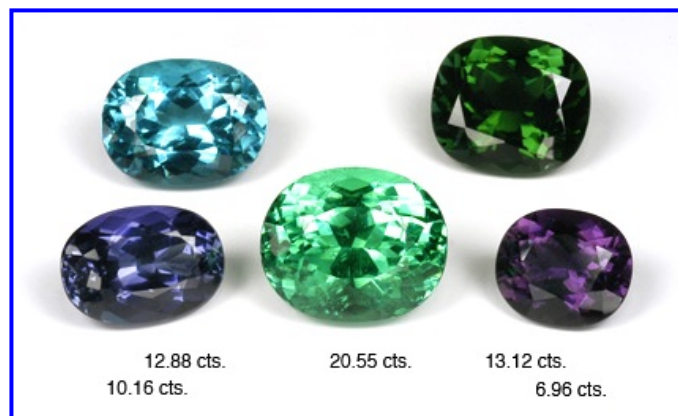


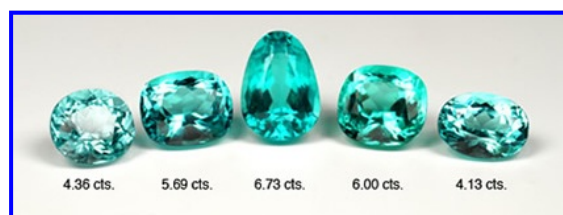


## L'elbaïte Cuprifère

Caractéristiques physiques, optiques  
et traitements thermiques



Tourmalines cuprifères non traitées.  
Photo de Wimon Manorotkul montrant la diversité de couleur des  
Elbaïtes cuprifères du Mozambique  
Site : [www.palagems.com](http://www.palagems.com)



Tourmalines cuprifères chauffées.  
Photo de Wimon Manorotkul montrant la gamme de bleu  
(de bleu clair à bleu-vert néon) obtenue par chauffage  
Site : [www.palagems.com](http://www.palagems.com)

**Anne BOISSERAND**

Examen de diplôme FGA  
N° étudiant : 805215  
Date du rapport : 24/05/2012

# CHAPITRE 1

## 1.1 Avant propos

Mon choix de projet a été influencé naturellement par ma passion pour cette gemme à l'incroyable richesse chromatique.

J'ai souhaité rédiger ce projet en m'intéressant à une variété de tourmaline, l'elbaïte cuprifère et notamment celle provenant du Mozambique.

L'objectif de mes recherches est de déterminer si deux échantillons en ma possession sont bien cuprifères et si leur couleur est naturelle ou dérivée d'un traitement thermique.

Mon projet se déroule en deux temps :

- 1) Présentation sommaire de la découverte de cette tourmaline ainsi que sa cristallographie.  
Étude de deux échantillons provenant du Mozambique en les analysant selon les méthodes classiques de gemmologie.
- 2) Aborder la composition chimique et l'origine de la couleur de cette tourmaline cuprifère.  
Analyse des deux échantillons avec un spectromètre U.V vis PIR au Laboratoire de Gemmologie de Marseille avec l'aide de mon Professeur Madame Agata Cristol, pour comprendre les causes de la couleur.  
Pour mener à bien ce projet, j'ai fait des recherches dans différentes publications gemmologiques. J'ai été aidée par une étude exhaustive publiée dans la revue "Gems&gemology n°44" sur les tourmalines cuprifères du Mozambique.  
Un article écrit par Benjamin Rondeau et Aurélien Delaunay paru dans la revue de l'AFG n° 160 de juin 2007 est venu compléter ma bibliographie.

## 1.2 Découverte de la tourmaline elbaïte cuprifère

L'elbaïte est une espèce minérale appartenant à la grande famille des tourmalines. Elle doit son nom à l'île d'Elbe en Italie, c'est sa composition chimique qui définit le nom de l'espèce et non sa couleur.

Les tourmalines vertes (verdelite), les rouges (rubellite), les bleues (indicolite), les jaunes, les polychromes et les incolores (achroïte) sont toutes des elbaïtes avec un point commun dans leur composition chimique : le lithium.

