

TOURMALINE À MADAGASCAR, ENVIRONNEMENT ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

RASAMIMANANA Andrianiaina Emilson,
RAMANIVOSOA Beby,
RANDRIAMANANTENASOA Arivelo Fidimanana &
ARISTARQUE Loudovick Be Ferdinand

Ecole Doctorale Génie du Vivant et Modélisation, Université de Mahajanga, Madagascar
E-mail: onlemis@gmail.com; Tél: + 261 034 72 522 58 ;
lalaseheno@moov.mg , arivelofidy@yahoo.fr,
aristarquelb@gmail.com

Résumé

La tourmaline est un minéral recherché par ses importances. Elle se forme dans les pegmatites de certaines régions de Madagascar. Les exploitations de tourmaline se font de façon artisanale dans la Grande île et fréquemment, elles sont sources de destruction de l'environnement. Effectivement, les creusements de sol et les effets physico-chimiques des déblais évacués des carrières peuvent polluer l'environnement et tuer certaines espèces d'animaux et de plantes. Tous ceux-ci peuvent accentuer les risques naturels. Pourtant, les intérêts apportés par la tourmaline et/ou ses gisements sont encore méconnus dans notre Pays. Une étude est menée sur "Tourmaline à Madagascar, environnement et développement durable". Les objectifs de cette étude sont d'évaluer les dégâts générés par les exploitations de la tourmaline, afin de gérer leurs impacts particulièrement, sur l'environnement; de trouver une bonne méthode d'exploitation qui peut accentuer la rentabilité toute en respectant l'environnement; conserver et valoriser les pierres de tourmalines avec leurs gisements pour qu'on puisse en créer des circuits écotouristiques, ceux-ci peuvent renforcer la conservation et la valorisation de l'environnement. Nos méthodes, sont axées sur les documentations; sur les travaux de terrain, enquêtes, observations, prospections et étude des carrières; et sur l'analyse XRF d'échantillons de tourmalines qu'ont été collectés dans le gisement d'Ambalamahatsara à Ambatofinandrahana. A Ambalamahatsara, la tourmaline

est de variété rubellite et elle se forme dans les pegmatites de type sodolithique. Cette variété de tourmaline est composée plus de 50 éléments chimiques, ces éléments sont présents dans les déblais et certains (métaux lourds) peuvent contaminer les faunes et flores dans les endroits de basses altitudes. Des données sur le prix de tourmaline et le volume de déblais évacués des carrières étudiées sont connues. Le rapport « prix de tourmaline/volume de déblais » de chaque carrière, la variation de ces rapports reflète la rentabilité et les effets des exploitations sur l'environnement. La vente et les transformations de cette pierre est une source de métier. L'exposition de ce minéral dans un musée peut développer l'écotourisme à Madagascar. L'application des méthodes d'exploitation convenables permet d'augmenter, en termes de revenu, la fiabilité des exploitations de tourmaline. Les bénéfiques, en matière de commerce et de l'écotourisme peuvent couvrir l'aménagement de terrain ainsi que l'environnement. Si le secteur minier est confiant, et il y a considération de l'environnement; alors, l'équilibre entre secteur minier, environnement et social des habitants sera atteint, ainsi les risques naturels sont maîtrisés. Indubitablement, le développement durable du pays sera prouvé.

Mots-clés : Tourmaline, Risque, Environnement, Développement Durable, Madagascar.

