

Caractéristiques minéralogiques et gemmologiques du saphir de Bemainty – District d’Ambatondrazaka – Région Alaotra-Mangoro

Raherisoa H^{1,2,*}, Rasolomanana E.^{1,3}, Randrianja R.^{1,3}, Razafimandimby S.³

1 Département Mines, ESPA, Université d’Antananarivo

2 Institut de Gemmologie d’Antananarivo, Mandrosoa Ivato Antananarivo, Madagascar

3 ED Ingénierie Minière, ESPA, Université d’Antananarivo

*Auteur correspondant : Raherisoa Haingo, Tel. +261341115883, E-mail : haingoraherisoa@gmail.com

Résumé – Si en 2012, une légende est née au cœur de la forêt tropicale, précisément à Ambatovolana, située à haute altitude, à huit heures de marche d’Ambohibe, un village appartenant au village rural de Didy, un gisement de saphirs alluvionnaires a été découvert, probablement issus de roches feldspathiques endomorphes. En 2016, un autre gisement de saphirs dans le village de Bemainty est exploité par des milliers de personnes. La connaissance des caractéristiques minéralogiques et gemmologiques de ces saphirs permet de définir les spécificités du saphir du District d’Ambatondrazaka, à savoir la structure cristalline, les inclusions, la densité, et l’indice de réfraction.

Mots clés – Saphirs, Bemainty, Minéralogie, Gemmologie, Structure cristalline, Inclusions, Densité, Indice de réfraction.

Abstract - If in 2012, a legend was born in the heart of the tropical forest, precisely in Ambatovolana, located at high altitude, an eight-hour walk from Ambohibe, a village belonging to the rural village of Didy; a deposit of alluvial sapphires was discovered, probably from endomorphic feldspar rocks. In 2016, another sapphire deposit in the village of Bemainty is operated by thousands of people. Knowing the mineralogical and gemological characteristics of these sapphires makes it possible to define the specificities of the sapphire of the Ambatondrazaka District, namely the crystalline structure, the inclusions, the density, and the refractive index.

Key words - Sapphires, Bemainty, Mineralogy, Gemology, Crystal structure, Inclusions, Density, Refractive index.

INTRODUCTION

Les saphirs de Bemainty sont généralement bleu métallique à bleu eau vive (*de la même couleur que les saphirs du Sri Lanka*), transparents à translucides. Ils ont certaines particularités comme celle « d’être propres » à l’œil nu, dichromie très nette un peu à l’image des tourmalines « melon d’eau ». Ils comportent aussi et assez fréquemment de nombreuses zones de croissances contrastées comme celles rencontrées dans les saphirs de Ceylan (*aujourd’hui appelé Sri Lanka*). La plupart du temps, la pierre brute avait des arêtes vives et quelques indications limitées de transport alluvial indiquant que le gisement est, à ce jour, seulement de nature secondaire.

Les saphirs bleus, les rubis et les pierres bicolores produites dans la région se sont révélés être d’un type métamorphique riche en fer après examen au laboratoire GIA de Bangkok. Les saphirs bleus du type métamorphique riches en fer sont à ce jour principalement connus pour

être originaires de dépôts comme Mogok en Birmanie (Myanmar), Tunduru en Tanzanie, Andrebabe et Ambatovolana à Madagascar et plus récemment de Kataragama au Sri Lanka.

I. Présentation de la zone d'étude

I-1. Localisation

Le site est situé à 18 Km à vol d'oiseau de direction Nord-Est par rapport au Chef-lieu de la Commune de Didy, à 7,72 Km de direction Est-Sud-Est par rapport au village d'Antsevabe et à 157,43 Km de direction Nord-Est par rapport à Antananarivo, la Capitale de Madagascar (Voir Fig. 1). L'accès vers la zone d'étude est rendu possible en empruntant les voies d'accès suivants :

- Route nationale RN2 reliant Antananarivo et Moramanga ;
- RN44 joignant la ville de Moramanga au Chef-lieu de la Région Alaotra-Mangoro, Ambatondrazaka ;
- puis une piste en terre connectant la ville d'Ambatondrazaka et le Chef-lieu de la Commune de Didy
- et deux accès possibles : Antsevabe vers Bemainty ou Didy vers Bemainty.

