



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE

VAKINANKARATRA (IES-AV)

MENTION : GENIE MINIER

PARCOURS : SCIENCES ET TECHNIQUES MINIERES

MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE LICENCE

Intitulé :

**AMELIORATION DE
L'EXPLOITATION DU GISEMENT DES
TOURMALINES DANS LA VALLEE DE
SAHATANY**

Par

RANDRIAMAHENINTSOA Hajatiana Samuelson



Année universitaire : 2018-2019



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE

VAKINANKARATRA (IES-AV)

MENTION : GENIE MINIER

PARCOURS : SCIENCES ET TECHNIQUES MINIERES

MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE LICENCE

Intitulé :

**AMELIORATION DE
L'EXPLOITATION DU GISEMENT DES
TOURMALINES DANS LA VALLEE DE
SAHATANY**

Par

RANDRIAMAHENINTSOA Hajatiana Samuelson

Soutenue publiquement le 05/11/2020 devant les membres du Jury :

Président : Professeur RAKOTONINDRAINY

Rapporteur : Madame NARINDRANIAINA Sabine Josée

Examineurs :

-Monsieur ZARAMPIRENENA Ratolojanahary

-Madame RASAMIMANANA Valisoa

Année universitaire : 2018-2019



REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements tout d'abord à Dieu tout puissant qui m'a donné la force et la santé tout au long de mes études jusqu'à ce jour, puis à toutes les personnes qui ont porté intérêt à l'élaboration de ce mémoire, en particulier :

- Monsieur RAJAONARISON Eddie Franck, Directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe-Vakinankaratra qui nous a voulu autoriser la soutenance de ce mémoire ;

- Monsieur ZARAMPIRENENA Ratolojanahary, Responsable de la Mention Génie Minier à l'IES-AV pour son aide sur la réalisation de la présentation de ce mémoire et d'avoir accepté le rôle d'examineur ;

- Monsieur RAKOTONINDRAINNY, Professeur, Ancien Directeur de l'ESPA Annexe Vakinankaratra, pour la qualité de la formation qu'il nous a dispensée pendant nos études et qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire ;

- Madame RASAMIMANANA Valisoa, Assistante chercheur, pour ses précieux conseils et son aide pendant nos études et d'avoir accepté le rôle d'examineur ;

- Madame NARINDRANIAINA Sabine Josée, pour avoir accepté de m'encadrer lors de ce travail de mémoire. Son encouragement, son soutien et ses conseils ont été de précieux apports durant la réalisation de ce mémoire ;

A tous les Enseignants de la Mention Génie Minier de l'IES-AV et du Département Mines à l'ESPA, qui nous a donné le meilleur d'eux-mêmes tout au long de nos études ;

A tous les exploitants dans la vallée de Sahatany, pour les renseignements sur l'exploitation ;

A tous mes collègues et mes amis pour leurs aides, leurs encouragements et leurs précieux conseils ;

A mes parents et à toute ma famille qui ont m'encouragée, soutenue moralement et surtout financièrement durant ma scolarité ; je ne reste pas insensible à leur sacrifice qui m'ont permis de mener à bien ce mémoire.

DE TOUT MON COEUR, JE VOUS REMERCIE

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ANNEXES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION

PREMIER PARTIE : GENERALITES

Chapitre I : LOCALISATION ET GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Chapitre II –RAPPEL SUR LA TOURMALINE

**DEUXIEME PARTIE : EXPLOITATION DES TOURMALINES SUR DES
FILONS DE PEGMATITES DE LA SAHATANY**

Chapitre III : LES PEGMATITES

**Chapitre IV : CARACTERISATION DE L'EXPLOITATION SOUTERRAINE DE LA
SAHATANY PAR RAPPORT AU GISEMENT DE TOURMALINE DE MADAGASCAR**

TROISIEME PARTIE : SUGGESTION ET RECOMMANDATION

Chapitre V : SUGGESTION

Chapitre VI : RECOMMANDATION

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIES

WEBOGRAPHIES

ANNEXES

LISTE DES ABREVIATIONS

ELEMENTS CHIMIQUES

Na: Sodium

Ca: Calcium

Li: Lithium

Al: Aluminium

Fe: fer

Mg: Magnésium

Mn: Manganèse

B: Bore

Si: Silice

O: Oxygène

F: Fluore

H: hydrogène

UNITES DES MESURES

Km : kilomètre

m : mètre

g: gramme

kg: kilogramme

ABREVIATIONS

SQC : Shisto-Quartzo-Calcaire

EPI : Equipement de Protection Individuel

BCMM : Bureau de Cadastre Minier de Madagascar

FTM : Foibe Taotsarintanin'ny Madagasikara

E: Exploitation

R: Recherche

PRE: Permis réservé aux petits exploitants

JIRAMA: Jiro sy Rano Malagasy

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : La route vers la commune rurale d'Ibity.....	ii
Annexe 2 : Le site d'exploitation des tourmalines et béryls des champs pegmatitiques de Tsarafara	ii
Annexe 3 : Caractéristiques des gemmes Malagasy	iii
Annexe 4 : Les gisements de tourmaline de Madagascar	iv ; v

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Mont d'Ibity	5
Photo 2:Carrière des cipolins	5
Photo 3: HOLCIM.....	5
Photo 4: Rivière de la Sahatany	6
Photo 5: Mine de tourmaline et béryl de Sahatany	6
Photo 6: Soutènement et éclairage dans la mine souterraine	25
Photo 7: Puits d'une petite exploitation de Tsarafara.....	28
Photo 8:Puits d'une petite mine souterraine avec palan	29
Photo 9: Femme travail sur le tamisage	30
Photo 10: Soutènement d'un puits par des planches vu dans un site d'exploitation mécanisé de Tsarafara	37
Photo 11: Soutènement par boisage dans la galerie	37
Photo 12: Remise en état de la mine	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1: carte de le district d'Antsirabe-II qui le montre la commune d'Ibity.....	3
Figure 2: Délimitation de la commune rurale d'Ibity	4
Figure 3: Présentation de la série SQC dans le socle cristallin de Madagascar	9
Figure 4: Structure cristalline de la tourmaline	14
Figure 5: Equipement de protection individuel	26
Figure 6: Panneau de signalisation dans l'exploitation minière.....	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Liste des éléments majeurs et en traces des tourmalines.....	13
Tableau 2: Les groupes des tourmalines	16
Tableau 3: Minéralogie des pegmatites d'Ibity.....	21
Tableau 4: Liste des pierres gemmes dans la pegmatite	22
Tableau 5: Identification de dangers	31
Tableau 6: Estimation de production du site d'exploitation de Sahatany.....	32
Tableau 7: Prix de la tourmaline de Sahatany selon la qualité.....	32
Tableau 8: Autorisation et permis miniers à Madagascar	35

INTRODUCTION

Madagascar c'est une île classée parmi les Pays producteurs des pierres précieuses de qualité supérieure sur le marché international. Il existe plusieurs types de gisements à Madagascar, parmi eux les gisements des pegmatites sodolithiques de la vallée de Sahatany située à 25 km au Sud-Ouest d'Antsirabe. Plusieurs minéraux peuvent être trouvés dans ce gisement mais principalement les tourmalines, béryls, topaze, orthose rose et d'autres pierres gemmes en font partie.

Ibity est une commune rurale qui dispose plusieurs sites d'exploitation de tourmalines mais les petits exploitants utilisent toujours la méthode artisanale, et des matériels traditionnels qui provoquent des risques et des dangers pour eux-mêmes et par la suite influencent la productivité de leur travail.

Pour cela, ce travail qui s'intitule « **amélioration de l'exploitation du gisement de tourmaline de la Sahatany** » a été mené afin d'apporter des aides aux petits exploitants pour déterminer les dangers, d'estimer les risques liés à leur travail et de donner l'amélioration sur l'exploitation par l'utilisation de nouvelle technique et de méthode mécanisée.

Pour atteindre cet objectif, l'étude a été effectuée successivement en trois grandes parties dont la première partie correspond aux généralités comprenant : la localisation, la géologie de la zone d'étude ; et les rappels sur la tourmaline.

Ensuite, la deuxième partie consiste à élaborer l'exploitation des tourmalines sur des filons de pegmatites de la vallée de Sahatany : l'étude des pegmatites et la caractérisation de l'exploitation souterraine de la Sahatany par rapport au gisement de tourmaline de Madagascar.

Pour terminer, la troisième partie expose la suggestion et recommandation.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

Chapitre I: LOCALISATION ET GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

A- Présentation de la commune rurale d'Ibity

Madagascar se divise en six provinces :

Toamasina, Mahajanga, Fianarantsoa, Antananarivo, Toliara et Antsiranana et la vallée de Sahatany fait partie de la province d'Antananarivo dans la région du Vakinankaratra, district d'Antsirabe-II dans la commune rurale d'Alatsinainy-Ibity, environ 25km au Sud-Est de la ville d'Antsirabe.

