

LGM

LABORATOIRE DE
GEMMOLOGIE DE
MARSEILLE



Etude gemmologique de grenats pyrope-spessartite et rhodolite de Madagascar

Projet de diplôme FGA 2017

Alice CHAUVIN

Table des matières

1	INTRODUCTION	3
2	CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES DES GRENATS	4
2.1	COMPOSITION ET CLASSIFICATION	4
2.2	GITOLOGIE	5
3	GEOLOGIE DE MADAGASCAR	6
4	METHODOLOGIE DE CARACTERISATION DES ECHANTILLONS.....	7
4.1	DEMARCHE ADOPTEE	7
4.2	TESTS EFFECTUES.....	7
5	RESULTATS	10
5.1	PYROPE-SPESSARTITE	10
5.2	GRENAT RHODOLITE.....	13
6	ETUDE DE VALORISATION DES ECHANTILLONS	16
6.1	VALEUR MARCHANDE	16
6.2	COMMERCIALISATION.....	17
7	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	19
8	REFERENCES	20

1 INTRODUCTION

Ce mémoire synthétise des études effectuées dans le cadre de mon projet de formation FGA sur des grenats pyrope-spessartite et rhodolite de Madagascar. En 2017, un négociant en gemmes a proposé à la vente différentes pierres malgaches au Laboratoire de Gemmologie de Marseille (LGM). Dans ce lot se trouvaient différents grenats, dont des pyrope-spessartite et rhodolite.

Du point de vue gemmologique, si de nombreuses études font références aux grenats malgaches en général (*Lacroix 1922*) ou de récentes découvertes de grenats andradite-démantoïde (*Rondeau et al. 2009*), à notre connaissance peu d'éléments sont disponibles sur les grenats pyrope-spessartite et rhodolite de Madagascar. Il semble donc intéressant de proposer quelques éléments nouveaux sur ce sujet. L'intérêt du LGM pour ces grenats a motivé une étude détaillée de leur gemmologie ainsi que de leur potentiel de valorisation et de commercialisation.

Mon travail d'étudiante s'inscrit dans ce cadre. Ce document présente tout d'abord les principales caractéristiques des grenats, leur géologie associée. Puis il introduit les pyrope-spessartite et rhodolite étudiés (section 1). Ensuite, le contexte géologique de Madagascar est défini en section 2. La méthodologie de caractérisation de nos échantillons est détaillée, des éléments concernant les appareils utilisés sont proposés (section 4), ce qui permet en section 5 de présenter les résultats obtenus. Enfin, en section 6, nous présentons la valeur marchande de ces pierres et nous proposons un moyen de valorisation sous la forme d'un bijou.

2 CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES DES GRENATS

2.1 COMPOSITION ET CLASSIFICATION

De nombreux éléments concernant les grenats sont fournis dans (*Johnsen 2000*), nous en donnons ici certains. Tout d'abord, les grenats sont des minéraux silicates, très répandus, en particulier dans des roches de type métamorphique (ex. micaschistes à grenats almandins de La Garde (83)- figure 2-1).



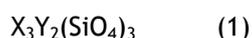
Figure 2-1 : grenats almandins (5-6 mm) sur micaschiste de La Garde (83) – prospection personnelle

L'identification des grenats est généralement simple car ils présentent souvent un habitus de dodécaèdre rhombique ou d'icositétraèdre caractéristique, organisé à partir du système cristallin cubique (cf. figure. 2-2).



Figure 2-2 : habitus fréquent des grenats – cours FGA 2017 (©LGM)

Cependant, ils sont difficiles à distinguer les uns des autres puisqu'ils présentent une grande diversité de caractéristiques chimiques, autour de la composition générale suivante :



Dans la formule (1), on reconnaît le groupement silicate SiO_4 autour duquel s'organise un grenat. Les termes notés X et Y sont en revanche variables. On distingue deux séries isomorphes de grenats selon les éléments atomiques qui constituent X ou Y.

Première série : **pyralspite**

X = Mg, Fe, Mn

Y = toujours Al

Familles :

Pyrope: $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Almandin: $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Spessartite: $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Deuxième série : **ugrandite**

X = toujours Ca

Y = Al, Fe

Grossulaire: $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Andradite: $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$

Uvarovite: $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$

Souvent, leur composition chimique n'est pas exactement attribuable à une seule famille et ils se situent alors entre deux d'entre elles. C'est le cas de nos échantillons de grenats pyrope-spessartite. Quelque fois, on attribue un nom spécifique à ces mélanges de famille, par exemple rhodolite, qui est un mélange de pyrope et d'almandin.

2.2 GITOLOGIE

Série **pyralspite** :

Le pyrope provient de roches ultrabasiques comme la péridotite ou la serpentinite (roches ignées) ainsi que de roches à forte teneur en magnésium et métamorphiques. De plus, la spessartite est un minéral secondaire des roches gites du pyrope. L'almandin se trouve exclusivement au sein de roches métamorphiques (ex : micaschistes) ou sous forme d'alluvions.

