

2007

**DIPLÔME D'UNIVERSITE DE GEMMOLOGIE**

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

par

M. Dominique Dufermont

**ETUDE DE QUELQUES TOURMALINES ROUGES**

soutenu publiquement le 30 novembre 2007  
au Département des Sciences de la Terre  
devant la commission d'examen composée de :

M. E. FRITSCH	Professeur	Président
M. S. LEFRANT	Professeur	Vice-président
M. H. GARCIA-GUILLERMINET Directeur du Laboratoire Français de Gemmologie (L.F.G.)		Examineur
M. J. GIRARDEAU	Professeur	Examineur
M. F. NOTARI	Directeur, GemTechLab	Examineur
M. B. RONDEAU	Maître de conférences	Examineur
M. B. LASNIER	Professeur	Invité

# **Sommaire**

Introduction	p.4
1. Généralités	p.5
1.A Généralités sur la tourmaline	p.5
1.A a) Composition chimique et classification	p.5
1.A b) Structure cristalline	p.6
1.A c) Caractéristiques	p.8
1.A d) Gisements et pays producteurs	p.10
1.B Présentation de la tourmaline rouge	p.11
1.B a) Appellation	p.11
1.B b) Couleur et chimie	p.11
1.B c) Irradiation et chauffage	p.12
1.B d) Eléments de caractérisation des tourmalines rouges	p.12
2. Description des échantillons et des méthodes d'analyse	p.14
2.A Description des échantillons	p.14
2.B Description des méthodes d'analyse	p.18
2.B a) Gemmologie classique	p.18
2.B b) Méthodes de laboratoire	p.19
3. Résultats	p.20
3.A Résultats de la gemmologie classique	p.20
3. B Résultats de laboratoire	p.26
3.B a) M.E.B.	p.26

3.B b) Spectrométrie d'absorption en U.V.-Visible	p.29
Conclusion	p.34
Bibliographie	p.35
Remerciements	p.37

## Introduction

Lors de mes études en géologie, la tourmaline était souvent présentée comme un minéral « poubelle » au regard de sa formule chimique complexe intégrant des éléments variés.

En m'orientant par la suite vers la gemmologie je me suis rendu compte de l'emploi courant de cette pierre en joaillerie grâce à sa grande variété de couleur et son bel éclat.

Rubellite est le nom communément employé pour désigner la tourmaline rouge. Début 2005, devant approvisionner des rubellites pour une nouvelle collection, je me suis retrouvé face à un large éventail de couleurs sur les échantillons proposés par les négociants. Depuis un rose framboise, un vieux rose jusqu'à un rouge brique teinté de marron et un rare rouge franc... il y avait vraiment des couleurs différentes pour un même nom.

Après cette expérience je voulais en savoir plus sur la nature des tourmalines rouges, sur l'origine de la couleur ainsi que les traitements possibles.

Le but de ce travail est donc l'étude de différents échantillons de tourmaline rouge.

# 1. Généralités:

## 1.A Généralités sur la tourmaline

### 1.A.a) Composition chimique et classification

Le terme tourmaline désigne l'ensemble d'une famille de cyclosilicates hydroxylés boro-alumineux cristallisant dans le système rhomboédrique.

La formule générale simplifiée est la suivante :



où : X= Na, Ca, parfois K ou vacant

Y= Al, Li, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, parfois Mn<sup>3+</sup>

Z= Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, parfois Mg<sup>2+</sup> et V<sup>3+</sup> (Dietrich, 1985).

Suivant cette formule, 14 termes extrêmes ont été acceptés par l'International Mineralogical Association (Tab.1), mais la plupart des tourmalines ont une composition intermédiaire entre ces différents pôles.

Espèces	X	Y <sub>3</sub>	Z <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	V <sub>3</sub>	W
<b>Tourmalines alcalines</b>						
Elbaïte	Na	Li <sub>1.5</sub> Al <sub>1.5</sub>	Al <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	(OH)
Schorl	Na	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub>	Al <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	(OH)
Dravite	Na	Mg <sub>3</sub>	Al <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	(OH)
Olenite	Na	Al <sub>3</sub>	Al <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	O <sub>3</sub>	(OH)
Chromdravite	Na	Mg <sub>3</sub>	Cr <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	(OH)
Buergerite	Na	Fe <sup>3+</sup> <sub>3</sub>	Al <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	O <sub>3</sub>	F
Povondraite	Na	Fe <sup>3+</sup> <sub>3</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>4</sub> Mg <sub>2</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	O
Vanadiumdravite	Na	Mg <sub>3</sub>	V <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	(OH)
<b>Tourmalines calciques</b>						
Liddicoatite	Ca	Li <sub>2</sub> Al	Al <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	F
Uvite	Ca	Mg <sub>3</sub>	MgAl <sub>5</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	F

Espèces	X	Y <sub>3</sub>	Z <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	V <sub>3</sub>	W
Hydroxy-feruvite	Ca	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub>	MgAl <sub>5</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	(OH)
<b>Tourmalines avec le site X vacant</b>						
Rossmannite	--	LiAl <sub>2</sub>	Al <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	(OH)
Foitite	--	Fe <sup>2+</sup> <sub>2</sub> Al	Al <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	(OH)
Magnésiofoitite	--	Mg <sub>2</sub> Al	Al <sub>6</sub>	B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub>	(OH) <sub>3</sub>	(OH)

Tab.1 Espèces minérales

Cependant, les nombreuses substitutions ioniques entraînent beaucoup plus de possibilités de termes extrêmes... et donc un classement potentiellement plus complexe (Hawthorne et Henry , 1999).

#### 1.A b) Structure cristalline

La tourmaline étant un cyclosilicate, l'élément structural de base est un anneau de 6 tétraèdres SiO<sub>4</sub> formant l'ensemble (Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>)<sup>12-</sup> (Fig.1).

A cet anneau se rattachent des groupements tétraédriques et octaédriques alumineux (Al) en site Z (Fig.2).

Un groupement trioctaédrique de molécule (OH) en site V comprend des ions métalliques en site Y. Ce groupement est centré autour d'une molécule (OH) ou d'un atome de fluor (F) occupant le centre de l'anneau en site W (Fig.2).

Pour faire la liaison des anneaux selon l'axe c, on trouve en alternance des groupements borates (BO<sub>3</sub>)<sup>3-</sup> liés à différents cations alcalins ou alcalino-terreux en site X (Fig.1) (Henry, 2007).

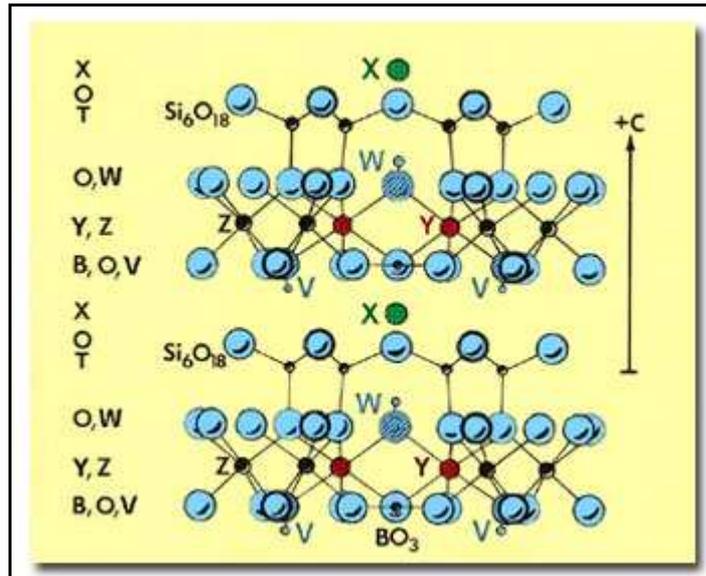


Fig.1 Structure de la tourmaline parallèlement à l'axe c (Henry, 2007)

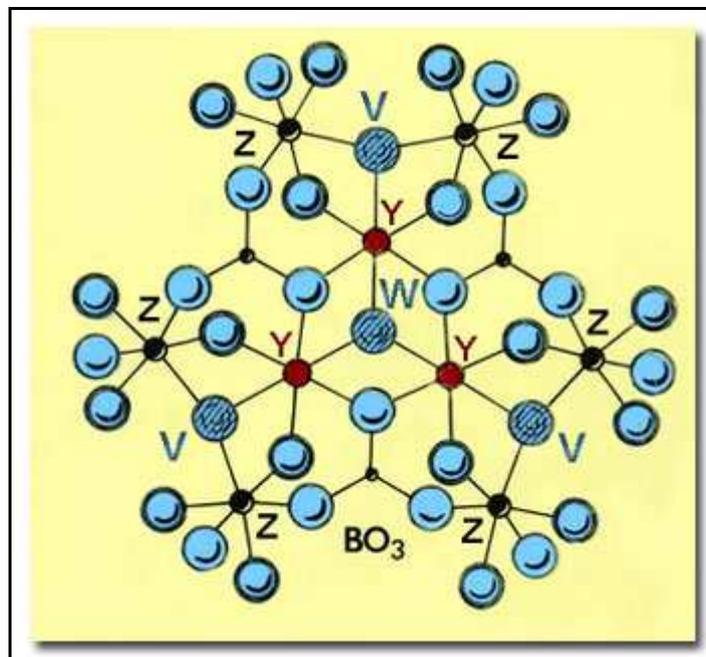


Fig.2 Structure de la tourmaline perpendiculairement à l'axe c (Henry, 2007)

### 1.A.c) Caractéristiques

· Couleur : Les tourmalines sont des minéraux allochromatiques qui ont une large gamme de couleur (rose, rouge, jaune, brun, verte, bleue, violette, noire, etc...) mais qui peuvent aussi être incolores ou multicolores. D'ailleurs, certains spécimens sont recherchés pour leurs arrangements de couleurs et donnent lieu à des appellations « exotiques » comme la tourmaline melon d'eau (rose à cœur et verte en bordure), la tourmaline tête de Maure (cristal incolore à partie terminale noire), la tourmaline tête de Turc (cristal vert à partie terminale rouge) (Bariand et Poirot, 1998).