Abstract

The tourmaline is a required mineral by its importances. Tourmaline mineral is formed in pegmatites of some regions of Madagascar. Tourmaline exploitations are done in artisanal way in the Big island and frequently, they are sources of environment destruction. In fact, diggings of soil and physico-chemical effects of the rubbles can pollute the environment and can also kill some species of animals and plants. All these However, interests brought by tourmaline and/or its deposit are again unrecognized in our Country. A study was conducted on "Tourmaline in Madagascar, environment and durable development ". The objectives of this survey are to evaluate damages generated by exploitations of tourmaline, in order to manage their impacts especially, on the environment; to

find a good method of exploitation that can accentuate the profitability while respecting environment; to conserve and to valorize the stones of tourmalines with their deposits so that to create through it some ecotouristic circuits, these can strengthen conservation and valorization of environment. Our methods, are focuses on documentations; on the field works, investigations, observations, prospectings and study of the careers; and on the XRF analyse of tourmalines samples that has been collected in the site of Ambalamahatsara Ambatofinandrahana. In Ambalamahatsara, the tourmaline is rubellite variety and it is formed in the sodolithique pegmatites type. This variety of tourmaline is composed more than 50 chemical elements, these elements are present in the rubbles and some (heavy metals) can contaminate fauna and flora in the low altitude area. Data about the price of tourmaline and the volume of rubbles of each career in studied site are known. The report "price of tourmaline/volume of rubbles" of each career, the variation of these reports reflects the profitability and the effects of the exploitations on the environment. The sale and the transformations of this stone are source job. The exhibition of this mineral in a museum can develop cotourism in Madagascar. Application of the appropriate exploitation methods permits to increase, in terms of income, the reliability of the tourmaline exploitations. The profits, concerning trade and ecotourism can cover field restoring as well as the environment. If the mining sector is trustful in relation to its profitability, and there is consideration of the environment; then, the equilibrium between mining sector, environment and social of the inhabitants will be reached. Undoubtedly, the durable development of the country will be achieved.

Introduction

La tourmaline est un minéral accessoire commun dans les roches magmatiques et métamorphiques. La tourmaline se cristallise dans le système rhomboédrique, ses cristaux peuvent se présenter en prisme allongée, en baguette ou en

aiguille et/ou en prisme aciculaire, à section triangulaire arrondie et/ou hexagonale. Elle fait partie du groupe des cyclosilicates, avec formule générale: $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$ où X peut être des ions Ca^{2+} , Na^{+} , K^{+} , $Y = Li^{+}$, Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} ; $Z = Al^{3+}$, Mg^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} ; $T = Si^{4+}$, Al^{3+} ; $B = B^{3+}$; $V = OH^{1-}$, O^{2-} et $W = OH^{1-}$, F^{1-} , O^{2-} (HENRY, 2011). La tourmaline peut offrir toute la couleur qui existe et certains auteurs affirment qu'elle est une pierre aux couleurs infinies. Grâce aux propriétés décoratives de la tourmaline, elle est une pierre recherchée. Nombre de bijoux sont fabriqués en tourmaline sertie dans un métal. En effet, c'est la pierre préférée de René Lalique, l'un des plus renommés créateurs de l'Art Nouveau (<https://www.cailloux-shop.com/la-tourmaline.html>). Comme cette pierre est aussi dotée d'une propriété réfractive et piézoélectrique, elle sert à la fabrication de réfractomètre, de manomètre; les français l'utilisaient dans les régulateurs des jauges radio pendant la deuxième guerre mondiale. Actuellement, au niveau du marché international, le prix de 2,5 carats (0,504g) de tourmaline taillée de haute qualité venant de Madagascar vaut 99,99USD (<https://www.ebay.com/itm/2-52-cts-Flawless-Yellowish-Green-Oval-Cut-Natural-Madagascar>).

A Madagascar, la minéralisation de la tourmaline est fréquemment dans les pegmatitiques qui sont des roches à gros grains résultants de solidification du dernier souffle magmatique. Les gisements importants de pegmatites porteuses de tourmaline sont dans la Région de Vakinankaratra plus précisément à Anjanabonoina-Vohitranga, à Sahatany, à Ibity; et dans la Région Amoron'i Mania, à Valozoro à Ambositra, à Anjomanandihizana Manandriana, à Ambalamahatsara

Ambatofinandrahana. Dans le gisement d'Ambalamahatsara il y a des exploitations de tourmalines depuis très longtemps et jusqu'à présent. Les effets de déblais produits par les exploitations de tourmaline dans cette localité causent des différents problèmes. Des fois, ils accentuent les risques naturels. Une étude est alors menée sur «Tourmaline à Madagascar, Environnement et Développement Durable ».

