) results, produced after delivery of the manuscript of this paper confirm the presence and quantities of calculated values for BeO and  $\text{Li}_2\text{O}$ . The Afghan sample A1 gave BeO 7.93 wt%,  $\text{Li}_2\text{O}$  2.30 wt% and  $\text{Cs}_2\text{O}$  9.21 wt%. The Madagascar sample M3 gave BeO 8.09 wt%,  $\text{Li}_2\text{O}$  2.04 wt% and  $\text{Cs}_2\text{O}$  13.85 wt%.

NIR-spectrometry revealed the presence of water in the structural channels of pink beryl from Madagascar and Afghanistan, whereas the sample from Utah showed no water peaks. This was also confirmed by the chemical analyses. Based on total sum considerations, the pink samples A1, M4, M5, and M6 contain 1/2  $\text{H}_2\text{O}$  molecule per formula unit. This is in good agreement with published analyses, which mention  $\text{H}_2\text{O}$  concentrations commonly from 0.3 to 0.8 molecules (Charoy, 1998). The light pink morganite specimen contains 1.0 molecules of  $\text{H}_2\text{O}$  per formula unit, whereas the calculated water concentration in the red beryl from Utah is zero, which



again is in good agreement with published figures (Nassau and Wood, 1968; Hänni, 1980).

### Crystal structure

Bakakin *et al.* (1970) described a correlation between chemical composition and unit cell parameters of beryl. This was further confirmed by Hänni (1980), who showed that an increase of  $a_0$  in o-beryls was correlated to the extent of substitution on the octahedral Al-site, whereas the  $c_0$  value remained virtually unaffected. The  $c/a$  ratio commonly is slightly below 1.0 in such beryls. For alkali (caesium) rich beryl, Sosedko (1957) demonstrated an increase in  $c_0$  related to the content of caesium, with  $a_0$  remaining reasonably constant. They show  $c/a$  values slightly above 1.000, consistent with the results of Sosedko (1957) and Charoy (1998) for caesium rich t-beryls (see Table III).

Preliminary crystal structure investigations by powder XRD (X-ray diffraction) seem to confirm this correlation.

However, ongoing studies by the authors will clarify if and how the high caesium content affects (enlarges) the crystal structure of these samples. First powder XRD analyses revealed that two of the most important diffraction reflections of beryl are not present in samples M2 and A1.

### Raman spectra

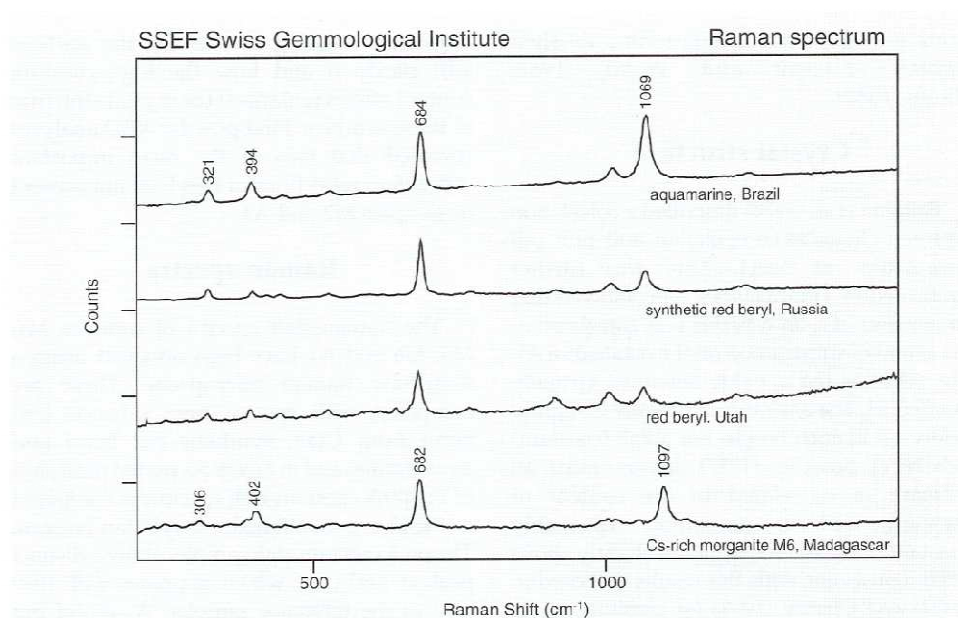
The Raman-shift spectra of samples M4, M5, M6 and A1 have been obtained using a Renishaw Raman microprobe. These are compared with spectra from o-beryls (red beryl from Utah, synthetic red beryl and aquamarine) and in Figure 5 a partial peak shift of the pink caesium-rich specimens compared to the above-mentioned o-beryls can be seen. The pink caesium-rich samples show a distinct peak at  $1097\text{ cm}^{-1}$ , which compares with  $1069\text{ cm}^{-1}$  of the reference samples. A second but less distinct shift can be observed at  $402\text{ cm}^{-1}$  (M4, M5, M6, A1), compared to  $394\text{ cm}^{-1}$  for the reference samples. All other peaks are constant or show only minor peak shifts. This may be explained by the fact, that substitution takes

