

2007-2008

DIPLÔME D'UNIVERSITE DE GEMMOLOGIE

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

par
Mr. Dominique Flies

La couleur des grenats

soutenu publiquement le 06/06/2008
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. J. GIRARDEAU	Professeur	Examineur
M. H. GARCIA-GUILLERMINET	Directeur du Laboratoire Français de Gemmologie (LFG)	Examineur
M. F. NOTARI	Directeur, GIA Switzerland	Examineur
<i>M. B. LASNIER</i>		<i>Invité</i>
M. B. RONDEAU	Maître de conférences	Examineur

INTRODUCTION

Pourquoi ai-je choisi l'origine de la couleur des grenats ?

Il faut signaler au départ que le monde des pierres, roches et minéraux a toujours éveillé ma curiosité car la nature est jolie, fascinante par la diversité des espèces, intrigante par sa complexité. Un diamant a quelque chose d'attrayant. Il est beau, éclatant, noble et convoité, le grenat est une pierre moins prisée mais plus mystérieuse car il y a cette large gamme de couleurs. La couleur n'est peut-être qu'un mot mais derrière j'y ai vu tout un puzzle de notions scientifiques à remettre en place comme la lumière, l'énergie, les électrons, les orbitales, les transferts de charges... Il devait y avoir des lois, des mécanismes qui expliqueraient le changement de couleur.

Ce mémoire a pour but d'apporter une vision plus large sur la variété des grenats, de contenir un maximum d'informations et d'explications sur les diverses propriétés, qu'elles soient physiques, chimiques ou optiques afin d'aider une personne dans la compréhension et l'analyse de son grenat. Pour cela, ce mémoire se divise en six chapitres. Le premier résume les données disponibles dans la littérature sur la structure des grenats, les pôles, les propriétés.

Le deuxième chapitre résume des données de littérature et des communications personnelles sur les différents mécanismes qui sont à l'origine de la couleur dans les grenats ainsi que des exemples plus précis.

Le troisième chapitre reprend sous forme de fiches des données récoltées lors de tests de gemmologie classique et de laboratoire effectués sur des grenats communs sélectionnés suivant leurs variétés et leurs couleurs. Ce chapitre compare et interprète les données recueillies dans la littérature et celles des échantillons personnels.

Le quatrième chapitre comprend une discussion de cas particuliers provenant des échantillons analysés.

Le cinquième chapitre reprend la conclusion de ce travail et les remarques personnelles.

Le sixième chapitre comprend un index listant des propriétés et informations sur des grenats moins communs.

Table des matières

<u>Chapitre I</u>	Les propriétés de bases	p.6
1.	La structure	p.7
2.	Les pôles	p.8
3.	Le mélange des pôles	p.9
4.	Les propriétés et caractéristiques	p.13
<u>Chapitre II</u>	Les causes de la couleur des grenats	p.31
1.	Les facteurs externes	p.32
a)	La lumière	p.32
b)	L'œil humain et la couleur	p.34
c)	Comment le signal optique se transmet-il au cerveau ?	p.35
2.	Les facteurs internes	p.36
a)	Qu'est-ce qu'un atome ?	p.36
b)	Absorption d'une énergie lumineuse	p.36
c)	Coloration due à la présence d'ions métalliques	p.37
d)	La valence des éléments	p.38
e)	L'influence de la coordination	p.39
f)	L'influence de certains détails de la coordination d'ions	p.41
g)	Le transfert de charges	p.42
h)	Le changement de couleur	p.44
i)	Les grossulaires verts, jaune-vert à orange	p.53
j)	Les andradites vertes à vert-jaune	p.56
k)	L'origine de la couleur de la série pyrope almandin	p.57
l)	Les facteurs pouvant modifier la couleur d'un pyrope almandin	p.59
m)	Les spessartites et spessartite-almandin de couleur orange à rouge	p.60
n)	Les pyrope-spessartite « Malaya » de couleur rosé à orange rosé	p.61
o)	Tableau des différentes causes primaires des couleurs des grenats	p.62
p)	Tableau des variétés, causes de la couleur des grenats	p.63
<u>Chapitre III</u>	Résultats et interprétation des résultats	p.64
<u>Chapitre IV</u>	Discussion	p.115
1.	L'andradite noire "mélanite"	p.116
2.	L'andradite vert-jaune et verte "démantoïde"	p.117
3.	Le grossulaire vert "tsavorite"	p.118
4.	Le grossulaire vert-jaune à orange "hessonite"	p.119
5.	La spessartite orange à rouge	p.120

6. Le pyrope spessartite à changement de couleur	p.121
7. Le pyrope almandin	p.123
8. Tableau des pourcentages d'éléments selon l'espèce et sa cause de la couleur	p.124
9. Tableau des couleurs et causes de la couleur	p.125
<u>Chapitre V</u> Conclusion	p.126
<u>Chapitre VI</u> Annexes	p.130

Chapitre I

Les propriétés de base

1. La structure^{1,2,3}

Le groupe des grenats se caractérise par sa structure cristalline et sa composition chimique. Les différents éléments chimiques vont occuper les sites du réseau cristallin et lui donner cette grande diversité de variétés. C'est cet arrangement d'ions qui forme la structure du grenat et lui permet de se développer dans le système cubique. Les grenats forment une famille, une série isomorphique, un minéral complexe qui pourrait se résumer en une formule chimique $X_3Y_2Z_3O_{12}$ où X représente les ions d'éléments de transition bivalents (Ca^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , etc) qui sont entourés de 8 atomes d'oxygène en coordination cubique déformée. Y représente les ions d'éléments de transition trivalents (Al^{3+} , Fe^{3+} , V^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{3+} , etc) qui sont entourés de 6 atomes d'oxygène en coordination octaédrique et Z représente le 3^{ème} groupe constitutif (Si^{4+} ou Ti^{4+}) entouré de 4 atomes d'oxygène en coordination tétraédrique. (figure 1)

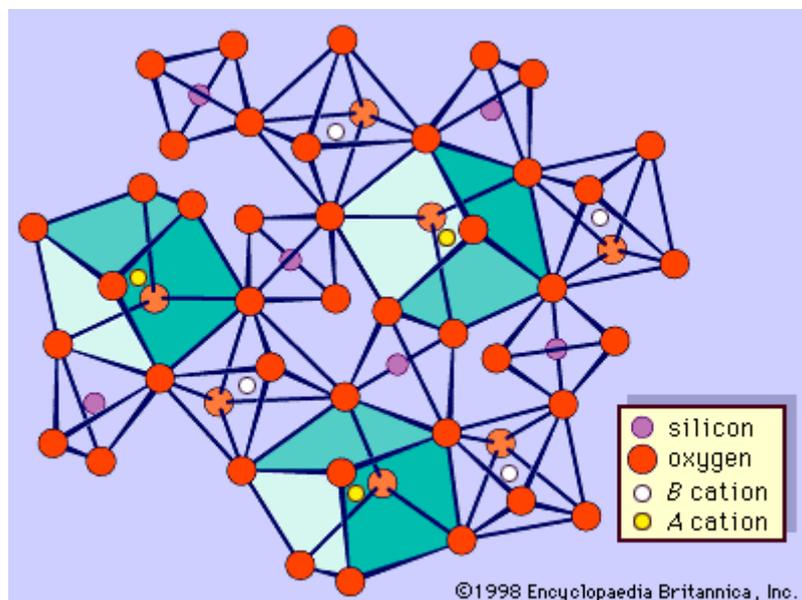


Figure 1 : Structure schématisée du groupe des grenats.⁴

¹ Hänni H.A. (1999) Les grenats gemmes . Revue de gemmologie A.F.G., n°. 138/139, pp. 50-54.

² Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

³ Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. Gems & Gemology, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.

⁴ <http://www.britannica.fr/>

2. Les pôles ^{5, 6, 7, 8}

Lorsque chacun des sites de la formule $X_3Y_2Z_3O_{12}$ est occupé par seulement un ion, il en résulte une formule chimique théorique qui correspond à un minéral appelé pôle. Ce pôle se caractérise par 100% de ses composants chimiques. Ce sont des limites théoriques qui possèdent leurs propres couleurs intrinsèques ou incolores et leurs propres propriétés physiques et optiques. Ces minéraux silicatés n'existent pas, purs, dans la nature. Le tableau ci-dessous permet de voir les formules chimiques et les propriétés physiques de ces grenats (**tableau 1** : composition chimique et propriétés des grenats).

Pôles communs	Composition	Couleur intrinsèque	I.R.	Densité	Dureté
Almandin	$Fe_3^{2+}Al_2(SiO_4)_3$	Rouge très foncé	1,830	4,32	7 - 7 ^{1/2}
Andradite	$Ca_3Fe_2^{3+}(SiO_4)_3$	Vert (jaune)	1,895	3,85	6 1/2 - 7 1/2
Grossulaire	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	Incolore	1,754	3,67	6 1/2 - 7 1/2
Pyrope	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	Incolore	1,742	3,80	7 - 7 1/2
Spessartite	$Mn_3^{2+}Al_2(SiO_4)_3$	Orange	1,810	4,20	6 1/2 - 7 1/2
Uvarovite	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$	Vert	1,860	3,77	7 1/2

Tableau 1 : composition chimique et propriétés des pôles purs des grenats. ^{9, 10, 11, 12, 13, 14}

I.R. : Indice de réfraction.

Il existe des minéraux à structure minérale de grenat de fabrication synthétique mais qui n'en ont pas la chimie, qui appartiennent, selon les cristallographes, au groupe des grenats. On citera : cryolithionite, berzeliite, hydroandradite, manganberzeliite, palenzonaite et yafosoanite. Ceux-ci sont des éléments chimiques différents de ceux que l'on peut trouver dans les grenats naturels. Nous citerons le cas de substitut du diamant :

- Y.A.G. : Yttrium Aluminium Garnet ($Y_3Al_2Al_3O_{12}$)
- G.G.G. : Gadolinium Gallium Garnet ($Gd_3Ga_2Ga_3O_{12}$)
- Y.I.G. : Yttrium-Indium Garnet ($Y_3Fe_2Fe_3O_{12}$)

⁵ Hänni H.A. (1999) Les grenats gemmes . Revue de gemmologie A.F.G., n°. 138/139, pp. 50-54.

⁶ Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

⁷ Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. Gems & Gemology, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.

⁸ <http://minerals.caltech.edu/>

⁹ <http://www.mindat.org/>

¹⁰ Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

¹¹ Hänni H.A. (1999) Les grenats gemmes . Revue de gemmologie A.F.G., n°. 138/139, pp. 50-54.

¹² <http://www.mineralatlas.com/>

¹³ <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html/>

¹⁴ Manson D.V., Stockton C.M. C.M. (1982) Gem-quality grossular garnets. Gems & Gemology. Vol. 18, n°. 4, pp. 204-213.

3. Mélange de pôles ^{15, 16, 17}

Les grenats sont divisés en deux groupes. Le premier, alumineux, englobant le pyrope, l'almandin, la spessartite, il est appelé plus généralement le groupe des pyralspites qui reprend les premières lettres de ces trois variétés. Le second groupe, les grenats calciques, englobe l'uvarovite, le grossulaire, l'andradite. Celui-ci est appelé généralement le groupe des ugrandites qui reprend aussi les premières lettres de ces trois espèces. Dans la nature, il est rare de trouver des minéraux ayant la composition d'une espèce pure. On trouvera le plus souvent une solution solide, un membre intermédiaire de deux ou plusieurs pôles purs. Prenons le cas d'un grenat qui aurait cristallisé en intégrant conjointement des ions de manganèse (pyrope) et de fer (almandin). Il se forme un cristal mixte situé entre deux pôles. Dans ce cas, pyrope et almandin constituent une série isomorphique due à leur miscibilité. Ainsi du point de vue physique et optique, une pierre se trouvant entre deux pôles aura des propriétés physiques intermédiaires à ces deux pôles. La « rhodolite » est un nom commercial utilisé pour décrire une variété intermédiaire à la série continue pyrope-almandin qui doit contenir 10 à 25 % d'almandin pour porter ce nom. (**figure 2**). Le « malaya » est aussi un nom commercial pour décrire un pyrope-spessartite de couleur rose à orange rosé. La dénomination d'un grenat tels que la « rhodolite » (pyrope-almandin) ou « malaya » (pyrope-spessartite), démantoïde, hessonite dépend de deux pôles et peut paraître fort simpliste. La difficulté viendra pour une pierre comprise entre trois pôles et de la placer dans la « zone » qui lui est destinée. Pour cela, ce sont les propriétés physiques et proportions chimiques qui aideront à l'identification (**figure 3**).

Les groupes des pyralspites et des ugrandites possèdent une miscibilité interne partielle. La substitution des éléments d'une même famille (Pyralspite ou Ugrandite) ne se fait que partiellement et n'est pas totale. Par exemple, il n'y a pas de grenat $(Mg_{1,5}Mn_{1,5})(Al_2)(SiO_4)_3$ ¹⁸. L'encombrement ionique fait que le groupe des pyralspites (alumineux) ne possède pas de miscibilité complète avec le groupe des ugrandites (calciques). Il n'y a aucun isomorphisme complet entre ces deux groupes (**figure 4**). Le diamètre ionique joue un rôle dans la substitution d'éléments chimiques entre eux, ce qui peut créer des tensions ou des dilatations. Les intervalles où manquent les membres intermédiaires sont appelés « lacunes de miscibilité ».

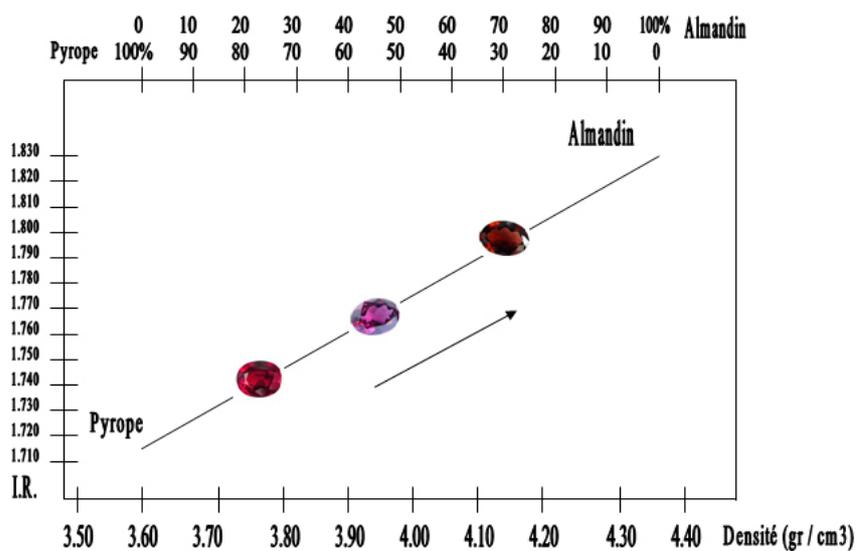
¹⁵ Hänni H.A. (1999) Les grenats gemmes . Revue de gemmologie A.F.G., n°. 138/139, pp. 50-54.

¹⁶ Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

¹⁷ Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.

¹⁸ J.P. Poirot, communication personnelle, 2007.

Relation entre indice de réfraction et densité



I.R.: Indices de réfraction

Figure 2 : Relation entre l'indice de réfraction et la densité pour la série pyrope-almandin. Ce schéma est fondé sur les données de Hänni (1999) et Stockton & Manson (1985)

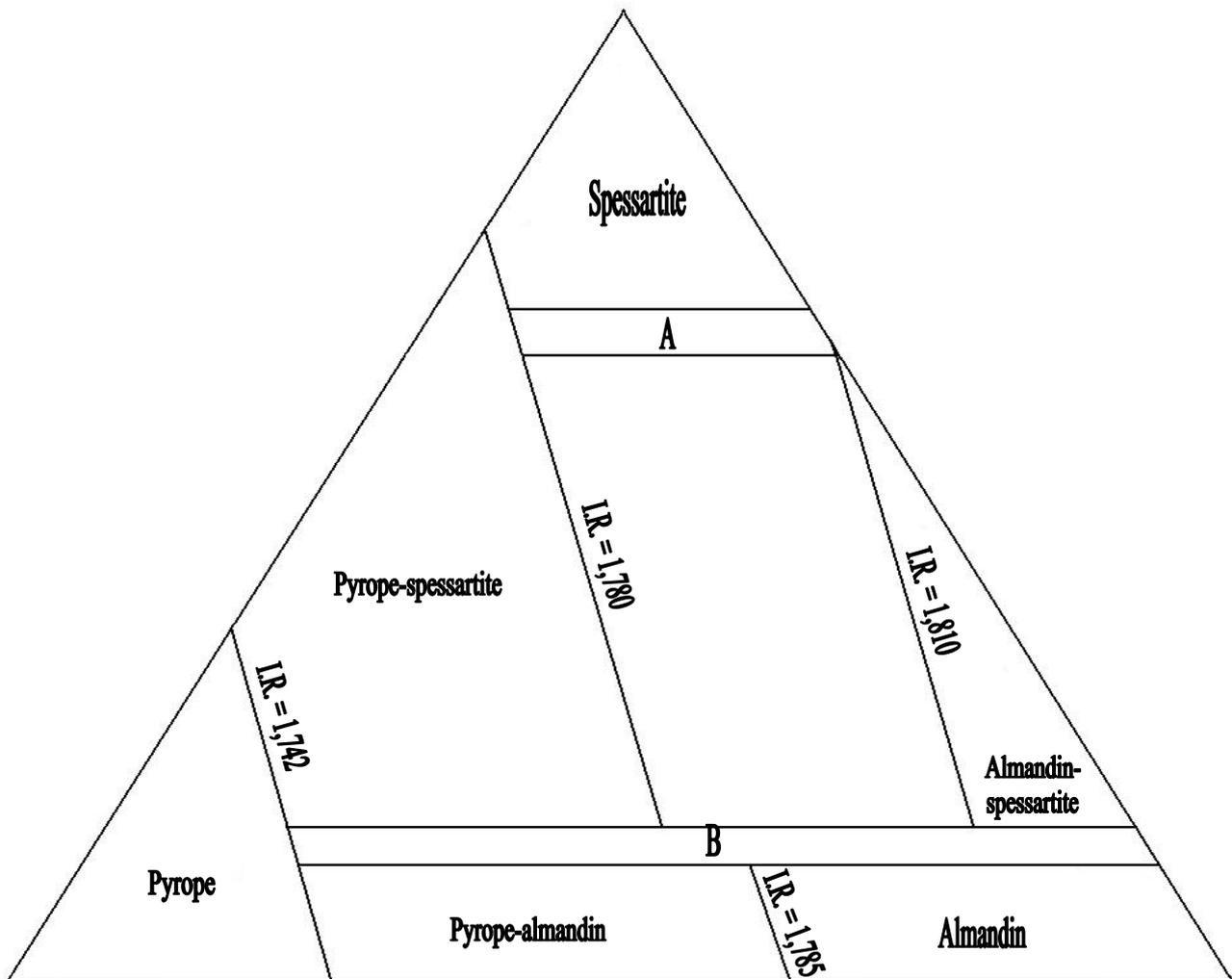


Figure 3 : Délimitation des « zones » du groupe des Pyrospites. Ce schéma est fondé sur Stockton & Manson (1985) .

I.R. : Indices de réfraction

A : Les bandes à 480, 504, 520 et 573 nm deviennent indistinctes et apparaissent mêlées.

B : Les bandes à 410 et 430 nm deviennent visibles avec un spectroscopie à main.

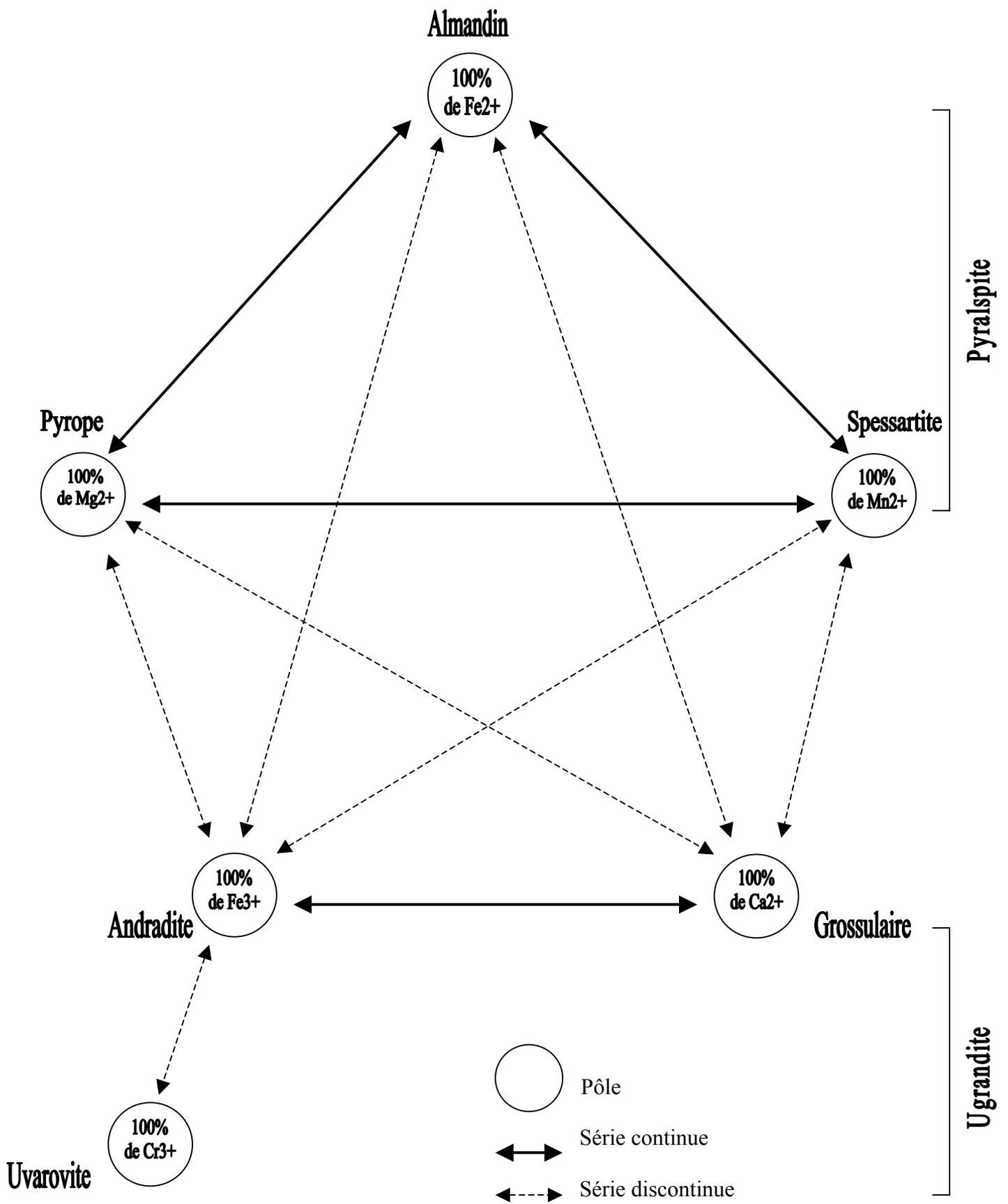


Figure 4 : Les séries continues et discontinues d'après Mackowsky¹⁹.

¹⁹ <http://www.geminterest.com/>

4. Les propriétés et caractéristiques^{20, 21, 22}

Pour l'identification d'un grenat, ce sont les analyses chimiques en laboratoire et en gemmologie classique qui seront obligatoires pour déterminer les proportions relatives de pôles. C'est pour cela qu'un grenat intermédiaire, ayant des propriétés proches de son pôle, portera le même nom que son pôle. Il existe donc un domaine de valeurs pour la même pierre. Cela est valable pour l'indice de réfraction, sa densité et son spectre. Les fiches qui suivent reprennent diverses propriétés tels que l'indice de réfraction, la densité, le spectre, la composition chimique.

Nous citerons aussi les différentes pierres pouvant exister dans une famille (ex : grossulaire : hessonite, tsavorite).

²⁰ Hänni H.A. (1999) Les grenats gemmes . Revue de gemmologie A.F.G., n°. 138/139, pp. 50-54.

²¹ J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

²² Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. Gems & Gemology, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.

Almandin



Figure 5

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

Couleur : Rouge orangé à rouge violacé²³ (figure 5)²⁴

Polariscope : (isotrope) Ne rétablit pas ou anomalies²⁵

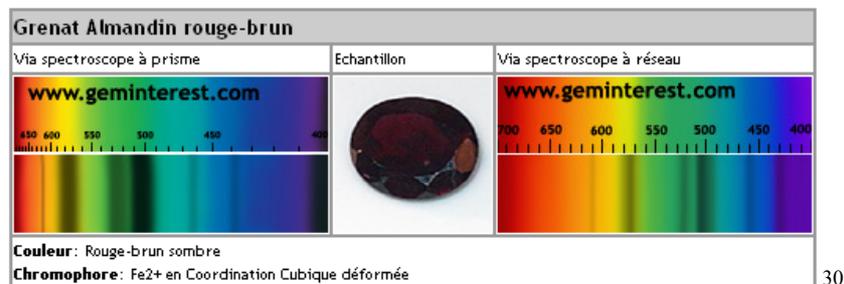
Indices de réfraction : 1,785 à 1,830²⁶

Densité : 3,94 à 4,32²⁷

Dureté : 7 – 7,5²⁸

Filtre Chelsea : Rouge²⁹

Spectre :



L'almandin fait apparaître de fortes bandes à 504, 520 et 573 nm ainsi que des plus faibles à 420, 460, 610 et 680 – 690 nm (ces dernières ne sont pas toujours visibles au spectroscope à main).³¹

^{23, 31} Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.

²⁴ <http://www.gggems.com/>

^{25, 29, 30} <http://www.geminterest.com/>

^{26, 27} Deville J. (1995) Les grenats. *Minéraux & Fossiles*, juin 1995, Hors-série n°. 1.

²⁸ <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html>

Composition chimique : 36 à 38 % de SiO₂
20 à 22 % de Al₂O₃
30 à 36 % de FeO
1 à 5 % de MgO
1 à 7 % de MnO³²

³² Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

Pyrope



Figure 6

Formule : $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$

Couleur : Rouge violacé (**figure 6**)³³ à orange rougeâtre et incolore, changement de couleur³⁴

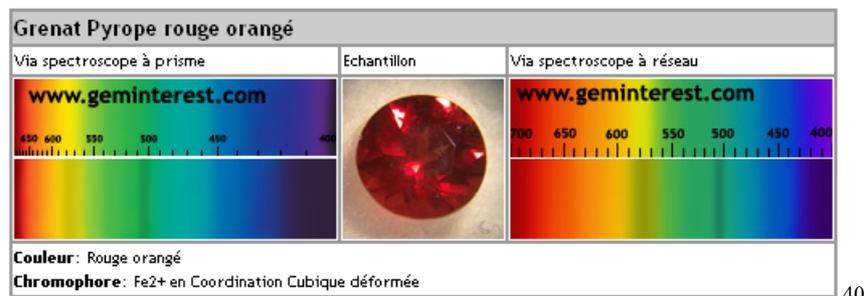
Polariscope : (isotrope) Présente souvent une très légère biréfringence anormale³⁵

Indices de réfraction : 1,714 à < 1,742³⁶

Densité : 3,60 à 3,80³⁷

Dureté : 7 – 7,5³⁸

Spectre : Une bande vers 505 parfois large et vers 570 nm. Doublet parfois à 670, 684 nm avec une coupure vers 440 pour les pyropes chromifères.³⁹



40

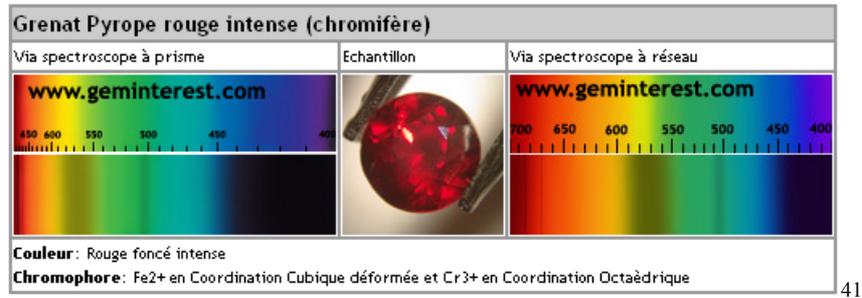
³³ <http://www.thaigem.com/>

^{34, 36} Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.

^{35, 39, 40} <http://www.geminterest.com/>

³⁷ Deville J. (1995) Les grenats. *Minéraux & Fossiles*, juin 1995, Hors-série n°. 1.

³⁸ <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html>



41

Composition chimique : C'est le fer bivalent qui remplace en partie le magnésium. Les pyropes contenant de 3 à 8 % de Cr₂O₃ sont dits communs.⁴²

Le pyrope est incolore à l'état pur. Sa couleur devient rouge vif lorsqu'il contient entre 10 à 40 % d'almandin. Le ton rouge se modifie passant de la couleur rouge à la couleur rouge-orangé lorsque le taux de Fe²⁺ (d'almandin) augmente.

29,99 % de MgO
 25,29 % d'Al₂O₃
 44,71 % de SiO₂⁴³

⁴¹ <http://www.geminterest.com/>

⁴² Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

⁴³ <http://www.webmineral.com/>

Pyrope-almandin << rhodolite >>



Figure 7

Entre le pyrope $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ et l'almandin $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$, il existe une série isomorphique plus ou moins complète. La « rhodolite » est un nom commercial pour décrire une variété intermédiaire de la série pyrope-almandin de ton rose-rouge violacé.⁴⁴

Formule : Membre intermédiaire $(Mg, Fe)_3Al_2(SiO_4)_3$

Couleur : Orange rougeâtre à rouge violacé (**figure 7**)⁴⁵, chatoyant, astérisme⁴⁶

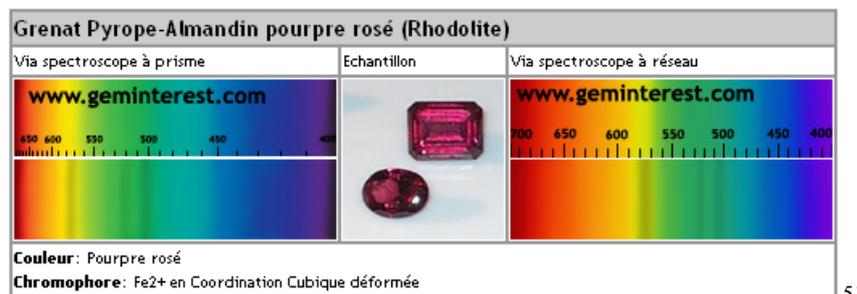
Indices de réfraction : 1,742 à <1,785⁴⁷

Densité : 3,80 à 3,95⁴⁸

Dureté : 7

Filtre Chelsea : Inerte⁴⁹

Spectre : Le spectre de la rhodolite ressemble à celui de l'almandin. On retrouve les mêmes bandes dans celui-ci, c'est-à-dire une bande à 504, 520, 573 nm et d'autres plus faibles à 423, 460, 610 et/ou entre 680 à 690 nm.⁵⁰



51

Composition chimique : Contient de 10 à 25 % de Fe²⁺

⁴⁴ Hänni H.A. (1999) Les grenats gemmes . Revue de gemmologie A.F.G., n°. 138/139, pp. 50-54.

⁴⁵ <http://www.gggems.com/>

^{46, 49, 51} <http://www.geminterest.com/>

^{47, 50} Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. Gems & Gemology, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.

⁴⁸ Hanneman W.W. (1983) Notes and new techniques. A new classification for red-to-violet garnets. Gems & Gemology, Vol. 1, pp. 37-40.

Spessartite



Figure 8

Formule : $Mn_3^{2+}Al_2(SiO_4)_3$

Couleur : Orange jaunâtre à orange rougeâtre (**figure 8**)⁵², parfois chatoyant, astérisme, changement de couleur^{53, 54}

Polariscope : (isotrope) Souvent anormalement anisotrope⁵⁵

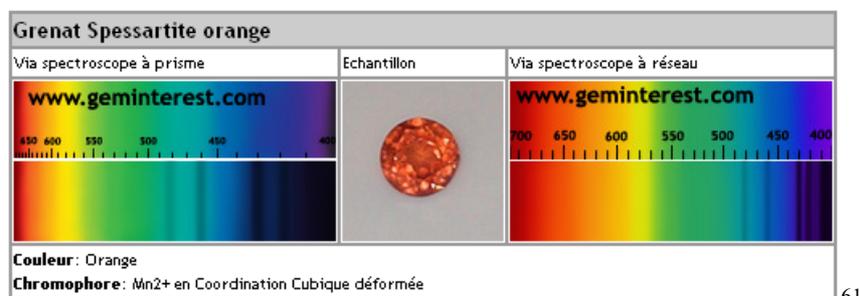
Indices de réfraction : 1,780 à < 1,810⁵⁶

Densité : 4,12 à 4,20⁵⁷

Dureté : 6,5 à 7,5⁵⁸

Filtre Chelsea : Généralement inerte⁵⁹

Spectre : La spessartite présente des bandes à 410, 421, 430, 460, 480 et 520 nm ainsi que des faibles bandes à 504 et/ou 573 nm qui peuvent être présentes lorsque le taux de Mn^{2+} est grand. Le spectre fait apparaître des bandes à 407, 411, 421, 430, 460, 480 et 520 nm. Les quatre premières bandes sont très visibles et se chevauchent.⁶⁰



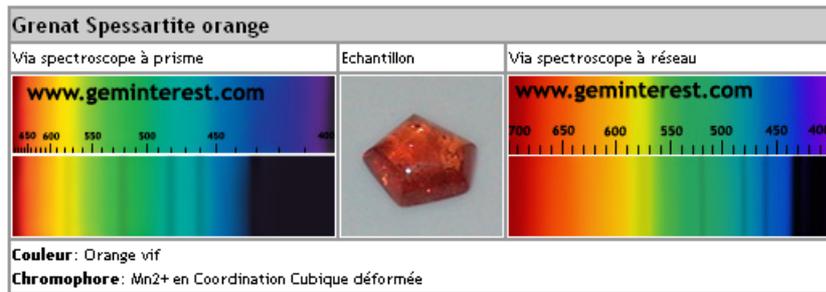
61

⁵² <http://www.thaigem.com/>

^{53, 56} Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.

^{54, 55, 59, 60, 61} <http://www.geminterest.com/>

⁵⁷ Deville J. (1995) Les grenats. *Minéraux & Fossiles*, juin 1995, Hors-série n°. 1.



62

Composition chimique : 36 à 37 % de SiO₂
 20 à 21 % de Al₂O₃
 30 à 40 % de MnO
 2 à 14 % de FeO
 1 à 4 % de CaO ⁶³

La spessartite est jaune à l'état pur et contient généralement 97% d'élément de spessartite, le reste étant comblé par des éléments d'almandin ou de grossulaire. La spessartite se rencontre le plus souvent avec des couleurs rouge orangé, rougeâtre, brun jaunâtre et parfois violette. Ces couleurs étant dues à la présence de Fe²⁺ (d'almandin). ⁶⁴

⁶² <http://www.geminterest.com/>

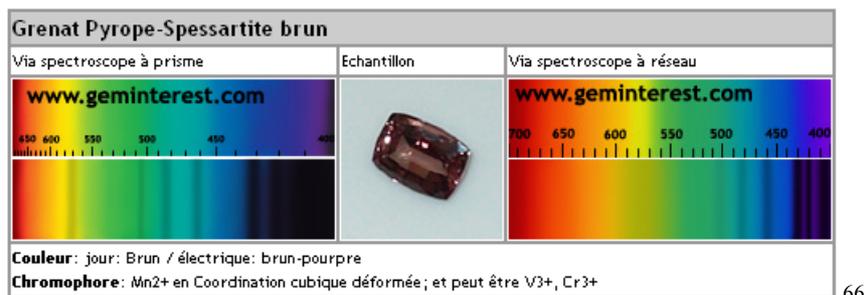
^{63, 64} Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

Pyrope-Spessartite

Formule : Pyrope-spessartite $(Mg, Mn)_3Al_2(SiO_4)_3$ intermédiaire au pyrope $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ et à la spessartite $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$

Indices de réfraction : $1,742 < 1,780$ ⁶⁵

Spectre :



Pyrope-Spessartite « Malaya »

Le « malaya » est un nom commercial qui décrit une variété intermédiaire de pyrope-spessartite de couleur rose à orange rosé.



Figure 9

Grenat de Bekily de couleur rose à orange rosé en lumière du jour (gauche) et de couleur rose rougeâtre à orange rougeâtre en lumière incandescente (droite) (**figure 9**) ⁶⁷

Formule : Intermédiaire entre pyrope et spessartite : $(Mn, Mg)_3Al_2(SiO_4)_3$ ⁶⁸

Couleur : Rose à orange rosé (jour), rose rougeâtre à orange rougeâtre (incandescente) ⁶⁹

Polariscope : Anomalies de polarisations fréquentes ⁷⁰

Indices de réfraction : $1,739$ à $1,782$ ⁷¹

⁶⁵ Hanneman W.W. (1997) A unified system for classifying garnets. Journal of gemology. Vol. 25, n° 7, pp. 471-473.

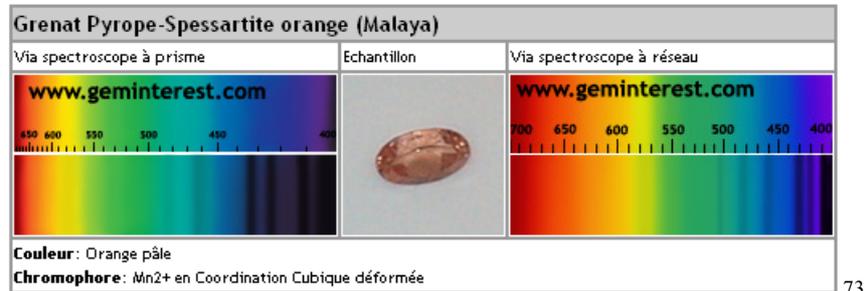
^{66, 70} <http://www.geminterest.com/>

^{67, 69, 71} Schmetzer K., Hainschwang T., Kiefert L., Bernhardt H.-J. (2001) Pink to pinkish orange malaya garnets from Bekily, Madagascar. Gems & Gemology, Vol. 37, n° 4, pp. 296-308.

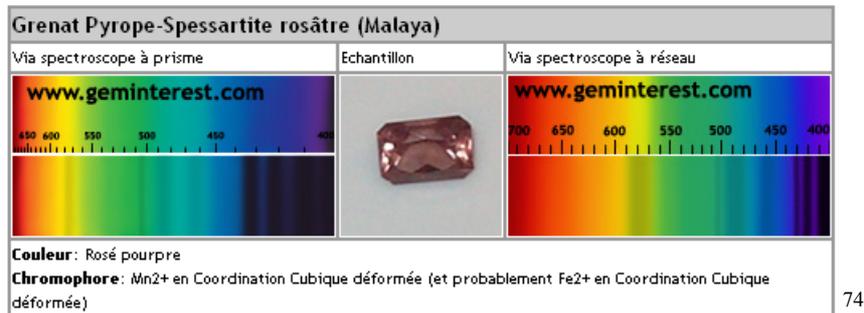
⁶⁸ Schmetzer K., Hainschwang T., Bernhardt H.-J., Kiefert L. (2002) New Chromium- and Vanadium-bearing garnets from Tranoroa, Madagascar. Gems & Gemology, Vol. 38, n° 2, pp. 148-155.

Densité : 3,77 à 4,04 ⁷²

Spectre :



73



74

Le spectre présente une large et forte bande d'absorption à 571 nm, des plus faibles à 459, 483, 503, 525 et 688 nm. Une forte absorption continue est présente près de 440 nm. La bande à 571 nm est liée au Cr³⁺, la bande à 459 est liée au Fe + Mn, 483 au Mn, 503 au Fe, 440 nm est causée par le Mn. ⁷⁵

Composition chimique : 6,17 à 19,41 % de MgO
6,25 à 26,63 % de MnO
2 à 12,12 % de FeO
1,05 à 2,05 % de CaO
0,67 à 0,75 % de Cr₂O₃
0,35 à 0,58 % de V₂O₃ ⁷⁶

⁷² Schmetzer K., Hainschwang T., Kiefert L., Bernhardt H.-J. (2001) Pink to pinkish orange malaya garnets from Bekily, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 37, n° 4, pp. 296-308.

^{73, 74} <http://www.geminterest.com/>

^{75, 76} Schmetzer K., Hainschwang T., Bernhardt H.-J., Kiefert L. (2002) New Chromium- and Vanadium-bearing garnets from Tranoroa, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 38, n° 2, pp. 148-155.

Pyrope-Spessartite à Changement de couleur Bleu vert/ rouge (de Madagascar)



Figure 10



Figure 11

Formule : Pyrope-spessartite $(Mg, Mn)_3Al_2(SiO_4)_3$ intermédiaire au pyrope $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ et à la spessartite $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$

Couleur : Vert à vert bleuté en lumière du jour (**figure 10**)⁷⁷ et rouge à violet rougeâtre en lumière incandescente⁷⁸ (**figure11**).⁷⁹

Polariscope : (isotrope) Anomalies de polarisations fréquentes⁸⁰

Indices de réfraction : 1,759 à 1,767⁸¹

Densité : 3,87 à 3,93⁸²

Dureté : 7 à 8⁸³

Filtre Chelsea : Rouge foncé⁸⁴

Spectre : Le spectre d'absorption est constitué d'une large bande avec un maximum à 571 nm. Une seconde forte absorption se situe dans la gamme du bleu au violet avec trois maxima à 408, 422 et 429 nm. Entre ces deux absorptions se trouvent quatre absorptions plus faibles à 459, 483, 503 et 518 nm. Le bord de l'absorption à 571 nm est dû au V^{3+} , celles à 408, 422 et 483 au Mn^{2+} , celle à 429 au Fe^{3+} et celles à 459, 503 et 518 nm au Fe^{2+} . Une bande d'absorption de Cr^{3+} existe et est quasi superposée à celle du V^{3+} .⁸⁵

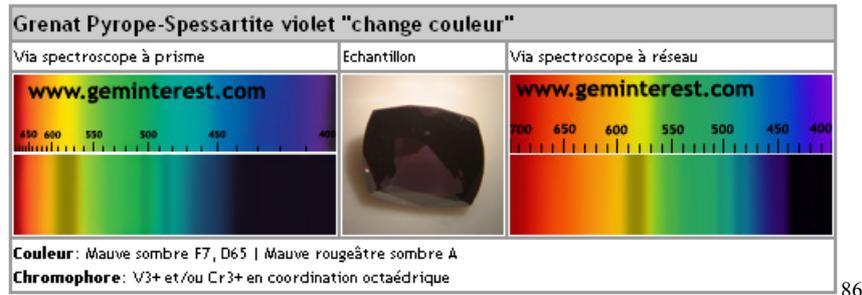
Une absorption est toujours présente dans la gamme du bleu-vert qui va de 474 à 476 nm. (e.g. Schmetzer and Ottemann 1979 ; Schmetzer et al., 1980).

^{77, 79} <http://www.facetingrough.com/>

^{78, 81, 84, 85} Schmetzer K., Bernhardt H.-J. (1999) Garnets from Madagascar with a color change of blue-green to purple. *Gems & Gemology*, Vol. 35, n° 4, pp. 196-201.

⁸⁰ Schmetzer K., Hainschwang T., Kiefert L., Bernhardt H.-J. (2001) Pink to pinkish orange malaya garnets from Bekily, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 37, n° 4, pp. 296-308.

^{82, 83} <http://www.geminterest.com/>



86

Composition chimique : 11,42 à 14,02 % de MgO
 2,09 à 2,71 % de CaO
 17,22 à 20,61 % de MnO
 2,55 à 3,44 % de FeO
 0,89 à 1,25 % de V₂O₃
 0,14 à 0,36 % de Cr₂O₃
 21,78 à 22,88 % d'Al₂O₃
 39,12 à 40,64 % de SiO₂
 0,05 à 0,07 % de TiO₂⁸⁷

⁸⁶ <http://www.geminterest.com>

⁸⁷ Schmetzer K., Bernhardt H.-J. (1999) Garnets from Madagascar with a color change of blue-green to purple. *Gems & Gemology*, Vol. 35, n°. 4, pp. 196-201.

Spessartite-Almandin

Formule : $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ membre intermédiaire de la série spessartite $\text{Mn}_3^{2+}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ et $\text{Fe}_3^{2+}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Couleur : Orange à orange brun jusque rouge, chatoyance possible, astérisme. ⁸⁸

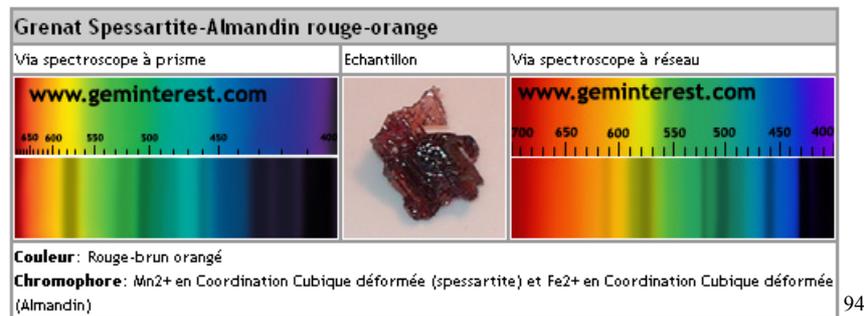
Polariscope : (isotrope) Parfois des anomalies de polarisation ⁸⁹

Indices de réfraction : 1,800 à 1,808 ⁹⁰

Densité : 4,15 à 4,22 ⁹¹

Dureté : 7 à 8 ⁹²

Spectre : Bandes à 432, 424 et 412 nm sont dues au Mn^{2+} . Des lignes plus faibles situées à 573, 520, 504 et 480 nm sont dues au Fe^{2+} . ⁹³



94

Composition chimique : 34,7 à 39,7 % de MnO
2,4 à 6,2 % de FeO
0,2 à 0,5 % de CaO
0,1 à 0,05 % de MgO ⁹⁵

^{88, 89, 92, 94} <http://www.geminterest.com/>

^{90, 91, 95} Schmetzer K., Hainschwang T., Kiefert L., Bernhardt H.-J. (2001) Pink to pinkish orange malaya garnets from Bekily, Madagascar. Gems & Gemology, Vol. 37, n° 4, pp. 296-308.

⁹³ Hänni H.A. (1999) Les grenats gemmes. Revue de gemmologie A.F.G., n°. 138/139, pp. 50-54.

Andradite



Figure 12



Figure 13



Figure 14

Formule : $\text{Ca}_3\text{Fe}_2^{3+}(\text{SiO}_4)_3$

Couleur : Noir (mélanite) (**figure 12**)⁹⁶

Jaune verdâtre à jaune-brun (topazolite) (**figure 13**)⁹⁷

Vert jaunâtre au vert émeraude (démantoïde) (**figure 14**)⁹⁸

Polariscope : (isotrope) Anomalies de polarisation fréquentes⁹⁹

Indices de réfraction : 1,880 à 1,895¹⁰⁰

Densité : 3,82 à 3,85¹⁰¹

Dureté : 6,5 – 7,5¹⁰²

Filtre Chelsea : Inerte ou rouge pour certains démantoïdes¹⁰³

Spectre : Le démantoïde vert jaunâtre très clair à la variété de jaune-vert montre une coupure à 440-445 nm et une paire de bandes à 618 et 634 nm. Les démantoïdes aux couleurs très intenses montrent une paire de fines bandes à 685 et 690 nm dues au Cr^{3+} . La topazolite ne montre pas de spectre avec un spectroscope à main.¹⁰⁴

⁹⁶ <http://www.mineralatlas.com/>

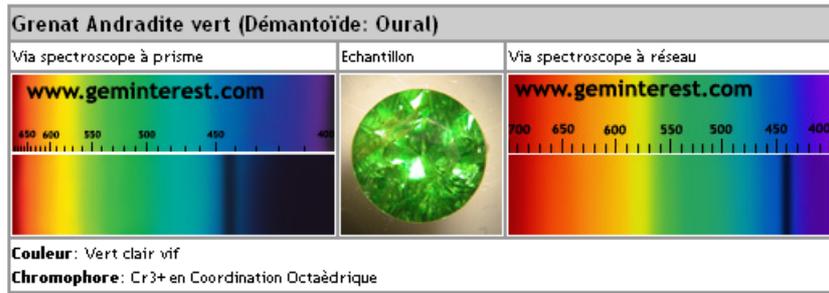
⁹⁷ <http://www.kashmirblue.com/>

⁹⁸ <http://www.thaigem.com/>

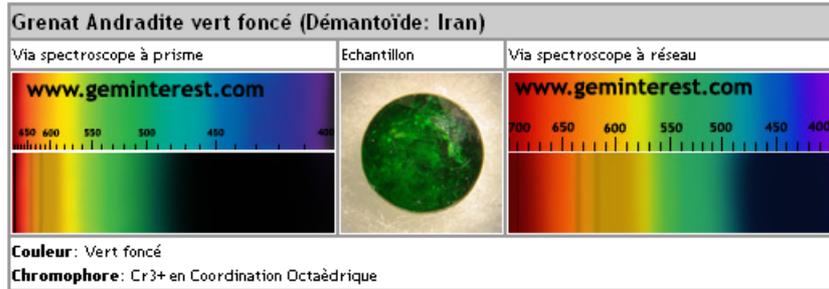
^{99, 103} <http://www.geminterest.com/>

^{100, 101, 102} Gemmological Association of Great Britain, garnets. Cours F.G.A.

¹⁰⁴ Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.



105



106

Composition chimique : 35 à 36 % de SiO₂
 30 à 33 % de CaO
 25 à 30 % de Fe₂O₃
 1 à 5 % de TiO₂¹⁰⁷

^{105, 106} <http://www.geminterest.com/>

¹⁰⁷ Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

Uvarovite

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

Couleur : Vert-noir à l'état pur ¹⁰⁸
Vert à vert foncé, rarement chatoyant ou avec astérisme ^{109, 110}

Polariscope : (isotrope) Ne rétablit pas ¹¹

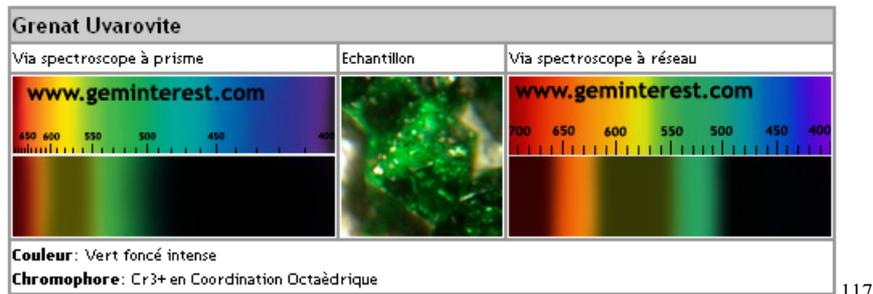
Indices de réfraction : 1,860 ¹¹²

Densité : 3,40 à 3,77 ¹¹³

Dureté : 7,5 ¹¹⁴

Filtre Chelsea : Noircit ¹¹⁵

Spectre : Bande vers 680 à 690 nm ¹¹⁶



Composition chimique : 33,61 % de CaO
27,17 % de CrO
36,02 % de SiO₂ ¹¹⁸

^{108, 112} Hänni H.A. (1999) Les grenats gemmes . Revue de gemmologie A.F.G., n°. 138/139, pp. 50-54.