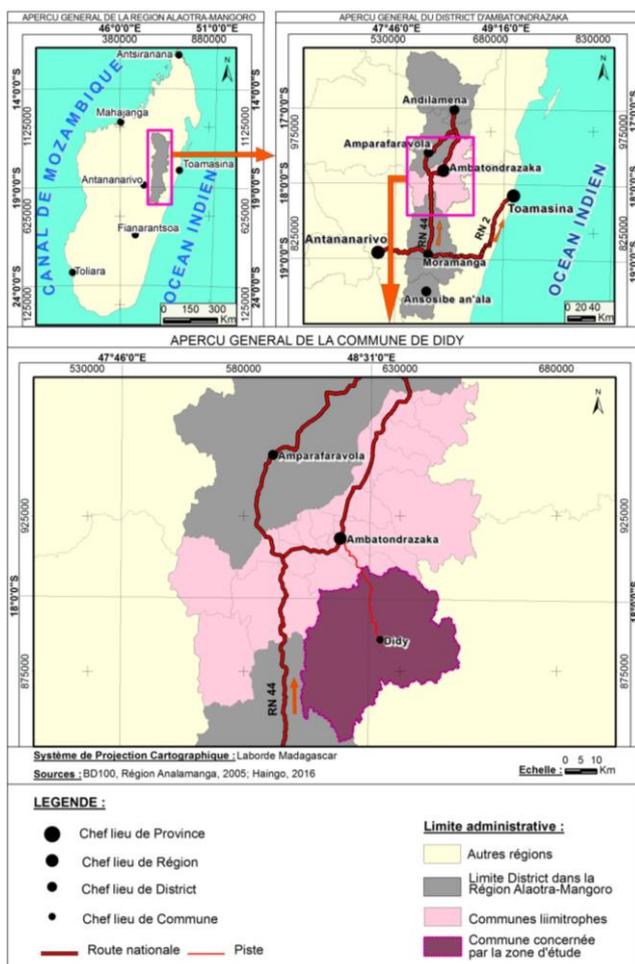


Figure 1- Carte de localisation de la zone d'étude

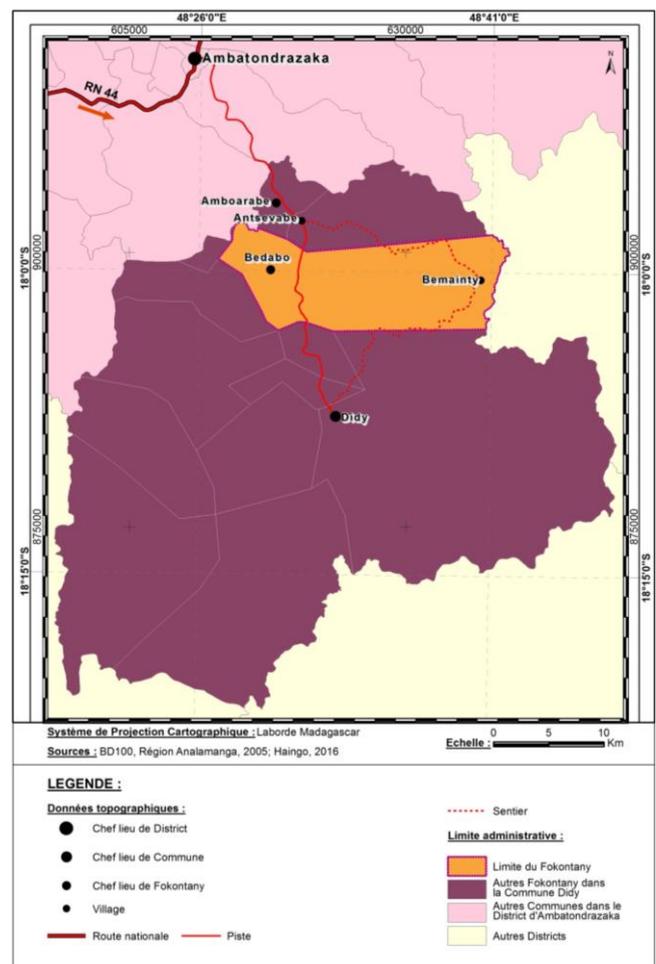


Figure 2- Délimitation de la zone d'étude

I-2. Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée géographiquement entre les méridiens 48°38'32" E et 48°42'38" E, et les parallèles 17°57'55" S et 18°02'39" S (*Cf. Fig. 2*). Elle appartient au Fokontany de Bedabo.

II. Contexte géologique

II-1. Géologie régionale

La synthèse des derniers résultats de travaux géologiques a pu révéler que la région où se situe la zone de recherches appartient au Complexe de Tsaratanana (*voir Fig. 1*). Au cours du temps géologique, cette région était affectée par trois principaux événements : la granitisation, le volcanisme, le métamorphisme.

La phase de granitisation a débuté il y a 2,5 milliards d'années (*BGS et al., 2008*). Quant aux deux derniers événements, entre 790 et 800 millions d'années, cet ensemble s'est remobilisé par l'intervention de déformations tectoniques durant laquelle il y avait eu manifestation de phénomènes volcaniques. Ce nouvel épisode a engendré la mise en place des roches volcaniques essentiellement de types basiques. Vers 560 millions d'années, deux nouveaux événements géologiques sont intervenus dans cette région. Il s'agit de phénomènes de plissement et de métamorphisme qui sont rapportés à l'Orogenèse panafricaine (*Hottin, 1972; BGS et al., 2008*).

Par l'intervention de cette dernière, l'ensemble des formations géologiques mise en place vont se remobiliser, se déformer et se métamorphiser dans des conditions allant du degré moyen au degré élevé. Cet événement géologique est généralement accompagné par la reprise du phénomène de magmatisme.

Quant à sa pétrographie, cette région est constituée de trois (3) unités de formations géologiques. A la base, il y a les roches métamorphiques formées dans des conditions de métamorphisme élevé et constituées par des séries migmatitiques. Cette première unité est surmontée par les séries gneissiques caractérisées par une intensité de métamorphisme moyenne (*voir Fig. 2*). D'après le concept de BGS et al (2008) et Collins & Windley (2003), la première unité s'appelle Bloc d'Antananarivo alors que la deuxième correspond au « Beforona belt ». La dernière catégorie pétrographique est caractérisée par l'ensemble des séries des roches magmatiques.

Du point de vue structural, cette région est affectée par la multiphase de déformation qu'on peut subdiviser en deux (2) principaux épisodes différents du Bloc d'Antananarivo. Le premier épisode appelé déformation D1 correspond au phénomène d'aplatissement qui a donné naissance à des plis couchés, déversés vers l'Est (*B. Moine, 2006*). Ces plis sont souvent replissés et affectés par des cisaillements tangentiels.

Une nouvelle phase de déformation D2 succède ce premier épisode au cours de laquelle ces structures ont été déformées par le phénomène de raccourcissement Est-Ouest,

qui peut être suivi d'un autre phénomène appelé cisaillement. Généralement, la zone de cisaillement a une direction Nord-Sud.

Géochronologiquement, le bloc d'Antananarivo et le Beforona belt sont respectivement d'âges archéen et néoprotérozoïque moyen (Collins et al, 2003 ; BGS et al, 2008).

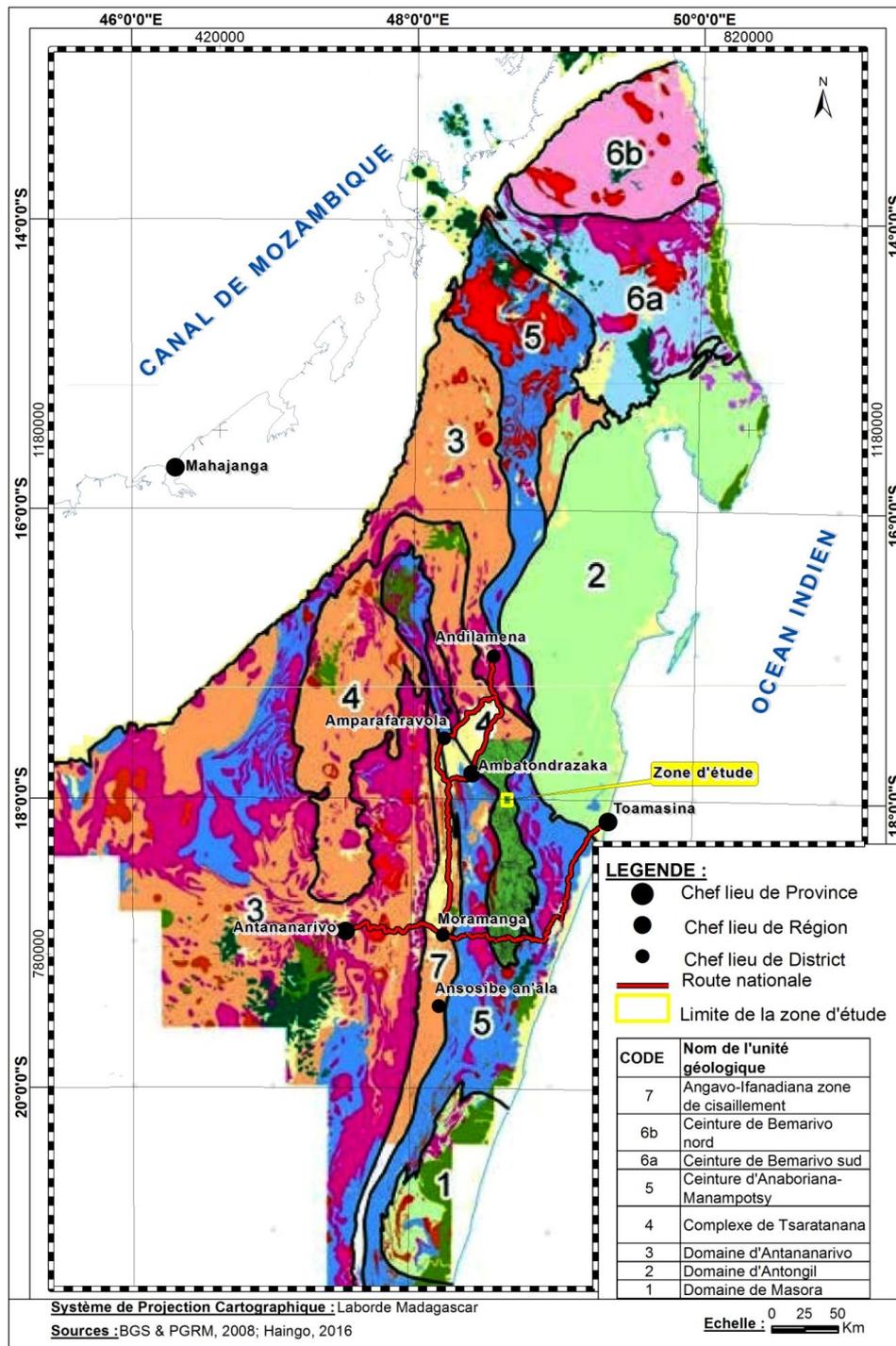


Figure 3- Les unités géologiques dans les parties centrales, Nord et Nord-Est de Madagascar (BGS et al., 2008)