Les objectifs de cette étude sont d'évaluer les dégâts générés par les exploitations de la tourmaline, afin de minimiser leurs impacts, particulièrement gérer les risques naturels liées à ces déblaiements; de trouver une bonne méthode d'exploitation qui peut augmenter la rentabilité avec respect de l'environnement; de conserver et de valoriser les pierres de tourmalines et leurs gisements, pour qu'on puisse en créer des circuits écotouristiques et ceux-ci peuvent aider à la conservation et la valorisation de l'environnement.

Dans le cadre géologique, les gisements de tourmaline du site d'étude appartiennent au Sous-domaine d'Itremo. Ce Sous-domaine consiste à dépôts de calcosilicates, de quartzites, de métapelites et de marbres dolomitiques du paléoproterozoïque, plus précisément du Statherien-Calymnien, entre 1800 Ma et 1500 Ma (Cox et al, 1998, 2004). Les roches encaissantes métasédimentaires sont affectées par de granitisations et de pegmatisations de Cryogénien (740Ma et de 704Ma) et d'Ediacarien (<542Ma) qui sont responsable des minéralisations de bon nombre des minéraux. Les pegmatites d'Ambalamahatsara, plus précisément dans la colline d'Andrabotsolahy appartient au Groupe Sodalitique (Lacroix, 1922) et de Types LCT (Lithium Césium Tantale) et de Sous-Types

Lépidolite, Tourmaline et Danburite (Pezzota, 2002). Ces pegmatites sont des filons qui ont plus de 1m de puissance et qui présentent des directions perpendiculaires à celle des collines (colline d'Andrabotsolahy, d'Andratsarato, d'Ambalalehifotsy, etc.). Les tourmalines produites par ces filons du sous-sol d'Andrabotsolahy sont de variété rubellite qui a de couleur rouge et rose. Ces tourmalines ont de forme rhomboédrique, prismatique et triangulaire arrondie. Les minéraux accompagnateurs de ces pierres sont du béryl rose, de quartz, de l'amazonite, de lépidolite, etc.

Méthodes d'étude

L'étude a été menée à Ambalamahatsara, plus précisément dans le site d'Andrabotsolahy. Nous avons choisi cette localité, d'une part, il y a un gisement de tourmaline exploité depuis très longtemps; d'autre part, les exploitations y sont sur les flancs d'une colline là où il y a de couverture végétale caractéristique qui abritent des espèces d'animaux sauvages. Il y a aussi dans champs de cultures et dans les basses altitudes s'implantes les rizières dans habitants locaux.

Dans le cadre de cette étude, quelques matériels sont utilisés pour faciliter les travaux sur terrain, à savoir: une boussole, un GPS, un appareil photo, une montre, une loupe 10x et sacs pour l'échantillonnage. Nous avons pu aussi utiliser les matériels d'exploitations des gens locaux dont: bêches, pelles, barres à mine, marteaux, burins, torches frontales, cordes, sacs de jute, pala (système mécanique en bois pour faire monter les déblais), haches, bois pointus et couteaux.

Les méthodes sont axées sur les documentations pour révéfier les travaux antérieurs. Des travaux de terrain ont été aussi

effectués combinés à des enquêtes, basés par des observations, prospections et étude des carrières.

La prospection consiste à observer les indices à la surface, la géomorphologie, les couvertures végétales, la structure géologique, des minéraux et des roches à la surface. Après avoir découvert les indices, les fouilles suivies par de le creusement de puis ont été effectués afin de suivre le filon productif. Pendant les creusements, les indices des couches souterraines ont été marqués jusque à la rencontre d'une poche tourmalinifère.