Série **ugrandite** :

Le grossulaire et l'andradite sont souvent associés à d'autres minéraux de skarn et à des minerais métalliques dans des zones calcaires de métamorphisme. Enfin, l'uvarovite plus rare, se trouve dans des serpentinites contenant suffisamment de chrome.

3 GEOLOGIE DE MADAGASCAR

L'histoire géologique de Madagascar remonte à 240 millions d'années. Elle formait alors le continent Gondwana, formé de l'Inde, l'Australie, l'Antarctique, le sud de l'Afrique et l'Amérique, qui s'est disloqué au cours du Trias. Madagascar occupe à peu près sa position actuelle au commencement du Quaternaire. Aujourd'hui elle se situe dans l'océan indien et est traversée par une chaîne de montagne dont un massif volcanique. L'histoire ancienne de l'île explique sa richesse géologique et minérale. Madagascar ainsi est formée des trois types de roches, ignées, métamorphiques et sédimentaires, sur un territoire relativement restreint d'environ 587000 km² (cf. figure 3-1).

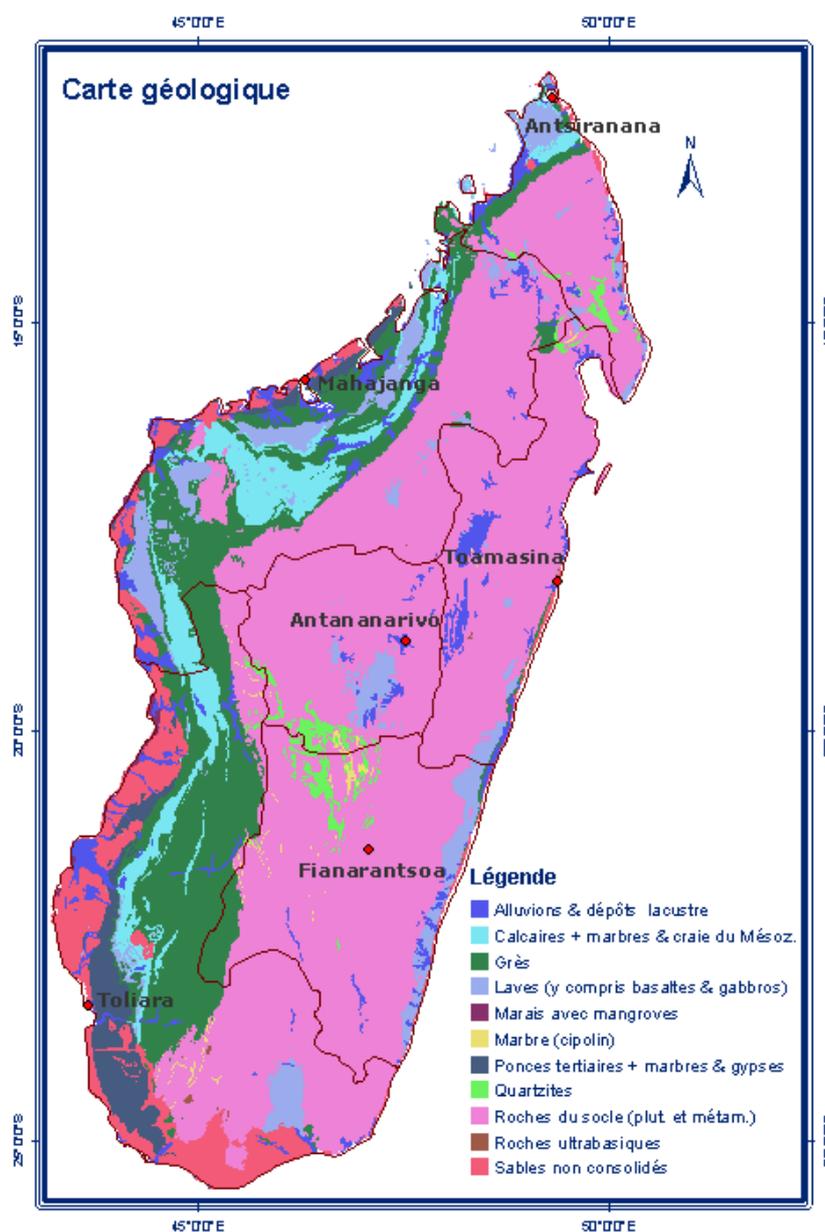


Figure 3-1 : carte géologique de Madagascar (© ARPA Sardenia)

Les pyrope-spessartite et rhodolite que nous étudions sont des grenats issus de roches ultrabasiques et métamorphiques. A Madagascar, les roches ultrabasiques occupent un territoire restreint, figuré en Marron sur la figure 3-1, tandis que les roches métamorphiques occupent l'essentiel de la superficie, en jaune sur la carte. La provenance de nos échantillons n'étant pas connue et l'espace occupé par leurs roches gîtes typiques étant vaste, il est difficile de statuer sur leur origine exacte. On peut noter qu'une étude fine de la composition chimique et des inclusions de nos échantillons pourrait permettre de préciser leur provenance (ex : par spectroscopie Raman au laser).