Table III: Cell parameters and contents of Cs and Al.

Beryl variety	Beryl sample	$a_0$	$c_0$	$c/a$	Substitution type	Wt.%		Source
						Cs <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
morganite	Madagascar M2				tetrahedral	14.4		this study
	Afghanistan A1					9.7		
	Russia 3*	9.200	9.227	1.003	tetrahedral	4.13		
	Russia 2*	9.202	9.209	1.001		0.67		
	Russia 1*	9.202	9.183	0.998		0.27		Sosedko 1957
red beryl	Utah R1 light centre	9.214	9.206	0.999	octahedral		17.42	this study
	Utah R1 red rim	9.227	9.205	0.998			15.74	
colourless beryl	Switzerland, Hänni 4	9.211	9.196	0.998	octahedral		18.1	Hänni 1980
aquamarine	Switzerland, Hänni 1	9.233	9.208	0.997	octahedral		15.5	
	Switzerland, Hänni 3	9.257	9.197	0.994			14.6	
	Switzerland, Hänni 3	9.288	9.189	0.989			10.6	

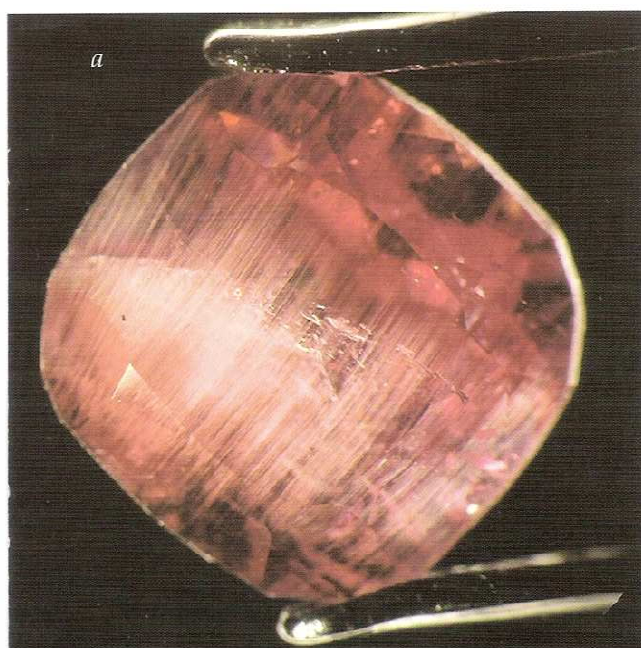
\* after Deer *et al.*, 1962

Caesium-rich morganite from Afghanistan and Madagascar



**Figure 5:** Raman spectra of morganite M6 red beryl R1, synthetic red beryl (Russia), and aquamarine (Brazil). Cs-rich morganite from Madagascar shows a distinct peak shift at  $1097\text{ cm}^{-1}$  compared with the other beryls.

426



**Figure 6:** (a) Morganite from Madagascar (M5) with hollow tubes parallel to the  $c$ -axis.

(b) Detail of M5 showing hollow tubes parallel to the  $c$ -axis, flat fluid inclusions parallel to the basal pinacoid, and tension fractures (magnification  $20\times$ ).

