

ORIGINAL ARTICLE

ÉTUDE DES MINÉRAUX DU GISEMENT DE SKARN DE LA SÉRIE CALCAIRE : CAS DU GITE DE GRENAT DÉMANTOÏDE D'ANTETEZAMBATO, DANS LA COMMUNE RURALE D'ANTSAKOAMANDRO, DISTRICT D'AMBANJA, AU NORD DE MADAGASCAR

STUDY OF THE MINERALS OF THE SKARN DEPOSIT OF THE LIMESTONE SERIES: CASE OF THE DEMANTOID GARNET DEPOSIT OF ANTETEZAMBATO, IN THE RURAL COMMUNE OF ANTSAKOAMANDRO, AMBANJA DISTRICT, NORTHERN MADAGASCAR



| Rivelino Fridaulin Ndramanoro ^{1*} | Augustin Razafindrapata ² | Jean Elie Rahelivao ² | Irvin Armando Joelisoafara ³ | Arvel Christoph Ravolahy ⁴ | Amélie Landy Soambola ⁴ |

1. Université d'Antsiranana | Faculté des sciences | Science de la Nature et l'Environnement (SNE) | Diégo Suarez | Madagascar |

2. Université d'Antsiranana | Département de physique | Laboratoire de Métrologie Nucléaire et Environnement | Diégo Suarez | Madagascar |

3. Université d'Antsiranana | Département de physique | Laboratoire hydraulique de Madagascar | Diégo Suarez | Madagascar |

4. Université d'Antsiranana | Faculté des sciences | Science de la Nature et l'Environnement (SNE) | Diégo Suarez | Madagascar |

| Received April 17, 2023 | Accepted May 20, 2023 | Published May 26, 2023 | ID Article | Rosny-Ref2-5-16ajiras170523 |

RESUME

Contexte : Ambanja, située dans la partie nord de Madagascar, est une nouvelle source de grenat andradite de variété démanté, de couleur verte, vert jaunâtre ou brunâtre. Un important gisement d'andradite, contenant des variétés démanté, a été exploité à environ 2,5 km à l'ouest du village d'Antetambato dans le nord de Madagascar depuis le début de l'année 2009. Géologiquement, la zone d'étude appartient au bassin de Diego-Suarez. **Objectifs** : L'objectif de cette étude est de caractériser les éléments minéraux présents dans le gisement skarn de la série calcaire, en se concentrant sur le grenat andradite de variété démanté d'Antetambato, Ambanja. **Méthodes** : Nous avons utilisé la méthode d'analyse par fluorescence X à l'énergie dispersive pour notre étude. Les échantillons ont été prélevés dans la région DIANA, plus précisément dans le district d'AMBANJA. L'analyse a été réalisée au Laboratoire d'OMNIS à Antananarivo, Madagascar. **Résultats** : L'analyse du grenat démanté a révélé des concentrations élevées en calcium, fer et silicium par rapport aux autres éléments. Le taux de calcium varie de $2007 \pm 16,6$ mg/kg à $2518 \pm 21,2$ mg/kg, le silicium de $330 \pm 2,5$ mg/kg à $779 \pm 12,2$ mg/kg et le fer de $629 \pm 6,5$ mg/kg à $1452 \pm 13,0$ mg/kg. La teneur en calcium des trois échantillons est nettement supérieure aux autres éléments chimiques, ce qui suggère que notre grenat démanté appartient au groupe calcique, plus précisément aux andradites. De plus, la minéralisation de grenat appelée "Andradites" est observée dans le grès rouge. Les autres éléments tels que l'aluminium, le phosphore, le magnésium, le cuivre, le nickel et l'arsenic sont présents en quantités moins importantes. **Conclusions** : Les quatre grenats démantés présentent des concentrations variables, avec une concentration élevée en calcium. De plus, le magnésium, le nickel, le cuivre et le plomb sont généralement présents en faible teneur.

Mots-clés : Gisement, grenat, démanté, Antetambato, éléments minéraux et skarn.