4 METHODOLOGIE DE CARACTERISATION DES ECHANTILLONS

4.1 DEMARCHE ADOPTEE

Pour caractériser les échantillons, aucune préparation particulière n'a été effectuée. Différents tests optiques ont été réalisés :

- Tests au réfractomètre à réflexion interne totale ;
- Tests au spectroscopie à réseau de diffraction ;
- Tests au spectroscopie électronique UV-visible.

Nous détaillons ci-dessous les tests effectués.

4.2 TESTS EFFECTUES

A - REFRACTOMETRIE

La réfractométrie permet de déterminer le ou les indices de réfraction d'une pierre. C'est un moyen de confirmer l'identification d'une pierre, puisque les indices de réfraction sont souvent caractéristiques. L'indice de réfraction est une mesure de la densité optique d'un matériau donné. Il exprime la capacité de réfraction de la lumière (déviation) d'un milieu. Pour le déterminer, nous avons utilisé un réfractomètre à réflexion interne totale comme illustré en figure 4-1. Pour ce faire, un rayon de lumière, généralement monochromatique, est transmis à l'échantillon avec un angle d'incidence connu. La réflexion des rayons lumineux au sein de l'échantillon est ensuite mesurée, elle permet de remonter à l'indice de réfraction du milieu.

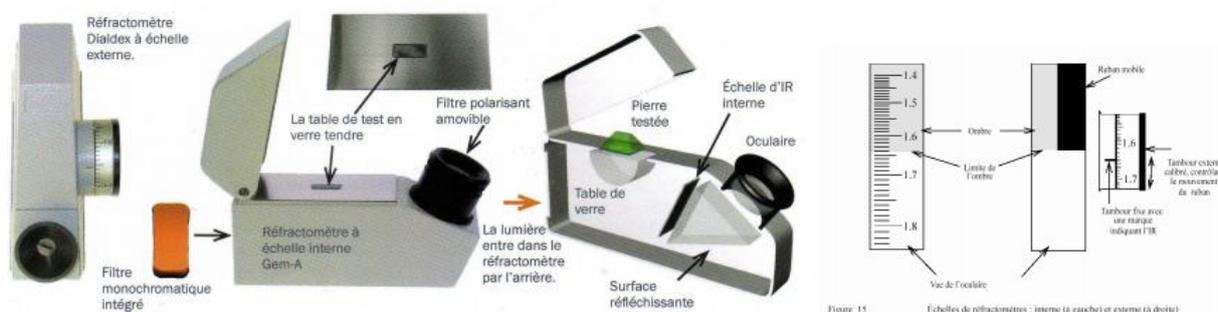


Figure 4-1 : réfractomètre à réflexion interne totale utilisé au LGM (©LGM)

B - SPECTROSCOPIE A RESEAU DE DIFFRACTION

Un spectroscope à réseau de diffraction permet de décomposer la lumière traversant une pierre en ces différentes composantes dans le visible. Par exemple, la lumière blanche se décompose dans le visible en un spectre continu allant du violet au rouge (figure 4-2).

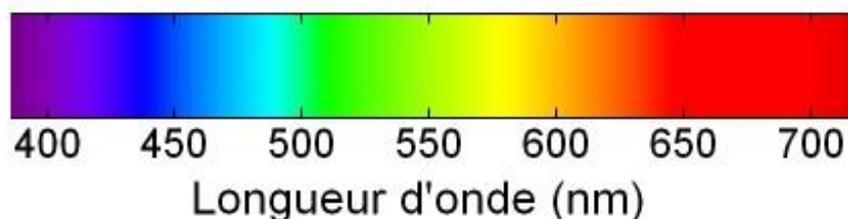


Figure 4-2 : spectre de la lumière blanche

En passant dans un échantillon, une partie de la lumière blanche est absorbée par les atomes qui le constituent. Après décomposition de cette lumière dans un spectroscope, le spectre présente des bandes noires dites d'absorption, caractéristiques de la composition chimique de la pierre. Ce type de test permet donc d'identifier une pierre si celle-ci à un spectre caractéristique.

C - SPECTROSCOPIE UV-VISIBLE

La spectroscopie UV-VIS repose sur le même principe que la méthode précédente (décomposition de la lumière passant au travers d'un échantillon). Mais elle couvre aussi les longueurs d'onde ultraviolettes (UV). De plus, elle permet de quantifier l'intensité respective de chacune des composantes de la lumière reçue et donc de donner la composition précise de la pierre, c'est-à-dire, les teneurs respectives des atomes qui la constituent. Au LGM,, cette méthode s'appuie sur l'utilisation d'un appareil électronique de marque GEMLAB (GEMLAB Research Technology Canada).