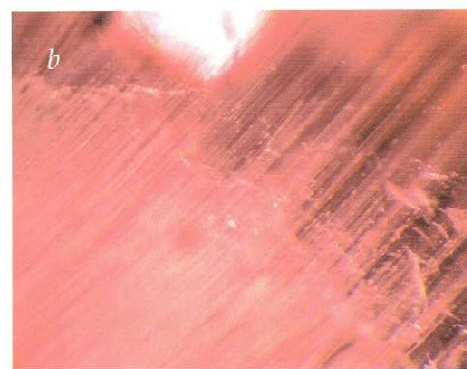






Figure 7: Cat's-eye Cs-rich morganite from Madagascar, provided by D. Gravier (magnification 10×).

place mostly on the Be-site (coupled with incorporation of large alkalis in the structural channels) enlarging locally the structure, whereas the aluminium- and silicon-sites remain virtually unchanged. Further studies will be done to attribute molecular vibrations to their relative Raman peaks.

### Inclusions

The specimen from Afghanistan shows strong basal growth zoning and a few tension fractures of conchoidal shape. The samples from Madagascar contain fine tubes parallel to the *c*-axis, and fluid inclusions flattened along the basal plane. The tubes may be so dense in parts that cat's-eye stones may be expected from this source. (Figure 6a, 6b and 7). With only a small number of samples, only a few inclusions have been encountered and a wider range may emerge when more stones are seen.

### Comparison with synthetic pink, red or purple beryl

For some years hydrothermally grown red and purple beryl has been available. The

crystals appear in different colours and owe their colours to different chromophore elements. Some of the stones have been described for example by Henn and Milisenda (1999) and Shigley and Foord (1984). None of the synthetic crystals contain Rb or Cs, but are characterized by distinct concentrations of Ti, Mn or Ni (unpublished SSEF analyses).

The oldest commercially available synthetic material seems to be the pink synthetic beryl from Biron (Australia), which contains Ti as a chromophore element (Brown, 1993). Later, crystals with darker



Figure 8: Hydrothermally grown synthetic beryls from Biron (right) and Novosibirsk, Russia (left).

Caesium-rich morganite from Afghanistan and Madagascar

colours appeared; these were produced in Russia (Figure 8) and showed distinct contents of Mn, Fe and Ni. Henn and Millisenda (1999) reported on synthetic red beryl from Russia and found that  $\text{Co}^{2+}$  was the chromophore. For all these hydrothermal synthetic beryls, the reported densities and refractive indices are clearly lower than for natural morganite as described in this study. It should thus not be difficult to distinguish them from natural morganites. Furthermore, in most of the red to purple and pink hydrothermal synthetic material, characteristic chevron-like growth inhomogeneities could be expected (Johnson and Koivula, 1997).

### Terminology considerations

A number of terms are related and used for rose coloured, pink or red beryls. Not all of them are, however, applied in current gemmological publications. Vorobyevite is a caesium beryl of colourless or pink colour, first described in 1908 from Lipovka, Ural Mountains (Sinkankas, 1981). Rosterite is another name for caesium beryl of colourless or pink colour from Elba, Italy. However, these variety names are nowadays only rarely found in the literature.

Much better known is the term morganite (Sinkankas, 1981), given to pink beryl by G.F. Kunz in 1910 to honour J.P. Morgan. Most authors relate the pink colour to the incorporation of some manganese and, at the same time, mention the presence of Cs, which is however not contributing to the colour. Red beryl from Utah owes its name to the intensity of its redness which is far more saturated than the colour associated with morganite. The weak pleochroism of red beryl compared with morganite is a further hint that colour is not the only difference between these minerals.

The new samples studied from Afghanistan and Madagascar strongly resemble in all aspects the properties attributed to morganite. In the trade the

investigated samples were sold as 'raspberry beryl' or 'pink beryl', rather than morganite. It seems that for the trade the term morganite is related to a weak colour, and this might negatively influence the new material. However, reconsidering the literature, the term morganite has for a long time precisely described the available light to intensely saturated rose to pink beryl varieties with variable amounts of Mn, Cs and Rb, and no fancy name is required to describe these stones. In the CIBJO rules (CIBJO 2002), application of morganite is related to a mineralogical variety, while morganite, pink beryl and red beryl are also mentioned as commercial names.