^{109, 113, 114} Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

^{110, 111, 115, 116, 117} <http://www.geminterest.com/>

¹¹⁸ <http://www.webmineral.com/>

Grossulaire



Figure 15



Figure 16



Figure 17



Figure 18

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

Couleur : Incolore (leuco-grenat) (**figure 15**)¹¹⁹

Ainsi que jaune pâle (**figure 16**)¹²⁰, très rare à changement de couleur^{121, 122}

Jaune-orange à orange rougeâtre (hessonite) (**figure 17**)¹²³

Vert foncé à vert-jaune (tsavorite) (**figure 18**)¹²⁴

Polariscope : (isotrope) Anomalies de polarisation fréquentes si transparent¹²⁵

Indices de réfraction : 1,731 à 1,754¹²⁶

Densité : 3,57 à 3,67¹²⁷

Dureté : 6,5 – 7¹²⁸

Filtre Chelsea : Le grossulaire vert profond de Tanzanie rougit. Généralement inerte¹²⁹

UV : UVL : Fluorescence orange (variété jaune pâle)¹³⁰

¹¹⁹ <http://www.gemsandjewelryrus.com/>

¹²⁰ <http://www.thaigem.com/>

^{121, 125, 129, 130} <http://www.geminterest.com/>

¹²² Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.

¹²³ <http://www.thaigem.com/>

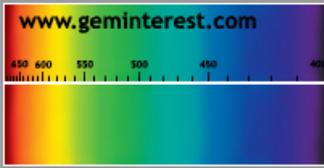
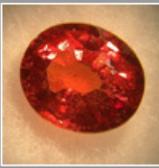
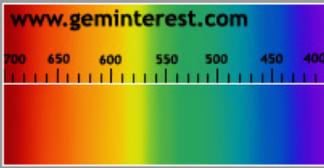
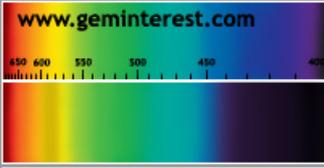
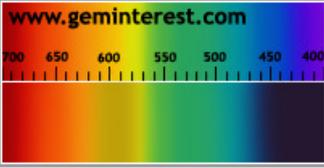
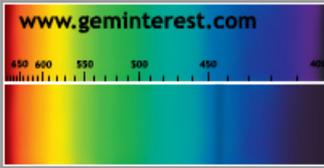
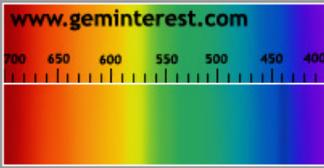
¹²⁴ <http://www.collectorfinejewelry.com/>

¹²⁶ Manson D.V., Stockton C.M. C.M. (1982) Gem-quality grossular garnets. *Gems & Gemology*. Vol. 18, n°. 4, pp. 204-213.

¹²⁷ Deville J. (1995) Les grenats. *Minéraux & Fossiles*, juin 1995, Hors-série n°. 1.

¹²⁸ <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html>

Spectre :

Grenat Grossulaire orange (Hessonite)		
Via spectroscopie à prisme	Echantillon	Via spectroscopie à réseau
		
Couleur: Orange Chromophore: Mn ²⁺ en Coordination Cubique déformée; Fe ³⁺ ; Transfert de Charge Fe ²⁺ -O- Ti ⁴⁺		
131		
Grenat Grossulaire vert foncé (Tsavorite)		
Via spectroscopie à prisme	Echantillon	Via spectroscopie à réseau
		
Couleur: Vert profond Chromophore: V ³⁺ en Coordination Octaédrique		
132		
Grenat Grossulaire vert-jaune (Mali)		
Via spectroscopie à prisme	Echantillon	Via spectroscopie à réseau
		
Couleur: Vert-jaune Chromophore: (Mn ²⁺ en Coordination Cubique déformée); Fe ³⁺ ; Transfert de Charge Fe ²⁺ -O- Ti ⁴⁺		
133		

Composition chimique : 40 % de SiO₂
 18 à 23 % d'Al₂O₃
 32 à 37 % de CaO¹³⁴

Grossulaire jaune "Mali" et orange "hessonite"
 0 à 6 % de FeO

Grossulaire vert "tsavorite"
 0 à 2,5 % de V₂O₃
 0 à 0,6 % de Cr₂O₃¹³⁵

^{131, 132, 133} <http://www.geminterest.com/>

¹³⁴ Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

¹³⁵ Manson D.V., Stockton C.M. C.M. (1982) Gem-quality grossular garnets. Gems & Gemology. Vol. 18, n°. 4, pp. 204-213.

Chapitre II

Les causes de la couleur des grenats

Nous allons aborder dans ce chapitre les différents facteurs qui jouent un rôle dans l'origine de la couleur dans les grenats. Dans le phénomène de couleur, il y a trois partenaires : la lumière, l'objet et l'œil.

Pour comprendre au mieux ce phénomène de couleur dans les grenats, nous allons séparer les facteurs en deux parties qui s'intitulent : - **les facteurs externes**

- **les facteurs internes**

1. Les facteurs externes

a) La lumière

La lumière est un rayonnement électromagnétique. Elle voyage sous forme ondulatoire. Sa vitesse de propagation dans le vide est de 300000km/s. Un rayon lumineux a une longueur d'onde et une fréquence. Il y a une formule qui relie ces deux éléments.

$$C = \lambda \times \nu \text{ (figure 19)}$$

C est la vitesse de la lumière exprimée en m/s

Lambda (λ) est la longueur d'onde exprimée en m

La fréquence (ν) est exprimée en Hertz ou des s^{-1}

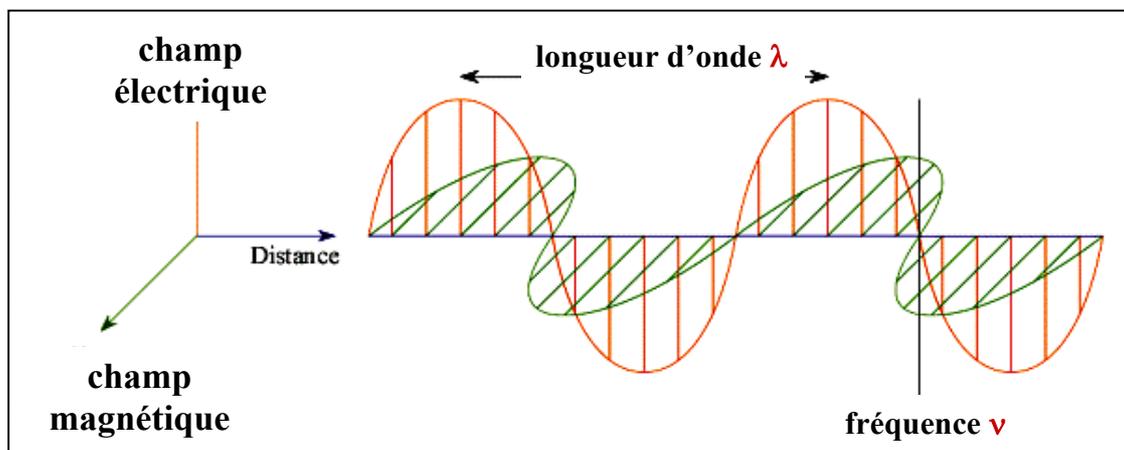


Figure 19 : le rayonnement électromagnétique.¹³⁶

On peut aussi la considérer comme un flux de particules énergétiques dénuées de masse, appelées photons.

C'est un rayonnement émis par des corps portés à haute température (incandescence) ou par des corps excités (luminescence) et qui est perçu par les yeux. Cette lumière se décompose,

¹³⁶ Université Pierre & Marie Curie. Livage J., (Cours2003-2004) Œil lumière présentation PowerPoint <http://www.labos.upmc.fr/>. Consulté le 10/06/08.

par le passage dans un prisme, en plusieurs couleurs à des niveaux énergétiques différents, du violet au rouge dans le spectre visible.

Le violet est plus énergétique que le rouge, la fréquence du violet est donc plus grande que celle du rouge et la longueur d'onde du violet (375nm) est plus petite que celle du rouge (740nm). **(figure 20)**

Les différentes couleurs relevées dans un spectre visible sont, de la plus haute énergie vers la plus basse : violet (~ 375-446), bleu (~ 446-520), vert (~ 520-565), jaune (~ 565-590), orange (~ 590-625), rouge (~ 625-740).

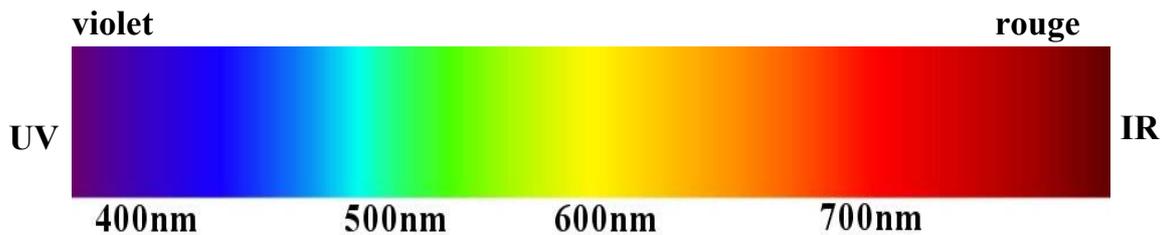


Figure 20 : spectre visible de la lumière. ¹³⁷

La lumière visible est comprise entre les rayons infrarouges IR et les rayons ultraviolets UV. Le schéma ci-dessous représente les principales ondes électromagnétiques en fonction de leur fréquence et de leur longueur d'onde **(figure 21)**.

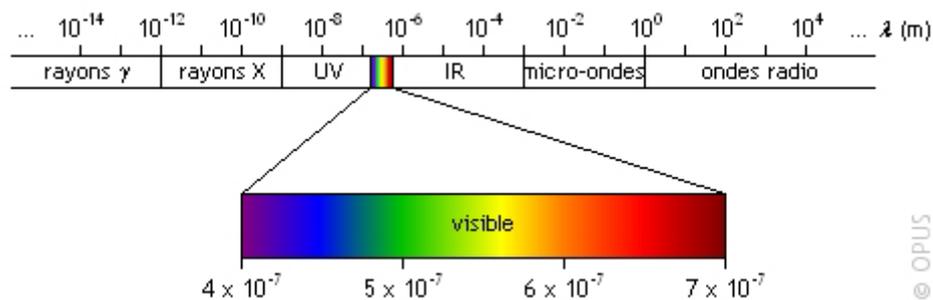


Figure 21 : les principales ondes magnétiques. ¹³⁸

En théorie, une pierre qui absorbe une énergie lumineuse ne devrait restituer qu'une énergie égale ou inférieure suite aux pertes internes dans la pierre. Ainsi une absorption dans le jaune orange ne devrait restituer que du rouge. Si une pierre ne laisse passer que du bleu, placée devant un rayonnement d'une flamme jaune, orange, elle "apparaîtra" noire, par contre la même pierre soumise à un rayonnement lumineux fluorescent UV restituera une couleur d'énergie inférieure soit du bleu intense.

¹³⁷ Université Pierre & Marie Curie. Livage J., (Cours2003-2004) Œil lumière présentation PowerPoint <http://www.labos.upmc.fr/>. Consulté le 10/06/08.

¹³⁸ <http://www.fsg.ulaval.ca/>

b) L'œil humain et la couleur

L'œil est un organe de perception lumineuse. La lumière forme une image sur la rétine et stimule le système nerveux optique.

Les cônes et les bâtonnets sont des cellules réceptrices qui nous aident à interpréter l'intensité lumineuse et les couleurs.

Les bâtonnets sont sensibles aux basses luminances (la luminance est le rapport de l'intensité lumineuse d'une surface par l'aire apparente de cette surface et est exprimée en candela par mètre carré) et ont un mauvais pouvoir séparateur (*vision nocturne*). Ses cellules ne contiennent qu'un seul pigment

Les cônes sont sensibles aux fortes luminances (environ 100 fois plus sensibles que les bâtonnets) avec un bon pouvoir séparateur (*vision diurne*). Chaque cône contient l'un des trois pigments fondamentaux (rouge, vert, bleu).

La sensibilité maximum de l'œil se trouve à une longueur d'onde de 560 nm dans les tons de vert. (**figure 22**).

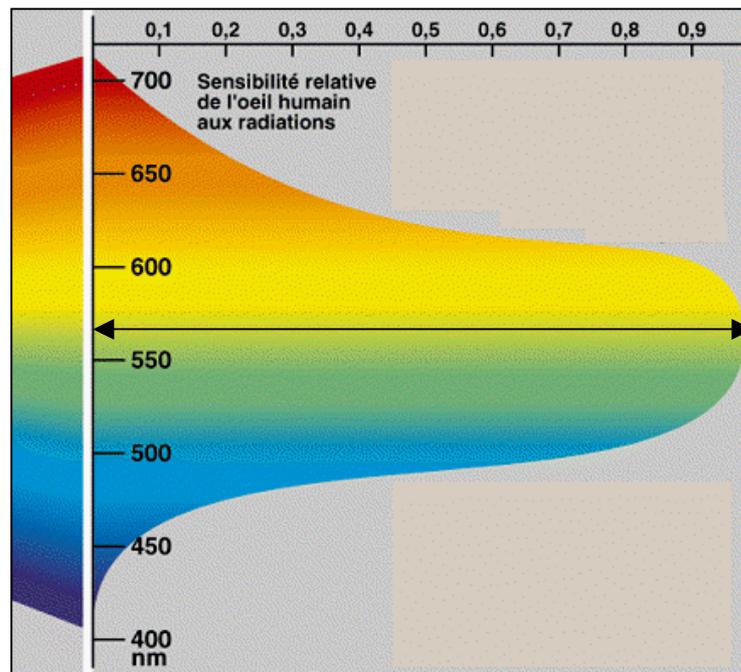


Figure 22 : courbe de sensibilité de l'œil.¹³⁹

¹³⁹ Université Pierre & Marie Curie. Livage J., (Cours2003-2004) Œil lumière présentation PowerPoint <http://www.labos.upmc.fr/>. Consulté le 10/06/08.

c) Comment le signal optique se transmet-il au cerveau ?

Il faut au départ une source lumineuse. Les rayons lumineux émis vers l'objet provoquent des stimuli de couleurs que l'œil perçoit et analyse. Il reçoit un signal « couleur » qui est envoyé au cerveau qui l'interprète et qui conclut qu'il s'agit de couleurs. (**figure 23**).

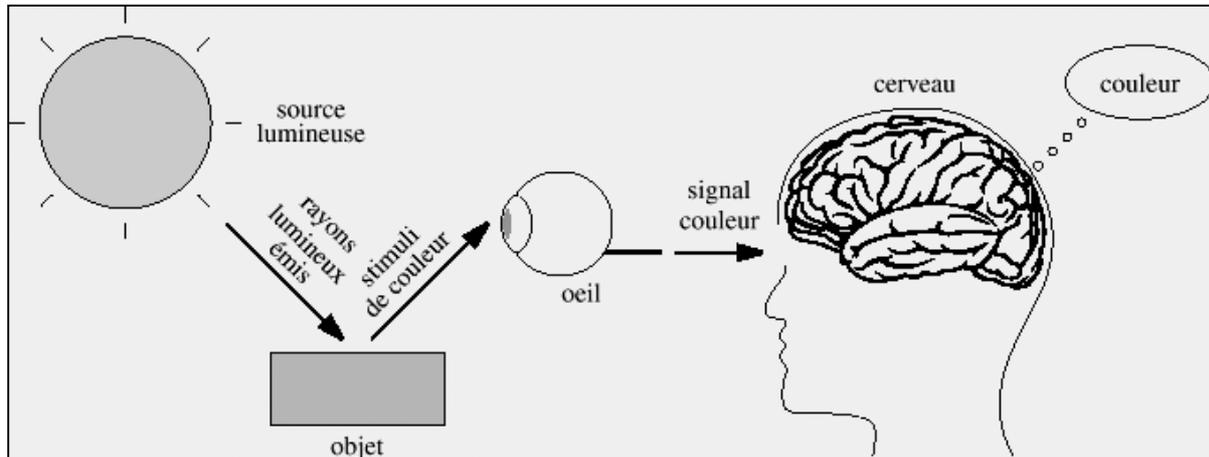


Figure 23 : interprétation de la couleur par le cerveau. ¹⁴⁰

« Pour qu'un objet soit coloré, il faut qu'il soit éclairé mais là où il n'y a pas de matière, il n'y a pas de couleur ». (**figure 24**)



Figure 24 : couleur = lumière + matière. ¹⁴¹

^{140, 141} Université Pierre & Marie Curie. Livage J., (Cours2003-2004) Œil lumière présentation PowerPoint <http://www.labos.upmc.fr/>. Consulté le 10/06/08.

2. Les facteurs internes

Nous parlerons dans cette partie des effets que la lumière provoque lorsqu'elle pénètre dans la pierre taillée. Pour comprendre au mieux les mécanismes provoquant la couleur, il nous faut expliquer la base des atomes, de leurs structures, de leurs états lorsqu'ils sont excités par une source lumineuse. Nous parlerons ensuite des éléments chimiques métalliques ayant un rôle dans la couleur, de leurs états de valence, de la nature de leurs atomes voisins, de leurs coordinations géométriques, de leurs concentrations et de certains effets pour terminer en mettant en évidence l'importance de la distance entre leurs éléments voisins.

Deux tableaux récapitulent les différentes causes de la couleur dans les grenats. Points o et p de ce chapitre.

a) Qu'est-ce qu'un atome ?

Un atome est constitué de composés ayant chacun sa charge respective :

- le proton chargé positivement
- l'électron chargé négativement
- le neutron qui ne porte pas de charge.

Les protons et les neutrons forment le noyau qui possède une charge électrique positive. Autour de ce noyau gravitent les électrons sur des trajectoires appelées orbites ou orbitales. Lorsque l'atome possède le même nombre de protons que d'électrons, on dira qu'il est électriquement neutre. Lorsque ce n'est pas le cas, on l'appelle *ion*. La charge dépend du nombre d'électrons partis ou rajoutés.

b) Absorption d'une énergie lumineuse

Les électrons sont en rotation sur des orbites autour du noyau. Ces orbites se succèdent et possèdent des énergies différentes. L'orbite la plus proche du noyau possède l'énergie la plus faible. Chaque orbite contient une énergie plus importante que la précédente.

Lorsqu'on fournit de l'énergie au système, l'électron passe de l'état fondamental à un état excité. Dans notre cas, cet apport d'énergie est lumineux. Lorsque cet électron tombe d'un niveau d'énergie élevé à un niveau inférieur, il se produit une émission d'énergie sous forme d'énergie lumineuse. Il est important de noter qu'un électron qui absorbe une certaine énergie ne pourra restituer qu'une énergie égale ou moindre que son absorption, donc la longueur d'onde de l'émission lumineuse sera plus grande ou égale à celle de l'absorption. Une absorption de haute énergie (ex : UV) engendre une émission de lumière dans le visible.

Cette radiation émise sera de fréquence bien définie et produira une raie et/ou une bande caractéristique du spectre. (**figure 25**)

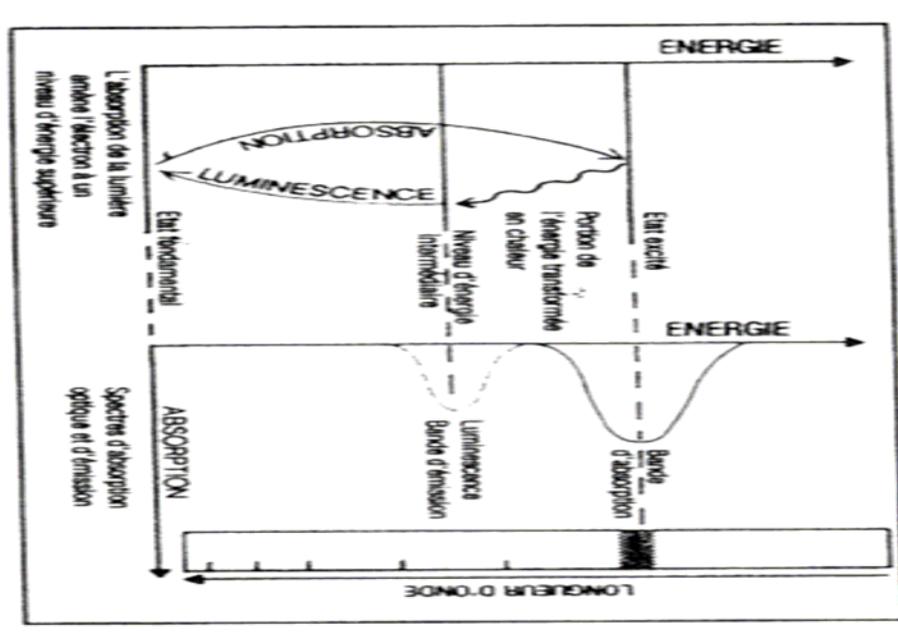


Figure 25 : schéma de la restitution d'énergie. ¹⁴²

c) Coloration due à la présence d'ions métalliques ^{143, 144}

Nous savons qu'il existe très peu d'ions capables d'absorber la lumière visible dans les gemmes. Ces éléments sont appelés *éléments chromogènes*. Ils sont au nombre de huit

Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu

Le groupe des grenats présente une gamme de couleur très large. On y trouve toutes les couleurs à l'exception du bleu. Ces couleurs sont dues à des mécanismes de superpositions des absorptions causés par les différents ions métalliques. De ce fait, les couleurs causées par le chrome seront fort différentes de celles causées par le manganèse. C'est le cas du grenat vert uvarovite coloré par le chrome (Cr^{3+}) (Manning, 1969 ; Calas 1978) (**figure 26**) et le grenat orange spessartite coloré par le manganèse (Mn^{2+}). Les différents points qui suivent vont traiter des mécanismes qui sont à l'origine de la couleur dans le groupe des grenats.

¹⁴² Fritsch E., Rossman G.R. (1999) l'origine de la couleur dans les gemmes (1ère partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.137, pp.17-23.

¹⁴³ <http://minerals.caltech.edu/>

¹⁴⁴ Nassau K. (2001) The physics and chemistry of color. The fifteen causes of color. Second edition.

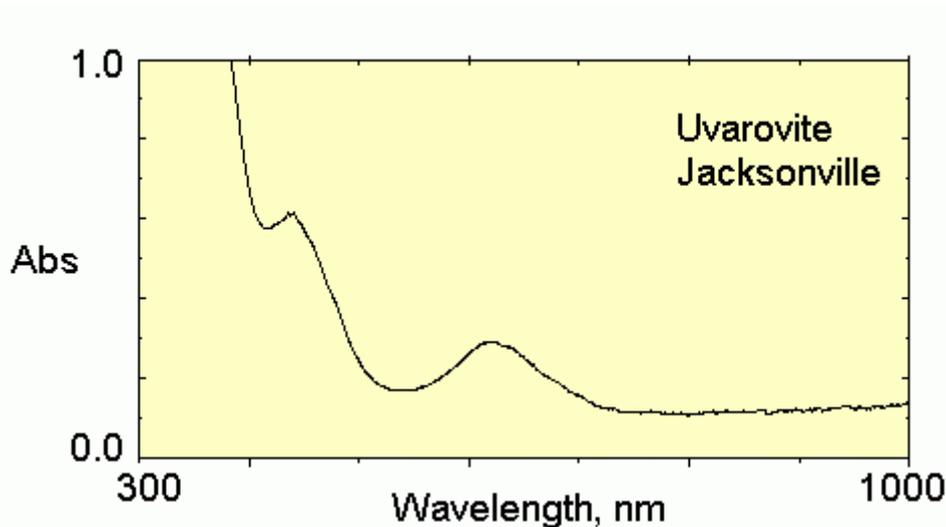


Figure 26 : Cr^{3+} uvarovite verte ¹⁴⁵

d) La valence des éléments ¹⁴⁶

La valence d'un ion joue un rôle important dans la teinte, le ton et la couleur d'une gemme. Chaque élément possède plusieurs états de valence mais seuls quelques uns ont une influence sur la couleur de la pierre. Citons l'exemple du manganèse qui se présente sous différentes formes. Le manganèse pourrait en théorie aller jusque Mn^{7+} mais on le trouvera dans les grenats sous la forme Mn^{2+} et Mn^{3+} .

Prenons le cas du Mn^{2+} (figure 27) qui est la cause primaire de la couleur orange de la spessartite (Manning, 1967a) et le Mn^{3+} (figure 28) qui est la cause primaire de la couleur rose dans le grossulaire (Manning et Owens, 1977a).

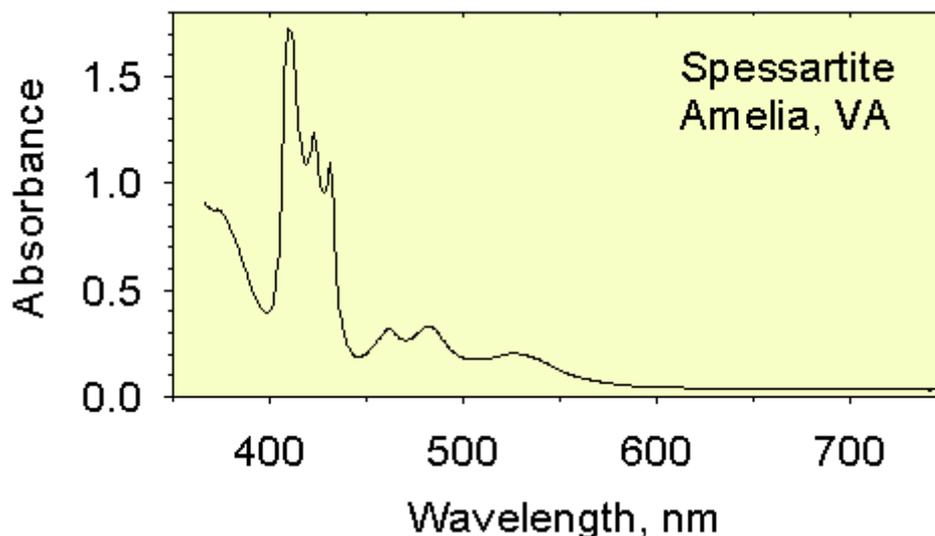


Figure 27 : Mn^{2+} spessartite orange. ¹⁴⁷

^{145, 147} <http://minerals.caltech.edu/>

¹⁴⁶ Fritsch E., Rossman G.R. (1999) l'origine de la couleur dans les gemmes (1ère partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.137, pp.17-23.

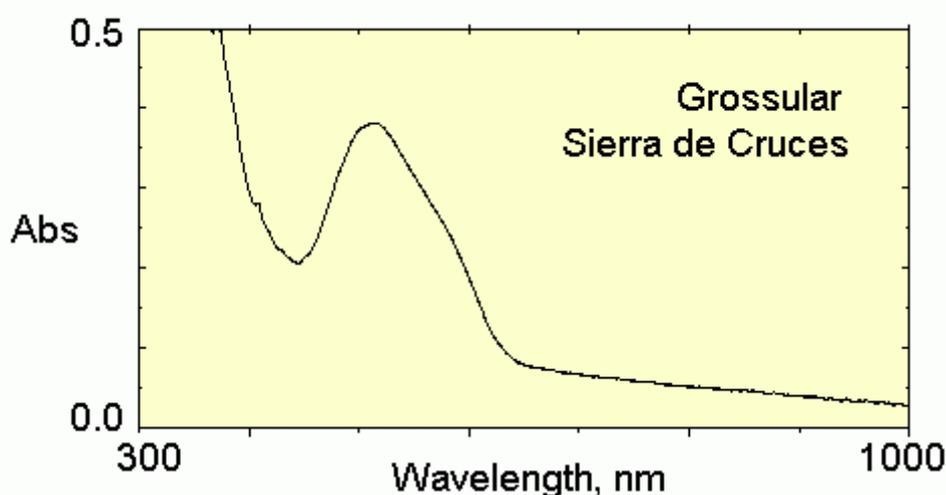


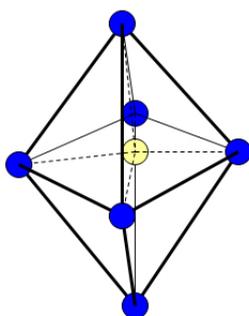
Figure 28 : Mn^{3+} grossulaire (rose framboise). ¹⁴⁸

Les différentes valences pour un même ion métallique créent des couleurs différentes dans les grenats. Il en est ainsi dans d'autres variétés de pierres. Dans le cas du manganèse, la pierre absorbe la lumière plus efficacement si elle contient du Mn^{3+} que si elle contient du Mn^{2+} . Les raisons de ces absorptions sont dues à des principes de mécanique quantiques qui ne seront pas expliqués dans ce travail.

e) L'influence de la coordination ¹⁴⁹

Dans les grenats, les ions responsables de la couleur des pierres sont entourés par un certain nombre d'ions d'oxygène. La coordination de l'ion est un nombre d'atomes d'oxygène variable lié à un ion métallique central qui se dispose de façon à créer dans le cas des grenats trois types de coordination géométrique qui sont : la coordination octaédrique, tétraédrique et cubique déformée.

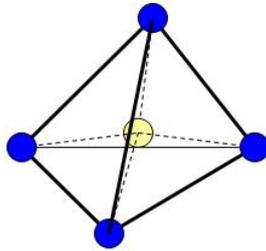
L'octaédrique : l'ion métallique est central et est entouré de 6 atomes d'oxygène qui sont situés à égale distance de l'ion métallique. On trouve sous cette coordination le Cr^{3+} , V^{3+} , Mn^{3+} , Fe^{3+} .



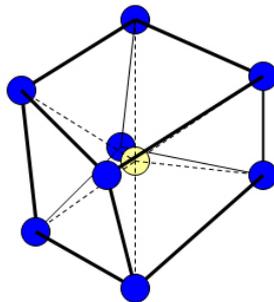
¹⁴⁸ <http://minerals.caltech.edu/>

¹⁴⁹ Fritsch E., Rossman G.R. (1999) l'origine de la couleur dans les gemmes (1ère partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.137, pp.17-23.

Le tétraédrique : l'ion métallique central est entouré de 4 atomes d'oxygène qui sont à égale distance de l'ion métallique. On trouve toujours sous cette coordination le Si^{4+} et le Ti^{4+} .



Le cubique déformé : l'ion métallique central est entouré de 8 atomes d'oxygène qui ne sont pas tous à égale distance de l'ion central. On trouve toujours sous cette coordination le Mn^{2+} . Le Fe^{2+} est très souvent dans cette coordination mais peut parfois être dans une coordination octaédrique (Rossman, G.R., communication personnelle, 2007).



Le type de géométrie de l'ion métallique central joue un rôle important sur la couleur de la pierre. La raison vient de la direction d'orientation des orbitales de l'ion métallique vers les ions d'oxygène. Les électrons de l'ion métallique central subissent des répulsions électrostatiques causées par les ions d'oxygène voisins. (**figure 29**). L'intensité de ces répulsions va dépendre du nombre d'ions d'oxygène, de la distance qui les sépare de l'ion métallique ainsi que l'orbitale dans laquelle l'électron se trouve. Lorsqu'un électron de l'ion métallique se déplace sur une orbite supérieure suite à l'absorption de la lumière, ce mouvement nécessite une énergie différente en fonction des répulsions électrostatiques et des coordinations (octaédrique ou tétraédrique) existantes engendrant, de ce fait, une couleur différente.

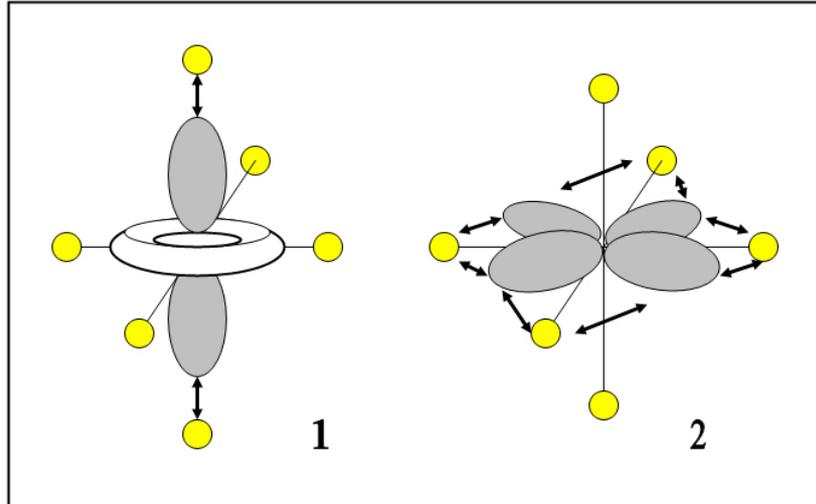


Figure 29 : Les électrons (gris) de l'ion métallique central subissent des répulsions électrostatiques causées par les ions d'oxygène (jaune) voisins.

1) Lorsque l'orbitale de l'ion métallique pointe vers les ions d'oxygène voisins, la répulsion électrostatique est très intense entre les électrons à l'intérieur de l'orbitale et les électrons des ions oxygène, tous chargés négativement.

2) Lorsque l'orbitale pointe entre les ions d'oxygène, la répulsion électrostatique est plus faible. Cette différence explique pourquoi des ions dans des coordinations différentes donnent des couleurs différentes.

f) L'influence de certains détails de la coordination des ions¹⁵⁰

La concentration et la distance de l'ion métallique-oxygène peut influencer l'environnement de l'ion donné. Dans le cas du grenat pyrope (Mg, Al) de couleur rouge, des ions de Cr^{3+} en coordination octaédrique sont présents en faible concentration, la distance entre Cr-O est de 0.196 nm (Calas, 1978). Par contre, dans les grenats knorringite (Mg-Cr) de couleur pourpre foncé, les ions de Cr^{3+} en coordination octaédrique en plus grande quantité ont une distance entre Cr-O de 0.203 nm (Berry et Vaughan, 1985). Cela montre qu'une augmentation de concentration d'ion Cr^{3+} peut entraîner une augmentation de la distance Cr-O et modifier la couleur de rouge au pourpre.

¹⁵⁰ Fritsch E., Rossman G.R. (1999) l'origine de la couleur dans les gemmes (1ère partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.137, pp.17-23.

g) Transferts de charge ¹⁵¹

Le transfert de charge est un mécanisme qui peut être décrit comme étant le passage d'un électron d'un atome à un autre. On retrouve ce mécanisme dans les grenats en tant que cause primaire de la couleur mais aussi en tant que cause secondaire de la couleur d'un grenat.

1) Les transferts de charge oxygène → ion métallique provoquent habituellement des absorptions centrées près de l'ultraviolet et se déplaçant vers la partie visible du spectre avec une augmentation de la charge positive de l'ion métallique central, cela ayant tendance à produire des couleurs jaune à orange brun. Le transfert de charge $O^{2-} \rightarrow Fe^{2+}$ est bien centré dans l'ultraviolet et n'influence que très peu la couleur. Le transfert de charge $O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$ est centré à la limite de l'ultraviolet et s'étend jusque dans la partie visible du spectre provoquant généralement des teintes jaune à brune. Les couleurs produites par un transfert de charge sont plus intenses que celles produites par des ions métalliques dispersés. L'intensité de la couleur dépend aussi de la position de l'absorption causée par le transfert de charge par rapport à la partie du spectre visible.

2) Dans le transfert de charge ion métallique → oxygène, l'électron visite l'ion voisin le plus proche, mais il arrive que l'électron aille plus loin que l'ion le plus proche. C'est le cas lorsque deux ions métalliques sont séparés par un atome d'oxygène, ils vont pouvoir s'échanger des électrons. C'est un processus qui influence fortement la couleur d'une pierre. Lorsqu'une telle transition se produit entre deux niveaux d'oxydation différents d'un élément, on parle de transfert de charge d'intervalence.

Le fer étant abondant dans la nature, il est fréquent d'avoir un transfert de charge entre les ions Fe^{2+} et Fe^{3+} . Des transferts de charge $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ se créent dans certaines variétés de grenat qui peuvent contribuer à la couleur finale de la pierre.

Ce genre de transfert est la cause principale des grossulaires de couleur jaune, orange, orange-brun (**figure 30**), brun et incolore mais peut jouer un rôle secondaire dans la cause de la couleur du pyrope almandin (Rossman, G.R 2007 communication personnelle).

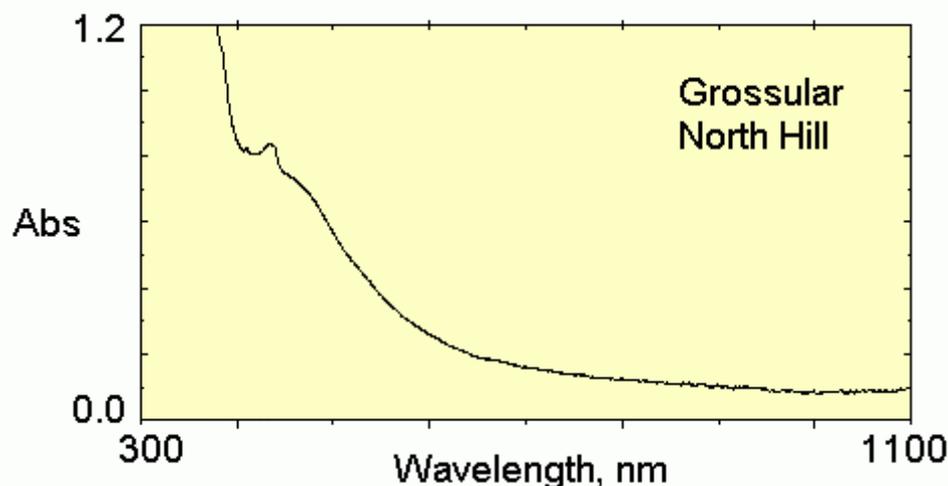


Figure 30 : Grossulaire orange-brun. L'absorption à 434 nm est probablement due au Fe^{3+} (Amthauer, 1975 ; Slack et Chrencko, 1971). ¹⁵²

¹⁵¹ Fritsch E., Rossman G.R. (2000) l'origine de la couleur dans les gemmes (2ème partie). Revue de gemmologie A.F.G., n° 140, pp.36-43.

¹⁵² <http://minerals.caltech.edu/>

Des transferts de charge d'intervalence se produisent aussi entre des ions métalliques d'éléments chimiques différents. C'est le cas du transfert de charge $\text{Fe}^{2+} - \text{O} - \text{Ti}^{4+}$ qui est la cause primaire de la couleur des andradites jaune (topazolite) à noire (mélánite) (Moore et White, 1971) (**figure 31**).

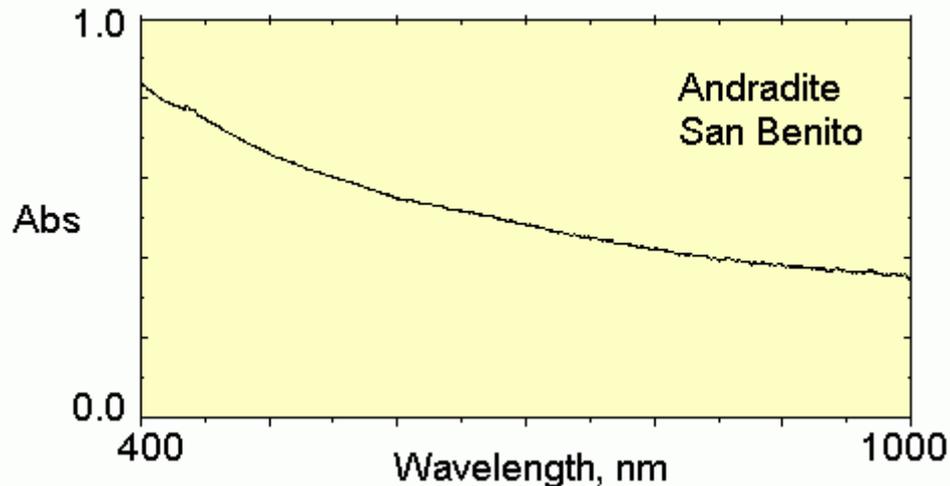


Figure 31 : Andradite noire (mélánite) ¹⁵³

Notez qu'une andradite jaune présentera le même spectre mais l'intensité de son absorption sera plus faible, située plus bas. (E. Fritsch, communication personnelle, 2007)

La mélánite est de couleur noire mais lorsque la pierre est amincie, sa couleur devient un brun-orange foncé (**figure 32**).

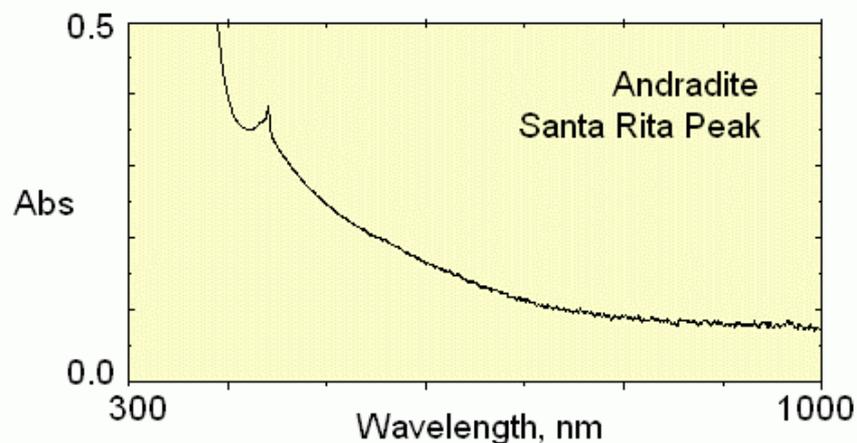


Figure 32 : Andradite brun-orange foncé. Le pic vers 441 nm provient du Fe^{3+} . ¹⁵⁴

Le transfert de charge $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Ti}^{4+}$ peut jouer un rôle secondaire dans la couleur d'une pierre. C'est le cas pour le pyrope (Platonov et al., 1991), l'almandin (Langer et al., 1993), et le grossulaire rose (Rossmann, G.R. 2007 communication personnelle).

^{153, 154} <http://minerals.caltech.edu/>

h) Le changement de couleur ^{155, 156, 157, 158, 159}

Le changement de couleur des grenats intermédiaires de la série pyrope-spessartite est une fonction complexe qui dépend des proportions d'éléments chimiques (Fe, Mn, V, Cr) qui se trouvent dans la pierre. Cela engendre des absorptions sélectives et des couleurs différentes selon le type de luminosité (lumière de jour, lumière incandescente).

Pour comprendre le fonctionnement de ce mécanisme, rappelons que la lumière solaire est constituée de toutes les longueurs d'ondes de la lumière visible. La lumière du jour ou fluorescente est une énergie forte, riche en couleurs violet, bleu et vert tandis que la lumière incandescente est une énergie faible, riche en couleurs jaune, orange et rouge.

Le spectre des grenats «color change» consiste généralement en deux bandes d'absorptions larges situées dans la région de la lumière visible. La position et l'intensité de ces bandes jouent un rôle important et peuvent faire varier la couleur. Le spectre de ces grenats présente deux zones de transmission, une centrée dans le bleu, entre les bandes d'absorptions majeures et une autre centrée dans le rouge. En lumière du jour, la fenêtre de transmission située dans le bleu-vert ne fait que faire passer la couleur bleu-vert. Ce qui engendre donc un grenat de couleur bleu-vert (**figure 33**).

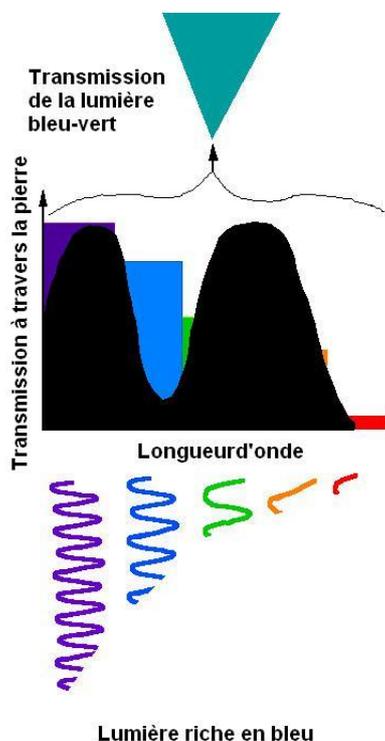


Figure 33 : Transmission en lumière du jour ¹⁶⁰

¹⁵⁵ Krzemnicki M.S., Hänin H.A., Reusser E. (2001) Color-change garnets from Madagascar : comparison of colorimetric with chemical data. *Journal of gemology*. Vol. 27, n° 7, pp. 395-408.

¹⁵⁶ Manson D.V., Stockton C.M. (1984) Pyrope-spessartite garnets with unusual color behaviour. *Gems & Gemology*, Vol. 20, n° 4, pp. 200-207.

¹⁵⁷ Schmetzer K., Bernhardt H.-J. (1999) Garnets from Madagascar with a color change of blue-green to purple. *Gems & Gemology*, Vol. 35, n° 4, pp. 196-201.

¹⁵⁸ Schmetzer K., Hainschwang T., Kiefert L., Bernhardt H.-J. (2001) Pink to pinkish orange malaya garnets from Bekily, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 37, n° 4, pp. 296-308.

¹⁵⁹ Schmetzer K., Hainschwang T., Bernhardt H.-J., Kiefert L. (2002) New Chromium- and Vanadium-bearing garnets from Tranoroa, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 38, n° 2, pp. 148-155.

¹⁶⁰ <http://www.socrates.berkeley.edu/~eps2/wisc/lect.html/>

Sous la lumière incandescente le grenat paraîtra rouge étant donné que la lumière incandescente contient une proportion plus importante de rouge que la lumière solaire. (**figure 34**)

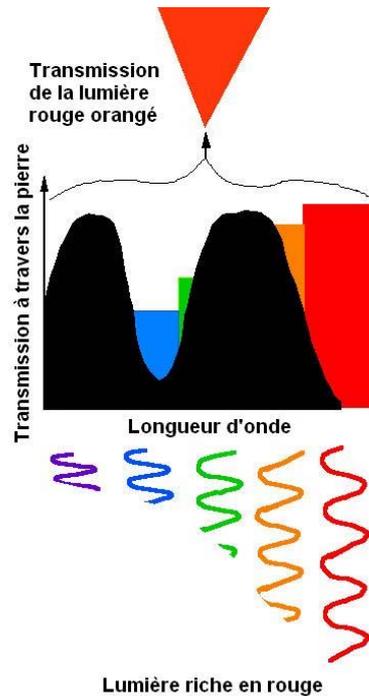


Figure 34 : Transmission en lumière incandescente ¹⁶¹

Sous la lumière solaire, le grenat paraîtra pourpre-gris étant donné que la lumière blanche contient toutes les couleurs du visible. Le résultat sera un mélange de toutes les couleurs restantes. (**figure 35**)

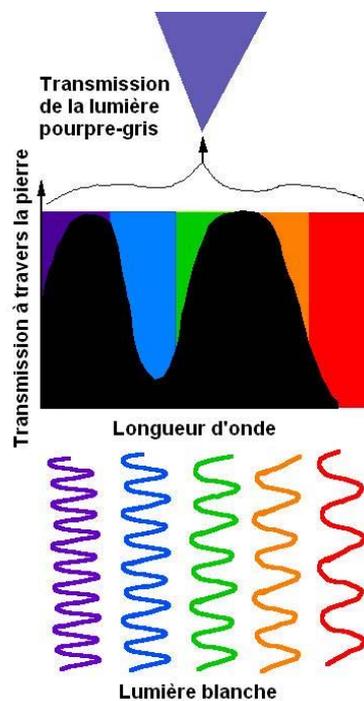


Figure 35 : Transmission en lumière blanche ¹⁶²

^{161, 162} <http://www.socrates.berkeley.edu/~eps2/wisc/lect.html/>

Les proportions de Mn^{2+} , Fe^{2+} , V^{3+} , Cr^{3+} jouent un rôle important dans les pyrope-spessartite à changement de couleur et peuvent avoir des conséquences énormes sur la couleur finale. L'exemple suivant en est le cas. Il s'agit de deux grenats pyrope-spessartite à changement de couleur (**figure 36**) aux couleurs différentes provenant de la même région (Bekily, Madagascar).



Figure 36 : Deux grenats à changement de couleur en lumière du jour (image de gauche) et en lumière incandescente (image de droite).¹⁶³

Les différentes couleurs de ces deux grenats sont causées par les absorptions de Mn^{2+} , Fe^{2+} , V^{3+} et/ou Cr^{3+} . (**figure 37**)

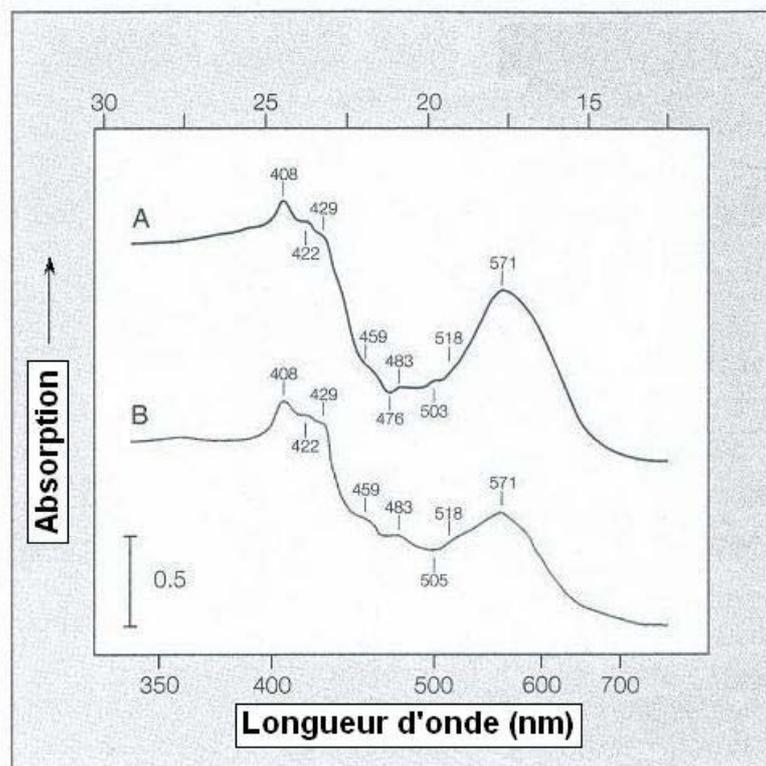


Figure 37 : spectre A grenat bleu-vert / pourpre ; spectre B grenat jaune verdâtre / rose.¹⁶⁴

Les bandes d'absorptions attribuées au V^{3+} se situent à 571 nm; Mn^{2+} à 408, 422, 483 nm; Fe^{3+} à 429 et le Fe^{2+} à 459, 503, 518 nm. L'absorption à 570 nm est attribuée au Cr^{3+} juste à côté de celle du vanadium et ne peut être séparée de celle-ci.

^{163, 164} Schmetzer K., Bernhardt H.-J. (1999) Garnets from Madagascar with a color change of blue-green to purple. *Gems & Gemology*, Vol. 35, n°. 4, pp. 196-201.

La cause de ces absorptions vient des quantités relatives d'éléments chimiques. Le **tableau 2** montre la comparaison d'éléments chimiques de ces deux grenats.

**Pyrope-spessartite vert-bleuté,
bleu-vert, bleu-verdâtre / pourpre (A)**

43-51 mol % de pôle pyrope
36-44 mol % de pôle spessartite
5-7 mol % de pôle almandin
1-3 mol % de pôle grossulaire
0,89-1,25 % de V_2O_3
0,14-0,36 % de Cr_2O_3

**Pyrope-spessartite
Jaune-verdâtre / Rose (B)**

37 mol % de pôle pyrope
47 mol % de pôle spessartite
3 mol % de pôle almandin
10 mol % de pôle grossulaire
0,64 % de V_2O_3
0,53 % de Cr_2O_3

Tableau 2 : Comparaison chimique des pierres A et B.

En comparant la pierre A avec la pierre B, il apparaît que sa couleur jaune-verdâtre est due à son faible taux en V^{3+} et Cr^{3+} , ce qui diminue l'absorption à 571 nm. Le Fe^{2+} en moins grande proportion a fait que l'absorption minimum se situe à 505 dans la région du vert. C'est cet ensemble de facteurs qui fait varier la couleur.