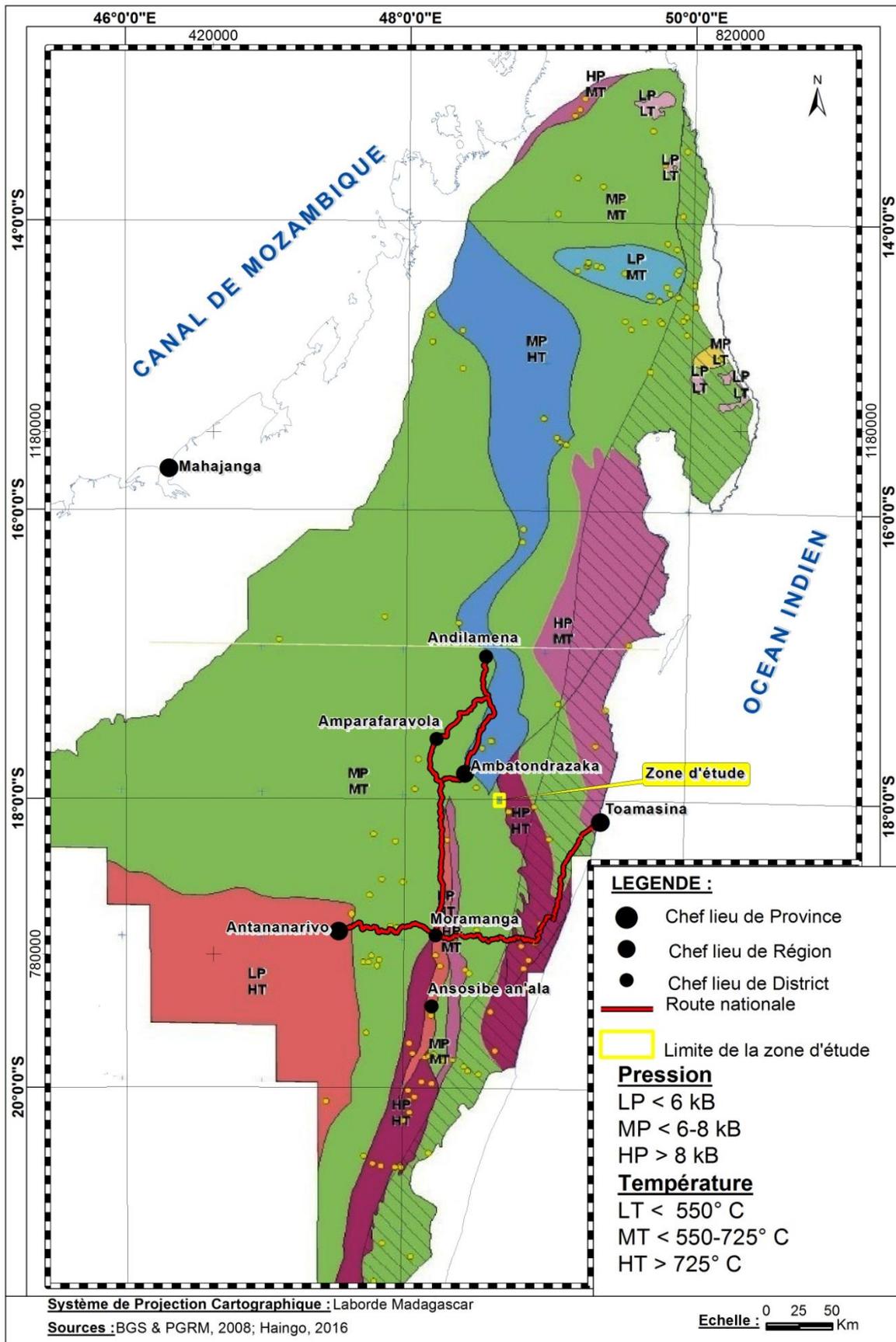


Figure 4- Carte de degré de métamorphisme dans cette partie de Madagascar

II-2. Géologie locale

La carte géologique au 1/200 000 fournie par le Service géologique et BGRM (1956) appuyée par le traitement d'images satellites, offrent beaucoup d'intérêt sur la connaissance des caractéristiques géologiques telles que la pétrologie, la géologie structurale et la métallogénie des indices minéraux, en particulier le saphir, dans la zone de recherche.

II -2.1.Pétrologie

Trois (03) principales familles des roches constituent la zone de Bemainty et ses environs telle que les roches métamorphiques, les roches magmatiques et les formations récentes.

Les roches métamorphiques sont plus largement répandues que les autres types de roches et elles sont constituées par des roches à séquence, à faciès et de caractéristiques différentes les unes des autres. Par l'intervention du phénomène de métamorphisme à degré moyen au degré élevé, les roches originelles appelées aussi protolithes vont donner naissance à de nouvelles roches métamorphiques telles que la série de migmatites et de leptynite, la série gneissique et la série de métavolcano-sédimentaires.

La première série regroupe les migmatites, les migmatites granitoïdes et le leptynite contenant généralement des minéraux ferromagnésiens (diopside, amphibole et diopside). Alors que les gneiss peuvent être constitués de sillimanite, de biotite et de muscovite. Et les métavolcano-sédimentaires sont formés essentiellement par des minéraux ferromagnésiens c'est-à-dire il s'agit de série amphibolo-pyroxénique, de serpentines, de quartzites, de soapstones, de graphite et de cipolin. Pétrologiquement, la série des migmatites et de leptynite s'est formée dans des conditions de métamorphisme relativement élevée caractérisée par une température supérieure à 725°C et une pression supérieure à 8 kilobar, tandis que la genèse des deux autres séries est caractérisée par une température variant de 550 à 750°C et une pression autour de 6 à 8 kilobar (*BGS et al, 2008*).

Concernant la composition minéralogique des roches métamorphiques rencontrées dans cette zone de recherche, on peut les subdiviser en quatre (4) catégories : les minéraux silico-alumineux, les minéraux ferromagnésiens, les minéraux carbonatés et les minéraux carbonés. Les minéraux silico-alumineux constituent essentiellement les migmatites, les gneiss, les quartzites, et le leptynite.