ABSTRACT

Context: Ambanja, located in the northern part of Madagascar, is a new source of demantoid variety of andradite garnet, ranging in color from green, yellowish-green to brownish-green. An important deposit of andradite, containing demantoid varieties, has been mined approximately 2.5 km west of the village of Antetambato in northern Madagascar since the beginning of 2009. Geologically, the study area belongs to the Diego-Suarez Basin. **Objectives**: The objective of this study is to characterize the mineral elements present in the skarn deposit within the limestone series, focusing on the demantoid variety of andradite garnet from Antetambato, Ambanja. **Methods**: We employed the energy-dispersive X-ray fluorescence analysis method for our study. Samples were collected in the DIANA region, specifically in the AMBANJA district. The analysis was conducted at the OMNIS Laboratory in Antananarivo, Madagascar. **Results**: The analysis of demantoid garnet revealed high concentrations of calcium, iron, and silicon compared to other elements. Calcium content ranged from $2007 \pm 16,6$ mg/kg to $2518 \pm 21,2$ mg/kg, silicon from $330 \pm 2,5$ mg/kg to $779 \pm 12,2$ mg/kg, and iron from $629 \pm 6,5$ mg/kg to $1452 \pm 13,0$ mg/kg. The calcium content in the three samples was significantly higher than other chemical elements, suggesting that our demantoid garnet belongs to the calcic group, specifically the andradites. Additionally, garnet mineralization known as "Andradites" was observed in the red sandstone. Other elements such as aluminum, phosphorus, magnesium, copper, nickel, and arsenic were present in lesser quantities. **Conclusions**: The four demantoid garnets exhibited variable concentrations, with a high calcium concentration. Moreover, magnesium, nickel, copper, and lead were generally present in low amounts.

Keywords: Deposit, garnet, demantoid, Antetambato, mineral elements and skarn.

1. INTRODUCTION

Depuis l'aube de l'humanité, les humains sont fascinés par les pierres précieuses. Au cours de leurs voyages, ils ont sans doute découvert des gemmes, captivés par la régularité et l'harmonie de leurs structures cristallines, et leur ont probablement attribué des propriétés magiques. On estime que les humains ont connaissance des pierres précieuses depuis plus de dix mille ans [1]. Bien qu'il existe des descriptions antérieures de dépôts aujourd'hui reconnus comme des skarns, le terme "skarn" a été introduit pour la première fois par Tornebohm en 1875 [2]. Parmi les descriptions les plus complètes, on en trouve une qui les identifie comme des couches subordonnées dans des roches volcaniques

felsiques dépourvues de feldspath [3]. Ces roches particulièrement sombres servent également de roches hôtes pour les minerais et se trouvent dans la région connue sous le nom de "skarns", un terme qui peut être utilisé collectivement pour toutes les roches spécifiques associées aux minerais. Tornebohm a également décrit les "brunskarns" (skarns bruns) riches en grenats et les "gronskarn" (skarns verts) riches en pyroxène. Les skarns calcaires se forment par substitution de calcaire et sont le type de skarn le plus répandu. Les principaux minéraux présents dans les skarns calcaires comprennent le grenat (série grossulaire-andradite) et le pyroxène (série diopside-hedenbergite). On peut également trouver occasionnellement de la vésuvianite, de la wollastonite, de la scapolite, de l'amphibole, de l'épidote, de la magnétite, des carbonates et du quartz [6].

La richesse minérale de Madagascar est considérée comme un paradoxe, car elle coexiste avec une situation déplorable dans les zones d'exploitation minière illégale et illicite. Le pays regorge de métaux précieux, de pierres précieuses et de nombreux minéraux industriels tels que le barytine, le gypse, le kaolin et le marbre, dont beaucoup restent inexploités. Statistiquement, le niveau d'exploitation de ces minéraux est très faible par rapport à l'étendue des gisements documentés dans le pays [4]. En 2009, la région d'Antetazambato a été découverte par des mineurs artisanaux illégaux, qui n'avaient pas d'autorisation et utilisaient des outils primitifs. L'engouement pour le grenat démantoïde a incité les géologues à approfondir les recherches sur cette pierre précieuse [5].