Ce type de changement de couleur est appelé « color shift » et se rencontre dans les pyropes, dans les spessartites et la variété intermédiaire de la série pyrope-spessartite. Ces changements dépendent des proportions d'éléments chimiques (Mn, Fe, V, Cr) comme dans les « color change ». Le « color shift » est une question de proportion relative des deux spectres (pyrope et spessartite) additionnés. Ce qui en résulte est un spectre complexe. S'il y a « à peu près autant des deux », on obtient un « color change » ; s'il y en a plus de l'un que de l'autre, soit le changement de couleur est faible, soit il n'existe pas. Il ne s'agit pas ici de proportion de deux fenêtres de transmission mais bien de deux spectres.

L'exemple suivant en est le cas. Ces grenats pyrope-spessartite de Tranoroa, Madagascar, paraissent pourpre-rouge brunâtre à la lumière du jour et rouge pourpré foncé à la lumière incandescente. (**figure 38**)

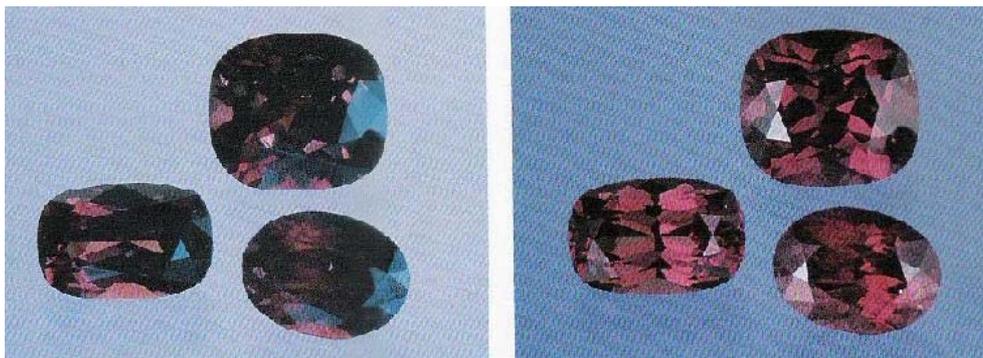


Figure 38 : Ces grenats de Tranoroa apparaissent pourpre-rouge brunâtre à la lumière du jour (photo de gauche) et rouge pourpré foncé à la lumière incandescente (photo de droite).¹⁶⁵

¹⁶⁵ Schmetzer K., Hainschwang T., Bernhardt H.-J., Kiefert L. (2002) New Chromium-and Vanadium-bearing garnets from Tranoroa, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 38, n°. 2, pp. 148-155.

Ce changement provient des proportions présentes dans ces pierres. 33-39 mol % de pôle de pyrope ; 51-55 mol % de pôle de spessartite ; 5-7 mol % de pôle d'aluminium ; 0,6-3 mol de pôle de grossulaire ; 0,67-0,75 % de Cr_2O_3 et 0,35-0,58 % V_2O_3 .

Ces grenats possèdent des caractéristiques d'absorptions qui sont similaires aux grenats « color change » de Bekily ($\text{V} > \text{Cr}$) et qui possèdent une absorption maximum dans la région du jaune à 571 nm ainsi que deux régions de transparences dans la région du rouge et du bleu-vert à violet (Schmetzer et Bernardt, 1999). Cependant, les grenats de Tranoroa à « color shift » portent plus de chrome que de vanadium engendrant une transparence dans la région du bleu-vert à violet plus petite. (figure 39)

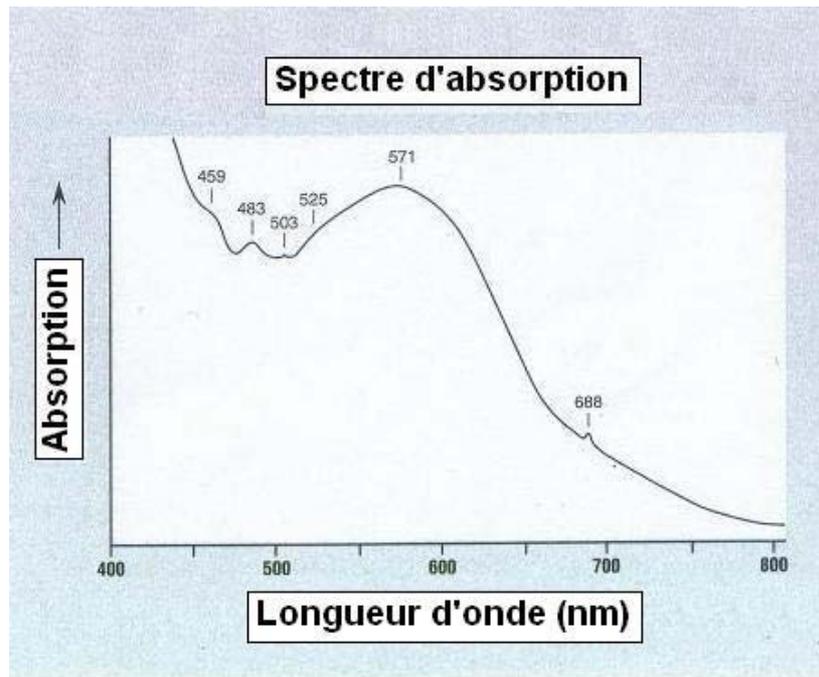


Figure 39 : Spectre d'un grenat pyrope-spessartite « color shift » de Tranoroa, pourpre-rouge brunâtre à la lumière de jour (photo de gauche) et rouge pourpré foncé à la lumière incandescente. ¹⁶⁶

Ceci explique la différence de comportement de couleur des grenats à chrome et vanadium de Bekily et Tranoroa. Une augmentation de manganèse dans les grenats pyrope-spessartite cause une augmentation de l'intensité des bandes d'absorption du manganèse, réduisant ainsi la transparence dans la région du bleu-vert à violet (voir figure ci-dessus). Ceci faisant diminuer la composante de couleur bleu et augmentant la composante de couleur orange dans le grenat. C'est le haut taux de manganèse qui provoque la différence de couleur à la lumière du jour et à la lumière incandescente.

Que se passe-t-il lorsque le taux de manganèse est encore plus haut ? C'est le cas pour les spessartites porteuses de chrome et vanadium provenant de Tranoroa. Ces grenats apparaissent orange brunâtre à la lumière du jour et orange rougeâtre à la lumière incandescente. Ces grenats sont composés d'environ 88 mol % de spessartite, 5 mol % de pyrope, 2 mol % d'almandin et d'un taux de chrome (1,01 % de Cr_2O_3) plus haut que le vanadium (0,32 % de V_2O_3).

¹⁶⁶ Schmetzer K., Hainschwang T., Bernhardt H.-J., Kiefert L. (2002) New Chromium-and Vanadium-bearing garnets from Tranoroa, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 38, n°. 2, pp. 148-155.

Le spectre relève une absorption dominante de chrome dans la région du jaune à 571 nm et des faibles bandes liées au fer à 459 et 525 nm. Le haut taux de manganèse engendre de fortes absorptions de manganèse (459, 483 et 525 nm), ainsi qu'une transparence dans la région du bleu-vert à violet plus faible que dans les pyrope-spessartite de Tranoroa. (**figure 40**). C'est cette différence de transparence dans la région du bleu-vert à violet qui est responsable de la couleur en lumière du jour et incandescente. (**figure 41**)

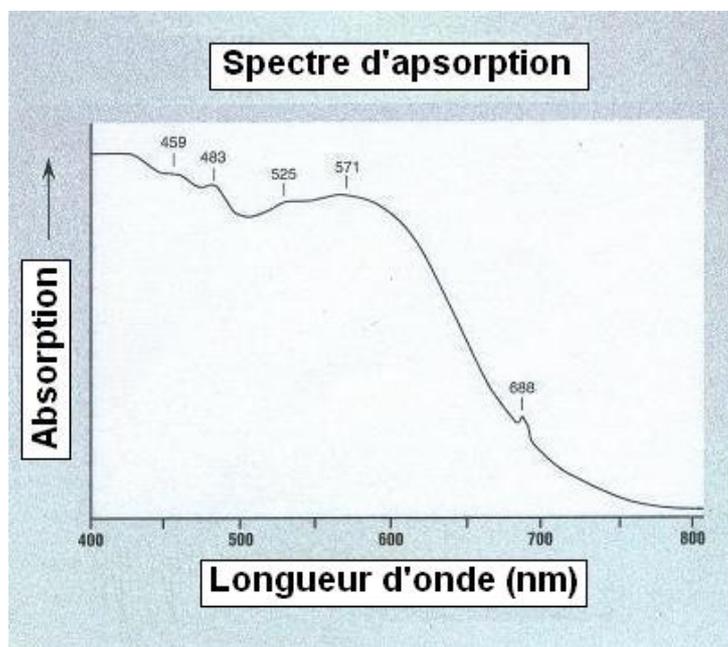


Figure 40 : Spectre d'un grenat spessartite riche en chrome et vanadium « color shift » de Tranoroa. ¹⁶⁷

Le chrome joue un rôle dans le changement de couleur. Cet "effet" de changement de couleur dû au haut taux de Cr^{3+} est aussi présent dans le pyrope (Amthauer, 1976). Ce sont les pyropes riches en chrome (rouge foncé) avec une teneur supérieure à 3 % de Cr_2O_3 qui présentent un changement de couleur distinct. Ces propriétés chimiques ont été vérifiées par Schmetzer et al (1980). Notez que ces pyropes possédant ces propriétés chimiques ont été rarement rencontrés en pierre gemme et occasionnellement en tant qu'inclusion dans le diamant.

Le spectre du pyrope chromifère présente des absorptions à 461, 569 nm. Le Cr^{3+} contribue à l'absorption à 421 nm mais peut subir la superposition de l'absorption du manganèse. La bande d'absorption à 569 nm peut provenir d'une combinaison de Cr^{3+} , V^{3+} et de Fe^{2+} . Ceux-ci jouant sur l'intensité de l'absorption. (**figure 41**)

¹⁶⁷ Schmetzer K., Hainschwang T., Bernhardt H.-J., Kiefert L. (2002) New Chromium-and Vanadium-bearing garnets from Tranoroa, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 38, n°. 2, pp. 148-155.

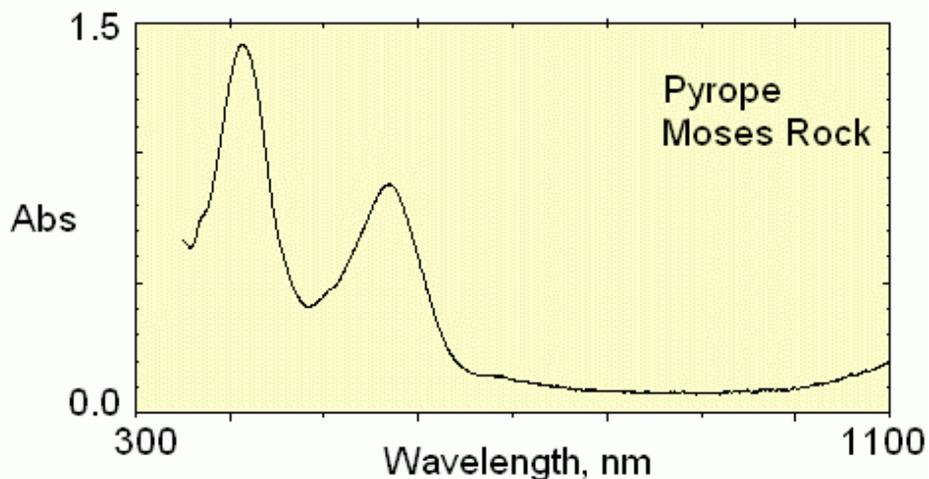


Figure 41 : Pyrope chromifère ¹⁶⁸

Les figures suivantes reprennent les différents grenats à changement de couleur existant à Madagascar. Ces variétés de grenats sont classées par groupes en fonction de leurs couleurs suivant leurs environnements lumineux (**figure 42**). Les propriétés physiques et chimiques permettent de faire la comparaison entre groupes de pierres (**figure 43**).

Group	Samples	Daylight	Tungsten light	Colour change	References
Group I	J	blue	blue with purplish hue	very slight hue change	9, 11
Group II	A, B, D, F-I, L-N, Q, T-W, Y, Z	blue-greenish blue	purplish-blue – purple	moderate – distinct	1, 2, 4, 6, 7, 11, 12
Group III	P, R, S	yellowish-green	pink – light purple	slight – moderate	3, 5, 6, 7, 11, 12, 13
Group IV	C, X	brownish-green	brownish-red	moderate	6
Group V	O	brown	reddish-brown	very slight	

References:

1. Jobbins <i>et al.</i> , 1975	6. Koivula and Kammerling, 1988	11. Schmetzer and Bernhardt, 1999
2. Johnson and Koivula, 1996a	7. Liu <i>et al.</i> , 1999	12. Stockton, 1982
3. Johnson and Koivula, 1996b	8. Manson and Stockton, 1984	13. Stockton and Manson, 1985
4. Johnson and Koivula, 1998a	9. Schmetzer and Ottemann, 1979	
5. Johnson and Koivula, 1998b	10. Schmetzer <i>et al.</i> , 1980	

Figure 42 : Classification des grenats à changement de couleur de Madagascar. ¹⁶⁹

¹⁶⁸ <http://minerals.caltech.edu/>

¹⁶⁹ Krzemnicki M.S., Hänin H.A., Reusser E. (2001) Color-change garnets from Madagascar : comparison of colorimetric with chemical data. *Journal of gemology*. Vol. 27, n°. 7, pp. 395-408.

	Group I Sample J	Group II Sample M	Group II Sample A	Group III Sample R	Group IV Sample C	Group V Sample O	Spessartine Sample K
RI	1.763	1.767	1.748	1.760	1.781	neg.	neg.
SG	3.832	3.893	3.748	3.871	4.068	4.104	4.168
<i>Oxide weight%</i>							
MgO	10.45	11.78	15.25	10.49	4.21	0.87	b.d.
MnO	18.49	21.31	14.75	18.89	33.69	34.41	42.27
CaO	7.31	3.01	4.65	5.09	1.73	3.11	0.21
FeO	0.65	2.84	0.96	2.29	0.52	3.10	b.d.
Cr ₂ O ₃	0.38	0.95	0.17	0.11	0.24	0.26	b.d.
V ₂ O ₃	1.61	0.91	0.43	0.27	1.30	0.44	0.01
TiO ₂	0.06	0.03	0.04	0.11	0.25	0.51	b.d.
Al ₂ O ₃	21.12	20.48	22.70	21.67	19.99	20.06	20.88
SiO ₂	38.63	38.81	41.47	40.22	37.22	37.65	36.65
Total	98.70	100.12	100.42	99.14	99.15	100.41	100.02
<i>Endmember mol%</i>							
Pyrope	39.3	42.6	55.4	40.1	16.9	3.6	0.0
Spessartine	39.5	43.8	30.5	41.0	76.9	80.1	99.4
Almandine	1.4	5.8	2.0	4.9	1.2	7.1	0.0
Uvarovite	1.1	2.9	0.5	0.3	0.8	0.8	0.0
Goldmanite	4.9	2.8	1.3	0.8	4.2	1.4	0.0
Grossular	13.8	2.1	10.4	12.8	0.1	6.9	0.6
For this table, only representative analyses of the studied colour-change garnets from Madagascar were chosen.							
Cr ₂ O ₃ was corrected for interference with vanadium – KB, see section 'Materials and methods'.							
b.d. – below detection limit. Endmember calculation after Deer <i>et al.</i> , 1992							
neg. – negative RI, i.e. above upper limit of the TIR-refractometer at 1.785							

Figure 43 : Les propriétés physiques et chimiques des grenats à changement de couleur. ¹⁷⁰

¹⁷⁰ Krzemnicki M.S., Hänin H.A., Reusser E. (2001) Color-change garnets from Madagascar : comparison of colorimetric with chemical data. *Journal of gemology*. Vol. 27, n°. 7, pp. 395-408.

Les propriétés chimiques font varier les absorptions. Une comparaison avec une spessartite permet de voir l'évolution des spectres lorsque les compositions chimiques varient (**figure 44**).

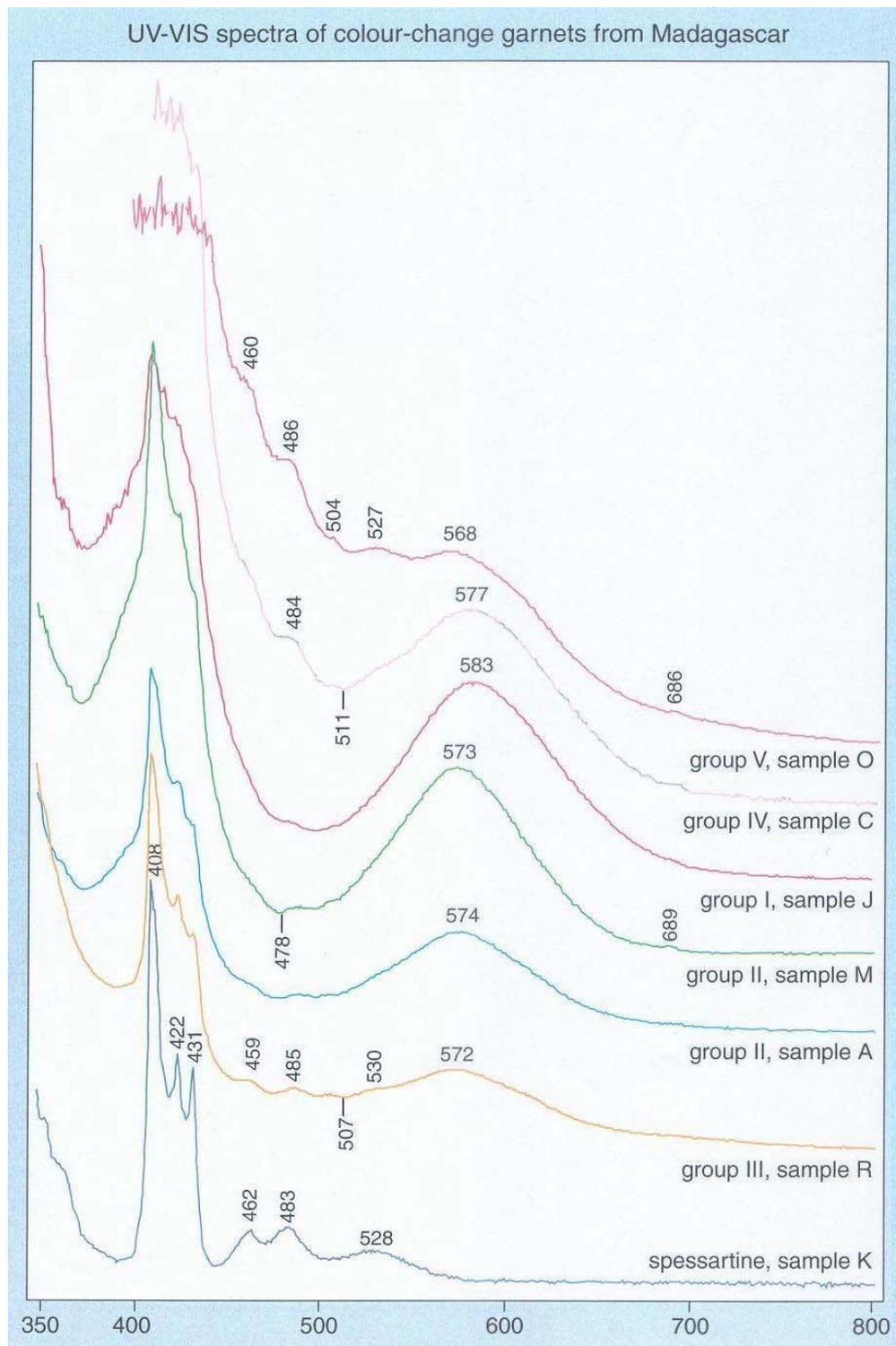


Figure 44 : La comparaison des différents spectres des grenats à changement de couleur à partir d'une spessartite ¹⁷¹

¹⁷¹ Krzemnicki M.S., Hänin H.A., Reusser E. (2001) Color-change garnets from Madagascar : comparison of colorimetric with chemical data. Journal of gemology. Vol. 27, n°. 7, pp. 395-408.

i) Les grossulaires verts, jaune-vert à orange ¹⁷²

Il est important de garder à l'esprit que la couleur d'une pierre, d'un grenat ne dépend pas que d'un seul mécanisme mais bien d'une association de plusieurs mécanismes. Le tableau de l'origine de la couleur et des grenats correspondants reprend la cause primaire de la couleur pour chacune des variétés et espèces de grenats. Le tableau des variétés, causes, couleurs des grenats reprend la ou les causes qui peuvent influencer leurs couleurs. Ces deux tableaux se situent à la fin de ce chapitre.

Par exemple : dans la variété de grossulaire vert (tsavorite) la cause primaire de la couleur est due au V^{3+} . (**figure 45**)

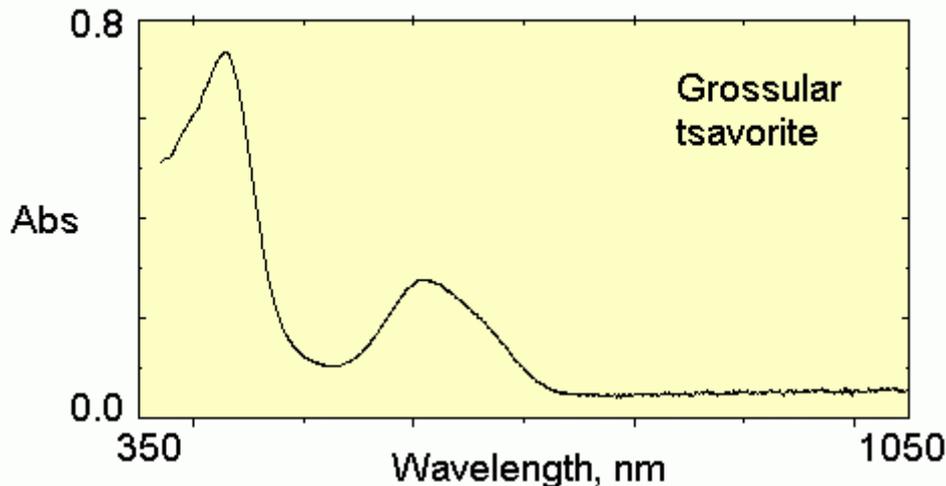


Figure 45 : Grossulaire vert (tsavorite) coloré par le V^{3+} ¹⁷³

Beaucoup de tsavorites possèdent une grande quantité de Cr^{3+} , ce qui contribue à la couleur verte de la tsavorite. Les absorptions de Cr^{3+} dans le spectre d'un grossulaire se situent vers 427 et 611 nm (Amthauer, 1976).

Le vanadium et le chrome sont toujours responsables de la couleur verte des grossulaires. Cette relation entre le V^{3+} et le Cr^{3+} a été observée par Switz (1974) et par Amthauer (1975). Les deux figures suivantes font référence à une expérience faite sur 105 grenats. La première figure (**figure 46**) montre que plus le % de vanadium augmente, plus la pierre aura un vert prononcé. La deuxième figure (**figure 47**) montre que plus le % de chrome augmente, plus la pierre aura un vert prononcé.

¹⁷² Manson D.V., Stockton C.M. C.M. (1982) Gem-quality grossular garnets. *Gems & Gemology*. Vol. 18, n°. 4, pp. 204-213.

¹⁷³ <http://minerals.caltech.edu/>

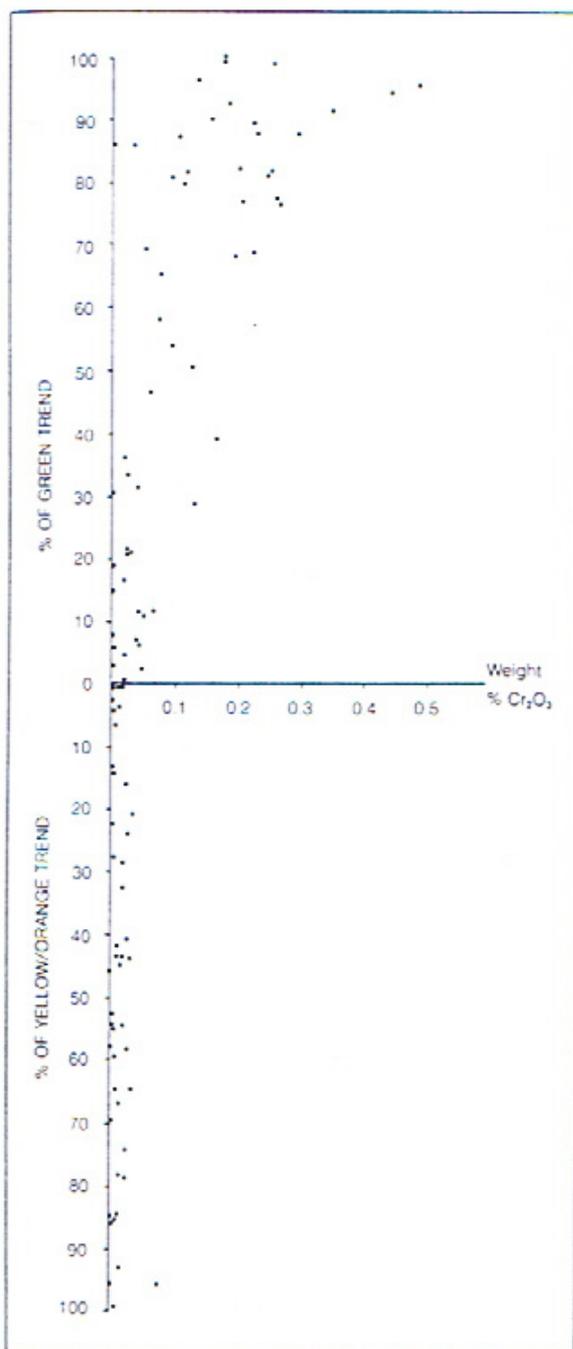


Figure 46¹⁷⁴

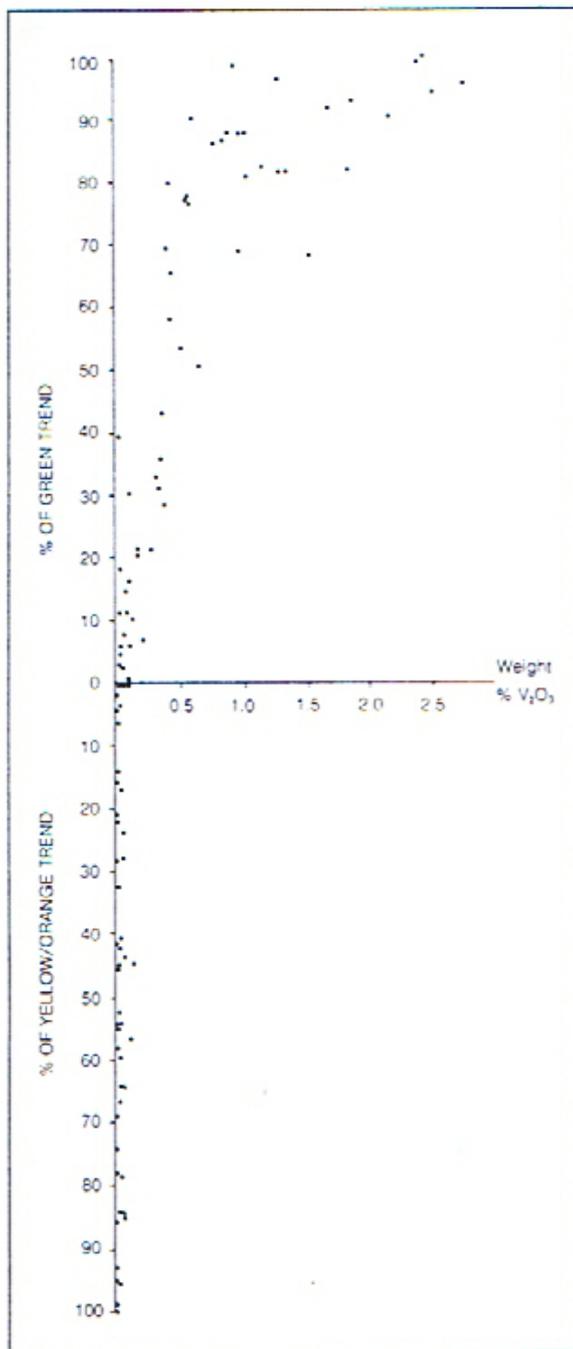


Figure 47¹⁷⁵

L'expérience montre que la couleur de la tsavorite n'est pas causée seulement par le V^{3+} mais en association avec le Cr^{3+} . Plus le % de l'élément augmente, plus la couleur verte devient vive.

Le Fe^{2+} est inexistant dans les grossulaires verts. Le Fe^{3+} est responsable des tons de couleur jaune et orange à orange-rouge dans les grossulaires. Plus le taux de Fe^{3+} augmente, plus la nuance de jaune apparaît en faisant diminuer l'intensité de vert dans le grossulaire. La **figure 48** suivante montre l'effet du Fe^{3+} sur les composantes de couleur jaune et orange. La faible teneur en Fe^{3+} sera responsable des couleurs brun-orange à orange et des couleurs jaune à vert jaune lorsque la teneur en Fe^{3+} est haute.

^{174, 175} Manson D.V., Stockton C.M. C.M. (1982) Gem-quality grossular garnets. *Gems & Gemology*. Vol. 18, n°. 4, pp. 204-213.

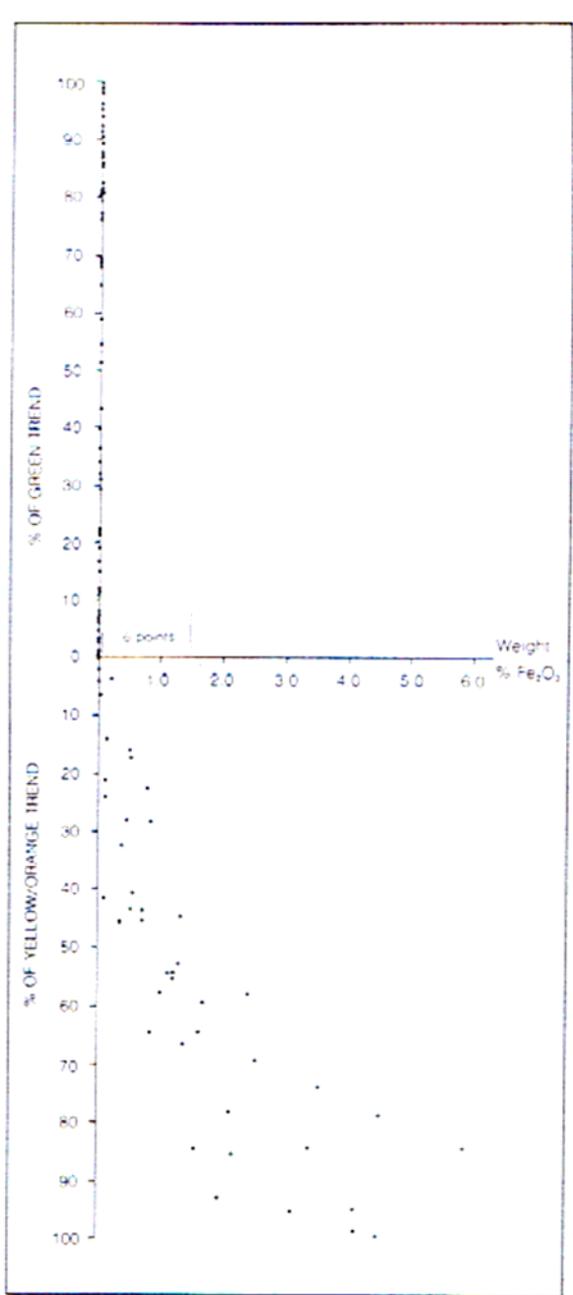


Figure 48

Le spectre suivant est celui d'un grossulaire jaune-vert coloré par le Fe^{3+} en coordination octaédrique (**figure 49**).¹⁷⁶

¹⁷⁶ Manson D.V., Stockton C.M. C.M. (1982) Gem-quality grossular garnets. *Gems & Gemology*. Vol. 18, n°. 4, pp. 204-213.

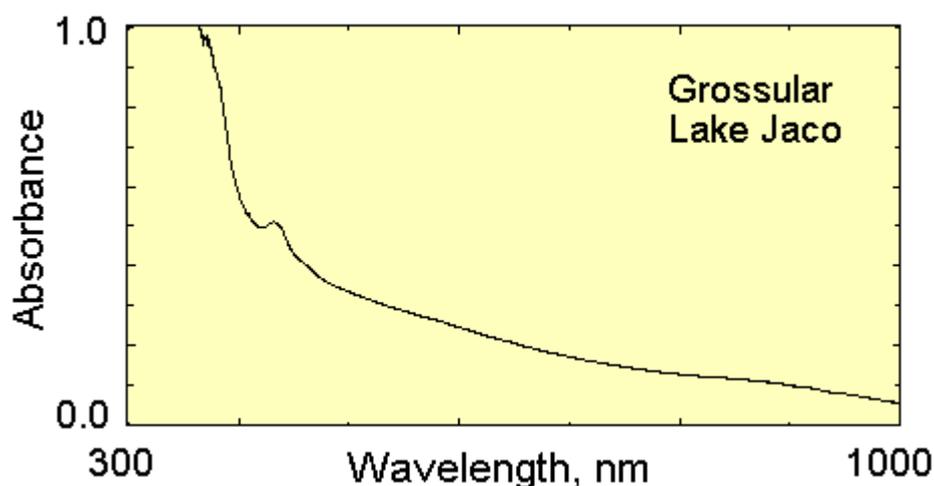


Figure 49 : Grossulaire jaune-vert coloré par le Fe^{3+} .¹⁷⁸

Il y a une relation étroite entre les grossulaires jaune et orange et le Fe^{3+} qui a été confirmée par Manning et Tricker (1977). Donc une tsavorite dans les tons vert-jaune, devra sa couleur à une association de quantité de V^{3+} , Cr^{3+} et Fe^{3+} .

j) Les andradites vert à vert-jaune^{179, 180, 181}

La cause principale de la couleur verte des andradites, démantoides provient de la présence du Cr^{3+} (Anderson, 1954-1955 ; Stockton et Manson, 1983-1984). Le spectre d'absorption du démantoidé présente une large et forte absorption située vers 620 nm (Amthauer, 1976) plus une à 640 nm (**figure 50**). L'augmentation de la teneur en Cr_2O_3 fait augmenter l'intensité de la couleur verte. Dans les démantoides d'Iran, la répartition de la couleur est souvent zonée et là où les couleurs sont plus vertes, la teneur en Cr^{3+} est haute.

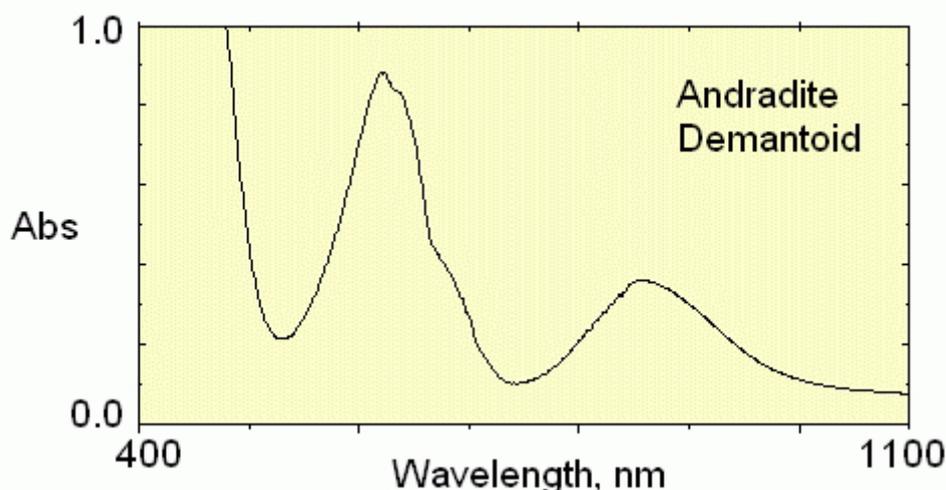


Figure 50 : Andradite, démantoidé coloré par le Cr^{3+} .¹⁸²

^{178, 182} <http://minerals.caltech.edu/>

¹⁷⁹ Karampelas S., Gaillou E., Fritsch E., Douman M. (2007) Les grenats andradites-démantoidé d'Iran: Zonage de couleur et inclusions. *Revue de Gemmologie A.F.G.*, 160, pp. 14-19.

¹⁸⁰ Krzemnicki M.S. (1999) Diopside needles as inclusions in demantoid garnet from Russia : A Raman microspectrometric study. *Gems & Gemology*, Vol. 35, n°. 4, pp. 192-195.

¹⁸¹ Stockton C.M., Manson D.V. (1983) Gem andradite garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 19, n°. 4, pp. 202-208.

La couleur des andradites vert-jaune est principalement causée par le Fe^{3+} (Manning, 1976b ; 1972). Trois absorptions peuvent être présentes vers 449, 573 et 620 nm (**figure 51**). Lorsque la couleur est vert jaunâtre à jaune-brun, les bandes à 573 et 620 nm apparaissent comme une seule large absorption dont le sommet est centré vers 600 nm et est lié à la présence de Fe^{3+} (Moore et White, 1972). Cette référence assigne la bande à 446 nm au Fe^{3+} .

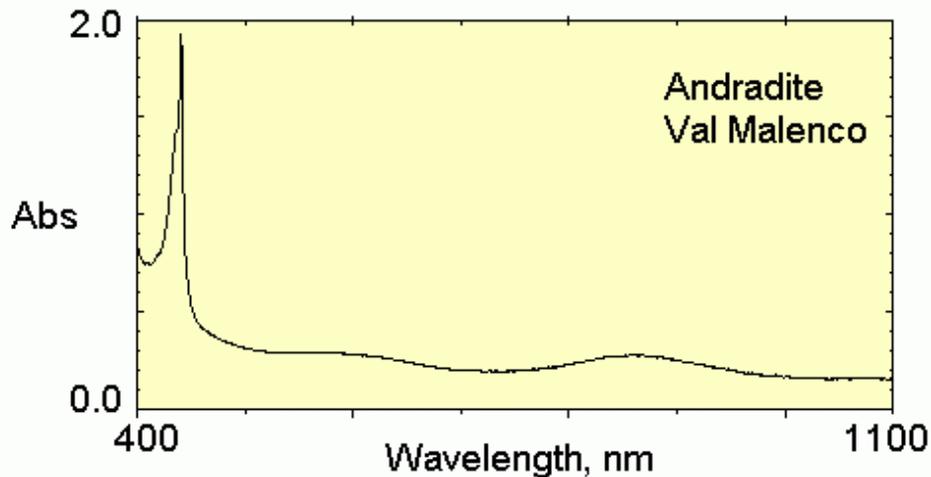


Figure 51 : Andradite de couleur vert-jaune coloré par le Fe^{3+} .¹⁸³

k) L'origine de la couleur de la série pyrope almandin^{184, 185, 186,}

On pourrait se demander comment le pyrope (rouge), le pyrope-almandin (rhodolite) (rose) et l'almandin (rouge brunâtre), tous colorés par le Fe^{2+} possèdent tous les trois une couleur différente ? La couleur de l'almandin est causée par le Fe^{2+} (Manning, 1967b) (**figure 52**). La couleur du pyrope-almandin « rhodolite » est causée par le Fe^{2+} (Manning, 1967b) (**figure 53**), La couleur du pyrope est causée par le Fe^{2+} (Manning, 1967b) (**figure 54**). La raison est certainement due à la quantité de Fe^{2+} présente dans ces trois pierres. Le taux de fer fait varier les différentes bandes d'absorptions du Fe^{2+} situées à 459, 503, 525, 569, 610 et 687 nm, mais aussi d'autres composants mineurs tels que le Mg^{2+} , Ti^{4+} et même Fe^{3+} en faible quantité. Ces composants peuvent créer des changements mineurs dans le spectre d'absorption d'une pierre.

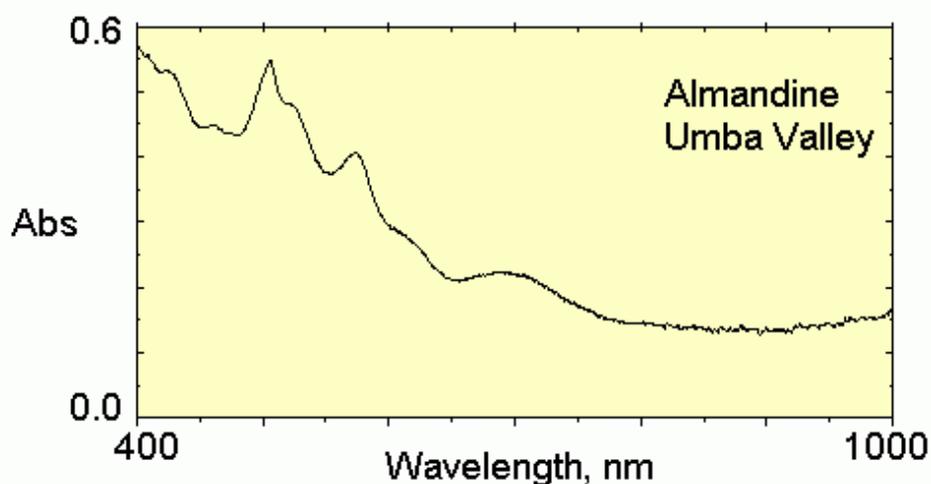


Figure 52 : Almandin coloré par le Fe^{2+} .¹⁸⁸

^{183, 187, 188} <http://minerals.caltech.edu/>

¹⁸⁴ Manson D.V., Stockton C.M. (1983) Notes and new techniques. A reponse to " A new classification for red-to-violet garnets". *Gems & Gemology*, Vol. 1, pp. 41-42.

¹⁸⁵ Hanneman W.W. (1983) Notes and new techniques. A new classification for red-to-violet garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 1, pp. 37-40.

¹⁸⁶ Manson D.V., Stockton C.M. (1981) Gem garnets in the red-to-violet color range. *Gems & Gemology*, Vol. 17, n°. 4, pp. 37-40.

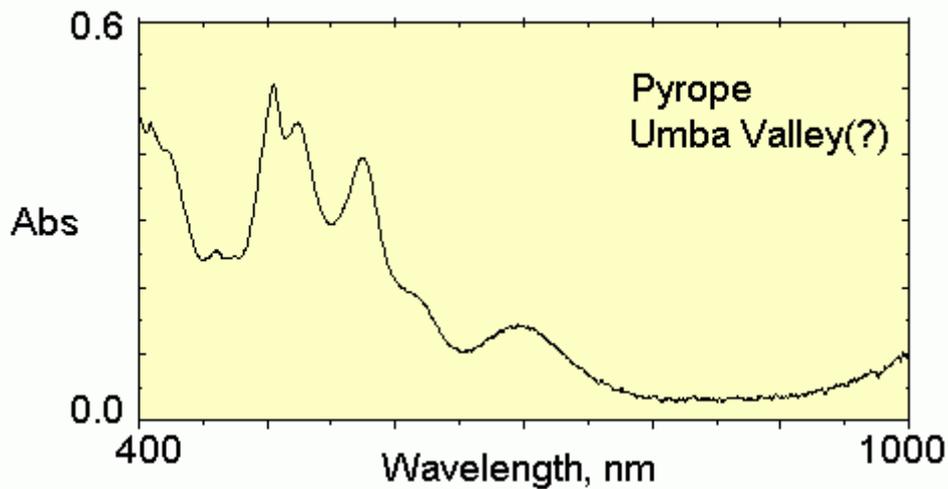


Figure 53 : Pyrope-almandin « rhodolite » coloré par le Fe^{2+} .¹⁸⁹

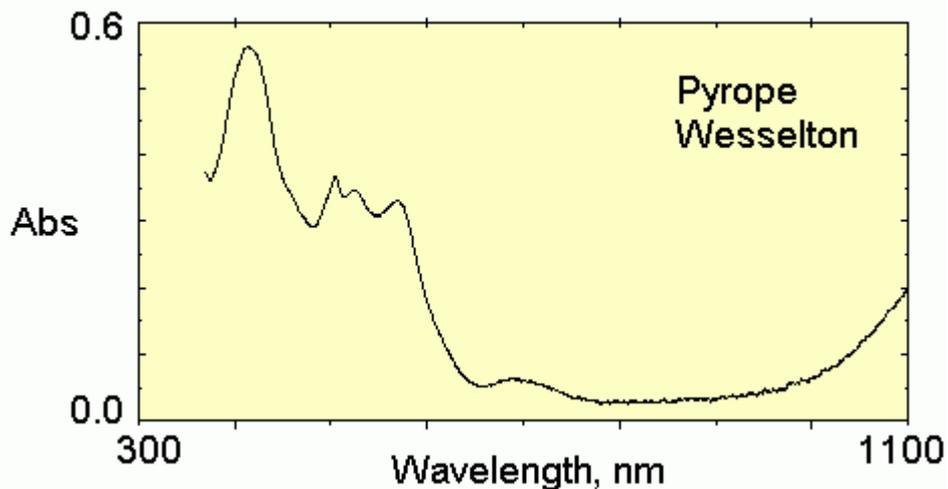


Figure 54 : Pyrope (rouge) principalement coloré par le Fe^{2+} (Mg 2,32, Mn 0.01, Fe 0,43, Ca 0,27, Al 1,95, Cr 0.02)¹⁹⁰

Le schéma de l'œil humain vu précédemment montre une interprétation de la couleur qui n'était pas linéaire (voir **figure 22**). Un petit changement dans le spectre peut engendrer un changement de région de longueur d'onde et faire apparaître un décalage significatif dans la couleur. Rappelons que les limites de séparation de ces trois pierres ne s'arrêtent pas à l'interprétation et la comparaison de spectres mais nécessitent la prise en compte d'autres propriétés tels que la densité et l'indice de réfraction.

^{189, 190} <http://minerals.caltech.edu/>

l) Les facteurs pouvant modifier la couleur des pyrope-almandin¹⁹¹

Le pyrope-almandin « rhodolite » sans quantité significative de Mn^{2+} est habituellement de couleur rose pourpré à rouge pourpré. Le spectre de cette variété de grenat est constitué de bandes d'absorptions liées au Fe^{2+} situées à 459, 503, 525, 596, 610 et 687 nm, avec deux minima situés dans la région bleu-violet et rouge. Des petites quantités de Mn^{2+} sont suffisantes pour éliminer la composante pourpre, ce qui résulte un rouge intense au grenat. Ce changement dramatique est causé par les fortes bandes d'absorptions situées dans la région du violet (410, 421 et 430 nm).

Il existe deux autres mécanismes connus qui peuvent changer la couleur d'un pyrope-almandin rose pourpré ou rouge pourpré vers un rouge ou orange rouge telles que :

- La superposition de la bande d'absorption liée au Fe^{3+} qui est située dans la même région spectrale que celle du Mn^{2+} (430 nm) (Manson et Stockton, 1981).

- La superposition d'un spectre lié au Cr^{3+} en dessous des bandes d'absorptions de Fe^{2+} .

m) Les spessartites et spessartite-almandin de couleur orange à rouge^{192, 193}

La proportion de Mn^{2+} et de Fe^{2+} joue sur les pyrope-almandin porteurs de Mn. Il en est de même pour les spessartite-almandin qui doivent leurs causes de couleurs aux différentes absorptions de Fe^{2+} et Mn^{2+} . C'est ce que montre une expérience faite sur des spessartites et spessartite-almandin dont la tranche de couleur s'étale de l'orange, orange-brun, rouge brunâtre à presque rouge. Leurs compositions chimiques varient de 34,7-39,1 % de MnO , 2,4-6,2 % de FeO plus des traces de calcium (0,2-0,5 CaO) et magnésium (0,05 % de MgO). L'expérience montre que l'augmentation de Fe^{2+} (d'almandin) fait passer la couleur de l'orange à l'orange-brun jusqu'à presque rouge (**figure 55**). De plus, l'augmentation de Fe^{2+} joue sur l'indice de réfraction et la densité, les faisant varier respectivement de 1,800 à 1,808 et de 4,15 à 4,22.



Figure 55 : L'augmentation de Fe^{2+} (d'almandin) et la diminution du Mn^{2+} (de spessartite) font varier la couleur de ces spessartite-almandin de l'orange à presque rouge.

^{191, 192} Schmetzer K., Hainschwang T., Kiefert L., Bernhardt H.-J. (2001) Pink to pinkish orange malaya garnets from Bekily, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 37, n° 4, pp. 296-308.

¹⁹³ Schmetzer K., Hainschwang T., Bernhardt H.-J., Kiefert L. (2002) New Chromium-and Vanadium-bearing garnets from Tranoroa, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 38, n° 2, pp. 148-155.

n) Les pyrope-spessartite « Malaya » de couleur rosé à orange rosé ^{194, 195, 196}

Les grenats pyrope-spessartite « Malaya » de Madagascar de couleur rosé à orange rosé avec presque pas de V^{3+} et de Cr^{3+} , doivent leurs couleurs aux proportions de Mn^{2+} et Fe^{2+} . Les intensités d'absorption maxima sont liées à la teneur en Fe^{2+} et de Mn^{2+} ainsi qu'au rapport FeO : MnO (**figure 56**). Le Mn^{2+} et Fe^{2+} remplacent tous deux le Mg^{2+} du pyrope "pur" qui est incolore. Avec l'augmentation du Fe^{2+} (d'almandin), la couleur s'intensifie du rose très léger ou orange rosé très léger vers un rose intense ou presque rouge. Des traces de V^{3+} et/ou de Cr^{3+} peuvent aussi contribuer à la couleur rose. L'augmentation de Mn^{2+} fait apparaître la couleur orange qui peut se rapprocher de la couleur de pôle de la spessartite, lorsque le taux de Fe^{2+} est bas (**figure 57**). A noter que ces pierres possèdent un « color shift ».

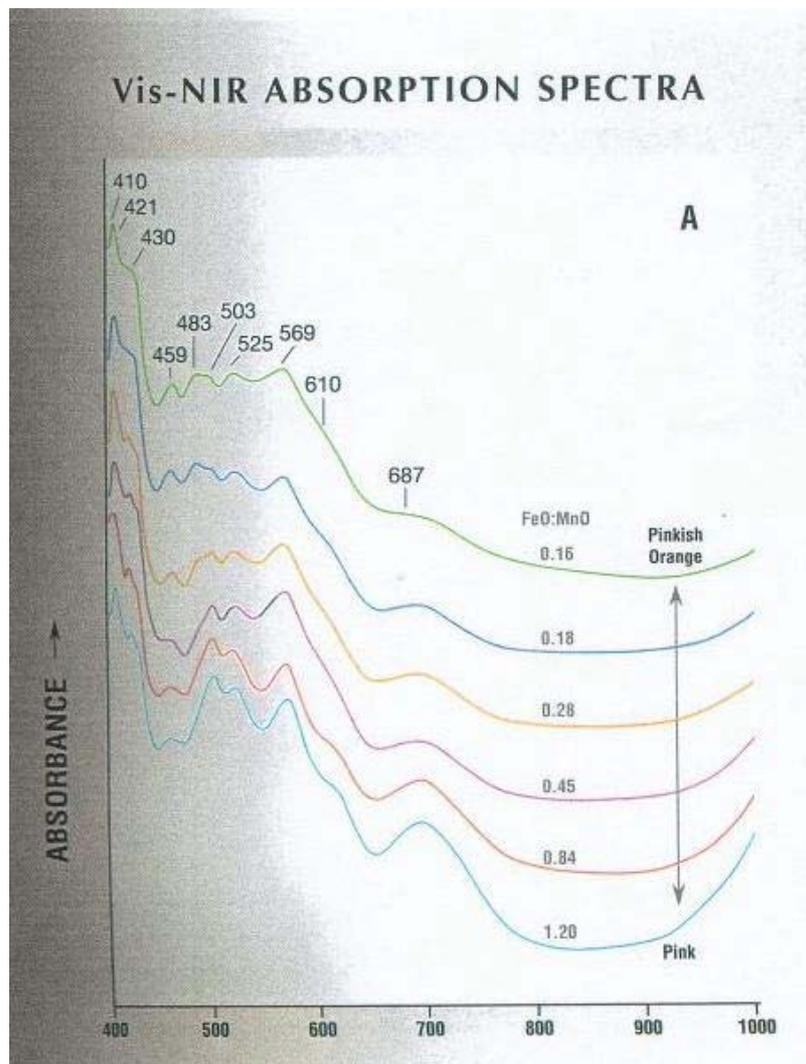


Figure 56 : La couleur varie de rose (un rapport FeO : MnO grand) à orange rosé (un rapport FeO : MnO petit).