Ces tourmalines aux couleurs surprenantes d'un bleu-vert électrique "néon", ou violet "néon", contenant du cuivre dans leur composition chimique ont été découvertes dans l'état de Paraïba au Brésil en 1987 par un prospecteur Heitor Barbosa. Plus récemment, un matériau gemme similaire a été trouvé au Nigéria en 2001, puis au Mozambique en 2005. Quelques soient leurs origines, ces tourmalines portent le nom de Paraïba.

## 1.3 Cristallographie

Système de symétrie : rhomboédrique

Habitus : prismatique, allongé, à coupe transversale triangulaire aux cotés arrondis

Observations externes du prisme :

Il peut comporter des fissures ondulantes perpendiculaires à l'axe c

Il est souvent fortement strié, les stries étant parallèles à l'axe c

De symétrie rhomboédrique, il peut comporter 3, 6 ou 9 côtés se terminant par des faces pyramidales, unique "pédion" ou une terminaison en pointe

Cassure : conchoïdale

Éclat : vitreux

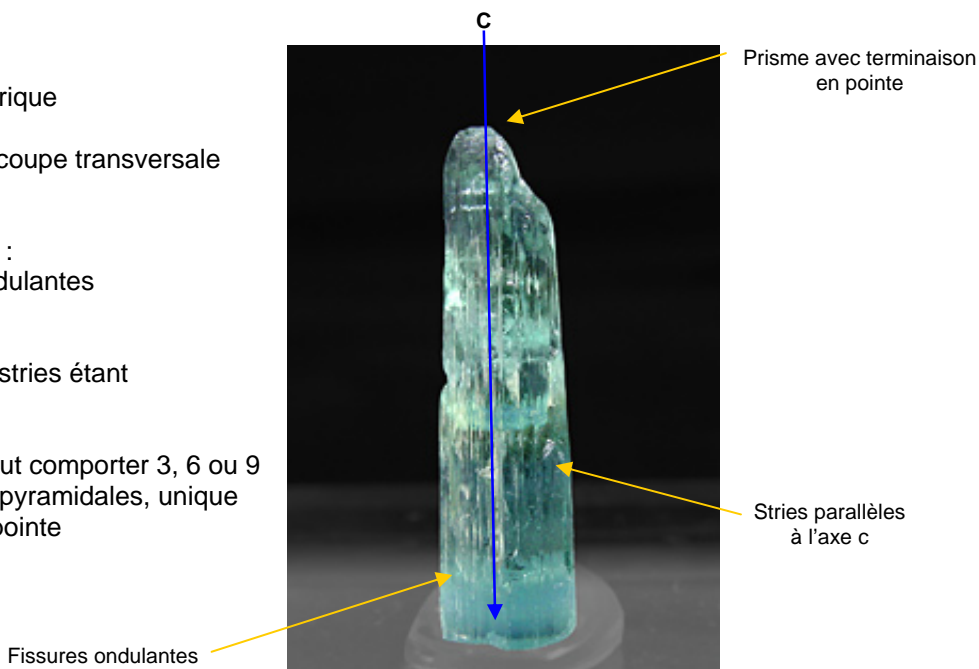


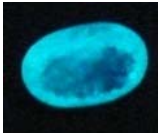


Photo d'une elbaïte cuprifère bleu du Mozambique  
Source : [www.fabreminerals.com](http://www.fabreminerals.com)

## 2.1 Gemmologie classique : propriétés physiques et optiques

	<u>Échantillon N°1</u> 	<u>Échantillon N°2</u> 
<u>Loupe 10x</u> : Taille Couleur	Ovale taille mixte Vert pâle néon	Ovale taille mixte Bleu - vert pâle néon
Dimension : Poids en carats :	8.6 x 5.8 x 3.8 mm 1,22	10.4 x 7.2 x 4.6 mm 2.51
<u>Polariscope</u> : Détermination du caractère optique + conoscope	Pierre posée table en bas : direction de l'axe optique. Conoscope : observation d'une figure d'interférence uniaxe → anisotrope	Pierre posée en oblique : direction de l'axe optique. Conoscope : observation d'une figure d'interférence uniaxe → anisotrope
<u>Dichroscope</u> : Observation du pléochroïsme	Léger : de vert pâle à vert	Léger : de vert pâle à vert-bleu
<u>Spectroscope</u> : de poche + fibre optique	Spectre non observable	Spectre non observable
Rayon n°	1.640	1.641
Rayon n <sup>e</sup>	1.619	1.622
Biréfringence	0.021	0.019
<u>Densité</u> : À l'aide d'une balance hydrostatique	3.067	3.075
<u>Fluorescence</u> : Boîte à U.V classique	Inerte aux U.V.C Inerte aux U.V.L	Inerte aux U.V.C Forte fluorescence bleu néon aux U.V.L 