La spectroscopie de fluorescence X à dispersion d'énergie est une technique utilisée pour déterminer les éléments chimiques présents dans un matériau. Elle trouve des applications en écologie, en médecine, en minéralogie, en métallurgie, en gemmologie et en chimie. Elle est utilisée pour quantifier les métaux lourds dans divers échantillons tels que le sol, l'air, l'eau et les aliments. De plus, elle permet de déterminer la qualité des métaux précieux, des artefacts anciens et bien plus encore [7,8].

2. MATERIELS et METHODES

La stratégie d'échantillonnage adoptée repose sur une méthode probabiliste, plus spécifiquement l'échantillonnage par grappes. Cette approche consiste à subdiviser la population en sous-groupes ou grappes, puis à sélectionner de manière aléatoire les grappes à étudier. Dans le cadre de cette étude, les échantillons ont été collectés dans les districts de la région DIANA, située dans le nord de Madagascar. Plus précisément, les prélèvements ont été effectués dans le district d'AMBANJA, à une distance de 2,5 km à l'ouest de la commune rurale d'Antetazambato.

L'utilisation de l'échantillonnage par grappes permet de prendre en compte la diversité des caractéristiques présentes dans différents sous-groupes de la population étudiée. Cette approche garantit une représentativité et une fiabilité des résultats obtenus, en limitant les biais potentiels liés à une sélection non aléatoire des échantillons.

2.1 Préparation des échantillons

Après avoir séché les deux échantillons pendant 24 heures à une température de 85°C, ils ont été broyés afin de les transformer en poudre, puis tamisés à l'aide d'un tamiseur. Les échantillons tamisés ont ensuite été pesés et pressés à l'aide d'un presseur pour les transformer en pastilles de poudre [9]. Chaque pastille a un poids de 4 grammes et a été codée individuellement. Les codes attribués aux échantillons sont les suivants :

Échantillon 01 (TEBI),
Échantillon 02 (TEBII),
Échantillon 03 (TEBIII),

Ces étapes de préparation et de codage des échantillons ont été réalisées afin de faciliter leur identification et leur traçabilité tout au long de l'analyse.

La figure 1 illustre les échantillons bruts pendant le prélèvement.



TEBI



TEBII



TEBIII

Figure 1: Echantillons bruts.

2.2 Equation

On procède fréquemment à l'analyse des échantillons épais par fluorescence X à excitation directe, car le rayonnement incident absorbé par l'échantillon est maximal, ce qui favorise l'émission des raies caractéristiques optimales des éléments excités présents dans l'échantillon analysé. Un échantillon est considéré d'épaisseur intermédiaire lorsque la condition suivante est satisfaite :

$$0.1 < \mu_{pd} < 1 \quad (1)$$

où :

- **pd** : la masse par unité de surface de l'échantillon d'épaisseur uniforme, exprimée en g.cm⁻².
- **ai** : est le coefficient d'absorption massique de l'échantillon, exprimé en cm².g⁻¹ [17].

Cette condition permet de déterminer les échantillons appropriés pour l'analyse par fluorescence X à excitation directe, en prenant en compte à la fois l'épaisseur de l'échantillon et son pouvoir d'absorption massique.

2.3 Analyse

La méthode d'analyse par fluorescence X se distingue des autres méthodes par la manière dont le rayonnement X est dirigé vers l'échantillon. Il traverse des filtres et atteint l'échantillon sous un angle d'incidence conçu de manière à limiter sa pénétration. Cette approche permet de réduire le bruit de fond et d'améliorer la limite de détection.

Le Laboratoire de l'Office des Mines et des Industries Stratégiques (OMNIS) dispose d'un spectromètre de fluorescence X dédié à l'analyse quantitative des éléments minéraux présents dans les échantillons. L'analyse en laboratoire se déroule en trois étapes : la préparation des échantillons, l'analyse par la chaîne de détection et le dépouillement des données à l'aide d'un logiciel. Pour notre étude, nous avons utilisé le logiciel "XRS-FP2" pour le traitement des spectres et le stockage des résultats quantitatifs.