¹⁹⁴ Schmetzer K., Hainschwang T., Bernhardt H.-J., Kiefert L. (2002) New Chromium-and Vanadium-bearing garnets from Tranoroa, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 38, n° 2, pp. 148-155.

¹⁹⁵ Schmetzer K., Hainschwang T., Kiefert L., Bernhardt H.-J. (2001) Pink to pinkish orange malaya garnets from Bekily, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 37, n° 4, pp. 296-308.

¹⁹⁶ Krzemnicki M.S., Hänin H.A., Reusser E. (2001) Color-change garnets from Madagascar : comparison of colorimetric with chemical data. *Journal of gemology*. Vol. 27, n° 7, pp. 395-408.

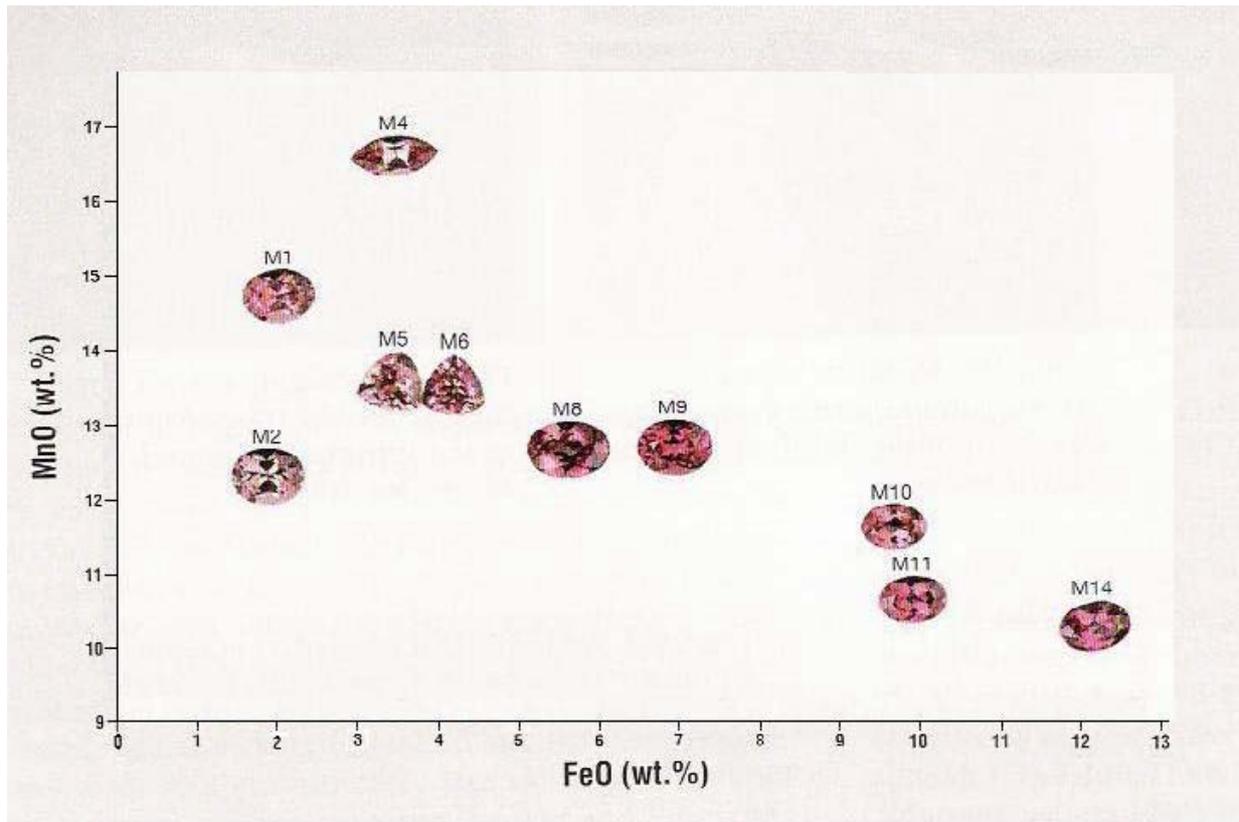


Figure 57 : L'augmentation du fer fait tendre vers le rose et l'augmentation de manganèse fait tendre la couleur vers l'orange.

La composition chimique de ces pierres est composée de 6,17 à 19,41 % de MgO, 6,25 à 26,63 % de MnO, 2 à 12,12 % de FeO, 1,05 à 2,05 % de CaO, 0,67 à 0,75 % de Cr₂O₃, 0,35 à 0,58 % de V₂O₃. Les différentes longueurs d'ondes peuvent dépendre d'un ou plusieurs éléments chimiques. Sur le spectre, les absorptions de Fe²⁺ se situent à 459, 503, 525, 569, 610 et 687 nm, celles du Mn²⁺ à 410, 421, 430, 459, 483 et 525 nm, celle du V³⁺ et/ou du Cr³⁺ à 569 nm et celle du Fe³⁺ à 430 nm. Certaines longueurs d'ondes sont identiques pour deux éléments. C'est la proportion chimique de l'élément qui permettra de superposer le spectre de l'autre.¹⁹⁷

¹⁹⁷ Schmetzer K., Hainschwang T., Kiefert L., Bernhardt H.-J. (2001) Pink to pinkish orange malaya garnets from Bekily, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 37, n° 4, pp. 296-308.

o) Tableau des différentes causes primaires des grenats ^{198, 199, 200, 201, 202}

Origine de la couleur	Grenat correspondant	Référence
Fe²⁺ en coordination cubique déformée	Almandin (rouge)	Manning, 1967a
	Rhodolite (rose)	Manning, 1967a
	Pyrope (rouge brunâtre)	Manning, 1967a
Fe²⁺ en coordination cubique déformée plus du Cr³⁺ en coordination octaédrique	Pyrope (rouge)	Anderson, 1954-1955 ; Manning, 1967a
Fe³⁺ en coordination octaédrique	Andradite (jaune-vert)	Manning, 1967b, 1972
Mn²⁺ en coordination cubique déformée	Spessartite (orange)	Manning, 1967a
Mn³⁺ en coordination octaédrique	Hydrogrossulaire (rose)	Manning et Owens, 1977
Cr³⁺ en coordination octaédrique	Andradite (démantoïde) (vert)	Anderson, 1954-1955 ; Stockton et Manson, 1983-1984
	Uvarovite (vert)	Manning, 1969 ; Calas, 1978
	Hydrogrossulaire (vert)	Manning et Owens, 1977
V³⁺ en coordination octaédrique	Grossulaire (tsavorite) (vert)	Gübelin et Weibel, 1975
Mn²⁺, Fe²⁺, V³⁺ et/ou Cr³⁺ en coordination octaédrique	Pyrope et pyrope-spessartite (changement de couleur)	Schmetzer et al., 1980
Transfert de charge Fe²⁺ - Ti⁴⁺	Andradite (topazolite) (jaune)	Dowty, 1971 ; Moore et White, 1971
	Andradite (mélانيت) (noir)	Dowty, 1971 ; Moore et White, 1971
Transfert de charge Fe²⁺ - Fe³⁺	Grossulaire (hessonite) (orange)	Moore et White, 1972
	Grossulaire (jaune)	Moore et White, 1972

¹⁹⁸ Fritsch E., Rossman G.R. (1993) The Causes of Color in Garnets. The Mineralogical Record, Vol. 24, p. 63.

¹⁹⁹ Fritsch E., Rossman G.R. (1999) l'origine de la couleur dans les gemmes (1ère partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.137, pp.17-23.

²⁰⁰ Fritsch E., Rossman G.R. (2000) l'origine de la couleur dans les gemmes (2ème partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.140, pp.36-43.

²⁰¹ Fritsch E., Rossman G.R. (2001) l'origine de la couleur dans les gemmes (4ème partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.143, pp.26-35.

²⁰² <http://minerals.caltech.edu/>

p) Tableau des variétés, causes, couleurs des grenats ^{203, 204, 205, 206, 207}

Gemme	Couleur	Cause	Référence
<u>Almandin</u>	Rouge	Fe ²⁺ en coordination cubique déformée	Manning, 1967a
	Rouge-orange	Mn ²⁺ en coordination cubique déformée	Rossmann, G.R., 2007 communication personnelle
<u>Andradite</u>	Multicolore	Diffraction	Hirai et Nakasawa, 1982 ; Koivula, 1987
	Jaune-vert	Fe ³⁺ en coordination octaédrique	Manning, 1967b, 1972
	Vert (démantoïde)	Cr ³⁺ en coordination octaédrique	Anderson, 1954-1955 ; Stockton et Manson, 1983- 1984
	Jaune (topazolite) à noir (mélanite)	Transfert de charge varié et absorption due à des impuretés de Fe et de Ti	Dowty, 1971 ; Moore et White, 1971
	Multicolore	Diffraction	Hirai et Nakasawa, 1982 ; Koivula, 1987
<u>Grossulaire</u>	Vert (tsavorite)	V ³⁺ en coordination octaédrique	Gübelin et Weibel, 1975
	Jaune/vert	Fe ³⁺ en coordination octaédrique	Manning et Tricker, 1977
	Orange (hessonite), orange brun à jaune	Transfert de charge (1)	Lind et Bank, 1997
(1) On peut s'attendre à un transfert de charge Fe ²⁺ - Ti ⁴⁺ et Fe ²⁺ - Fe ³⁺ (Rossmann G.R. 2007, communication personnelle)			
<u>Pyrope</u>	Rouge brunâtre	Fe ²⁺ en coordination cubique déformée	Manning, 1967a
		Fe ³⁺ en coordination octaédrique	Amthauer, 1976
	Rouge	Fe ²⁺ en coordination cubique déformée plus Cr ³⁺ en coordination octaédrique	Anderson, 1954-1955 ; Manning, 1967a
	Rouge/vert	Cr ³⁺ en coordination octaédrique	(rouge) Taran et al., 1994 (vert) Rossmann, G.R. 2007, communication personnelle
	Changement de couleur (dans le pyrope et pyrope-spessartite)	Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , V ³⁺ et/ou Cr ³⁺ en coordination octaédrique	Schmetzer et al., 1980
	Rouge-orange	Mn ²⁺ en coordination cubique déformée	Rossmann, G.R. 2007 communication personnelle
<u>Rhodolite</u>	Rose	Fe ²⁺ en coordination cubique déformée	
<u>Spessartite</u>	Orange	Mn ²⁺ en coordination cubique déformée	Manning, 1967a
	Rose	V ³⁺ en coordination octaédrique	Schmetzer et Ottemann, 1979
	Rose	V ³⁺ en coordination octaédrique, Mn ²⁺ en coordination cubique déformée	Krzemnicki et al., 2001
	Orange-rouge	Fe ²⁺ en coordination cubique déformée	Slack et Chrenko, 1971
<u>Uvarovite</u>	Vert	Cr ³⁺ en coordination octaédrique	Manning, 1969 ; Calas, 1978

²⁰³ Fritsch E., Rossmann G.R. (1993) The Causes of Color in Garnets. The Mineralogical Record, Vol. 24, p. 63.

²⁰⁴ Fritsch E., Rossmann G.R. (1999) l'origine de la couleur dans les gemmes (1ère partie). Revue de gemmologie A.F.G., n° 137, pp.17-23.

²⁰⁵ Fritsch E., Rossmann G.R. (2000) l'origine de la couleur dans les gemmes (2ème partie). Revue de gemmologie A.F.G., n° 140, pp.36-43.

²⁰⁶ Fritsch E., Rossmann G.R. (2001) l'origine de la couleur dans les gemmes (4ème partie). Revue de gemmologie A.F.G., n° 143, pp.26-35.

²⁰⁷ <http://minerals.caltech.edu/>

Chapitre III

Résultats et interprétation des résultats

Ce chapitre est basé essentiellement sur les résultats et l'interprétation des résultats de grenats de ma collection personnelle. Ces grenats ont été achetés avec un nom spécifique qui n'est pas nécessairement correct. Les résultats vont être comparés aux données situées précédemment dans les chapitres 1 et 2. Cela devrait nous donner le nom et la variété du grenat en fonction de ses propriétés gemmologiques et morphologiques et ainsi confirmer ou pas le nom de départ de la pierre.

Les analyses de gemmologie classique effectuées sur ces grenats ont été faites à l'Institut National de Gemmologie (I.N.G.) à Paris. Les spectres UV/Vis et analyses chimiques ont été effectués au CNRS, Institut des Matériaux Jean Rouxel de l'Université de Nantes.

Echantillons : J'ai étudié 47 échantillons, répartis en 6 bruts et 40 taillés et une lame mince. La majorité a été achetée par mes soins, quelques uns sont prêtés par le C.R.G.

Méthode : Les tests de gemmologie classique à effectuer étaient réduits. En effet, le groupe des grenats étant isotrope demande moins de tests à effectuer qu'une pierre anisotrope. Il existe énormément de variétés de grenat et nombreuses sont celles qui sont difficiles à se procurer ou qui par leurs prix sont inabordables. J'aurais aimé compléter ce travail en parlant et analysant les autres variétés telles que l'hydrogrossulaire, l'hirschtite, la katoïte, la morimotoïte, ... qui ne sont pas présentes dans ce travail vu leur rareté. Néanmoins une partie théorique les reprenant se situe dans la partie Index.

Le matériel utilisé est :

- un polariscope (**frabrication par l'Institut National de Gemmologie, Paris**)
- un réfractomètre **TopCon** (pour mesurer les indices inférieurs à 1,78)
- une balance hydrostatique Mettler Toledo
- une lampe à UVC/UVL
- un filtre Chelsea
- un spectroscope à main de type OPL
- Une lampe avec ampoule "classique" de 60 W

Les tests de laboratoire ont nécessité l'usage d'un microscope électronique à balayage (MEB) et d'un spectromètre UV/Vis. A noter que les tests quantitatifs du MEB ont été effectués sur tous les grenats. Les spectres UV/Vis n'ont pas été effectués sur tous les grenats car cela nécessitait de leur faire à la culasse une face parallèle à la table afin de pouvoir créer une sortie au rayon du spectromètre.

- un spectromètre UV/Vis UNICAM UV4-LOGICIEL VISION V3.40.
(Tous les spectres ont été effectués avec les mêmes paramètres).

Spectre :	absorbance
Depuis :	350 nm
Jusqu'à :	800 nm
Bande passante spectrale :	1,0 nm
Vitesse :	120 nm/min
Pas d'échantillonnage :	1,0 nm
Lampe :	325 nm

- Microscope électronique à balayage (MEB) JEOL-5800LV.
(Analyses chimiques quantitatives)

Time :	100 sec
Accel kV :	20 kVolt
Take off :	37° (angle de détection)
Probe current :	0,3 (faisceau d'électron)
Tilt angle :	0° (angle d'émergence)

Les analyses chimiques des différents échantillons de grenats sont reprises dans le tableau « **Pourcentage d'oxyde** » et dans le tableau « **Pourcentage poids des éléments** ». Les cases des tableaux d'analyse chimique présentant ce symbole " --- ", signifient que la concentration de l'élément chimique est inférieure aux limites de détection du MEB.

Les résultats de gemmologie classique et de laboratoire seront repris sur des fiches individuelles et propres à chaque pierre. Le nom de la pierre indiqué sur chaque fiche est le nom pour lequel la pierre a été achetée et sera inscrit entre guillemets. La couleur des pierres a été donnée sous une lampe avec ampoule "classique" de 60 watts. L'interprétation des résultats gemmologiques classiques permettra de donner ou confirmer la variété de la pierre. Les abréviations H.I. et D.R.A. signifient Hors Indice (supérieur à 1,78) et Double Réfringence Anormale. De plus, les pierres appartenant au C.R.G. seront représentées par un symbole qui sera un cercle vide et celles de ma collection par un carré rempli. Les spectres du spectroscope à main ont été interprétés et réalisés manuellement sur l'ordinateur par moi-même. Il se peut qu'il y ait eu une mauvaise analyse personnelle dans la perception visuelle des bandes d'absorptions. La quasi totalité des pierres, exceptées la N°8 et la N°47, ont toutes été façonnées à la meule afin d'obtenir deux faces parallèles pour un meilleur résultat lors de l'analyse UV/Vis et d'éviter le plus de réflexions et de réfractions du laser. Tous les spectres des échantillons constitués d'un continuum s'accroissent régulièrement de l'IR vers l'UV. Pour une question de facilité, l'interprétation des résultats se trouvera directement derrière la fiche de la pierre correspondante. Certaines interprétations des éléments chromogènes ont été faites à partir du spectre UV/Vis et de la composition chimique.

N°1

Nom : DF01 grenat brut

Couleur : Noir, brun-jaune (lame mince)

Réaction polariscope : Nulle

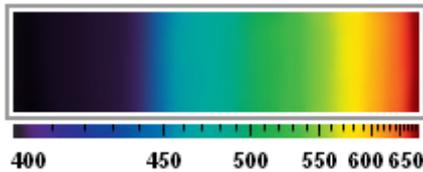
Taille : Brut

Dimensions (mm) : D : 13,5×18,75×12

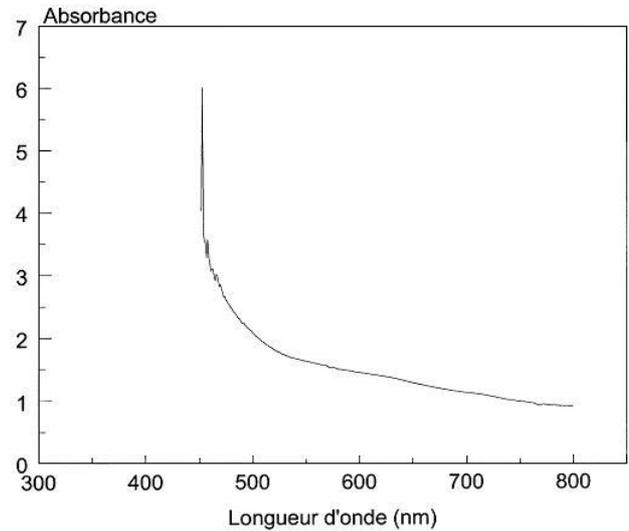
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 3,685

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscopie à main (nm)



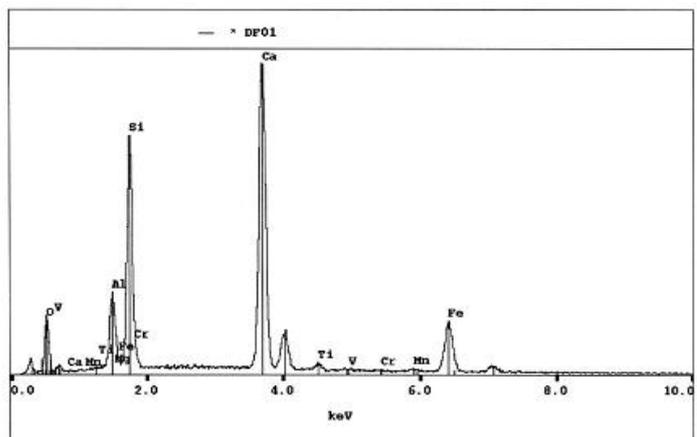
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption qui débute au violet et s'arrête dans le bleu.

Le spectre UV/Vis présente un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 500 nm, puis beaucoup plus brusquement à environ 345 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
---	Mg	---	MgO
6,37	Al	12,04	Al ₂ O ₃
17,69	Si	37,84	SiO ₂
26,57	Ca	37,18	CaO
0,04	V	0,06	V ₂ O ₃
0,11	Cr	0,16	Cr ₂ O ₃
0,39	Mn	0,50	MnO
0,83	Ti	1,38	TiO ₂
11,23	Fe	14,45	FeO
40,38	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'une andradite. La composition chimique correspond à une andradite-grossulaire. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et le Ti⁴⁺. Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Ti⁴⁺ (voir page 42).

N°2

Nom : DF08 « Démantoïde » Italie, Val Malenco

Couleur : Vert-jaune

Réaction polariscope : DRA

Taille : Ovale

Dimensions (mm) : l : 4,31

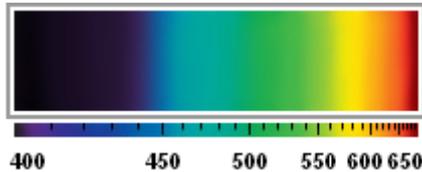
L : 5

H : 2,79

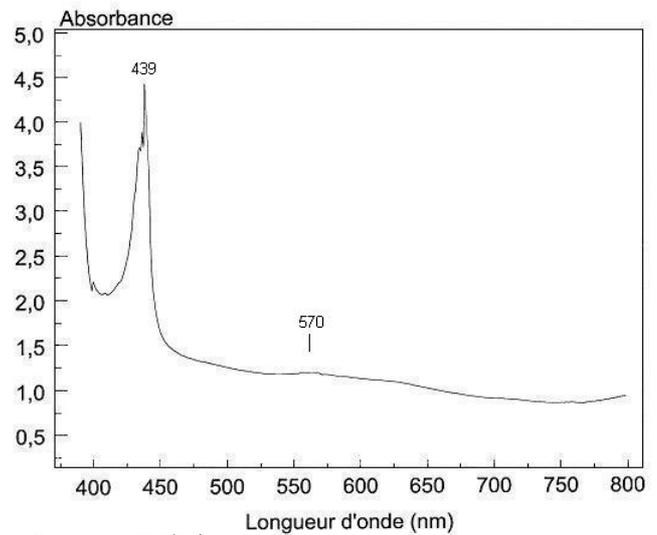
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 3,927

Filtre Chelsea : Jaune rosé



Spectroscope à main (nm)



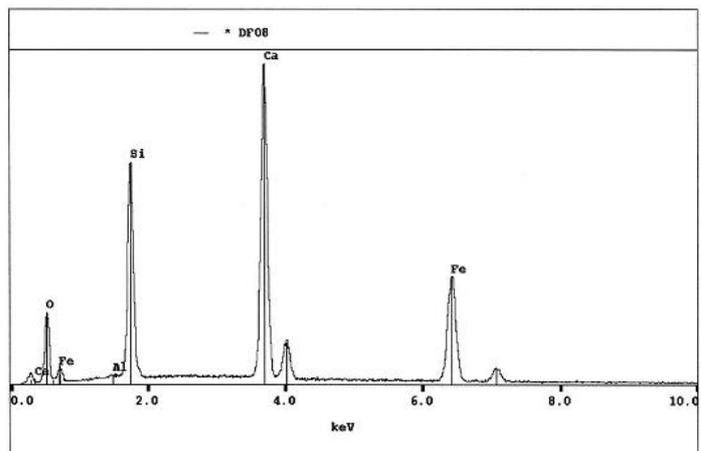
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption large qui débute dans le violet et se termine dans le bleu vers 440 nm.

Le spectre UV/Vis présente un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une absorption forte est présente dans la région du bleu avec un pic situé à 439 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,14	Mg	0,23	MgO
0,17	Al	0,23	Al ₂ O ₃
15,43	Si	33,01	SiO ₂
23,91	Ca	33,45	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,04	Cr	0,06	Cr ₂ O ₃
0,01	Mn	0,01	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
22,14	Fe	28,48	FeO
33,72	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'une andradite. La composition chimique correspond à une andradite. L'élément chromogène est le Fe²⁺ déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe³⁺ (voir page 56).



N°3

Nom : DF28 « Démantoïde » Iran

Couleur : Vert « émeraude »

Réaction polariscope : DRA

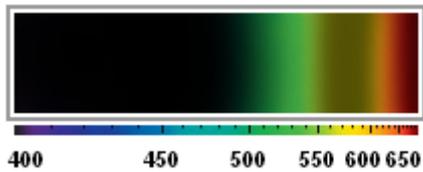
Taille : Brut

Dimensions (mm) : D : 8,94×10,68×6,17

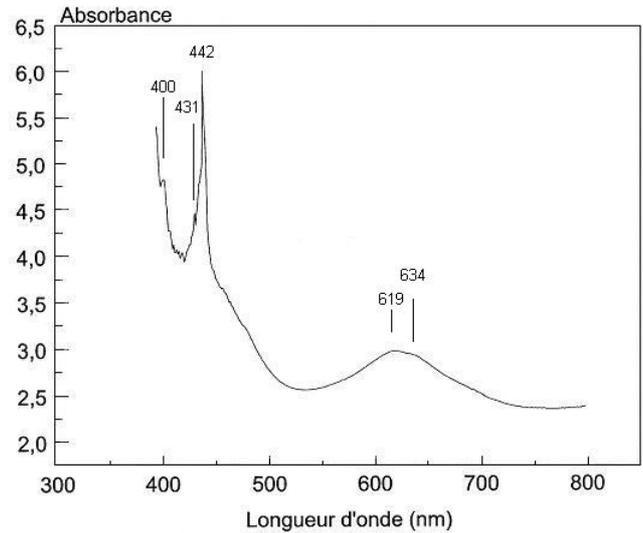
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 3,822

Filtre Chelsea : Légèrement rouge



Spectroscope à main (nm)



Spectre UV/Vis

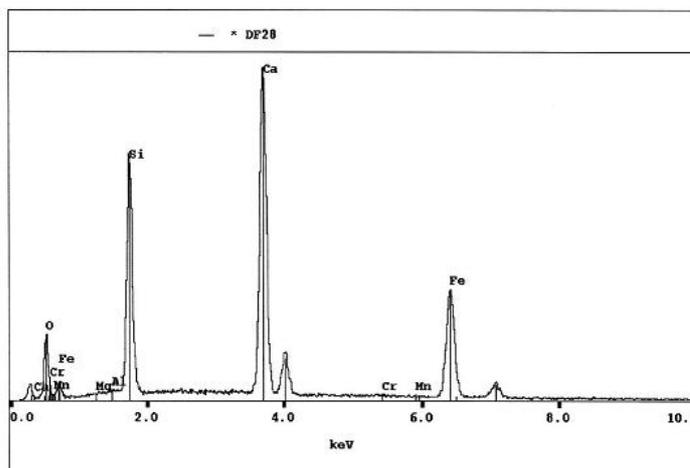
Le spectre OPL présente une absorption large qui débute dans le violet et se termine dans la région du vert. Une bande large absorbe toute la région du jaune jusqu'à la fin du rouge, ne laissant passer qu'une partie du vert.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une absorption intense est visible dans la région du bleu avec un pic se situant à 442 nm. Une fenêtre de transmission est visible dans la région du vert. Une absorption large et assez intense est visible et laisse apparaître deux maxima, situés à 619 et 634 nm.

Composition chimique : Le démantôïde d'Iran est généralement zoné dans sa couleur. La prise de deux analyses sur deux endroits de la même pierre permet de faire la comparaison.

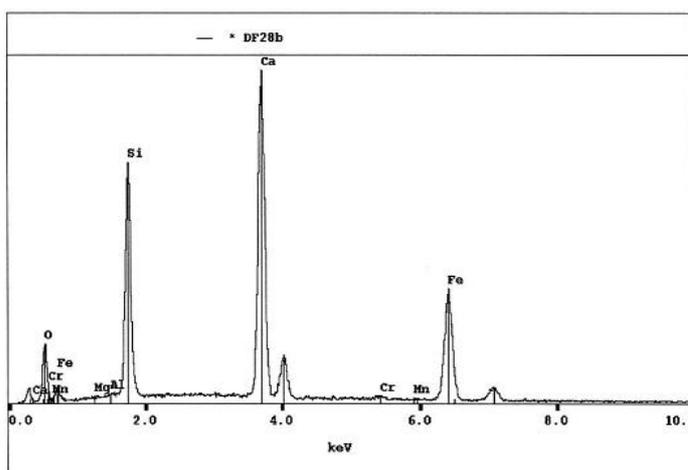
Premier test

El wt %		Oxyde %	
---	Mg	---	MgO
0,19	Al	0,36	Al ₂ O ₃
16,50	Si	35,30	SiO ₂
25,13	Ca	35,16	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,05	Cr	0,07	Cr ₂ O ₃
---	Mn	---	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
22,54	Fe	29	FeO
35,48	O		



Deuxième test

El wt %		Oxyde %	
0,07	Mg	0,12	MgO
0,19	Al	0,36	Al ₂ O ₃
16,20	Si	34,65	SiO ₂
25,39	Ca	35,53	CaO
0,10	V	0,15	V ₂ O ₃
0,37	Cr	0,54	Cr ₂ O ₃
---	Mn	---	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
22,69	Fe	29,19	FeO
35,52	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit bien d'une andradite. Les tests chimiques correspondent à une andradite. Les éléments chromogènes sont le Cr³⁺, V³⁺, Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Cr³⁺ (voir page 55).

N°4

Nom : DF05 « Tsaveurite »

Couleur : Vert « émeraude » foncé

Réaction polariscope : Nulle

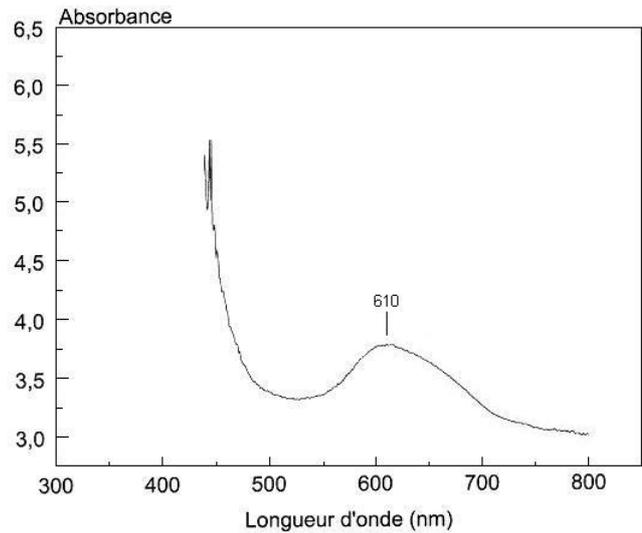
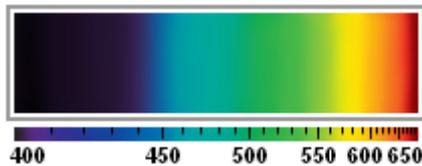
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 3,12×3×3,11
H : 2,05

Indices de réfraction : 1,747

Densité : 3,5

Filtre Chelsea : Rouge très foncé



Spectroscope à main (nm)

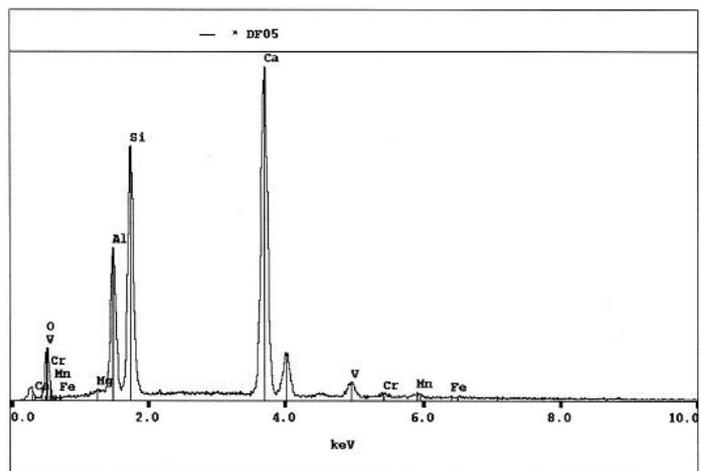
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute au violet et s'arrête dans le bleu vers 440 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 500 nm, puis beaucoup plus brusquement vers l'ultraviolet. La fenêtre de transmission se situe dans la région du vert. Une absorption large assez intense se situe dans le rouge avec son sommet à 610 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,23	Mg	0,38	MgO
10,24	Al	19,35	Al ₂ O ₃
17,36	Si	37,14	SiO ₂
25,46	Ca	35,62	CaO
1,91	V	2,81	V ₂ O ₃
0,18	Cr	0,26	Cr ₂ O ₃
0,61	Mn	0,79	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
0,06	Fe	---	FeO
40,36	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire. Les éléments chromogènes sont le Cr³⁺, V³⁺, Fe²⁺, Ti⁴⁺ et Fe³⁺. Le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de V³⁺ (voir page 52). Le rapport de V/Cr > 10, l'absorption à 610 nm est liée au V³⁺.

N°5

Nom : DF06 « Tsaveurite »

Couleur : Vert « émeraude » foncé

Réaction polariscope : Nulle

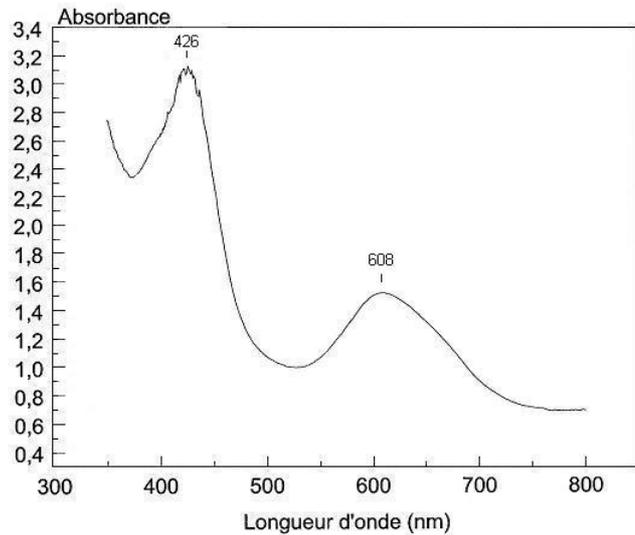
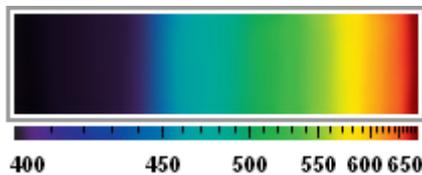
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 3,91×3,96×3,93
H : 3,06

Indices de réfraction : 1,742

Densité : 3,581

Filtre Chelsea : Rouge très foncé



Spectroscope à main (nm)

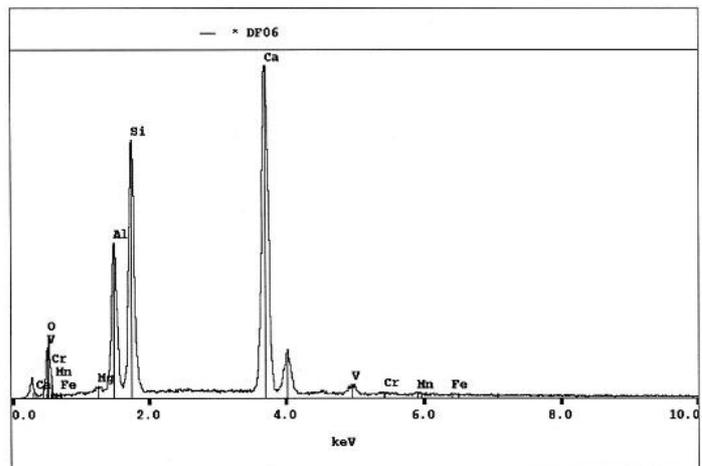
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute au violet et s'arrête dans le bleu vers 440 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une absorption intense est présente dans le bleu avec un sommet situé à 426 nm. La fenêtre de transmission se situe dans la région du vert. Une absorption large assez intense se situe dans le rouge avec son sommet à 608 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,29	Mg	0,48	MgO
10,43	Al	19,71	Al ₂ O ₃
17,18	Si	37,33	SiO ₂
26,27	Ca	36,31	CaO
0,61	V	1,71	V ₂ O ₃
---	Cr	0,03	Cr ₂ O ₃
0,35	Mn	0,37	MnO
0,15	Ti	0,35	TiO ₂
0,14	Fe	0,28	FeO
40,54	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire. Les éléments chromogènes sont le Cr³⁺, V³⁺, Fe²⁺, Ti⁴⁺ et Fe³⁺. Le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de V³⁺ (voir page 52). Les absorptions à 426 et à 608 nm sont liées au V³⁺.

N°6

Nom : DF47 « Démantoïde » Russie

Couleur : Vert « émeraude » foncé

Réaction polariscope : Nulle

Taille : Brut

Dimensions (mm) : l : 5,79

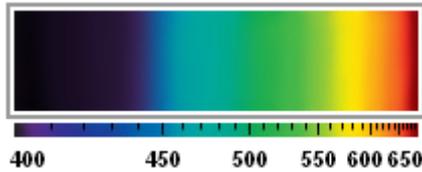
L : 7,3

H : 4,17

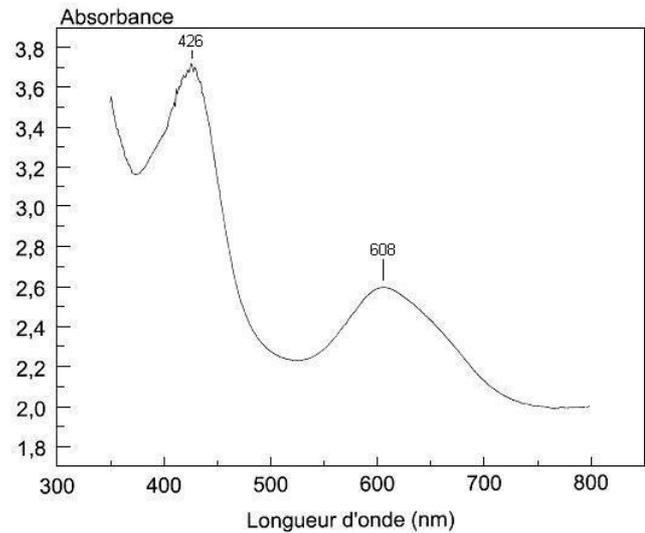
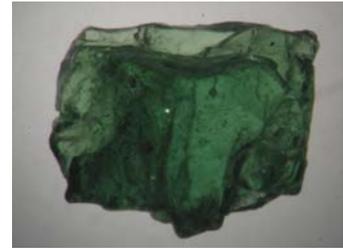
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 3,58

Filtre Chelsea : Rouge vif



Spectroscope à main (nm)



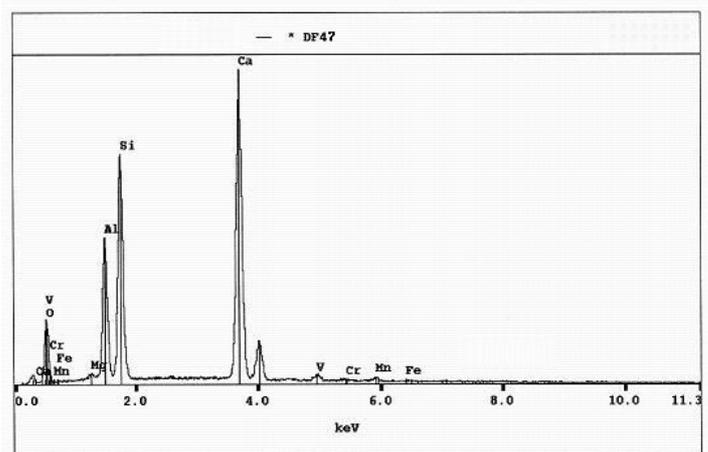
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute au violet et s'arrête dans le bleu vers 440 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une absorption large et assez intense est présente dans le bleu avec un sommet situé à 426 nm. La fenêtre de transmission se situe dans la région du vert. Une absorption large un peu moins intense se situe dans le rouge avec son sommet à 608 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,36	Mg	0,60	MgO
8,79	Al	16,61	Al ₂ O ₃
14,26	Si	30,50	SiO ₂
21,31	Ca	29,82	CaO
0,67	V	0,99	V ₂ O ₃
0,06	Cr	0,09	Cr ₂ O ₃
0,47	Mn	0,61	MnO
0,07	Ti	0,12	TiO ₂
0,15	Fe	0,19	FeO
33,38	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire. Les éléments chromogènes sont le Cr³⁺, V³⁺, Fe²⁺, Ti⁴⁺ et Fe³⁺. Le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis V³⁺ (voir page 52). Le rapport de V/Cr > 10, les absorptions à 426 et 608 nm sont liées au V³⁺.

N°7

Nom : DF41 « Tsavorite »

Couleur : Vert foncé avec une pointe de jaune

Réaction polariscope : Nulle

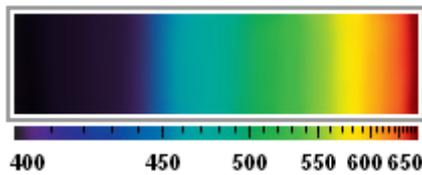
Taille : Round

Dimensions (mm) : D : 2,5×2,51×2,53
H : 1,6

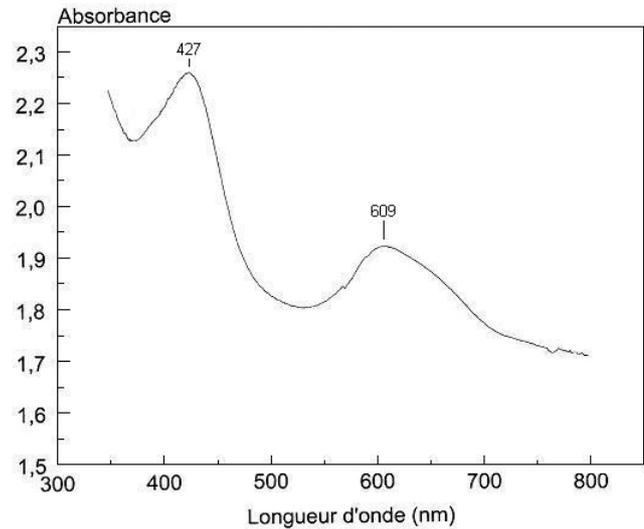
Indices de réfraction : 1,731

Densité : 3,48

Filtre Chelsea : Orange rosé



Spectroscope à main (nm)



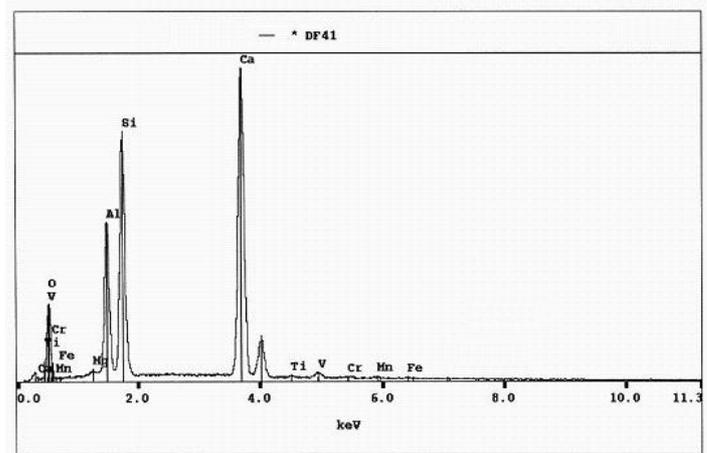
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute au violet et s'arrête dans le bleu vers 440 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une absorption large et assez intense est présente dans le bleu avec un sommet situé à 427 nm. La fenêtre de transmission se situe dans la région du vert. Une absorption large un peu moins intense se situe dans le rouge avec son sommet à 609 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,42	Mg	0,70	MgO
11,19	Al	21,14	Al ₂ O ₃
17,89	Si	38,27	SiO ₂
25,70	Ca	35,96	CaO
0,64	V	0,94	V ₂ O ₃
0,05	Cr	0,07	Cr ₂ O ₃
0,20	Mn	0,26	MnO
0,18	Ti	0,30	TiO ₂
0,14	Fe	0,18	FeO
41,41	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire. Les éléments chromogènes sont le Cr³⁺, V³⁺, Fe²⁺, Ti⁴⁺ et Fe³⁺. Le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis V³⁺ (voir page 52). Le rapport de V/Cr > 10, les absorptions à 427 et 609 nm sont liées au V³⁺.



N°8

Nom : DF30 « Uvarovite » Québec, Asbestos

Couleur : Vert foncé

Réaction polariscope : DRA

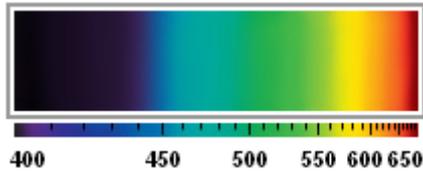
Taille : Brut

Dimensions (mm) : l : 3,71
L : 4,18
H : 2,51

Indices de réfraction : /

Densité : 3,532

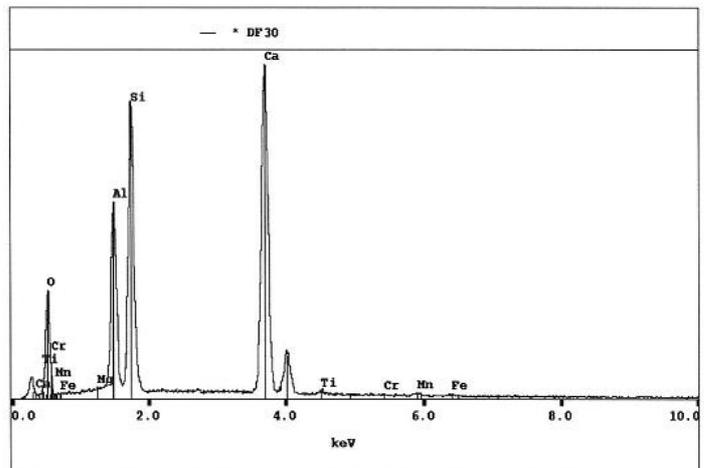
Filtre Chelsea : Légèrement rouge



Spectroscope à main (nm)

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
	Mg		MgO
14,72	Al	27,81	Al ₂ O ₃
22,62	Si	48,39	SiO ₂
28,79	Ca	40,28	CaO
0,07	V	0,10	V ₂ O ₃
0,10	Cr	0,15	Cr ₂ O ₃
0,43	Mn	0,56	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
0,33	Fe	0,42	FeO
50,65	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire. Les éléments chromogènes sont le Cr^{3+} , V^{3+} , Fe^{2+} et Fe^{3+} . Pas de spectre réalisé pour cette pierre.

N°9

Nom : DF07 « Tsaveurite »

Couleur : Vert-jaune « vert prairie »

Réaction polariscope : Nulle

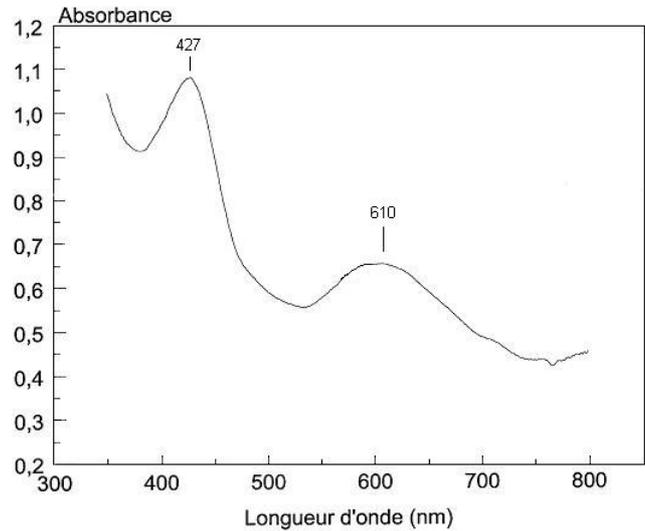
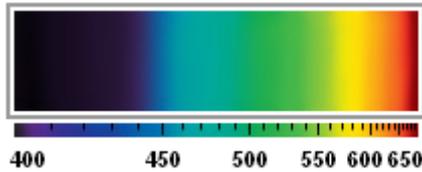
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 3,01×3×3,02
H : 2,01

Indices de réfraction : 1,738

Densité : 3,540

Filtre Chelsea : Jaune rosé



Spectroscope à main (nm)

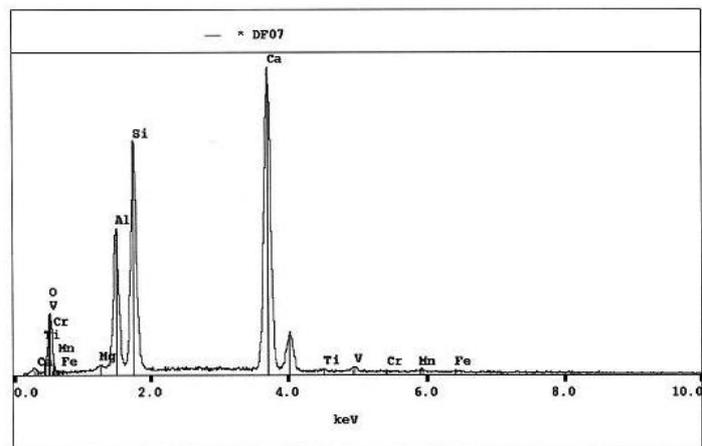
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute au violet et s'arrête dans le bleu vers 440 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une absorption large et intense est présente avec un pic situé à 427 nm. Une fenêtre de transmission se situe dans la région du vert. Une absorption large et assez intense est présente dans la région du rouge avec un sommet situé à 610 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,41	Mg	0,68	MgO
10,88	Al	20,56	Al ₂ O ₃
17,18	Si	36,75	SiO ₂
26,27	Ca	36,78	CaO
0,61	V	0,90	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
0,36	Mn	0,46	MnO
0,15	Ti	0,25	TiO ₂
0,14	Fe	0,18	FeO
40,54	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire. Les éléments chromogènes sont le Cr³⁺, V³⁺, Fe²⁺, Ti⁴⁺ et Fe³⁺. Le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis V³⁺ (voir page 52). Les absorptions à 427 et 610 nm sont liées au V³⁺.