### Commentaires :

Les résultats obtenus avec la gemmologie classique permettent d'affirmer l'appartenance de ces deux échantillons à la famille des tourmalines.

J'ai voulu comparer ces résultats avec l'étude faite dans le N°44 de Gems&Gemology, page 17 sur un lot de 106 échantillons de tourmaline cuprifère du Mozambique chauffée et non chauffée.

J'ai pu noter les similitudes suivantes :

- Sur certains de leurs échantillons chauffés, le pléochroïsme est faible contrairement à certaines elbaïtes cuprifères de même couleur non chauffées, testées dans ce rapport.
- Manifestement, les elbaïtes vertes monteraient légèrement de plus hautes valeurs d'indices de réfraction (n° compris entre 1.640-1.643 et n<sup>e</sup> compris entre 1.621 - 1.622) avec une biréfringence de 0.019 - 0.021 ainsi qu'une densité supérieure (3.06 - 3.09)
- Treize de leurs échantillons bleu-vert chauffés présentent également une fluorescence bleue aux U.V.L. alors que toutes les pierres non traitées sauf deux sont inertes aux U.V.

### Conclusions :

Une fluorescence bleue aux U.V.L pourrait être le signe d'un traitement thermique.

À ce stade de l'étude, la gemmologie classique ne me permet pas de certifier que ces deux tourmalines sont cuprifères et qu'elles aient subi un traitement thermique même si manifestement certaines gemmes traitées présentent une faible fluorescence bleue aux U.V.L.

La prochaine étape est l'étude des inclusions sous grossissement 45x pour détecter si le traitement par chauffage modifierait l'apparence des caractéristiques internes comme on peut souvent le constater dans les corindons chauffés à température élevée.

## 2.2 Inclusions



Photo 1 a. boisserand

Étude des inclusions sous grossissement 45x avec un microscope GEM SET équipé d'une caméra vidéo Moticom 2000.  
Prises de photo en fond éclairé puis variation en fond noir et lumière réfléchie.

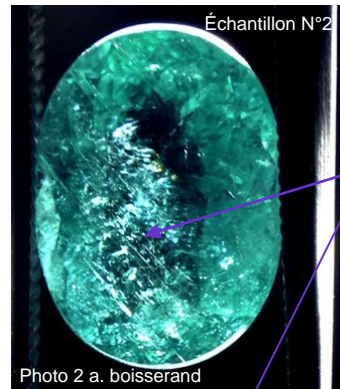
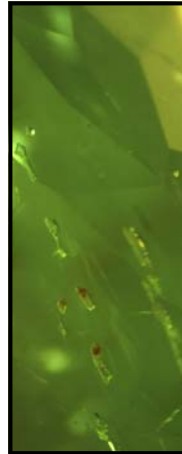
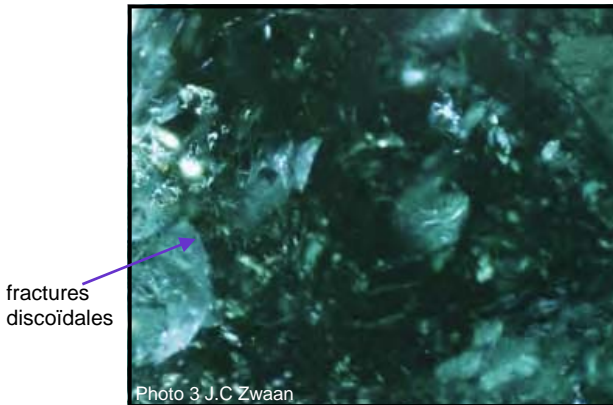
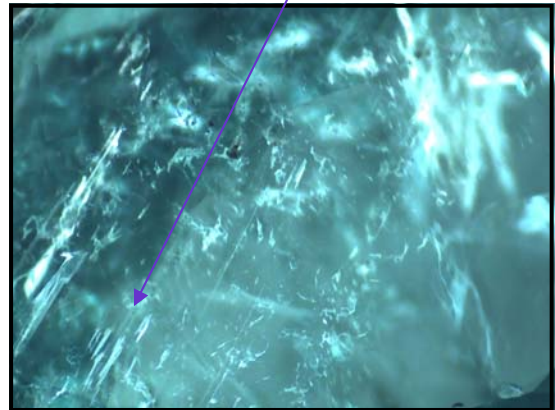


