

« CARACTERISATION DE PHLOGOPITE D'AMPANDRANDAVA PAR LES METHODES FLUORESCENCE-X ET VALORISATION DU GISEMENT (SUD DE MADAGASCAR) »

Miora Harivony RAKOTONDRABE^{1,2*}, Eddy Harilala RASOLOMANANA¹,

Roger RANDRIANJA¹, Lucienne R. RANDRIAMANIVO², Herinirina N. RAVOSON²

1- ED INGE, ESPA - Université d'Antananarivo

2- INSTN - Madagascar, TXRF

*Auteur correspondant : Tel : +261 33 02 612 14/+261 34 37 946 88 ;

E-mail : rh_miora@yahoo.fr / rakmiora@gmail.com

RESUME

La mine d'Ampanrandava figure parmi les plus vieilles mines souterraines de Madagascar datant avant la période coloniale. Elle est la seule mine encore accessible en profondeur et en quasi-activité avec divers niveaux encore prometteurs. A part sa spécificité pour son exploitation souterraine, cette mine se caractérise aussi par les différents minéraux dont la phlogopite unique en son genre. Malgré son ancienneté, le gisement n'est pas encore épuisé mais son exploitation n'est plus rationnelle comme avant et conduit au gaspillage du gisement.

Pour mettre en évidence et valoriser le minéral de phlogopite, il est important d'inscrire la mine parmi les patrimoines de l'exploitation minière à Madagascar et caractériser ses produits, ainsi que les minéraux existants dans le village. Des tests statistiques sur la capacité de production durant quelques années, des travaux géologiques et miniers en profondeur et en surface ont été réalisés dans la zone d'étude, de cartographie et des analyses géochimiques pour la détermination de la composition du minéral.

En bref, ces travaux nous ont permis de caractériser le minéral, de valoriser la mine et le site d'exploitation. Les résultats d'analyse géochimiques montrent que les phlogopites d'Ampanrandava sont fortement riches en SiO₂, Al₂O₃, MgO et K₂O dont SiO₂>35%, Al₂O₃>10% et MgO>25% avec une abondance de CaO>10% K₂O>10%. Ils sont de type alumineux-magnésien. Les cartes structurales de quelques niveaux montrent des zones et réserves prometteurs encore exploitables.

Mots-clés: mica, phlogopite, Ampanrandava, fluorescence-X, mine souterraine.

FINTINA

Ny toeram-pitrandrahana Ampandradava dia anisan'ireo fitrandrahana harena ankibon'ny tany antitra indrindra izay efa nisy talohan'ny vanim-potoanan'ny fanjanahantany. Izy irery ihany ny toeram-pitrandrahana harena ankibon'ny tany afaka hidirana any amin'ny lalina sy mbola ampiasaina, ao koa ireo ambaratonga isan-karazany mbola mahabe fanantenana. Ankoatra ny mampivavaka azy amin'ny fitrandrahana ambanin'ny tany, dia ao ireo karazana mineraly samihafa hita ao aminy, anisan'izany ny Heladrano miloko volontany antsoina hoe : « flogopita » izay tsy manam-paharoa. Na eo aza ny fahanterany ity toeram-pitrandrahana ity dia mbola tsy lany

tanteraka ny heladrano flogopita ao aminy saingy ny fitrandrahana azy dia tsy mitovy tahaka ny teo aloha fa miha ratsy ary mitarika ho amin'ny fandanium-poana ny harena an-kibon'ny tany.

Mba hanasongadinana sy ho fanomezan-danja ny mineraly heladrano volontany, dia zava-dehibe ny handraiketana azy io ho anisan'ny vakoka iray amin'ny fitrandrahana harena ankibontany eto Madagasikara, ary koa ireo mineraly misy ao an-tanàna. Ny fanadihadiana statistika momba ny hery famokarana nandritra ny taona vitsivitsy, ny asa ara-jeolojika sy ny asa momba ny harena ankibon'ny tany dia natao tao amin'ny faritra nanaovana fikarohana, sarintany sy asa fandalinana geosimika ho an'ny famaritana ny firafitry ny mineraly.

Raha fintinina, ity asa ity dia naneho sy mampahafantatra ilay mineraly, nanome lanja ny fitrandrahana sy ny toeram-pitrandrahana. Ny valin'ny fanadihadiana ara-geosimika dia mampiseho fa ny heladrano flogopitan' Ampandrandava dia betsaka akora SiO_2 , Al_2O_3 , MgO ary K_2O izay ny $\text{SiO}_2 > 35\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 10\%$ ary $\text{MgO} > 25\%$ taha ambony kokoa ny $\text{CaO} > 10\%$ $\text{K}_2\text{O} > 10\%$. Izy dia karazany alimo-magnesiana. Ny sari-tany mandrafitra an'ireo ambaratonga sasatsasany dia mampiseho ireo toerana sy faritra mampisy fanantenana fa mbola afaka trandrahana.

Teny fanalahidy: heladrano, heladrano volontany flogopita, Ampandrandava, fluorescence-X, fitrandrahana harena kibontany any ambanin'ny tany.

ABSTRACT

Ampandrandava mines is one of the oldest underground mines in Madagascar dating back to before the colonial period. It is the only underground mine still accessible and in activity with various levels still promising. Apart from its specificity for underground exploitation, this mine is also characterized by the different minerals including a phlogopite. Despite its age, the deposit is not yet exhausted but its exploitation is no longer rational as before and leads to the waste of the deposit.

To highlight this mineral, and register the mine among the heritage of mining in Madagascar. A statistical test was done on the production capacity for a few years followed by geological and mining work in depth and on the surface were carried out in the study area, mapping and analysis work. geochemicals for the determination of the mineral composition.

This work allowed us to characterize the mineral as well as the valorization of the mine and the exploitation site. The geochemical analysis in Ampandrandava phlogopites are highly rich in SiO_2 , Al_2O_3 , MgO and K_2O with $\text{SiO}_2 > 35\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 10\%$ and $\text{MgO} > 25\%$ with an abundance of $\text{CaO} > 10\%$ $\text{K}_2\text{O} > 10\%$. They are aluminous-magnesian.

Key words: mica, phlogopite, Ampandrandava, X-ray fluorescence, underground mine.

1. INTRODUCTION

Le Sud de Madagascar est potentiellement riche en substances minières, essentiellement des minerais industriels, des minerais stratégiques à des pierres fines. Leur exploitation a commencé avant la période coloniale. A l'époque les gisements de graphite, de chrome, d'or, d'uranothorianite, de charbon et de phlogopite font l'objet d'une grande exploitation (H. Besairie, 1966).

Parmi ces ressources exploitées, l'exploitation du mica est l'une des plus vieille dans le domaine de l'industrie minière à Madagascar. Actuellement, son exploitation continue toujours dans le Sud de Madagascar dont la majorité de ces exploitations se font d'une manière artisanale ou semi-industrielle.

En dépit de cette situation, il y a une hausse de la demande de mica de la part des firmes internationales. Un taux croissant d'exploitants y trouvent leur intérêt comme une opportunité d'exploiter artisanalement un peu partout dans le Sud de Madagascar. Cette demande exempte de spécification perpétue l'exploitation artisanale jointe à l'absence de sensibilisation aux enjeux environnementaux.