Par contre, la série amphibolo-pyroxénique, les soapstones et les serpentines sont formés essentiellement de minéraux ferromagnésiens. Les minéraux carbonatés et carbonés forment respectivement les cipolins et le graphite.

La zone d'étude dispose une variété de roches magmatiques allant de séries ultrabasiques (*péridotites et roches vertes*) et basiques (*gabbro*) aux séries acides (*granites stratoïdes et pegmatites*). Cela explique qu'au cours du temps géologique cette zone d'étude est affectée par plusieurs phases de magmatismes qui sont liées à la déformation tectonique de type cassante. Généralement, ces roches magmatiques se présentent sous forme de filons ou veines recoupant de roches encaissantes. Géochronologiquement, le granite stratoïde et gabbro stratoïde sont des roches antétectoniques alors que la mise en place des péridotites, des roches vertes, du gabbro et de la pegmatite, est syntectonique. Du point de vue de composition minéralogique, les roches ultrabasiques et basiques sont constituées essentiellement par des minéraux ferromagnésiens tandis que le granite et la pegmatite contiennent des habituellement du quartz, des feldspaths et du mica, issus des roches magmatiques.

Au cours du temps géologique, ces roches métamorphiques et magmatiques vont se désagréger et s'altérer, et finalement vont donner naissances à de nouvelles roches appelées « formation récente ». Par l'intervention des agents de transport comme l'eau, les débris de roches ont l'occasion de se sédimenter dans les endroits de faible altitude.

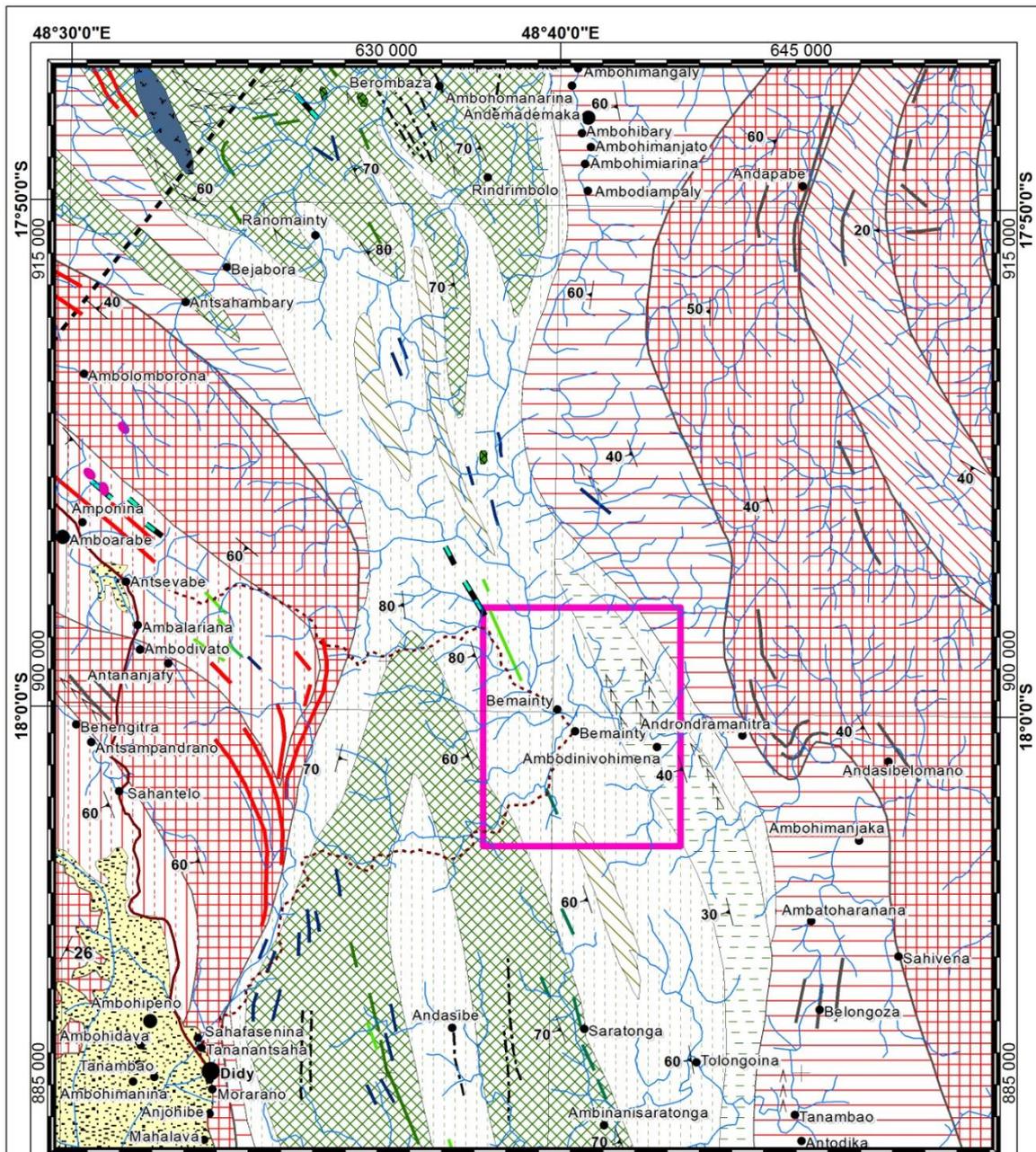
La Figure 5, ci-après, représente la répartition spatiale des différentes formations géologiques rencontrées dans la zone d'étude.

II -2.2. Géologie structurale

La zone de Bemainty et ses environs est affectée par trois (3) types de déformations tectoniques : le plissement, le cisaillement et la fracture.

Au cours du temps géologique, deux (2) phases de plissements affectent cette zone d'étude. Concernant les caractéristiques structurales du cisaillement et les fractures, celles-ci ont une direction générale nord-sud.

Pétrographiquement, l'ensemble des roches métamorphiques ou schistes cristallins ont aussi une direction générale subméridienne avec un pendage variant de 40 à 80° vers l'ouest.



Système de Projection Cartographique :

Sources : Carte géologique, Service géologique, 1961; Haingo, 2016

0 2 4
Source : Km

LEGENDE :

Données topographiques :

- Chef lieu de Commune
- Chef lieu de Fokontany
- Village
- Piste
- ⋯ Sentier
- ~ Rivière
- ▭ Limite de la zone d'étude

- ↖ Direction et pendage de la formation
- Faille probable
- Pegmatites
- Granite statoïde
- Gabbro statoïde
- Roches vertes
- Péridotites
- Cipolins

- Quartzites
- Sillimanite
- Graphite
- Soapstones

Formations géologiques :

- Alluvions
- Gabbro
- Gneiss à muscovite

- Gneiss à sillimanite
- Série amphibolo-pyroxénique
- Serpentes
- Gneiss à biotite
- Migmatites, Gneiss à diopside, amphibole, épidoite, Cipolins
- Leptynite à grenat
- Migmatites à biotite et à amphibole
- Migmatites granitoïdes

Figure 5- Carte géologique de la zone d'étude

II -2.3.Métallogénie du saphir de Bemainty

On y rencontre deux (2) principaux types de gisements de saphir : le gisement primaire et le gisement secondaire. Dans le gisement primaire, le saphir peut être soit d'origine magmatique, soit d'origine métamorphique.