Virtuellement il n'y a pas de restriction de couleur selon les espèces. Cependant il existe des couleurs caractéristiques :

Buergerite : bronze, marron

Chromdravite : vert profond

Dravite et Uvite: marron, rouge, jaune, vert, blanc, gris, noir, incolore,...

Elbaïte et Liddicoatite: rose, vert, incolore, rouge, orange, jaune, bleu, violet, blanc, noir, marron,...

Ferridravite , Schorl et Foïtite: noir

(Dietrich, 1985)

· Dureté : 7-7,5

· Densité : 2,82-3,32

· Clivage : Les clivages bien développés, observables, sont typiquement absents des tourmalines (Dietrich, 1985).

· Cassure : irrégulière, légèrement conchoïdale, esquilleuse. Les fractures sont fréquentes et se répartissent perpendiculairement à l'axe de croissance (c). Elles sont peut-être dues à une croissance irrégulière (Dietrich, 1985).

· Transparence : transparent à opaque

- Signe optique : uniaxe négatif
  
- Indices de réfraction :  $n_e$  de 1,619 à 1,772  
 $n_o$  de 1,634 à 1,778 (Dietrich, 1985)
  
- Biréfringence : de -0,014 à -0,032
  
- Dispersion : 0,017 (0,009-0,011)
  
- Pléochroïsme : généralement fort
  
- Fluorescence : généralement faible ou nulle à l'exception des variétés contenant du magnésium comme la dravite et l'uvite. Les elbaïtes roses peuvent aussi présenter une fluorescence bleue, de légère à intense, en U.V.C. (Fritsch, 1994).
  
- Morphologie : Les tourmalines cristallisent dans le système rhomboédrique. Les cristaux peuvent prendre une grande quantité de formes différentes mais se dégagent 16 formes principales dont 5 très communes, 4 communes et 7 moins communes (Goldschmidt, 1922). Les cristaux se présentent donc le plus fréquemment sous forme de prismes allongés à section triangulaire aux côtés arrondis avec présence de stries longitudinales caractéristiques. Ils peuvent être incurvés selon l'axe  $c$  et sont fréquemment fracturés.  
  
La taille des cristaux s'échelonne depuis des aiguilles microscopiques jusqu'à certaines pièces de longueur supérieure au mètre.
  
- Propriétés électriques : Les tourmalines sont pyroélectriques (charges opposées sur différentes faces du cristal sous l'effet de la chaleur) et piézoélectriques (polarisation électrique du cristal sous l'action de contraintes mécaniques), elles attirent donc les petites particules. Les marins hollandais avaient remarqué cette propriété de la tourmaline sur les cendres de leurs pipes et l'avaient appelée « Ashentrekker » (extracteur de cendres) (Schumann, 2000).

#### 1.A d) Gisements et pays producteurs

Les tourmalines ont une grande stabilité chimique sous toutes conditions climatiques et érosives. Ainsi elles apparaissent comme minéraux accessoires communs dans les roches ou dépôts géologiques de tous âges et de toutes origines géographiques (Dietrich, 1985).

Cependant, les tourmalines naissent dans les roches acides (teneur en silice supérieure à 63%) magmatiques (granite, pegmatite), filoniennes (aplite) et métamorphiques (paragneiss, quartzite) (Cipriani, 1996).

Lorsqu'un magma cristallise, la solution résiduelle se concentre en gaz volatiles, devient plus fluide et migre dans les roches encaissantes. La cristallisation de cette solution est une pegmatite. Les éléments tels que B, P, F, Cl, S, Li, Be, Rb, Cs, Mo (+ terres rares) forment des minéraux tardivement. Ainsi, les pegmatites des granites peuvent contenir des minéraux comme les béryls, chrysobéryl, apatite, brazilianite, tourmaline, spodumène, topaze, danburite, microlite et pétalite...

Les cristaux peuvent être de grande taille et pousser dans des géodes.

Les tourmalines de couleur, intéressantes commercialement, sont fréquemment associées à des pegmatites sodo-lithiques. Les gisements, quand ils sont alluvionnaires, sont assez proches de la source mais ce cas est rare (Sri Lanka).

Les exploitations les plus importantes se trouvent au Brésil. Les autres pays producteurs sont la Russie, Madagascar, les U.S.A., l'Afghanistan, le Sri Lanka, différents pays d'Afrique (Nigéria, Namibie,...), l'Inde,...

Les tourmalines rouges sont présentes dans plusieurs localités : Madagascar (Douillard, 2003), Nigéria (Henn, 2001), Zambie (Koivula et Fryer, 1985), Russie, Brésil, Afghanistan, U.S.A. dans les états de Californie et du Maine (Bariand et Poirot, 1998),...

## **1.B Présentation de la tourmaline rouge**

### 1.B a) Appellation

Dans le négoce, la tourmaline rouge est communément appelée rubellite. Les pierres proposées sous cette appellation recouvrent souvent une large gamme de couleur allant du violet-pourpre au rose, au rouge franc jusqu'aux rouges mâtinés d'orange ou de brun, sans considération d'espèce.

Nous avons là une double méprise dans le sens où le terme rubellite ne devrait être employé que pour des couleurs rose et rouge franche mais aussi par le fait que le terme est parfois employé pour désigner l'elbaïte rouge, sans prendre en compte la couleur rouge potentielle dans d'autres espèces.

Le problème est récurrent avec les tourmalines d'autres couleurs comme le vert (verdelite), le bleu (indigolite), le marron ou le noir (Dietrich, 1985).

Afin d'éviter les confusions je parlerai donc de tourmaline rouge pour mes échantillons.

### 1.B b) Couleur et chimie

Comme vu précédemment, les couleurs rose et rouge sont fréquemment rapportées à l'elbaïte par les gemmologues. Pourtant, la liddicoatite peut présenter les mêmes gammes de couleur que l'elbaïte et on connaît aussi des spécimens rouges dans la série schorl-dravite (Koivula, 1985).

La couleur des tourmalines est due à des substitutions isomorphiques (Cassedane et *al*, 1996). On attribue généralement le rouge à l'ion  $Mn^{3+}$  (Dietrich, 1985).

Cependant, l'explication de la couleur rouge par un ion isolé n'est pas la seule possible. En effet les transitions de paires d'ions  $Fe^{3+}$ -  $Fe^{3+}$  sont responsables de la couleur de certaines dravites rouges (Fritsch et Rossman, 2001).

### 1.B c) Irradiation et chauffage

Lors d'expériences en laboratoire (Nassau, 1984), l'irradiation de tourmalines roses a provoqué une intensification de la couleur ou développé la composante rouge. L'irradiation a pour effet de déplacer des électrons, en l'occurrence  $Mn^{2+}$  devient  $Mn^{3+}$ . L'électron éjecté va se faire piéger par un cation voisin ( $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Li^+$ ,  $H^+$ , ...). Pour d'autres minéraux cette opération est généralement facilement réversible par chauffage ou exposition à la lumière, l'électron piégé est libéré. Mais pour la tourmaline rouge, l'électron reste captif et la couleur obtenue est donc stable (Fritsch et Rossman, 2001). L'irradiation réalisée en laboratoire, dans les conditions de radioactivité naturelle trouvées dans certaines pegmatites, conduit à penser que le même phénomène se produit dans la nature. Les elbaïtes contenant  $Mn^{2+}$  sont incolores à haute température. Après refroidissement de la roche mère, la couleur apparaît quand  $Mn^{2+}$  se transforme en  $Mn^{3+}$  suite à l'action de la radioactivité du potassium (K) (Reinitz et Rossman, 1988).

Les tourmalines de couleur rouge-brun peuvent parfois acquérir une couleur rouge lumineuse par un chauffage entre 450 et 650°C (Schumann, 2000).

### 1.B d) Eléments de caractérisation des tourmalines rouges

· En ce qui concerne les elbaïtes roses à rouges, il a été constaté que la saturation de la couleur varie en fonction de l'indice de réfraction, plus la couleur est dense, plus l'indice est élevé (Dunn, 1975). La densité est comprise entre 3,01 et 3,06.

· Quelques elbaïtes roses sont fluorescentes en U.V.C. (voir 1.A c)). Certaines de couleur rose à rouge présentent une fluorescence légèrement rouge à violette en U.V.C. et U.V.L. (Fritsch, 1994).

· Les tourmalines roses et rouges montrent une large bande d'absorption dans la région du vert, centrée sur 525 nm, accompagnée par une bande étroite à 537 nm et deux lignes à 458 et 450 nm dues au manganèse (Webster, 1970).