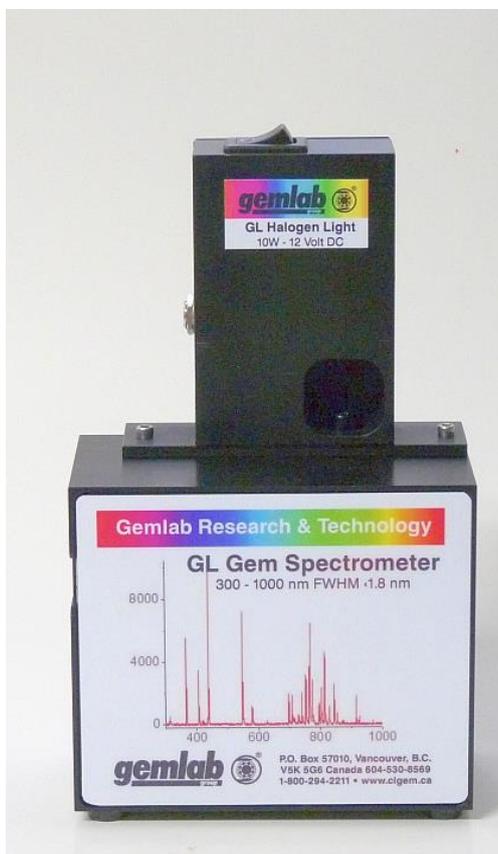


Figure 4-3 : spectromètre UV-VIS de marque GEMLAB

5 RESULTATS

Nous détaillons ci-dessous les caractéristiques des échantillons testés ainsi que les résultats obtenus.

5.1 PYROPE-SPESSARTITE

Tout d'abord, les caractéristiques des pyrope-spessartite analysés sont résumées dans le tableau 1, avec l'indice de réfraction mesuré au réfractomètre. Les grenats présentent une couleur rouge vif, plus proche de la famille pyrope dont les teintes vont du rouge feu à presque noir, tandis que celles de la spessartite vont du rouge orangé à brun (*Johnsen 2000*). L'éclat des échantillons est vitreux brillant. Leur couleur et leur éclat sont de bons atouts pour la bijouterie (figure 5-1). Par ailleurs, certaines pierres présentent quelques inclusions, visibles sur la figure 5-2, sous la forme de fines aiguilles orientées et de cristaux. On peut noter que des inclusions semblables sur des grenats pyrope-spessartite malgaches ont été reportées sur le site web www.gemmology.be. Elles sont constituées de fines aiguilles de rutile (TiO₂), visibles en figure 5-3. Les cristaux présentent un indice de réfraction de 1.765, compris dans la plage d'indices de réfraction du cours de FGA pour ce type de grenats : 1.740 à 1.800. Nous avons également effectué le test de l'aimant, les grenats y ont réagi positivement (figure 5-4).

Série isomorphe	Pyralspite
Forme	Taille rond mixte
Poids	1,61 ct
Dimensions	6x6x3.5 mm
Éclat	Vitreux brillant
Transparence	Transparent à translucide
Couleur	Rouge vif
Système cristallin	Cubique
Caractère optique	Isotrope
Signe optique	Aucun
IR	1.765
Biréfringence	Aucune
Inclusions	Fines aiguilles orientées, Cristaux (figure 5-2)
Localité	Madagascar, Nord. La localité précise n'est pas connue

Tableau 1 : caractéristiques des grenats pyrope-spessartite

Figure 5-1. Mettre photo pierre

Figure 5-2. Mettre photo inclusions

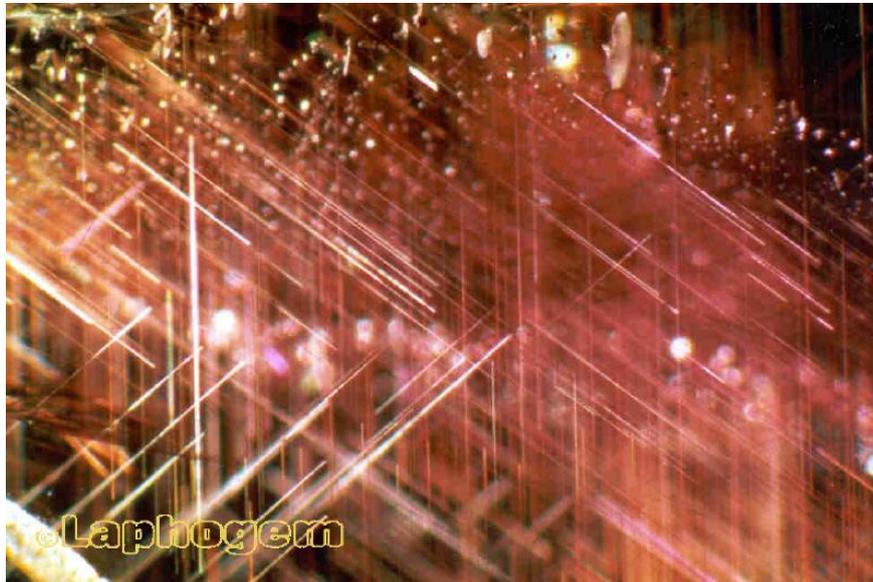


Figure 5-3 : inclusion d'aiguilles de rutile dans un pyrope-spessartite malgache
(©www.gemmology.be)



Figure 5-4 : réaction positive d'un grenat pyrope-spessartite au test de l'aimant

De plus, le spectre obtenu par réseau de diffraction est donné sur la figure 5-5. Elle montre des bandes d'absorption caractéristiques du ... Enfin, nous montrons les spectres obtenus en UV-VIS sur la figure 5-6 en absorption et en figure 5-7 en émission. (dire quelques mots sur présence atomique, faire le lien avec composition des familles pyrope-spessartite et de quelle famille l'échantillon est le plus proche. Un mot sur les inclusions ?).