Pour le gisement magmatique, le saphir est associé aux veines ou filons de pegmatites qui se situent aux niveaux des zones les plus affectées par la déformation tectonique telles qu'au niveau des plans axiaux des plis, des zones faillées et des zones de boudinages.

Alors que le saphir d'origine métamorphique correspond au phénomène de cisaillement. Dans ce cas, les roches encaissantes sont des gneiss riches en biotite. Les gneiss peuvent contenir à la fois du sillimanite, du grenat, de la muscovite et du graphite.

Par ailleurs, le saphir lié au gisement primaire se rencontre dans les zones affectées par la déformation tectonique. Par l'intervention de la déformation tectonique, la circulation des fluides hydrothermaux se manifeste et ce phénomène apporte de nouveaux éléments chimiques dans la roche encaissante.

En effet, de nouveaux minéraux accidentels comme le saphir vont se cristalliser. Au cours du temps géologique, le gisement de saphir de type primaire est probablement rapporté à l'orogénèse Pan Africaine.

Par le phénomène d'altération, les roches porteuses de saphir vont se désagréger en donnant naissance à des débris de roches. Puis sous l'action des agents de transport comme l'eau, les débris de roches constitués par le saphir et les autres minéraux détritiques, vont se transporter et se sédimenter dans une zone de basse altitude.

Le gisement de saphir n'est plus de type primaire. Métallogéniquement, on l'appelle gisement secondaire. Dans ce cas, les cristaux de saphir sont associés dans une couche bien distincte qui s'appelle paleoplacer.

II -2.4.Minéralogie du saphir de Bemainty

La minéralogie concentre les diverses approches d'étude des minéraux sur ces fondements descriptifs. Un minéral désigne en minéralogie un corps chimique minéral ou parfois organique, formé en principe naturellement. Un minéral donné est caractérisé par les éléments chimiques qu'il contient, assemblé ou réuni et décrit selon une composition précise donnée par une formule chimique, ici cette formule est représentée par les propriétés chimiques du corindon et, en particulier celles du saphir, ou à défaut selon des limites de compositions

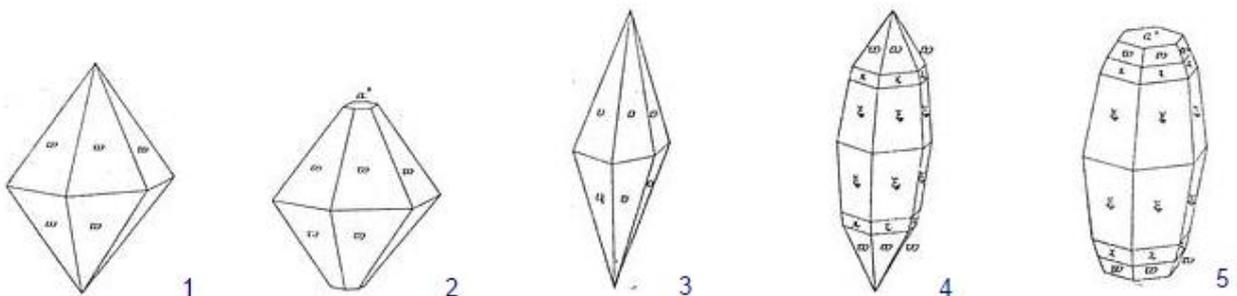
variables, et surtout une structure cristalline, par les propriétés cristallographiques des corindons, et en particulier celles du saphir de Bemainty.

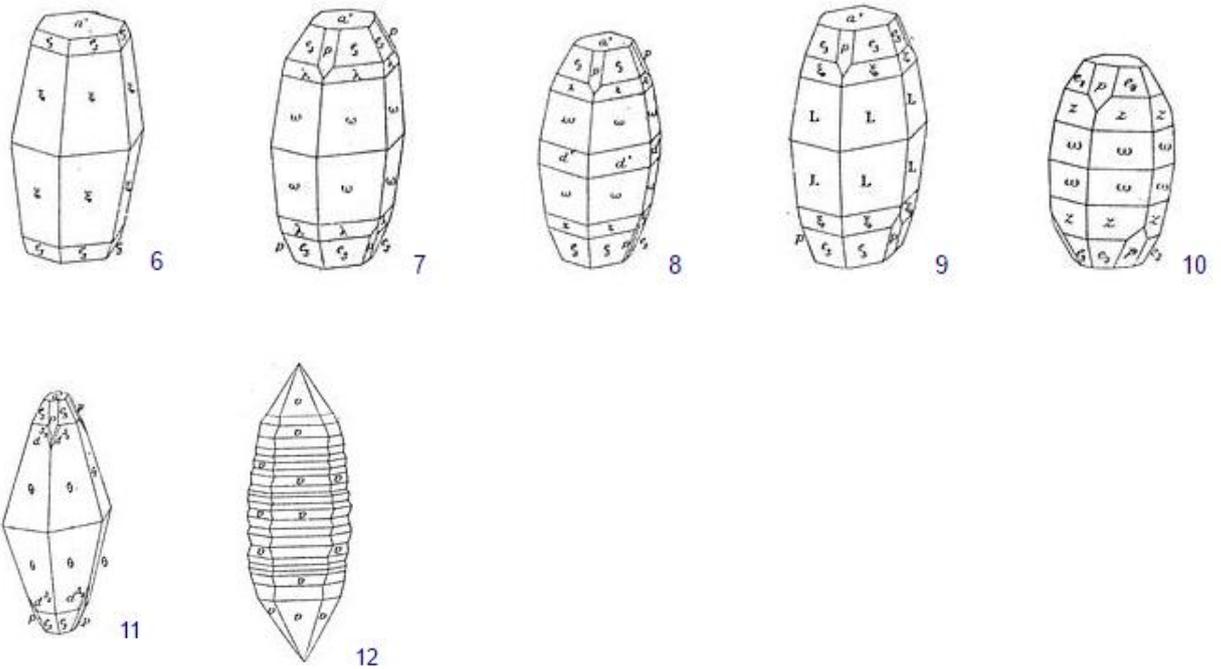
Le corindon est constitué d'aluminium et d'oxygène, le saphir est sa variété gemme. Etymologiquement, le nom saphir vient du grec ancien « σάπφειρος, *sappheiros* » qui signifie « pierre de couleur bleue ». Le saphir fait partie des quatre (4) pierres précieuses, il est constitué de cristaux d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) contenant des impuretés (oxydes) en traces qui lui donnent sa couleur (titane et fer) bleue et ainsi lui confère son meilleur effet sous la lumière du jour. La lumière électrique le rend souvent foncé.

Le corindon est issu du système cristallin « Rhomboédrique », $c=1,3630$ pp $0\ 86^{\circ}4'$; $pa1=122^{\circ}26'$; Mâcle suivant p (1011), souvent polysynthétique, accompagnée de plans de séparation, des plans analogues s'observent aussi suivant a1 (0001) ; Cassure inégale à conchoïdale. Les faces a1 montrent fréquemment le phénomène de l'astérisme, le plus souvent dû à des réflexions sur les plans de séparation p.