N°10

Nom : DF38 « Merelani »

Couleur : Vert clair

Réaction polariscope : Nulle

Taille : Poire

Dimensions (mm) : l : 2,93

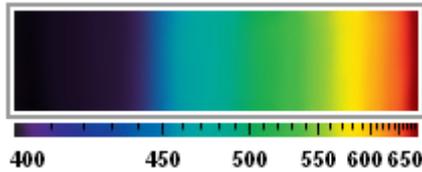
L : 4,3

H : 2,7

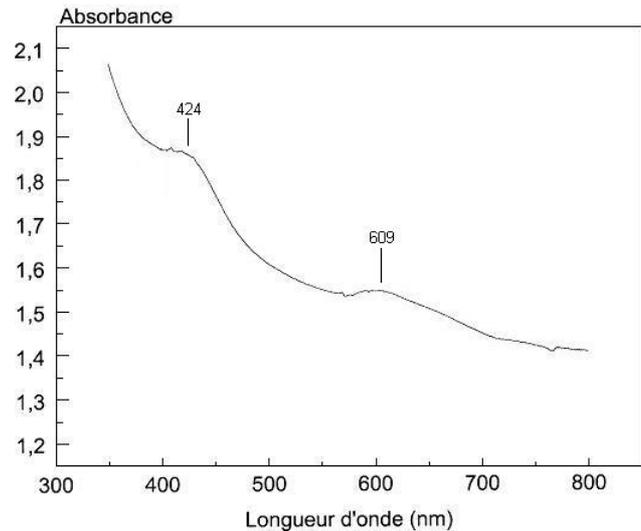
Indices de réfraction : 1,734

Densité : 3,29

Filtre Chelsea : Jaune pâle



Spectroscope à main (nm)



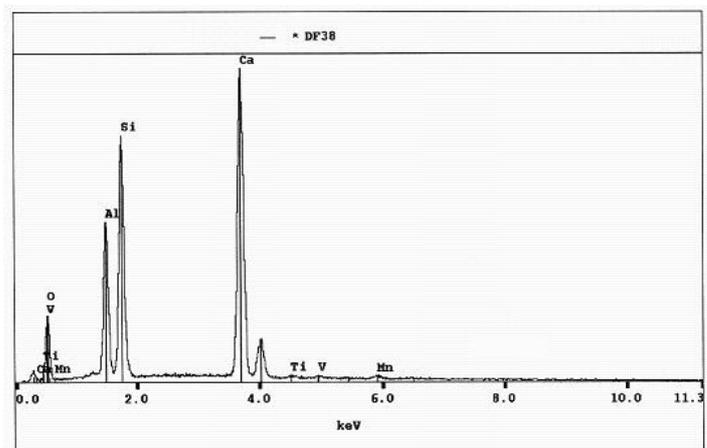
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption qui débute dans le violet et s'arrête au début du bleu vers 410 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à l'ultraviolet. Deux absorptions peu intenses sont présentes et situées à 424 et 609 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,24	Mg	0,40	MgO
10,97	Al	20,73	Al ₂ O ₃
17,22	Si	36,84	SiO ₂
25,57	Ca	35,78	CaO
0,17	V	0,25	V ₂ O ₃
0,12	Cr	0,18	Cr ₂ O ₃
0,40	Mn	0,52	MnO
0,19	Ti	0,32	TiO ₂
0,10	Fe	0,13	FeO
40,15	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire. Les éléments chromogènes sont le Cr³⁺, V³⁺, Fe²⁺, Ti⁴⁺ et Fe³⁺. Le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis V³⁺ (voir page 52). Les absorptions à 424 et 609 nm sont liées au V³⁺ et Cr³⁺.

N°11

Nom : DF37 « Grossulaire » Mali

Couleur : Vert-jaune

Réaction polariscope : Nulle

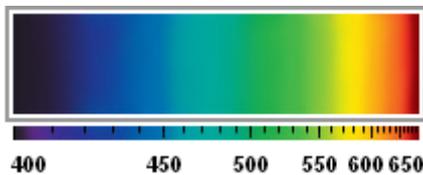
Taille : Round

Dimensions (mm) : D : 3,08×3,04×2,81
H : 2,18

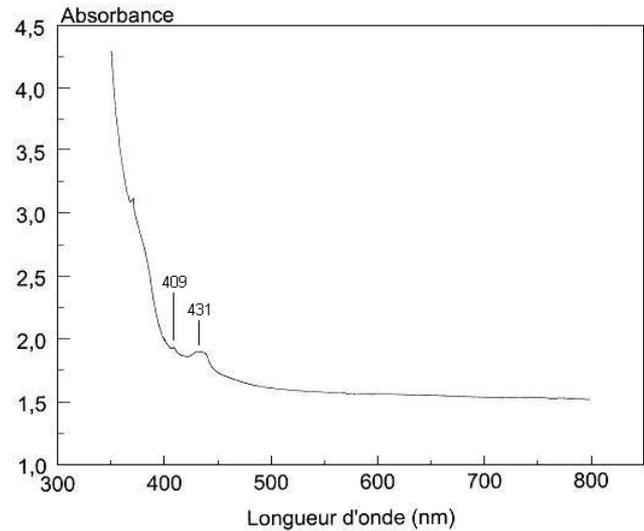
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 3,66

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscopie à main (nm)



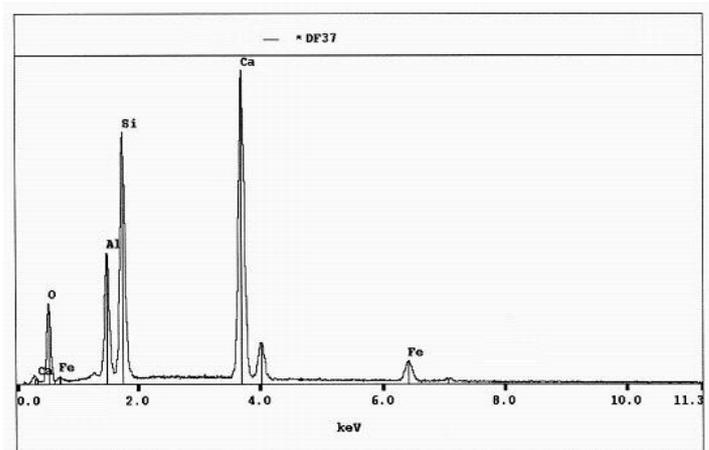
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption qui débute dans le violet et s'arrête au début du bleu vers 410 nm.

Le spectre UV/Vis présente un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 430 nm, puis brusquement vers l'ultraviolet. Une succession de faibles absorptions sont présentes dans la région du bleu à bleu-vert et situées respectivement à 409 et une légèrement plus importante à environ 431 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,52	Mg	0,86	MgO
9,18	Al	17,35	Al ₂ O ₃
17,65	Si	37,76	SiO ₂
24,81	Ca	34,71	CaO
0,04	V	0,06	V ₂ O ₃
0,01	Cr	0,01	Cr ₂ O ₃
---	Mn	---	MnO
0,04	Ti	0,07	TiO ₂
4,21	Fe	5,42	FeO
39,78	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire-andradite. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Fe³⁺ (voir page 41) ou transfert de charge Fe²⁺- Ti⁴⁺.

N°12

Nom : DF39 « Grossulaire » Mali

Couleur : Vert-jaune « prairie »

Réaction polariscope : Nulle

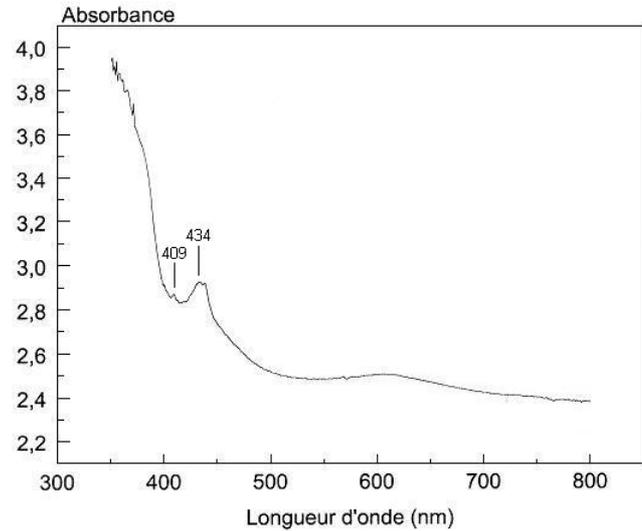
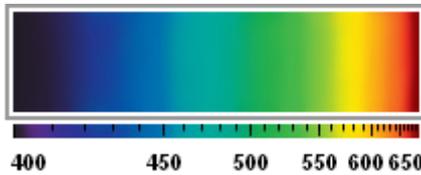
Taille : Round

Dimensions (mm) : D : 3,66×3,68×3,6
H : 2,3

Indices de réfraction : 1,763

Densité : 3,73

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)

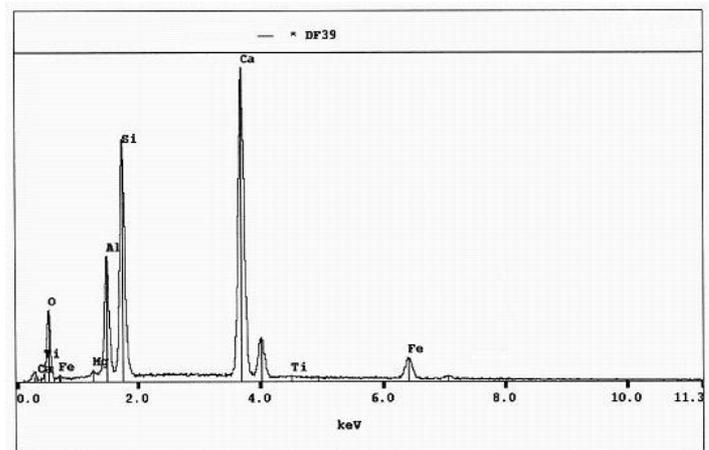
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption qui débute dans le violet et s'arrête au début du bleu vers 410 nm.

Le spectre UV/Vis présente un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 470 nm, puis brusquement vers l'ultraviolet. Une succession de faibles absorptions sont présentes dans la région du bleu à bleu-vert et situées respectivement à 409 et une légèrement plus importante à environ 434 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,49	Mg	0,81	MgO
8,80	Al	13,63	Al ₂ O ₃
17,27	Si	36,94	SiO ₂
25,61	Ca	35,83	CaO
0,03	V	0,04	V ₂ O ₃
0,09	Cr	0,13	Cr ₂ O ₃
---	Mn	---	MnO
0,10	Ti	0,17	TiO ₂
4,58	Fe	5,89	FeO
39,48	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire-andradite. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Fe³⁺ (voir page 41) ou transfert de charge Fe²⁺- Ti⁴⁺.

N°13

Nom : DF09 « Grossulaire »

Couleur : Jaune

Réaction polariscope : DRA

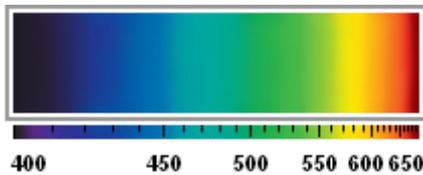
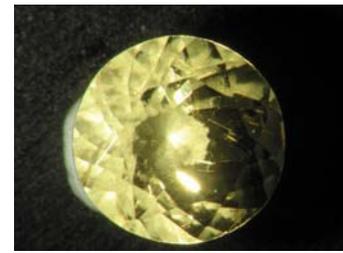
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 4,89×4,82×4,91
H : 3,41

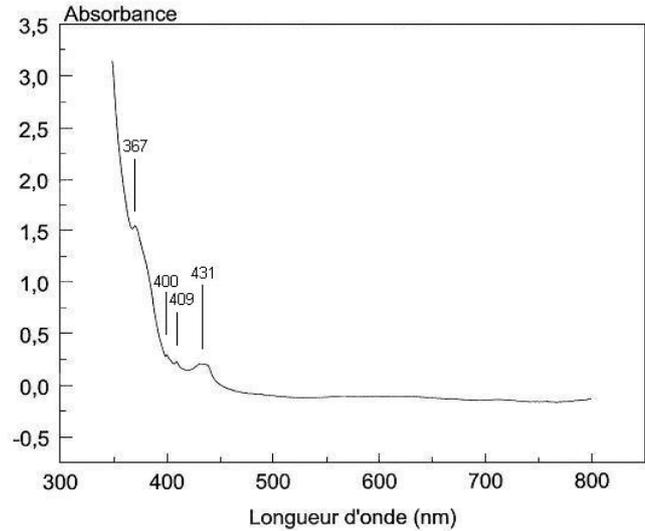
Indices de réfraction : 1,762

Densité : 3,526

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)



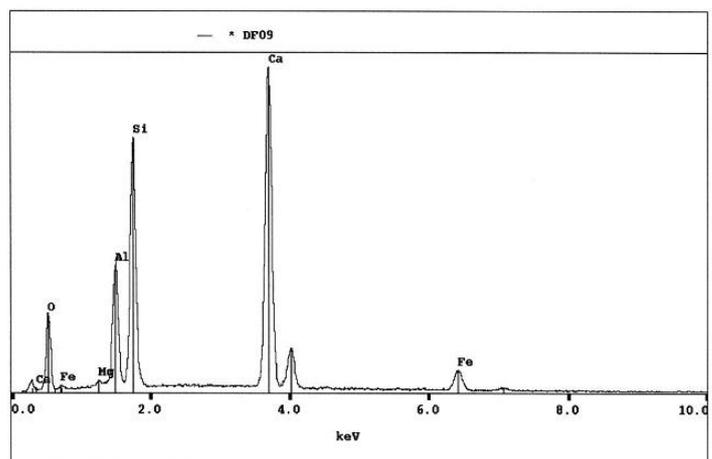
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption qui débute dans le violet et s'arrête au début du bleu vers 410 nm.

Le spectre UV/Vis présente un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 430 nm, puis brusquement vers l'ultraviolet. Une succession de faibles absorptions sont présentes dans la région du bleu à bleu-vert et situées respectivement à 367, 400, 409 et une légèrement plus importante à environ 431 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,03	Mg	0,55	MgO
9,42	Al	17,80	Al ₂ O ₃
18,06	Si	38,63	SiO ₂
26,08	Ca	36,49	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
0,09	Mn	0,12	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
4,38	Fe	5,63	FeO
40,86	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire-andradite. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Fe³⁺ (voir page 41) ou transfert de charge Fe²⁺- Ti⁴⁺.

N°14

Nom : DF34 « Grossulaire » Mali

Couleur : Jaune

Réaction polariscope : Nulle

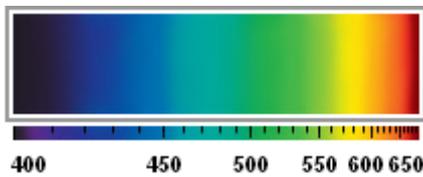
Taille : Round

Dimensions (mm) : D : 4,11×4,16×4,18
H : 3,11

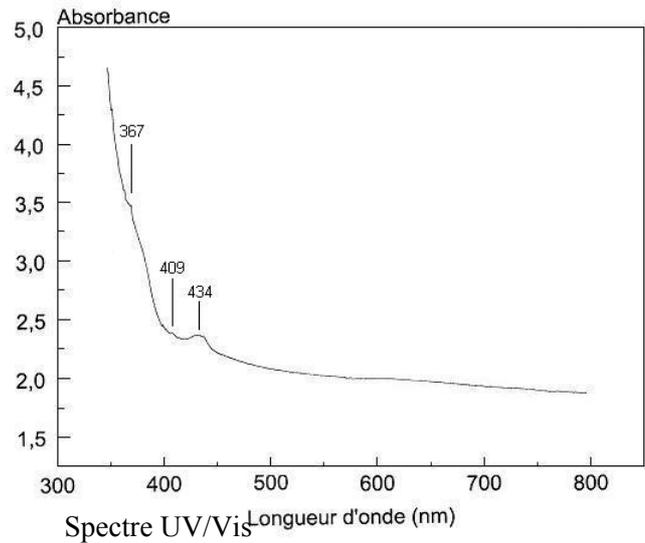
Indices de réfraction : 1,761

Densité : 3,68

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscopie à main (nm)

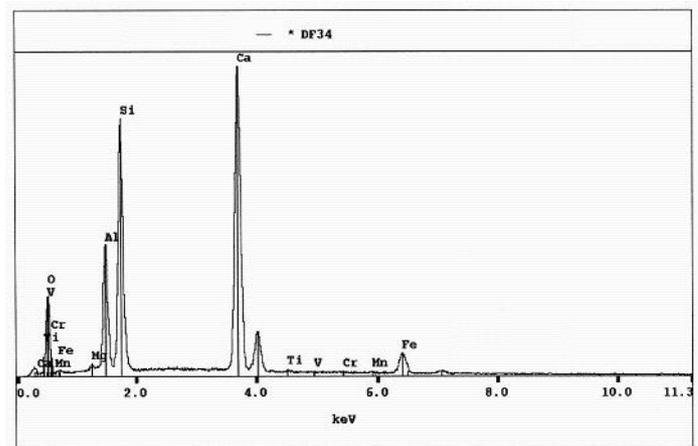


Le spectre OPL présente une absorption qui débute dans le violet et s'arrête au début du bleu vers 410 nm.

Le spectre UV/Vis présente un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 430 nm, puis brusquement vers l'ultraviolet. Une succession de faibles absorptions sont présentes dans la région du bleu à bleu-vert et situées respectivement à 409 et une légèrement plus importante à environ 434 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,34	Mg	0,93	MgO
9,75	Al	18,42	Al ₂ O ₃
18,54	Si	39,66	SiO ₂
26,22	Ca	36,69	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
---	Cr	0,15	Cr ₂ O ₃
0,11	Mn	0,14	MnO
0,14	Ti	---	TiO ₂
4,62	Fe	5,94	FeO
42,12	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire-andradite. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Fe³⁺ (voir page 41) ou transfert de charge Fe²⁺ - Ti⁴⁺.

N°15

Nom : DF43 « Grossulaire » Mali

Couleur : Jaune marron

Réaction polariscope : Nulle

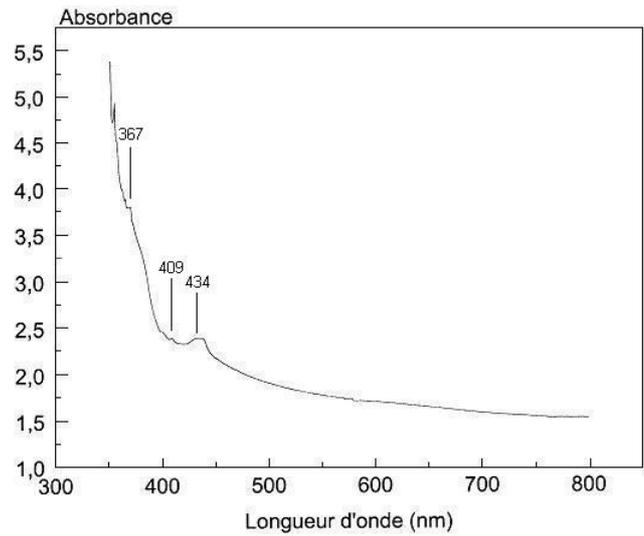
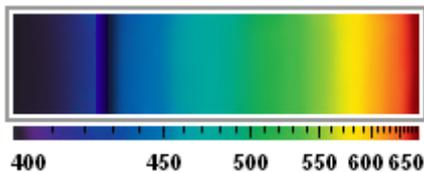
Taille : Round

Dimensions (mm) : D : 3×3,06×3,1
H : 1,94

Indices de réfraction : 1,773

Densité : 3,70

Filtre Chelsea : Orangé



Spectroscope à main (nm)

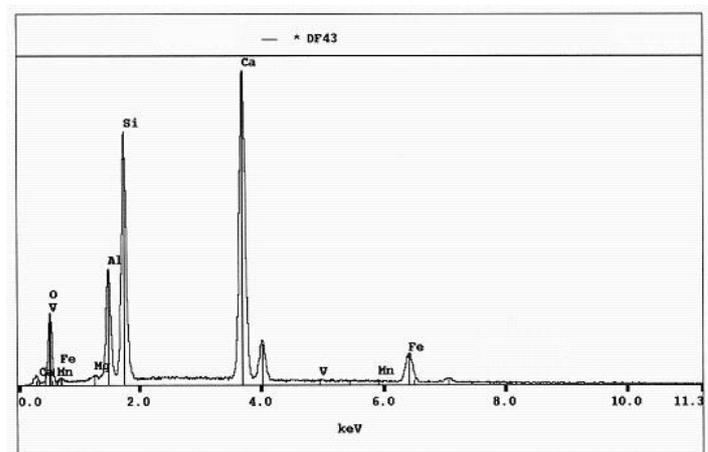
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption qui débute dans le violet et s'arrête au début du bleu vers 410 nm suivi d'une bande vers 430 nm.

Le spectre UV/Vis présente un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 430 nm, puis brusquement vers l'ultraviolet. Une succession de faibles absorptions sont présentes dans la région du bleu à bleu-vert et situées respectivement à 409 et une légèrement plus importante à environ 434 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,40	Mg	0,66	MgO
7,98	Al	15,08	Al ₂ O ₃
16,78	Si	35,90	SiO ₂
24,27	Ca	33,96	CaO
0,07	V	0,10	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
---	Mn	---	MnO
0,04	Ti	0,07	TiO ₂
6,07	Fe	7,81	FeO
37,97	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire-andradite. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Fe³⁺ (voir page 41) ou transfert de charge Fe²⁺- Ti⁴⁺.

N°16

Nom : DF10 « Grossulaire » Tanzanie

Couleur : Orange-jaune

Réaction polariscope : DRA

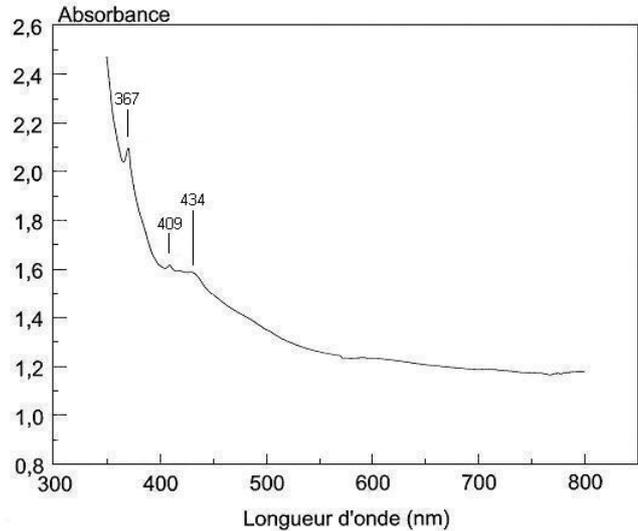
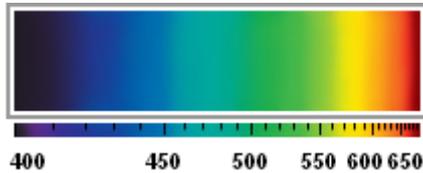
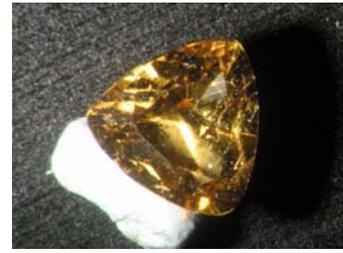
Taille : Triangle

Dimensions (mm) : D : 4,05×4,06×4,12
H : 2,11

Indices de réfraction : 1,740

Densité : 3,567

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscopie à main (nm)

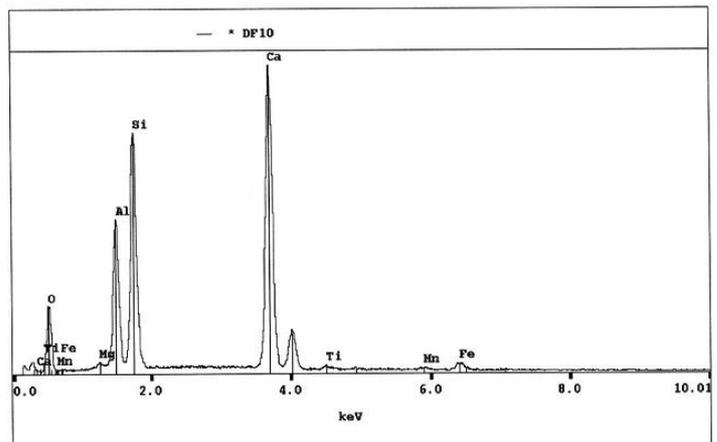
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption dans le violet.

Le spectre UV/Vis présente un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Deux très faibles absorptions sont présentes et se situent à environ 409 et 434 nm .

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,03	Mg	0,55	MgO
10,84	Al	20,48	Al ₂ O ₃
17,70	Si	37,86	SiO ₂
25,01	Ca	34,99	CaO
0,09	V	0,13	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
0,46	Mn	0,59	MnO
0,32	Ti	0,53	TiO ₂
1,49	Fe	1,92	FeO
40,81	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire-andradite. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Fe³⁺ (voir page 41) ou transfert de charge Fe²⁺- Ti⁴⁺.



N°17

Nom : DF27 « Hessonite » Québec, Asbestos

Couleur : Orange clair

Réaction polariscope : DRA

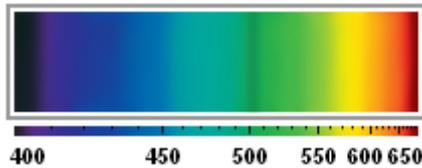
Taille : Brut

Dimensions (mm) : l : 6,38
L : 7,12
H : 4,31

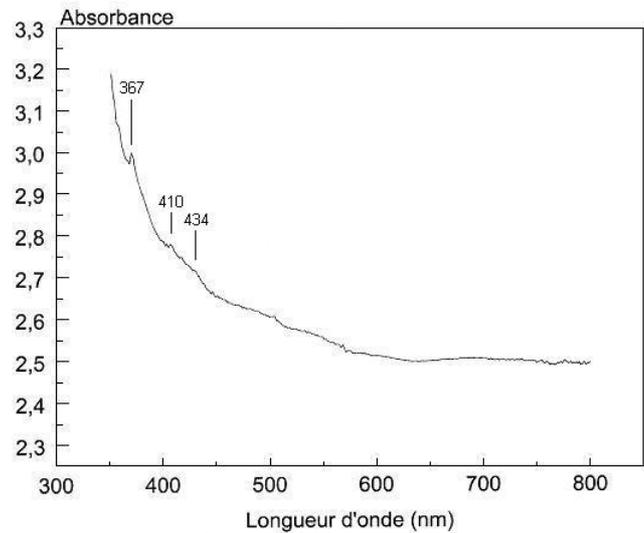
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 3,59

Filtre Chelsea : Vert bleuté clair



Spectroscope à main (nm)



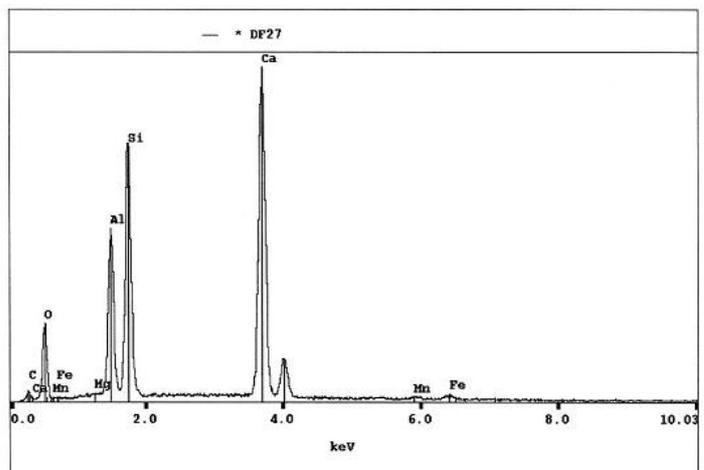
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente un étroite bande dans la région du violet, suivie d'une bande située au début de la région du vert, aux alentours de 500 nm.

Le spectre UV/Vis présente un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Deux très faibles absorptions sont présentes et se situent à environ 410 et environ 434 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,03	Mg	0,05	MgO
11,88	Al	22,45	Al ₂ O ₃
18,40	Si	39,36	SiO ₂
26,20	Ca	36,66	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
0,34	Mn	0,44	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
0,66	Fe	0,85	FeO
42,29	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un grossulaire. La composition chimique correspond à un grossulaire-andradite. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺, Fe³⁺ et/ou Ti⁴⁺ déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Fe³⁺ (voir page 41) ou transfert de charge Fe²⁺- Ti⁴⁺.

N°18

Nom : DF11 « Spessartite » Madagascar

Couleur : Orange-jaune

Réaction polariscope : Nulle

Taille : Ovale

Dimensions (mm) : l : 5,70

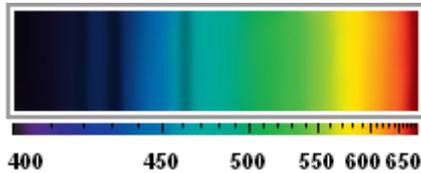
L : 6,27

H : 2,18

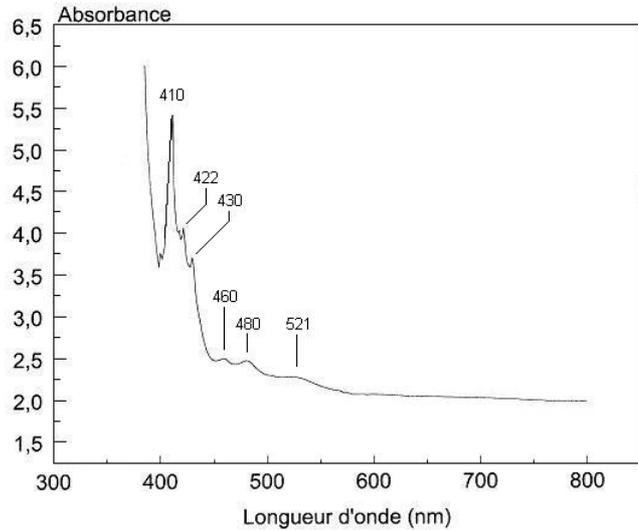
Indices de réfraction : 1,785

Densité : 4,124

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)



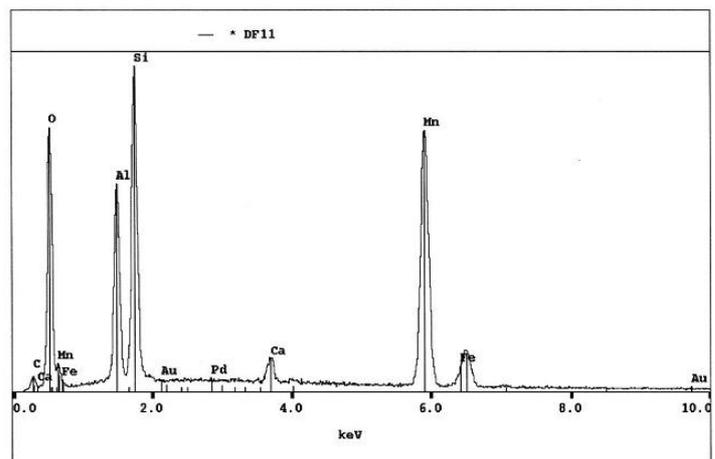
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute au violet et se termine dans le milieu de la région du bleu avec une coupure vers 425 nm. Une bande d'absorption est présente dans la région du bleu-vert vers 460 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une absorption intense est présente dans la région du bleu, elle est constituée de trois absorptions, le pic à 410 et les deux autres plus petits à 422 et 430 nm. Une succession de faibles absorptions sont présentes et situées à 460, 480, 521 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
---	Mg	---	MgO
11,93	Al	22,54	Al ₂ O ₃
17,30	Si	37,01	SiO ₂
1,34	Ca	1,87	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
30,28	Mn	39,10	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
1,36	Fe	1,75	FeO
40,06	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'une spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Mn²⁺ (voir page 37).

N°19

Nom : DF12 « Hessonite »

Couleur : Orange

Réaction polariscope : DRA

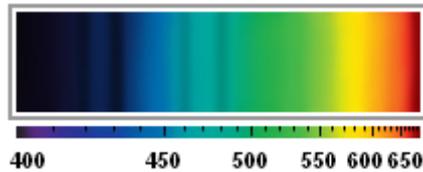
Taille : Carré

Dimensions (mm) : D : 3,18×3,26
H : 2,21

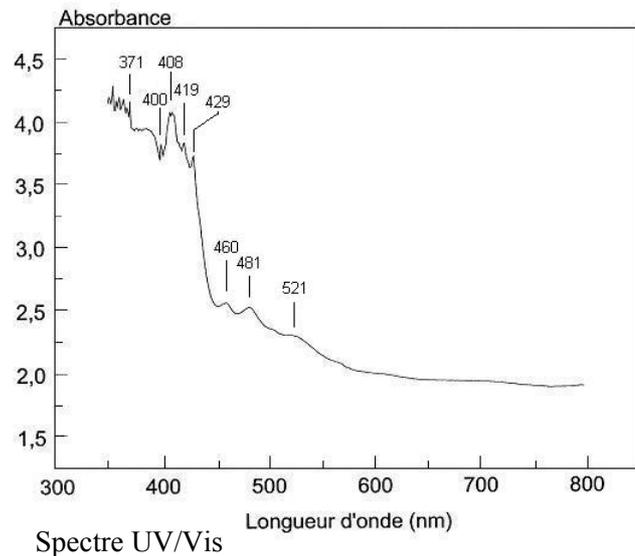
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,113

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)



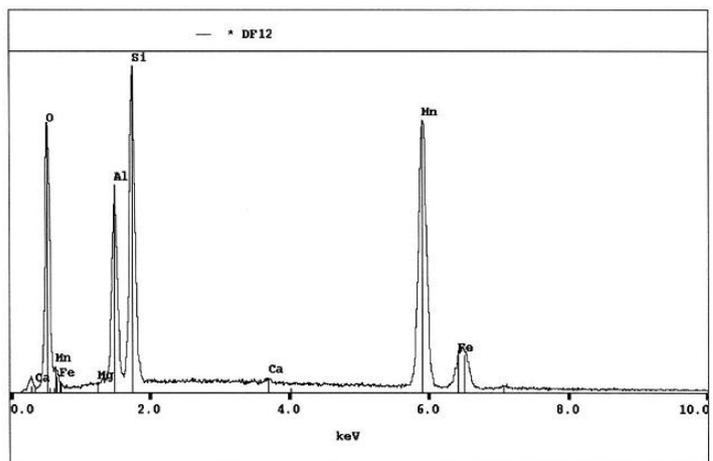
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute dans la région du violet et s'arrête dans la région du bleu avec une coupure vers 425 nm. Deux bandes d'absorptions sont visibles dans la région du bleu-vert située vers 460 et 480 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une absorption intense est présente, constituée d'une succession de plusieurs pics situés à 400, 408, 419 et 429 nm. L'absorption située à 408 est plus importante que les trois autres. Trois faibles absorptions sont visibles dans la région bleu-vert à vert, respectivement situées à 460, 481 et 521 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
---	Mg	---	MgO
10,93	Al	20,65	Al ₂ O ₃
16,52	Si	35,34	SiO ₂
0,23	Ca	0,32	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,02	Cr	0,03	Cr ₂ O ₃
30,23	Mn	39,03	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
2,99	Fe	3,85	FeO
38,31	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'une spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Mn²⁺ (voir page 37).

N°20

Nom : DF13 « Spessartite » Madagascar

Couleur : Orange

Réaction polariscope : Nulle

Taille : Ovale

Dimensions (mm) : l : 5

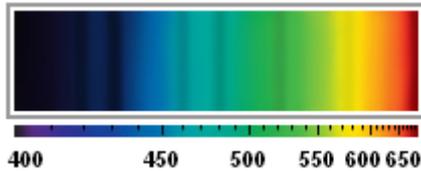
L : 6,91

H : 2,91

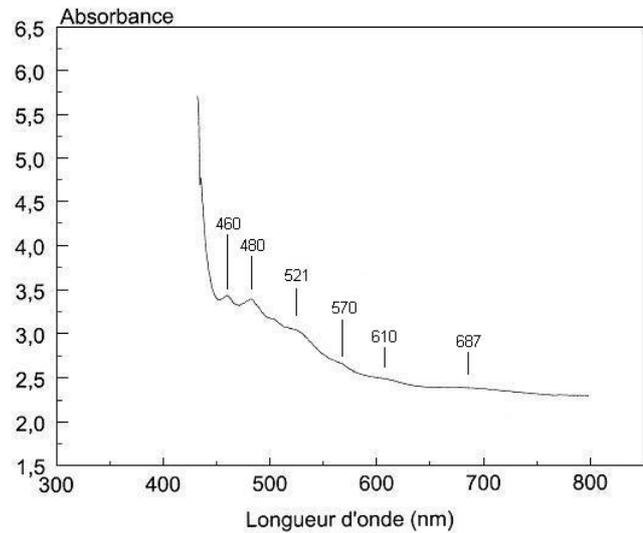
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,161

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)



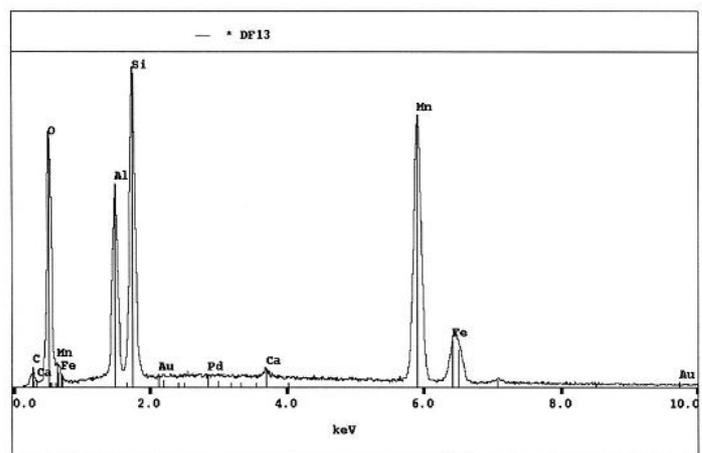
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute au violet et se termine dans le milieu de la région du bleu avec une coupure vers 425 nm. Une paire de bandes est située dans la région du bleu-vert, dans les alentours de 460 et 480 nm. Une bande est visible dans la région du vert, vers 520 nm, une autre plus faible se situe dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis présente un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une succession de faibles absorptions sont présentes dans la région du bleu à bleu-vert et situées respectivement à 460, 480, 521, 570, 610, 687 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
-	Mg	-	MgO
11,06	Al	20,90	Al ₂ O ₃
16,24	Si	34,74	SiO ₂
0,31	Ca	0,43	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
29,35	Mn	37,90	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
4,36	Fe	5,61	FeO
38,26	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'une spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Mn²⁺ (voir page 37).

N°21

Nom : DF14 « Spessartite » Madagascar

Couleur : Rouge-orange

Réaction polariscope : DRA

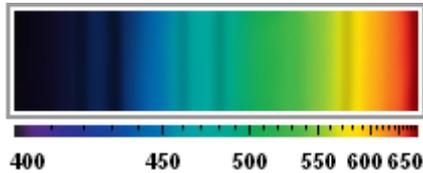
Taille : Ovale

Dimensions (mm) : l : 3,82
L : 4,60
H : 2,45

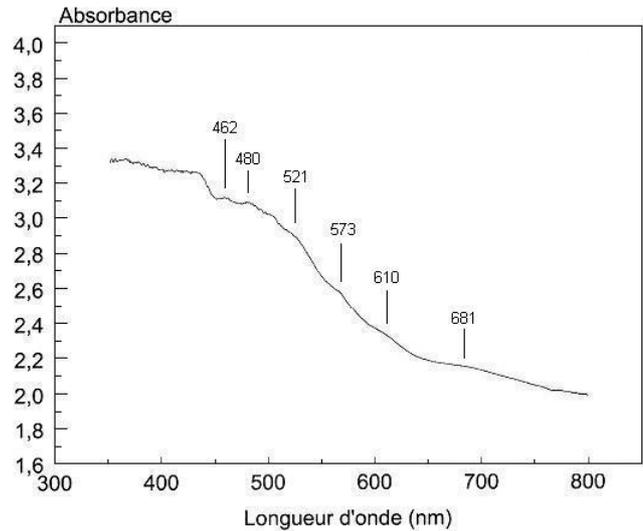
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,070

Filtre Chelsea : Rouge



Spectroscope à main (nm)



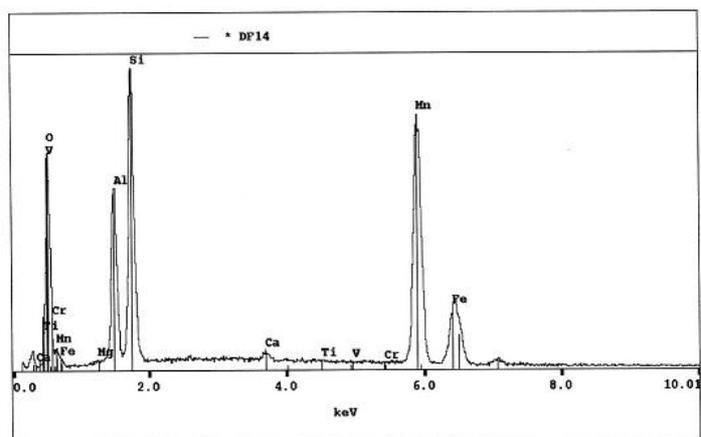
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute au violet et se termine dans le milieu de la région du bleu avec une coupure vers 425 nm. Une paire de bandes est située dans la région du bleu-vert, dans les alentours de 460 et 480 nm. Une bande est visible dans la région du jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum s'accroissant de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une succession d'absorptions sont situées à 462, 480, 521, 573, 610 et 681 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,01	Mg	0,02	MgO
9,70	Al	18,33	Al ₂ O ₃
14,61	Si	31,25	SiO ₂
0,37	Ca	0,52	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
26,74	Mn	34,53	MnO
0,09	Ti	0,15	TiO ₂
6,02	Fe	7,74	FeO
34,99	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'une spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au Mn²⁺ (voir page 37).

N°22

Nom : DF45 « Spessartite »

Couleur : Rouge foncé

Réaction polariscope : nulle

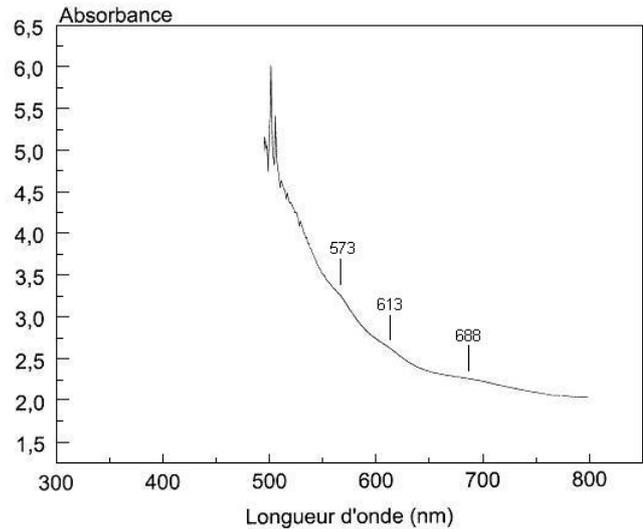
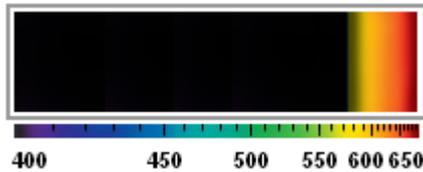
Taille : Ovale

Dimensions (mm) : l : 4,2
L : 5,91
H : 3,46

Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,18

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)

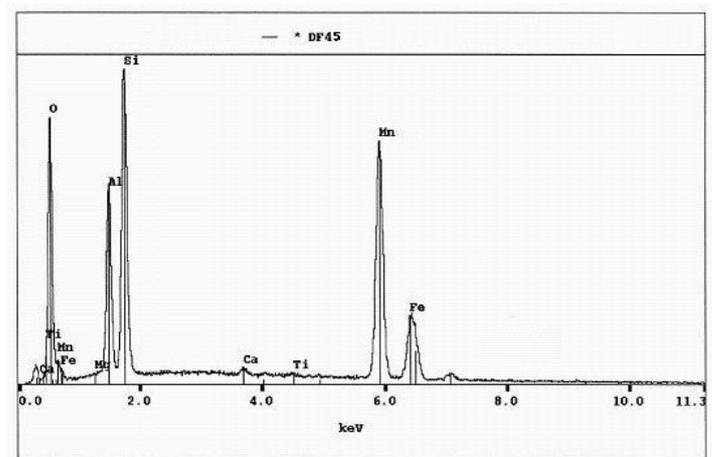
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large bande d'absorption qui débute dans le violet et se termine dans la région du jaune.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente brusquement de l'infrarouge vers la région du vert. Le spectre présente une succession d'absorptions situées à 573, 613 et 688 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,25	Mg	0,41	MgO
10,31	Al	0,15	Al ₂ O ₃
16,36	Si	35	SiO ₂
0,28	Ca	0,39	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,04	Cr	0,06	Cr ₂ O ₃
25,98	Mn	33,55	MnO
0,09	Ti	0,15	TiO ₂
6,68	Fe	8,59	FeO
37,64	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'une spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par l'interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Ti⁴⁺ (voir page 58).

N°23

Nom : DF44 « Pyrope » Mozambique

Couleur : Rouge foncé

Réaction polariscope : DRA

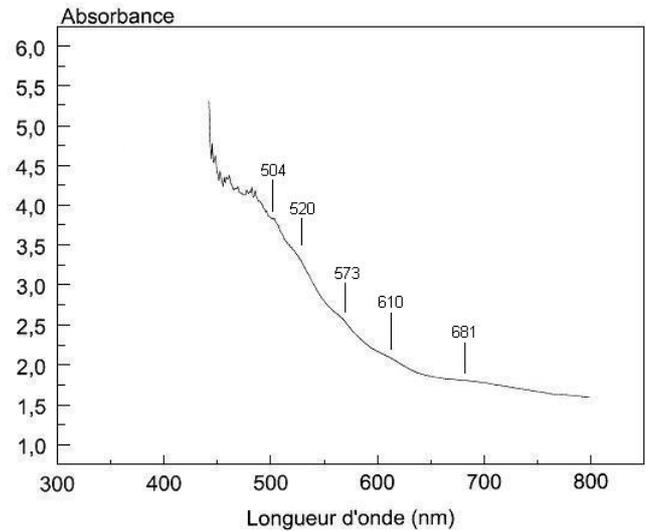
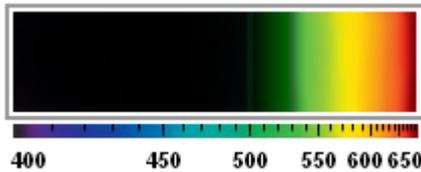
Taille : Ovale

Dimensions (mm) : l : 4,85
L : 5,95
H : 2,88

Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,30

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscopie à main (nm)

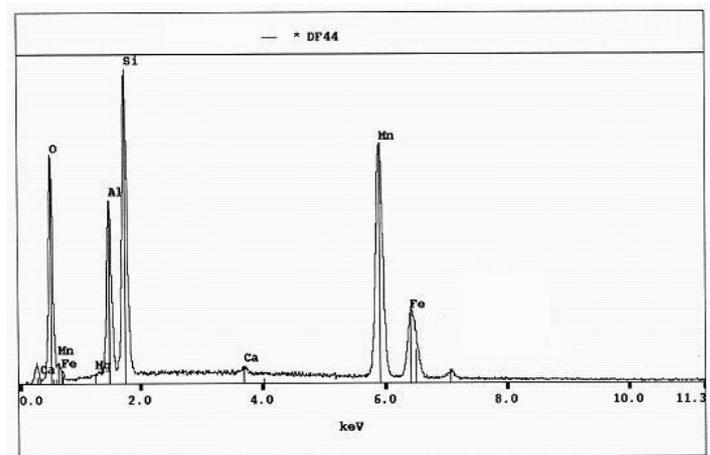
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large bande d'absorption qui débute dans le violet et se termine dans le vert.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente brusquement de l'infrarouge vers la région du bleu-vert. Le spectre est composé d'une succession d'absorptions situées à 504, 520, 573, 610 et 681 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,28	Mg	0,46	MgO
9,64	Al	18,22	Al ₂ O ₃
15,39	Si	39,92	SiO ₂
0,25	Ca	0,35	CaO
0,02	V	0,03	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
25,62	Mn	33,08	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
7,21	Fe	9,28	FeO
35,93	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'une spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par l'interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Ti⁴⁺ (voir page 58).

N°24

Nom : DF36 « Spessartite »

Couleur : Rouge foncé

Réaction polariscope : DRA

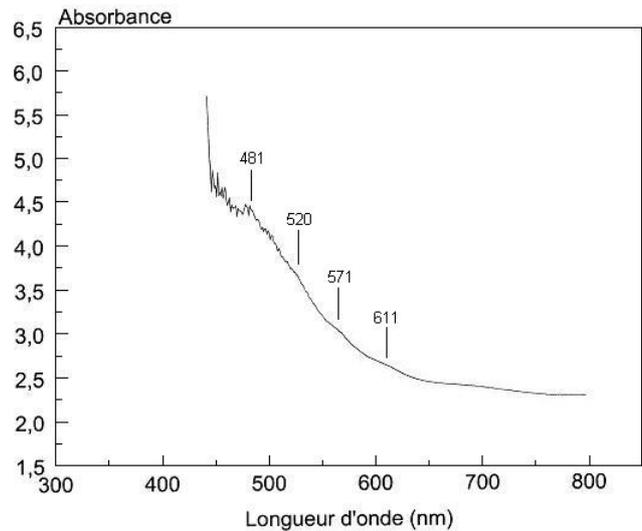
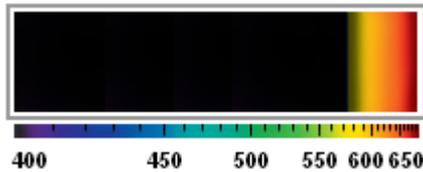
Taille : Ovale

Dimensions (mm) : l : 4
L : 4,8
H : 3,02

Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,32

Filtre Chelsea : Orange vif



Spectroscope à main (nm)

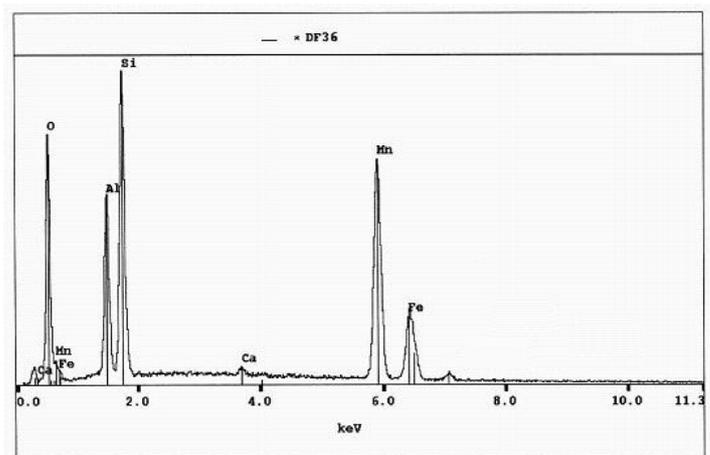
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption large qui débute dans le violet et se termine dans la région du jaune.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente brusquement de l'infrarouge vers la région du bleu-vert. Une succession d'absorptions sont visibles et se situent à 481, 520, 571 et 611 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,33	Mg	0,55	MgO
10,66	Al	20,14	Al ₂ O ₃
17,06	Si	36,49	SiO ₂
0,39	Ca	0,55	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
25,82	Mn	33,34	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
8,13	Fe	10,46	FeO
39,14	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'une spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par l'interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Ti⁴⁺ (voir page 58).