Dans le but de mettre en évidence ces gisements, des travaux d'analyse géochimique ont été réalisés sur quelques échantillons de phlogopite afin de classer le gisement et ces minéraux.

2. MATERIEL ET METHODES

L'approche méthodologique utilisée dans le présent travail a consisté à la recherche documentaire, aux travaux de terrain, aux prélèvements des échantillons, aux travaux de laboratoire et, enfin la cartographie structurale.

2.1. LOCALISATION

La zone d'Ampanrandava est située dans la Région Anosy, District d'Amboasary Sud à 265 Km au Nord-Ouest de Ford Dauphin et à 12 km au Nord de Beraketa. . Cette localité est connue par ces minéraux et son gisement de mica avec une exploitation souterraine pouvant atteindre -181m au-dessous du niveau de la mer comportant plusieurs niveaux et galeries s'étalant sur plusieurs mètres. En plus de la mine, le site comprend une multitude de gisements de mica aux alentours.

L'exploitation d'Ampanrandava se situe dans un sillon étroit entre deux arêtes rocheuses constituant les contreforts montagneux de Manakoliva et Belamoty-Belamota.

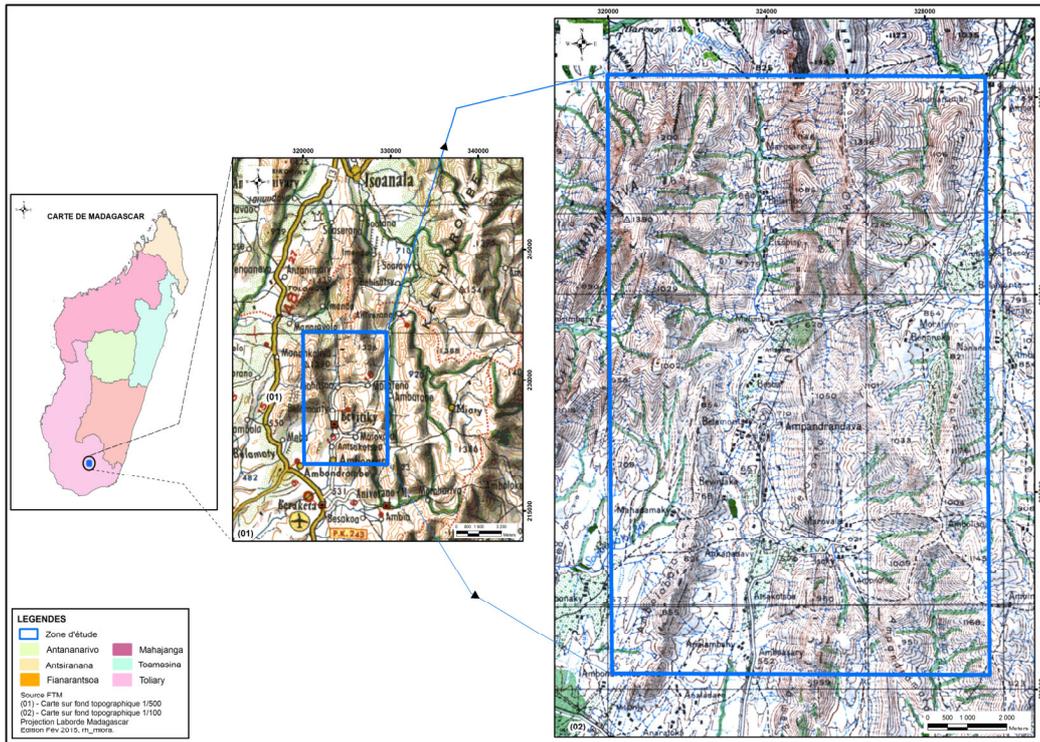


Figure 01 : Carte de localisation d'Ampandrandava

2.2. GEOLOGIE GENERALE

Du point de vue géologique, les gisements d'Ampandrandava appartient au domaine d'Androyen caractérisé par un métamorphisme d'intensité élevée (Rakotondrazafy et al., 1997 ; Martelat et al., 1997 ; Martelat et al., 2000 ; Tucker et al., 2011). Il s'étendant de Zomandao du Nord jusqu'à l'extrême Sud

En ce qui concerne le secteur d'Ampandrandava, il est dominé par des formations métamorphiques fortement plissées et redressées avec des diaclasses. Les formations granitoïdes sont limitées à des granites stratoïdes et des filons pégnmatitique.



Intrusion d'anhydrite

(Flanc d'une colline Sud-Ouest Ampandrandava)



Foliation et diaclasses

(Sud-Est d'Ampandrandava, rivière Iarofy)

Photo 01 : Quelques formations géologiques d'Ampandrandava.

La lithologie d'Ampanrandava est formé en générale par des gneiss, des leptynites mais dominée par des pyroxénites. Les minéraux associés à cette formation sont : biotite, plagioclase, diopside, amphibolite, cordiérite, sillimanite, calcite, apatite, pyrite, anhydrite mais les plus abondant sont les phlogopites exploités dans la mine. On y trouve aussi quelques roches éruptives à savoir les granites monzonitiques massifs, granites laccolitiques filoniens, interstratifiés et des orthogneiss (Martin et al., 2014).

Le faisceau d'Ampanrandava est une séquence pétrographique constituée par des couches de pyroxénite minéralisées rigoureusement interstratifiées dans une série à caractère géosynclinal formée de leptynite granitoïde, de gneiss à sillimanite avec intercalation de quartzite pyroxénite et cipolin.

Les pyroxénites sont formées essentiellement de diopside plus ou moins ferrifère avec association fréquente d'apatite, de scapolite, de calcite et de trémolite.

2.3. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Divers travaux ont été réalisés autour des gisements de phlogopite de Madagascar depuis la période coloniale jusqu'à maintenant. La majorité des travaux se focalise sur la géologie, la structurale, la gîte minérale, la localisation et la description des gisements, l'analyse géochimique et chimique des minérales.

Historiquement les gisements de mica de Madagascar ont été découverts par M. ROSSI avant les années 1920 dans la région de Bongolava à Volonandrongo.

À partir de 1920, d'autres gisement ont été découvre par A. LOUYS dans la région de Fort Dauphin qui a ouvert la rue vers les exploitations de phlogopite dans quelques parties de ce région.

En 1925, LAVILLA L. a fait des tournées sur les gisements de mica dans les régions d'Ihoso de Betroka et de Tsivory. Il réalise un travail concernant le gisement d'Ampanrandava : sur l'aperçu et l'emplacement du gisement, la nature du mica, la reconnaissance du gisement, les travaux sur la mine de Besohihy et la production du mica.

Des travaux de recherche géologique à Madagascar menée par l'équipe de H. BESAIRIE en 1926-1929 concernent les gisements proprement dit, l'exploitation, le traitement, la prospection du mica, les minéraux accessoires et l'étude des principaux gisements.

En exploitation souterraine semi-mécaniser avec des galeries et des puits a vu le jour a partir de 1950 à Ampanradava par A. SEYRIG.

Pour mieux exploiter ce gisement d'Ampanrandava, G. NOIZET a fait une proposition pour une campagne de sondage percutant à Ampanrandava en juin 1964.