La chaîne d'analyse par fluorescence X est composée des éléments suivants :

- Générateur de rayons X,
- Générateur de tension,
- Tube à rayons X avec une anode en molybdène (Mo),
- Détecteur FastSDD,
- Préamplificateur,
- Convertisseur analogique-numérique (CAN),

Les conditions de mesure utilisées sont les suivantes :

- Temps de comptage : 100 secondes
- Tension du tube : 45 kV
- Courant du tube : 10 µA

Ces paramètres ont été choisis afin d'obtenir des mesures précises et reproductibles des échantillons. En respectant ces conditions, nous avons pu obtenir des spectres de fluorescence X de haute qualité, permettant ainsi l'analyse quantitative des éléments minéraux présents dans les échantillons étudiés.

Le figures 2 montre le schéma de cette chaîne d'analyse.

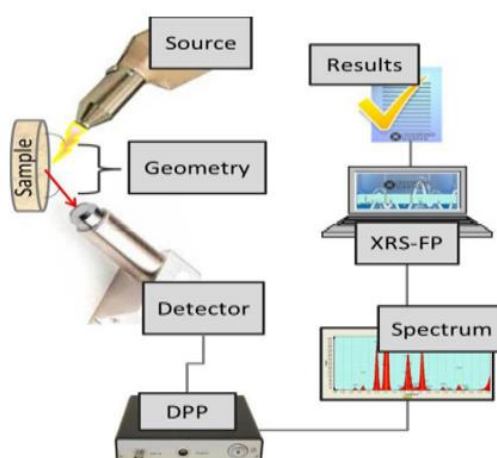


Figure 2: Schéma de la chaîne de XRF.

3. RESULTATS

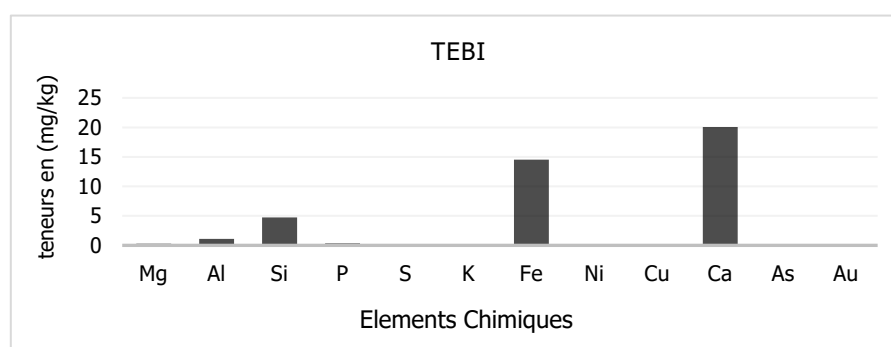
Les tableaux 1, 2 et 3 représentent les teneurs moyennes (n=5) respectives des éléments minéraux dans les échantillons grenat démantoïde analysées.

➤ Echantillon TEBI :

Tableau 1: Variation de la teneur (Moyen $\pm$ écart type) d'échantillon TEBI dans le grenat démantôide.

Eléments	Symboles	Concentration (Moyen $\pm$ écart type)
Calcium	Ca	2007 $\pm$ 16,6 mg/kg
Fer	Fe	1452 $\pm$ 13,0 mg/kg
Silicium	Si	473 $\pm$ 9,6 mg/kg
Aluminium	Al	111 $\pm$ 5,0 mg/kg
Phosphore	P	35 $\pm$ 0,1 mg/kg
Magnésium	Mg	30 $\pm$ 0,2 mg/kg
Cuivre	Cu	10 $\pm$ 0,1 mg/kg
Nickel	Ni	4 $\pm$ 0,1 mg/kg
Arsenic	As	1 $\pm$ 0,01 mg/kg
Soufre	S	< LD
Potassium	K	< LD
Or	Au	< LD

LD : Limite de Détection

**Figure 3:** Variation du teneur des éléments minéraux dans l'échantillons TEBI analysés.➤ **Echantillon TEBII :**

Sur la base des données fournies, la tendance générale suggère que l'échantillon présente des concentrations relativement plus élevées de calcium (Ca) avec 25,98 mg/kg, suivi par le fer (Fe) avec 6,29 mg/kg.