Photo 2 a. boisserand

Observation de films plats parallèles entre eux et à l'axe c confirme l'orientation de l'axe optique.  
Voir tableau 2.1



Inclusions à 2 phases



fractures discoïdales

Photo 3 J.C Zwaan



cavités à l'aspect légèrement 'givré'

Photo 4 J.C Zwaan

### Commentaires :

Les inclusions caractéristiques de la tourmaline "trichites ou inclusions capillaires" sont des cavités très fines "comme des cheveux" remplies de liquide et qui se rejoignent entre elles. On peut également observer des inclusions à 2 phases, des films plats généralement longs et souvent pointus parallèles entre eux et à l'axe c, des tubes creux et minces ainsi que des inclusions minérales diverses. Apparemment le traitement thermique modifierait l'apparence de certaines inclusions. L'étude de Gems&Gemology montre page 20 que dans la plupart des tourmalines chauffées on peut observer des fractures discoïdales ou de formes allongées (photo 3). Les cavités prendraient un aspect légèrement "givré" comme si les fluides avaient séché au cours du traitement thermique (photo 4).

### Conclusions :

Échantillon N°1 : j'ai pu observer des inclusions à 2 phases, des trichites remplies d'oxydes, des fractures à l'aspect allongé ou arrondi.

Échantillon N°2 : j'ai pu observer des films plats longs et pointus et parallèles entre eux, un réseau de trichites à l'aspect très déchiré, une inclusion minérale opaque que je n'ai pas pu identifier.

Je n'ai pas constaté que ces inclusions liquides après traitement thermique apparaissent noires en lumière transmise (ce qui indique qu'elles sont vides) comme stipulé dans le rapport de Gems&Gemology.

Au vu de mes observations, je ne peux pas encore affirmer que ces 2 échantillons soient chauffés, je pense que la modification des caractéristiques internes après chauffage est nettement moins évidente à interpréter que celles des corindons. C'est peut-être dû au fait que la température du chauffage (entre 600 et 700°C) est incontestablement plus basse et altérerait moins les inclusions.

### 3.1 Chimie et couleur

La tourmaline elbaïte est un boro-silicate d'aluminium, de sodium et de lithium, dont la formule chimique est complexe :  $\text{Na}(\text{Al}, \text{Li})^3 \text{Al}^6 (\text{Bo}^3)^3 \text{Si}^6 \text{O}^{18} (\text{OH})^4$

Le mécanisme à l'origine de la couleur de cette tourmaline est attribué à la présence d'éléments de transition dispersés, mais pas seulement. Le cuivre divalent  $\text{Cu}^{2+}$  est présent dans toutes les tourmalines cuprifères avec deux bandes d'absorption centrées à environ 690 nm et 900 nm. Il est à l'origine des couleurs "bleu, bleu-vert et violet".

Apparemment, la couleur verte serait due à la présence de manganèse divalent  $\text{Mn}^{2+}$  à 415 nm ainsi qu'une forte absorption dans l'ultraviolet attribué à un transfert de charges entre  $\text{Mn}^{2+}$  et  $\text{Ti}^{4+}$  combiné à celle du cuivre.

Le manganèse trivalent  $\text{Mn}^{3+}$  qui est à l'origine de l'absorption à environ 530 nm serait une des causes de la couleur violette.

Enfin, pour celles qui sont bleues à vert-bleu, on retrouve  $\text{Mn}^{2+}$  à 415 nm mais sans la présence de  $\text{Ti}^{4+}$ .