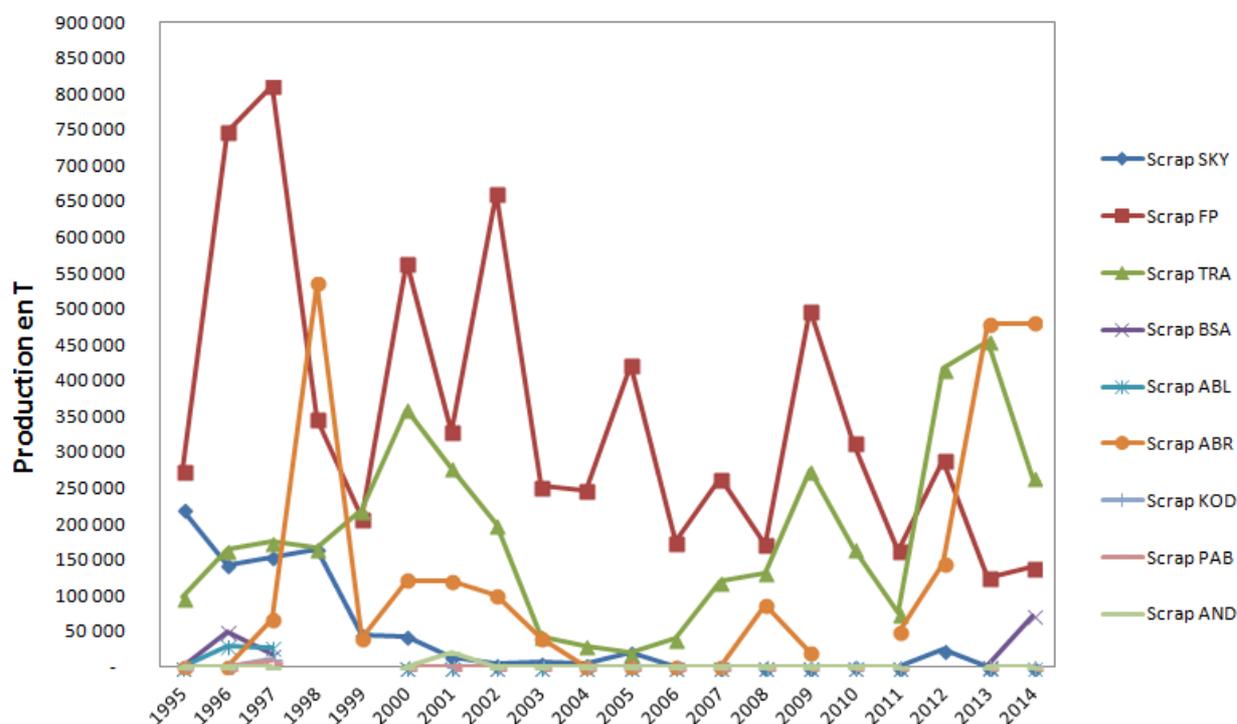
Durant ce temps divers travaux et mémoire de fin d'étude ont été réalisé autour des gisements de mica du Sud de Madagascar. En 1992, R RAKOTONDRAZAY a fiat des études sur ma pétrologie de la granulitique panafricaine de la région d'Ampanrandava.

Actuellement, SOMIDA est le propriétaire de quelque permis d'exploitation de mica dans le Sud de Madagascar et aussi la seule mine souterraine et fonctionnelle dans la grande ile. En 2013, des travaux d'évaluation d'exploitation de mica sur ces quelques gisements ont été réalisés de Fort Dauphin à Andranondambo. Puis 2014, travaux d'évaluation de la potentialité de la mine avec des études d'impacte environnemental.

2.3.1. Exportation de mica

Divers types de mica ont été exportés de Madagascar depuis son exploitation (SKY, TRA, FP, BSA, ABL, ABR, KOD, PAB, AND,...) sous différents types et formes (scrap, slitting, poudre bloc noble, pièces découpées,...). Suivant nos bases de données, nous avons pu constater une baisse de production chaque année ; celle-ci est due à différents facteurs. Actuellement, l'exploitation et l'exportation de ce minéral ne se soucient plus de la qualité du minerais exploitée, ceci contribue à la baisse de la production dans quelques gisements car la demande sans spécification est trop importante. Cette situation provoque une exploitation non rationnelle de certains gisements même à leur gaspillage et contribue de plus en plus à la destruction de l'environnement.

Tableau 01 : Exportation de mica



Source : SOMIDA

2.3.2. Cartographie générale

A Ampandrandava, on exploite le mica dans la mine de Besohihy. C'est la seule mine à exploitation souterraine encore en activité dans la grande île. Cette mine dispose des galeries souterraines en norme dans quelque niveau tandis que d'autres sont déjà bouchées par des stériles. Chaque niveau est compartimenté d'au moins 05 galeries pouvant s'étendre jusqu'à 1.000 mètres de longueur, 02 mètres de largeur et de 2,5 mètres de hauteur (SOMIDA, 2014).

Des travaux de mise à jour et l'établissement de nouveau plan d'exploitation de certain niveau ont été réalisés au cours de nos travaux afin de décrire les gisements exploitables et de rendre plus rationnelle l'exploitation.

2.4. TRAVAUX DE TERRAIN

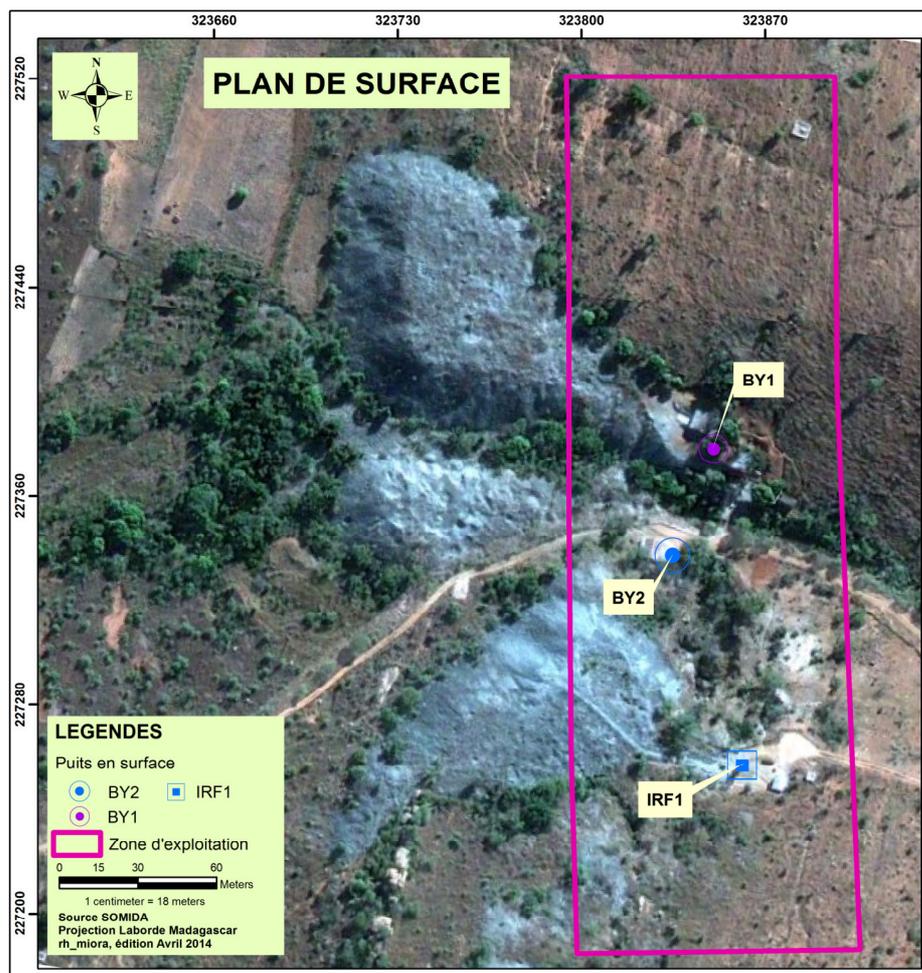
2.4.1. Travaux géologiques en surface

Aux alentours de la mine d'Ampandrandava, nombreuses sont les mines abandonnées telles que Ampisompiso, Isokona, Marosarety, Ambondrombe,... et d'autres exploitées artisanalement par les villageois. Ces gisements sont peu simulables au gisement de Besohihy avec une formation géologique semblable à la couche porteuse de minéralisation d'Ampandrandava dont la roche mère est le pyroxénite.