Concernant l'étude des carrières, le coût de tourmalines extraites des carrières a été comparé à celui de la quantité des déblais et de la mise à nue du sol dans ce site, afin d'évaluer le coût et l'ampleur de la destruction de l'environnement. Dans ce site, les carrières sont numérotées et la dimension des trous (diamètre et profondeur) est mesurée ensuite afin d'estimer le volume de déblais extrait. En fait, les carrières sont habituellement en forme d'un puits vertical terminé par une galerie horizontale à section circulaire. Un puits est assimilable à un objet creux cylindrique de hauteur h et de rayon R . La valeur de la surface de la section circulaire et celle du volume de chaque carrière s'écrivent $2\pi R^2$ et $2\pi h R^2$. Nous avons ensuite enquêté les exploitants à propos de la quantité, la qualité et le prix de tourmalines afin d'en déduire le rapport entre le volume de déblais qui ont été évacués et le prix de tourmalines trouvées, au niveau de chaque carrières. A partir des valeurs de ce rapport qu'a été estimée la rentabilité des exploitations dans le site.

Une analyse XRF d'échantillons de tourmalines collectés dans le site d'Ambalamahatsara à Ambatofinandrahana a été réalisée au sein de laboratoire de l'INSTN-Madagascar, à Antananarivo.

Une mise en place de circuit écotouristique a été accomplie au niveau de la région tourmalinifère (Région Amoron'i Mania et Vakinankaratra), focalisée sur la visite des carrières dans le site d'étude et visite des ventes d'expositions. Le prix est en monnaie locale "Ariary" (Ar).

Résultats

Exploitation de tourmalines et données des carrières

Méthode d'exploitation

Dans les deux sites, les carrières sont creusées sur les flancs des collines. Les travaux sont débutés par divers prospections, observations et sondages. Durant ces actions sont visées les traces des anciennes carrières, les couvertures végétatives et certains indices externes comme les débris de quartz en fumé, de tourmalines noires et de lépidolites. On pratique à Ambalamahatsara les deux modes d'exploitations: « ciel ouvert » dans les couches tendres et « souterraines » dans des couches dures. Le plus utilisé est le mode d'exploitations souterraines en galerie.

Les exploitants travaillent à l'aide des matériels artisanaux comme la barre à mine, le burin, le marteau, la bêche lors de décapage, surtout pour franchir les roches dures (quartzites) comme barrières. La pelle, le sac de jute et le « Pala » sont nécessaires pour l'évacuation des déblais et la torche frontale utilisée pour l'éclairage.

Le travail est débuté par le décapage et le creusement de puits qui doit avoir 80 à 100 cm de diamètre, sur une profondeur de 6 à 10 m, mais tout cela dépend de l'emplacement du filon. On garde en générale ce diamètre dans toutes les carrières pour que leur intérieur ne soit trop ventilé (le courant d'air est provocateur de l'éboulement).

Dans le puits, lorsqu'on atteint le filon (« lalam - bato »), on creuse la galerie en suivant la direction du filon jusqu' à ce qu'on y trouve les minéraux qui peuvent être dans une poche. La poche à tourmaline est habituellement indiquée par de gaz (peut éteindre une lampe de bougie) et par les cristaux de lépidolite imbriqués qui constituent leur enveloppe, lorsqu'on la frappe au marteau, elle fait « pouf ». En approchant la poche, les exploitants font bien attention pour ne pas abimer les cristaux trouvés. A la fin de la journée on met un repère pour retrouver facilement la direction de filon productif au lendemain. Les exploitants travaillent en groupe de quatre à dix personnes, s'entraident et s'organisent, pour faciliter les travaux.

Principe et données des carrières

Nos principes consistent à comparer la rentabilité de chaque carrière dans le site: en face du village d'Ambalalehifotsy afin de spécifier leurs rendements. Les relevés sur les carrières lors des études sur terrains nous ont fournis des données, qui sont établies dans les tableaux suivants.