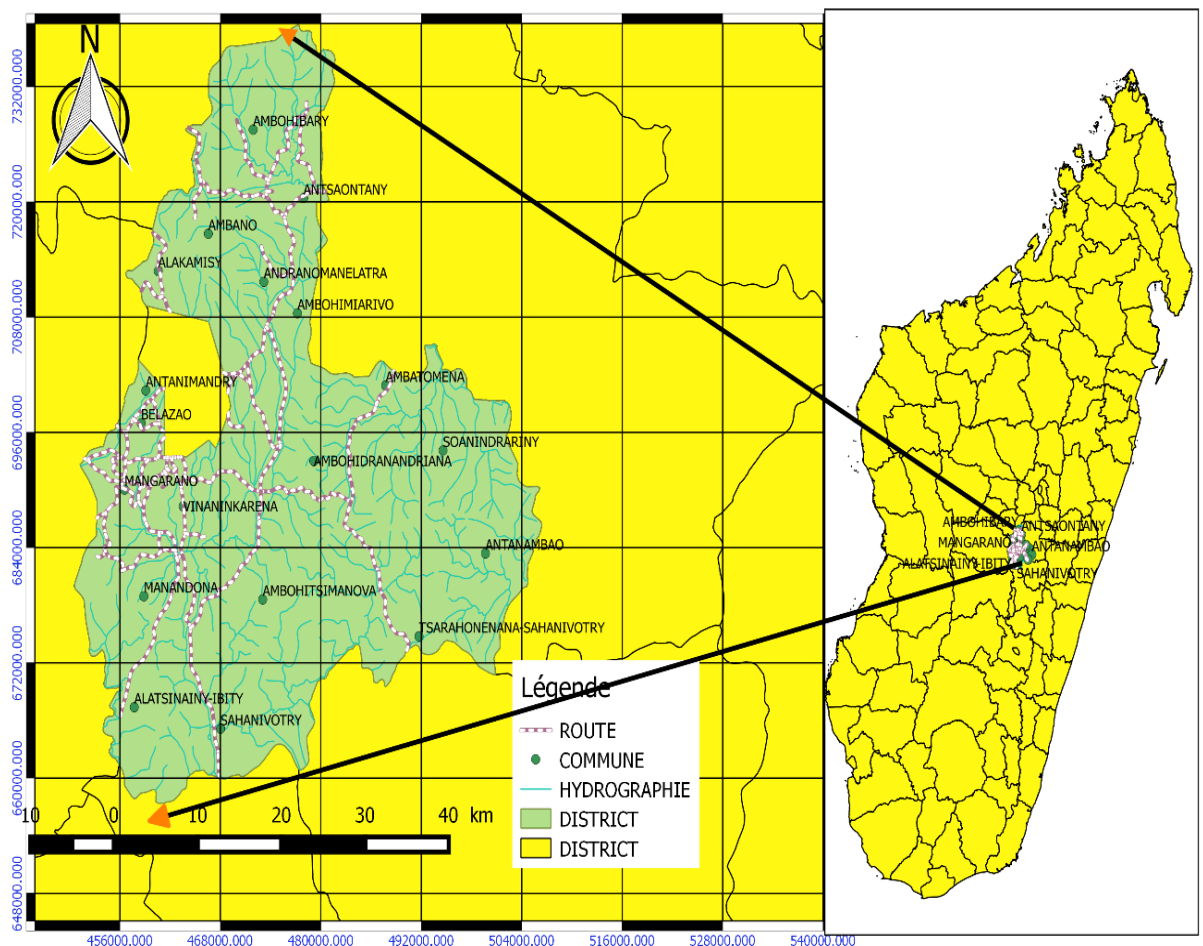


Figure 1: carte de le district d'Antsirabe-II qui le montre la commune d'Ibity

Source : BD500FTM

1-Délimitation de la commune d'Ibity

La commune rurale d'Ibity est délimitée par les cinq communes suivantes :

- Au Nord et au Nord-Est : la commune de Manandona
- Au Nord-Ouest : commune de Tritriva
- A l'Est : commune de Sahanivotry
- A l'Ouest : commune d'Alakamisy-marososona
- Au Sud : commune de Sahatsiho-Ambohimanjaka

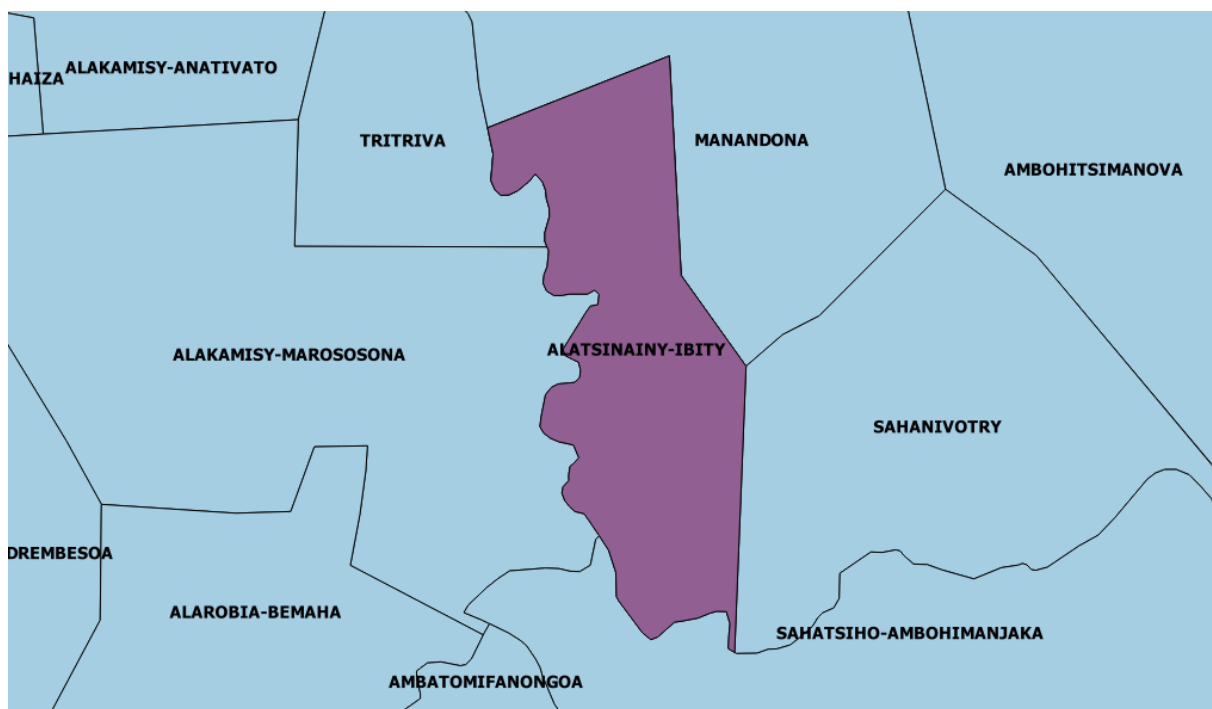


Figure 2: Délimitation de la commune rurale d'Ibity

Source : *BD500FTM*

2-Characteristique de la commune d'Ibity

La commune rurale d'Ibity a une surface de 250 Km². Elle est composée de 6 Fokontany et le nombre d'habitants est de 18231. Elle est aussi caractérisée généralement par :

-Le mont d'Ibity qui constitue essentiellement par des Quartzites, calcaires, shistes



Photo 1: Mont d'Ibity

-HOLCIM et une carrière de Cipolin : cette usine minière exploite les cipolins pour la fabrication des ciments.



Photo 2:Carrière des cipolins



Photo 3:USINE DE TRAITEMENT D' HOLCIM

-Une rivière qui traverse la vallée de Sahatany



Photo 4: Rivière de la Sahatany

-Mine des tourmalines et béryls



Photo 5: Mine de tourmaline et béryl de Sahatany

B : Géologie de la zone d'étude

Madagascar se divise en deux grandes formations géologiques dont l'un c'est le socle cristallin et l'autre c'est la couverture sédimentaire. La région d'Ibity se trouve dans le socle cristallin d'âge précambrien dans le domaine d'Antananarivo.

1: Géologie régionale

Concepts sur la géologie régionale

La série (SQC) Schisto-Quartzo-Calcaire dans la région d'Ibity avait considérée comme la formation terminale de précambrien. Les Schistes sont des argiles métamorphisées, les quartzites sont des sables métamorphisés et les calcaires métamorphisés donnent les cipolins.

Donc, la série SQC est des roches métamorphiques essentiellement de faible métamorphisme et dérivées des roches sédimentaires. Du point de vue structural, la série SQC est en discordance avec le système de graphite et elle possède généralement une structure plissée. Dans cette région, les couches relativement puissantes sont les Schistes, les Quartzites et les Cipolins ; alors Ibity se situe dans la série SQC et les sédiments déposés sont d'origines continentales et marines.

Les grands ensembles lithotectoniques du socle de Madagascar

Le socle cristallin constitue les deux tiers de la superficie de Madagascar. Il est constitué de matériel archéen et protérozoïque fortement tectonisés et métamorphisés durant l'orogénèse panafricaine. Une présentation générale de ce socle a été distingué quatre ensembles principaux dans la partie centrale :

- le craton archéen de l'Antongil au-dessus duquel prend place une succession de formations composées de la base au sommet par le système du **Graphite**,
- la série SQC (Shisto-Quartzo-Calcaire)
- le système du **Vohibory**
- le groupe de l'**Itremo**.

On distingue deux systèmes au Nord de la ligne Bongolava-Ranotsara : à la base, celui du **Graphite** constitué des gneiss et des migmatites à biotite et au sommet celui du **Vohibory** constitué de gneiss à dominante plus calcique, des quartzites et des cipolins. Ce dernier ensemble est à dominante paradérivée

La série SQC (Schisto-Quartzo-Calcaire)

Les schistes

Il s'agit des schistes pseudo-ardoisiers à grains fins, à extension plus restreinte que la série des quartzites. Ils s'observent soit sous la forme d'un ensemble quartzo-micacé à schistosité plane très

marquée, soit sous celle d'un banc de micaschiste homogène. Les principaux minéraux sont la muscovite et la biotite en proportion variable.

Les quartzites

Ils couvrent la majeure partie du groupe SQC avec des puissances apparentes de 1500 m sur le mont d'Ibity. Ils peuvent présenter des bancs métriques ou décamétriques interstratifiés dans les autres faciès du groupe. Ils sont formés essentiellement de quartz à granulométrie variable (grains fins à gros grains) et de minéraux accessoires tels que la muscovite, la biotite, la tourmaline, le microcline et la sillimanite. Des quartzites à itacolumite c'est-à-dire des quartzites à grains très fins de quartz et de micas, engrenés d'une manière lâche et articulée, leur conférant une certaine flexibilité, sont également décrits. Les quartzites présentent le plus souvent des structures sédimentaires telles des stratifications entrecroisées, des rides sédimentaires et des niveaux conglomératiques.

Les cipolins

Ce sont des roches carbonatées considérées comme le sommet de la colonne stratigraphique du Groupe SQC. Deux faciès majeurs y sont reconnus avec un marbre blanc à stromatolites (construction discoïde ou mamelonnée due à l'activité d'algues bleues-Cyanophycées) et un marbre brun sableux. Ces roches sont constituées de calcite et de dolomite, du quartz, de la trémolite, du diopside, de la biotite, du péridot, de la phlogopite, du microcline et de disséminations sulfurées à pyrite, chalcopyrite et galène.