Le gisement de Besohihy est constitué par des collines latéritiques et des schistes cristallins intensément plissés. Le mode de formation de la phlogopite est lié avec la dislocation subite par les terrains, c'est-à-dire une corrélation entre minéralisation et diverses failles ou joints. Le gisement de Besohihy est rencontré le plus souvent dans les roches éruptives et dans les bancs de pyroxénite de direction Nord-Sud. Dans ces bancs de pyroxénite, on rencontre plusieurs filons de phlogopite associés à des anhydrites, calcites, pyrites et des diopsidites. De l'Est à l'Ouest, nous avons huit couches porteuses de minéralisation : Alpha, Baltazar, Bravo, Charly, Delta, Echo, Foxtrot et Golf.

Dans cette mine nous avons 03 puits (IRF1, BY1 et BY2) comme voie d'accès en profondeur et d'autres puits qui conduisent au fond de la mine.

Figure 02 : Carte de situation en surface à Besohihy



2.4.2. Travaux géologiques en profondeur

Les travaux en profondeur se sont focalisés sur deux niveaux : dont niveau -75 et niveau -91. Le niveau a été choisi pour ces différentes couches minéralisées intactes prometteuses pour l'exploitation avec des galeries non bouchées par des stériles.

- Niveau -75

Comme tous les niveaux, une certaine partie a été déjà exploitée auparavant. Ce niveau a une longueur d'environ 500m (extensible de Nord au Sud) avec une largeur d'environ 60m. Ce niveau a été choisi en raison de ses nombreux filons exploitables (Baltazar, Bravo, Alpha, Golf, Echo) avec un longueur et épaisseur importante.

- Niveau -91

Pour le niveau -91, la longueur est d'environ 350m (extensible du Nord au Sud) et d'une largeur d'environ 50m (extensible de l'Est-Ouest). Autrefois, ce site a été déjà exploité mais d'autres galeries d'extraction sont restées intactes pour une nouvelle exploitation. On a aussi six (06) couches porteuses de minéralisation dans ce niveau, à savoir : Charly - Bravo - Baltazar - Alpha - Golf - Foxtrot.



Galerie d'avancement



Choix d'axe de perforation



Perforation



Plan de tir



Abattage



Production

Photo 02 : Travaux en profondeur.

2.4.3. Echantillonnages

Des échantillons ont été à chaque gisement rencontré et quelques affleurements en surface dans la zone d'intervention. Les échantillons sont tous variables l'une de l'autre du point de vue topographique, d'autres sont prises en surface et d'autres à faible profondeur. Pour la mine de Besohiy, nous avons pris des échantillons à chaque niveau et d'autres issus des trous lors des perforations avant abattage. Le but est d'obtenir un échantillon représentatif comportant les caractéristiques physiques et chimiques de l'ensemble du niveau ainsi que du site étudié.

2.5. TRAVAUX DE LABORATOIRE

Les échantillons de mica ont été analysés en collaboration avec le laboratoire d'analyse par fluorescence X de l'INSTN-Madagascar. D'autres ont été analysés par Dilp. Geol et Stefan Pierdzig à l'institut de minéralogie et pétrologie de l'université Bonn.

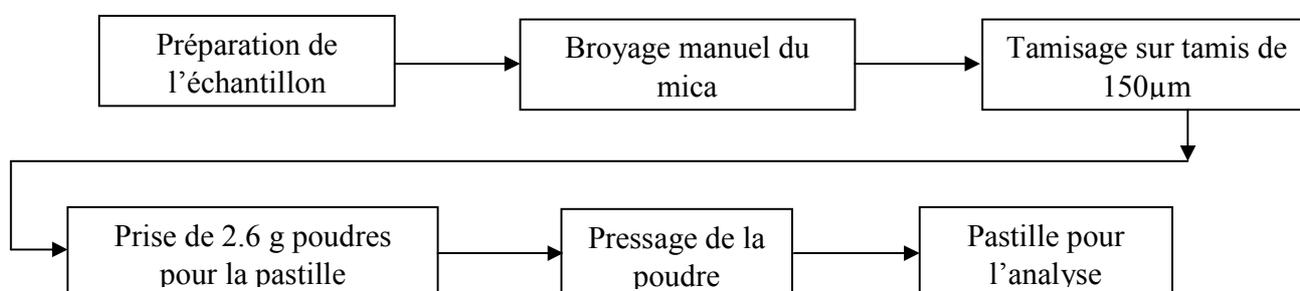
2.5.1. Technique du XRF de INSTN – Madagascar

L'analyse a été faite au moyen de la spectrométrie X à excitation directe du TXRF de l'INSTN Madagascar. Cette méthode est une analyse quantitative des éléments chimiques présents dans le minéral.

La spectrométrie de fluorescence X (FX, ou XRF pour X-ray fluorescence) est une technique non destructrice qui sert à quantifier la composition élémentaire des échantillons solides et liquides permettant l'analyse élémentaire.

2.5.2. Préparation des échantillons

Le processus de préparation est comme suit :



3. RESULTATS

3.1. PETROGRAPHIE ET MINERALOGIE DETAILLES

La phlogopite contient du potassium, du magnésium et de l'aluminium. Elle est transparente en feuillets minces, vitreuses ou perlées en blocs plus épais. Elle est de couleur jaune-brun, verte ou blanche. La muscovite et la phlogopite sont utilisées comme matériaux isolants dans la fabrication d'appareils électriques, particulièrement pour les lampes utilisées en électronique.