### Discussion

Caesium and lithium are typical lithophile elements involved in formation of minerals in rhyolites (Christiansen *et al.*, 1983) and pegmatites. While these elements are found only in trace levels in the red beryl from Utah, in the samples from Afghanistan and Madagascar they are present in minor to major quantities. The Madagascar samples are particularly rich in caesium and exceed the  $\text{Cs}_2\text{O}$  contents of other beryls reported in the literature. A consequence of the higher Cs contents is the higher RI and SG values, which exceed the values quoted in many gemmological identification tables for morganite.

Several substitution mechanisms are proposed for the incorporation of alkalis and manganese in these samples. It has been confirmed that  $\text{Mn}^{2+}$  colours these pink beryls in the same way that it does in morganite (Shigley and Foord, 1984; Platonov *et al.*, 1989) whereas red beryl shows a different manganese absorption pattern, which is attributed to  $\text{Mn}^{3+}$  (Wood and Nassau, 1968; Lehmann, 1978). Preliminary structural data and the Raman-shift spectra support the idea that incorporation of Cs and perhaps other alkalis has caused an increase of cell dimensions mainly along the *c*-axis.



Summarizing, studied morganites from Afghanistan and Madagascar represent an extreme position in respect to all measured data (density, RI, Cs-concentration, cell parameters) compared to any beryls described so far in the literature. The new material might require a new mineral name due to chemical and structural differences to the classical morganite.

### Acknowledgements

The authors are grateful to Haleem Khan (Hindu Kush Minerals, Peshawar, Pakistan), Alexander Leuenberger (Switzerland) and Denis Gravier (Le Mineral Brut, St. Jean-le-Vieux, France), for providing research samples. Fabrice Danet gave valuable information about the occurrence of the morganite samples from Madagascar. Light pink morganite reference material was donated by Werner Spaltenstein (Chantaburi, Thailand). Ted and Rex Harris, Delta, U.S.A., kindly provided the red beryl reference material in 1983. We acknowledge contributions by Dr K. Schmetzer (Petershausen) and Prof. S. Graeser (Mineralogical Institute, University of Basel, Switzerland) for offering the X-ray diffraction facility, Dr T. Pettke, Isotope Geochemistry and Mineral Resources, Swiss Federal Institute of Technology (Zürich) for LA ICP MS data of the Madagascar caesium beryl material, and Peter Giese (SSEF, Basel) for measuring the UV-Vis and NIR spectra. The manuscript was reviewed by our colleagues Dr Lore Kiefert and J.-P. Chalain at SSEF, Basel.