Tableau 1: Résultats des enquêtes et des mesures sur les carrières du site d'Ambalahatsara

Carrière	Surface (m ²)	Déblais (m ³)	Tourmaline obtenue (kg)	Prix de pierres produites (Ariary)	Rapport : Prix(Ariary)/Vol (m ³)
C ₁	4,3	43	80	400 000	9 302
C ₂	7,65	76,5	180 +0,5 (gemme)	1 900 000	24 837
C ₃	7,65	76,5	50	250 000	3 267
C ₄	7,65	76,5	100	500 000	6 535
C ₅	7,65	76,5	70	350 000	4 575
C ₆	7,65	76,5	90	450 000	5 882
C ₇	15,33	153,3	110	550 000	3 587
C ₈	9,4	94	120	600 000	6 382
C ₉	7,65	76,5	0	0	0
C ₁₀	1,91	3,82	0	0	0
C ₁₁	112,71	3381,3	500	2 500 000	739
C ₁₂	1,91	28,65	0	0	0
C ₁₃	4,3	64,5	0	0	0
C ₁₄	1,91	19,1	0	0	0
C ₁₅	7,65	76,5	80	400 000	5 228

C ₁₆	9,73	97,3	10	50 000	513
C ₁₇	79,9	1198,5	100	500 000	417
C ₁₈	40,25	1207,5	180 + top plus 0,5	800 900 000	663 271
C ₁₉	4,3	77,4	50	250 000	3 229
C ₂₀	6,25	75	30	150 000	2 000

Tableau 2: Récapitulations des valeurs totales des grandeurs (Surface, volume, poids et prix en monnaie locale Ariary Ar)

Surface totale des carrières (m ²)	Volume total de déblais des carrières (m ³)	Poids totaux de tourmalines obtenues (kg)	Prix total de tourmalines(Ar)
345,75	6978,87	1700,5 + Tourmaline top de poids inconnus	803 600 000

Explication et interprétation du Tableau 1 : Surface des carrières, quantité de tourmaline obtenue, volume de déblais (m³) et valeur monétaire des pierres (Ar).

Parmi les carrières exploitées, celles de C₁₀, C₁₂ et C₁₄ montrent la plus petite surface mais C₁₁ présente la surface la plus grande. La plus petite quantité de déblais est produite par la carrière C₁₀ tandis que celle de la plus grande quantité de déblais est donnée par la carrière C₁₁. La quantité de tourmaline la plus abondante est produite par la carrière C₁₈ alors que les carrières C₉, C₁₀, C₁₂, C₁₃ et C₁₄ n'ont fourni aucune pierre. Concernant la valeur monétaire, la valeur la plus élevée est fournie par la carrière C₁₈ pourtant les carrières C₉, C₁₀, C₁₂, C₁₃ et C₁₄ montrent une valeur nulle.

La mesure de surface et de la profondeur des carrières, la quantité de déblais évacués des carrières, l'abondance et la qualité de tourmalines produites sont variables d'une carrière à l'autre. Cette variation est due à la méthode adoptée par les exploitants ainsi à l'emplacement de la poche à tourmaline. En effet, les poches à tourmaline qui sont susceptibles de contenir plus de tourmaline se

situent habituellement en profondeur; la raison pour laquelle il y a eu une quantité élevée de déblais extraits. Les carrières C₉, C₁₀, C₁₂, C₁₃ et C₁₄ qui ont été classées comme stériles peuvent être creusées dans un endroit loin du filon ou bien le filon y est mais les poches restaient absentes.

La carrière C18 de ce site présente un rapport prix/ volume le plus élevé. En effet, le prix de tourmalines obtenues de cette carrière est élevé: à part de tourmalines givrées qui pèsent 180kg, une tourmaline top y est aussi trouvée.

Le rapport prix/ volume total élevé suscite le coût énorme de tourmalines, surtout sur les pierres de meilleures qualités y extraites: gemme (C2) et top (C18).