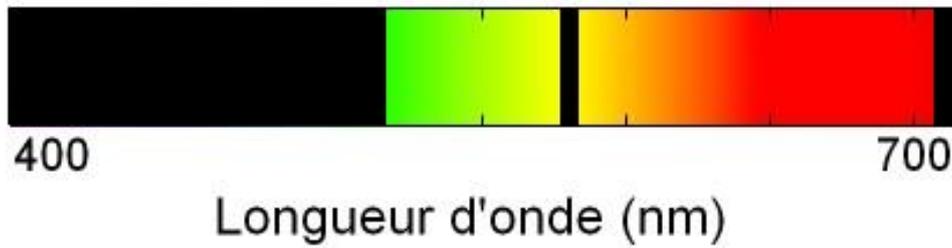


Figure 5-5 : spectre par réseau de diffraction du pyrope-spessartite

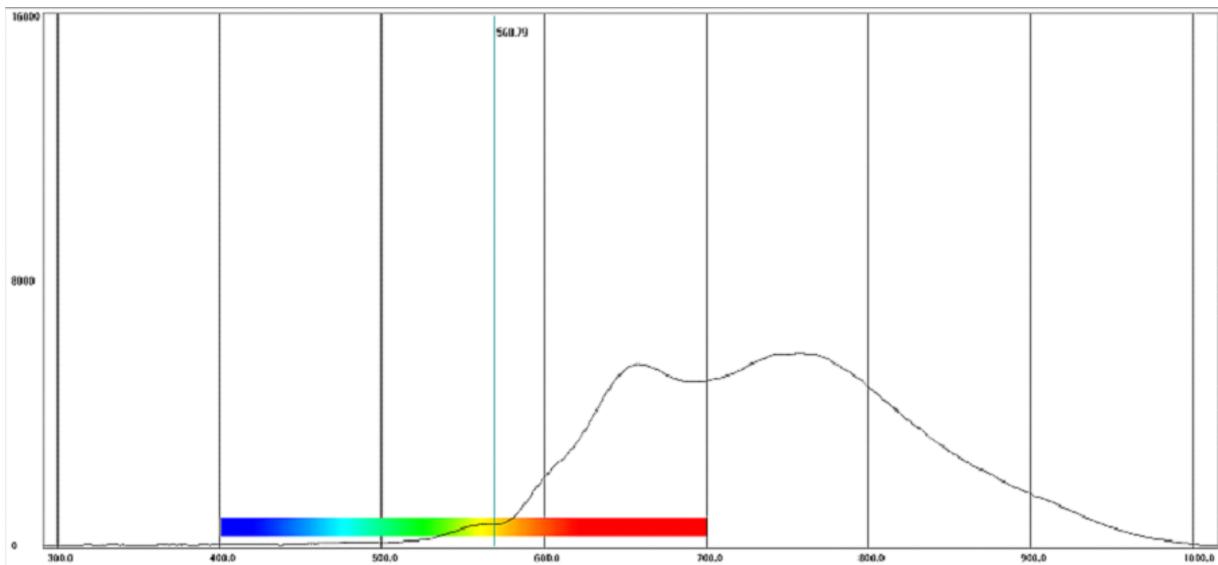


Figure 5-6 : spectre d'absorption dans le visible du pyrope-spessartite

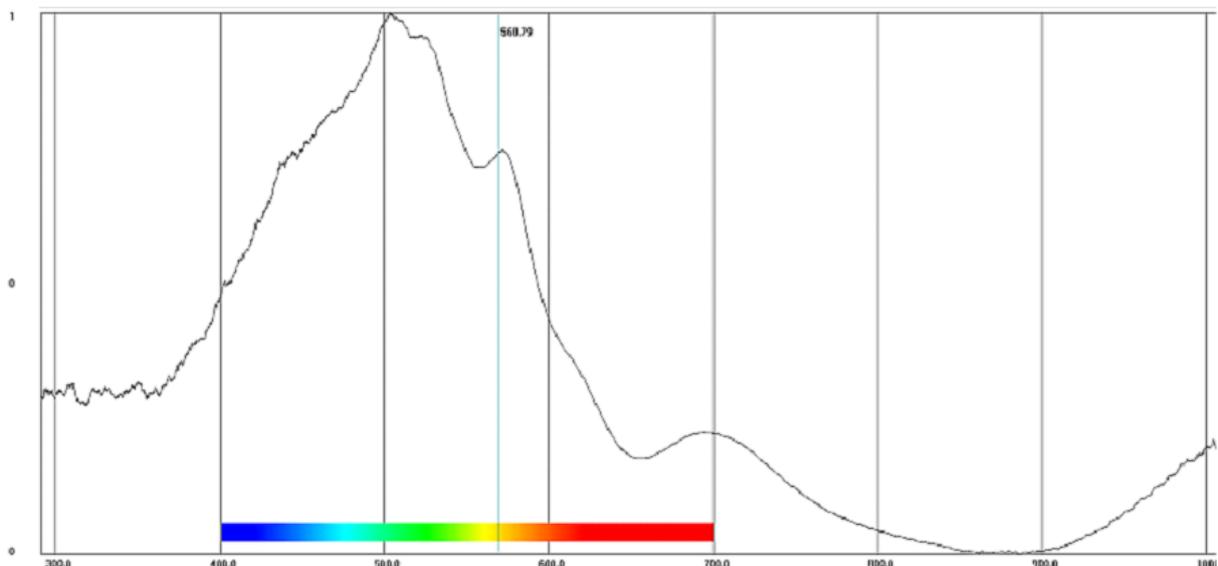


Figure 5-7 : spectre de transmission dans le visible du pyrope-spessartite

5.2 GRENAT RHODOLITE

Les caractéristiques des rhodolite analysés sont résumées dans le tableau 2, avec l'indice de réfraction mesuré au réfractomètre. Les grenats présentent une couleur rouge violacé. L'éclat des échantillons est vitreux brillant. Leur couleur et leur éclat sont aussi de bons atouts pour la bijouterie (figure 5-8). Certaines pierres présentent quelques inclusions, visibles sur la figure 5-9, sous la forme de tubes fins et de givres. La nature chimique de ces inclusions reste à définir, bien que les tubes fins laissent penser à des poches de gaz. Les cristaux présentent un indice de réfraction de 1.760, proche de la valeur donnée dans le cours de FGA pour ce type de grenats : 1.720 environ. Les grenats ont également réagi positivement au test de l'aimant (figure 5-10).

Série isomorphe	Pyralspite
Forme	Taille rond mixte
Poids	1,15 ct
Dimensions	5,8x5.8x4 mm
Éclat	Vitreux brillant
Transparence	Transparent à translucide
Couleur	Rouge violacé
Système cristallin	Cubique
Caractère optique	Isotrope
Signe optique	Aucun
IR	1.76
Biréfringence	Aucune
Inclusions	Tubes fins, givres (figure 5-7)
Localité	Madagascar, Nord. La localité précise n'est pas connue

Tableau 2 : caractéristiques des grenats rhodolite

Figure 5-8. Mettre photo pierre

Figure 5-9. Mettre photo inclusions



Figure 5-10 : réaction positive d'un grenat rhodolite au test de l'aimant

De plus, le spectre obtenu par réseau de diffraction est donné sur la figure 5-11. Elle montre des bandes d'absorption caractéristiques du ... Enfin, nous montrons les spectres obtenus en UV-VIS sur la figure 5-12 en absorption et en figure 5-13 en émission. (Dire quelques mots sur présence atomique, faire le lien avec composition des familles pyrope-spessartite et de quelle famille l'échantillon est le plus proche. Un mot sur les inclusions ?).