N°25

Nom : DF42 « Spessartite »

Couleur : Rouge foncé

Réaction polariscope : DRA

Taille : Ovale

Dimensions (mm) : l : 4,18

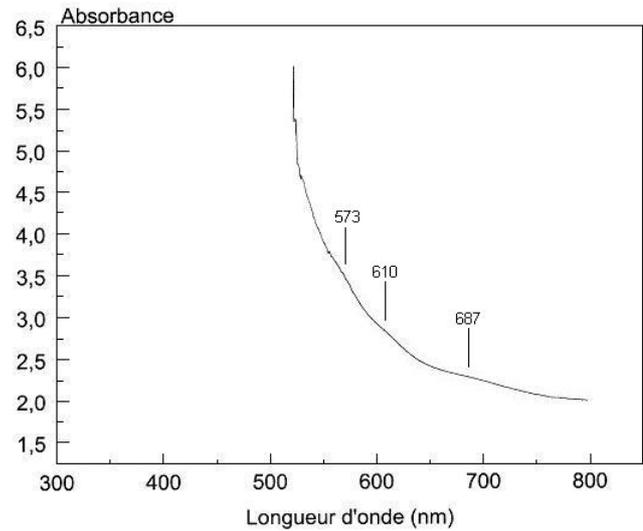
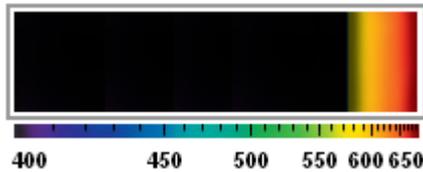
L : 5,15

H : 2,95

Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,17

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)

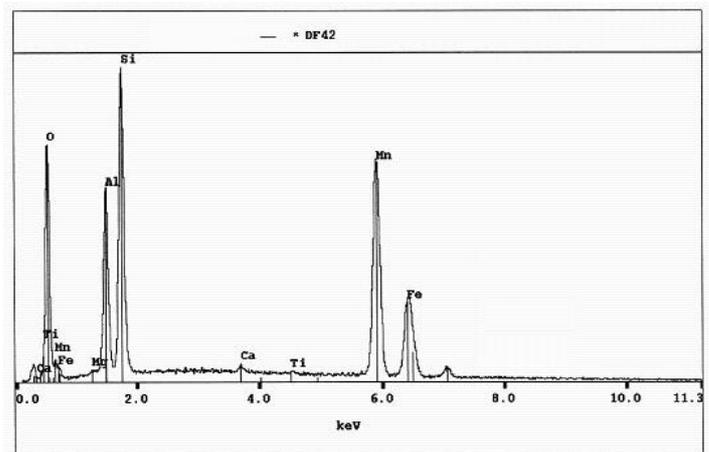
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute du violet et s'arrête dans le jaune vers 580 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente brusquement de l'infrarouge vers la région du vert. Une succession d'absorptions sont visibles et situées à 573, 610 et 687 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
0,41	Mg	0,68	MgO
10,12	Al	19,12	Al ₂ O ₃
15,88	Si	33,97	SiO ₂
0,26	Ca	0,36	CaO
0,02	V	0,03	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
24,35	Mn	31,44	MnO
0,05	Ti	0,08	TiO ₂
9,40	Fe	12,09	FeO
37,28	O		

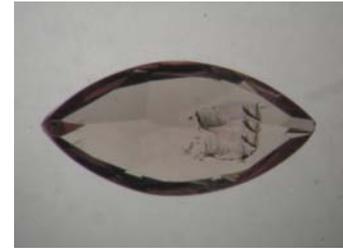


Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'une spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par l'interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis lié au transfert de charge Fe²⁺-Ti⁴⁺ (voir page 58).

N°26

Nom : DF35 « Color change »

Couleur : Rose violacé en lumière du jour
Rose violacé foncé en lumière incandescente



Réaction polariscope : Nulle

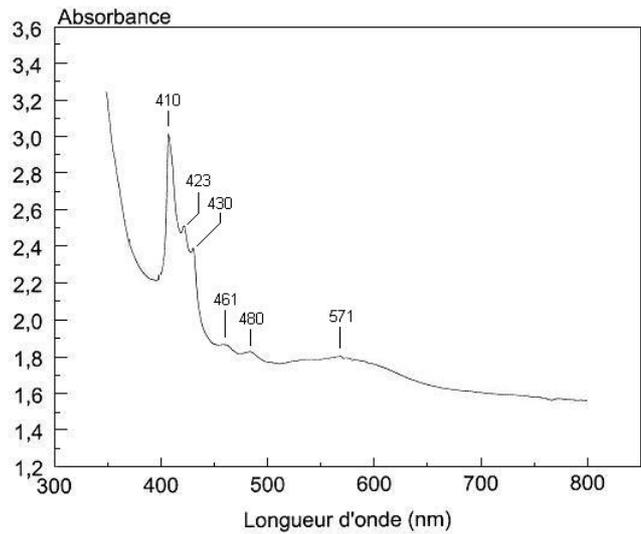
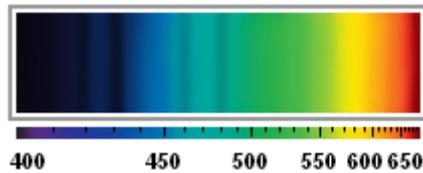
Taille : Marquise

Dimensions (mm) : l : 3,04
L : 6,01
H : 1,62

Indices de réfraction : 1,775

Densité : 3,91

Filtre Chelsea : Orange rougeâtre



Spectroscopie à main (nm)

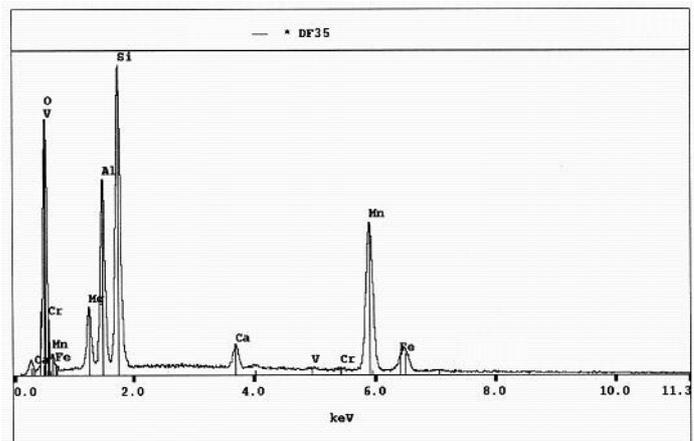
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption qui débute dans le violet et s'arrête dans le violet-bleu vers 415 nm suivie de deux bandes situées vers 420 et 430 nm. Deux bandes sont présentes dans la région du bleu-vert, situées vers 460 et 480 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 550 nm, puis beaucoup plus brusquement vers l'ultraviolet. Une absorption intense est présente dans la région du bleu, elle est constituée de trois absorptions, le pic à 410 et les deux autres à 423 et 430 nm. Une succession d'absorptions sont présentes et situées à 461, 480, 571 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
5,73	Mg	9,50	MgO
13,28	Al	25,09	Al ₂ O ₃
20,59	Si	44,05	SiO ₂
1,52	Ca	2,13	CaO
0,15	V	0,22	V ₂ O ₃
0,19	Cr	0,28	Cr ₂ O ₃
22,04	Mn	28,46	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
1,62	Fe	2,08	FeO
46,70	O		

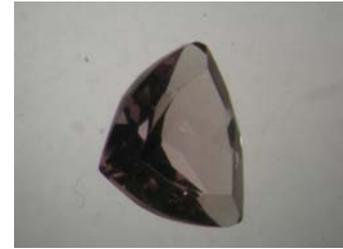


Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-pyrope-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺, V³⁺, Cr³⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Mn²⁺ avec l'absorption à 571 nm liée aux Cr³⁺ et V³⁺ (voir pages 49-51).

N°27

Nom : DF40 « Color change »

Couleur : Rose violacé en lumière du jour
Rose violacé foncé en lumière incandescente



Réaction polariscope : DRA

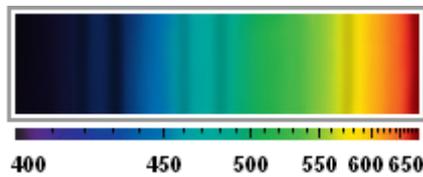
Taille : Triangle

Dimensions (mm) : D : 4,01×4,02×4,08
H : 2,12

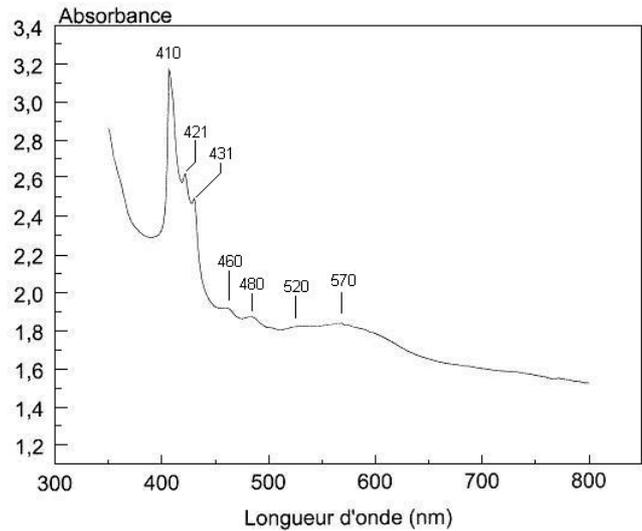
Indices de réfraction : 1,770

Densité : 3,82

Filtre Chelsea : Orange vif



Spectroscope à main (nm)



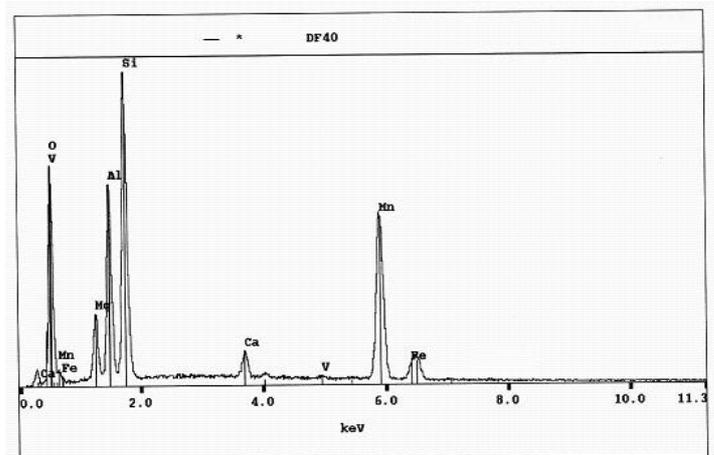
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption qui débute dans le violet et s'arrête dans le violet-bleu vers 415 nm suivie de deux bandes situées vers 420 et 430 nm. Deux bandes sont présentes dans la région du bleu-vert, situées vers 460 et 480 nm. Une bande est visible dans la région du jaune, vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 550 nm, puis beaucoup plus brusquement vers l'ultraviolet. Une absorption intense est présente dans la région du bleu, elle est constituée de trois absorptions, le pic à 410 et les deux autres à 421 et 431 nm. Une succession d'absorptions sont présentes et situées à 460, 480, 520 et une plus intense à 570 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
5,14	Mg	8,52	MgO
11,18	Al	21,13	Al ₂ O ₃
17,44	Si	37,31	SiO ₂
1,32	Ca	1,85	CaO
0,19	V	0,28	V ₂ O ₃
0,03	Cr	0,04	Cr ₂ O ₃
20,64	Mn	26,65	MnO
0,02	Ti	0,03	TiO ₂
1,91	Fe	2,46	FeO
40,39	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-pyrope-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺, V³⁺, Cr³⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Mn²⁺ avec l'absorption à 570 nm très largement liée au V³⁺ (voir pages 49-51).

N°28

Nom : DF33 « Color change »

Couleur : Rose violacé en lumière du jour
Rose violacé foncé en lumière incandescente



Réaction polariscope : Nulle

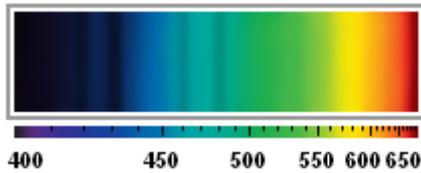
Taille : Poire

Dimensions (mm) : l : 2,5
L : 3,55
H : 1,64

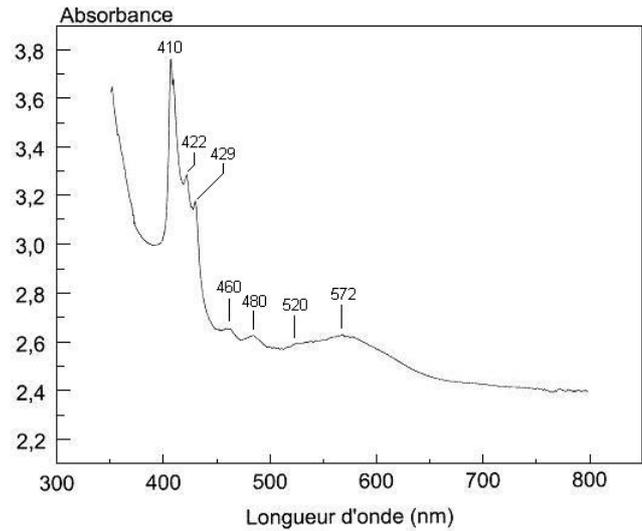
Indices de réfraction : 1,772

Densité : 4,12

Filtre Chelsea : Orange vif



Spectroscope à main (nm)



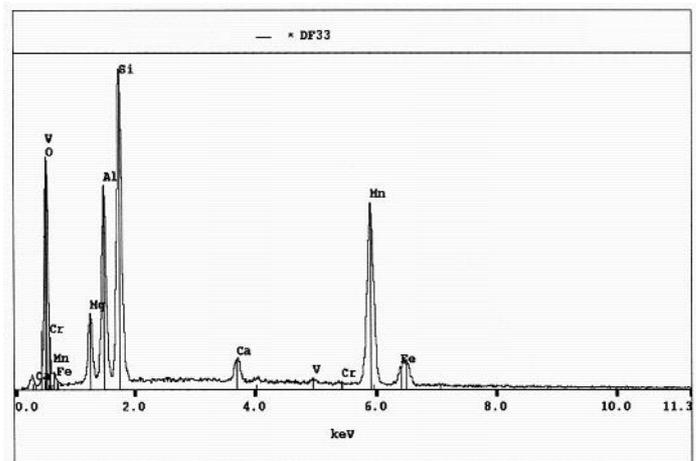
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption qui débute dans le violet et s'arrête dans le violet-bleu vers 415 nm suivie de deux bandes situées vers 420 et 430 nm. Deux bandes sont présentes dans la région du bleu-vert, situées vers 460 et 480 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 550 nm, puis beaucoup plus brusquement vers l'ultraviolet. Une absorption intense est présente dans la région du bleu, elle est constituée de trois absorptions, le pic à 410 et les deux autres à 422 et 429 nm. Une succession d'absorptions sont présentes et situées à 460, 480, 520 et une plus intense à 572 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
4,92	Mg	8,16	MgO
10,66	Al	20,14	Al ₂ O ₃
16,96	Si	36,28	SiO ₂
1,18	Ca	1,65	CaO
0,29	V	0,43	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
19,94	Mn	25,75	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
1,75	Fe	2,25	FeO
38,96	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-pyrope-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺, V³⁺, Cr³⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Mn²⁺ avec l'absorption à 572 nm liée au V³⁺ (voir pages 49-51).

N°29

Nom : DF17 « Lychee » Madagascar

Couleur : Rose-gris en lumière du jour
Rose foncé en lumière incandescente



Réaction polariscope : DRA

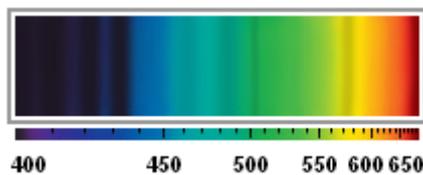
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : l : 5,53
L : 6,12
H : 3,63

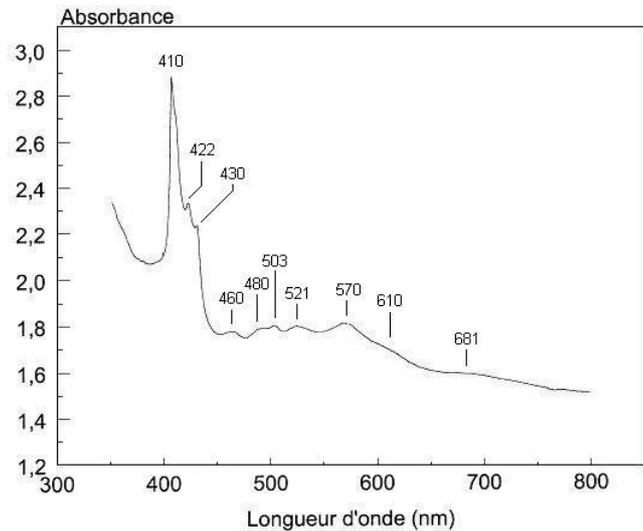
Indices de réfraction : 1,751

Densité : 3,783

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)



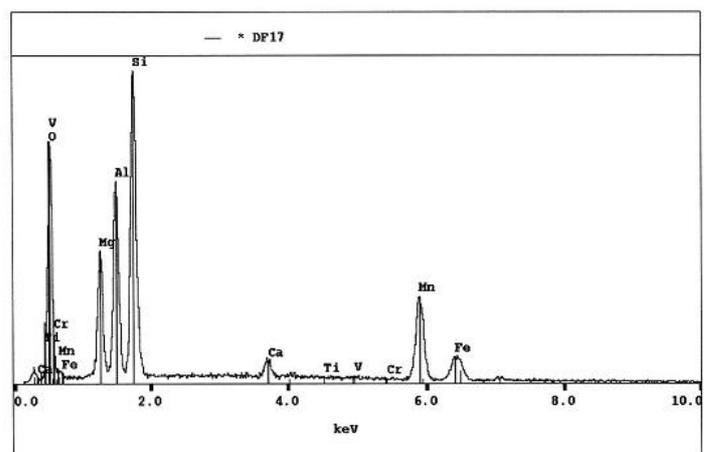
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption qui débute dans le violet et s'arrête dans le violet-bleu vers 415 nm suivie de deux bandes situées vers 420 et 430 nm. Deux bandes sont présentes dans la région du bleu-vert, situées vers 460 et 480 nm. Elles sont directement suivies par une fine bande présente dans la région du vert, aux alentours de 500 nm. Une bande est visible dans la région du jaune, vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 550 nm, puis beaucoup plus brusquement vers l'ultraviolet. Une absorption intense est présente dans la région du bleu, elle est constituée de trois absorptions, le pic à 410 et les deux autres à 422 et 430 nm. Une succession d'absorptions sont présentes et situées à 460, 480, 503, 521, 570, 610, 681 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
9,76	Mg	16,18	MgO
12,52	Al	23,66	Al ₂ O ₃
19,27	Si	41,22	SiO ₂
1,03	Ca	1,44	CaO
0,15	V	0,22	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
11,40	Mn	14,72	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
3,24	Fe	4,17	FeO
44,24	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-pyrope-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺, V³⁺, Cr³⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Mn²⁺ avec l'absorption à 570 nm liée au V³⁺ (voir pages 49-51).

N°30

Nom : DF18 « Lychee » Madagascar

Couleur : Pourpre-rose en lumière du jour
Pourpre-rose foncé en lumière incandescente



Réaction polariscope : DRA

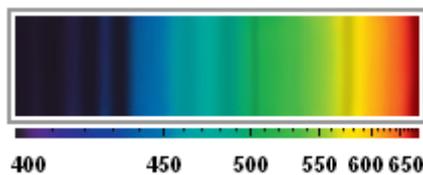
Taille : Taille émeraude

Dimensions (mm) : l : 4,5
L : 6,21
H : 3,91

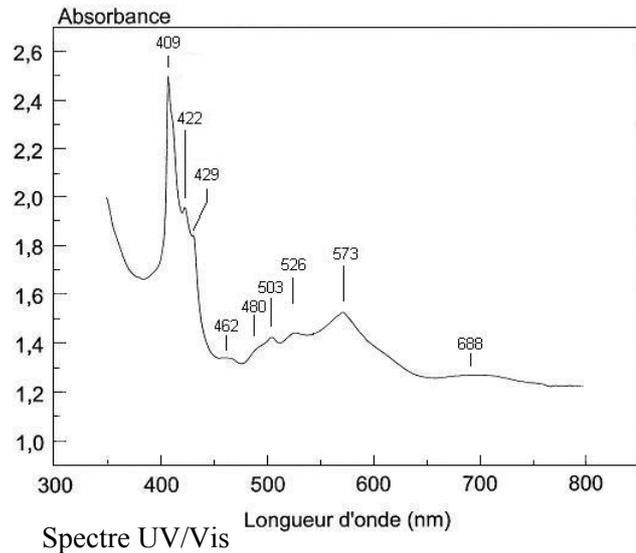
Indices de réfraction : 1,751

Densité : 3,778

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscopie à main (nm)

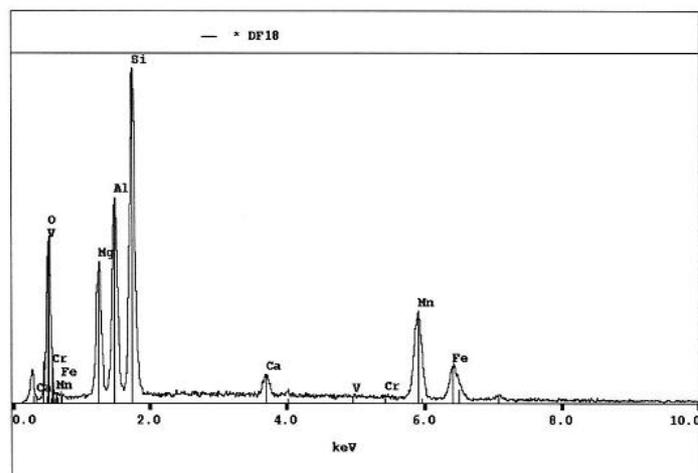


Le spectre OPL présente une bande d'absorption qui débute dans le violet et s'arrête dans le violet-bleu vers 415 nm suivie de deux bandes situées vers 420 et 430 nm. Deux bandes sont présentes dans la région du bleu-vert, situées vers 460 et 480 nm. Elles sont directement suivies par une fine bande présente dans la région du vert, aux alentours de 500 nm. Une bande est visible dans la région du jaune, vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente doucement de l'infrarouge à environ 550 nm, puis beaucoup plus brusquement vers l'ultraviolet. Une absorption intense est présente dans la région du bleu, elle est constituée de trois absorptions, le pic à 409 et les deux autres à 422 et 429 nm. Une succession d'absorptions sont présentes et situées à 462, 480, 503, 526, 688 et une plus intense à 573 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
8,63	Mg	14,31	MgO
11,20	Al	21,16	Al ₂ O ₃
17,31	Si	37,03	SiO ₂
1,09	Ca	1,53	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,15	Cr	0,22	Cr ₂ O ₃
9,74	Mn	12,58	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
4,30	Fe	5,53	FeO
39,93	O		

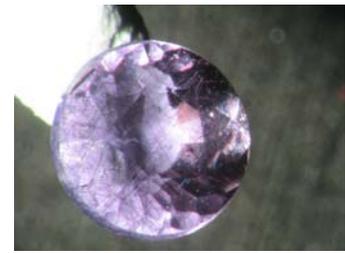


Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-spessartite. La composition chimique correspond à une spessartite-pyrope-almandin. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺, V³⁺, Cr³⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Mn²⁺ avec l'absorption à 573 nm liée au Cr³⁺ (voir pages 49-51).

N°31

Nom : DF03 « Color change » Sri Lanka, Ethiliwawa

Couleur : Vert foncé en lumière du jour et rouge pourpre en lumière incandescente



Réaction polariscope : Nulle

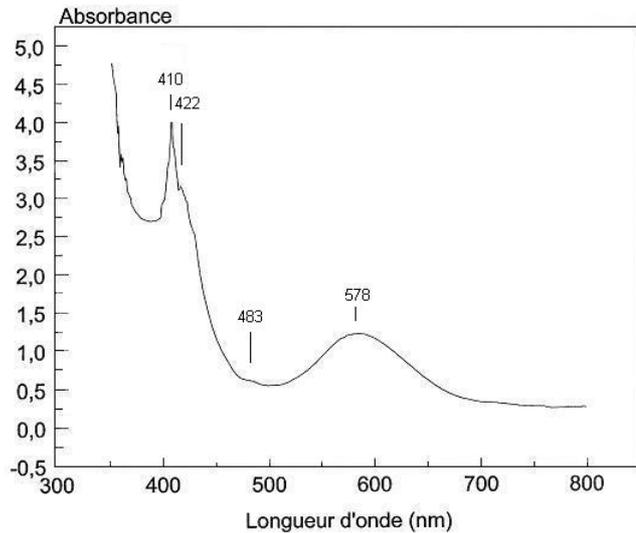
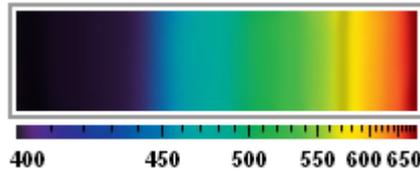
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 3,52×3,49×3,43
H : 2,22

Indices de réfraction : H.I.

Densité : 3,696

Filtre Chelsea : Rouge foncé



Spectroscope à main (nm)

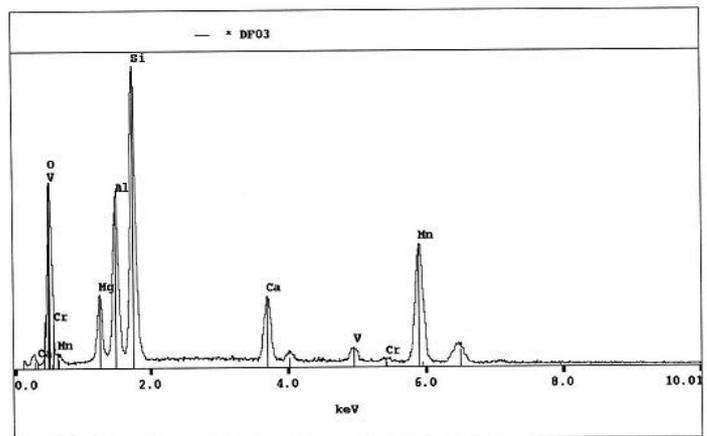
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une large absorption qui débute dans le violet et se termine dans le bleu vers 440 nm. Une plus faible absorption se situe dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une absorption étroite et intense est présente dans le bleu et présente deux pics situés à 410 nm et un très faible à 422 nm. Une très faible absorption est présente à 483 nm jusque dans la fenêtre de transmission située dans la région du vert. Une absorption large mais peu intense se situe dans le rouge avec son sommet situé à 578 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
5,47	Mg	9,07	MgO
11,45	Al	21,64	Al ₂ O ₃
18,92	Si	40,47	SiO ₂
4,21	Ca	5,89	CaO
1,45	V	2,13	V ₂ O ₃
0,21	Cr	0,31	Cr ₂ O ₃
17,25	Mn	22,27	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
---	Fe	---	FeO
42,83	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-spessartite à changement de couleur. La composition chimique correspond à une spessartite-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺, V³⁺, Cr³⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Mn²⁺ avec l'absorption à 578 nm est très largement liée au V³⁺ (voir pages 49-51).

N°32

Nom : DF04 « Color change » Sri Lanka, Ethiliwawa

Couleur : Bleu vert foncé en lumière du jour et pourpre rouge en lumière incandescente



Réaction polariscope : Nulle

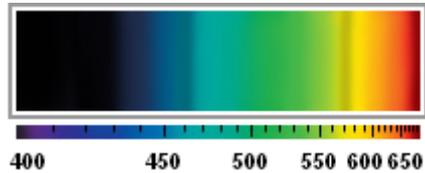
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 3,31×3,20×3,31
H : 2,23

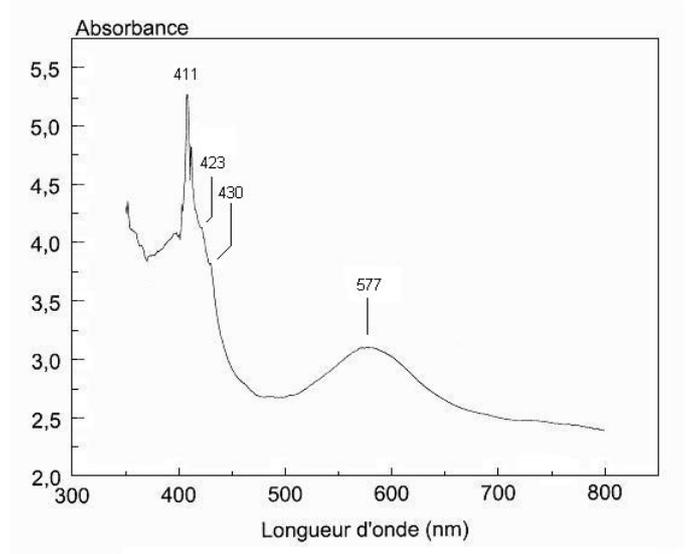
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 3,955

Filtre Chelsea : Rouge foncé



Spectroscope à main (nm)



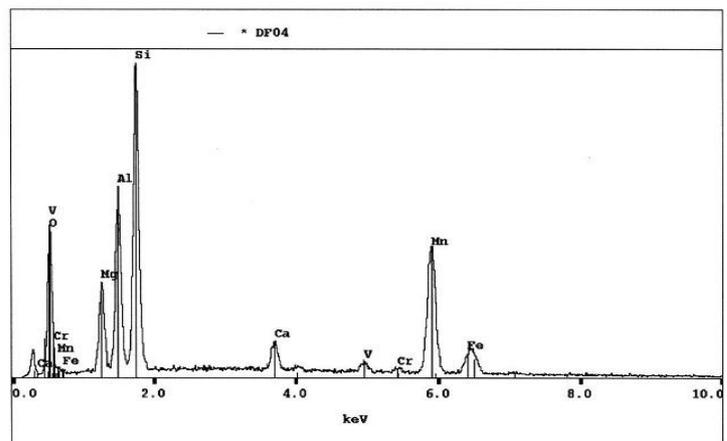
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption large qui commence dans le violet et se termine dans le bleu vers 440 nm. Deux bandes d'absorptions sont présentes et sont respectivement situées à 465 nm dans le bleu-vert et à 570 nm dans la région du jaune.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Une absorption étroite et intense est présente dans le bleu et présente trois pics situés à 411 nm et deux très faibles à 423, 430 nm. La fenêtre de transmission se situe dans la région du bleu vert. Une absorption large mais peu intense se situe dans le rouge avec son sommet situé à 577 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
6,72	Mg	11,59	MgO
10,52	Al	21,96	Al ₂ O ₃
16,66	Si	39,15	SiO ₂
1,76	Ca	2,38	CaO
0,71	V	1,37	V ₂ O ₃
0,35	Cr	0,51	Cr ₂ O ₃
16,57	Mn	22,12	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
2,21	Fe	3,51	FeO
39,25	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-spessartite à changement de couleur. La composition chimique correspond à une spessartite-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Mn²⁺, Fe²⁺, V³⁺, Cr³⁺ et Ti⁴⁺. Le Fe²⁺ et Ti⁴⁺ sont déterminés par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Mn²⁺ avec l'absorption à 577 nm est due au V³⁺ (voir pages 49-51).

N°33

Nom : DF15 Grenat ? Madagascar

Couleur : Rose-orange

Réaction polariscope : DRA

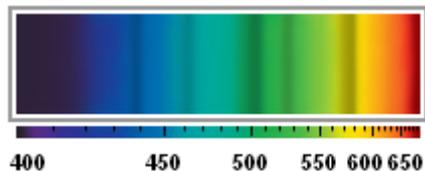
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 4,86×4,83×4,90
H : 3,35

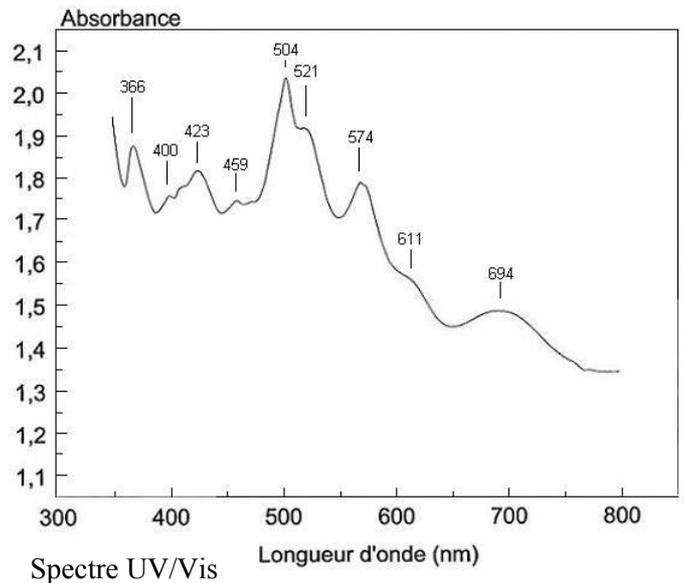
Indices de réfraction : 1,750

Densité : 3,676

Filtre Chelsea : Rouge



Spectroscope à main (nm)

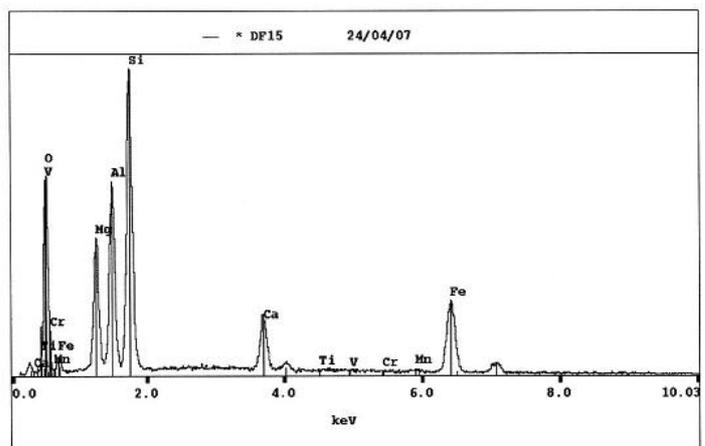


Le spectre OPL présente une bande d'absorption située dans le violet-bleu. Une bande est située dans le bleu vers 440 nm suivie d'une bande dans le bleu-vert située vers 460 nm. Une paire de bandes de forte absorption est située dans le vert dans les environs de 500 et 520 nm. Une bande intense est située dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Le spectre est constitué des trois pics d'absorptions principales situées à 504, 521 et 574 nm. Des plus faibles absorptions sont situées à 366, 400, 423, 459, 521, 611 et une large peu intense à 694 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
9,80	Mg	16,25	MgO
12,04	Al	22,75	Al ₂ O ₃
18,51	Si	39,60	SiO ₂
3,28	Ca	4,59	CaO
0,07	V	0,10	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
0,25	Mn	0,32	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
11,39	Fe	14,65	FeO
42,93	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-almandin. La composition chimique correspond à un pyrope-almandin. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°34

Nom : DF19 « Rhodolite » Madagascar

Couleur : Rose-pourpre

Réaction polariscope : DRA

Taille : Ovale

Dimensions (mm) : l : 4,17

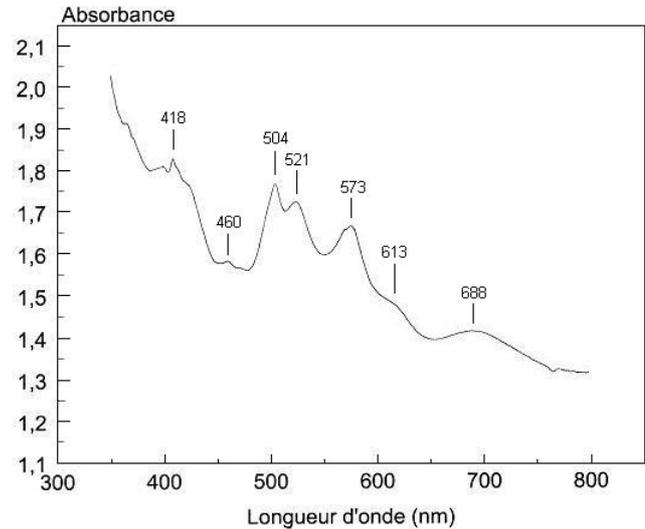
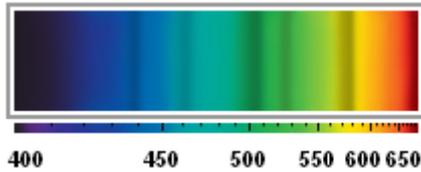
L : 4,69

H : 2,55

Indices de réfraction : 1,750

Densité : 3,926

Filtre Chelsea : Orange



Spectroscope à main (nm)

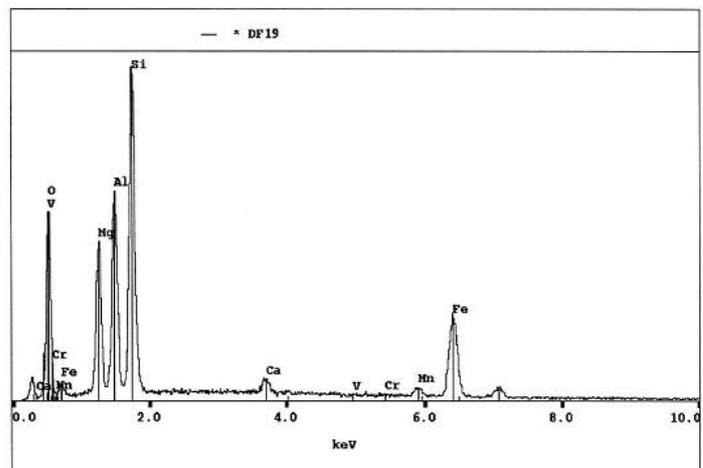
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption située dans le violet-bleu. Une bande est située dans le bleu vers 440 nm suivi d'une bande dans le bleu-vert située vers 460 nm. Une paire de bandes de forte absorption est située dans le vert dans les environs de 500 et 520 nm. Une bande intense est située dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Trois bandes de fortes absorptions sont visibles et sont respectivement situées à 504, 521 et 573 nm. Des absorptions plus faibles sont visibles vers 418, 460, 613 nm et une large vers 688 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
10,73	Mg	17,79	MgO
12,71	Al	24,02	Al ₂ O ₃
19,24	Si	41,16	SiO ₂
0,80	Ca	1,12	CaO
0,10	V	0,15	V ₂ O ₃
0,07	Cr	0,10	Cr ₂ O ₃
1,06	Mn	1,37	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
12,31	Fe	15,84	FeO
44,52	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-almandin. La composition chimique correspond à un pyrope-almandin-spessartite. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°35

Nom : DF25 « Rhodolite » Tanzanie

Couleur : Pourpre

Réaction polariscope : DRA

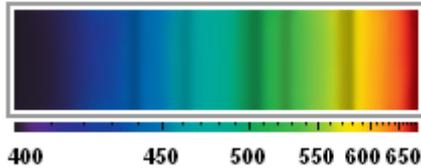
Taille : Brut

Dimensions (mm) : l : 7,41
L : 5,31
H : 5,14

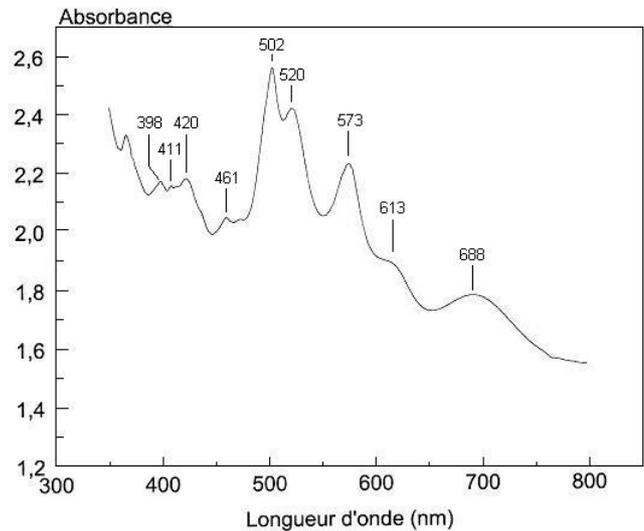
Indices de réfraction : 1,755

Densité : 3,790

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscopie à main (nm)



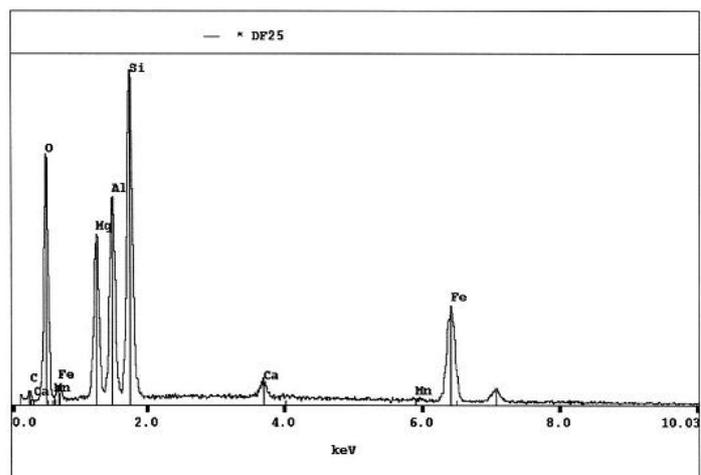
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption située dans le violet-bleu. Une bande est située dans le bleu vers 440 nm suivie d'une bande dans le bleu-vert située vers 460 nm. Une paire de bandes de forte absorption est située dans le vert dans les environs de 500 et 520 nm. Une bande intense se situe dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Trois absorptions principales sont visibles à 502, 520 et 573 nm. Des plus faibles se situent à 398, 411, 420, 461, 613 et une large peu intense vers 688 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
10,58	Mg	17,54	MgO
11,57	Al	21,86	Al ₂ O ₃
17,65	Si	37,76	SiO ₂
0,77	Ca	1,08	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
0,13	Mn	0,17	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
12,78	Fe	16,44	FeO
41,36	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-almandin. La composition chimique correspond à un pyrope-almandin. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°36

Nom : DF46 « Pyrope »

Couleur : Orange rouge

Réaction polariscope : DRA

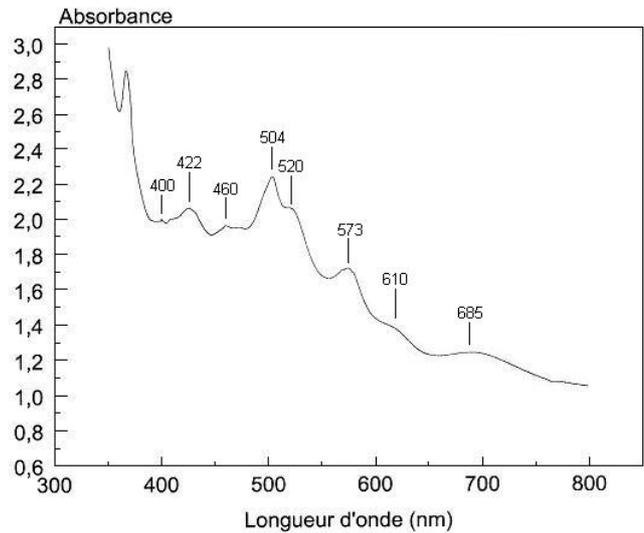
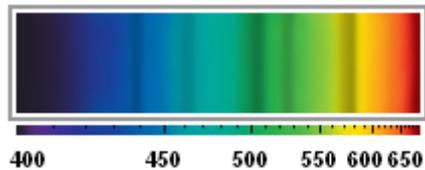
Taille : Round

Dimensions (mm) : D : 6,11×6,13×6,16
H : 4,69

Indices de réfraction : 1,752

Densité : 3,74

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)

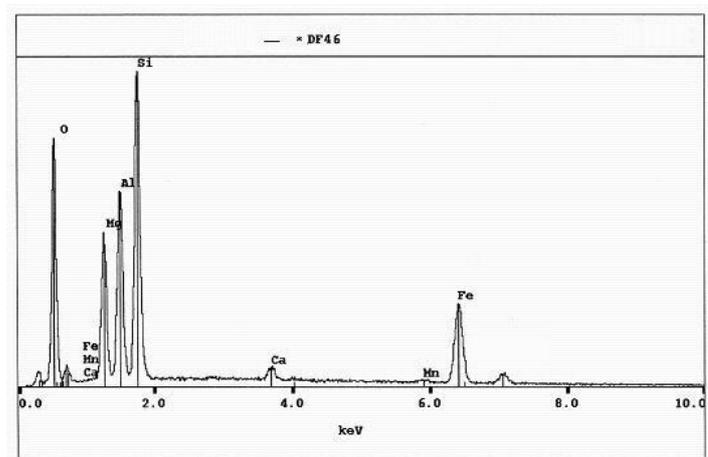
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption située dans le violet-bleu. Une bande est située dans le bleu vers 440 nm suivie d'une bande dans le bleu-vert située vers 460 nm. Deux bandes de forte absorption sont situées dans la région du vert dans les environs de 500 et 520 nm. Une bande intense est visible dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Trois absorptions principales sont visibles à 504, 520 et 573 nm. Des plus faibles se situent à 400, 422, 460, 610 et une large et peu intense vers 685 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
11,45	Mg	18,99	MgO
12,61	Al	23,83	Al ₂ O ₃
19,52	Si	41,76	SiO ₂
0,76	Ca	1,06	CaO
0,02	V	0,03	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
0,06	Mn	0,08	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
13,01	Fe	16,74	FeO
45,05	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-almandin. La composition chimique correspond à un pyrope-almandin. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°37

Nom : DF16 « Rhodolite » Madagascar

Couleur : Rose-pourpre foncé

Réaction polariscope : DRA

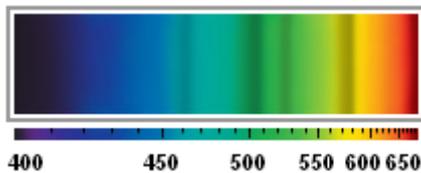
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 4,90×4,89×4,92
H : 3,48

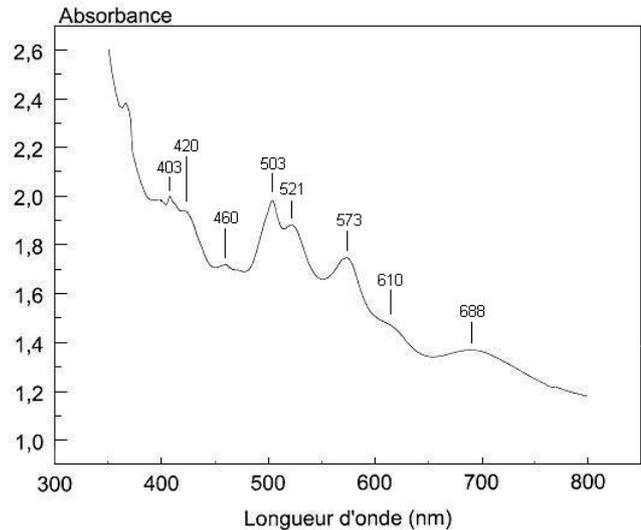
Indices de réfraction : 1,762

Densité : 3,855

Filtre Chelsea : Rouge



Spectroscope à main (nm)



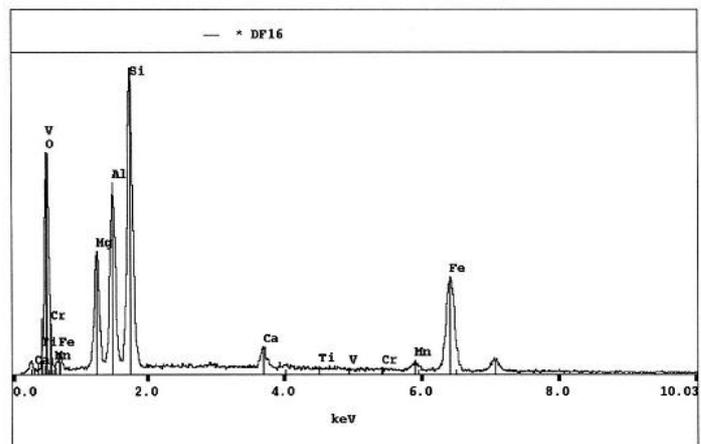
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption située dans le violet-bleu. Une bande est située dans le bleu-vert située vers 460 nm. Deux bandes de forte absorption sont situées dans le vert dans les environs de 500 et 520 nm. Une bande intense est située dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Trois bandes de fortes absorptions sont visibles et sont respectivement situées à 503, 521 et 573 nm. Des absorptions plus faibles sont visibles vers 403, 420, 460, 610 nm et une large vers 688 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
9,54	Mg	15,82	MgO
12,33	Al	23,30	Al ₂ O ₃
19,05	Si	40,75	SiO ₂
1,23	Ca	1,72	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,03	Cr	0,04	Cr ₂ O ₃
0,94	Mn	1,21	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
15,46	Fe	19,89	FeO
44,16	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique confirment qu'il s'agit d'un pyrope-almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope-spessartite. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°38

Nom : DF23 « Pyrope »

Couleur : Rouge orangé foncé

Réaction polariscope : Nulle

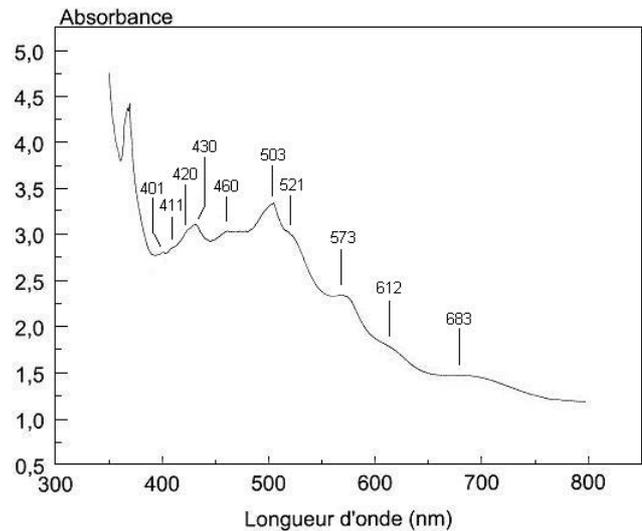
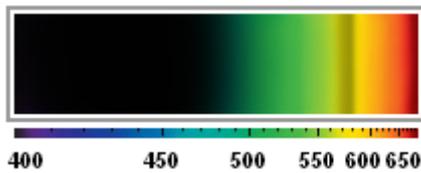
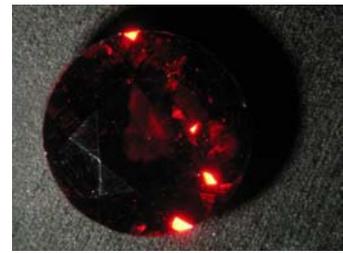
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 7,01×7,03×7,01
H : 3,75

Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,028

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)

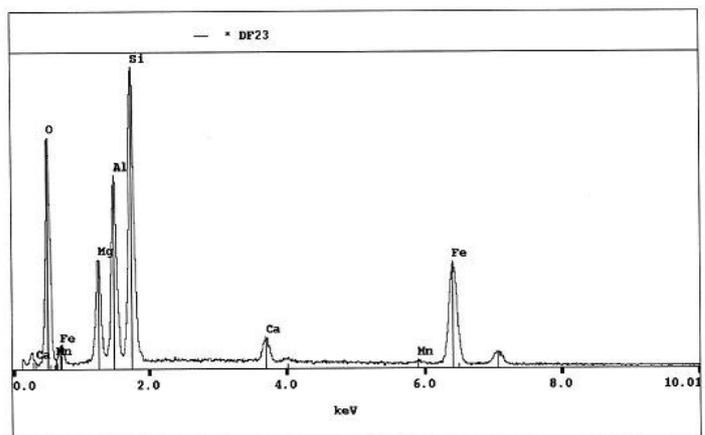
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une absorption très large qui débute dans le violet et s'arrête au début de la région du vert. Une bande intense est présente dans la région du jaune, vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Trois fortes absorptions principales sont situées à 430, 503 et 573 nm. Des plus faibles sont visibles et sont respectivement situées à 401, 411, 420, 460, 521, 612 et 683 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
8,52	Mg	14,13	MgO
12,62	Al	23,85	Al ₂ O ₃
19,06	Si	40,77	SiO ₂
1,51	Ca	2,11	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,05	Cr	0,07	Cr ₂ O ₃
0,29	Mn	0,37	MnO
0,14	Ti	0,23	TiO ₂
16,95	Fe	21,81	FeO
44,21	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°39

Nom : DF20 « Almandin »