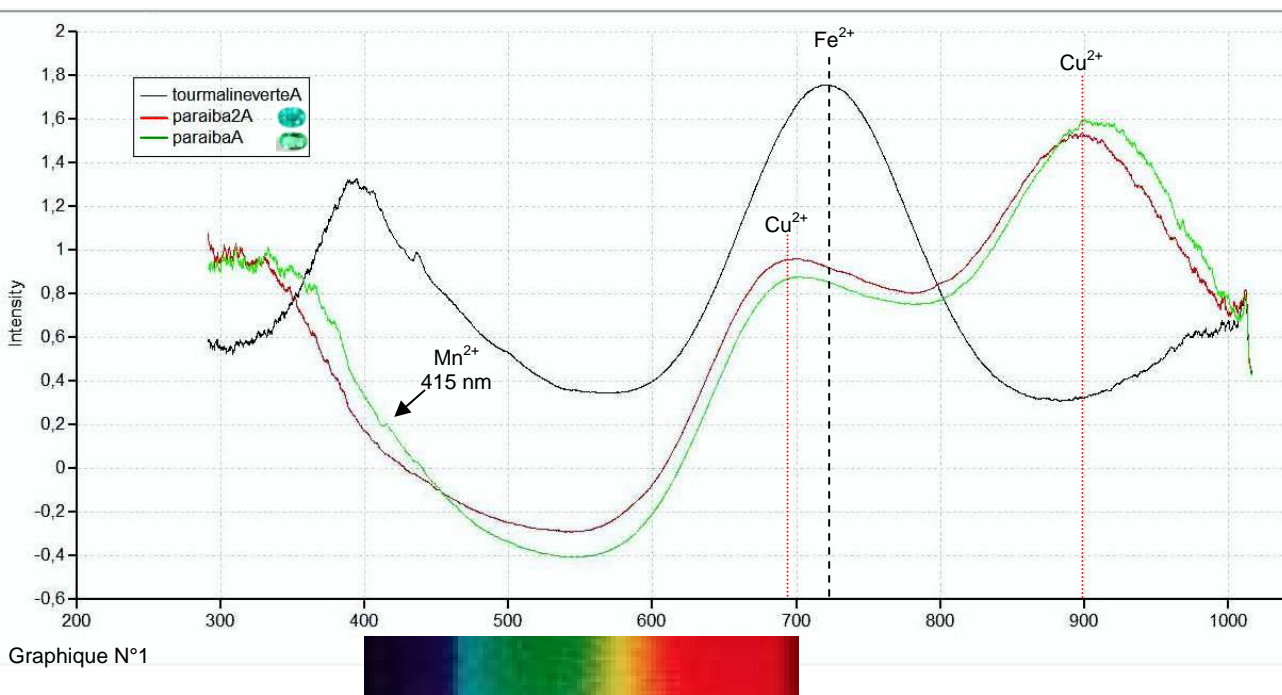
#### Identification de la tourmaline elbaïte cuprifère avec le spectromètre Uv-Vis-Pir de GL-GemSpec :

Au laboratoire de Gemmologie de Marseille, avec l'aide de mon Professeur Madame Agata Cristol, nous avons comparé mes deux échantillons avec une tourmaline elbaïte de couleur verte.

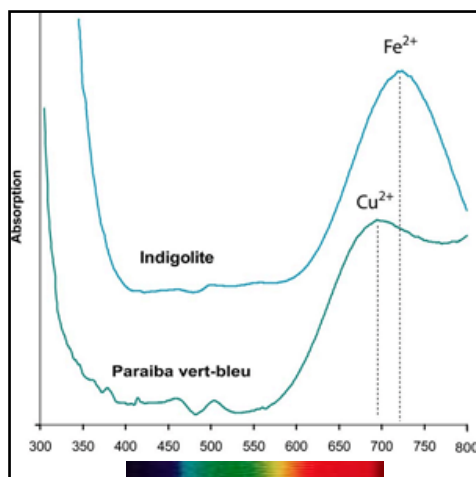
Les pierres ont été placées sur le spectromètre table en bas.

On peut observer sur le graphique N°1, que la bande d'absorption centrée vers 690 nm ainsi qu'une autre bande d'absorption aux alentours de 900 nm correspond à la présence de cuivre divalent ( $\text{Cu}^{2+}$ ).