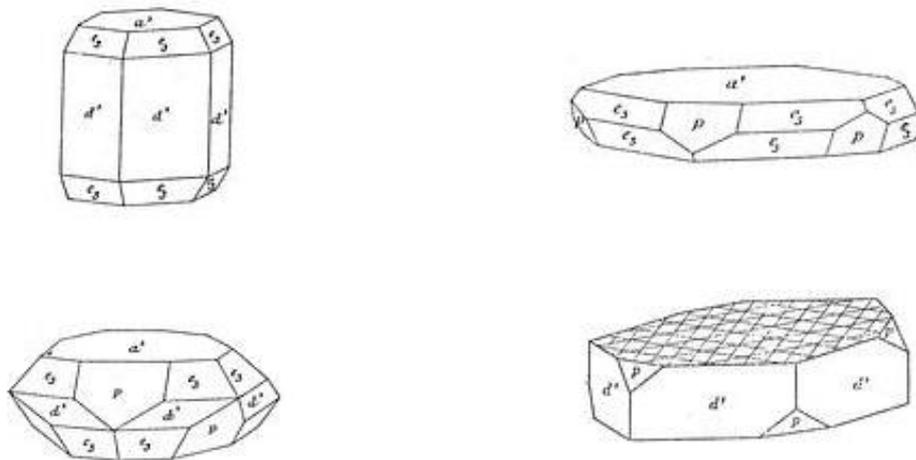
On distingue deux (2) types principaux de corindons à Madagascar :

Type 1 : isocéloédrique, plus ou moins aigu accompagné ou non par une petite face a1 (0001) et plus rarement par des facettes p (1011). Représenté par les figures 1 à 11, mais qui se compliquent souvent par suite de l'irrégularité du développement de certaines de leurs faces et par l'empilement des axes parallèles d'un grand nombre d'individus, figure 12 ;





Type 2 : caractérisé par l'association du prisme d1 (1120) à une large base, auxquels peuvent s'adjoindre des isocèles, parmi lesquels e3 est le plus fréquent, ainsi que le rhomboèdre p. La base des cristaux de corindon malgache porte très fréquemment des stries ou des figures triangulaires en relief, limitées par p.



Se référant à ces études faites sur les caractéristiques du système cristallin des corindons de Madagascar, et en observant les échantillons recueillis sur le site, le saphir de Bemainty se range dans la catégorie du type 2 (voir Fig. 6)



Figure 6- Six (6) saphirs naturels bruts de Bemainty, pesant au total 7 grammes

Selon l'échelle de Mohs qui fut inventé en 1812 par le minéralogiste allemand Friedrich Mohs afin de mesurer la dureté des minéraux, le corindon qui regroupe les saphirs et rubis a une dureté 9.

Cette dureté est basée sur dix (10) minéraux facilement disponibles. Comme c'est une échelle ordinale, on doit procéder par comparaison (capacité de rayer l'un à l'autre) avec deux autres minéraux dont on connaît déjà la dureté. Cette échelle n'est ni linéaire ni logarithmique.

III - Contexte gemmologique

La gemmologie est une science appliquée. Son but est la connaissance, l'identification des gemmes, et l'étude des pierres gemmes. Une gemme est une pierre fine, précieuse ou ornementale, matière dure, colorée, utilisée comme ornement.

Pour mériter l'appellation de gemme, cette matière minérale ou substance organique telle que perle, ambre ou corail, doit être attrayante, surtout par sa couleur. Elle doit être peu altérable, et assez solide pour survivre à un usage constant ou aux manipulations, sans se rayer ou s'endommager.

Une gemme est souvent taillée par le lapidaire pour finir monter en bijou ou tout autre ornement en joaillerie.

III-1. Gemmologie du saphir de Bemainty

En ce qui concerne le saphir de Bemainty, une étude des caractéristiques de cette gemme a été réalisée à l'aide de quelques échantillons issus du site visité. (voir Fig. 7)



Figure 7- Le site de Bemainty qui regroupe plus de 50 000 personnes vers fin octobre

Les échantillons prélevés (*Fig. 6*) ont été analysés par différents instruments gemmologiques et l'un d'entre eux a été taillé (*Fig. 8*) afin de permettre de relever les indices de réfraction du spécimen étudié.



Figure 8- Saphir taillé en coussin carré, acettes brillantes de 4.030 carats

III-1.2. Moyens mis en oeuvre

Principalement, il a eu recours à des moyens optiques et à certains appareils dont les éléments d'information conjugués permettent d'obtenir des résultats probants par recouplements et succession de tests. Il convient d'appuyer l'étude sur une méthode rationnelle, utilisant dans un ordre rigoureux, les appareils appropriés suivants et les observations relevées à chaque étape.

a) La loupe binoculaire : le binoculaire, c'est-à-dire à objectif double est le mieux adapté pour la gemmologie. Le microscope est de première importance dans la détection des contrefaçons. En effet, l'étude des inclusions que peut contenir la pierre est un moyen pratique d'identifier les gemmes tout en expliquant dans une certaine mesure les conditions dans lesquelles elles se sont formées dans la nature.

Un microscope à immersion Krüss zoom a été utilisé pour l'observation des inclusions des échantillons prélevés sur le site de Bemainty. Il dispose d'un équipement très complet :

- un éclairage par transparence avec fond noir
- un éclairage lumière froide bras en fibre optique
- une pince orientable
- une cellule à immersion + liquide

Son équipement optique dispose d'un jeu d'oculaires SWF 10x, et d'un objectif zoom de 0.7 à 45x et permet ainsi un grossissement sans étapes de 7x à 45x. Le 3e tube permet l'adaptation d'un boîtier photo réflech d'une caméra vidéo.

b) Le polariscope : sert à déterminer les pierres taillées et les pierres brutes. A l'aide de deux filtres polarisants on obtient directement la structure et les propriétés des pierres précieuses ou des minéraux.

Le minéral isotrope ou cubique reste foncé et inchangé. Un minéral anisotrope ou biréfringent produit un clignotement entre foncé et clair sur 4 positions lors d'une rotation complète de 360°.

Le polariscope utilisé lors de cette étude est un SE System Eickhorst, un minéral biréfringent observé dans la direction de l'axe C se comporte comme isotrope. Il est nécessaire d'observer chaque minéral dans différentes directions. Un minéral micro cristallin reste illuminé en permanence.

Les tensions internes deviennent visibles. Des nuages traversent la pierre lors d'une rotation complète. Cet effet est dû aux tensions internes.

c) Le dichroscope : dont la partie principale est composée d'un tube comportant une fenêtre à l'une des extrémités et une lentille à l'autre, entre les deux est montée une pièce de calcite, choisie à cause de sa forte double réfraction de façon à ce que deux images de la fenêtre apparaissent côte à côte à l'observateur qui regarde dans l'oculaire. La lumière des

images adjacentes de la fenêtre vibre dans deux plans perpendiculaires l'un à l'autre à raison d'un seul plan pour chaque image.

La rotation de la pierre est un facteur important lors du contrôle du dichroïsme, car dans toutes les pierres biréfringentes, il existe une ou deux directions d'uniréfringence, dites axe optique.