Pour la première vague d'analyse des échantillons de phlogopite ; les compositions géochimiques du minéral est comme suit :

➤ Les oxydants

Echantillons	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O
MC01	36,01	1,02	12,43	4,64	0,19	36,38	10,53	10,78
MC02	34,65	1,05	12,96	4,31	0,2	34,08	10,8	11,03
MC03	36,02	1,01	12,37	4,59	0,19	36,73	10,44	10,72
MC04	34,38	0,96	12,55	4,27	0,2	35,18	9,2	9,81
MC05	35,15	1,04	12,78	4,43	0,2	35,53	10,93	11,03
MC06	35,87	1,07	12,94	4,59	0,2	35,31	11,53	11,42
MC07	40,29	0,45	9,81	0,69	0,08	39,98	9,57	10,11

➤ Les éléments

Echantillons	Cl	V	Co	Ni	Zn	Br	Rb	Zr	Nb	Ta	Pb	Th	U
MC01	581,1	329,6	11,98	114,8	112,8	2,4	588,5	21,23	49,41	16,8	11,21	10,22	3,6
MC02	685,6	316,6	14,17	131,7	104,9	2,9	743,1	18,24	72,18	1,04	9,48	10,08	4,04
MC03	577,8	244,4	13,08	104,7	105,9	2,4	581,9	20,66	49,7	1,14	11,64	9,94	3,6
MC04	359,9	283,2	13,29	152,7	100,7	2,5	650,7	19,23	69,63	1,12	11,21	10,22	3,46
MC05	357,9	350	7,22	157,8	102,6	2,4	706,6	19,52	98,04	1,27	5,14	11,93	4,61
MC06	525,8	343,9	5,03	149,7	105,3	2,9	746,9	19,95	98,82	0,98	10,49	10,22	3,6
MC07	247,3	160,8	0	102,6	80,73	6,9	1449	39,89	10,4	1,55	29,5	11,64	6,92

Pour un second analyse des échantillons des deux niveaux étudiés :

Echantillons	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	BaO	K ₂ O	NaO ₂	F	Cl
MCAN7_1	38,45	0,92	15,93	0,06	4,93	0,08	22,97	0,02	0,52	10,23	0,33	1,19	0,2
MCAN7_2	39,09	0,95	16,06	0,04	4,7	0,15	23,02	0	0,18	10,26	0,38	1,45	0,15
MCAN7_3	39,73	0,93	15,91	0,04	4,49	0,14	23,15	0	0,18	10,26	0,3	1,59	0,08
MCAN7_4	39,14	0,9	15,98	0,03	4,17	0,11	23,24	0	0,18	10,38	0,34	1,27	0,04
MCAN7_5	38,81	0,93	15,77	0	4,5	0,18	23,1	0	0,18	10,14	0,31	1,56	0,02
MCAN7_6	38,81	0,99	6,2	0,03	4,19	0,09	22,86	0,02	0,18	10,25	0,37	1,43	0,11
MCAN7_7	38,98	0,88	16,02	0,03	4,26	0,15	22,54	0	0,18	10,27	0,33	1,42	0,18
MCAN7_8	38,88	0,92	15,86	0,06	4,87	0,12	22,85	0	0,18	10,29	0,36	1,59	0,17
MCAN7_9	39,04	0,98	15,85	0,03	4,4	0,17	22,9	0	0,18	10,18	0,31	1,3	0,08
MCAN7_10	39,02	0,97	15,74	0,03	4,68	0,09	23,28	0,01	0,18	10,4	0,35	1,08	0,08
MCAN7_11	39	0,96	15,84	0,05	4,34	0,12	22,72	0	0,18	10,33	0,33	1,51	0,15
MCAN7_12	38,92	0,96	15,86	0,03	4,58	0,15	23,02	0	0,18	10,27	0,34	1,47	0,14
MCAN7_13	38,51	0,96	15,89	0,05	4,95	0,09	22,91	0	0,18	10,25	0,3	1,15	0,21
MCAN7_14	38,88	0,94	15,92	0,04	4,54	0,13	22,97	0	0,18	10,27	0,34	1,39	0,13

Echantillons	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	BaO	K ₂ O	NaO ₂	F	Cl
MCAN9_1	40,06	1,06	15,94	0,07	4,91	0,1	23,33	0,01	0,47	0,98	0,24	1,18	0,17
MCAN9_2	39,53	0,98	16,5	0,04	5,08	0,05	22,94	0,01	0,39	9,57	0,3	1,42	0,14
MCAN9_3	38,88	0,95	16,43	0,02	4,99	0,08	22,85	0	0,4	9,76	0,27	1,55	0,1
MCAN9_4	39,48	0,96	16,5	0,03	5,05	0,15	22,87	0	0,43	9,71	0,33	1,37	0,12
MCAN9_5	39,42	0,93	15,97	0,05	4,95	0,1	23,3	0	0,33	9,84	0,28	1,44	0,07
MCAN9_6	39,04	0,98	16,08	0,01	4,95	0,16	23,16	0	0,31	9,88	0,28	1,38	0,07
MCAN9_7	39,33	0,94	16,07	0,01	4,92	0,15	23,21	0	0,45	9,92	0,29	1,35	0,06
MCAN9_8	39,23	0,94	16,09	0,06	4,81	0,13	22,98	0	0,41	9,92	0,29	1,19	0,07
MCAN9_9	39,32	0,94	16,19	0,02	4,78	0,04	22,82	0	0,22	9,88	0,29	1,42	0,09
MCAN9_10	39,94	1,06	16,27	0,05	4,99	0,02	22,72	0	0,62	9,92	0,27	1,29	0,09
MCAN9_11	39,05	0,95	16,11	0,05	4,86	0,13	22,96	0	0,34	9,98	0,31	1,19	0,17
MCAN9_12	38,56	1,03	16,19	0,02	5,13	0,18	23,04	0	0,23	9,69	0,28	1,48	0,16
MCAN9_13	30,04	0,99	16,45	0,06	4,91	0,17	22,55	0	0,37	9,78	0,25	1,28	0,13
MCAN9_14	38,83	1,08	16,29	0,07	4,96	0,15	22,88	0,01	0,51	9,95	0,32	1,62	0,19
MCAN9_15	39,14	1,02	16,31	0,01	4,81	0,12	22,86	0	0,45	9,93	0,31	1,36	0,08
MCAN9_16	38,85	1	16,47	0,05	5,05	0,14	22,83	0	0,48	9,75	0,29	1,3	0,11

MCAN9_17	39,19	0,94	16,31	0	4,76	0,15	22,9	0	0,47	9,85	0,29	0,93	0,08
MCAN9_18	39,18	0,94	16,08	0,02	5	0,14	23,06	0	0,42	9,53	0,3	1,52	0,1
MCAN9_19	38,84	1	15,78	0	4,86	0,13	22,87	0	0,73	10,11	0,31	1,42	0,18
MCAN9_20	38,82	0,91	15,85	0,1	4,66	0,13	22,94	0	0,35	10,01	0,35	1,39	0,14
MCAN9_21	39,24	0,9	15,9	0,07	4,87	0,13	23,45	0	0,33	10,18	0,33	1,41	0,09
MCAN9_22	39,14	0,98	16,18	0,04	4,92	0,12	22,98	0	0,29	9,86	0,29	1,36	0,12

3.2. PROFIL SIMPLIFIE DE LA MINE

Pour atteindre le niveau inférieur de la mine de Besohihy, il existe trois puits en surface qui permet d'accéder à quelque niveau et ainsi de suite en profondeur. En surface on trouve les voies d'accès IRF1, BY1 et BY2 qui assurent l'accès en profondeur de la mine par un treuil semi-mécanisé.