Fig.3 Spectre d'une elbaïte rouge ([www.gemmology.be](http://www.gemmology.be))

· Les éléments de caractérisation des tourmalines rouges, dans la littérature ou sur internet, se rapportent presque exclusivement à l'elbaïte. Cependant, les tourmalines contenant Ca et Na sont des solutions solides entre liddicoatite, elbaïte et rossmanite (site X vacant).

Le rapport Ca / Na permet la distinction entre liddicoatite et elbaïte mais ne permet pas l'identification de la rossmanite.

## 2. Description des échantillons et des méthodes d'analyse:

### **2.A Description des échantillons**

L'étude porte sur 8 tourmalines taillées avec différentes nuances de couleur (Fig.4 à 11) et présentées dans le négoce comme des rubellites. Il est assez difficile de trouver des spécimens avec une couleur rouge franche.



Fig.4 rubDD02 x10

rubDD02 : pierre carrée, taille à pans coupés  
7,2 x 6,5 mm  
épaisseur : 4,2 mm  
1,45 cts  
couleur globalement violine  
avec des reflets rouge franc  
origine inconnue

rubDD03 : pierre carrée, taille à degrés

7,9 x 7,6 mm

épaisseur : 5,5 mm

3,00 cts

couleur rose-orangé

moyen

origine Sri Lanka



Fig.5 rubDD03 x8



Fig.6 rubDD04 x16

rubDD04 : pierre de forme poire, taille à facettes

6,5 x 4,5 mm

épaisseur : 4,8 mm

0,51 ct

couleur globalement  
pourpre assez intense à reflets presque  
bleus

origine inconnue

rubDD05 : pierre de forme poire,  
taille à facettes

6,5 x 4,5 mm

épaisseur : 3,0 mm

0,54 ct

couleur rose foncé à

mauve

origine inconnue



Fig.7 rubDD05 x16



Fig.8 rubDD06 x12,5

rubDD06 : pierre de forme ovale, taille à  
facettes

7,5 x 6,3 mm

épaisseur : 3,6 mm

1,13 cts

couleur rouge, assez sombre

origine Madagascar

rubDD07 : pierre de forme ovale,  
taille à facettes

7,6 x 5,6 mm

épaisseur : 3,8 mm

1,09 cts

couleur rouge foncé à  
pourpre, assez sombre

origine Madagascar



Fig.9 rubDD07 x10



Fig.10 rubDD08 x10

rubDD08 : pierre carrée, taille à  
degrés

5,1 x 5,1 mm

épaisseur : 2,9 mm

0,65 ct

couleur rouge assez franc  
avec une pointe de mauve

origine inconnue

rubDD09 : pierre carrée, taille à degrés

4,7 x 4,4 mm

épaisseur : 2,5 mm

0,41 ct

couleur rose foncé-rouge, avec une pointe de violet

origine inconnue

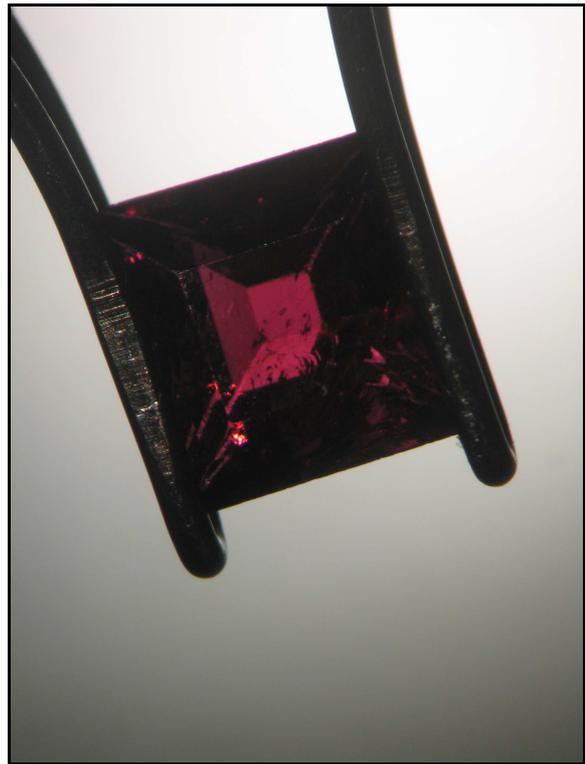


Fig.11 rubDD09 x10

## **2.B Description des méthodes d'analyses**

### 2.B a) Gemmologie classique

Les 8 échantillons ont d'abord été analysés selon les méthodes classiques de gemmologie :

- mesure du poids dans l'air et dans l'eau avec une balance hydrostatique à température ambiante
- observation au polariscope, pierres posées sur la table
- prise de l'indice de réfraction au réfractomètre, pierres posées sur la table
- observation au dichroscope
- passage sous la lampe à U.V.C. et U.V.L.
- observation avec un spectroscope à main
- observation à la loupe et à la binoculaire

## 2.B b) Méthodes de laboratoire

· Les analyses de laboratoire ont premièrement consisté à travailler avec un microscope électronique à balayage (M.E.B.) pour l'analyse chimique.

Principe : Les échantillons sont recouverts d'un film conducteur (or palladié ou carbone) et placés, sous vide, sous un flux d'électrons. Ces derniers pénètrent une très faible épaisseur de matière (quelques  $\mu\text{m}$ ) en perturbant la structure électronique et provoquent l'émission d'électrons, de photons et de rayons X. Ces derniers permettent l'analyse chimique de la surface.

Appareil et condition : Les mesures ont été réalisées avec le M.E.B. (JEOL5800) du centre de microcaractérisation de l'Université de Nantes.

Les conditions de pratique sont les mêmes pour les 8 échantillons : placement sous vide d'air, temps d'acquisition de 100 secondes de 0 à 10 keV. Les réglages de l'appareil sont identiques à chaque mesure (accelerating voltage : 20 keV ; take off angle : 37 degrés).

Il faut aussi s'assurer lors de la mise en place que l'échantillon est bien placé perpendiculairement au faisceau d'électrons pour garantir une bonne mesure.

· Ensuite, les échantillons ont été analysés en spectrométrie d'absorption U.V. – Visible pour comprendre les causes de la couleur.

Les mesures ont été réalisées avec un spectromètre Unicam UV4.

Le domaine spectral va de 325 nm à 800 nm (longueurs d'onde de la fin du domaine ultra violet jusqu'à la fin du domaine visible).

La vitesse d'acquisition est de 120 nm/s avec une bande passante spectrale de 1,0 nm et un pas d'échantillonnage de 1nm.

Pour la réalisation des mesures, il a été nécessaire de tailler des colettes aux échantillons afin d'obtenir une face parallèle à la table, pour la bonne transmission du faisceau d'analyse.

### 3. Résultats:

#### 3.A Résultats de la gemmologie classique

Les résultats sont synthétisés dans le tableau 2.

Echantillon	Poids (ct)	Densité	Polariscope	Ind. de réfraction	Biréfringence $\Delta n$	Pléochroïsme
rubDD02	1,45	2,96	extinction ¼ tour	1,620 1,639	-0,019	net
rubDD03	3,00	3,06	extinction ¼ tour	1,623 1,640	-0,017	net
rubDD04	0,51	3,00	extinction onduleuse	1,620 1,639	-0,019	très faible
rubDD05	0,54	3,00	extinction onduleuse	1,618 1,639	-0,021	très faible
rubDD06	1,13	2,97	extinction onduleuse	1,619 1,640	-0,021	très faible
rubDD07	1,09	3,03	extinction onduleuse	1,628 1,645	-0,017	très faible
rubDD08	0,65	3,10	extinction onduleuse	1,619 1,640	-0,021	faible
rubDD09	0,41	2,93	extinction ¼ tour	1,625 1,640	-0,015	faible

Tab.2 Synthèse des résultats de gemmologie classique

· Lorsque les échantillons ont un poids inférieur au carat les mesures de densité doivent être considérées avec une incertitude de  $\pm 0,1$ .

- Les extinctions onduleuses sont certainement dues au fait que la table soit perpendiculaire à l'axe de croissance  $c$ . Cette idée est renforcée par l'invariabilité de  $n_e$  dans ce cas.

- Tous les échantillons sont inertes aux U.V.C. et U.V.L.

- Lors de l'observation au spectroscope à main tous les échantillons présentent une large absorption dans le vert.

Les pierres rubDD06 et rubDD07 absorbent totalement le vert avec un léger débordement sur le jaune ainsi que sur le bleu pour la deuxième.

Les pierres rubDD03 et rubDD09 présentent une fine bande d'absorption dans le bleu.

On ne retrouve chez aucun échantillon le spectre idéal d'une elbaïte rouge (Fig.3).

- En regardant les spécimens à la loupe, puis à la binoculaire, j'ai pu confirmer que les tourmalines rouges sont des pierres très incluses (Dietrich, 1985), à l'exception de rubDD03 qui est vraiment très propre.