Le dichroscope fonctionne selon le principe de la polarisation de la lumière. 2 filtres polaroïds croisés côte à côte, en sélectionnant les vibrations lumineuses de manière différente alors on verra 2 couleurs différentes. En plaçant deux parties d'un filtre polarisant côte à côte et tourné à 90°, il est possible de percevoir les différences de couleurs de la pierre, celui utilisé lors de ces analyses est de fabrication belge.

- d) Le réfractomètre : sert en gemmologie à déterminer l'indice de réfraction des pierres précieuses. Détermine aisément l'indice de réfraction sur l'échelle visible dans l'oculaire. Mesure et affiche le résultat Indice de réfraction simple d'un spinel : RI = 1.718 Double réfraction d'une tourmaline : RI = 1.62-1.64

Le réfractomètre sert à déterminer le ou les indices de réfraction de la pierre. Cet instrument calcule la vitesse à laquelle le ou les rayons lumineux ressortent de la pierre et l'indique sur une échelle.

La gemme est placée sur une vitre enduite d'une fine particule de liquide composé entre autre de iode de méthylène qui montre un indice de réfraction de 1.81 (ce liquide est toxique). Le réfractomètre portable de Gem Tester Model CL 181 a été utilisé pour la prise des RI de l'échantillon analysé.

e) La densité ou le poids spécifique : la détermination de la densité à la balance hydrostatique repose sur le principe d'Archimède. Tout liquide exerce une poussée qui s'oppose au poids de la pierre plongée dans celui-ci. Archimède a démontré que cette poussée était proportionnelle au volume et plus précisément égale au poids en faisant la différence entre le poids réel de la pierre et son poids dans l'eau, sans oublier de faire la tare. La formule utilisée est :

$$\text{Densité} = \frac{\text{Poids de la pierre dans l'air}}{\text{Poids dans l'air} - \text{Poids dans l'eau}}$$

La balance hydrostatique utilisée lors de ce test est un Mettler Toledo Monobloc CB 603.

III-1.3. Résultats obtenus

- Une étude microscopique des caractéristiques internes observées dans les six (6) échantillons prélevés, ont révélé de nombreuses inclusions couramment observées dans les saphirs provenant d'autres dépôts connus.

Quelques traits inhabituels ont également été notés dans les pierres étudiées, les figures suivantes sont destinées à fournir un aperçu général des certains types d'inclusions rencontrées dans les saphirs du nouveau site de Bemainty.

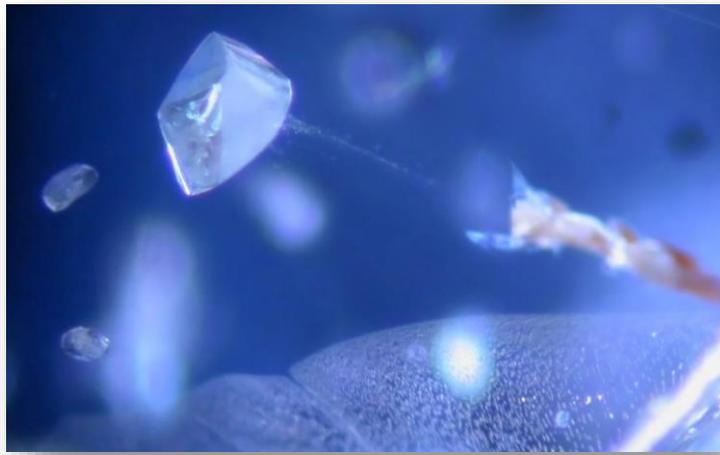


Figure 9- Inclusion de cristaux de magnésite associée à une structure fine de type queue de comète. Éclairage de champ sombre, agrandi 45x

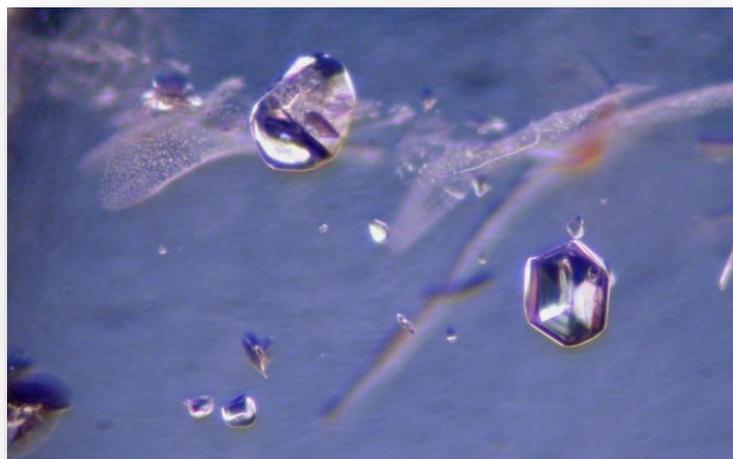


Figure 10- Inclusions d'apatite. Éclairage de champ sombre, agrandi 45x

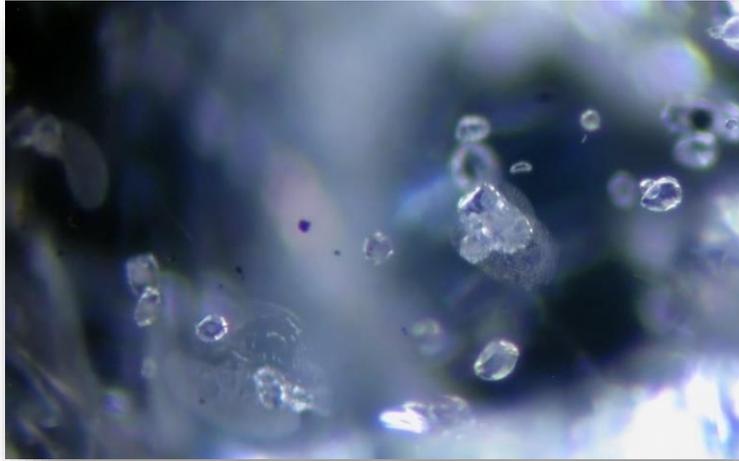


Figure 11 : Des inclusions de cristaux de zircon associées à des fissures cicatrisées et de petits cristaux opaques noirs visibles dans un saphir bleu observé. Éclairage de champ sombre, agrandi 45x



Figure 12 : Forte coloration bleu / incolore associée à des cristaux de zircons dans un des saphirs observés. Éclairage de champ sombre, agrandi 45x

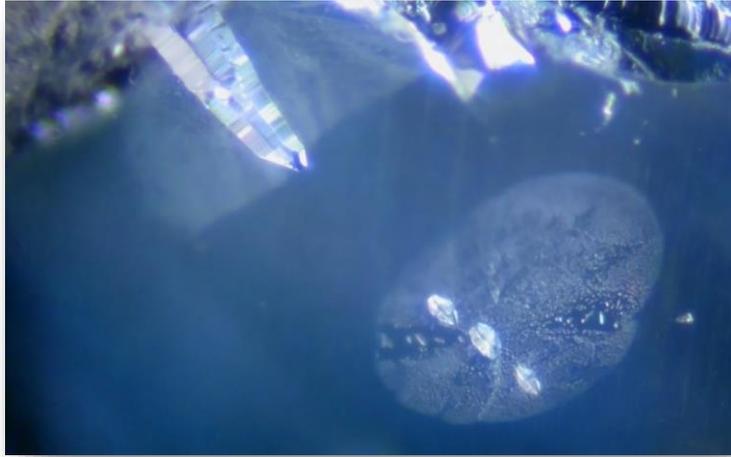


Figure 13 : Cristaux négatifs associés à des fissures cicatrisées. Éclairage de champ sombre, agrandi 30x.