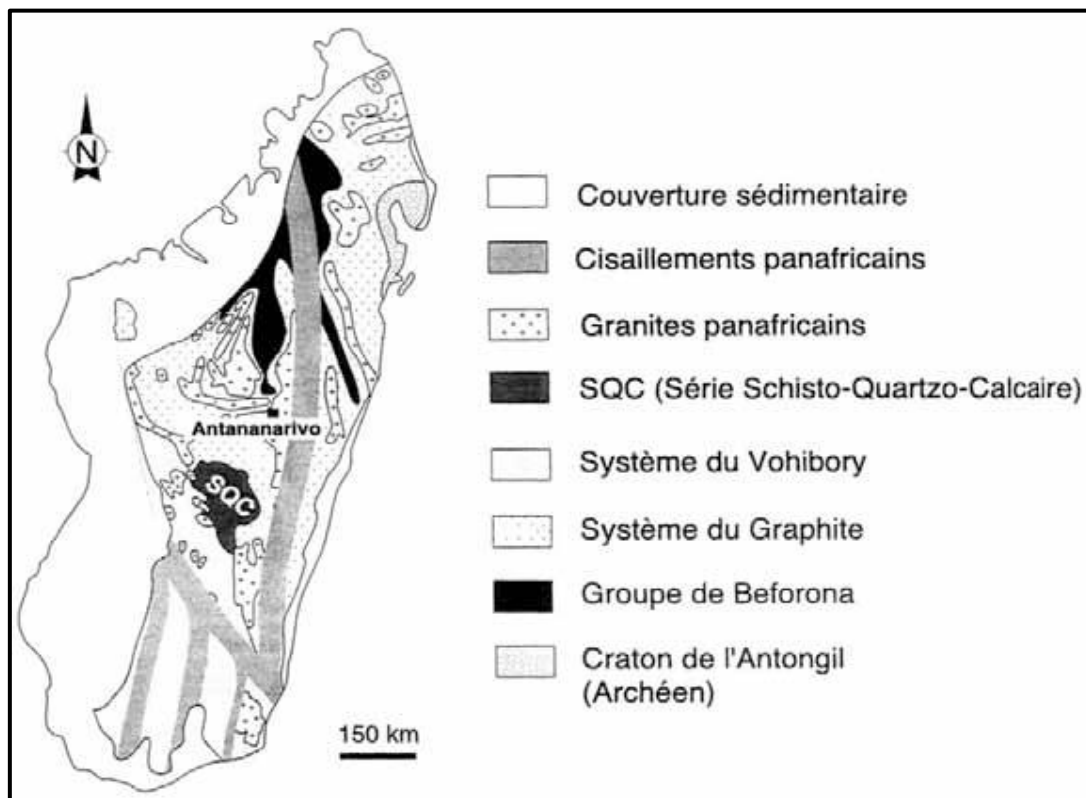


Figure 3: Présentation de la série SQC dans le socle cristallin de Madagascar

2 : Géologie structurale

La région d'Ibity fait partie de la nappe d'Itremo.

Du point de vue stratigraphique, cette nappe possède les caractéristiques suivantes :

- A la base, il y a le groupe du Graphite appelé aussi bloc d'Antananarivo
- Au milieu, il y a la nappe d'Itremo. Du point de vue structural, la nappe d'Itremo est en discordance avec le Bloc d'Antananarivo.
- Et la nappe d'Itremo est surmontée par le Groupe d'Amborompotsy

Du point de vue géodynamique, il est à noter que cette région est affectée par la multiphase de déformations tectoniques comme le plissement régional, le replissement, le cisaillement et aussi de déformation cassante. Structuralement, les formations géologiques rencontrées dans cette région ont une direction générale subméridienne et les schistes cristallins sont généralement recoupés par des formations récentes sous forme des filons. Et la vallée de Sahatany correspond à la position synclinale.

3 : Formation géologique

L'histoire géologique de cette région avait débuté aux 1850 M et marqué par la formation du bassin géosynclinal dû à l'intervention de la déformation tectonique de type cassant sur le Bloc d'Antananarivo.

Une fois que le bassin géosynclinal s'est formé, la phase de sédimentation va commencer pendant laquelle des séries ou des séquences de roches sédimentaires vont s'y déposer

En d'autres termes, on peut rencontrer deux types des faciès :

- Le faciès continental matérialisé par des dépôts d'origine continental qui regroupe les séquences pétilitiques, et les arénacées tandis que l'incursion marine dans cette région assure la mise en place des minéraux carbonatés qui vont se transformer finalement en calcaires ou en cipolins par l'intervention du phénomène de métamorphisme.

- La séquence arénacée est formée par des minéraux de quartz et des argiles tandis que la séquence pétilitique est constituée essentiellement par des argiles, des micas et autres minéraux détritiques.

Du point de vue minéralogique, ces protolites sont des minéraux silico-alumineux provenant de l'altération des roches mères venant du groupe du Graphite comme les migmatites, les gneiss et les granitoïdes. D'après RB Collins et al (2003), la phase de sédimentation s'était manifestée au cours du temps géologique relativement longue et les sédiments déposés vont se métamorphisés en donnant naissances à des roches métamorphiques : Schistes, Quartzites et les cipolins. Puis au 800-790 Ma, une nouvelle déformation tectonique de type souple caractérisé par un raccourcissement d'Ouest-Est et qui donne naissance à un plissement régional.

Il faut signaler que chaque phase de déformation tectonique est généralement suivie du phénomène de métamorphisme avec du degré faible au degré élevé.

4 : Pétrographie

La région étudiée est constituée essentiellement par les schistes cristallins ou roches para-métamorphiques formées dans des conditions de métamorphisme différentes allant du degré faible au degré élevé telles que les migmatites, les schistes et micaschistes, les quartzites et les cipolins. Dans l'ensemble, on remarque que les roches de faible métamorphisme constituent des couches relativement puissantes que les autres types de roches.

En d'autres termes, les couches de schistes, des quartzites et des cipolins sont largement développées que les autres types de formations géologiques rencontrées dans cette région.

La mise en place de l'ensemble des roches magmatiques correspond aux phénomènes de déformations tectoniques qui peuvent être des types cassants ou des types souples.

Du point de vue pétrographique, on y rencontre une variété des roches magmatiques allant des séries basiques (gabbros, basaltes) aux séries acides (granites, syénites et pegmatites). Ainsi, les roches magmatiques peuvent être sous forme de roches intrusives granitiques, de roches filoniennes et de roches volcaniques.

5 : Historique de la Vallée de la Sahatany

Les premiers sites d'exploitation de la vallée de la Sahatany, Maharitra et à Ampantsikahitra a été ouvert par Lefeuvre en 1904. Ce site est défini par la production de rubellite et d'autre variétés colorées de tourmalines lithinifères atteignant jusqu'à plusieurs kilogrammes.

Puis en 1927, nombreux échantillons de tourmalines de plusieurs variétés de couleur, de béryl, de quartz, de Spodumène, d'apatite, de topaze, de spessartite ont été extraits de ces sites.

L'exploitation minière des cristaux de Tourmaline polychrome, béryl rose, vert, bleu et polychrome, danburite, scapolite et kunzite continuait de l'an 2001 jusqu'à nos jours.

Au début de 21^{me} siècle, un certain nombre de pegmatites dans le domaine de Tsarafara, Ilapa, Ampatsikaitra, Manjaka, Maharitra et Antandrokomby produisent à partir de grandes cavités miarolitiques des spécimens spectaculaires avec des cristaux polychrome ou tourmaline rouge et dans certains cas, de gemme de béryl rose vif.

Les pegmatites de Manjaka et Maharitra sont largement épuisées tandis que les autres zones sont encore productives.

La majeure partie du dépôt, principalement dans le plus grand kaolinisé, est travaillé avec des centaines de puits dangereux, et les dépôts sont complètement couverts par des décharges.

Néanmoins, certains puits produisent toujours de bons spécimens.

Des cristaux d'hambergite ont été trouvés à Maharitra. À Tsilaizina, de grands cristaux tabulaires de béryl rose, avec un noyau jaune-vert, étaient sortis dans une pegmatite kaolinisée comme décrit par Alfred Lacroix. Dans la même localité, hébergée dans un quartz massif, et rarement dans de petites cavités miarolitiques, la variété jaune de tourmaline riche en Mn (manganèse) "tsilaisite" a été découverte.

Parmi les pegmatites les plus importantes, se trouvent des dykes d'Antandrokomby, la localité de type pour Manandonite et londonite. Cette pegmatite est un exemple du sous-type Danburite. Les Micas sont absents, et la danburite se rencontre soit dans la zone frontalière de la digue, où des cristaux jaunes pâles en centimètre sont hébergés dans du feldspath de grain moyen, ou dans la zone de poche centrale à grain grossier, en cristaux avec de la tourmaline polychrome et rouge ainsi que du spodumène rose-vert.

6 : Potentialités minérales de la Vallée de la Sahatany

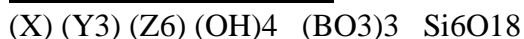
. Le sous-bassement cristallin de la zone de la vallée de la Sahatany est composée de marbres calciques et dolomitiques, de quartzites, schistes, orthogneiss, leucogranites, et d'un pluton gabbroïques. On trouve principalement dans les marbres un très grand nombre de pegmatites du Sous-type Lépidoïite, du sous-type Elbaïte, et du sous-type Danburite. Quelques rares pegmatites du sous-type Béryl –Columbite existent dans la partie la plus au Nord-Ouest de la zone. Les dykes forment des lentilles sub-verticales ou sub-horizontales. L'exploitation de pierres gemmes de tourmaline polychrome, de béryl rose, vert, bleu et polychrome, de danburite, scapolite et kunzite a perduré depuis le siècle dernier jusqu'à nos jours.

Chapitre II –RAPPEL SUR LA TOURMALINE

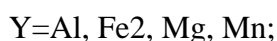
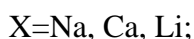
1-Définition

La tourmaline fait partie des groupes des cyclosilicates, montrant une cristallographie complexe, dû à la présence de beaucoup d'emplacements occupés par différents ions

2-Formule chimique



Avec



3-Composition chimique

Du point de vue chimique, les trois espèces principales sont la «dravite magnésienne», le «schörl ferrifère» et l'«elbaïte généralement riche en lithium».

Elles forment deux séries continues, dravite-schörl et schörl-elbaïte, l'elbaïte et la dravite semblent ne pas pouvoir former entre elles de mélange par solution solide.

L'origine de la coloration des tourmalines est principalement liée à diverses concentrations des éléments majeurs, diverses concentrations des éléments en traces, la combinaison des concentrations de ces deux éléments, les imperfections structurales (centres colorés), les transferts de charges électroniques, et des combinaisons de ces phénomènes. Ainsi, une même couleur peut dépendre d'un phénomène différent

Tableau 1: Liste des éléments majeurs et en traces des tourmalines

Éléments majeurs

Hydrogène, lithium, bore, oxygène, fluor, sodium, magnésium, aluminium, potassium, silicium, calcium, titane, vanadium, chrome, manganèse et fer

Éléments en traces

Hélium, béryllium, néon, phosphore, chlore, argon, scandium, cobalt, nickel, cuivre, zinc, gallium, germanium, arsenic, rubidium, strontium, yttrium, zirconium, niobium, molybdène, technetium, ruthénium, rhodium, palladium, argent, cadmium, indium, étain, antimoine, tellure, césium, baryum, lanthane, cérium, praeosodyme, néodyme, samarium,

gadolinium, terbium, dysprosium, erbium,
ytterbium, hafnium, tantane, tungstène,
Rhénium, iridium, platine, bismuth,
thorium et uranium.