Environnement du site d'étude

Faune et flore

Le terrain d'étude présente de des forêts reliques de tapias (*Uapaca bojeri*) et d'aloès (*Aloes capitata*), de pelouse à xérophytes avec espèces herbacées et succulentes, etc. et aussi aux environs des carrières, il existe de champs de culture surtout dans la vallée il y a des zones humides avec des rizières et champ d'armoise annuelle (*Artemisia annua*) appartenant aux gens locaux. On a trouvé quelques fois certaines espèces d'animaux sauvages: d'insectes comme les criquets, les abeilles, etc., des reptiles (serpents, caméléon, lézards), des oiseaux (foudia, martin, corbeaux, etc.) et des mammifères (rats, hérissons, etc.).

Géomorphologie

Dans le site d'étude qui est en face du Village d'Ambalalehifotsy, les carrières de tourmaline sont sur le flanc Ouest (incliné environ 30°) de la colline d'Andrabotsolahy. La colline est hérissée de roches

carbonatées à crêtes saillantes (cipolins). Juste à l'Est de la colline d'Andrabotsolahy, il y a le mont Antataondambo d'environ 400 m de haut. La vallée dont sa base est occupée par de nombreuses rizières, s'allonge et devient plus étalée à l'Ouest pour former une vaste cuvette. Elle bifurque vers le Sud- Ouest en aval et vers le Nord en amont.

Une rivière venant de Nord, de direction Sud-Ouest, traverse ces rizières et sépare les collines d'Andrabotsolahy à celle de la colline du village d'Ambalalehifotsy. Il faut signaler que le flanc de chaque colline s'adoucit en pente et s'élargit pour devenir une vaste plaine. Des talus de plus ou moins de 1 m délimitent par endroits les collines. Après les talus commencent les rizières.

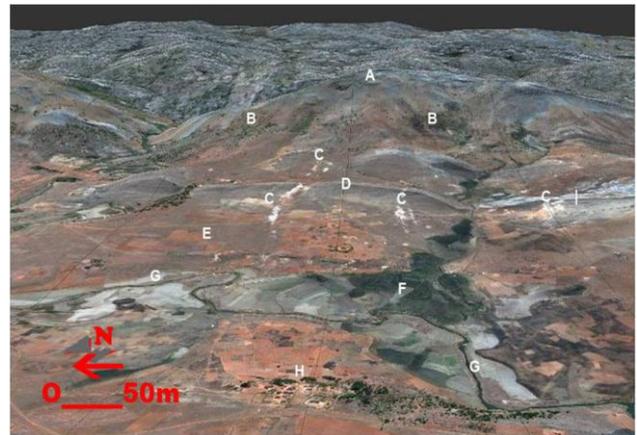


Figure 1: Terrain d'étude, en face du village Ambalalehifotsy (Photo: Image satellite) (Légende : **A** : Mont d'Antataondambo ; **B** : Forêt réduite de tapia ; **C** : Carrières ; **D** : Andrabotsolahy (colline) : (20°42'36.07"S ; 46°52'0,68"E ; élev: 1451m) ; **E** : Champs de culture ; **F** : Rizières ; **G** : Rivière ; **H** : Ambalalehifotsy (village) ; **I** : Andratsarato (colline) :(20°42'53.64" S ; 46°51'27.80"E ; élev: 1432m)

Gitologie et minéralogie de tourmaline

Gîtologie

Dans le Site d'étude d'Ambalamahatsara plus précisément dans la colline d'Ampopotra Ambalamahatsara, les gisements de tourmaline est de type primaire, c'est-à-dire dans les filons de

pegmatites de type sodolithique. Les indices du filon porteurs de tourmaline y sont parfois de tourmaline noire, de quartz et de lépidolite. Dans un filon productif, avant d'atteindre une poche, il y a un bloc de quartzite appelé barrière d'après les exploitants. Après ce dernier, se cristallisent les minéraux de lépidolites en plaquettes qui sont accompagnées par de quartz, de béryls, d'amazonites et de schörlites ou de tourmalines noires. Une cristallisation des lépidolites imbriqués indique que la poche tourmalinifère n'est pas loin et parfois elle enveloppe directement cette poche. Les filons du Site s'inclinent et prennent de direction Est-Ouest, ils donnent de tourmalines rubellites (rose ou rouge).