Le silicium (Si) a une concentration modérée de 3,30 mg/kg, tandis que l'aluminium (Al) et le phosphore (P) ont des concentrations plus faibles de 2,15 mg/kg et 0,38 mg/kg, respectivement.

Les autres éléments, dont le magnésium (Mg), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), l'arsenic (As), le soufre (S), le potassium (K) et l'or (Au), sont présents en concentrations plus faibles ou inférieures à la limite de détection (LD). Il est important de noter que le soufre (S), le potassium (K) et l'or (Au) sont indiqués comme "< LD", ce qui signifie que leurs concentrations sont inférieures à la limite de détection. En résumé, nos résultats donnent un aperçu de la composition élémentaire de l'échantillon, mettant en évidence les concentrations plus élevées de calcium et de fer, tout en indiquant les niveaux plus faibles ou les quantités indétectables d'autres éléments.

Tableau 2: Variation du teneur (Moyen $\pm$ écart type) d'échantillon TEBII dans le grenat démantôide.

Eléments	Symboles	Concentration (Moyen $\pm$ écart type)
Calcium	Ca	2598 $\pm$ 29,4 mg/kg
Fer	Fe	629 $\pm$ 6,5 mg/kg
Silicium	Si	330 $\pm$ 2,5 mg/kg
Aluminium	Al	215 $\pm$ 1,2 mg/kg
Phosphore	P	380 $\pm$ 0,1 mg/kg
Magnésium	Mg	350 $\pm$ 0,4 mg/kg
Cuivre	Cu	170 $\pm$ 0,1 mg/kg
Nickel	Ni	30 $\pm$ 0,1 mg/kg
Arsenic	As	70 $\pm$ 0,02 mg/kg
Soufre	S	< LD
Potassium	K	< LD
Or	Au	< LD

LD : Limite de Détection

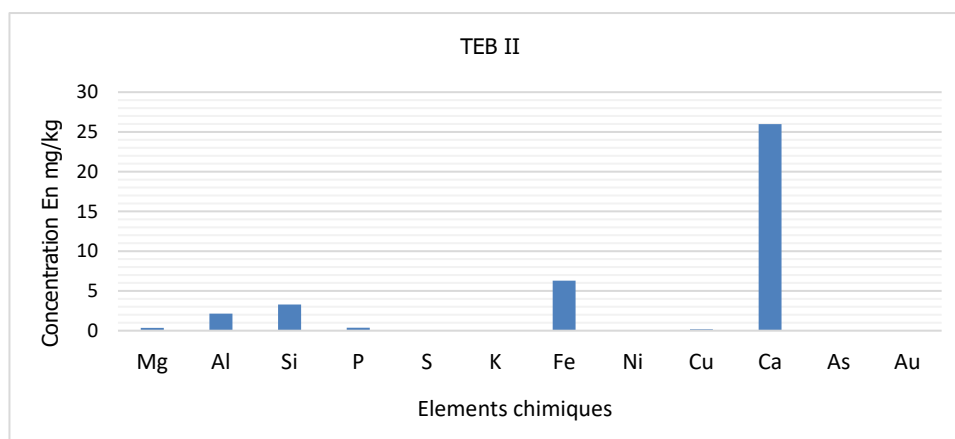


Figure 4: Variation du teneur des éléments minéraux dans l'échantillons TEBII analysés.

➤ Echantillon TEBIII :

La tendance générale des résultats présentés dans le tableau indique les concentrations relatives des différents éléments dans l'échantillon.

Sur la base des données fournies, la tendance générale suggère que l'échantillon a des concentrations relativement plus élevées de calcium (Ca) à $2518 \pm 21,2$ mg/kg, suivi par le silicium (Si) à $779 \pm 12,2$ mg/kg et le fer (Fe) à $629 \pm 8,9$ mg/kg.