4-Structure cristalline

Comme tous les minéraux, les tourmalines sont caractérisées conjointement par leur structure cristalline et leur composition chimique. Toutes les tourmalines appartiennent au système rhomboédrique et au groupe de symétrie hémédrique pyramidale $R3m$ (notation d'Hermann-Mauguin pour la classe pyramidale ditrigonale).

Maille cristalline de
la tourmaline

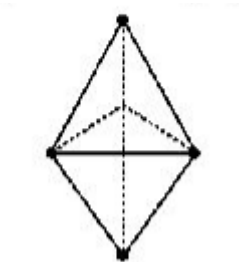


Figure 4: Structure cristalline de la tourmaline

5-Characteristiques

DIMENSIONS DE LA MAILLE : $a=15,803 \text{ \AA}$ (olénite) - $16,181 \text{ \AA}$ (povondraite),

$c=7,085 \text{ \AA}$ (olénite) - $7,444 \text{ \AA}$ (povondraite).

DURETE : 7 à 7,5.

DENSITE : 3,01 (uvite)-3,39 (chromdravite).

SIGNE OPTIQUE : uniaxe négatif

INDICES DE REFRACTION : $n_e=1,619$ (uvite)- $1,772$ (chromdravite) ;

$n_o=1,634$ (uvite)- $1,778$ (chromdravite).

BIREFRINGENCE : de 0,018 à 0,029.

CASSURE : conchoïdale, subconchoïdale à grenue ou inégale.

FLUORESCENCE : faible ou absente.

CLIVAGE : rarement.

PLEOCHROISME : généralement fort.

- Propriétés chimiques

Masse volumique 3-3,2 g/cm^3

Fusibilité Facile si pauvre en Fe et riche en Mg

Solubilité insolubles dans les acides

- Propriétés physiques

DIMENSIONS DE LA MAILLE (Å): $a = 15,867 \text{ Å}$ $c = 7,135 \text{ Å}$ $z = 3$.

SYSTÈME CRISTALLIN : Rhomboédrique.

CLASSE DE SYMÉTRIE : 3m hémimorphie trigonale.

RÉSEAU DE BRAVAIS : Hexagonal Rhomboédrique R.

DURETÉ : 7,5.

DENSITÉ : 3,02.

COULEUR : intrinsèquement incolore, brun, bleu, vert, rose, rouge, jaune, mauve, gris.

ECLAT : vitreux.

CASSURE : conchoïdale.

TRACE : blanche.

- Propriétés physiques et optiques

DIMENSIONS MOYENNES DE LA MAILLE : $a = 15,810 \text{ Å}$ $c = 7,085 \text{ Å}$ $z = 3$.

CLASSE DE SYMETRIE : 3m hémimorphie trigonale.

RESEAU DE BRAVAIS : Hexagonal rhomboédrique R.

DURETE : 7.

DENSITE : 3,05 à 3,10.

COULEUR : intrinsèquement incolore, vert, bleu, rouge, jaune, orange, rose, gris.

ECLAT : vitreux.

TRACE : blanche.

CASSURE : irrégulière, conchoïdale.

SIGNE OPTIQUE : Uniaxe négatif.

6-Variétés de la tourmaline

Il y a 15 variétés des tourmalines trouvés à Madagascar dont :

Tableau 2: Les groupes des tourmalines

Minéral	Formule	<u>Groupe ponctuel</u>	<u>Groupe d'espace</u>
<u>Buergerite</u>	$\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{21}\text{F}$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Chromdravite</u>	$\text{NaMg}_3(\text{Cr,Fe})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Dravite</u>	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Elbaïte</u>	$\text{Na}(\text{Li,Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Feruvite</u>	$(\text{Ca,Na})(\text{Fe,Mg,Ti})_3(\text{Al,Mg,Fe})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Foïtite</u>	$\text{Na}_{<0,5}(\text{Fe,Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Hydroxyuvite</u>	$\text{CaMg}_3(\text{Al}_5\text{Mg})(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3(\text{OH})$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Liddicoatite</u>	$\text{Ca}(\text{Li,Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{O,OH,F})_4$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Magnésiofoïtite</u>	$(\text{Mg}_2\text{Al})\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Olenite</u>	$\text{NaAl}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{O,OH})_4$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Povondraïte</u>	$(\text{Na,K})(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+})_3(\text{Fe,Mg,Al})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>
<u>Rossmanite</u>	$\text{LiAl}_2\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$	<i>3m</i>	<i>R3m</i>

<u>Schorl</u>	$\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$	$3m$	$R3m$
<u>Uvite</u>	$(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_5\text{Mg}(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH,F})_4$	$3m$	$R3m$
<u>Vanadiumdravite</u>	$\text{NaMg}_3\text{V}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$	$3m$	$R3m$

7-Couleurs

Rouge. - Cette variété (rubellite) est la plus précieuse ; elle fournit de magnifiques pierres variant du rouge sang au rouge vineux parfois teinté de violet : Antandro, Ampatsikahitra, Marirana, Antsongombato, Anjanabonoina. Certaines de ces rubellites ressemblent au rubis.

Rose. - L'atténuation de l'intention de la couleur conduit toutes les variétés précédentes à des variétés nombreuses de rose, de plus en plus pales : on a cité en particulier le rose vineux, le rose saumon et certaines variétés de rose fleur de pêcher rappelant la teinte des béryls des mêmes gisements et aussi la topaze brûlée.

Violet améthyste - Ces variétés des tourmalines ont les plus riches en manganèse et les plus denses et aussi parmi les plus caractéristiques de Madagascar ; elles se trouvent surtout à Anjanabonoina.

Brun. - A Tsilaizina se trouvent des tourmalines d'un brun foncé de tonalité très chaude. Il y a des pierres : brun café, brun enfumé, brun orange se rencontrent à Anjanabonoina.

Gris brun ou enfumé. - Ces variétés ont été trouvées à Maharitra, Anjanabonoina.

Vert poireau, vert olive. - Ces couleurs foncées sont rares fréquentes, mais ne fournissent que des pierres de médiocre valeur : Maharitra, Anjanabonoina; Vohitrakanga; elles présentent une grande analogie d'aspect avec celles du Brésil.

Vert pale. - A Vohitrakanga

Vert d'herbe. - Toute une gamme de verts clairs et particulièrement de vert pomme et de vert d'herbe ont été trouvés à Anjanabonoina, Maharitra et Ankitsikitsika.

Bleu. - L'indicolite est parmi les variétés des tourmalines, la moins fréquente de Madagascar ; les variétés sont à Maharitra, Anjanabonoina.

Incolore. - Madagascar est probablement le pays qui fournit les plus belles tourmalines incolores : Maharitra, Anjanabonoina.

8. La tourmaline comme gemme

Minéral sans grande application industrielle, la tourmaline est essentiellement exploitée pour ses cristaux pouvant être taillés à des fins ornementales et, à moindre échelle, destinés aux collectionneurs. Les variétés les plus recherchées par les gemmologues sont les vertes, les bleues (indigolite ou indicolite) ou le rose et rouge (rubellite) sont classiquement rapportées à l'elbaïte, et les brunes à la dravite, ou à l'uvite. La tourmaline est la gemme qui présente la palette de couleurs et de tons la plus variée. Ceci est dû à des substitutions isomorphiques expliquant que seule la couleur est prise en considération par les exploitants, les lapidaires et les joailliers lors des transactions.

**DEUXIEME PARTIE : EXPLOITATION
DES TOURMALINES SUR DES FILONS
DE PEGMATITES DE LA SAHATANY**

Chapitre III : LES PEGMATITES

I-Généralités

Alors, avant la réalisation de l'exploitation, on a besoin de connaître la structure, la forme et la minéralisation associée au gisement à exploiter.

1-Définition

La pegmatite est une roche formée par des minéraux de grande taille, composée essentiellement par du feldspath potassique, de plagioclase, de quartz et de micas (biotite, muscovite, lépidolite) et de minéraux accessoires comme les béryls, tourmalines, spodumènes, grenats.

2-Forme et structure des pegmatites

- Forme

Les pegmatites se présentent sous forme des filons recoupant les roches qui les encaissent, leur dimension est de l'ordre métrique à hectométrique et elle peut atteindre jusqu'à quelques kilomètres de longueur pour une épaisseur de l'ordre de centaines de mètres.

Les formes de pegmatites granitiques à éléments rares sont extrêmement variables comme une forme lenticulaire, ellipsoïdale.

- Structure

Il y a trois différents types de structure des pegmatites :

-Structure homogène : ce sont des pegmatites les plus abondantes avec une répartition régulière des minéraux, Elles ne permettent pas à la formation de concentrations minérales significatives ou des poches

-Structure zonée : c'est une structure caractéristique de grand filon composée de deux ou plusieurs zones concentriques

-Structure litée : Ces pegmatites se caractérisent par la présence de nombreux « cœurs » riches en cavités et en gemmes.

3-Types des pegmatites

En général, il y a trois types de pegmatites à Madagascar :

- les pegmatites granitiques, qui contiennent du feldspath sodi-potassique, quartz, plagioclase sodique, muscovite, biotite, tourmaline, grenat, béryl et de nombreux minéraux rares

-les pegmatites alcalines, qui contiennent de néphéline, microcline, sodolite, natrolite, biotite, très nombreux des éléments rares

- les pegmatites basiques, qui contiennent de plagioclase basique, magnétite, ilménite, apatite, sulfures.

4-Mode de gisement

Les gisements de pegmatites se présentent sous deux processus distincts :

-Les lentilles

Elles ont une longueur d'environ une cinquantaine de mètres. Elles occupent des positions structurales variées dans la roche encaissante, concordantes, discordantes, horizontales, verticales ou obliques.