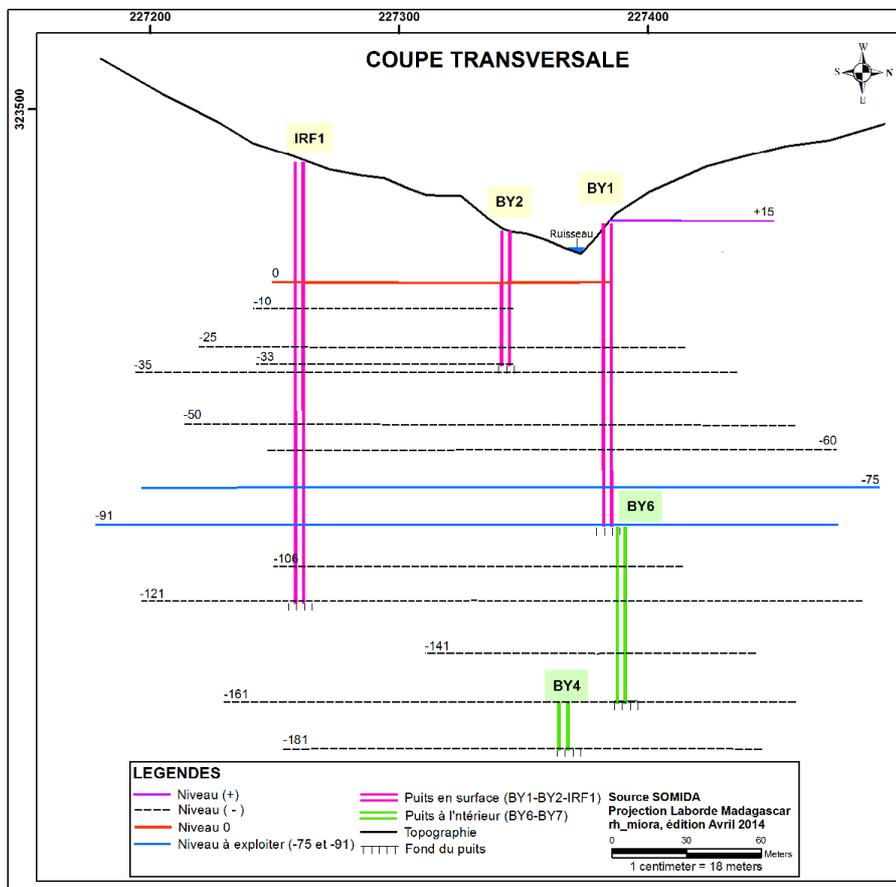


Figure 04 : Coupe transversale de la mine de Besohihy.

Actuellement, la mine de phlogopite d'Ampandrandava est encore en activité. Sur les niveaux de +15 à -181, quelques niveaux sont encore exploitables aujourd'hui trois de ces niveaux sont exploitées actuellement à savoir : +25, -50 et -75. Parmi d'autres niveaux, certains renferment encore une bonne partie du gisement qui demeure inexploitées.

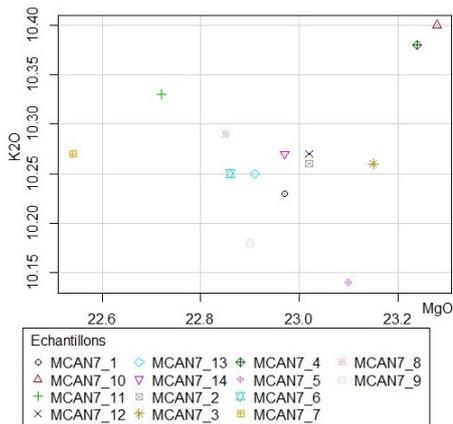
La production actuelle de phlogopite nommée FP1 d'Ampandrandava n'atteint plus que 20T sur un mois et demi sur une fréquence de deux d'exploitation. Celle-ci est due à l'état actuel des installations et des méthodes utilisées.

4. DISCUSSIONS

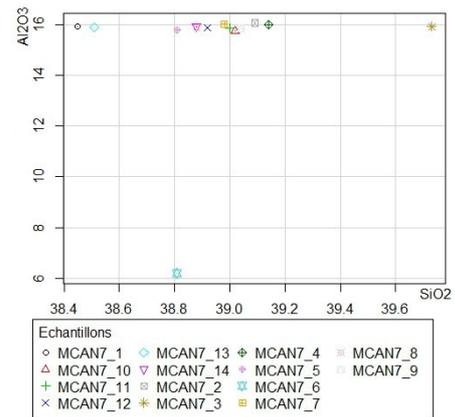
4.1. GEOCHIMIE

Les phlogopites d'Ampanrandava sont fortement riches en SiO_2 , Al_2O_3 , MgO et K_2O dont $\text{SiO}_2 > 35\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 10\%$ et $\text{MgO} > 25\%$ avec une abondance de $\text{CaO} > 10\%$ $\text{K}_2\text{O} > 10\%$. Ils sont de type alumineux-magnésien avec forte probabilité de présence de talc dans le minéral de phlogopite par l'abondance de MgO .

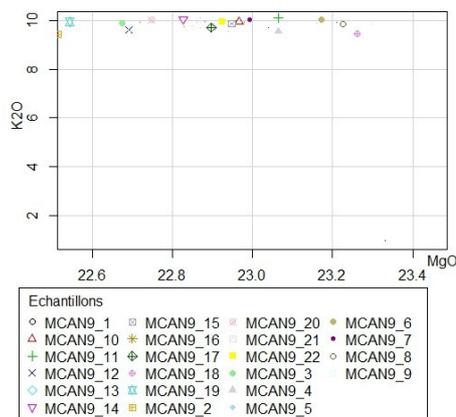
Liaison entre MgO et K_2O (niveau -75)



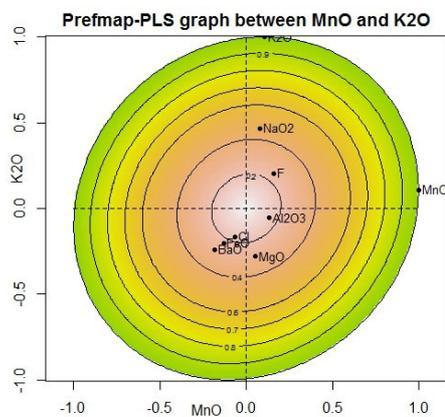
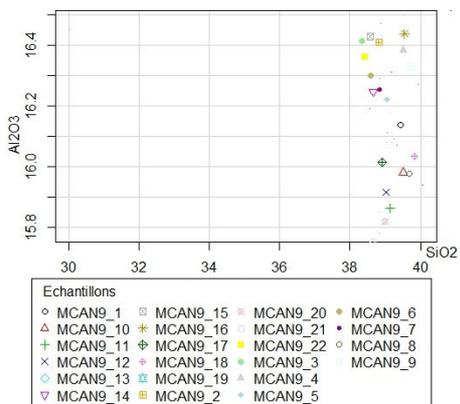
Liaison entre SiO_2 et Al_2O_3 (niveau -75)



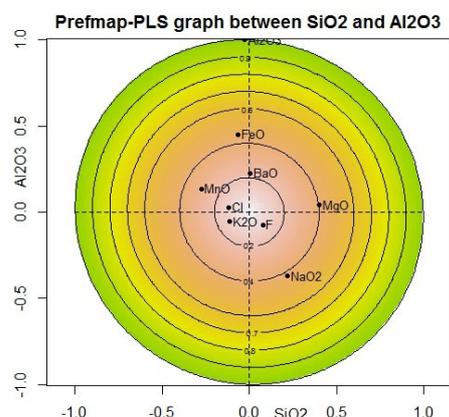
Liaison entre MgO et K_2O (niveau -91)