Les autres éléments, notamment l'aluminium (Al), le phosphore (P), le magnésium (Mg), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), l'arsenic (As), le soufre (S), le potassium (K) et l'or (Au), sont présents en plus faibles concentrations.

En outre, les valeurs "< LD" indiquent que les concentrations de soufre (S), de potassium (K) et d'or (Au) sont inférieures à la limite de détection (LD) pour l'analyse.

Dans l'ensemble, le tableau donne un aperçu de la composition élémentaire de l'échantillon, mettant en évidence les concentrations plus élevées de calcium, de silicium et de fer, tout en indiquant les niveaux plus faibles ou indétectables d'autres éléments.

Tableau 3: Variation de la concentration (Moyen $\pm$ écart type) d'échantillon TEBIII dans le grenat démantôide.

Eléments	Symboles	Concentration (Moyen $\pm$ écart type)
Calcium	Ca	$2518 \pm 21,2$ mg/kg
Fer	Fe	$629 \pm 8,9$ mg/kg
Silicium	Si	$779 \pm 12,2$ mg/kg
Aluminium	Al	$215 \pm 3,6$ mg/kg
Phosphore	P	$380 \pm 0,5$ mg/kg
Magnésium	Mg	$350 \pm 0,2$ mg/kg
Cuivre	Cu	$170 \pm 0,1$ mg/kg
Nickel	Ni	$30 \pm 0,1$ mg/kg
Arsenic	As	$70 \pm 0,2$ mg/kg
Soufre	S	< LD
Potassium	K	< LD
Or	Au	< LD

LD : Limite de Détection

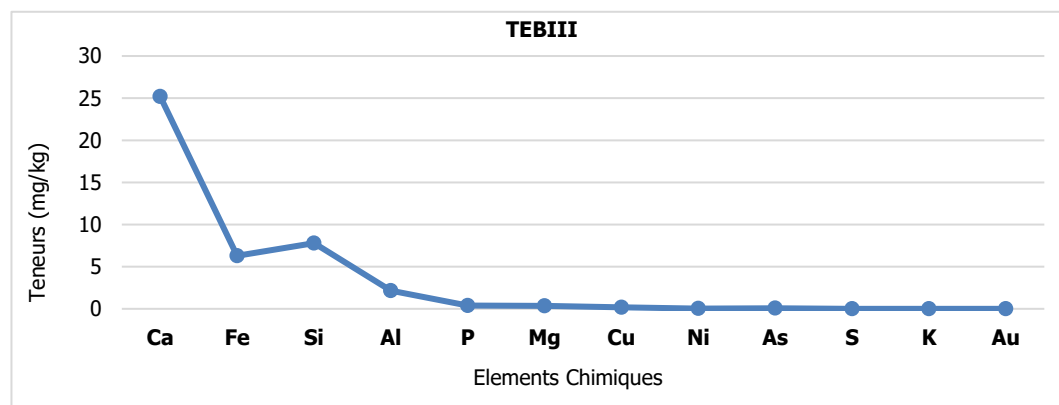


Figure 5: Variation de la concentration des éléments minéraux dans l'échantillons TEBIII analysés.

4. DISCUSSION

Dans les échantillons TEBI, TEBII et TEBIII, les concentrations les plus élevées ont été observées pour les éléments suivants : Calcium, Fer et Silicium, par rapport aux autres éléments. Les taux de Calcium variaient de $2007 \pm 16,6$ mg/kg à $2518 \pm 21,2$ mg/kg, le silicium était compris entre $330 \pm 2,5$ mg/kg à $779 \pm 12,2$ mg/kg et le fer variait de $629 \pm 6,5$ mg/kg à $1452 \pm 13,0$ mg/kg. La teneur en Calcium dans les trois échantillons était nettement supérieure aux autres éléments chimiques, ce qui permet de conclure que notre grenat démantôide appartient au groupe calcique, plus précisément aux andradites. Ainsi, dans le grès rouge, on observe une minéralisation de grenat appelée "Andradites". Les autres éléments tels que l'aluminium, le phosphore, le magnésium, le cuivre, le nickel et l'arsenic sont présents en quantités moins importantes.