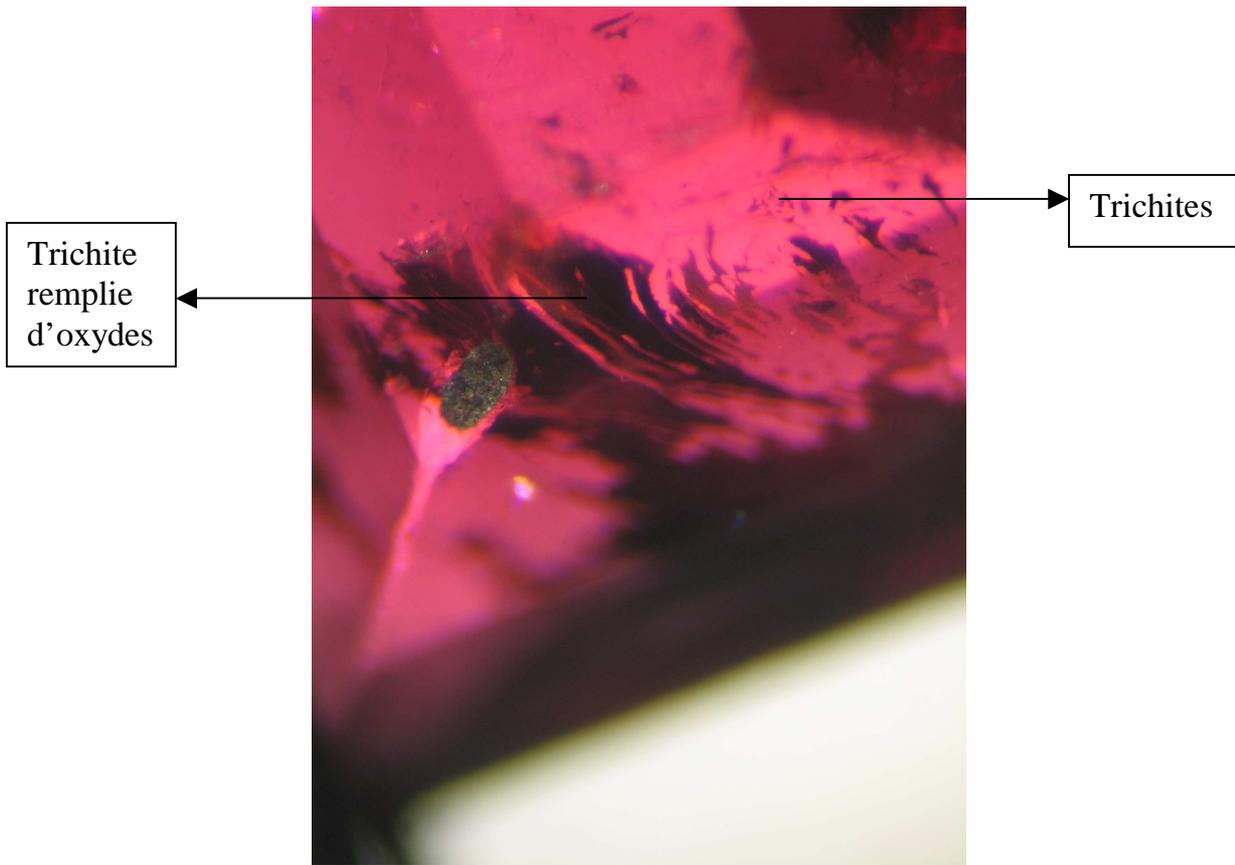


Fig.12 rubDD09 x40

On retrouve donc notamment les « trichites » (Fig.12). Ce sont des inclusions biphasées caractéristiques des tourmalines qui mettent en évidence la genèse hydrothermale (Gübelin et Koivula, 1986).

Chevron

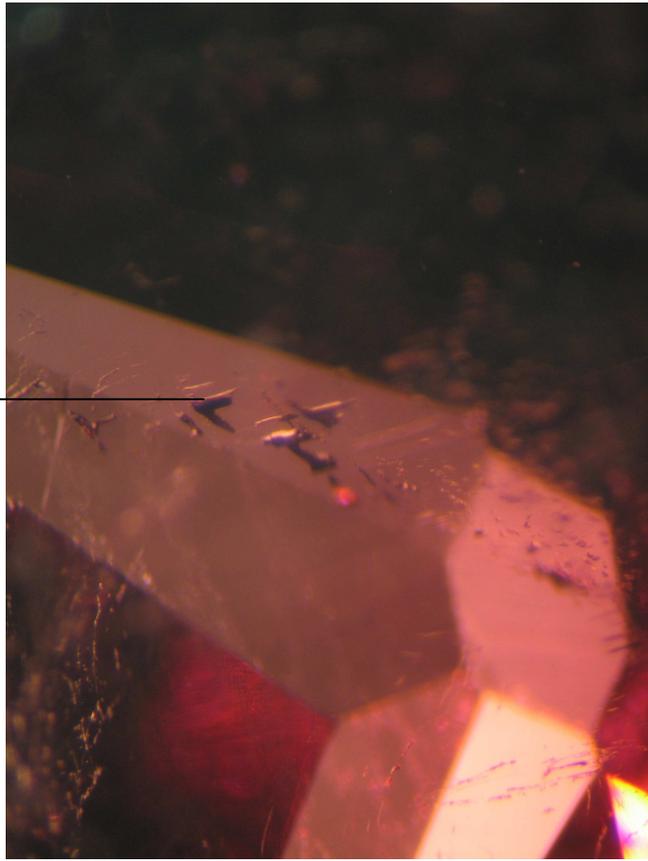


Fig.13 rubDD02 x32

Des lacunes de croissance en forme de chevrons (Fig.13) ou parfois de trigons peuvent être observées. Elles mettent en évidence la symétrie triangulaire des tourmalines (Gübelin et Koivula, 1986).

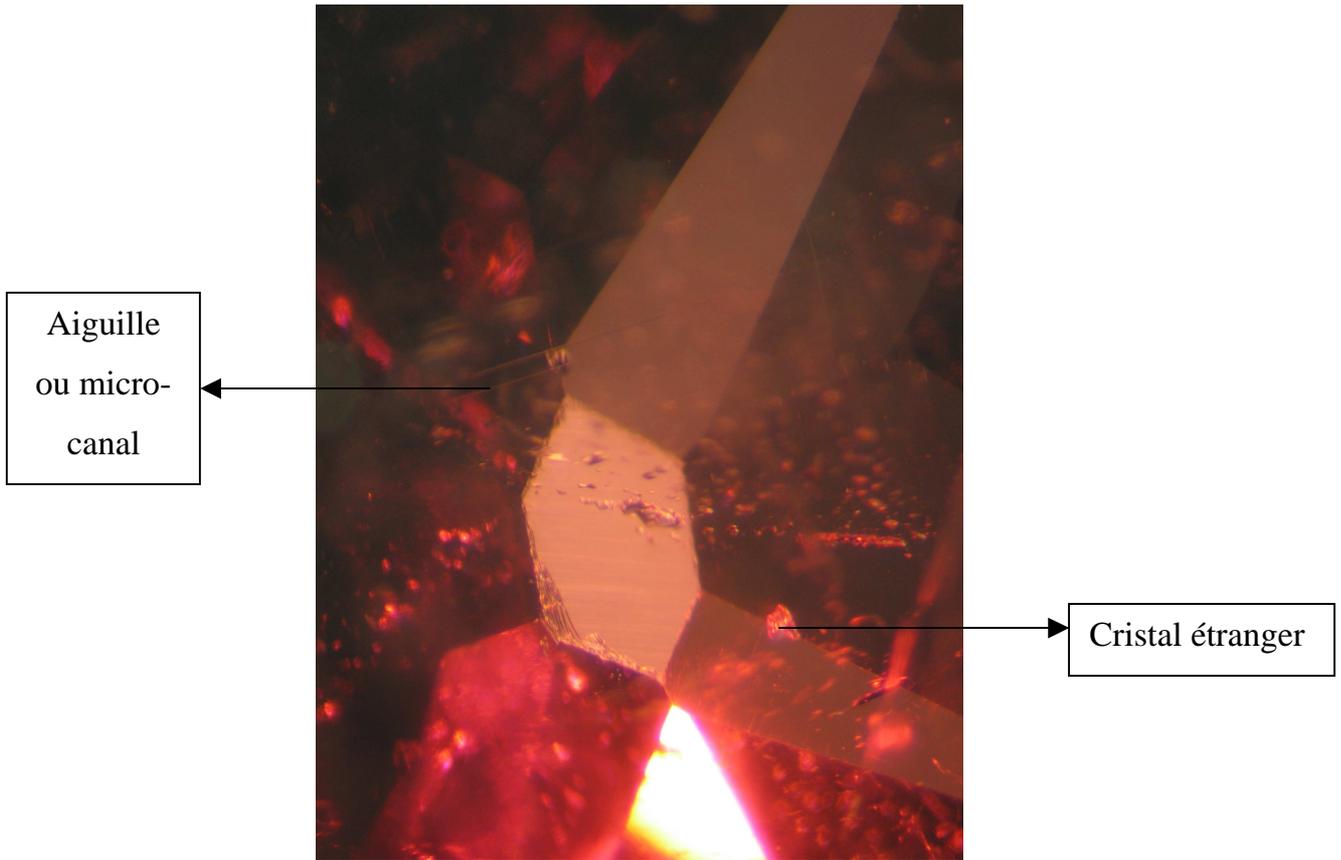


Fig.14 rubDD02 x32

D'autres inclusions sous forme d'aiguilles ou de micro-canaux, de cristaux étrangers sont aussi fréquemment présentes (Fig.14).