Couleur : Rose-pourpre

Réaction polariscope : DRA

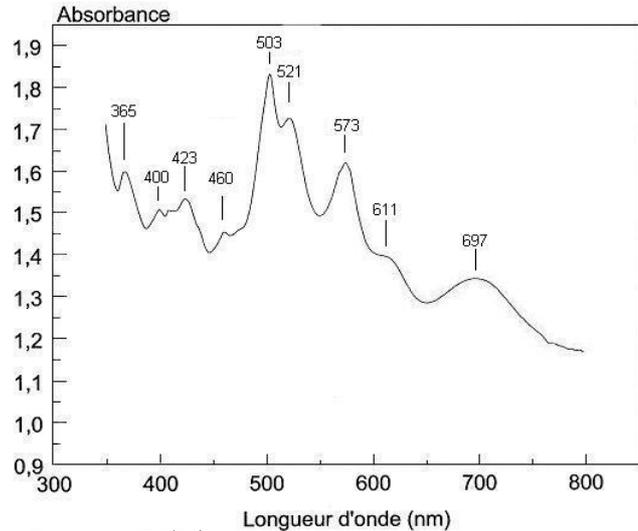
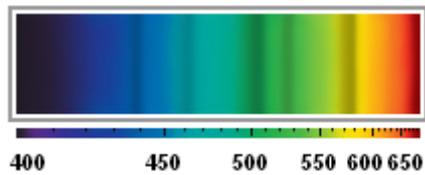
Taille : Carré

Dimensions (mm) : D : 4,02×4,02
H : 2,40

Indices de réfraction : 1,770

Densité : 3,867

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)

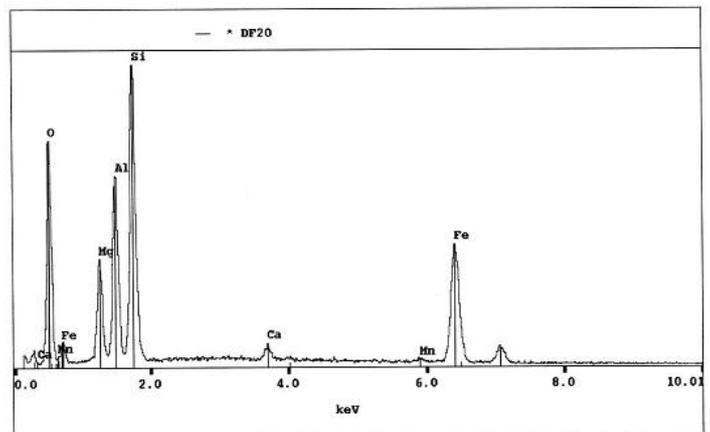
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption située dans le violet-bleu. Une bande est située dans le bleu vers 440 nm suivie d'une bande dans le bleu-vert située vers 460 nm. Une paire de bandes de forte absorption est située dans le vert dans les environs de 500 et 520 nm. Une bande intense se situe dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Trois bandes de fortes absorptions sont visibles et sont respectivement situées à 503, 521 et 573 nm. Des absorptions plus faibles sont visibles vers 365, 400, 423, 460, 611 nm et une large vers 697 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
7,66	Mg	12,70	MgO
11,84	Al	22,37	Al ₂ O ₃
17,86	Si	38,21	SiO ₂
0,76	Ca	1,06	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,35	Cr	0,07	Cr ₂ O ₃
0,37	Mn	0,48	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
17,84	Fe	22,95	FeO
41,47	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°40

Nom : DF29 lame de grenat pour doublet grenat-verre

Couleur : Rouge orangé foncé

Réaction polariscope : DRA

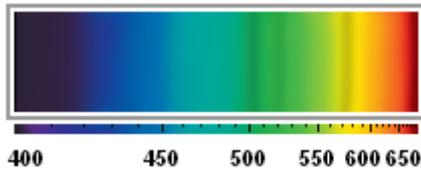
Taille : lame

Dimensions (mm) : l : 8,99
L : 14,46
H : 0,8

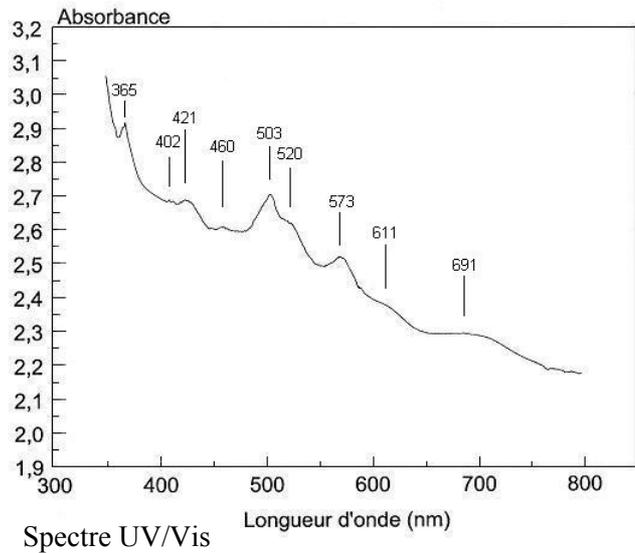
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 3,969

Filtre Chelsea : Rouge



Spectroscopie à main (nm)

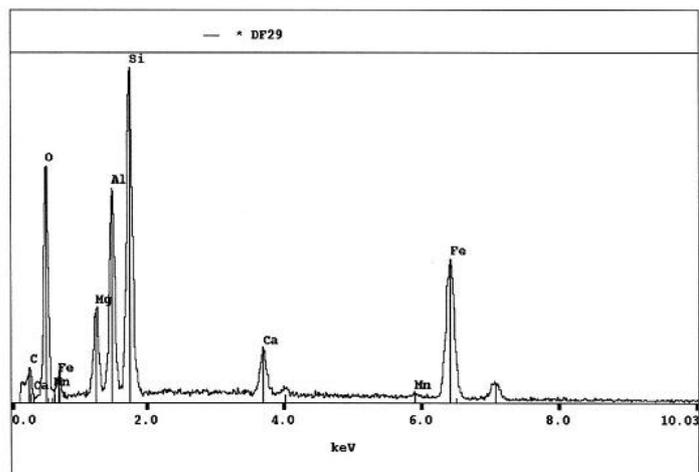


Le spectre OPL présente une bande large qui débute dans le violet et se termine dans la région du bleu. Deux bandes sont situées dans le vert, vers 500 et 520 nm suivies d'une bande située dans la région du jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Le spectre est constitué des trois pics d'absorptions principales situées à 503, 520 et 573 nm. Des plus faibles absorptions sont situées à 366, 402, 421, 460, 611 et une large et peu intense à 691 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
6,07	Mg	10,07	MgO
11,19	Al	21,14	Al ₂ O ₃
16,73	Si	35,79	SiO ₂
2,21	Ca	3,09	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
0,38	Mn	0,49	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
17,90	Fe	23,03	FeO
39,13	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°41

Nom : DF32 « Pyrope » Mozambique

Couleur : Pourpre rose

Réaction polariscope : DRA

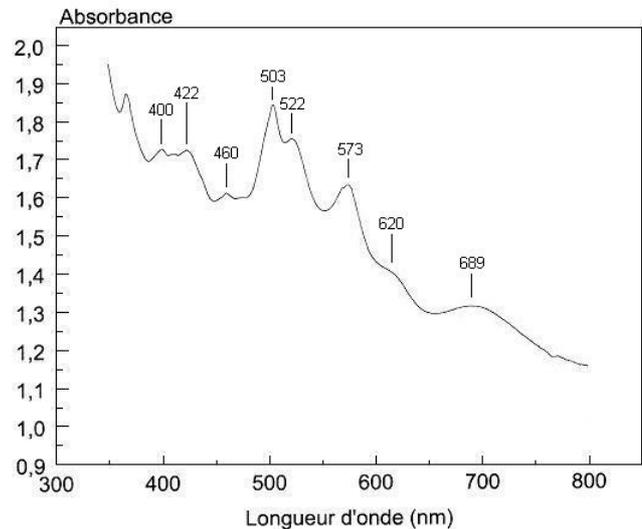
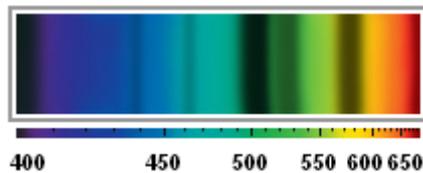
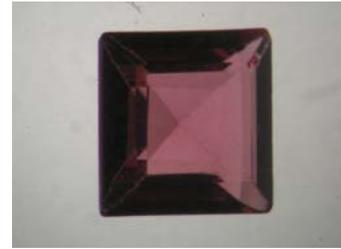
Taille : Carré

Dimensions (mm) : D : 4,19×4,21
H : 1,93

Indices de réfraction : 1,770

Densité : 4,05

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)

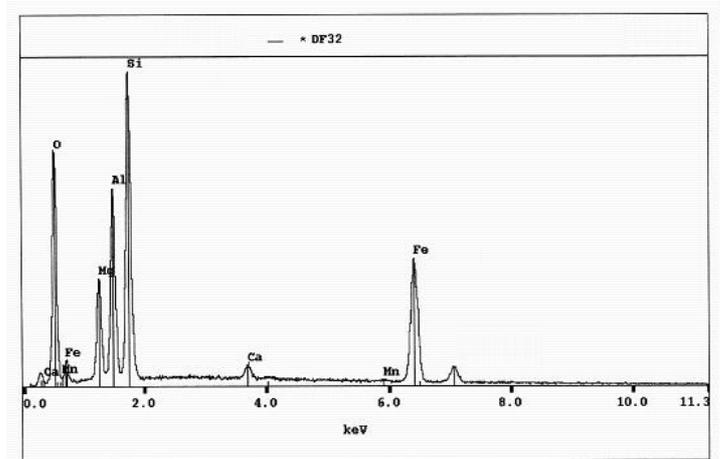
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL consiste en une absorption qui débute dans le violet et se termine dans la région du bleu, vers 420 nm. Une bande d'absorption est visible dans le bleu à 440 nm. Une autre se situe dans le bleu-vert à environ 460 nm. Deux bandes de forte absorption se situent dans la région du vert, dans les environs de 500 et 520 nm. Une autre très forte absorbe presque totalement la région du jaune.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Trois fortes absorptions principales sont situées à 503, 522 et 573 nm. Des plus faibles sont visibles et sont respectivement situées à 400, 422, 460, 620 et 689 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
8,07	Mg	13,38	MgO
12,08	Al	22,83	Al ₂ O ₃
19,11	Si	40,88	SiO ₂
0,83	Ca	1,16	CaO
0,04	V	0,06	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
0,01	Mn	0,01	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
18,83	Fe	24,22	FeO
43,58	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°42

Nom : DF22 « Pyrope »

Couleur : Rouge orangé foncé

Réaction polariscope : DRA

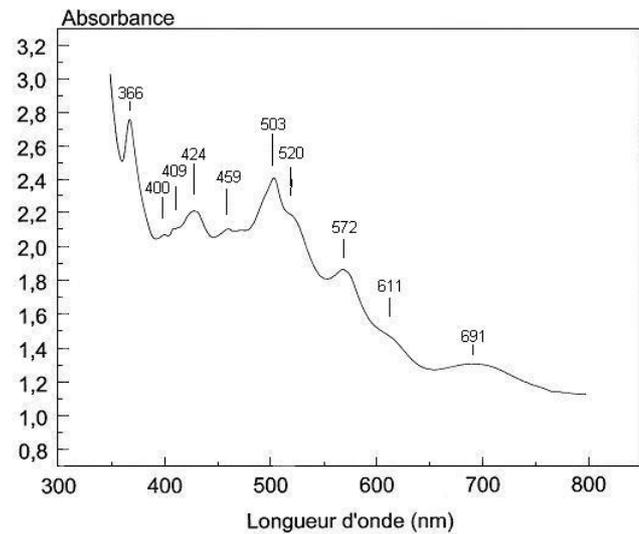
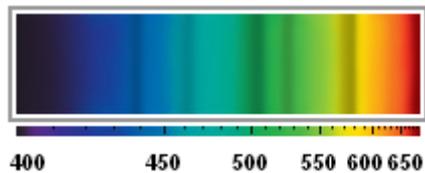
Taille : Triangle

Dimensions (mm) : D : 6,01×6,02×6,02
H : 2,78

Indices de réfraction : 1,770

Densité : 3,917

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)

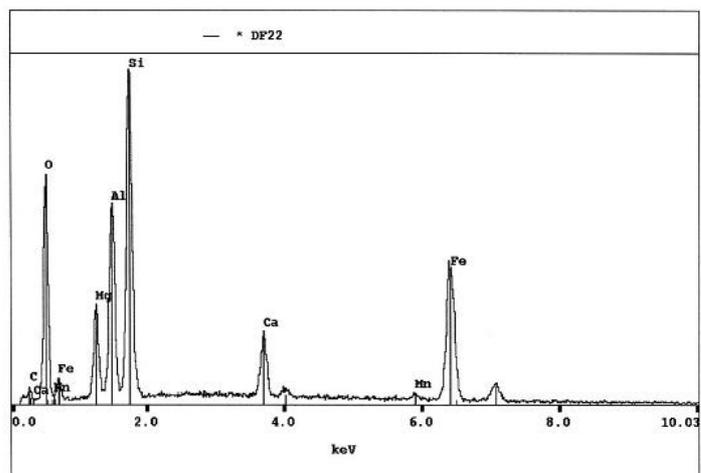
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption située dans le violet-bleu. Une bande est située dans le bleu vers 440 nm suivie d'une bande dans le bleu-vert située vers 460 nm. Une paire de bandes de forte absorption est située dans le vert dans les environs de 500 et 520 nm. Une bande intense se situe dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Trois bandes de fortes absorptions sont présentes et sont respectivement situées à 503, 520 et 572 nm. Des absorptions plus faibles sont visibles vers 400, 409, 424, 459, 611 nm et une large et très peu intense vers 691 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
3,89	Mg	11,09	MgO
10,93	Al	22,81	Al ₂ O ₃
16,54	Si	39,87	SiO ₂
0,24	Ca	4,46	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,06	Cr	---	Cr ₂ O ₃
1,82	Mn	0,71	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
24,22	Fe	25,81	FeO
38,71	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un pyrope-almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°43

Nom : DF31 « Pyrope »

Couleur : Pourpre rose

Réaction polariscope : Nulle

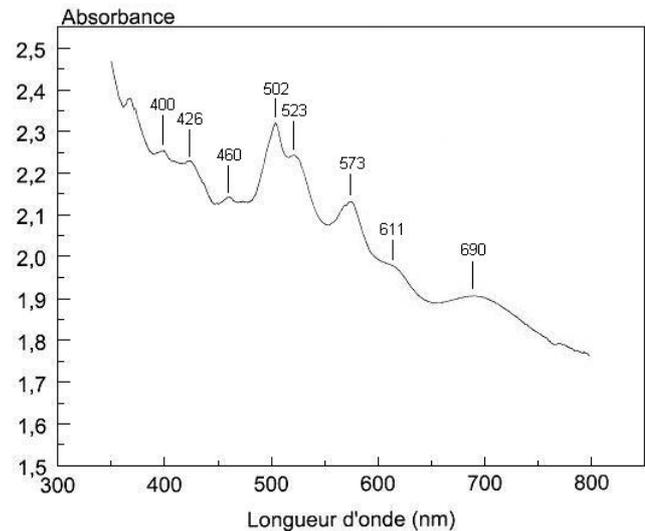
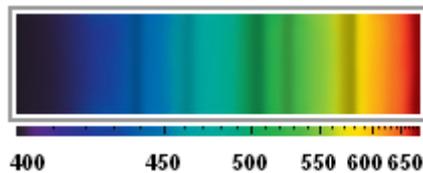
Taille : Carré

Dimensions (mm) : D : 2,61×2,6
H : 1,53

Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,5

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscopie à main (nm)

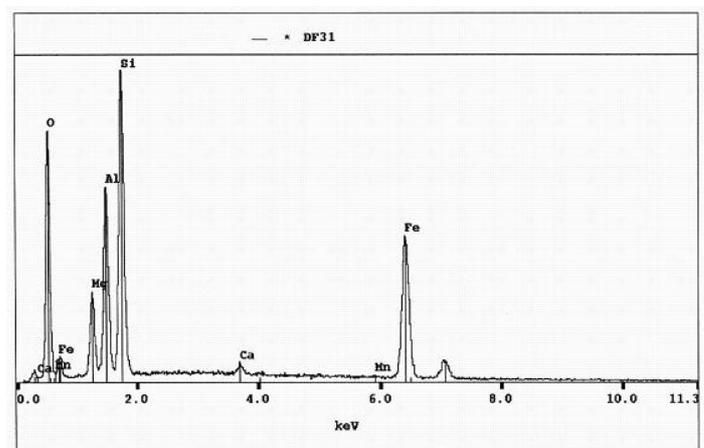
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption située dans le violet-bleu. Une bande est située dans le bleu vers 440 nm suivie d'une bande dans le bleu-vert située vers 460 nm. Deux bandes de forte absorption sont situées dans la région du vert dans les environs de 500 et 520 nm. Une bande intense est visible dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Trois absorptions principales sont visibles à 502, 523 et 573 nm. Des plus faibles se situent à 400, 426, 460, 611 et une large et peu intense vers 690 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
6,28	Mg	10,41	MgO
11,17	Al	21,11	Al ₂ O ₃
17,52	Si	37,48	SiO ₂
0,45	Ca	0,63	CaO
0,02	V	0,03	V ₂ O ₃
---	Cr	---	Cr ₂ O ₃
0,03	Mn	0,04	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
20,78	Fe	26,73	FeO
40,19	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°44

Nom : DF26 ?

Couleur : Rouge foncé

Réaction polariscope : DRA

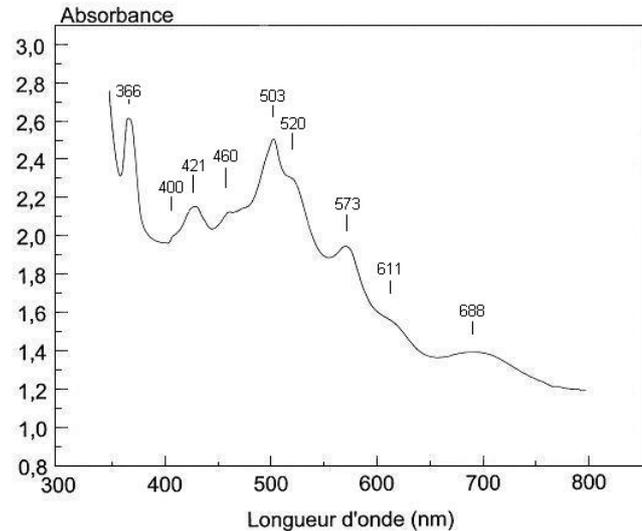
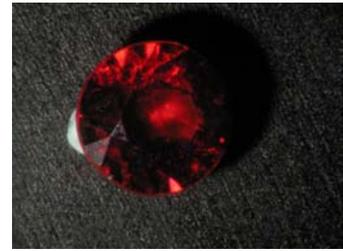
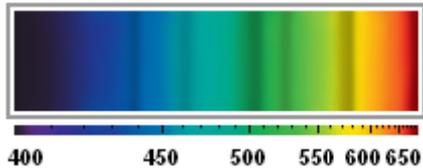
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 4,4×4,3
H : 1,94

Indices de réfraction : 1,777

Densité : 3,946

Filtre Chelsea : Rouge



Spectroscopie à main (nm)

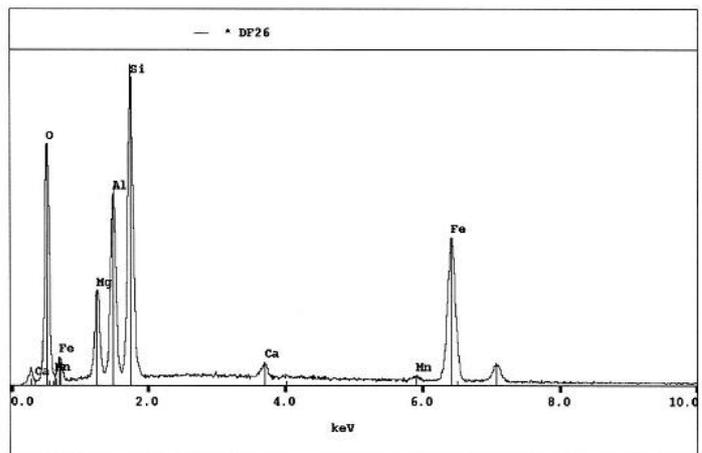
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL présente une bande d'absorption située dans le violet-bleu. Une bande est située dans le bleu vers 440 nm suivie d'une bande dans le bleu-vert située vers 460 nm. Deux bandes de forte absorption sont situées dans la région du vert dans les environs de 500 et 520 nm. Une bande intense est visible dans le jaune vers 570 nm.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Quatre absorptions principales sont visibles à 366, 503, 520 et 573 nm. Des plus faibles se situent à 400, 421, 460, 611 et une large et peu intense vers 688 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
7,22	Mg	11,97	MgO
12,18	Al	23,01	Al ₂ O ₃
18,03	Si	38,57	SiO ₂
0,72	Ca	1,01	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,01	Cr	0,01	Cr ₂ O ₃
0,50	Mn	0,65	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
20,95	Fe	26,95	FeO
42,57	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°45

Nom : DF21 Grenat ? Madagascar, Ampanihy

Couleur : Rouge foncé

Réaction polariscope : DRA

Taille : Ovale

Dimensions (mm) : l : 4,5

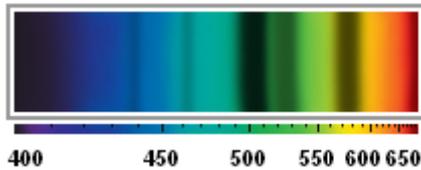
L : 6,4

H : 2,7

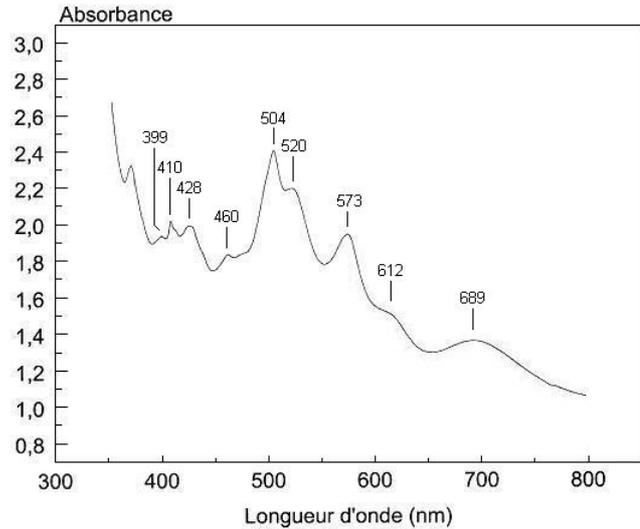
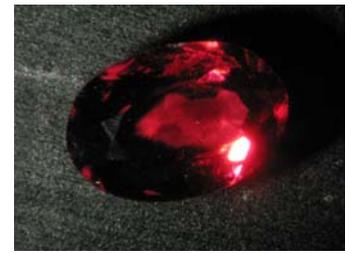
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,028

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscopie à main (nm)



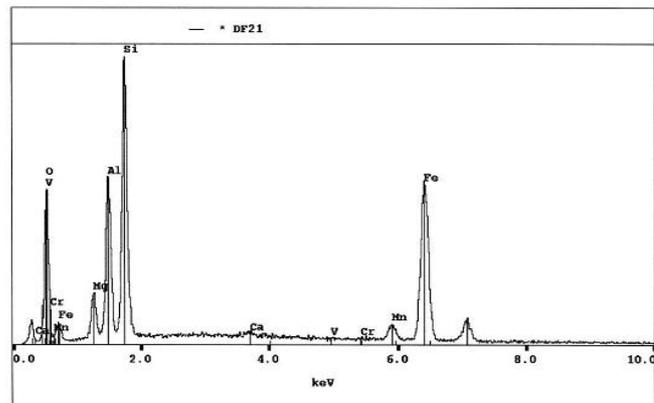
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL consiste en une absorption qui débute dans le violet et se termine dans la région du bleu, vers 420 nm. Une bande d'absorption est visible dans le bleu dans le 440 nm. Une autre se situe dans le bleu-vert à environ 460 nm. Deux bandes de forte absorption se situent dans la région du vert, dans les environs de 500 et 520 nm. Une autre très forte absorbe presque totalement la région du jaune.

Le spectre UV/Vis est constitué d'un continuum qui augmente de l'infrarouge vers l'ultraviolet. Trois fortes absorptions principales sont situées à 504, 520 et 573 nm. Des plus faibles sont visibles et sont respectivement situées à 399, 410, 428, 460, 612 et 689 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
3,89	Mg	6,45	MgO
10,93	Al	20,65	Al ₂ O ₃
16,54	Si	35,38	SiO ₂
0,24	Ca	0,34	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,06	Cr	0,09	Cr ₂ O ₃
1,82	Mn	2,35	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
24,22	Fe	31,16	FeO
38,71	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺ et Ti⁴⁺. Le Ti⁴⁺ est déterminé par interprétation du spectre (continuum). Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°46

Nom : DF24 Grenat, Etats-Unis, Idaho

Couleur : Pourpre

Réaction polariscope : Nulle

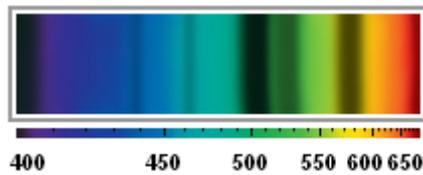
Taille : Brillant

Dimensions (mm) : D : 4,11×4,07×4,17
H : 2,27

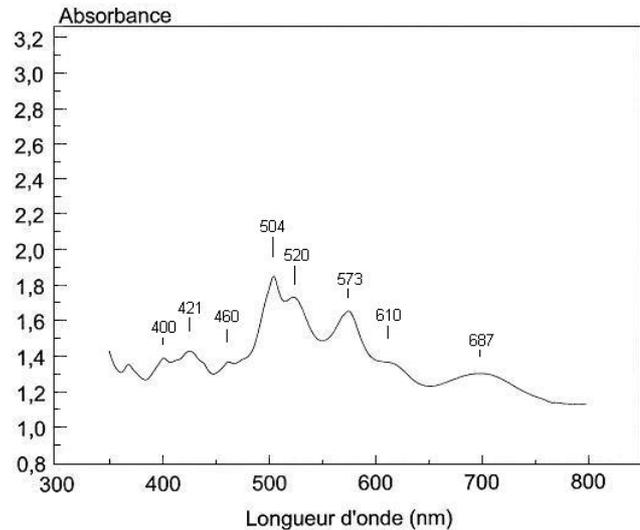
Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,08

Filtre Chelsea : Pas de réaction



Spectroscope à main (nm)



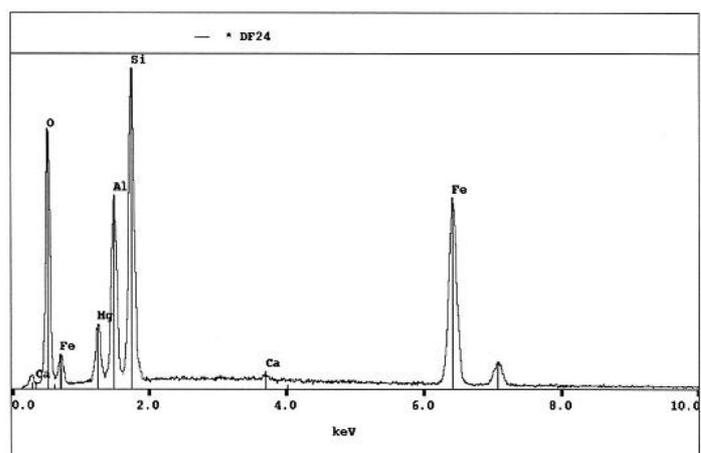
Spectre UV/Vis

Le spectre OPL consiste en une absorption dans le violet, une bande d'absorption est visible dans le bleu à 440 nm. Une autre se situe dans le bleu-vert à environ 460 nm. Deux bandes de forte absorption se situent dans la région du vert, dans les environs de 500 et 520 nm. Une autre très forte absorbe presque totalement la région du jaune.

Le spectre UV/Vis est constitué de trois fortes absorptions principales situées à 504, 520 et 573 nm. Des plus faibles sont visibles et sont respectivement situées à 400, 421, 460, 610 et 687 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
4,57	Mg	7,58	MgO
11,72	Al	22,15	Al ₂ O ₃
17,87	Si	38,23	SiO ₂
0,28	Ca	0,39	CaO
---	V	---	V ₂ O ₃
0,01	Cr	0,01	Cr ₂ O ₃
0,07	Mn	0,09	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
25,98	Fe	33,42	FeO
41,37	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope. Les éléments chromogènes sont le Fe²⁺. Spectre UV/Vis de Fe²⁺ (voir pages 56-57).

N°47

Nom : DF02 Grenat étoilé, Inde

Couleur : Brun foncé

Réaction polariscope : Nulle

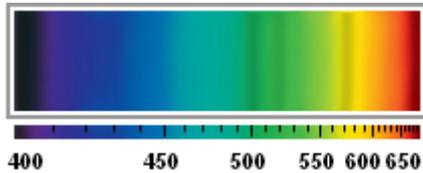
Taille : ¾ de perle

Dimensions (mm) : D : 7,77×7,78
H : 6,62

Indices de réfraction : H.I.

Densité : 4,158

Filtre Chelsea : Pas de réaction

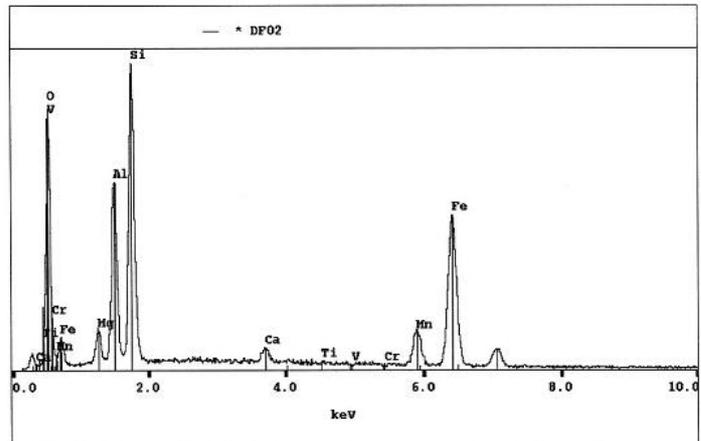


Spectroscopie à main (nm)

Le spectre OPL présente une absorption dans le violet, deux dans la région du vert situées vers 500 et 520 nm ainsi qu'une dans le jaune vers 575 nm.

Composition chimique :

El wt %		Oxyde %	
2,83	Mg	1,69	MgO
11,98	Al	22,64	Al ₂ O ₃
17,70	Si	37,86	SiO ₂
0,81	Ca	1,13	CaO
---	V	2,13	V ₂ O ₃
---	Cr	0,31	Cr ₂ O ₃
4,46	Mn	5,76	MnO
---	Ti	---	TiO ₂
22,76	Fe	29,28	FeO
40,83	O		



Interprétation : Les tests de gemmologie classique correspondent à ceux d'un almandin. La composition chimique correspond à un almandin-pyrope. L'élément chromogène est le Fe²⁺.

Chapitre IV

Discussion

Ce chapitre comprend des discussions sur les mécanismes de coloration des échantillons observés ainsi que deux tableaux basés sur les échantillons (**Tableau des pourcentages d'éléments selon l'espèce et sa cause de la couleur** et **Tableau des couleurs et causes de la couleur**)

1. L'andradite noire "mélanite"

L'andradite noire "mélanite" est décrite comme étant principalement colorée par le transfert de charge $\text{Fe}^{2+}-\text{Ti}^{4+}$ (Moore et White, 1971). (**figure 58**) L'analyse chimique de la pierre relève la présence de Fe et Ti. La couleur noire de cette pierre brute n'est qu'une apparence. En effet, en prélevant une lame mince, la couleur apparaît brun-jaune. La couleur noire n'est ici qu'un brun-jaune très foncé. Le spectre UV/Vis présente un continuum lié au transfert de charge $\text{Fe}^{2+}-\text{Ti}^{4+}$.

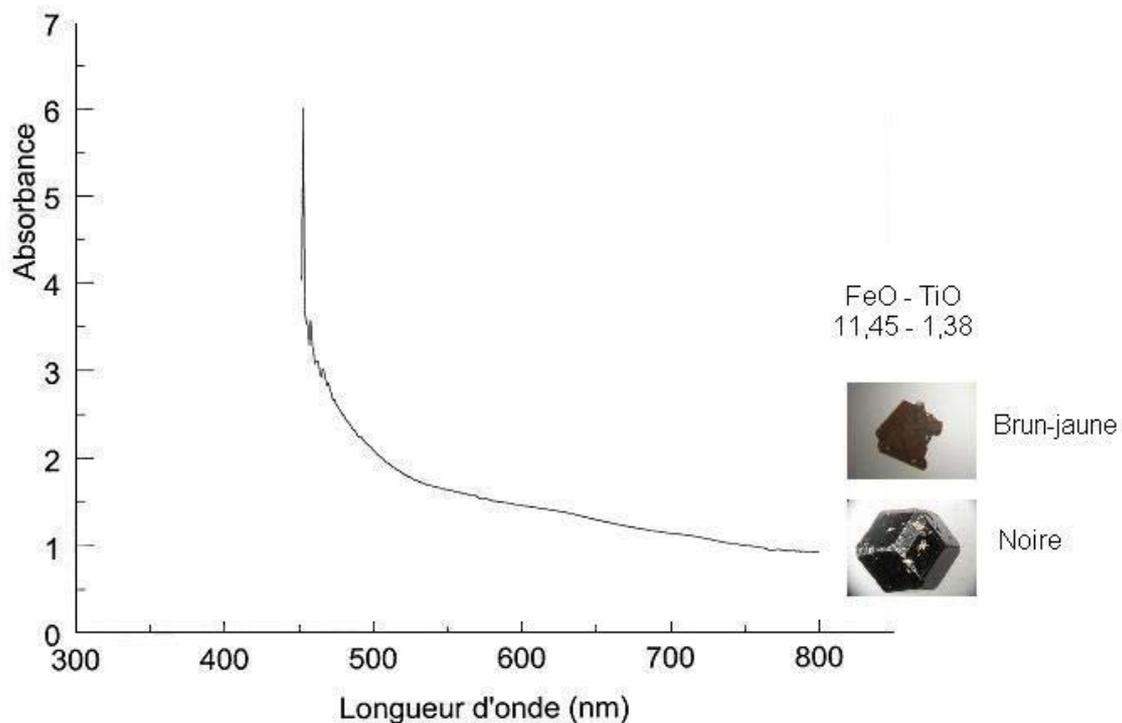


Figure 58 : Le continuum lié au transfert de charge $\text{Fe}^{2+}-\text{Ti}^{4+}$ est responsable de la couleur "noire" de l'andradite.

2. L'andradite vert-jaune et verte "démantoïde"

L'andradite jaune-vert est colorée par le Fe^{3+} (Manning, 1967b, 1972). (**figure 59**) Ce qui n'est pas précisé, c'est que le Fe^{3+} est accompagné d'un transfert de charge $\text{Fe}^{2+}\text{-Ti}^{4+}$ (A). L'andradite verte "démantoïde" est principalement colorée par le Cr^{3+} (Stockton et Manson, 1983-1984). Ce qui n'est pas précisé, c'est que les absorptions de Cr^{3+} (620 et 640 nm) sont accompagnées d'un transfert de charge $\text{Fe}^{2+}\text{-Ti}^{4+}$. L'absorption à environ 442 nm est liée au Fe^{3+} . La pierre **B** est un démantoïde d'Iran, réputé pour sa couleur non homogène. Plus le taux de Cr^{3+} est haut, plus la couleur est verte. En effet, la première analyse chimique effectuée sur la pierre **B** révèle la présence de Fe^{2+} (29 %) et de Cr^{3+} (0,07). La deuxième analyse révèle la présence de FeO (29,19 %), de Cr^{3+} et de V^{3+} . Le rapport Cr/V vaut ~ 4 et permet de dire que l'absorption à environ 620 nm est liée au Cr^{3+} . Le transfert de charge $\text{Fe}^{2+}\text{-Ti}^{4+}$ dans le démantoïde d'Iran est responsable de la couleur jaune.

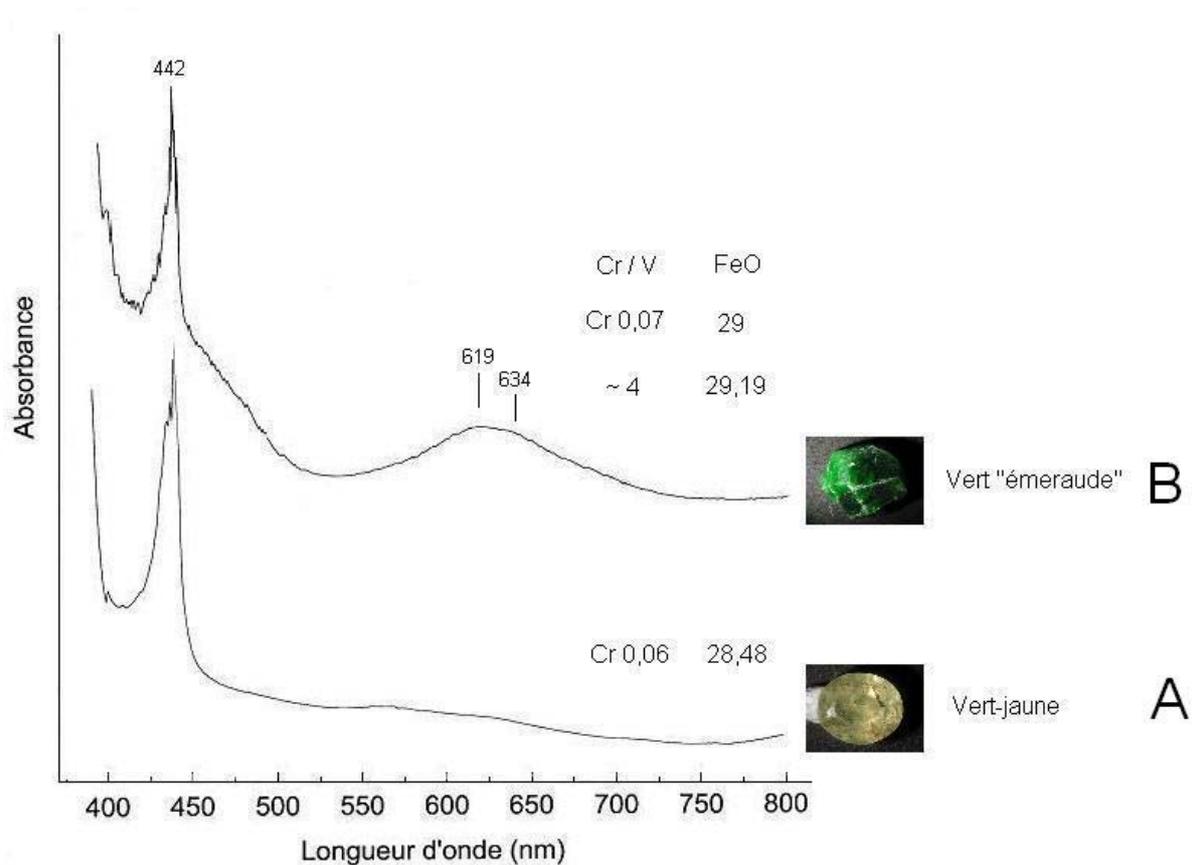


Figure 59 : Le transfert de charge $\text{Fe}^{2+}\text{-Ti}^{4+}$ accompagné d'absorptions de Fe^{3+} donne la couleur vert-jaune (A) et le transfert de charge $\text{Fe}^{2+}\text{-Ti}^{4+}$ accompagné d'absorptions de Cr^{3+} donne la couleur verte (B).

3. Le grossulaire vert “tsavorite“

Le grossulaire vert “tsavorite“ est décrit dans la littérature comme ayant une couleur vert foncé à vert jaune qui est principalement causée par le V^{3+} (Gübelin et Weibel, 1975). (**figure 60**). Le rapport V/Cr permet d'affirmer que c'est le V^{3+} qui est responsable des absorptions à environ 427 et 611 nm (voir spectres **A, B, C, D**). On observe que les deux absorptions de V^{3+} sont accompagnées d'un transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$. Il s'agit plutôt d'un transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ et non d'un transfert de charge $Fe^{2+}-Fe^{3+}$. Le transfert de charge $Fe^{2+}-Fe^{3+}$ cause habituellement une absorption dans les environs de 700 à 1000 nm, qui n'est pas présente dans les spectres **A, B, C, D**. (Fritsch, E. 2008, communication personnelle). Plus le taux de V^{3+} augmente plus les absorptions deviennent intenses et plus la couleur devient vive, faisant passer la couleur de vert clair à vert “émeraude“ (**A → D**).

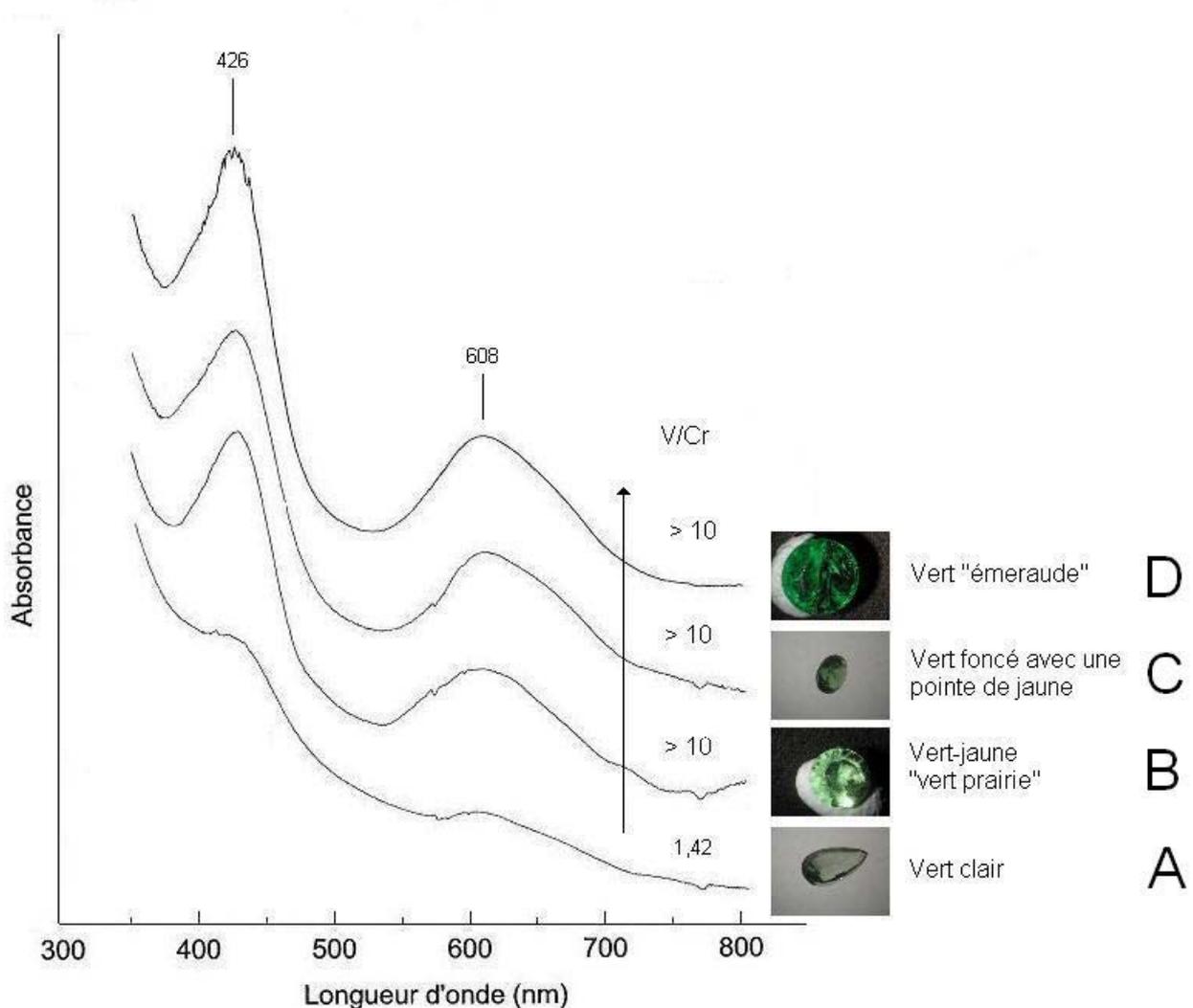


Figure 60 : L'augmentation de V^{3+} fait passer la couleur de vert clair à vert “émeraude“.

4. Le grossulaire vert-jaune à orange “hessonite“

Les grossulaires jaune et orange “hessonite“ sont principalement colorés par le transfert de charge $\text{Fe}^{2+}-\text{Fe}^{3+}$ (Lind et Bank, 1997). (**figure 61**). Le transfert de charge $\text{Fe}^{2+}-\text{Fe}^{3+}$ cause habituellement une absorption dans les environs de 700 à 1000 nm, qui n'est pas présente dans les spectres **A**, **B**, **C**, **D**. L'augmentation de la concentration en Fe^{3+} s'accompagne d'une diminution du continuum lié au transfert de charge. Ceci tend à prouver que le Fe^{3+} n'est pas impliqué dans le transfert de charge. Ce qui suppose qu'il s'agit plutôt d'un transfert de charge $\text{Fe}^{2+}-\text{Ti}^{4+}$ et non d'un transfert de charge $\text{Fe}^{2+}-\text{Fe}^{3+}$ (Fritsch, E. 2008, communication personnelle). L'augmentation de FeO dans le grossulaire fait passer la couleur d'orange à vert-jaune (**A** → **D**). L'absorption située dans les alentours de 434 nm est probablement due au Fe^{3+} . La composante de couleur verte de la pierre **D** est causée par la petite absorption située à environ 610 nm et est liée au Cr^{3+} ($\text{V}/\text{Cr} = \sim 0,33$).

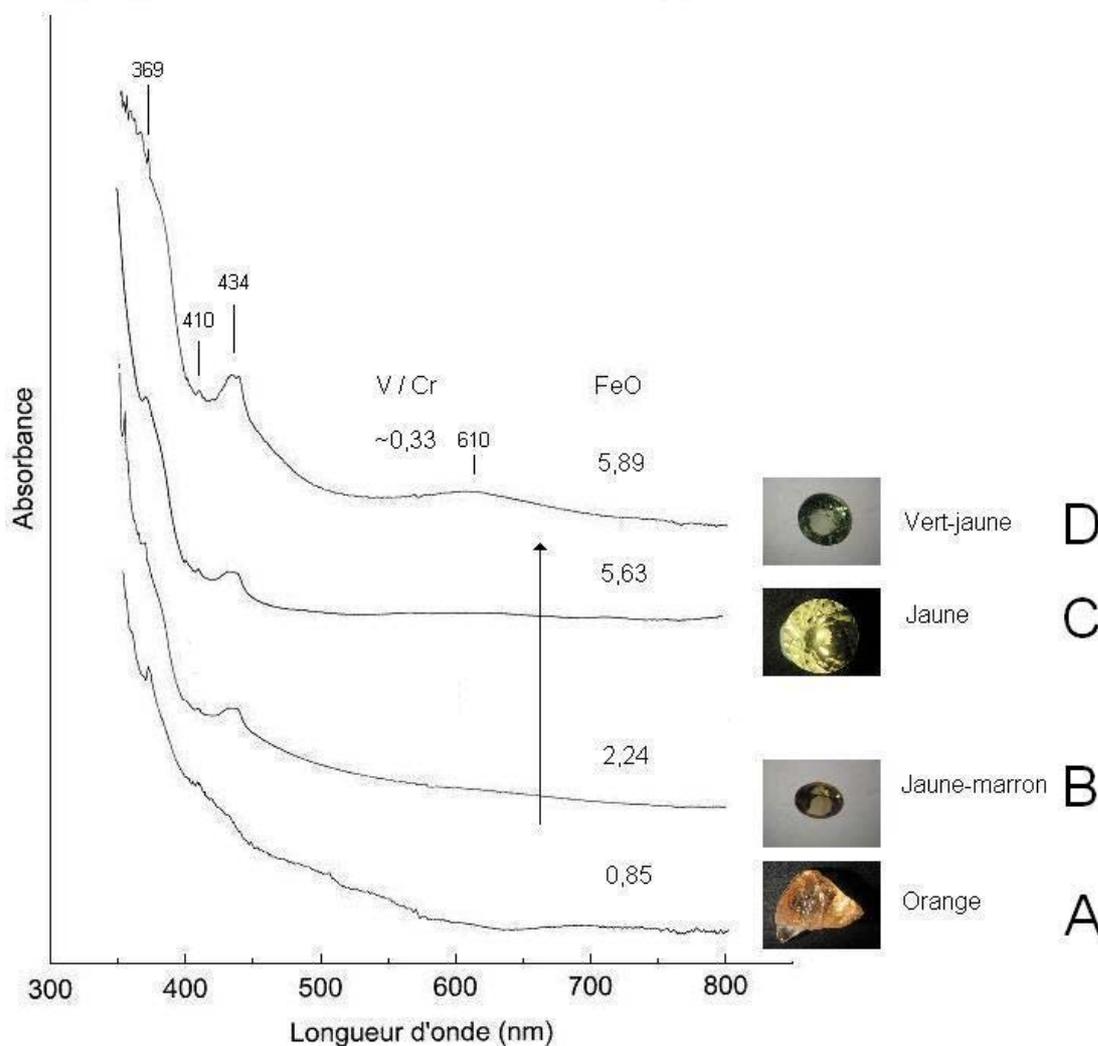


Figure 61 : L'augmentation de la concentration en Fe^{3+} s'accompagne d'une diminution du continuum lié au transfert de charge. Le FeO augmente et fait passer la couleur d'orange à vert-jaune.

5. La spessartite orange à rouge

Le grenat spessartite est décrit dans la littérature comme ayant des couleurs variant d'orange à orange rougeâtre (voir : Stockton et Manson, 1985, A proposed new classification for gem-quality garnets). La couleur orange (**B**) est principalement causée par le Mn^{2+} (Manning, 1967a). (**figure 62**) Les absorptions de Mn^{2+} (410, 420, 430, 460, 480 et 520 nm) sont accompagnées d'un transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$, provoquant un continuum dans le spectre UV/Vis. Plus le taux de Fe^{2+} (420, 460, 504, 520, 573, 610 et 680-690 nm) augmente et le Mn^{2+} diminue dans la spessartite, plus la composante de couleur rouge apparaît (**A** → **D**). On parlera plus d'une spessartite-almandin. Le spectre varie avec l'augmentation du Fe^{2+} pour arriver à un continuum débutant de l'infrarouge en augmentant très brusquement jusqu'aux environs de 500 nm (**D**).