Liaison entre SiO_2 et Al_2O_3 (niveau -91)



Cercle de corrélation entre MnO et K_2O

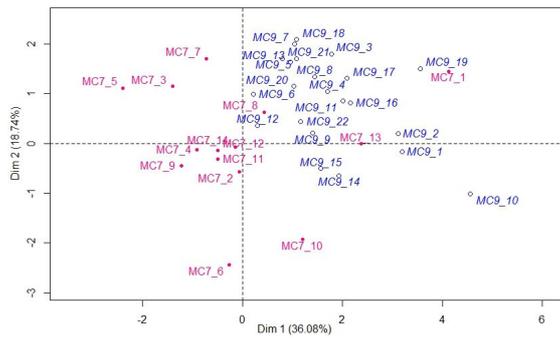


Cercle de corrélation entre SiO_2 et Al_2O_3

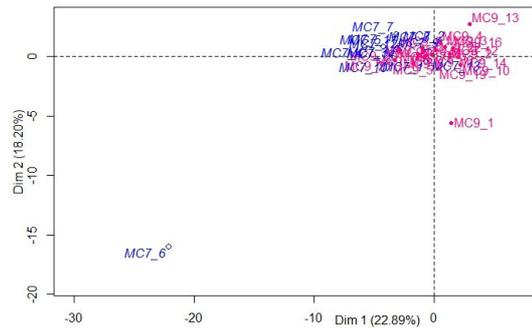
Figure 05 : Liaison et corrélation entre les éléments composants de phlogopite.

Pour les analyses par composant principale :

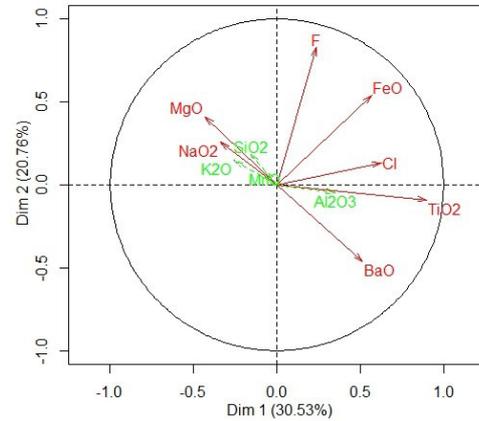
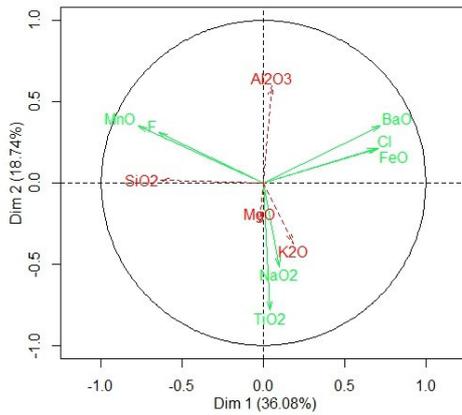
Niveau -75



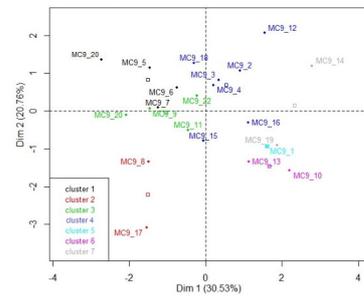
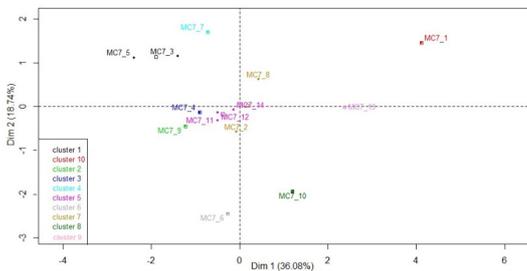
Niveau -91



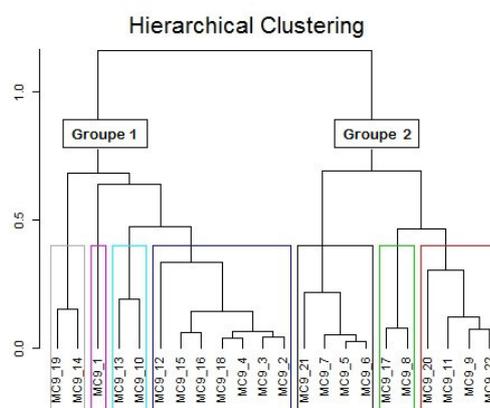
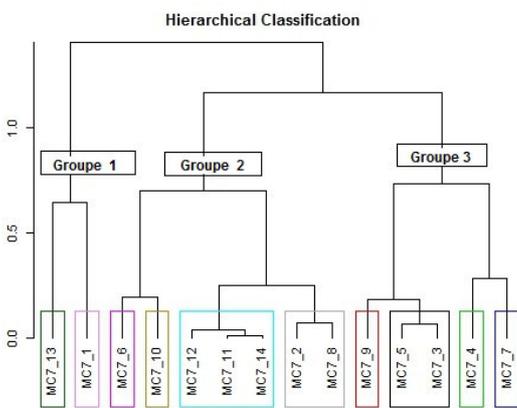
Graphe de répartition des échantillons



Cercle de corrélation entre les éléments



Représentation des échantillons



Dendrogramme des échantillons

Figure 05 : Liaison entre les éléments composants de phlogopite.

Pour la figure 04, on peut observer une forte liaison entre MgO et K₂O dans le niveau -91 alors qu'on constate une dispersion de ces éléments pour le niveau -75. Par contre pour les oxydants SiO₂ et Al₂O₃, on observe une forte liaison linéaire dans les deux niveaux.

Pour les analyses par composante principale dans les deux niveaux les échantillons sont bien répartis avec les variables, la majorité des oxydes sont corrélés positivement. On observe plusieurs dimensions réparties en fonction du % en oxydes dans chaque minéral. Pour le classement, nous avons trois groupes pour le niveau -75 et deux groupe pour le niveau -91 avec divers classes chacun.

4.2. CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX FAVORABLES

- Niveau -75

Pour ce niveau nous avons trois (03) zones prêtes pour l'exploitation :

- Zone 01

Cette zone a une couche Alpha porteuse de minéralisation qui s'intercale entre les pérgmatiques. On le trouve au Nord-Est du puits BY1 dans le niveau -75, elle est caractérisée par :

- une couche de 100m longueur environ, extensible vers le Sud suivant l'avancement des travaux ;
- une autre couche de 150m de longueur environ extensible vers le Sud suivant l'avancement des travaux.

- Zone 02

La zone 02 est la plus longue du niveau -75 avec une seule couche porteuse de minéralisation. Elle est localisée à l'Ouest du puits IRF1, BY1 et en dessous de BY2. Cette zone est caractérisée par la couche Golf d'une longueur de 165m extensible vers le Sud. La hauteur et la largeur sont très variables à cause de sa grandeur.

- Zone 03

La zone 03 se localise à 57m au Sud-Est du puits IRF1 dans le niveau -75. Cette partie a quatre (04) couches porteuses de minéralisation en parallèle à savoir Delta, Charly, Bravo et Baltazar. Les caractéristiques de ces couches dans la zone sont comme suit :

- les couches Bravo et Baltazar, alignées côte à côte avec une longueur de 80m extensible Nord-Sud;
- les couches Charly et Delta, alignées côte à côte avec une longueur de 50m extensible Nord-Sud.