-Les amas

Elles ont une longueur supérieure à cent cinquante mètres. Leurs puissances sont d'environ une cinquantaine de mètres et leur extension longitudinale peut atteindre une centaine de mètres

II-Minéralogie des pegmatites d'Ibity

Tableau 3: Minéralogie des pegmatites d'Ibity

Nom de localité	Formation rencontrée	Minéraux dominants	Minéraux secondaire
Andrianampy	Latérite, Kaolin, roche en boule, dôme	Lépidolite, muscovite, Quartz, plagioclase	béryl rose et incolore Tourmaline vert et rouge.
Avaratsena Ibity	Latérite	quartz, orthose, albite, biotites et tourmaline noir seulement, microcline	Béryl bleu et vert
Antsahalava	Latérite, quartzite, talc	quartz, orthose, albite, biotites et, talc, tourmaline noir seulement	Béryl bleu

III-Listes des pierres gemmes les plus importantes des pegmatites

Tableau 4: Liste des pierres gemmes dans la pegmatite

MINERAUX		COULEURS	REMARQUES
Groupe BERYL	Aigue marine	Bleu (pâle, vert profond)	-Les variétés de Béryl sont en général plus intéressantes économiquement que la Tourmaline, à cause d'une plus grande stabilité de leur prix sur le marché international.
	Morganite	Rose pâle à vif	
	Héliodore	Jaune à jaune, vert et jaune, orange	
	Emeraude	Vert profond	
Groupe TOURMALINE	Shorlite	Noire	-Les noms familiers de "rubéllite,indigolite" sont utiles pour des commerciales. Les cristopolychrome ont habituellement moins d'intérêt, mais ils peuvent être utilisés pour la taille ou sculpture s'ils sont de grande taille.
	Dravite	Brun	
	Elbaite ou liddicoatite	Polychrome et rouge	
	Rubellite, Indigolite, Tourmaline, Chromifère	Variété de couleur de l'elbaite ou liddicoatit	
Groupe GRENAT	Spessartine	Orange riche en fer	Il peut avoir un intérêt quand il se présente en grand cristaux de couleur rouge foncé à violet.
	Almandin	Grenat alumineux	
Groupe SPODUMENE	Kunzite	Variété rose	-Ces gemmes n'ont qu'exceptionnellement de la valeur.
	Hiddenite	ariété pâle	
Groupe TOPAZE		Jaune pâle, bleu pâle, vert pâle	-Les grands cristaux sont collectés exportés en grandes quantités pour être traité afin de

			produire des gemmes d'un bleu profond quia des grandes valeurs.
Groupe CHRYSOBERYL	Œil de chat, alexandrite		-L'alexandrite, une variété de chrysobéryl, est très rare et très recherchée.
Groupe QUARTZ	Citrine	Jaune	-L'améthyste et la citrine peuvent former de grandes gemmes de qualité remarquable. De plus les cristaux de quartz à inclusions peuvent fournir des gemmes suffisamment grandes pour être taillés et commercialisables.
	Améthyste	Violet	
	Cristaux de quartz à inclusions exceptionnelle d'hématite lepidocrocite		

Chapitre IV : CARACTERISATION DE L'EXPLOITATION SOUTERRAINE DE LA SAHATANY PAR RAPPORT AU GISEMENT DE TOURMALINE DE MADAGASCAR

I-Généralités sur l'exploitation souterraine

L'exploitation minière souterraine : sert à extraire les gisements enfouis profondément dans la terre. Dans de tel cas, les mineurs doivent creuser des tunnels ou galeries pour les atteindre.

1-Infrastructures et l'installation électrique dans la mine

L'exploitation d'un gisement dans la profondeur de la terre nécessite des infrastructures et d'autres installations spéciales selon la nature et les caractéristiques du gisement :

- Un réseau des puits et des galeries communicantes avec la surface et permettant à la circulation des personnes, le transport des matériels, des minerais, des stériles et d'autres éléments nécessaires pour le bon déroulement du travail en souterrain.
- L'aération : c'est une technique de renouvellement de l'air dans les galeries ; elle a pour but d'assurer la stabilité de la température, la ventilation et l'enlèvement d'air polluant, des poussières vers l'extérieur de la mine. Donc elle garde la santé des ouvriers et les bons fonctionnements de toutes les machines utilisées.
- L'évacuation : pour faire l'exhaure en cas de surmonté d'eau.
- Soutènements : ce sont des supports de protection du toit d'une galerie et d'un puits pour garantir la sécurité des personnes et l'équipement. Elle assure la stabilité et la sécurité des excavations souterraines.
- Système d'éclairage : installation électriques dans tous les galeries et les autres lieux de communication des personnes ou des machines surtout sur la zone de danger.

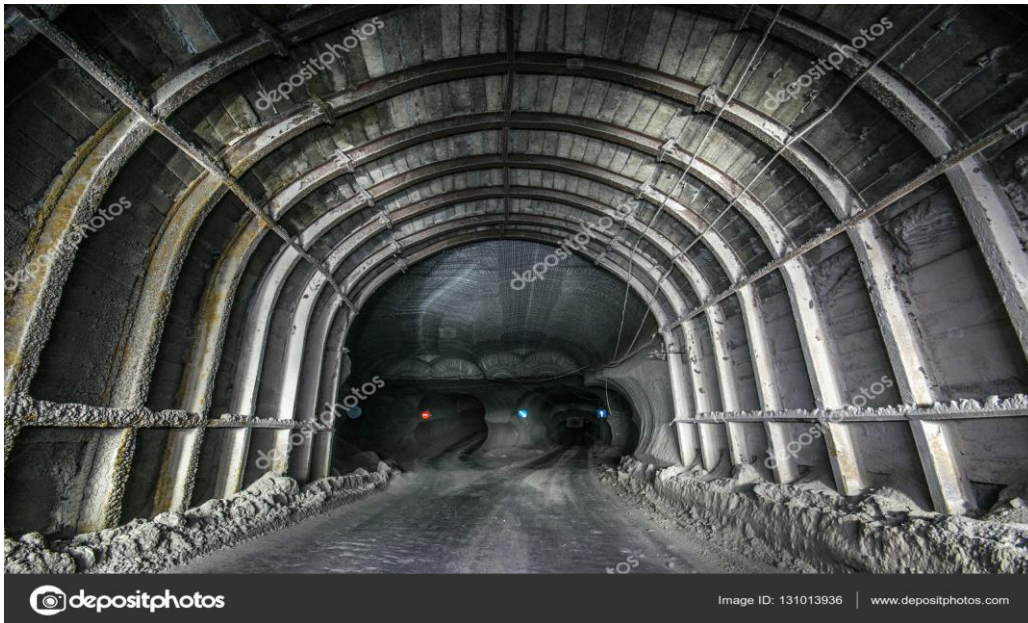


Photo 6: Soutènement et éclairage dans la mine souterraine

Source : www.depositphotos.com

2-Equipement de protection individuel (EPI)

Le recours aux équipements de protection individuelle constitue une action de prévention en santé et sécurité au travail, il s'agit d'un équipement destiné à être porté pour protéger son porteur d'un ou de plusieurs risques liés à son poste ou son milieu de travail, susceptible de menacer sa santé ou sa sécurité :

- les gants destinés à protéger du risque chimique ou mécanique,
- les protecteurs auditifs contre le bruit,
- les chaussures professionnelles contre les chutes de plain-pied,
- les casques, généralement utilisés contre les chutes d'objets,
- les gilets de haute visibilité en cas d'évacuation et d'incendie.



Figure 5: Equipement de protection individuel

3-Panneau de signalisation

L'existence du panneau de signalisation est très importante pour informer tous les exploitants et les autres personnes. Il y a quatre types de panneaux :

- Panneau rouge indique les interdictions
- Panneau bleu montre des obligations
- Panneau de simple indication comme une voie qui s'étroite
- Panneau de signalisation de danger



Figure 6: Panneau de signalisation dans l'exploitation minière

4-Etapes des travaux souterraines

- Les travaux aux rochers : qui en premier lieu a pour but d'aménager l'accès au gisement.
- Les travaux de traçage : ils servent à préparer le gisement à l'abattage.
- Les travaux d'abattage : qui sont destinés à l'extraction des minerais.

II-La mine des tourmalines de sahatany

La mine des tourmalines de Sahatany est une petite exploitation souterraine à 4km au sud-ouest de la commune rural d'Ibity.

La plupart de la population dans le fokontany Tanetnilapa sont des exploitants et cultivateurs.

1-coordonnées Laborde

x=454.432m

y=672.618m

Altitude=1367m

Erreur=3m

2-Mode et technique d'exploitation

Toutes les mines des tourmalines dans la vallée de Sahatany sont en mode d'exploitation souterraine et des techniques sauvages. C'est à dire la sécurité des exploitants est en danger car ils

n'ont pas des équipements de protection individuel, ils n'utilisent pas des soutènements dans les galeries et des puits et d'autre types des sécurités dans une mine souterraine.

3-Characteristiques

- Le puits

- Presque couche de latérite jusqu'au gisement des pegmatites,
- Profondeur de 5 à 20m,
- Forme cylindrique avec un diamètre de 1m à 1m50 environ,
- Il y a des eaux, des blocs de quartz et des schistes au fond du puits.



Photo 7: Puits d'une petite exploitation de Tsarafara

- le galerie

Après avoir creusé un puits, les exploitants choisissent les galeries à suivre selon l'épaisseur et la qualité du gisement et ils peuvent atteindre jusqu'à 10 à 30m de longueur de galerie, de 1 à 1,5m de hauteur et sans soutènement sur le plafond.

4-Matériels

Les matériels utilisés sont traditionnels

- Bêche : outil formé d'un fer aplati et tranchant monté sur un manche de bois et qui sert à creuser et former le puits et les galeries
- Barre à mine : outil de terrassier cylindrique en acier d'environ 2 mètres de longueur et 50 millimètres de diamètre, relativement pointu aux extrémités et servant à creuser les couches dures pendant l'exploitation

-Pelle : outil constitué d'une plaque mince généralement en métal, avec ou sans rebords et souvent courbe et dont l'extrémité peut être plus ou moins arrondie, muni d'un manche en bois mois long. Cet outil est utilisé pour déplacer de la terre ou pour remuer la boue

-Palan : assemblage de manivelle de bois et de cordages pour remonter des boues, de l'eau ou des ouvriers.

-Tamis : sorte de crible, de sas qui sert à passer des matières pulvérulentes.

-Lampe : c'est un matériel mobile de source d'éclairage dans le sous-sol.

5-Nombre des exploitants travaillant sur le site d'exploitation

Le nombre d'ouvriers dans le site varient entre 50 à 500 personnes selon la saison de l'année. Pendant la saison des pluies, la plupart des artisans abandonnent les exploitations pour s'adonner à l'agriculture. Ils sont environ 50 à 80 personnes, ce sont les paysans qui n'ont pas de terrain pour cultiver. Et ce chiffre augmente pendant la saison sèche de la période hors de la culture et surtout le période de vacance, il atteint jusqu'à plus de 500 personnes.