Minéralogie de tourmaline rubellite

Cette variété de pierre est caractérisée par sa couleur rouge et rose et elle est pléochroïque. La couleur du trait ou couleur de la poudre est gris clair. Elle peut être translucide à transparente, ça dépend de la qualité; la rubellite de haute qualité (Top) est transparente. L'éclat du minéral est vitreux. Les tourmalines rubellites d'Andrabotsolahy ont de la forme prismatique à section triangulaire arrondie. Il n'y a pas de stries sur les faces externes de chaque pierre. La taille d'une pierre peut atteindre 20 cm. La densité de ce minéral est en moyenne 3,016.



Figure 3: Tourmaline rubellite d'Ampopotra Ambalamahatsara

Quelques éléments chimiques (radioactifs, lourds) avec leur concentration en ppm, d'après les données de l'analyse XRF de la tourmaline rubellite d'Andrabotsolahy sont montrés suivant: Th (4,4); U (<1); Pb (163); Bi (31,9); Hg (0,8) et Tl(37).

Discussion

Rapport (prix de tourmaline/volume de déblais) et fiabilité d'exploitation

L'ampleur du prix dépend de la quantité et la qualité de pierres trouvées tandis que la grandeur du volume de déblais produite dépend la méthode d'exploitation pratiquée par les exploitants (savoir-faire des exploitants) et aussi l'emplacement et/ou la grandeur des poches que renferment les tourmalines. Dans une carrière, lorsque la valeur prix/volume (Ar/m³) est énorme (C18 et C30), l'exploitation est fiable; les revenus peuvent rembourser les dépenses, peuvent couvrir l'aménagement de terrain et permettent de gagner beaucoup de bénéfice. Une telle extraction suscite de bonnes méthodes de prospection et d'exploitation ainsi une bonne organisation de travail.

En tout cas, l'exploitation n'est pas confiante si la valeur (Ar/m³) de déblais est moindre (voire nulle) (cas de C9, C10, C12, C13 et C14), elle n'apporte aucun revenu et à la fois elle serait aussi source de ruines environnementales (érosion, pollution de l'eau, etc.).

Impacts des exploitations sur l'environnement

A Ambalamahatsara, la grande quantité de déblais n'a pas été utilisée pour remblayer les trous occasionnés par l'exploitation de tourmaline et ces déblais vont être déposés au niveau des exutoires et générer ainsi la perturbation: de la circulation d'eau.

Les déblais issues des carrières creusées sur le flanc vont être transportés par les eaux de ruissellement et vont ensuite boucher les canaux d'irrigation et/ou envaser l'eau des rizières; sinon ils sont transportés par les rivières et les fleuves et ont d'effet dévastateur au niveau des embouchures (mangroves) et des rivages (récifs coralliens). De plus, la plupart des exploitants semble avoir un rendement négatif (temps, qualité et dépense engagé) à la fin des exploitations.

Principalement, les animaux et les végétaux au niveau des vallées traversées par les eaux de ruissellement contenant de sédiments pendant la période de pluie sont facilement contaminés. La croissance des êtres vivants liés à l'eau; l'oxydation de fer qui génère un produit extrêmement toxique peut périr les riz aux rizières et/ou les coraux littoraux des côtes. Les éléments chimiques lourds et radioactifs (Th, U, Pb, Bi, Hg et Tl, etc.) qui sont présents dans les déblais peuvent causer de lésion au niveau de leurs cellules et peuvent entraîner une maladie très grave et conduisant à la mort pour eux.