Plan de  
décollement

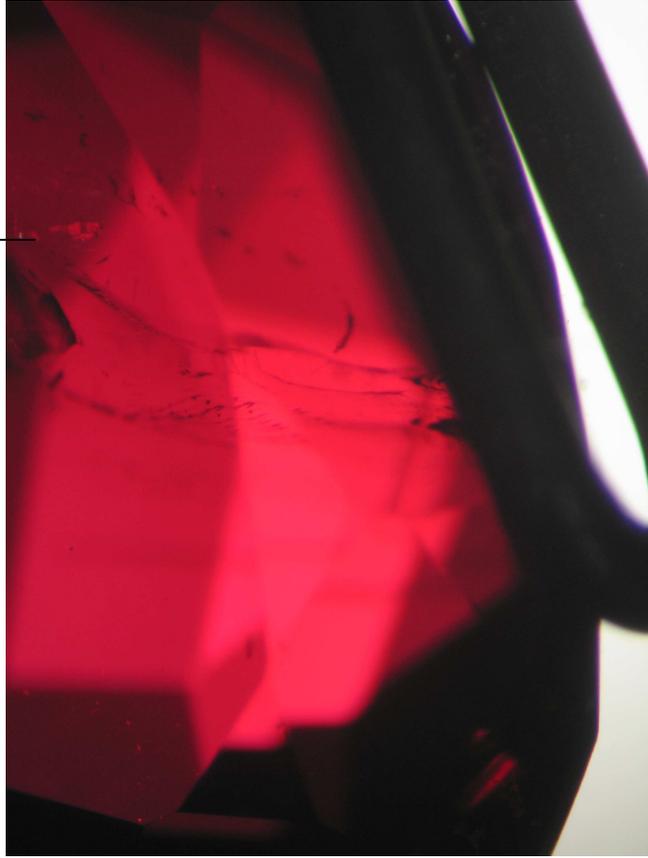


Fig.15 rubDD07 x23

On trouve aussi habituellement des fractures et parfois des plans de décollement à l'aspect rubané (Fig.15).

### 3.B Analyses de laboratoire

#### 3.B a) M.E.B. :

Composition chimique (% oxyde)	rubDD02	rubDD03	rubDD04	rubDD05	rubDD06	rubDD07	rubDD08	rubDD09
Na <sub>2</sub> O	1,78	0,59	1,02	1,36	1,64	1,50	2,04	0,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39,96	39,19	38,49	42,84	41,97	39,04	43,44	39,77
SiO <sub>2</sub>	37,56	38,03	33,78	37,67	40,11	33,07	39,02	38,51
CaO	0,14	4,21	0,04	0,03	0,97	0,32	0,52	3,64
MnO	1,02	0,30	1,01	0,28	1,36	0,26	1,08	1,15
FeO	0,00	0,10	0,00	0,00	---	---	---	---
K <sub>2</sub> O	---	0,07	0,19	0,23	---	---	---	---
MgO	0,08	0,10	0,00	0,02	---	---	---	---
ZnO	---	---	0,00	0,16	---	---	---	---
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	---	0,00	0,07	---	---	---	---
<b>Total</b>	80,54	82,59	74,53	83,19	86,05	74,19	86,10	84,05

Tab.3 Résultats M.E.B. en % oxyde

Les éléments légers comme l'hydrogène (n° atomique 1), le lithium (n° atomique 3) et le bore (n° atomique 5), qui entrent dans la composition chimique des tourmalines, ne sont pas mesurables au M.E.B. Le fluor (n° atomique 9) n'apparaît pas non plus dans les résultats, certainement par sa faible concentration dans les échantillons. Les totaux ne bouclent donc pas à 100 % (Tab.3).

Composition chimique (% atomique)	rubDD02	rubDD03	rubDD04	rubDD05	rubDD06	rubDD07	RubDD08	rubDD09
Na	1,45	0,41	0,90	1,08	1,26	1,32	1,55	0,78
Al	19,80	16,44	20,63	20,56	19,54	20,94	20,16	19,11
Si	15,79	13,54	15,36	15,34	15,85	15,05	15,37	15,69
Ca	0,06	1,61	0,02	0,01	0,41	0,16	0,22	1,59
Mn	0,36	0,09	0,39	0,28	0,45	0,10	0,36	0,40
Fe	0,00	0,03	0,00	0,00	---	---	---	---
K	---	0,03	0,11	0,12	---	---	---	---
Mg	0,05	0,05	0,00	0,01	---	---	---	---
Zn	---	0,00	0,00	0,05	---	---	---	---
Cr	---	0,00	0,00	0,02	---	---	---	---
O	62,47	67,78	62,58	62,52	62,49	62,43	62,34	62,43
<b>Total</b>	≈100	≈100	≈100	≈100	100	100	100	100

Tab.4 Résultats M.E.B. en % atomique

Les faibles teneurs en fer (Fe), manganèse (Mg) et chrome (Cr) ainsi que la proportion importante d'aluminium (Al) (Tab.4) orientent vers deux espèces, l'elbaïte et la liddicoatite (Mandarino,1999).

Pour différencier ces deux dernières il faut regarder le rapport Ca/Na. Si  $Ca/Na < 1$  il s'agit d'une elbaïte (Fig.16), si  $Ca/Na > 1$  il s'agit donc d'une liddicoatite (Fig.17).

Les échantillons se répartissent finalement de la façon suivante :

Elbaïte : rubDD02, rubDD04, rubDD05, rubDD06, rubDD07 et rubDD08

Liddicoatite : rubDD03 et rubDD09

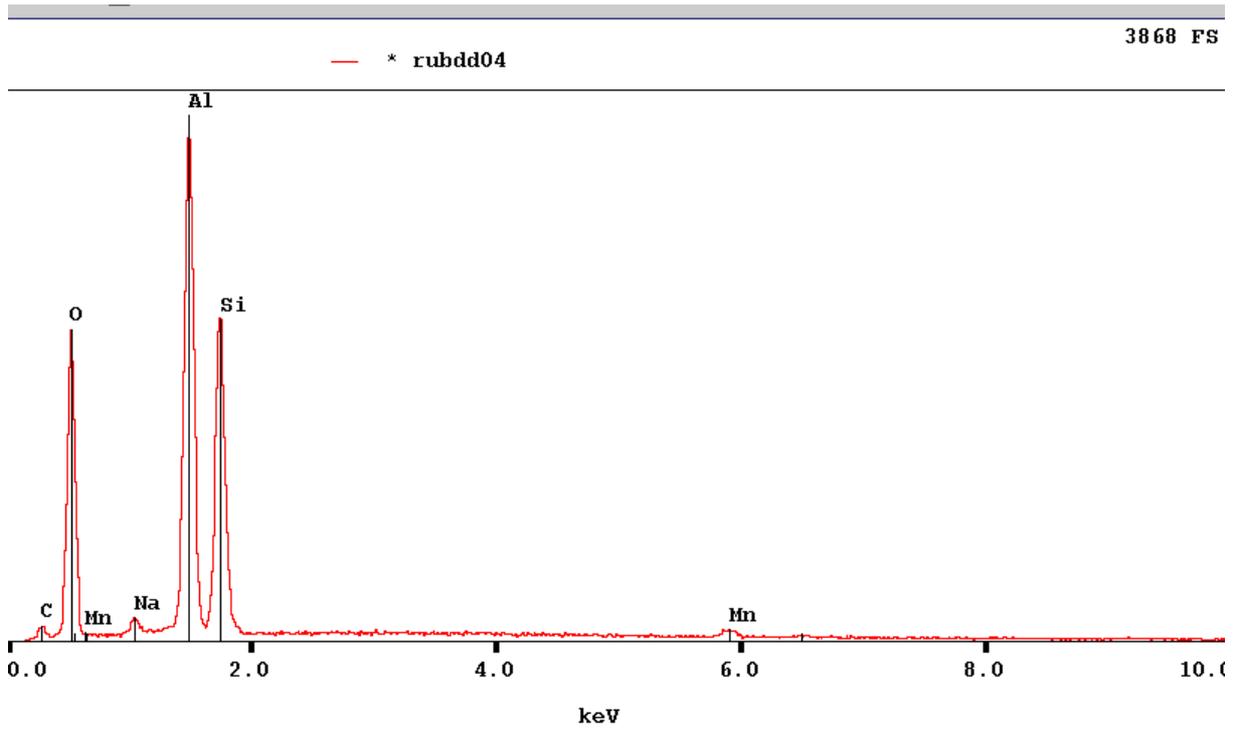


Fig.16 Spectre en dispersion d'énergie de rubDD04 (échelle linéaire)