6-Les fonctions des exploitants sur la mine de Tsarafara

Les hommes creusent à la main les puits de 1 à 1,5m de diamètre, avec une profondeur de 5 m à 20 m. Et après le puits, il faut creuser des galeries horizontales pour atteindre les filons minéralisés. Chaque galerie est d'environ 10m à 30m de longueur. Un puits peut représenter de 2 ou 3 galeries horizontales, cela dépend des veines trouvées dans le puits.

Puis, ils utilisent le palan pour faciliter la montée et la descente dans les puits ainsi que pour faire monter les latérites dans le puits.



Photo 8:Puits d'une petite mine souterraine avec palan

Ensuite, les enfants font le mouvement de va et vient dans le puits et dans la galerie.

Ainsi, une fois que les touts venants sont à la surface, les femmes et les enfants font la sélection des pierres en utilisant le tamis.



Photo 9: Femme travail sur le tamisage

III-Les problèmes de la petite exploitation souterraine de la Sahatany

La plupart de l'exploitation minière artisanale provoque beaucoup des risques sur la sécurité et la santé des exploitants, des autres populations locales et aussi des visiteurs.

Le manque d'étude sur la prospection minière avant l'exploitation peut diminuer le taux de production.

1-La sécurité

Le système de sécurité est négligeable et peu important dans le site d'exploitation de tourmaline de Sahatany car n'y a pas de contrôles ou des inspections du travail.

-Sécurité extérieure

L'insuffisance des clôtures et des panneaux de signalisation avant d'entrée sur la mine peut provoquer des accidents corporels à cause de nombreuse trous.

Il n'y a pas de système de sécurité contre le « dahalo ».

-Sécurité intérieure

Manque d'infrastructure des soutènements des puits et des galeries contre l'éboulement, l'érosion et de tremblement de terre.

Les petits exploitants n'ont pas des équipements de protection individuel contre la poussière, la chute d'objet, les risques chimiques, alors la sécurité intérieure des exploitants sont non assuré.

Tableau 5: Identification de dangers

Types de dangers	Dangers	Analyses
Physiques	-Luminosité -Température, aération dans le puits et dans la galerie -Site d'exploitation	-faible juste une lampe sur le front -température élevée à cause du petit espacement, -insuffisance d'oxygène (pas de système d'aération) -puits abandonnés
Mécaniques	-Palan -corde plastic -glissement	-friable, se fait par des fragments de bois qui risque une chute de l'exploitant -lisse sans nœud -puits patiné, pas de soutènement
Chimiques	Poussière	La latérite dans le puits et dans la galerie, le tamisage provoque une maladie respiratoire
Biologies	Insecte, moustiques, puces et poux	-saletés, déjections et odeurs

2-L'environnement

Ces activités constituent une dégradation de l'environnement humain car son aspect social est en partie touché. Les mineurs artisanaux travaillent souvent dans des conditions dangereuses et insalubres. Les risques concernent donc la santé des mineurs et des populations locales.

L'étendue spatiale de ces dégradations montre l'ensemble des espaces des activités minières à petite échelle. Cela a une conséquence environnementale considérable et constitue un risque majeur sur l'environnement :

-La pollution de l'eau et de l'air,

- L'insuffisance de la mise en place des espèces animales et végétales avant l'exploitation
- L'insuffisance du nettoyage du site, la restauration et remise en état du site après l'exploitation.

3-Production

Le taux de production est faible et variable selon la qualité de la galerie car les matériels et la technique d'exploitation utilisée sont traditionnels ;

Tableau 6: Estimation de production du site d'exploitation de Sahatany

Cas	Nombre des galeries	Nombre d'exploitant	Estimation de production/jrs
Puits 1	1	4	0 à 2 pièces
Puits 2	2	6	0 à 3 pièces
Puits 3	1	6	0 à 3 pièces
Puits 4	3	7	1 à 4 pièces

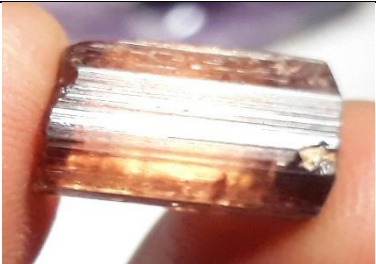

Les prix des productions sont variables selon le démarcheur ;


Les moyens de commercialisation sont insuffisants ;

Le coût des produits est destiné à la consommation locale

Quelques prix des tourmalines de Sahatany

Tableau 7: Prix de la tourmaline de Sahatany selon la qualité

variétés	qualités	poids	prix	photos
Rubellite	gemme	<1g 1 à <2g 2 à <5g 5 à <10g 10g Extra (+10g)	50 000Ar 100 000Ar 200 000Ar 300 000Ar 400 000Ar 1 000 000Ar	
Polychrome	gemme	<1g 1 à <2g 2 à <5g 5 à <10g 10g Extra (+10g)	50 000Ar 100 000Ar 200 000Ar 300 000Ar 400 000Ar 1 000 000Ar	

Verdhélite	gemme	<1g 1 à <2g 2 à <5g 5 à <10g 10g Extra (+10g)	25 000Ar 50 000Ar 100 000Ar 150 000Ar 200 000Ar 500 000A	
Rubellite Polychrome Verdhélite	cabochon	+10g +100g +1kg	5 000Ar 10 000Ar 50 000Ar	

TROISIEME PARTIE : SUGGESTIONS ET RECOMMANDATIONS

Chapitre V : SUGGESTIONS

I-Avant l'exploitation

La première étape de l'exploitation c'est de demander un permis minier.

1: Définition du permis minier

Le permis minier c'est une lettre d'autorisation d'exploitation dans un site minier donné par le Bureau de Cadastre minier de Madagascar(BCMM).

2: types de permis minier

Il y a trois types de permis minier dans le BCMM :

- Le permis de prospection et de recherche (permis type R),
- Permis d'exploitation (permis type E),
- permis réservé aux petits exploitants miniers pour la prospection, la recherche et l'exploitation (PRE).

Pour le cas d'exploitation de pierres précieuse à Madagascar comme la mine de Sahatany c'est le PRE.

Tableau 8: Autorisation et permis miniers à Madagascar

Autorisation/Permis	Validité	Activités autorisées	Personnes éligibles
Déclaration de Prospection (DP)	01 an	Prospection	Toute personne physique ou morale de droit malagasy ou groupement/association
Autorisation Exclusive de Réserve de Périmètres (AERP)	03 mois	Prospection	
Permis de Recherche (PR)	05 ans	Prospection et recherche	Toute personne physique ou morale de droit malagas
Permis d'Exploitation (PE)	40 ans	Prospection, recherche et exploitation	
Permis réservé aux petits exploitants (PRE)	08 ans	Prospection, recherche et exploitation	Personne physique de nationalité malagasy ou groupement de petits exploitants malagasy

(Source: Mines : Madagascar, l'île aux trésors, Economic Development Board of Madagascar(EDBM) ,201

3: Processus d'acquisition des permis miniers

Le processus commence par le dépôt d'un formulaire au BCMM qui enregistre le dossier en précisant le jour, l'heure et la minute. Les demandes de permis E et PRE doivent être accompagnées d'une étude sur l'impact environnemental du projet et d'une lettre d'engagement de ne pas commencer les travaux avant l'obtention d'une autorisation environnementale. Le principe du premier arrivé, premier servi est appliqué pour tous les permis. Les permis sont délivrés dans un délai de 30 jours ouvrables maximums par le ministre en charge des mines pour les permis R et E, et par le Directeur Interrégional du Ministère chargé des Mines territorialement compétent pour le permis PRE ; ou leur délégué respectif. Des frais d'administration annuels doivent être payés par les titulaires de permis minier au BCMM qui répartit ensuite les quotes-parts aux différents services de l'administration minière désignés par le code minier.

4: Avantages d'obtenir le permis minier

- Pour éviter l'arrestation du travail d'exploitation,
- Pour éviter le conflit territorial entre les exploitants,
- On peut vendre tranquillement les produits,

5: Conclusion

L'obtention de l'autorisation d'exploitation ou permis minier facilite le déroulement de tous les travaux d'exploitation minière.

II-Pendant l'exploitation

Il est nécessaire d'améliorer les systèmes de sécurité existants sur l'exploitation des tourmalines de Sahatany. Alors pour minimiser les risques, on a besoin de proposer des mesures de prévention suivantes :

- On a besoin de construire le soutènement par boisage des puits et des galeries pendant l'exploitation pour éviter l'effondrement
 - - Écarter le diamètre des puits et des galeries
 - Sélectionner et vérifier les bois avant d'installer.
 - Vérifier les fixations des bois de soutènement



Photo 10: Soutènement d'un puits par des planches vu dans un site d'exploitation mécanisé de Tsarafara

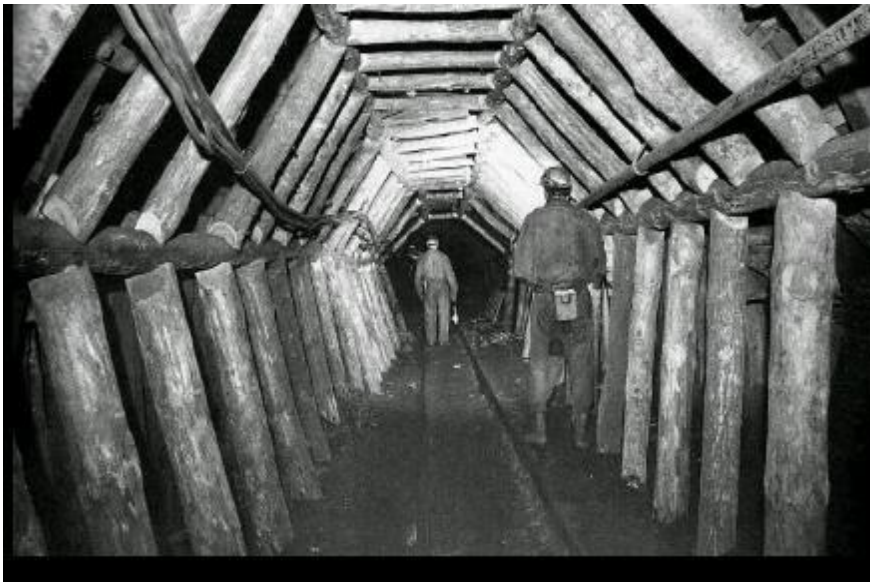


Photo 11: Soutènement par boisage dans la galerie

- Utiliser l'équipement de protection individuel contre la poussière, la chute d'objet, les risques chimiques, ...
- Employer un système d'éclairage dans les galeries et les puits comme l'utilisation de panneau solaire.