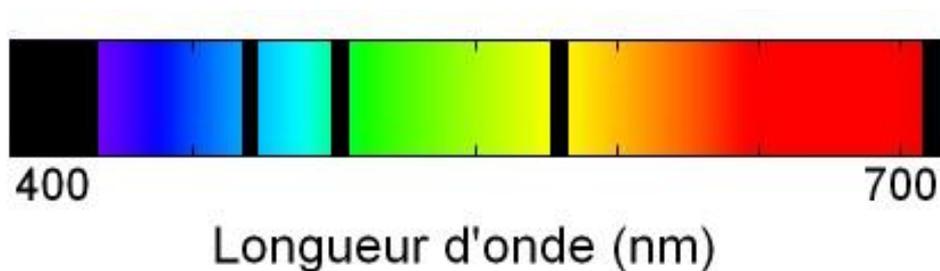


Figure 5-11: spectre par réseau de diffraction du rhodolite

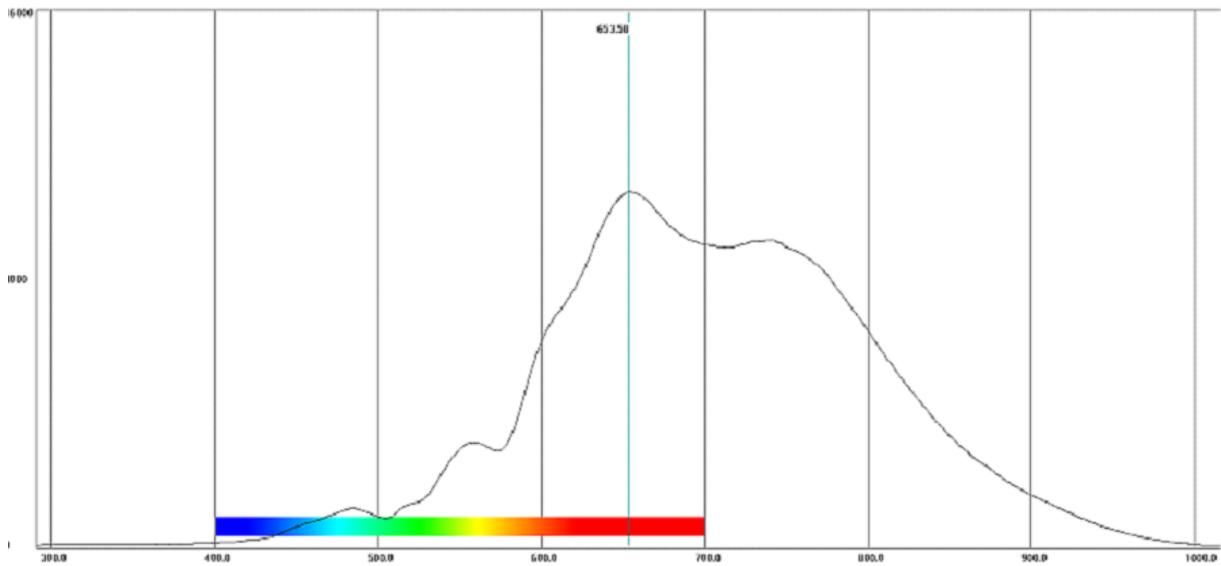


Figure 5-12 : spectre d'absorption dans le visible du rhodolite

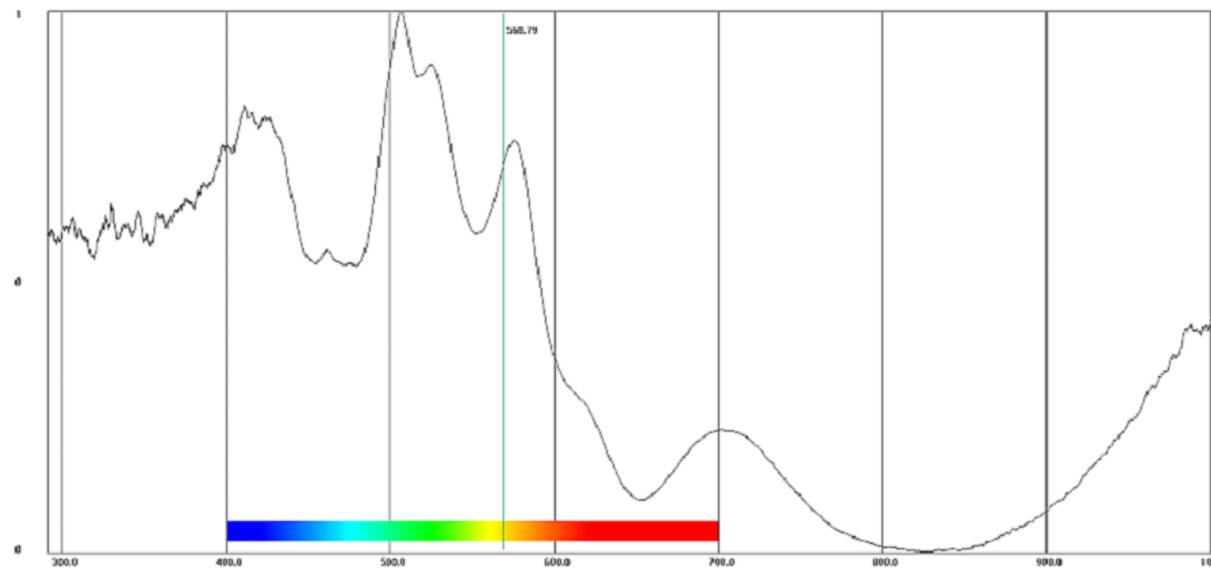


Figure 5-13 : spectre de transmission dans le visible du rhodolite

6 ETUDE DE VALORISATION DES ECHANTILLONS

6.1 VALEUR MARCHANDE

La valeur marchande des grenats rhodolite et pyrope-spessartite est particulièrement favorable à leur utilisation en bijouterie « grand public ». En effet, leurs couleurs rouge vif à rouge violacé sont proches du rubis et de la tourmaline rubellite (cf. figure 6-1), pour un prix au carat entre 5 à 10 fois plus faible au minimum, respectivement pour le pyrope-spessartite et le rhodolite. Nous donnons dans le tableau 3 un ordre de grandeur des prix au carat des pierres rhodolite, pyrope-spessartite et tourmaline rubellite, à titre de comparaison (source : www.gemval.com).

<i>Carat</i>	<i>Rhodolite</i>	<i>Pyrope/spessartite</i>	<i>Rubellite</i>
1	39 \$	60 \$	406.56 \$
3	54 \$	72 \$	439.01 \$
5	65 \$	96 \$	471.47 \$
10	90 \$	135 \$	552.61 \$

Tableau 3 : ordre de prix pour les grenats étudiés et la tourmaline rubellite



Figure 6-1 : tourmaline rubellite brute (© www.gemsociety.org)

6.2 COMMERCIALISATION

La dureté de 7 1/2 des grenats ainsi que l'absence de clivage permet d'utiliser toutes les sortes de sertis de la figure 6-2. Ils sont très résistants (sauf le démantôïde d'une dureté plus faible, 6 1/2), et offrent une bonne stabilité ainsi qu'une large gamme de couleurs. Ces attraits lui font une belle place dans la bijouterie.