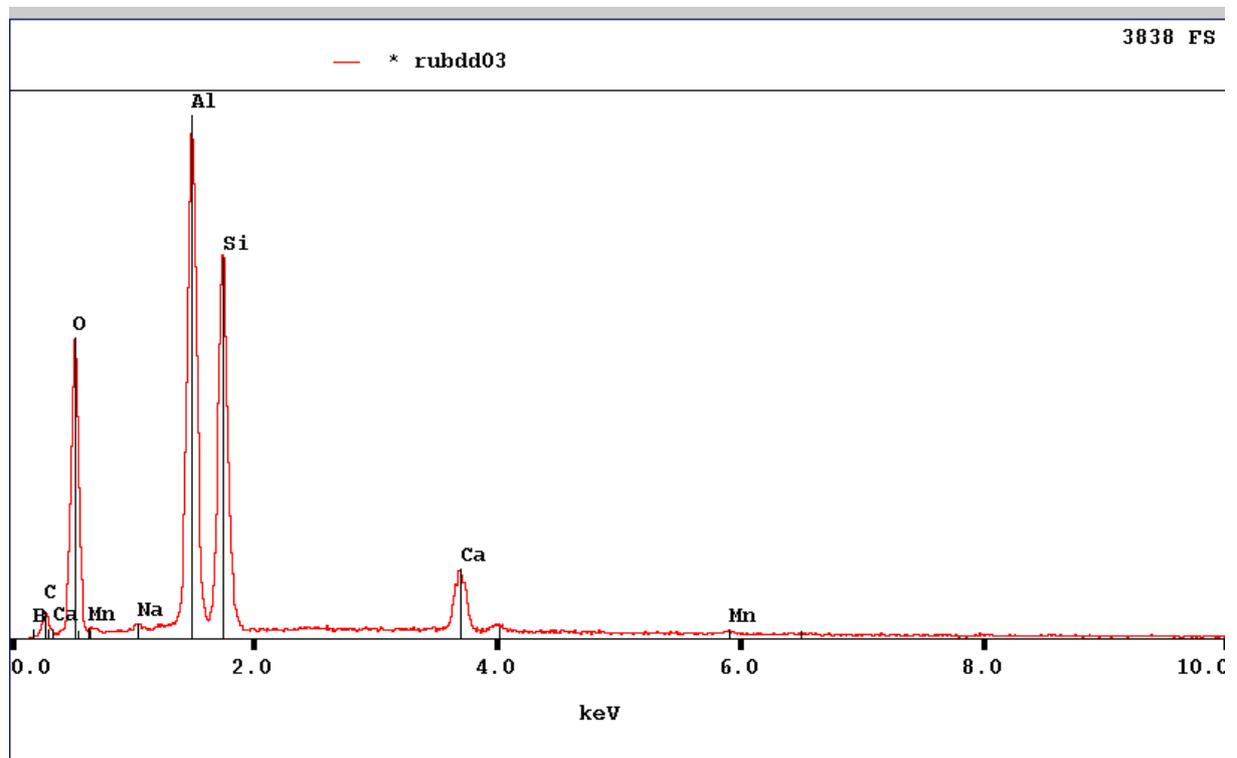


Fig.17 Spectre en dispersion d'énergie de rubDD03 (échelle linéaire)

### 3.B b) Spectrométrie d'absorption U.V.-Visible

Les pierres ont été placées de telle façon que le faisceau entre par la table et sorte par la colette. L'épaisseur des pierres est variable (voir 2.A a) ).

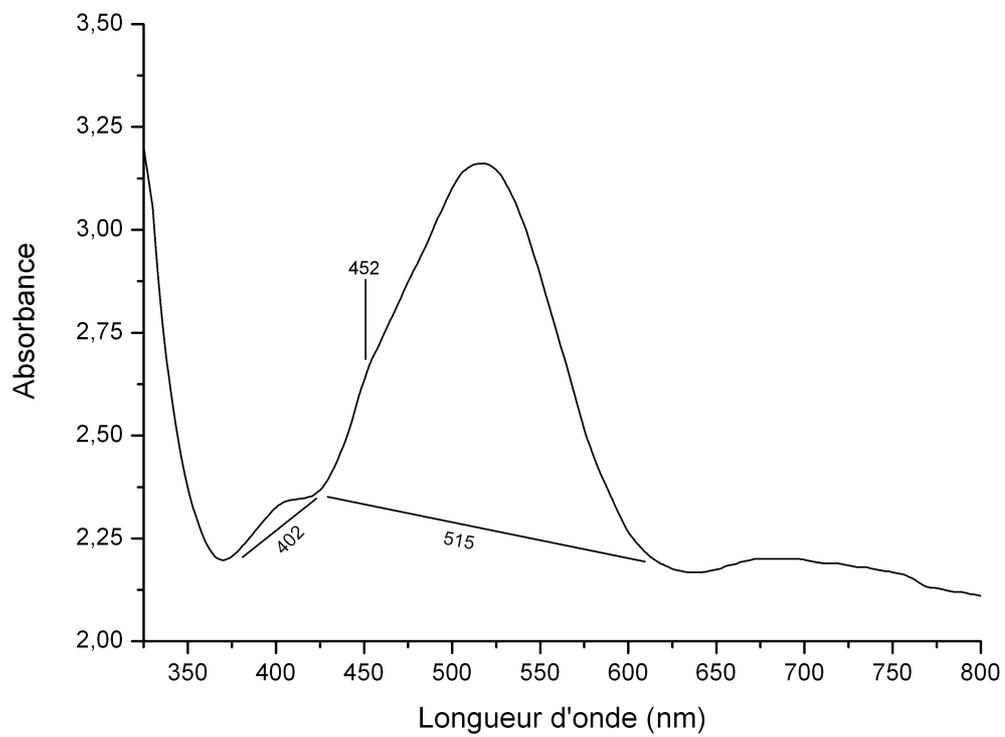


Fig.18 Spectre de rubDD02 (elbaïte)

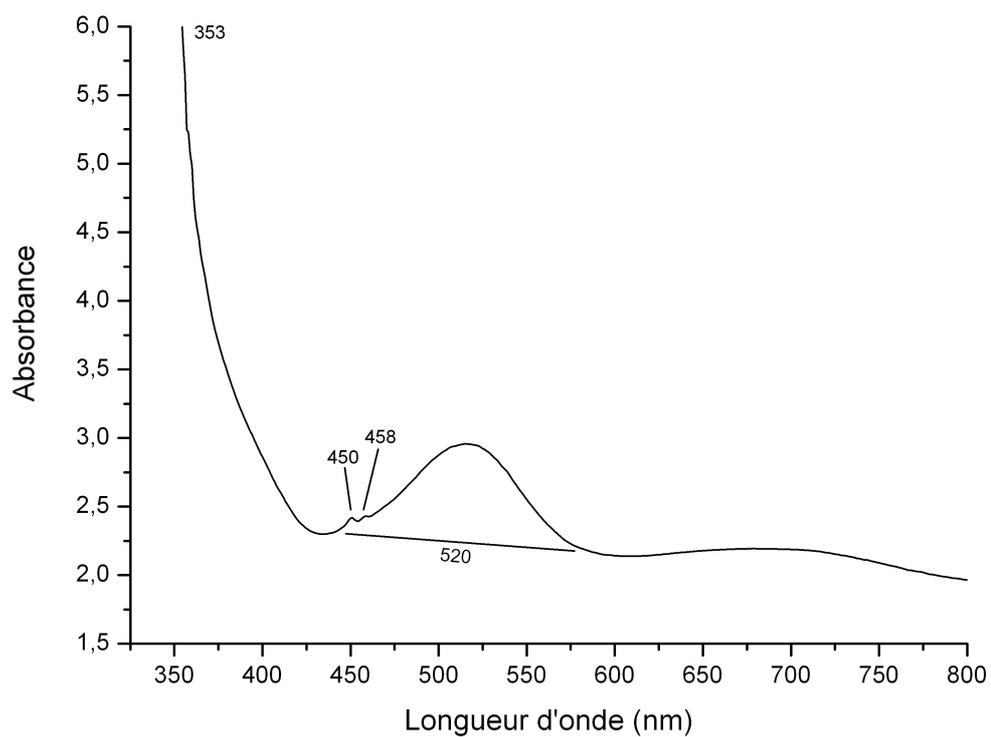


Fig.19 Spectre de rubDD03 (liddicoatite)

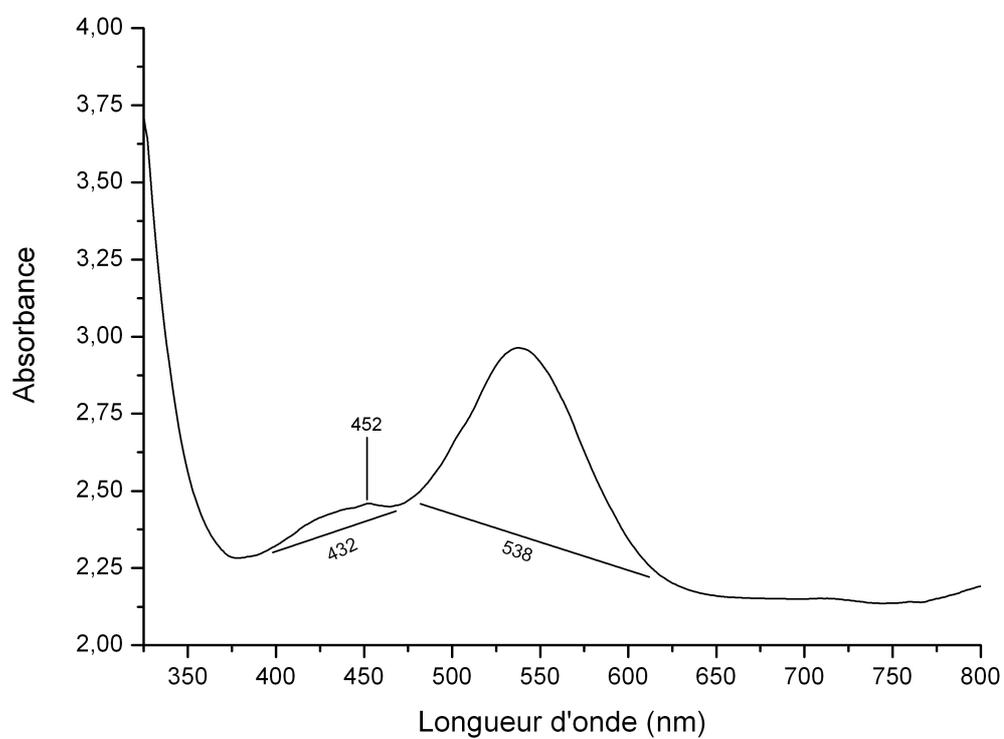


Fig.20 Spectre de rubDD04 (elbaïte)