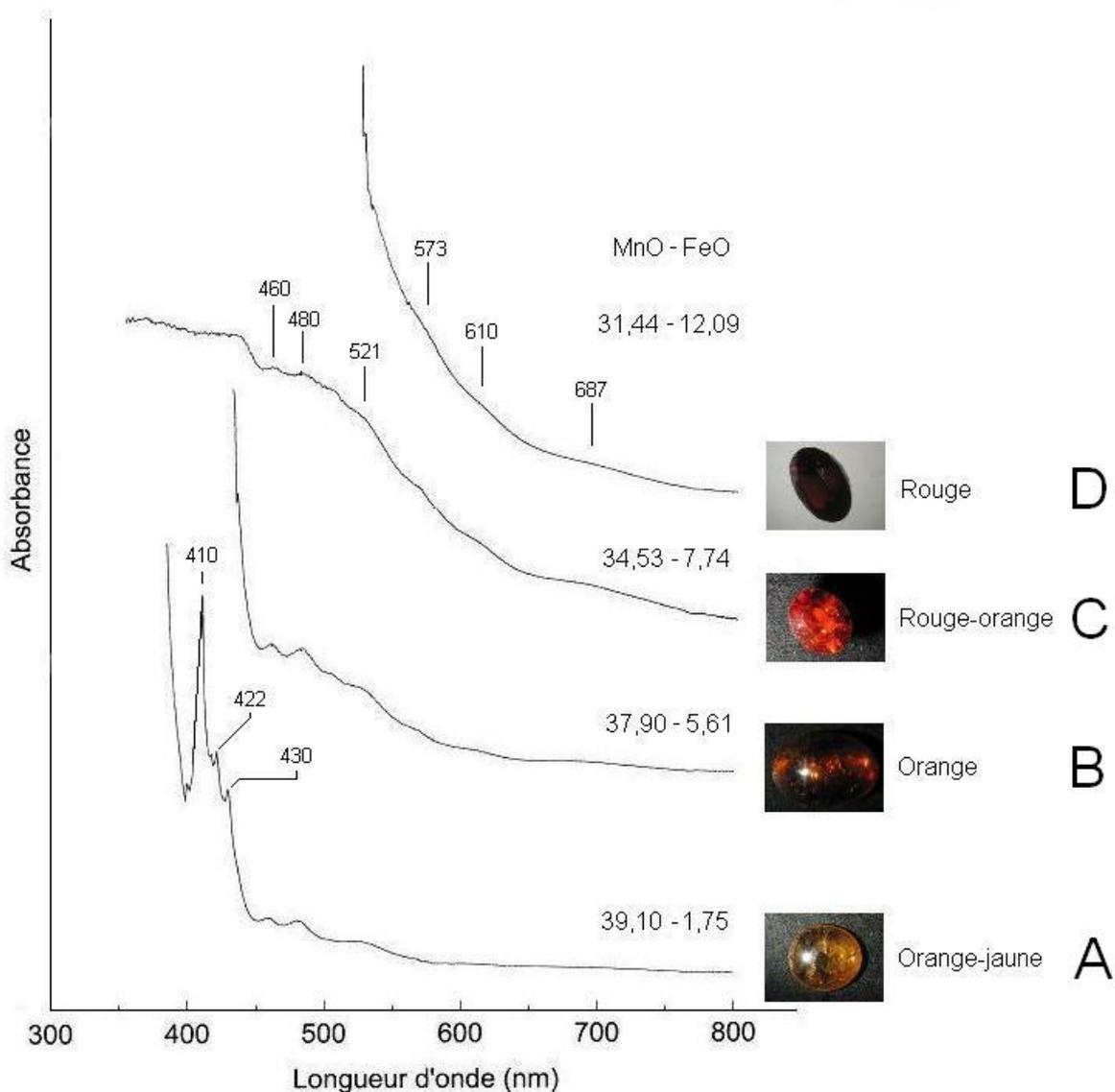


Figure 62 : L'augmentation de Fe^{2+} et la diminution de Mn^{2+} fait passer la couleur d'orange-jaune à rouge.

6. Le pyrope spessartite à changement de couleur

Les grenats pyrope spessartite à changement de couleur sont divisés en deux groupes. Les grenats “color shift” et les grenats “color change”. La cause principale de ce changement de couleur est principalement causée par les absorptions de Mn^{2+} , Fe^{2+} , V^{3+} et/ou Cr^{3+} (Schmetzer, 1980). (**figure 63**). Ce qui n’est pas précisé, c’est que ces différentes absorptions sont accompagnées d’un continuum lié au transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$. Le spectre de la pierre **A** est un spectre de base de spessartite presque pure avec ses absorptions situées à environ 410, 420, 430, 460, 480 et 520 nm. En comparant le spectre de la pierre **A** avec le spectre de la pierre **B**, on s’aperçoit qu’il suffit d’une légère absorption de Cr^{3+} et V^{3+} située à environ 573 nm pour faire passer la couleur d’orange-jaune à rose violacé. La pierre **C** contient des proportions chimiques différentes de la pierre **B**, lui donnant une couleur plus prononcée pourpre rose. Les pierres **B** et **C** font partie du groupe des grenats “color shift” et possèdent un changement de couleur difficilement perceptible. Les pierres **D** et **E** font partie du groupe des grenats “color change” avec changement de couleur bleu vert (lumière de jour) / pourpre rouge (lumière incandescente) pour la pierre **D** et vert foncé (lumière du jour) / pourpre rouge (lumière incandescente) pour la pierre **E**. C’est la position de la fenêtre et l’intensité des bandes qui font changer la couleur. La position de la fenêtre de transmission de la pierre **D** est située à environ 475 nm, dans la région du vert. Celle de la pierre **E** est située à environ 490 nm dans la région du bleu vert. L’absorption située vers 573 nm des pierres **D** et **E** est liée au V^{3+} .

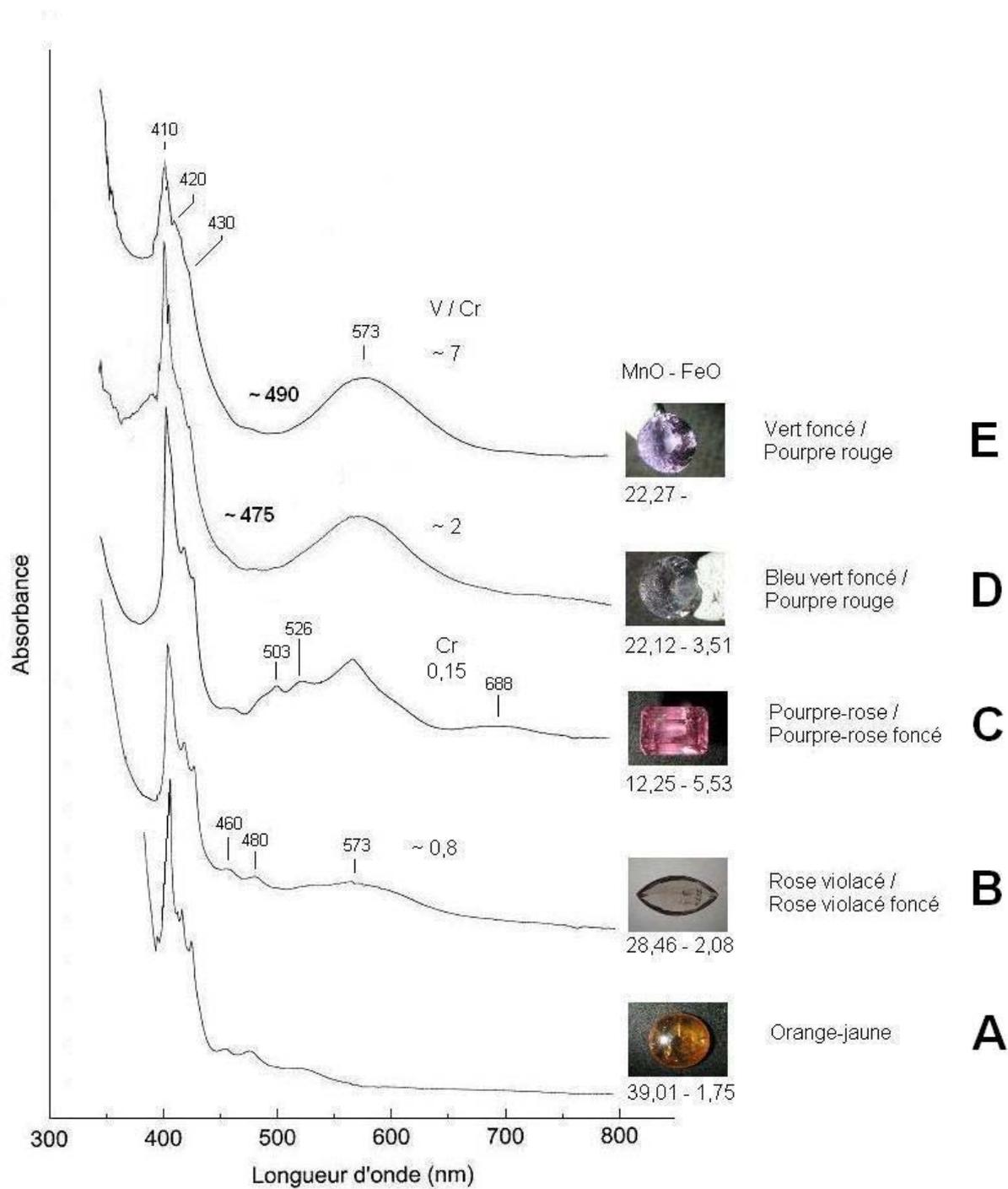


Figure 63: Les grenats “color shift“ (B et C) et les grenats “color change“ (D et E) en comparaison avec une spessartite presque pure (A).

7. Le pyrope almandin

Le grenat almandin-pyrope est décrit dans la littérature (voir : Stockton et Manson, 1985, A proposed new classification for gem-quality garnets) comme ayant une couleur rouge brunâtre à rouge violacé dont la cause principale de ce panel de couleur est liée aux absorptions de Fe^{2+} (Manning, 1967a). (**figure 64**). Ce qui n'est pas précisé, c'est que ces couleurs sont liées aux absorptions de Fe^{2+} (420, 460, 504, 520, 573, 610, 680-690 nm) et accompagnées de transfert de charge $\text{Fe}^{2+}\text{-Ti}^{4+}$, provoquant un continuum dans le spectre UV/Vis de la pierre **A, B, C, D, E**. Lorsque la pierre ne présente pas de transfert de charge $\text{Fe}^{2+}\text{-Ti}^{4+}$, sa couleur est essentiellement causée par le Fe^{2+} . Ce qui donne une couleur pourpre violacé (**F**). L'augmentation du Fe^{2+} dans l'almandin fait varier la couleur de claire à foncée (**A** \rightarrow **F**).

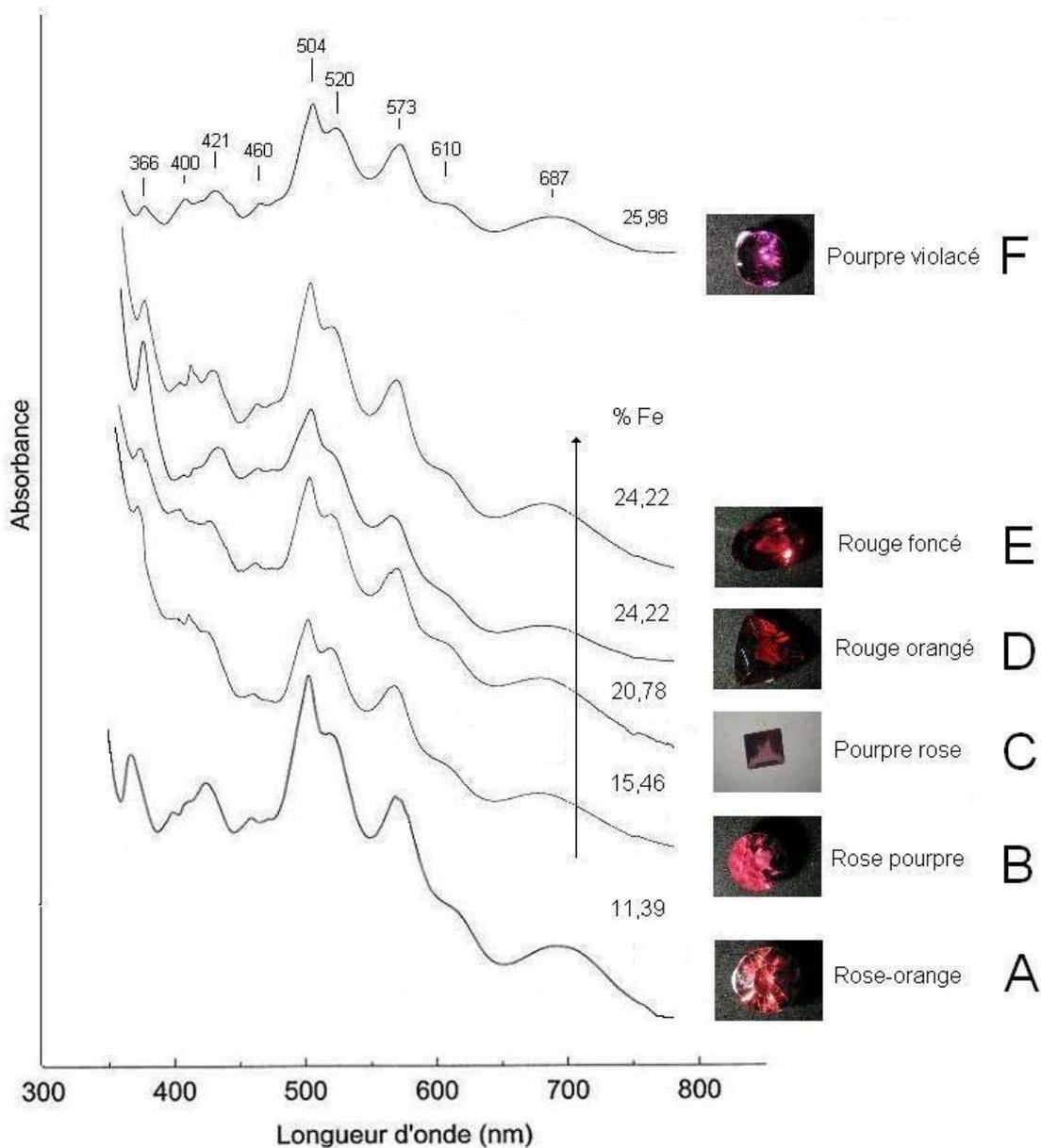


Figure 64 : Les absorptions de Fe^{2+} sont quasi toujours accompagnées d'un transfert de charge $\text{Fe}^{2+}\text{-Ti}^{4+}$ (**A** \rightarrow **E**). Sans transfert de charge $\text{Fe}^{2+}\text{-Ti}^{4+}$, la couleur est pourpre violacé (**F**).

8. Tableau des pourcentages d'élément selon l'espèce et sa cause de la couleur

Espèce et variété	Couleur	Cause de la couleur	% d'el wt
<u>Andradite</u>	Noire à jaune brunâtre (mélanite)	Transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Fe 11,23 *
	Jaune-vert	Fe ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Fe 22,14 *
	Vert émeraude (démantoïde)	Cr ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Cr 0,37 *
<u>Grossulaire</u>	Jaune à vert-jaune	Transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Fe 4,21→6,07
	Orange (hessonite)	Transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Fe 0,66→1,49
	Vert (tsavorite)	V ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Fe 0,07→1,91
<u>Pyrope-almandin</u>	Rose, rose orange, rose pourpre	Fe ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Fe 11,39→15,46
	Rouge, rouge orangé, rose pourpre, pourpre rose, rouge foncé	Fe ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Fe 16,95→24,22
	Pourpre violacé	Fe ²⁺	Fe 25,98 *
<u>Spessartite</u>	Orange	Mn ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Mn 29,35→30,28
	Rouge-orange	Mn ²⁺ et Fe ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Mn 26,74 * Fe 6,02 *
	Rouge	Transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Mn 24,35→25,98 Fe 6,02→9,40
<u>Pyrope-Spessartite</u> <u>“color shift“</u>	Rose violacé	Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , V ³⁺ , Cr ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Mn 9,74→22,04 Fe 1,62→4,30 V 0,15→0,29 Cr --- →0,19
<u>Pyrope-spessartite</u> <u>“color change“</u>	Bleu-vert / rouge pourpre	Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , V ³⁺ , Cr ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Mn 16,57→17,25 Fe --- →2,21 V 0,71→1,45 Cr --- →0,21

--- : Élément n'ayant pas dépassé le seuil de détection du MEB

* : Une seule valeur

% d'el wt : Pourcentage d'élément chimique

9. Tableau des couleurs et causes de la couleur

Couleur	Cause de la couleur	Espèce et variété
Bleu-vert / pourpre rouge	Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , V ³⁺ , Cr ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Pyrope-spessartite “ color change “
Vert	V ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Grossulaire tsavorite
	Cr ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Andradite démantôïde
Vert jaune	V ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Grossulaire tsavorite
	Transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Grossulaire “ Mali “
Jaune-vert	Fe ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Andradite démantôïde
Jaune à jaune marron	Transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Grossulaire “ Mali “
Jaune brunâtre +	Transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Andradite mélanite
Orange	Transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Grossulaire hessonite
	Mn ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Spessartite
Orange rouge	Fe ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Pyrope-almandin
Rouge orange	Fe ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Pyrope-almandin
	Mn ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Spessartite
Rouge	Transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺ et Mn ²⁺	Spessartite
	Fe ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Pyrope-almandin
Rose orangé	Fe ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Pyrope-almandin
Rose violacé	Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , V ³⁺ , Cr ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Pyrope-spessartite “ color shift “
Rose pourpre	Fe ²⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Pyrope-almandin
Rose gris	Mn ²⁺ , Fe ²⁺ , V ³⁺ , Cr ³⁺ et transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Pyrope-spessartite “ color shift “
Pourpre violacé	Fe ²⁺	Pyrope-almandin
Noir +	Transfert de charge Fe ²⁺ -Ti ⁴⁺	Andradite mélanite

+ : La mélanite est noire mais en prélevant une lame mince, la couleur est jaune brunâtre

Chapitre V

Conclusion

Ce chapitre reprend les informations et conclusions générales de chaque variété de grenat, les questions rencontrées pour élargir le travail et les actions et mesures à entreprendre pour répondre à ces questions ainsi que les points positifs et négatifs rencontrés lors de l'élaboration de ce travail.

L'andradite variété mélanite est de couleur "noire". Cette couleur est principalement causée par le transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ (Moore et White, 1971). Ce travail a démontré d'une part que la mélanite n'est pas exactement noire mais est jaune brunâtre lorsqu'une lame mince est prélevée. D'autre part les couleurs sont causées par le transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$. Ce qui prouve que les couleurs noire à jaune-brunâtre de l'andradite sont bien causées par le transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$.

L'andradite de couleur vert-jaune doit sa couleur principalement au Fe^{3+} (Manning, 1967b, 1972). Ce travail a démontré que la couleur vert-jaune de l'andradite est causée par le Fe^{3+} accompagné d'un transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$.

L'andradite variété dématoïde est de couleur verte principalement causée par le Cr^{3+} (Stockton et Manson, 1983 -1984). Les tests effectués ont démontré, d'une part, que la couleur verte est causée par le Cr^{3+} accompagné d'un transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ et d'autre part, que le dématoïde d'Iran présente bien des zonations de couleur causées par les concentrations non-homogènes de Cr^{3+} (Karampelas S., Gaillou E., Fritsch E., Douman M., 2007). Ce qui prouve que la couleur verte de l'andradite est causée par le Cr^{3+} .

Le grossulaire variété tsavorite possède des couleurs variant du vert à vert jaune. Ces couleurs sont principalement causées par le V^{3+} (Gübelin et Weibel, 1975). La présence de V^{3+} est toujours associée au Cr^{3+} (Amthauer, 1975). Au cours de ce travail, on a démontré que les couleurs vert à vert jaune sont causées par le V^{3+} et des transferts de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ toujours présents. La présence de Cr^{3+} n'a pu dépasser le seuil de détection du MEB que très rarement. Ce qui prouve que les couleurs vert à vert jaune du grossulaire sont toujours causées par le V^{3+} et des transferts de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$.

Les grossulaires de couleur jaune à orange hessonite sont principalement colorés par le transfert de charge $Fe^{2+}-Fe^{3+}$ (Moore et White, 1972). Ce travail a permis de démontrer que les couleurs jaune, jaune-vert, orange-jaune à orange sont causées par le transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$. De plus, on constate que plus la couleur tire vers le jaune, plus la quantité de Fe^{2+} est haute et plus la couleur tire vers l'orange, plus la quantité de Fe^{2+} est faible. Le fer provient de l'association avec l'andradite. Ce qui prouve que les couleurs jaune à orange du grossulaire sont bien causées par le transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$.

La spessartite est de couleur orange et est principalement causée par le Mn^{2+} (Manning, 1967a). La couleur devient plus rouge lorsque le Fe^{2+} augmente et le Mn^{2+} diminue. Ce travail a permis de démontrer, d'une part, que plus la couleur orange est vive, plus la quantité de Mn^{2+} est haute et le Fe^{2+} est bas. Pour la couleur rouge, on a démontré que la quantité de Mn^{2+} est basse et le Fe^{2+} est haut. D'autre part, on a démontré que la couleur orange est causée par le Mn^{2+} et toujours accompagnée d'un transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$. Pour la couleur rouge, on a démontré qu'elle est pratiquement toujours causée par le transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$. En effet, les rares cas où le transfert de charge est absent, la couleur est rouge-orange.

Le pyrope-spessartite "color shift" de couleur rose violacé à pourpre rose en lumière du jour et rouge pourpre en lumière incandescente est causée par les proportions de Mn^{2+} , Fe^{2+} , V^{3+} et Cr^{3+} . Ce travail a permis de démontrer que le changement d'ambiance lumineuse ne provoquait pas un changement de couleur facilement perceptible et est causé par le Mn^{2+} , Fe^{2+} , Cr^{3+} et/ou V^{3+} accompagné de transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ toujours présent.

Le pyrope-spessartite "color change" de couleur bleu-vert en lumière du jour et pourpre-rouge en lumière incandescente doit sa couleur principalement à la présence de Mn^{2+} , Fe^{2+} plus V^{3+} et/ou Cr^{3+} (Schmetzer et al., 1981). Ce sont ces proportions qui sont à l'origine des positions des deux zones de transmission responsables du changement de couleur. Les analyses effectuées au cours de ce travail ont montré que le changement de couleur bleu-vert en lumière du jour et pourpre-rouge en lumière incandescente est causé par le Mn^{2+} , V^{3+} et des transferts de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ toujours présents. Le Cr^{3+} est toujours présent mais n'a pratiquement pas d'influence sur la couleur, plus précisément, sur l'absorption à 573 nm. Ce qui prouve que le changement de couleur est causé par le Mn^{2+} , Fe^{2+} , V^{3+} et des transferts de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$.

Le pyrope almandin possède une variété de couleur allant du rouge au rouge brunâtre en passant par le rose pour la « rhodolite ». Ces diverses couleurs sont principalement causées par le Fe^{2+} (Manning, 1967a). Au cours de ce travail, on a démontré que les couleurs rouge à rouge brunâtre sont toutes causées par le Fe^{2+} et pratiquement toutes accompagnées par un transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$. En effet, dans les très rares cas où le transfert de charge est absent, la couleur apparaît pourpre violacé. Ce qui prouve qu'il y a pratiquement toujours du Fe^{2+} et du transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ lié à la couleur.

Les deux points nouveaux :

Le Fe^{2+} seul dans le grenat pyrope almandin donne une couleur pourpre violacée.

Le continuum d'absorption est quasi omniprésent dans les grenats et est vraisemblablement dû au transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$.

Les questions rencontrées lors de l'élaboration du travail.

Le grenat bleu sans changement de couleur "n'existe pas". Je me demandais néanmoins pourquoi. J'ai essayé d'imaginer un spectre et une origine. La meilleure solution que j'ai pu trouver serait celle d'un pyrope-spessartite avec du vanadium et/ou chrome en quantité si importante que l'une des deux absorptions serait assez large et intense que pour ne pas faire changer la couleur avec les différents types d'éclairage. Maintenant, il ne faut pas que le taux de chrome soit excessivement haut pour ne pas lui faire apparaître une composante de couleur verte.

Pour les grossulaires, j'ai essayé d'obtenir une variété intermédiaire au grossulaire vert « tsavorite » et le grossulaire jaune, pour réellement obtenir un spectre UV/Vis qui aurait comme forme celle d'un continuum et les deux absorptions de vanadium. Je pense avoir eu ce que je recherchais. Cette pierre se trouve dans ce travail sous le nom de « merelani ». Mais je suis surpris parce que cette pierre est verte, un vert clair alors que j'aurais imaginé une couleur intermédiaire au jaune et vert.

Une question que je me suis posée en fin de rédaction de ce travail est basée sur une constatation. Je constate que la quasi totalité des pierres analysées dans le travail présentent un continuum lié au transfert de charge $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ ou $Fe^{2+}-Fe^{3+}$. Celles sans transfert de charge présentent une couleur différente, n'allant pas dans le sens des couleurs proposées par la littérature. Je me demande quelle pourrait être la couleur des autres variétés de grenat si leurs transferts de charge étaient absents. Peut-être une tsavorite ou un démantoidé tirant plus vers le vert foncé, un pyrope-spessartite « malaya » moins rose avec peut-être un changement de couleur moins prononcé.

Je me demande en voyant le résultat de l'échantillon N°46, un almandin de couleur pourpre violacé, quels sont les autres mécanismes, causes de couleur encore présents dans cette pierre ?

- Est-ce que ces mécanismes modifieront la couleur ?
- Quelle quantité de Fe^{2+} faut-il pour se rapprocher du pôle pur ?
- Y a-t-il une limite de quantité d'éléments chromogènes pour colorer une pierre ?

Les points positifs et négatifs du travail :

Positifs : - Le sujet de l'origine de la couleur est très complexe, car il reprend une famille entière, ce qui demande énormément de recherches et demande certaines connaissances en sciences pour comprendre les mécanismes de couleur.

Négatifs : - La difficulté de se procurer certaines variétés et le prix de certaines pierres.

- La littérature n'explique pas toujours de façon précise la raison de la couleur. Exemple, le pyrope-spessartite « color shift » où la seule explication donnée est « petit changement de couleur » dû aux proportions chimiques.
- Il y a pour certaines variétés de grenat, un manque d'informations disponibles dans la littérature comme le grossulaire variété hessonite.

Chapitre VI

Annexes

Ce chapitre reprend des informations complémentaires à ce travail, comme d'autres grenats moins communs. Le **tableau 3** reprend différentes propriétés sur ces grenats moins communs. La **figure 65** schématise les différents pôles et variétés intermédiaires présents dans la famille des grenats. Des fiches individuelles reprenant les propriétés et les caractéristiques de ces grenats ainsi que quelques causes de leurs couleurs suivront ce schéma.

Pôles moins communs	Composition	Couleur intrinsèque	I.R.	Densité	Dureté
Hibschite	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{3-x}(\text{OH})_{4x}$ $0.2 < x < 1.5$	Incolore	1,734	3,07	6 - 6 ½
Katoïte	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{3-x}(\text{OH})_{4x}$ $x > 1.5$	Blanc lait	1,630	2,76	5 - 6
Kimzeyite	$\text{Ca}_3(\text{Zr}, \text{Ti})_2(\text{Si}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+}\text{O}_4)_3$	Brun foncé	1,940	4	6 - 7
Knorringite	$\text{Mg}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$	Vert / (rouge)	1,803	3,85	6 - 7
Majorite	$\text{Mg}_3(\text{Fe}, \text{Al}, \text{Si})_2(\text{SiO}_4)_3$	Brun-jaune		4	7 - 7 ½
Morimotoite	$\text{Ca}_3\text{Ti}^{4+}\text{Fe}^{2+}(\text{SiO}_4)_3$	Noir	1,955	3,75	7 ½
Goldmanite	$\text{Ca}_3(\text{V}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{SiO}_4)_3$	Vert foncé	1,855	3,80	6 - 7
Schorlomite	$\text{Ca}_3\text{Ti}_2^{4+}((\text{Fe}_2^{3+}\text{Si})\text{O}_4)_3$	Noir	1,980	3,80	7 - 7 ½
Caldérite	$\text{Mn}_3^{2+}\text{Fe}_2^{3+}(\text{SiO}_4)_3$	Jaune foncé	1,930	4,08	7

Tableau 3 : Composition chimique et propriétés des pôles purs des grenats^{208, 209, 210, 211, 212}

I.R. : Indice de réfraction

²⁰⁸ <http://www.mindat.org/>

²⁰⁹ <http://www.ruff.info/>

²¹⁰ Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

²¹¹ <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html/>

²¹² <http://www.mineralatlas.com/>

CoC : Changement de couleur

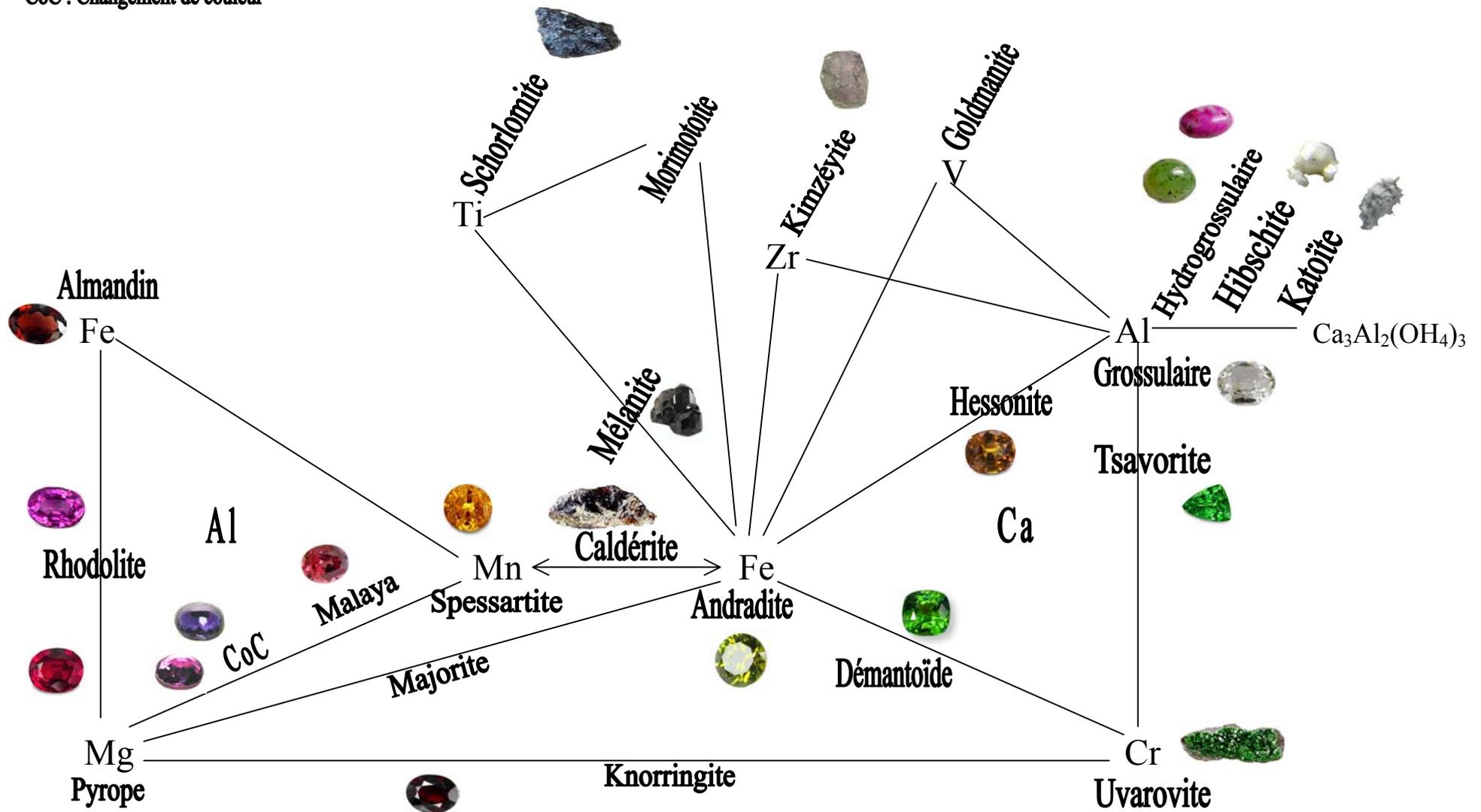


Figure 65 : Les différents pôles et variétés intermédiaires existantes. « Ce tableau est basé sur le travail de Mr J.P. Poirot ».

Hydrogrossulaire : Hibschite



Figure 66



Figure 67

Formule : $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{3-x}(\text{OH})_{4x}$ $0,2 < x < 1,5$

Couleur : Rose et vert

Blanc grisâtre (**figure 66**)²¹⁴ et brun jaunâtre (**figure 67**)²¹³

Indices de réfraction : 1,675 à 1,734²¹⁵

Densité : 3,07²¹⁶

Dureté : 6²¹⁷

UV : Parfois orangé²¹⁸

Composition chimique : 39,45 % de CaO
23,91 % d'Al₂O₃
28,18 % de SiO₂
8,45 % de H₂O²¹⁹

Gisements : L'hibschite se forme en cristaux octaédriques formant des agrégats en **République Tchèque** (Bohême), **Australie** (Nouvelle-Galles du Sud), **Canada** (Ontario), **France** (Auvergne), **Allemagne** (Bavière, Rhénanie-Palatinat), **Italie** (Campanie, Toscane) **Norvège**, **Pologne**, **Roumanie** (Hunedoara Co.), **Slovaquie** (région de Kosice), **Afrique du Sud** (Limpopo, province du Mpumalanga), **Suède** (Värmland), **Etats-Unis** (Californie, Washington).²²⁰

^{213, 214, 220} <http://www.mindat.org/>

^{215, 218} Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

^{216, 219} <http://www.webmineral.com/>

²¹⁷ <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html>

Hydrogrossulaire : Katoïte



Figure 68

Formule : $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{3-x}(\text{OH})_{4x}$ $x > 1,5$

Couleur : Blanc laiteux (**figure 68**)²²¹, incolore²²²

Indices de réfraction : 1,63²²³

Densité : 2,76²²⁴

Dureté : 5 - 6²²⁵

Composition chimique : 40,60 % de CaO
24,61 % d'Al₂O₃
21,75 % de SiO₂
13,04 % de H₂O²²⁶

Gisements : La katoïte se trouve souvent en forme arrondie et petite en taille, rarement de forme dodécaédrique. On la trouve en **Allemagne** (Bavière), **Hongrie** (Veszprém Co.), **Israël**, **Italie** (Latium), **Norvège** (Telemark).²²⁷

^{221, 227} <http://www.mindat.org/>

^{222, 223, 224, 225} <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html>

²²⁶ <http://www.webmineral.com/>

Goldmanite



Figure 69



Figure 70

Formule : $\text{Ca}_3(\text{V}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{SiO}_4)_3$

Couleur : Vert à l'état pur (**figure 69**)²²⁸, vert jaune (**figure 70**)²²⁹ à vert, vert-brun

Indices de réfraction : 1,821 à 1,855²³⁰

Densité : 3,4 à 3,8²³¹

Dureté : 6 – 7²³²

Composition chimique : 33,3 % de CaO
0,3 % de MnO
0,7 % de MgO
18,3 % de V_2O_3
5,4 % de Fe_2O_3
4,9 % de Al_2O_3
36,6 % de SiO_2 ²³³

Gisements : La goldmanite se forme dans les gisements d'uranium et vanadium à Albuquerque aux **Etats-Unis**, en **Italie**, **Japon** (Archipel Nansei, Ile Shikoku), **Russie** (Région de l'est et de l'ouest de la Sibérie), **Slovaquie**, **Espagne** (Catalogne)²³⁴.

^{228, 229} <http://www.mineralatlas.com/>

^{230, 233} Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

²³¹ <http://www.geminterest.com/>

²³² <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html>

²³⁴ <http://www.mindat.org/>

Kimzeyite



Figure 71

Formule : $\text{Ca}_3(\text{Zr, Ti})_2(\text{Si, Al, Fe}^{3+})_3\text{O}_{12}$

Couleur : Brun-jaune à brun foncé (**figure 71**)²³⁵

Indices de réfraction : 1,940²³⁶

Densité : 4²³⁷

Dureté : 6 - 7²³⁸

Composition chimique : 29,8 % de CaO
29,9 % de ZrO₂
5 % de Ti₂O₃
0,5 % de MgO
0,8 % de FeO
1 % de Nb₂O₅
11 % de Al₂O₃
13,4 % de Fe₂O₃
9,6 % de SiO₂²³⁹

Gisements : La kimzeyite se forme en cristaux avec les faces du rhombododécaèdre combinée à celle du trapézoèdre en Arkansas aux **Etats-Unis**, **Allemagne** (Basse-Saxe), **Norvège** (Telemark), **Russie** (région de l'Est de la Sibérie), **Suède** (Medepad)²⁴⁰.

²³⁵ <http://www.mineralatlas.com/>

^{236, 237, 239} Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

^{238, 240} <http://www.mindat.org/>

Knorringite

Formule : $\text{Mg}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$

Couleur : Vert/(rouge) à l'état pur ²⁴¹
Rouge tirant vers le violet, et le vert ²⁴²

Indices de réfraction : 1,803 ²⁴³

Densité : 3,70 à 3,85 ²⁴⁴

Dureté : 6 - 7 ²⁴⁵

Composition chimique : 33,54 de Cr_2O_3
26,68 % de MgO
39,78 % de SiO_2 ²⁴⁶

Gisements : Variété rare, la knorringite se retrouve en tant que constituant important dans quelques kimberlites. On la trouve au **Lesotho** (Butha-Buthe), **Cachemire**, **Etats-Unis** (Californie) ²⁴⁷

²⁴¹ Hänni H.A. (1999) Les grenats gemmes . Revue de gemmologie A.F.G., n°. 138/139, pp. 50-54.

^{242, 243, 244} Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

²⁴⁵ <http://www.mineralatlas.com/>

²⁴⁶ <http://www.webmineral.com/>

²⁴⁷ <http://www.mindat.org/>

Schorlomite



Figure 72

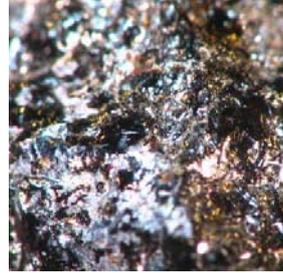


Figure 73

Formule : $\text{Ca}_3\text{Ti}_2^{4+}(\text{Fe}^{3+}_2\text{Si})\text{O}_4)_3$

Couleur : Noir (**figure 72**)²⁴⁸, noir brunâtre (**figure 73**)²⁴⁹

Indices de réfraction : 1,94 à 1,98²⁵⁰

Densité : 3,80²⁵¹

Dureté : 7 – 7,5²⁵²

Composition chimique : 32,56 % de CaO
26,28 % de TiO₂
0,99 % de Al₂O₃
4,17 % de FeO
12,36 % de Fe₂O₃
24,42 % de SiO₂²⁵³

Gisements : Ses cristaux se présentent sous la forme de rhombododécaèdres ou trapézoèdres. La schorlomite peut laisser apercevoir sur certaines faces des striures disposées dans plusieurs directions. Elle se rencontre en **Pologne** (Podzamek), **Russie** (région du Nord), **Etats-Unis** (Arkansas, Colorado, Californie), **Brésil** (région du Sud-Est), **Canada** (Colombie-Britannique), **Finlande** (Oulun Lääni), **Allemagne** (Basse-Saxe, Rhénanie-Palatinat), **Groenland** (Kitaa, Tunu), **Israël**, **Italie** (Ombrie), **Japon** (Ile Honshu), **Norvège** (Telemark).²⁵⁴

^{248, 249, 252} <http://www.mineralatlas.com/>

^{250, 254} <http://www.mindat.org>

²⁵¹ Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.

²⁵³ <http://www.webmineral.com/>

Majorite

Formule : $\text{Mg}_3(\text{Fe, Al, Si})_2(\text{SiO}_4)_3$

Couleur : Incolore, violet, rouge violacé, violacé, brun jaunâtre, brun-jaune ²⁵⁵

Indices de réfraction : /

Densité : 4 ²⁵⁶

Dureté : 7 – 7,5 ²⁵⁷

Composition chimique : 27,61 % de MgO
6,98 % d'Al₂O₃
21,88 % de Fe₂O₃
43,90 % de SiO₂ ²⁵⁸

Gisements : On la rencontre en **Australie** (Queensland), **Canada** (Saskatchewan), **Chine** (province de Hubei), **Inde** (Bihar), **Kazakhstan** (Kökshetaü Oblıysy), **Norvège** (More og Romsdal), **Etats-Unis** (Nouveau-Mexique, Texas). ²⁵⁹

^{255, 256, 257} <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html>

²⁵⁸ <http://www.webmineral.com/>

²⁵⁹ <http://www.mindat.org>

Morimotoite



Figure 74

Formule : $\text{Ca}_3\text{Ti}^{4+}\text{Fe}^{2+}(\text{SiO}_4)_3$

Couleur : Noir (**figure 74**)²⁶⁰

Indices de réfraction : /

Densité : 3,75²⁶¹

Dureté : 7,5²⁶²

Composition chimique : 33,63 % de CaO
15,97 % de TiO₂
14,36 % de FeO
36,04 % de SiO₂²⁶³

Gisements : La morimotoite se rencontre au **Japon** (Mine de Fuka, Bitchu-Cho, Préfecture d'Okayama, Région de Chugoku, Ile Honshu).²⁶⁴

^{260, 261, 262} <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html>

²⁶³ <http://www.webmineral.com/>

²⁶⁴ <http://www.mindat.org>

Caldérite



Figure 75

Formule : $\text{Mn}_3\text{Fe}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$

Couleur : Jaune foncé (**figure 75**)²⁶⁵, jaune rougeâtre, brun rougeâtre foncé

Indices de réfraction : 1,87 à 1,93²⁶⁶

Densité : 4,08²⁶⁷

Dureté : 7²⁶⁸

Composition chimique : 7,98 % de CaO
30,28 % de MnO
4,84 % de SiO₂
22,72 % de Fe₂O₃
34,19 % de SiO₂²⁶⁹

Gisements : La caldérite se rencontre au **Canada** (Labrador), **Inde** (Bihar, Madhya Pradesh), **Italie**, **Namibie** (région de l'Otjozondjupa), **Afrique du Sud**, **Suède** (Värmland), **Suisse** (Grisons)²⁷⁰.

^{265, 269} <http://www.webmineral.com/>

^{266, 268} <http://www.euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html/>

²⁶⁷ <http://www.mineralatlas.com/>

²⁷⁰ <http://www.mindat.org>

<u>Kimzeyite</u>	Noir	Grande concentration de fer	Rossman, G.R. 2007 communication personnelle
		Transfert de charge $Fe^{2+} - Ti^{4+}$	
<u>Schorlomite</u>	Noir	Grande concentration de fer	Rossman, G.R. 2007 communication personnelle
		Transfert de charge $Fe^{2+} - Ti^{4+}$	
		Transfert de charge $Fe^{2+} - Fe^{3+}$	
<u>Goldmanite</u>	Vert-noir	V^{3+} en coordination octaédrique	Schmetzer and Ottemann, 1979
<u>Hydrogrossulaire</u>	Vert	Cr^{3+} en coordination octaédrique	Manning et Owens, 1977
	Rose	Mn^{3+} en coordination octaédrique	Manning et Owens, 1977

Tableau 4 : Causes de la couleur ^{271, 272}

²⁷¹ <http://minerals.caltech.edu/>

²⁷² Fritsch E., Rossman G.R. (2001) l'origine de la couleur dans les gemmes (4ème partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.143, pp.26-35.

Bibliographie

- Arlabosse J.M. (2005) Grenat spessartite brun-rouge de Madagascar avec chrome et vanadium. Revue de gemmologie A.F.G., n°. 154, p19.
- Boulliard M. Cours de théorie Niveau IV, Institut National de Gemmologie (I.N.G.).
- Deville J. (1995) Les grenats. Minéraux & Fossiles, juin 1995, Hors-série n°. 1.
- Frediani J-C. (2006) Les grenats -2^{ème} partie. Revue de gemmologie A.F.G., n°. 155, pp. 20-22.
- Frediani J-C. (2006) Les grenats -3^{ème} partie. Revue de gemmologie A.F.G., n°. 156, pp. 19.
- Fritsch E., Rossman G.R. (1993) The Causes of Color in Garnets. The Mineralogical Record, Vol. 24, p. 63.
- Fritsch E., Rossman G.R. (1999) l'origine de la couleur dans les gemmes (1ère partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.137, pp.17-23.
- Fritsch E., Rossman G.R. (2000) l'origine de la couleur dans les gemmes (2ème partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.140, pp.36-43.
- Fritsch E., Rossman G.R. (2001) l'origine de la couleur dans les gemmes (3ème partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.138/139, pp.55-61.
- Fritsch E., Rossman G.R. (2001) l'origine de la couleur dans les gemmes (4ème partie). Revue de gemmologie A.F.G., n°.143, pp.26-35.
- Gemmological Association of Great Britain, garnets. Cours F.G.A.
- Hanneman W.W. (1983) Notes and new techniques. A new classification for red-to-violet garnets. Gems & Gemology, Vol. 1, pp. 37-40.
- Hanneman W.W. (1997) A unified system for classifying garnets. Journal of gemology. Vol. 25, n°. 7, pp. 471-473.
- Hänni H.A. (1999) Les grenats gemmes. Revue de gemmologie A.F.G., n°. 138/139, pp. 50-54.
- Introduction to Colored Stone Understanding and Testing (cours). The garnets. International Gemmological Institute, Education Department, Antwerp, pp. 156-163.
- Karampelas S., Gaillou E., Fritsch E., Douman M. (2007) Les grenats andradites-démantoïde d'Iran : Zonage de couleur et inclusions. Revue de Gemmologie A.F.G., 160, pp. 14-19.
- Krzemnicki M.S. (1999) Diopside needles as inclusions in demantoid garnet from Russia : A Raman microspectrometric study. Gems & Gemology, Vol. 35, n°. 4, pp. 192-195.

- Krzemnicki M.S., Hänni H.A., Reusser E. (2001) Color-change garnets from Madagascar : comparison of colorimetric with chemical data. *Journal of gemology*. Vol. 27, n°. 7, pp. 395-408.
- Lind T., (1999) Les grenats du Millénaire. *Revue de gemmologie A.F.G.*, n°. 138/139, pp. 45-49.
- Manson D.V., Stockton C.M. (1981) Gem garnets in the red-to-violet color range. *Gems & Gemology*, Vol. 17, n°. 4, pp. 37-40.
- Manson D.V., Stockton C.M. C.M. (1982) Gem-quality grossular garnets. *Gems & Gemology*. Vol. 18, n°. 4, pp. 204-213.
- Manson D.V., Stockton C.M. (1983) Notes and new techniques. A response to “ A new classification for red-to-violet garnets”. *Gems & Gemology*, Vol. 1, pp. 41-42.
- Manson D.V., Stockton C.M. (1984) Pyrope-spessartite garnets with unusual color behaviour. *Gems & Gemology*, Vol. 20, n°. 4, pp. 200-207.
- Nassau K. (2001) *The physics and chemistry of color. The fifteen causes of color.* (2nd Edition). John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Schmetzer K., Bernhardt H.-J. (1999) Garnets from Madagascar with a color change of blue-green to purple. *Gems & Gemology*, Vol. 35, n°. 4, pp. 196-201.
- Schmetzer K., Hainschwang T., Kiefert L., Bernhardt H.-J. (2001) Pink to pinkish orange malaya garnets from Bekily, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 37, n° 4, pp. 296-308.
- Schmetzer K., Hainschwang T., Bernhardt H.-J., Kiefert L. (2002) New Chromium- and Vanadium-bearing garnets from Tranoroa, Madagascar. *Gems & Gemology*, Vol. 38, n°. 2, pp. 148-155.
- Stockton C.M. (1982) Two notable color-change garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 18, n° 2, pp. 100-101.
- Stockton C.M., Manson D.V. (1983) Gem andradite garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 19, n°. 4, pp. 202-208.
- Stockton C.M., Manson D.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets. *Gems & Gemology*, Vol. 17, n°. 4, pp. 205-218.
- Zylberman N. (1999) Un nouveau grenat pyrope-spessartite malgache à changement de couleur. *Revue de Gemmologie A.F.G.*, n°. 138/139, pp. 72-73.

Bibliographie support internet

- Barthelmy D. Mineralogy database. <http://www.webmineral.com/> Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Bena Australis. <http://www.bena-australis.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Berkley Escuela De Negocios. <http://www.socrates.berkley.edu/~eps2/wisc/lect.html/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Dennis D. Finished gem image gallery. <http://www.dandennis.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Downs R. T. Database of Raman, X-ray diffraction and chemistry data for minerals. <http://www.ruff.info/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Encyclopedia Britannica. <http://www.britannica.fr/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Faculté des Sciences et Génie. <http://www.fsg.ulaval.ca/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Faraco D. New Era Gems. <http://www.neweragems.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Gem hut. <http://www.gemhut.com/>. Mise à jour du 21 Décembre2006.
- Geminterest. <http://www.geminterest.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Gems & Jewelry R US. <http://www.gemsandjewelryrus.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Gggems. <http://www.gggems.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Gram faceting. <http://www.faceters.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Kashmire blue. <http://www.kashmirblue.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Klopogge T. Vibration spectroscopy and photo atlas of minerals. <http://www.mineralatlas.com/>. Mise à jour du 01juillet 2007.
- Kulakofsky R., Spaulding F. Faceting rough. <http://www.facetingrough.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/09.
- Kuypers E. Le monde des pierres précieuses. <http://www.gemmology.org/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Lapaire J. All minerals of the World/ Tous les minéraux de la Terre. <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ca.html/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.

- Université Pierre & Marie Curie. Livage J., (Cours 2003-2004) Œil lumière présentation PowerPoint <http://www.labos.upmc.fr/>. Consulté le 10/06/08.
- Pala International. <http://www.palagems.com/> Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Ralph J. & I. The mineral and locality database. <http://www.mindat.org/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Rossman G. R. Mineral spectroscopy server. <http://minerals.caltech.edu/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Shine gems. Exporter of gems stones, semi precious stone & synthetic stone. <http://www.shinegems.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Thaigen. <http://www.thaigem.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- The collector. Fine jewelry. <http://www.collectorfinejewelry.com/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Washington State University. <http://researchnews.wsu.edu/>. Consulté entre le 16/07/07 et le 08/09/07.
- Wikimedia Foundation, Inc. Wikipedia, Encyclopédie Libre. <http://www.wikipedia.org>. Consulté le 06/05/08. Mise à jour du 27 avril 2008.

Remerciements

- A mes parents et ma famille pour tous les sacrifices, pour leur présence et le soutien qu'ils m'ont apporté durant l'année et lors de la rédaction de ce mémoire.
- A Mr. E. Fritsch, mon professeur. Je le remercie pour le temps qu'il m'a consacré lors des tests en laboratoire et pour la rédaction des réponses à mes questions, pour ses conseils et ses idées qui m'ont aidé à améliorer et peaufiner mon mémoire. Je le remercie également pour le prêt d'échantillons supplémentaires afin de compléter mon travail.
- A l'Institut National de Gemmologie (I.N.G.) de Paris, à ses membres et professeurs, pour m'avoir permis de réaliser mes tests de gemmologie classique. Je remercie tous les professeurs de l'Institut pour leur écoute et leur aide, leurs idées et leurs conseils. Cela m'a permis d'améliorer la rédaction et la forme esthétique de ce mémoire.
- A Mr. G. Rossman qui a pris le temps de répondre à l'ensemble de mes questions. Ainsi, j'ai pu avoir une meilleure compréhension du fonctionnement des mécanismes qui causent la couleur des grenats.
- A Mr. J.P. Poirot qui m'a donné l'autorisation d'utiliser ses documents personnels afin d'enrichir mon travail. Je le remercie d'avoir pris le temps de me conseiller et de me diriger vers un travail plus précis.
- A Mr. B. Rondeau qui a pris le temps et la peine de répondre à toutes mes questions. Je le remercie pour ses idées de rédaction et de présentation plus précises pour ce travail.
- A J. Malinus pour son aide dans la traduction de certains textes.
- A S. Gafri et C. Lietard pour leur soutien et leur appui informatique pour l'illustration de mon travail.
- A V. Van Mol pour son aide lors de mes soucis et besoins en informatique.
- A G. et M. Thomas pour m'avoir aidé lors de certains tests à réaliser.
- A S. Esperinas, M. Bellec, P. Willem, X. Delay, J.R. Malan pour leur soutien et la motivation qu'ils m'ont apportés depuis le début.