La tourmaline verte présente une large bande d'absorption centrée vers 730 nm due à la présence de  $\text{Fe}^{2+}$ .



#### Conclusions :



Graphique N°2, revue AGF n°160 de Juin 2007

La première constatation est la similitude entre le graphique N°1 et le N°2 paru dans la revue de gemmologie de l'AFG n°160 de juin 2007 et confirme que mes deux échantillons sont bien cuprifères. Pour les indicolites la couleur bleue est due à la présence de fer divalent ( $\text{Fe}^{2+}$ ) à 730 nm.

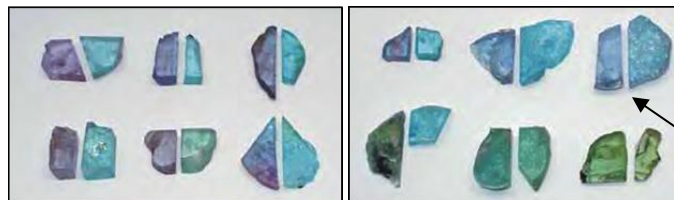
La deuxième est l'aspect étonnamment proche des spectres de ces deux tourmalines Paraïba malgré leurs différences de couleur. Seule la verte présente un petit pic d'absorption à 415 nm correspond au manganèse divalent ( $\text{Mn}^{2+}$ ) souvent présent dans ces variétés vertes qu'elles soient naturelles ou chauffées, comme cela a été expliqué dans le paragraphe précédent.

Les méthodes de gemmologie avancée ont été indispensables pour déterminer l'origine de la couleur de ces deux échantillons. La spectrométrie d'absorption en U.V visible m'a permis de mieux comprendre les causes qui peuvent expliquer les différences de couleur au sein de la tourmaline elbaïte.

### 3.2 Traitement thermique

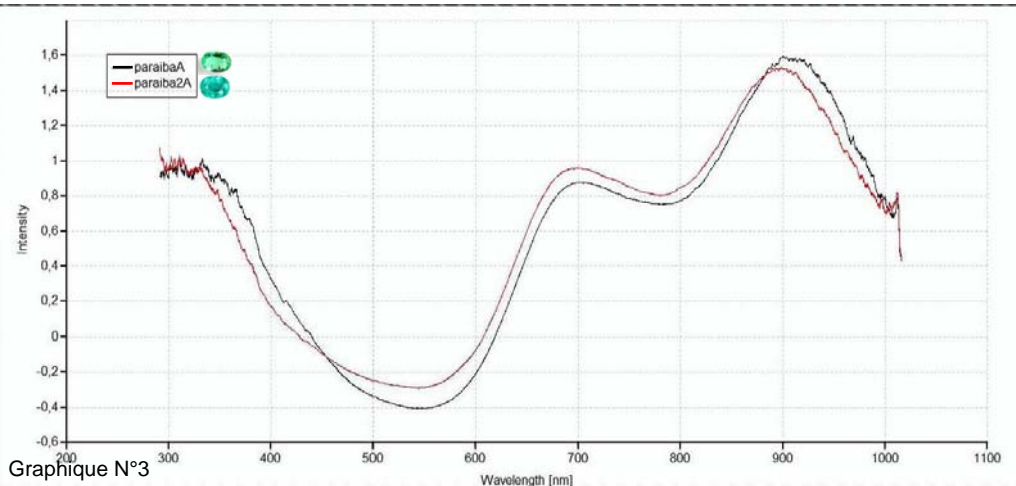
Le traitement thermique à des températures de 530°C à 700°C modifie la couleur.

Les pierres bleues foncées et violettes deviennent bleues claires, celles qui sont bleu-vert sombre deviennent bleu-vert néon quand aux vertes la couleur change très faiblement.