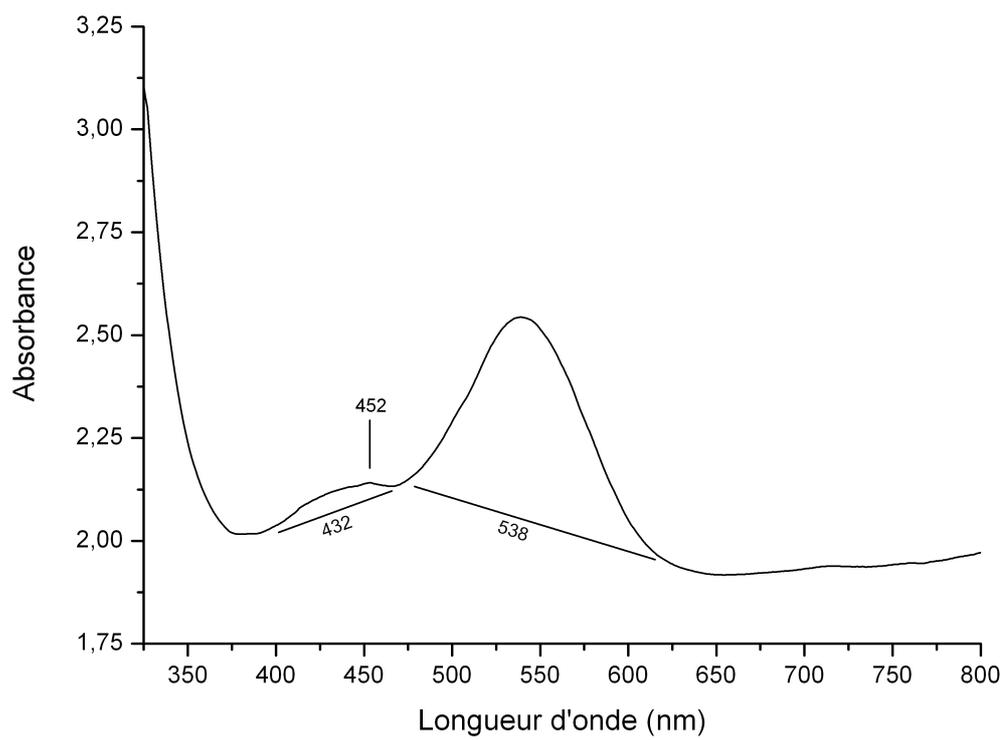


Fig.21 Spectre de rubDD05 (elbaïte)

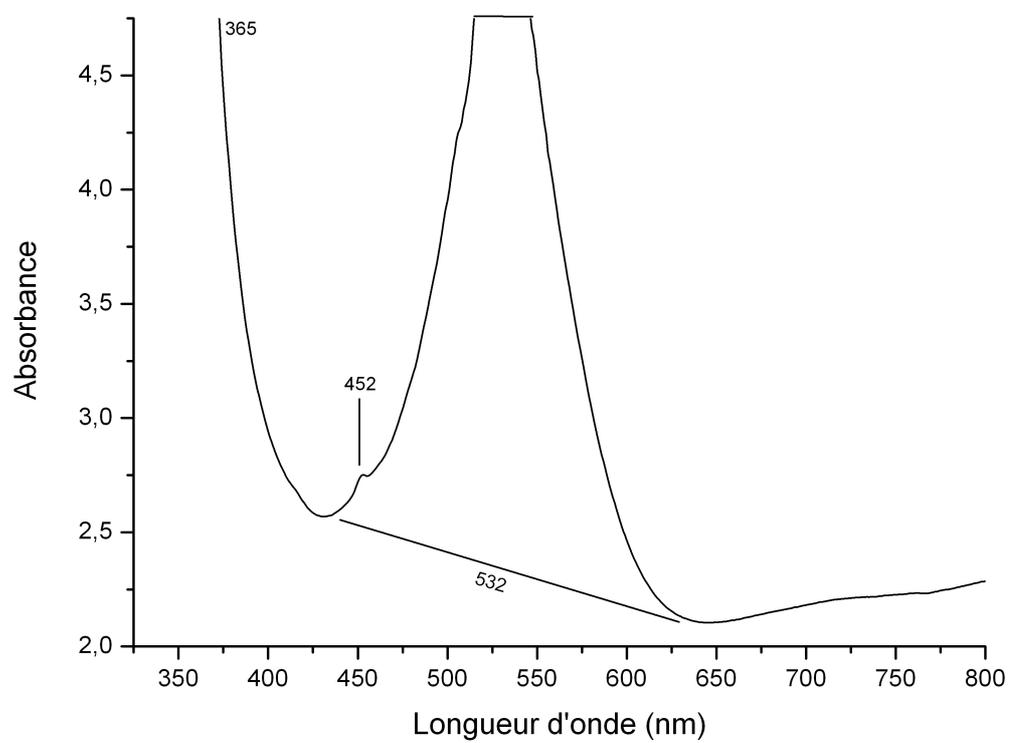


Fig.22 Spectre de rubDD06 (elbaïte)

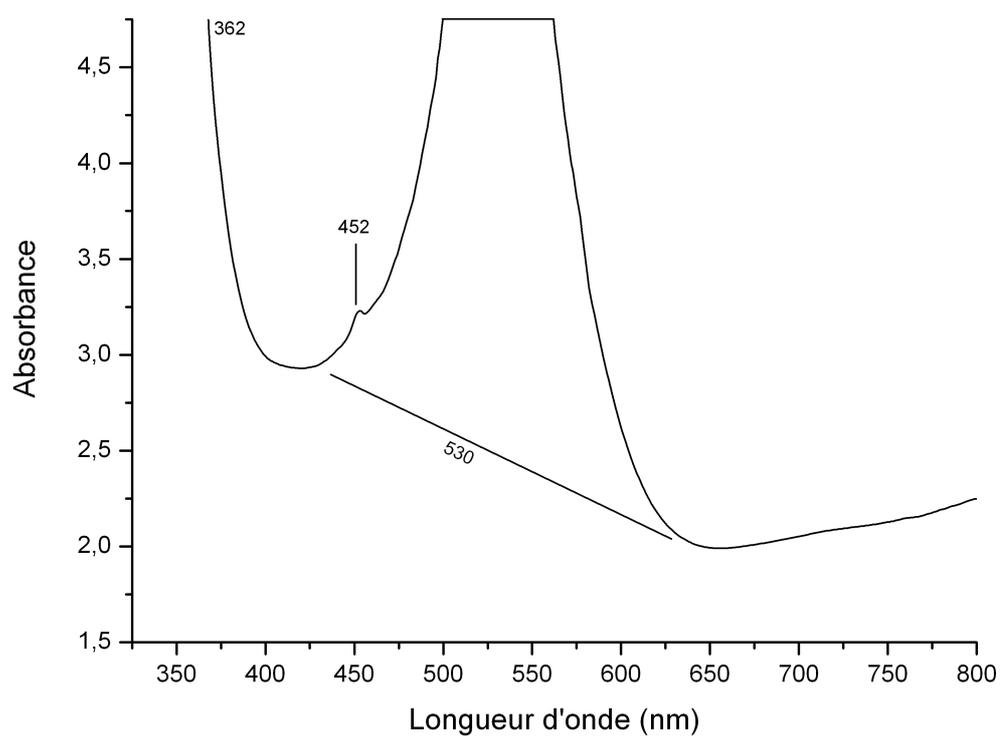


Fig.23 Spectre de rubDD07 (elbaïte)