La concentration de soufre, de potassium et d'or était inférieure à la limite de détection dans les trois échantillons analysés. Dans le domaine de la géologie, la technique de la fluorescence X joue un rôle prépondérant dans la caractérisation élémentaire des minéraux. Plusieurs études ont montré l'efficacité et l'importance de la technique de la fluorescence X dans l'analyse des échantillons géologiques [12], la détermination de l'oxyde d'aluminium dans les bauxites [13], l'analyse des éléments majeurs et traces dans les roches carbonates [18], et l'analyse quantitative du platine dans les roches [14].

Cette technique de la fluorescence X joue également un rôle significatif dans l'analyse des éléments totaux dans différents échantillons environnementaux et différents types de produits industriels. Elle a été utilisée pour déterminer les métaux présents dans les sols en utilisant le spectromètre portable XRF, qui est l'une des techniques recommandées par l'Agence de Protection de l'Environnement aux États-Unis [15]. De plus, elle est utilisée pour analyser les éléments mineurs dans les produits de ciment en Irak [16] et pour déterminer l'origine et l'authenticité des pierres précieuses telles que le béryl, le rubis, le saphir et l'émeraude. En effet, la couleur et les propriétés d'une pierre précieuse sont généralement déterminées par les éléments qui y sont présents. Par exemple, le chrome (Cr), le fer (Fe) et le titane (Ti) sont responsables de la couleur des rubis et des saphirs, tandis que le chrome (Cr) et le vanadium (V) contribuent principalement à la couleur de l'émeraude ou du béryl. De plus, la présence d'impuretés dans les pierres précieuses permet également d'identifier leur origine. De même, la présence de gallium (Ga), de scandium (Sc), de rubidium (Rb) et de césium (Cs) dans l'émeraude et le béryl indique l'authenticité de ces pierres précieuses. En revanche, la présence de platine (Pt) dans l'émeraude ou le béryl signifie que ces pierres sont synthétiques.

5. CONCLUSION

En conclusion, l'analyse par fluorescence X a permis de déterminer la composition minérale des grenats démantôides étudiés. Les résultats ont révélé la présence de douze (12) éléments minéraux distincts, avec des concentrations variables. Parmi ces éléments, le calcium, le fer et le silicium ont montré des concentrations élevées, ce qui suggère leur importance dans la structure cristalline des grenats démantôides. De plus, la présence de métaux lourds tels que le cuivre, l'aluminium et le fer soulève des préoccupations quant à la qualité environnementale et à la possible contamination de ces gemmes. La présence d'éléments minéraux non spécifiquement associés aux grenats démantôides, tels que le soufre, le potassium et l'or, soulève des questions intéressantes sur les processus géologiques qui ont contribué à la formation de ces gemmes.

Ces résultats soulignent l'importance de caractériser la composition minérale des grenats démantôides pour une meilleure compréhension de leur origine géologique et de leur potentiel en tant que gemmes précieuses. Des études ultérieures pourraient se concentrer sur l'analyse plus détaillée de ces éléments minéraux, ainsi que sur l'évaluation de leurs implications en termes de qualité, de pureté et de valeur commerciale des grenats démantôides. Enfin, l'utilisation de la méthode d'analyse par fluorescence X a fourni des informations précieuses sur la composition minérale des grenats démantôides, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives de recherche dans le domaine de la gemmologie. Ces connaissances peuvent contribuer à une meilleure caractérisation des grenats démantôides, à une évaluation plus précise de leur valeur et à des applications potentielles dans l'industrie des gemmes.

Reconnaissance : J'exprime mes sincères remerciements à mes Directeurs de Thèse, particulièrement pour son effort car il a fait tous les moyens pour le bon déroulement de cette thèse et son soutien remarquable tout au long de réalisation de ce présent travail. Mes remerciements les plus chaleureux sont pour mes collègues doctorants : RAHELIVAO Jean Elie, JOELISOAFARA Irvino Armando et Docteur Augustin RAZAFINDRAPATA qui m'ont aidé, soutenu et encouragé.