- Accumuler les stériles dans une zone d'accumulation un peu plus loin de puits pour faciliter la récupération en cas d'utilisation.
- Faire un petit puits vertical relié avec les galeries pour l'aération parce qu'il joue de grande rôle pour la santé et la sécurité des exploitants sur le besoin d'oxygène.
- Sensibiliser et faire des formations concernant la sécurité au travail et éviter de faire travailler les enfants de moins de 14 ans.
- Utiliser un système d'évacuation comme la motopompe.
- Installer des indications d'existence de site d'exploitation par les panneaux de signalisation de danger.

III-Après l'exploitation

Le travail ne se termine jamais après l'exploitation car il y a des travaux de la fermeture du site pour éviter des accidents. Alors il faut faire les étapes de nettoyage et remise en état du site suivantes :

- Placer une indication de l'existence de trou ;
- Clôturer le contour du trou ;
- Remblayer le puits abandonné par les stériles stockés dans une zone d'accumulation un peu plus loin du trou ;
- Planter des arbres dans toute l'espace abandonnée afin de protéger la terre contre l'érosion.



Photo 12: Remise en état de la mine

Chapitre VI : RECOMMANDATION

I-Sur le plan économique

Dans la vallée de Sahatany, de nombreux exploitants suivent toujours les méthodes artisanales pendant l'exploitation. Ils sont très nombreux plus de 500 personnes qui travaillent dans un site d'exploitation pendant la saison sèche surtout la période de vacance. Mais ce nombre ne cesse de diminuer jusqu'à 50 personnes pendant la saison de pluie car les travaux d'exploitation sont en dangers (cas d'effondrement de la terre) et pour s'adonner à l'agriculture. Ses objectifs sont de développer leur vie quotidienne :

- la nourriture,
- le besoin d'argent,
- l'amélioration de leur village,
- l'agriculture
- l'élevage

Cependant, la nourriture c'est toujours prioritaire par rapport aux autres, alors ses niveaux de vie sont faibles.

Donc, pour on atteindre l'objectif :

- On utilise la méthode mécanisée pendant l'exploitation, ils peuvent produire beaucoup plus que la méthode artisanale car tous les travailleurs sont en sécurité. On peut augmenter la longueur et le diamètre des galeries à cause de l'existence des soutènements, le puits d'aération, le système d'évacuation en cas de surmontée d'eau.
- Transformer le site d'exploitation abandonné par un champs d'agriculture pour protéger la terre sur l'érosion et pour avoir beaucoup des produits agricoles par rapport à la production avant l'exploitation.
- Il faut suivre la variation de prix des pierres selon la qualité obtenue pour éviter la perte.
- Faire la bien gestion pendant le travail.

II-Sur le plan social

Le Fokontany Antanetnilapa a beaucoup des problèmes sur le plan social. Alors pour développer leur village, il faut :

- améliorer les infrastructures scolaires pour stimuler une bonne condition d'étude des enfants et pour les attirer à venir à l'école car ils ont le droit d'étudier, ils ont besoin des connaissances et des formations avant le travail.

- sensibiliser les parents aux conséquences néfastes du travail des enfants dans les petites exploitations minières.
- on peut chercher un accord de réduction de prix des ciments avec HOLCIM pour construire la route qui relie Ibity et le Fokontany Antanetinilapa car le développement dépend toujours sur la route.
- construire un bloc sanitaire plus proche du village, améliorer la santé de la population y compris les exploitants, sensibiliser les gens à voir des médecins en cas des maladies, effectivement, consulter les médecins en cas d'accident ; compléter les équipements médicaux manquants.
- utiliser de l'eau potable dans le site d'exploitation et dans le village car l'eau joue un rôle très important sur notre santé. On a deux méthode différent pour avoir de l'eau potable : soit par l'utilisation des tuyaux de transfert dans un ressource d'eau vers le village et le site ; Soit par le forage d'eau, c'est-à-dire le creusement d'un puits.
- instaurer un JIRAMA qui alimente en électricité du village.
- sensibiliser les habitants à utiliser des toilettes, des douches surtout sur le site d'exploitation.

III-Sur l'exploitation

L'exploitation existant dans la vallée de Sahatany peut provoquer des risques et des dangers de mort des exploitants, des villageois et des visiteurs. Alors pour minimiser les risques, on doit suivre les conditions suivantes :

- remplacer le palan par une poulie métallique et vérifier périodiquement tous les matériels utilisés pour minimiser les accidents de chute et de blessure dans le puits.
- améliorer le système d'éclairage en multipliant le nombre des lampes et surtout bien vérifier l'échange d'oxygène dans les galeries pour l'atténuation des maladies.
- faire un aménagement général journalier avant et après le travail d'exploitation
- faire des observations répétitives sur le site de travail en vérifiant la galerie et le puits où ils sont risqués pour éviter les accidents d'effondrements.
- continuer le travail de réhabilitation après l'exploitation.

IV-Sur l'environnement

L'amélioration de la technique d'exploitation ne peut pas être séparée de la prise en compte de la préservation de l'environnement pendant tous les travaux d'exploitation. Pour atténuer les impacts négatifs, les représentants de la commune ou de Fokontany ou de village doivent effectuer des

contrôles fréquents du site et travailler en collaboration avec des agents environnementaux compétents. Pour minimiser les impacts environnementaux de l'exploitation minière artisanale de Sahatany. Il s'agit de:

- boucher les trous et les excavations avant l'abandon du site. Il suffit de bien compacter les remblais en assurant qu'ils ne puissent plus s'affaisser, pour minimiser les accidents des exploitants ou des visiteurs et pour éviter la formation d'eau stagnante.
- établir un programme de reboisement sur le site d'exploitation abandonné, ou encore avant l'exploitation car les exploitants coupent d'arbres et de végétation, soit pour la réalisation du puits, soit pour des motifs de fabrication de palan.
- protéger les faunes et les flores environnantes et les déplacer dans un endroit bien réservé s'il le faut.
- assurer la réhabilitation du site, le nombre d'arbres à planter doit être 5 fois plus que ceux abattu.

CONCLUSION

En guise de conclusion, Sahatany est une vallée minéralogique située dans la commune rurale d'Ibity, district d'Antsirabe-II. Elle se trouve dans le socle cristallin de Madagascar d'âge précambrien et constitue essentiellement par des roches para-métamorphiques (Schistes, Quartzites et Cipolins). Elle possède également plusieurs minéraux comme la tourmaline avec des variétés et des couleurs différentes selon les types dans cette vallée de la Sahatany.

L'exploitation des tourmalines dans les filons de pegmatite de la vallée de Sahatany repose encore sur des méthodes traditionnelles, des techniques sauvages entraînant des dangers de morts ou des conflits territoriaux entre les exploitants. Or, toute l'exploitation minière privilégie tout d'abord la sécurité de tous.

Alors, pour améliorer l'exploitation des tourmalines de la Sahatany, il faut demander premièrement la PRE au BCMM ; construire les systèmes de sécurités pendant les travaux et faire la remise en état du site après l'exploitation. Il faut aussi inévitablement procéder à la protection de l'environnement.

Dans ce cas, l'objectif est d'augmenter le taux de production de tourmaline et de minimiser les risques et les dangers liés à l'exploitation souterraine de la Sahatany par l'application d'une nouvelle méthode mécanisée comme les soutènements, les systèmes d'aérage, l'évacuation d'eau et de l'air polluée et l'utilisation des équipements de protection individuelle.

Par contre, ces problèmes au niveau de l'exploitation artisanale ne pourraient être résolus totalement car les niveaux de vie des exploitants sont faibles mais l'Etat Malagasy ou le ministère des mines ne s'intéressent pas aux aides financières et à la formation des petits exploitants. Alors devant la haute qualité des pierres précieuses de Madagascar au niveau du marché international et l'évolution de la technologie, est-ce que l'exploitation pourra réussir au développement durable et résoudre les problèmes économiques de notre pays.

BIBLIOGRAPHIES

- 1- Haingo RAHERISOA, (22 Juillet 2012) Les tourmalines de la vallée de la Sahatany Problématique et perspectives ». Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies ; Génie minéral.
- 2- Thèse_Vincent_GREGOIRE, (14 Mai 2009). « Caractérisation petrostructurale du socle précambrien de Madagascar (pays betsileo, province de Fianarantsoa) : méthodologie et implications géodynamiques » Mémoire pour l'obtention du doctorat de l'Université Paul-Sabatier ; Spécialité : Tectonophysique.
- 3- Vallée de la Sahatany, (27 Juin 2017). « Caractérisation de la tourmaline et des minéraux associés de la vallée de sahatany, corrélation géologie – géologie-gemmologie » ; Mémoire d'obtention du doctorat de l'Ecole Supérieur Polytechnique d'Antananarivo ; génie minéral et pétrolier.
- 4- ANDRIANANTENAINA Rado Fanomezantsoa, (12 Avril 2016). « Caractérisations des béryls des champs pegmatitiques de la sahatany (ibity Antsirabe) » mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en physique et applications ; Option : Géophysique « Mines et environnement »
- 5- Thierry Douillard, (10 Juin 2003). « Les tourmalines du mont ibity(Madagascar) » Pour l'obtention du diplôme d'université de Gemmologie ; Département de géologie.
- 6- Canavesio R., (13 Décembre 2010). « Exploitation informelle des pierres précieuses et développement dans les nouveaux pays producteurs. Le cas des fronts pionniers d'Ilakaka à Madagascar ». Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Michel de Montaigne, Bordeaux III.
- 7- RANDRIATSIVAHINY Antsa Hasina, (22 Mai 2017). « Mecie et activités d'exploitation des petites mines à Madagascar » Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Licence ; Mention : Génie géologique et parcours : géologie minière.