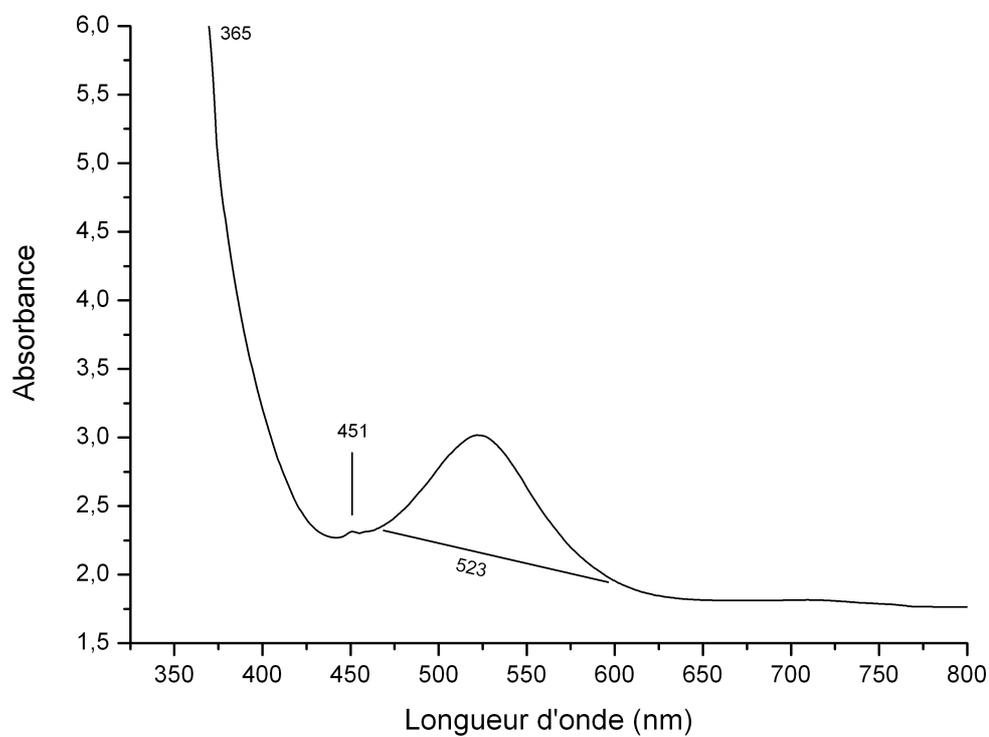


Fig.24 Spectre de rubDD08 (elbaïte)

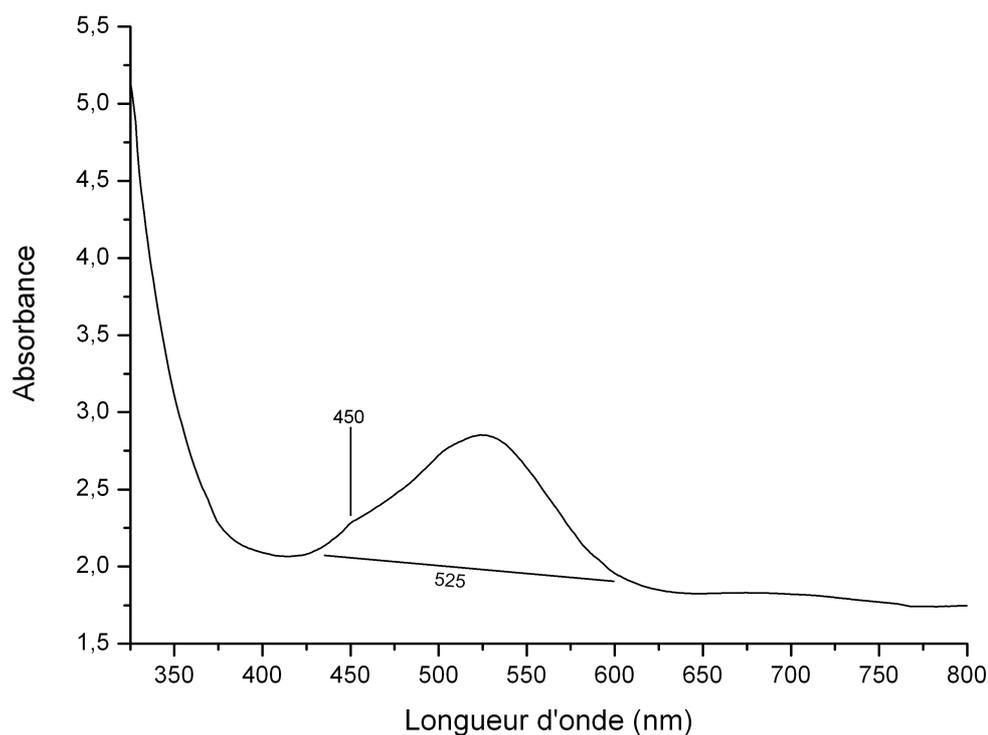


Fig.25 Spectre de rubDD09 (liddicoatite)

La première constatation est l'aspect remarquablement proche des spectres, quelle que soit l'espèce.

Tous les spectres présentent une absorption large centrée entre 515 nm (Fig.18) et 538 nm (Fig. 20 et 21) ainsi qu'un pic ou un épaulement autour de 452 nm due à  $Mn^{3+}$ . L'échantillon rubDD03 (Fig. 19) montre en plus un pic à 458 nm dû lui aussi à  $Mn^{3+}$ . Cette pierre a certainement subi une irradiation importante (Reinitz et Rossman, 1988). Les échantillons rubDD06 et rubDD07 (Fig. 22 et 23) sont probablement dans le même cas avec une absorption totale dans la bande large et un épaulement bien marqué à 452 nm. Ces deux pierres sont les spécimens les plus rouges.

Les couleurs de rubDD04 et rubDD05 sont très proches, leurs spectres sont quasi identiques (Fig. 20 et 21). Ils présentent une bande large autour de 432 nm peut-être due à un transfert de charge  $Fe^{2+} - Ti^{4+}$  (Rossman, 2007).

## **Conclusion**

Les résultats obtenus avec la gemmologie classique permettent de caractériser avec certitude la « famille tourmaline » mais ne permettent pas d'identifier l'espèce pour chaque échantillon. Néanmoins, la fine bande d'absorption dans le bleu observée au spectroscope à main sur les deux liddicoatites n'est certes pas déterminante au regard des autres mesures et observations mais constitue une bonne présomption sur l'espèce. Les elbaïtes ne sont pas spécialement reconnaissables car elles ne présentent ni spectre caractéristique ni fluorescence particulière.

L'utilisation des techniques de laboratoire s'est donc révélée indispensable pour trouver l'espèce (M.E.B.) et se rendre compte que les trois quarts des échantillons, collectés de manière aléatoire, sont des elbaïtes. Cependant, il faudrait connaître la proportion exacte entre Ca, Na et site X lacunaire pour mettre éventuellement en évidence la rossmanite.

La spectrométrie d'absorption en U.V.-Visible a permis de comprendre que l'origine de la couleur pour tous les échantillons est liée à la présence de l'ion  $Mn^{3+}$ . La position des pics varie car les spectres ont été acquis sans orienter la pierre au préalable et les absorptions sont dues à des transitions électroniques.

## **Bibliographie**

Bariand P., Poirot J.-P. (1998). Larousse des pierres précieuses. Larousse Bordas, Paris, p.255-261.

Cassedanne J., Le Cléac'h J.-M., Lebrun P. (1996). Tourmalines. Hors Série Minéraux et Fossiles, 75 pages.

Cipriani N. (1996). Minéraux et roches. Librairie Gründ, Paris, 167 pages.

Dietrich R. V. (1985). The tourmaline group. Van Nostrand Reinholdt, 300 pages.

Douillard T. (2003). Les tourmalines du mont Ibity (Madagascar). Mémoire de Diplôme d'Université de Gemmologie, Université de Nantes, France, 44 pages.

Fritsch E. (1994). Gemstones In : Fluorescence – gems and minerals under ultraviolet light. M. Robbins ed., Geoscience Press Inc., Phoenix, 374 pages.

Fritsch E., Rossman G. R. (2001). L'origine de la couleur dans les gemmes. Revue de gemmologie AFG, Vol.140, p.36-43.

Gübelin E. J., Koivula J. I. (1986). Photoatlas of inclusions in gemstones. ABC Edition, p.395-401.

Gübelin E. J., Koivula J. I. (2005). Photoatlas of inclusions in gemstones vol.2. Opinio publishers, p.763-784.

Hawthorne F. C., Henry D. (1999). Classification of the minerals of the tourmaline group. European Journal of Mineralogy, vol.11, p.201-215.

Henn U. (2001). Rote Tourmaline aus Nigeria. *Gemmologie*, Jahrgang 50, Heft 4, p.225-228.

Henry D. Tourmaline Today.

[www.geol.lsu.edu/henry/Research/tourmaline/TourmalineToday.html](http://www.geol.lsu.edu/henry/Research/tourmaline/TourmalineToday.html) , 01/09/2007

Koivula J. I., Fryer C. W. (1985). Interesting red tourmaline from Zambia. *Gems and Gemmology*, Vol.21, p.40-42.

Mandarino J. A. (1999). Fleischer's glossary of mineral species 1999, eight edition. The mineralogical record Inc., Tucson, p.220-221.

Nassau K. (1984). Gemstone enhancement. Butterworths. p.167.

Reinitz I. M., Rossman G. R. (1988). Role of natural radiation in tourmaline coloration. *American Mineralogist*, Vol. 73, p.822-825.

Rossman G. R. The mineral spectroscopy server

<http://minerals.caltech.edu/FILES/Visible/tourmaline/index.htm> ,18/11/2007

Schumann W. (2000). Guide des pierres précieuses. Delachaux et Niestlé S.A. 280 pages.

## **Remerciements**

Je tiens à remercier :

Le Professeur Emmanuel Fritsch pour ses encouragements à achever ce travail,

M. Aurélien Delaunay et M. Stefanos Karampelas, amis depuis le D.U.G., pour leurs précieux coups de main,

Cartier, la maison Joz-Roland et M. Denis Gravier pour les échantillons,

M. Lionel Clipet et M. Frédéric Moutier, amis depuis le D.U.G., pour leur soif inextinguible... de connaissance et de partage.