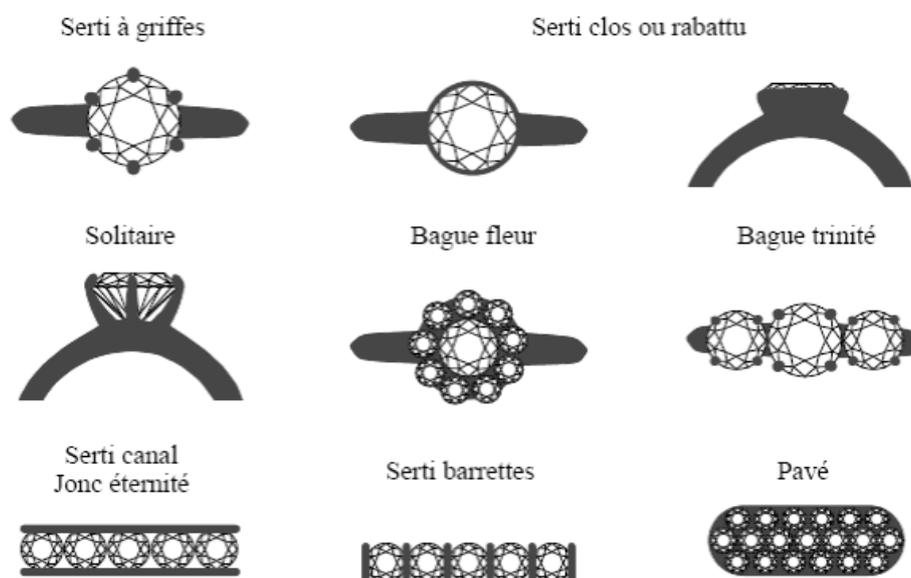


Figure 6-2 : types de serti (© LGM)

Enfin, nous proposons une création de bijou qui pourrait mettre en valeur les grenats étudiés sur la figure 6-3 ci-dessous. Ce pendentif est composé de cinq grenats pyrope-spessartite et de cinq grenats rhodolite montés en serti demi-clos sur un demi cercle d'or jaune.

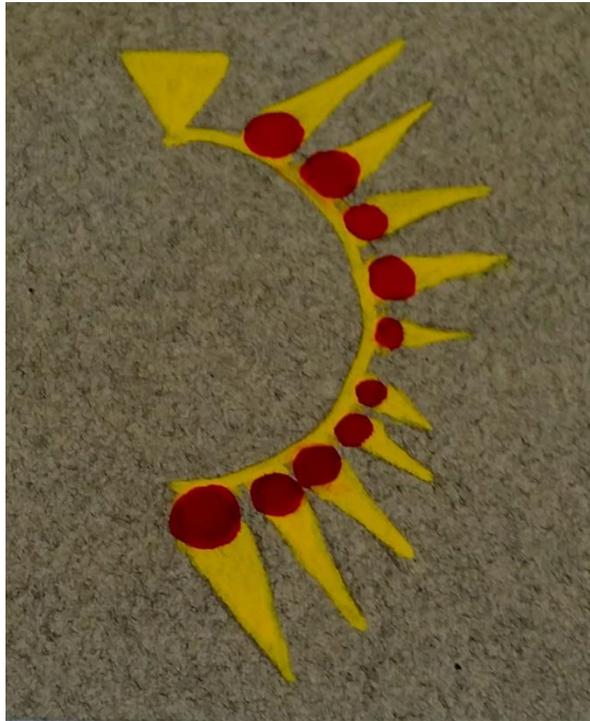


Figure 6-3 : gouaché de la création de bijou

7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En conclusion, les grenats pyrope-spessartite et rhodolite malgaches sont peu référencés dans la littérature. Cela a motivé l'analyse gemmologique menée au cours de mon projet de diplôme FGA. A cette occasion, nous avons pu obtenir des éléments de caractérisation des grenats étudiés. Notamment, nous avons pu déterminer leur composition chimique à l'aide de méthodes spectrométriques. La mise en évidence d'inclusions au sein des échantillons ouvre la voie à de futures analyses pour les caractériser plus précisément. Ces analyses sortent du cadre de mon projet. Néanmoins, cela pourrait permettre de mieux localiser l'origine du gîte des grenats étudiés, de faire un lien avec la géologie de Madagascar et avec d'autres gemmes en provenance de ce pays. Par la suite, cela pourrait ouvrir la voie à de nouvelles prospections plus ciblées.

En termes de valorisation, ces pierres à valeur esthétique sont de bonnes alternatives aux rubis et tourmalines rubellite pour de la bijouterie « grand public ». En effet, elles sont au minimum 5 à 10 fois moins chères au carat que ces dernières et offrent également une bonne résistance mécanique, chimique et thermique, pour des couleurs variées dans les teintes rouge vif, rouge orangé et violacé. Enfin, nous avons proposé à titre d'exemple une création de bijou permettant de mettre en valeur les échantillons étudiés.

8 REFERENCES

1. **Lacroix, A. (1922).** « Minéralogie de Madagascar - tome I », ouvrage. Editeur H. Le Jacob
2. **Rondeau B., Fritsch E. Mocquet B., Lulzac Y., (2009).** « Ambanja (Madagascar) - A new source of gem demantoid garnet ». In Color, summer 2009, pp. 22-24
3. **Johnsen, O. (2000).** « Guide Delachaux des minéraux », ouvrage. Editeur Delachaux et Niestlé
4. Références prix gemmes : www.gemval.com