WEBOGRAPHIES

- <http://www.willship.com>
- <http://www.depositphotos.com>

ANNEXES

Annexe 1 : La route vers la commune rurale d'Ibity



Photo 1- Sur la route d'Ibity

Annexe 2 : Le site d'exploitation des tourmalines et béryls des champs pegmatitiques de Tsarafara



Photo 2- Une vue globale de la pegmatite de Tsarafara

Annexe 3 : Caractéristique des gemmes Malagasy

Nom	Densité	Dureté	Réfraction	Couleur
Corindon	3,9 – 4,1	9	1,76	Incolore, vert clair
Rubis	d°	9	d°	Rouge rubis à rose, rouge orangé
Saphir	d°	9	d°	Bleu pâle, bleu foncé, bleu verdâtre
Béryl	2,7 – 2,9	7,5	1,58	Incolore, bleu ciel, bleu vert, vert de mer (aigue marine), vert leu, vert olive, vert jaune, jaune d'o
Morganite	2,7 – 2,9	7,5	1,60	Fleur de pêcher à saumon
Tourmaline	3,0 – 3,1	7	1,64	Incolore, rouge, rose, jaune, brun, bleu, bleu pâle, bleu vert, vert d'herbe, vert poireau
Triphane	3,17	6,5 – 7,0	1,67	Incolore, vert très pâle
Kunzite	3,17	6,5 – 7,0	1,67	Rose lilas
Spessartite	4,11	7,0 – 7,5	1,80	Orangé clair à brun rouge
Almandin	4,17 – 4,22	7	1,81	Rouge sang à rouge groseille
Almandin-Pyrope	3,82 – 3,93	7	1,75	Rouge sang à rouge groseille
Danburite	3,01	7	1,64	Jaune d'or, jaune madère, incolore
Cymophane	3,68	8	1,76	Jaune d'or
Orthose ferriifère	2,56-2,58	6	1,52	Jaune d'or à jaune pâle
Kornéropine	3,27	6,5	1,68	Vert pâle un peu olivâtre
Diopside	3,26	5, 5 - 6,0	1,68	Vert bouteille foncé
Cordiérite	2,59	7, 0 – 7,5	1,55	Bleu violacé
Spinelle	3,55	8	1,71	Vert pâle
Scapolite	2,67	6,5	1,56	Jaune paille, incolore
Olivine	3,38	6,5	1,68	Jaune olivâtre
Citrine	2,65	7	1,55	Jaune madère, jaune topaze
Améthyste	2,65	7	1,55	Violet améthyste +ou- foncé
Topaze	3,60	8	1,62	Incolore, bleu pâle
Zircon	4,4-4,7	7,5	1,93	Incolore, violet rougeâtre, rose

Annexe 4 : Les gisements de tourmalines de Madagascar

L'autre pays de la Tourmaline...Elbaïte, Liddicoatite, Schorl, Dravite, tel est le nom attribué à Madagascar quand on parle de cette gemme, même si les spécimens de collection en provenance des gisements malgaches sont peu représentés sur les salons de minéraux, comparés aux "monstres" du Brésil et du Pakistan, le pays compte de nombreux gisements d'un intérêt certain. Actuellement, l'activité minière se poursuit artisanalement dans de nombreux sites, surtout motivée par la recherche de gemmes.

Récemment de nouveaux gisements ont été découverts (ou re-découverts) dans des régions de :

- **Sud-Est de Fianarantsoa** : produit des minéraux issus de pegmatites des sous-types Béryl – Columbite et lépidolite, la mine d'Alakamisy Itenina, a produit plusieurs tonnes de cristaux roulés de tourmaline polychrome et de belles rubellites. Les plus gros galets pesaient jusqu'à 30 kilos. La plupart de ces tourmalines étaient de qualité gemme. Quelques-uns des plus gros cristaux ont donné de belles sections polies polychromes.

- **Ikalamavony** : zone située à l'Ouest-Nord-Ouest de Fianarantsoa, dans la localité de Bevoandrano deux grandes pegmatites remarquables du sous-type Ambligonite, avec des dykes présentant une bordure à grains fins de feldspaths, muscovites et tourmaline ; il y a un enrichissement significatif en minéraux lithinifères, avec abondance de lépidolite et d'ambligonite, associées à de la tourmaline polychrome.

- **Ambatofinandrahana** : situé à l'Ouest d'Ambositra, est riche en pegmatites des sous-types béryl-columbite, lepidolite, tourmaline et danburite.

-**Anjanabonoina-Vohitrakanga** : de superbes liddicoatites sont toujours produites, et les tranches avec stries de croissance multicolores produites avec ces cristaux restent particulièrement spectaculaires.

-**Antsongombato** : des cristaux de rubellite remarquables, sont de taille très variable ; les petits seulement sont homogènes et de superbe teinte rouge sang de pigeon plus ou moins foncée. Les autres ont presque toujours une structure complexe et sont formés par des zones concentriques.

-**Tsilaizina** : les cristaux zonés sont également très fréquents. Certains cristaux montrent des zones de coloration qui alternent et qui ne sont pas concentriques, mais disposées en strates parallèles sur toute la hauteur du prisme. Ici la tourmaline rose se distingue des autres par sa faible teneur en manganèse et par une proportion élevée en chaux.

- **Betafo-Antsirabe** : le district pegmatite de Betafo-Antsirabe s'étend de ces deux villes jusque vers le Nord de la ville de Faratsiho, appartient la plupart au sous-type béryl-columbite, produit du lépidolite, des béryls roses, de la tourmaline polychrome et quelques topazes, en cristaux pouvant atteindre jusqu'à six kilos.

- **Au Sud-Est, région de Vangaindrano**, les verdélites chromifères ont une couleur intense. De vastes champs de pegmatites se trouvant en zones reculées n'attendent qu'une amélioration de leur desserte et surtout de leur sécurisation (banditisme rural toujours très actif) pour être prospectés.

-**Lac Alaotra** : la présence de la schorlite, remarquable dans cette région, par la perfection de sa cristallisation, sa brillance et son homogénéité.

-**Tsironomandidy-Lac Itasy** : des pegmatites du sous-type béryl –columbite ont produits des tourmalines rouges et des tourmalines polychromes.

TABLES DE MATIERES

REMERCIEMENTS	I
LISTE DES ABREVIATIONS.....	III
LISTE DES ANNEXES.....	IV
LISTE DES PHOTOS.....	V
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX	VII
INTRODUCTION	1
PREMIER PARTIE : GENERALITES	2
Chapitre I : LOCALISATION ET GEOLOGIE DE LA ZONE D’ETUDE	3
A- Présentation de la commune rurale d’Ibity	3
1-Délimitation de la commune d’Ibity	4
2-Characteristique de la commune d’Ibity	5
B : Géologie de la zone d’etude	6
1: Géologie régionale	7
2 : Géologie structurale	9
3 : Formation géologique	10
4 : Pétrographie	10
5 : Historique de la Vallée de la Sahatany	11
6 : Potentialités minérales de la Vallée de la Sahatany	12
Chapitre II –RAPPEL SUR LA TOURMALINE	13
1-Définition.....	13
2-Formule chimique.....	13
3-Composition chimique.....	13
4-Structure cristalline.....	14
5-Characteristiques	14
6-Groupe de la tourmaline	16
7-Couleurs.....	17
8. La tourmaline comme gemme	18
DEUXIEME PARTIE : EXPLOITATION DES TOURMALINES SUR DES FILONS DE PEGMATITES DE LA SAHATANY	19

Chapitre III : LES PEGMATITES.....	20
I-Généralités.....	20
1-Définition.....	20
2-Forme et structure des pegmatites.....	20
3-Types des pegmatites	20
4-Mode de gisement	20
II-Minéralogie des pegmatites d'Ibity	21
III-Listes des pierres gemmes les plus importantes des pegmatites	22
Chapitre IV : CARACTERISATION DE L'EXPLOITATION SOUTERRAINE DE LA SAHATANY PAR RAPPORT AU GISEMENT DE TOURMALINE DE MADAGASCAR	24
I-Généralités sur l'exploitation souterraine	24
1-Infrastructures et l'installation électrique dans la mine	24
2-Equipement de protection individuel (EPI)	25
3-Panneau de signalisation	26
4-Etapes des travaux souterraines	27
II-La mine des tourmalines de sahatany	27
1-coordonnées Laborde	27
2-Mode et technique d'exploitation	27
3-Characteristiques.....	28
4-Matériels	28
5-Nombre des exploitants travaillant sur le site d'exploitation.....	29
6-Les fonctions des exploitants sur la mine de Tsarafara	29
III-Les problèmes de la petite exploitation souterraine de la Sahatany	30
1-La sécurité.....	30
2-L'environnement.....	31
3-Production	32
TROISIEME PARTIE : SUGGESTION ET RECOMMANDATION	34
Chapitre V : SUGGESTION	35
I-Avant l'exploitation.....	35
1: Définition du permis minier	35
2: types de permis minier	35

3: Processus d'acquisition des permis miniers	36
4: Avantages d'obtenir le permis minier	36
5: Conclusion.....	36
II-Pendant l'exploitation	36
III-Après l'exploitation	38
Chapitre VI : RECOMMANDATION	39
I-Sur le plan économique	39
II-Sur le plan social.....	39
III-Sur l'exploitation	40
IV-Sur l'environnement	40
CONCLUSION	42
BIBLIOGRAPHIES	I
WEBOGRAPHIES.....	I
ANNEXES	II

Auteur : RANDRIAMAHENINTSOA Hajatiana Samuelson

Adresse : Lot 0906 J304 Cité-piste Vatofotsy

E-mail :randriamahenintsoahajatiana@gmail.com

Titre : « AMELIORATION DE L'EXPLOITATION DU GISEMENT DE TOURMALINE DE LA SAHATANY »

Nombre de pages : 40

Nombre de tableaux : 08

Nombre des photos : 12

Nombres des annexes : 04

Nombre des figures : 06

RESUME

Le site d'exploitation souterraine de la vallée de Sahatany se situe dans la commune rurale d'Ibity, District d'Antsirabe-II. Les tourmalines sortant des pegmatites dans cette vallée font partie de gemmes de haute qualité mais l'exploitation existante est toujours traditionnelle, les exploitants négligent la protection de l'environnement, les systèmes de sécurité pendant le travail.

Le but de cette étude consiste à porter des idées d'amélioration de cette exploitation pour minimiser les risques et les dangers et aussi pour développer le niveau de vie des exploitants.

Mots clés : exploitation ; Sahatany ; tourmaline ; sécurité ; amélioration

ABSTRACT

The Sahatany Valley underground mining site is located in the rural commune of Ibity, District of Antsirabe-II. The tourmalines coming out of the pegmatites in this valley are part of high quality gems, but the existing mining is still traditional, the operators neglect the protection of the environment, the safety systems during the work.

The purpose of this study is to come up with ideas for improving this operation to minimize risks and dangers and also to develop the standard of living of operators.

Keywords: exploitation; Sahatany; tourmaline; security; improvement