Toutes ces destructions, mise à nu du sol, non rétablissement de terrain creusé et disparition de l'environnement sont sources de différents problèmes sur la vie sociale des habitants locaux. En effet, la manque de couverture végétatif favorisant la stérilisation et au durcissement du sol conduit à l'érosion d'où diminution de terrains cultivables et par conséquent, réduction de produits agricoles. Les trous des carrières qui sont assez profondes peuvent causer des accidents très graves que ce soit pour les villageois ou pour leurs bovins.

L'abattage des plantes et le creusement du sol éliminent tous genres et espèces d'animaux qui s'abritent à la surface ou dans le sol. Ainsi, les gaz séquestrés dans le sol sortent. Les extinctions

entraîne le durcissement du sol ce qui initialise la sécheresse et la prolifération de gaz à effet de serre.

Suggestions sur les exploitations

Il est primordial de trouver une augmentation de l'efficacité d'exploitations sur la mécanisation et une amélioration des conditions de travail des mineurs. L'exploitation de tourmaline doit être initiée par certaines études sur terrain avec des indices. Une meilleure connaissance des gisements nécessite les études classiques en effectuant non seulement la prospection à la surface mais aussi un sondage au sous-sol. On pourrait voir la direction et la grandeur du filon, et les différentes zones sur les pegmatites grâce à ces méthodes. Idéalement, les exploitations exigent des connaissances en géologie pour bien assurer les travaux. Les matériels et méthodes devraient être opérants lors des exploitations pour faciliter les décapages et excavation. Pour réduire les déblaiements excessifs qui sont parfois source de dégâts, une des meilleures solutions est l'utilisation des matériels simples, non encombrants mais efficaces comme les perforatrices rotatives, compresseur, de pompes si l'exhaure est nécessaire; d'un système d'extraction si la mine est souterraine.

Il faut rétablir le terrain après les exploitations par de reboisement.

La création d'un circuit écotouristique, musée et écomusée tourmalinifères semble nécessaire afin de conserver et valoriser les sites tourmalinifères avec tous leurs produits (tourmalines et ses pierres paragénétiqes).

Conclusion

La tourmaline est un minéral de borosilicate d'alumine, elle est parmi les pierres recherchées

dans le monde. A Madagascar, les exploitations de tourmaline et leur impact sur l'économie et sur l'environnement peuvent être reflétés à ceux d'Ambalamahatsara. Dans cette localité, les gisements de tourmalines et dans les contacts de marbre dolomitique et des filons granitiques.

A Ambalamahatsara, les exploitations de tourmalines sont artisanales. Les carrières de tourmalines sont sur le flanc de la colline d'Andrabotsolahy.

La méthode basée sur la détermination de rapport (prix de tourmaline/volume de déblais) nous a permis de caractériser chaque carrière. Un rapport élevé marque le bon rendement d'une exploitation suivant un filon productif. Au contraire, la baisse de ce paramètre s'explique par la moindre rentabilité à cause de l'absence de la poche dans un filon.

La dénudation du sol, les creusements de sol et les déblais produits lors des exploitations de tourmalines renforcent l'inondation, la sécheresse et la famine qui font partie des risques naturels. Pour éviter ces problèmes, l'amélioration des exploitations s'avèrera nécessaire. Elle consiste à appliquer une bonne méthode d'exploitation qui sera basée par les études géologiques, utilisations des matériels non encombrants. Ceux-ci permettent de trouver facilement les filons productifs, donnant de bonne qualité, valeureuse, sans gêner trop l'environnement.

Lorsque l'équilibre sera retrouvé, entre secteur minier, environnement et vie sociale des habitants grâce aux avantages économiques qu'ils gagnent, sans contestation, les risques naturels sont faciles à gérer. Indubitablement le développement durable du Pays sera effectif.

Références bibliographiques

- Lacroix, A. (1922). Minéralogie de Madagascar. Augustin Challamen, Paris, vol 2.
- Pezzota, F., 2002. Les pegmatites à pierres fines et leur géologie, Antananarivo, Intermediate Technology Consultants Project – Consult GmbH, 3, 51 pages.