6. REFERENCES

- [1] Pogorzelski D. Précis de Gemmologie, Précédé par un Abrégé de Minéralogie (Gemmologue HDR). 2012;180.
- [2] Tornebohm AE. Geognostisk beskrifning ofver Persbergets Grufvefalt. Sveriges Geologiska Undersokning, P.A. Norstedt and Sons, Stockholm. 1875;21.
- [3] Bergman T. Communication écrite. Université de Stockholm. 1992.
- [4] Abreal A. Les grenats – Nature, Structure et Propriétés. *J. of Pers. Mineralogist*. 2018;11.
- [5] Pezzotta F. Andradite from Antetzezambato, north Madagascar. *Mineralogical Record*. 2010a;41(3):209–229.
- [6] Pezzotta F. Demantoid und Topazolith aus Antetzezambato, Nord Madagascar. *Lapis*. 2010b;35(10):31–39.

- [7] Zo M, et al. Analyse des métaux lourdes et des éléments minéraux dans les curcumas Longa par la technique de la fluorescence X à réflexion totale et par la spectrométrie d'absorption atomique. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 2020;11(4):11.
- [8] Normandeau G, Ueno D. Quantitative determination of platinum by XRF techniques. Platinum Guild International USA. 2002.
- [9] Agence Internationale de l'Énergie Atomique. IAEA-TECDOC-300. Sample preparation Techniques in trace Element Analysis By X-ray Emission Spectroscopy. Vienna. 1983.
- [10] Razafindrapata A, et al. Détermination des éléments majeurs et en traces dans la plante raphia farinifera dans cinq districts ex-province d'Antsiranana par analyse de la fluorescence x a l'énergie dispersive. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2022;14(4):161-170.
- [11] Razakamiadana MA. Contribution de la Pouzzolane naturelle au niveau de la cimenterie de l'agriculture : cas de la région Vakinankaratra. Thèse de doctorat, ECOLE DOCTORALE: INGENIERIE ET GEOSCIENCES, Université d'Antananarivo. 2021;87.
- [12] Sumabuco SM, Nascimento Filho VF. Quantitative analysis by energy dispersive X-Ray fluorescence by the transmission method applied to geological samples. *Sci. Agri. Piracicaba*. 1994;51(2):197-206.
- [13] Keselj D, et al. Determination of alumina oxide in Bauxites by X-Ray Fluorescence analysis. Global Journals Inc. (USA). 2012;12(3):1.0.
- [14] Normandeau G, Ueno D. Quantitative determination of platinum by XRF techniques. Platinum Guild International USA. 2002.
- [15] Innov X Systems Inc. Metals in soil analysis using Field Portable X-ray Fluorescence. Innovative X-ray technologies. 2003.
- [16] Muhyedeen BRJ, Mizhir LK. Analysis of Iraqi cement by X-ray Fluorescence. *Iraqi J. Chem.* 2001;27(4):1-12.
- [17] École des Mines de Saint-Étienne. Méthodes Spectrométriques d'analyse et de caractérisation. 03-15-16.
- [18] Mori Y. X-Ray fluorescence analysis of major and trace in carbonate rocks using glass bead samples. *Bull. Kitakyushu Mus. Nat. Hist. Hum. Hist.* 2007;5:1-12.



How to cite this article: Rivelino Fridaulin Ndramanoro , Augustin Razafindrapata, Jean Elie Rahelivao, Irvin Armando Joelisoafara, Arvel Christoph Ravolahy et Amélie Landy Soambola. ÉTUDE DES MINÉRAUX DU GISEMENT DE SKARN DE LA SÉRIE CALCAIRE : CAS DU GITE DE GRENAT DEMANTOÏDE D'ANTETEZAMBATO, DANS LA COMMUNE RURALE D'ANTSAKOAMANDRO, DISTRICT D'AMBANJA, AU NORD DE MADAGASCAR. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 16(5): 284-290.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>