### References

- Bakakin, V., Rylov, G.M., and Belov, N.V., 1970. Correlation between chemical composition and unit cell parameters of beryl. *Doklady Akademii Nauk SSSR. Earth Science section* (New York), 173, 129-32.
- Biesalski Pflanzenfarben Atlas, 1957. DIN 6164, Musterschmidt-Verlag, Göttingen
- Brown, G., 1993. Australian titaniferous synthetic beryl. *J. Gemmol. Assoc. Hong Kong*, 16, 5-6
- Cerny, P., and Hawthorne, F.C., 1976. Refractive indices versus alkali contents in beryl: general limitations and applications to some pegmatitic types. *Canadian Mineralogist*, 14, 491-7
- Charoy, B., 1998. Cristallochimie du béryl: l'état des connaissances. In: Didier Giard (Ed.), *L'émeraude*, Association Française de Gemmologie, 47-54
- Christiansen, E.H., Burt, D.M., Sheridan, M.F., and Wilson, R.T., 1983. The petrogenesis of topaz rhyolites from Western United States. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 83, 16-30
- CIBJO, 2002. *Gemstones – terminology and classification: Annex B1: Stones, gemstones and ornamental stones*. Coloured Stone Commission, 2001-2, NYC
- Danet, F., 2003. Personal communication
- Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J., 1962. *The rock forming minerals*. Vol. I. Longman Group Ltd., England
- Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J., 1992. *The rock forming minerals*. Vol. IB (2nd edn). Longman Group Ltd., England
- Evans, H.T., and Moore, M.E., 1966. Crystal chemical studies of cesium beryl. *Abstracts: Geological Society of America Meeting*, 1966, 63
- Flamini, A., Castaldi, L., Grubessi, O., and Viticoli, S., 1983. Sulle caratteristiche particolari del berillo rosso dell' Utah. *La gemmologia*, IX, (1/2), 12-20
- Hänni, H.A., 1980. *Mineralogische und mineralchemische Untersuchungen an Beryll aus alpinen Zerkluftungen*. Dissertation. Universität Basel
- Hänni, H.A., and Pettke, T., 2002. Eine neue Diffusionsbehandlung liefert orangefarbene und gelbe Saphire. *Gemmologie. Z. Dt. Gemmol. Ges.*, 51(4), 137-52
- Hawthorne, F.C., and Cerny, P., 1977. The alkali-metal positions in Cs-Li beryl. *Canadian Mineralogist*, 15, 414-2
- Henn, U., and Milisenda, C., 1999. Synthetische rote Beryll aus Russland. *Gemmologie. Z. Dt. Gemmol. Ges.*, 48(2), 97-104
- Johnson, M.L., and Koivula, J.L., 1997. Red and purple hydrothermal synthetic beryl. *Gem news. Gems & Gemology*, 33(1), 68-9
- Khan, H., 2000. Personal communication
- Lehmann, G., 1978. Farben von Mineralien und ihre Ursachen. *Fortschr. Mineral.*, 56(2), 172-252
- Nassau, K., and Wood, D.L., 1968. An examination of red beryl from Utah. *Am. Min.*, 53, 801-6
- Platonov, A.N., Taran, M.N., and Klyakin, V.A., 1989. On the two colour types of Mn<sup>3+</sup> bearing beryls. *Z. Dt. Gemmol. Ges.*, 38(4), 147-54
- Rollinson, H., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, presentation, interpretation*. Longman Group Ltd., Essex, UK
- Shigley, J.E., and Foord, E.E., 1984. Gem quality red beryl from the Wah-Wah mountains, Utah. *Gems & Gemology*, 20(4), 208-21
- Sinkankas, J., 1981. *Emerald and other beryls*. Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania, USA
- Sosedko, T. A., 1957. The change of structure and properties of beryls with increasing amounts of alkalis. *Mem. All. Union Min. Soc.*, 86, 495
- Wood, D.L., and Nassau, K., 1968. The characterization of beryl by visible and infrared absorption spectroscopy. *Am. Mineral.*, 53, 777-800

# BIBLIOGRAPHIE



## **BIBLIOGRAPHIE**

### **Livres / revues :**

-EMERALD and OTHER BERYLS: JOHN SINKANKAS

-Minéralogie de Madagascar: ALFRED LACROIX

-Gems and Gemmology :VolumeXXXIX WINTER 2003

-le Règne Minéral: numéro 52 (juillet aout 2003)

numéro 62 (mars avril 2005)

### **Sites internet :**

- [www.mindat.org](http://www.mindat.org)

- [www.uno.edu](http://www.uno.edu)

- [www.minservice.com](http://www.minservice.com)

- [www.geminterest.com](http://www.geminterest.com)

- [www.ceps.com](http://www.ceps.com)

- [www.webmineral.com](http://www.webmineral.com)

- [www.gemresearch.ch](http://www.gemresearch.ch)

- [www.gia.edu](http://www.gia.edu)

- [www.ssef.ch](http://www.ssef.ch)

- [www.gemmologyonline.com](http://www.gemmologyonline.com)

[-www.stone-network.com](http://www.stone-network.com)

[-en.wikipedia.org/wiki/Caesium](http://en.wikipedia.org/wiki/Caesium)

[-www.agab.be](http://www.agab.be)

[-www.polychrome.fr](http://www.polychrome.fr)

### Autres :

-PowerPoint sur la Pezzotaite du Myanmar Yves Lulzac présenté a l'assemblée générale du CRG 2007

-Abstract SSEF (Hänni/Krzemnicki) sur la morganite de Madagascar (Pezzotaite)