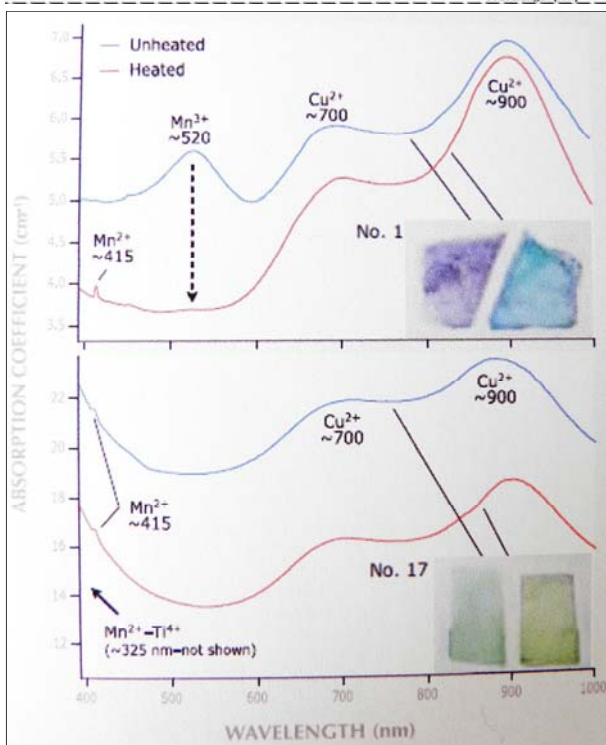


Chauffage à 530°C pendant 3 heures

Photo 5 J.C Zwaan



Graphique N°3



Graphique N°4, Gems&gemology n°44, page 25

### Détection du traitement thermique

Les bandes d'absorption du cuivre divalent sont toujours présentes à 690 et 900 nm après le traitement.

Pour les pierres violettes comportant du manganèse trivalent à 530 nm, celui-ci après traitement thermique diminue drastiquement et en l'absence de fer et de titane, ces pierres deviendront bleu clair à bleu-vert néon.

Pour les tourmalines vertes à tendance jaune, le changement de couleur sera moins prononcé et sera causé par le transfert de charge entre  $Mn^{2+}$  et  $Ti^{4+}$  à 325 nm.

En étudiant le graphique N°3, je constate avec évidence que l'échantillon N°2 a subi un traitement thermique du fait de l'absence d'absorption de  $Mn^{3+}$ .

En ce qui concerne l'échantillon N°1, je ne peux pas interpréter le graphique en ce qui concerne l'absorption dans le registre des radiations U.V, "trop de bruit".

### Conclusion finale :

Les causes de la perception de la couleur dans les gemmes est un sujet passionnant, l'utilisation d'un spectromètre Uv Vis PIR m'a permis de mieux comprendre les mécanismes à l'origine de la couleur dans les gemmes.

J'ai été confronté aux difficultés suivantes :

Peu de littérature gemmologique relatif à la tourmaline cuprifère et son traitement thermique.

Trouver en PDF le N° 44 de Gems & gemology et de le traduire, j'espère l'avoir fait avec exactitude.

Dans les futurs travaux à entreprendre, il serait utile d'examiner à nouveau la morphologie du spectre d'absorption dans l'ultraviolet de la pierre N°1 sous différentes orientations et d'analyser ces matériaux en spectrométrie infrarouge (FTIR) pour éventuellement déterminer si ces gemmes ont été chauffées.

## **Bibliographie :**

Benjamin Rondeau, Aurélien Delaunay, juin 2007, revue de gemmologie A.F.G N° 160, les tourmalines cuprifères du Nigéria et du Mozambique, page 8 à 12.

Brendan M. Laurs, J.C (Hanco) Zwaan, Christopher M. Breeding, William B. (Skip) Simmons, Donna Beaton, Kenneth F. Rijdsdijk, Riccardo Befi and Alexander U. Falster, revue gems & gemology N° 44, copper-bearing (Paraíba-type) Tourmaline from Mozambique, page 4 à 30.

OPL, a students guide to spectroscopy par Colin H Winter, FGA-DGA, page 5

## **Sites internet :**

[www.museum-mineral.fr](http://www.museum-mineral.fr)  
[www.palagems.com/paraiba/htm](http://www.palagems.com/paraiba/htm)  
[www.fabreminerals.com](http://www.fabreminerals.com)  
[www.fred.com](http://www.fred.com)



Bague pain de sucre  
créée par la célèbre maison de joaillerie  
FRED  
pour célébrer son 75ème anniversaire

*Annexe : quelques photos supplémentaires*