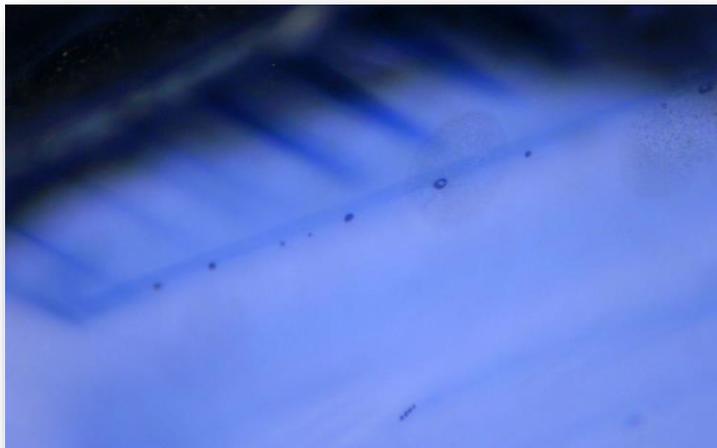


Figure 14 : Détails de petits cristaux négatifs disposés le long d'une bande de couleur bleu foncé et associés à une fissure cicatrisée dans l'échantillon en utilisant l'illumination de champ lumineux et un grossissement de 35x.

- L'analyse au polariscope révèle une anisotropie de l'échantillon étudié.

La pierre observée entre les filtres croisés à l'aide d'une rotation de 360° . Elle produit un clignotement entre foncé et clair sur 4 positions lors de cette rotation complète de 360° .



Figure 15 : Position 1 et 2 (clair et foncé) lors la première moitié de rotation à 180°



Figure 16 : Position 3 et 4 (clair et foncé) lors de la deuxième moitié de rotation à 180°

- En ayant observé une anisotropie de l'échantillon étudié lors du test au polariscope,

Il est donc évident de détecter le pléochroïsme à l'aide du dichroscope. La couleur des gemmes anisotropes subit des variations selon la direction d'observation. Cette particularité visible dans certains cas à l'œil nu.

Une gemme anisotrope dédouble les rayons lumineux qui la traversent. Ajoutons qu'elle colore différemment chacun de ces rayons. Il en résulte :

- qu'une gemme uniaxe possède deux (2) couleurs principales. Elle est dichroïque. Ses couleurs se répartissent de la façon suivante : une couleur pure dans l'axe de croissance (direction d'isotropie), une couleur composite perpendiculaire à cet axe, résultant du mélange des deux rayons.



Figure 17- Une couleur dans l'axe de croissance



Figure 18- Deux couleurs distinctes dans l'axe d'anisotropie

Dans le cas du saphir observé, il a été détecté un net dichroïsme.

- Le saphir taillée en facettes a été utilisée lors de la mesure au réfractomètre car une facette de 2mm au moins est indispensable pour une meilleure lecture des indices de réfraction.

L'élément principal du réfractomètre est un verre d'indice de réfraction élevé ($n=1.81$) sur lequel est déposé la pierre. Un liquide d'indice $n=1.79$ sert de joint entre le verre et la pierre. Une légère pression du doigt est exercée sur la pierre après s'être assuré qu'elle est correctement placée, puis il faut refermer le couvercle. L'ombre apparaissant sur l'échelle du réfractomètre est d'autant plus étendue que l'indice est élevée, c'est le cas pour l'échantillon de saphir mesuré.

Deux indices de réfraction RI sont observés, car la pierre est biréfringente, $bi=0,08$



Figure 19- np 1,762



Figure 20- ng 1,770

- La méthode de la balance hydrostatique permet de calculer le poids spécifique du saphir.

La densité du groupe du corindon est de 4 (*valeur de référence*), l'échantillon analysé donne le résultat, ci-après. La formule utilisée est :

$$\text{Densité} = \frac{\text{Poids de la pierre dans l'air (4,030)}}{\text{Poids dans l'air (4,030) - Poids dans l'eau (3,019)}} = 3,99$$



Figure 21- Prise de poids dans l'air et dans l'eau de l'échantillon

IV- Conclusion

Après examen, les saphirs bleus de Bemainty se sont révélés être du type métamorphique avec un taux élevé de fer. Dans l'ensemble, leur morphologie et leurs propriétés gemmologiques rappellent les saphirs bleus de Mogok en Birmanie ou de Tunduru en Tanzanie.

Tandis que les saphirs bleus de Bemainty exhibaient souvent un fort zonage des couleurs, beaucoup d'autres pierres avaient juste une coloration. Avec de telles inclusions, des pierres présentant des zones uniformément colorées en bleu, les fissures cicatrisées associées à des inclusions de cristaux transparents incolores assez larges rappellent ce qui peut être vu dans les saphirs bleus de Mogok en Birmanie qui partagent également une teneur relativement élevée en fer.

L'inclusion cristalline la plus courante observée dans les saphirs bleus étudiés de cette région sont des cristaux de zircons sous forme de monocristaux associés ou non à des fissures de tension. Outre les cristaux de zircon, des inclusions de magnésite et d'apatite sont observés. La présence d'un carbonate comme la magnésite suggère un environnement géologique de type métamorphique dans la formation de ces saphirs.

Références bibliographiques

- B. Moine et al. (2006 et 2008). Les ressources minières de Madagascar. pp47
- BGS et al. (2008). Geochronology-detrital zircon analyses. pp20
- BGS et al. (2008). Metamorphic map. pp6
- BGS et al. (2008). Actualisation de la cartographie géologique de la région d'Andriamena. pp35
- Blanche P. (2015). Les mines de saphir. Extrait du livre Madagascar l'île continent.
- Darbellay J. & A. GGGems (2014). The Novel of A. Darbellay. (CH) 1002 Lausanne Switzerland, P.O. box 5838
- Gemmantia (2015). Saphir de Madagascar, 17, rue Duphot - 75001 Paris
- Hervieu S. (2015). Reportage à Ankiliabo, dans la jungle du saphir malgache. Le Monde Afrique
- Hpone-Phyo K.-N., Stefanos K., Klemens L., Kyaw T., Lore K., and Pierre H. (2013). Blue Sapphires from the Baw Mar Mine in Mogok, Peer Reviewed Article. GIA
- Le Règne Minéral (2004). Les placers à corindon gemme. Revue bimestriel N°55- pp36
- R. Saholy (2008). Les corindons gemmes dans les basaltes alcalins et leurs enclaves à Madagascar. Thèse de doctorat, Université d'Antananarivo, pp13
- R. Voahangy (2008). Les indices à corindons gemme du socle précambrien de Madagascar. Thèse de doctorat, Université d'Antananarivo, pp25
- Stern F. (2015). Le saphir Etoilé de Madagascar. Le Tamarin, Plage de Madirokely. Nosy Be Madagascar
- Vincent P., Wim V. (2016). Colored Gemstone Mining in Tanzania. GIA