- Niveau -91

Dans ce niveau nous avons aussi trois (03) zones exploitables :

- Zone 01

La zone 01 du niveau -91 se localise dans la partie Sud du puits BY1. Cette zone est caractérisée par quatre couches dont Golf, Foxtrot, Delta et Charly avec des largeurs différentes.

- les couches Golf et Foxtrot se trouvent côte à côte à l'Ouest du puits BY1 et s'étend du Nord au Sud ;

- les couches Delta et Charly se trouvent côte à côte du puits BY1 mais dans la partie Est.

- Zone 02

La zone 02 est localisée au Sud du puits IRF1. Les couches porteuses de minéralisation de cette zone sont les mêmes que celles de la zone 01 Delta et Charly. Remarquons que l'extension de ces deux couches est visible dans la zone 01.

- Zone 03

Cette zone est la plus grande pour le niveau -91. On a quatre couches porteuses de minéralisation dans la zone 03. Les couches Alpha et Baltazar ont une possibilité d'extension du Nord au Sud, de même pour celles de Bravo et Charly vers le Sud.

CONCLUSION

La mine d'Ampanrandava est la seule mine souterraine fonctionnelle à Madagascar de nos jours. Elle est unique par son phlogopite très demandé sur le marché international pour sa propriété physico-chimique avec 0 % d'impureté et de spécificité à la résistance à une température allant jusqu'à 750°C.

Divers produits miniers de ce mine restent sous exploité comme: l'anhydrite, l'apatite, la calcite, la pyrite, le gypse, le diopside et les pegmatites etc. Beaucoup de gisements sont exploités artisanalement autours de la mine de Besohihy et un peu partout dans le Sud à cause de la forte demande en mica.

En se référant aux analyses statistiques de la production de mica dans le Sud depuis quelques années, on peut constater une baisse de production à Ampanrandava. Malgré la baisse de production, la demande augmente encore. A travers ces études nous pouvons montrer la spécificité du mica produit en profondeur, ainsi que les niveaux prometteur pour la mine de Besohihy.

5. REFERENCE

1. B. F. Windley, A. Razafindraparany, T. Razakamanana, D. Ackermann, The tectonic framework of the precambrian of madagascar and its gondwana connections: a review and reappraisal, 20P.
2. G. Morteani, Y. A. Kostitsyn, H. A. Gilg, C. Preinfalk, T. Razakamanana, 2012, Geochemistry of phlogopite, diopside, calcite, anhydrite apatite pegmatites and syenites of southern Madagascar: evidence for crustal silicocarbonatitic (CSC) melt formation in a Panafrican collisional tectonic setting, 19p.
3. G. Noizet, 1963, Disposition structurale de quelques gisements de phlogopite de Madagascar, Service Géologique, 10p.
4. G. Noizet, 1964, Propositions pour une compagnie de sondages percutants à Ampanrandava, Service Géologique, 10p.
5. H. Besairie, 1937, Annales géologiques du service des mines, 115p.
6. H. Besairie, 1946, Géologie de Madagascar, Antananarivo, Service géologique.159p.
7. H. Besairie, 1966, Gites minéraux de Madagascar. Annales géologiques de Madagascar. Fascicule No 34, 420p.
8. H. Majmundar, 1961, Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pyroxènes et des micas dans les pyroxénites à phlogopite et dans les charnoquites du Sud-Est de Madagascar, Thèse Nancy, 137p.
9. J. E. Martelat, J. M. Lardeaux, C. Nicollet, R. Rakotondrazafy, 2000, Strain pattern and late Precambrian deformation history in southern Madagascar, 20p.
10. J. E. Martelat, K. Schulmann, J. M. Lardeaux, C. Nicollet, H. Cardon, 1999, Granulite microfabrics and deformation mechanisms in southern Madagascar, 17p.
11. J. P. Gaultier, 1985. Etude de la répartition des cations interfoliaires dans les phlogopites Altérées (Na, Ca) et (Na, K), 14p.

12. L. Andrianaivo 2002, Les gisements de phlogopite de Sakamasy (sud de Madagascar), Thèse Université d'Antananarivo, Madagascar, 120p.
13. Monographie Anosy, www.monographiemada.com.
14. R. Esquer, 1963, Recherche en profondeur sur les mines de mica, 4p.
15. R. F. Martin, A. Randrianandrisana, P. Boulvais, 2014, Ampandrandava and similar phlogopite deposits in southern Madagascar: Derivation from a silicocarbonatitic melt of crustal origin, *Journal of African Earth Sciences* 94 (2014) 111–118, 8p.
16. R. Locke, M. Fenton, G. C. Hawley, 1974. Suzorite mica floke : a now low-cost mineral reinforcement for structural components, 40p.
17. R. Rakotondrazafy, 1992, Etude pétrologique de la série granulitique Panafricaine de la région d'Ampandrandava: sud de Madagascar. Thèse Université d'Antananarivo, 129p.
18. S.R. Hashemi-Nezhad, 2005. The geometry of etched heavy ion tracks in phlogopite mica; a clear dependence on energy deposited, In *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Volume 234, Issue 4, July 2005, Pages 533–547 doi:10.1016/j.nimb.2005.02.021
19. SMGI, 1963, Essai de classification des divers types de minéralisation en phlogopite à Madagascar, 8p.
20. SMGI, 1963, Idées actuelles sur la structure et les minéralisations du quartier JS mines de Benato, 83p.
21. SOMIDA, Septembre 2014, Rapport d'évaluation de la mine de Besohihy, 50p.
22. T. G. Murdock, Mineral resources of Malagasy Republic, United States Departement of the interior, 150p.
23. T. R. Yager, 2001, The mineral industry of Madagascar, U.S Geological survey minerals yearbook 5p.
24. G. Bazot, 1976, Contribution à l'étude des formations métamorphiques precambriennes du Sud-Est de Madagascar, Thèse Université de Clermont-Ferrand, U.E.R., Sciences exactes et Naturelles, 120p.
25. Joo' J (1972) Le mica industriel de Madagascar, Contexte metallogénique et conjoncture économique. These d'Etat Univ. Clermont Ferrand, France, pp 1–427
26. Noizet G (1969) Sur l'origine et la classification des pyroxénites Androyennes du Sud de Madagascar. *Comptes Rendus de la Semaine Géologique de Madagascar*. Imprimerie Nationale, Tananarive, pp 155–159
27. Rakotondrazafy R (1992) Etude pétrologique de la série granulitique panafricaine de la région d'Ampandrandava (Sud Madagascar). PhD Thesis Univ. Antananarivo, Madagascar, pp 1–129
28. Rakotondrazafy R, Pierdzig S, Raith M, Hoernes S (1993) The phlogopite-mineralisations in the Beraketa Belt of southern Madagascar; a spectacular example of channelised fluid flow and fluid-rock interaction. *Abstracts. Geol Soc Aust* 35:81–82
29. G. Morteani, Y. A. Kostitsyn, H. A. Gilg, C. Preinfalk, T. Razakamanana (2012) Geochemistry of phlogopite, diopside, calcite, anhydrite and apatite pegmatites and syenites of southern Madagascar: evidence for crustal silicocarbonatitic (CSC) melt formation in a Panafrican collisional tectonic setting, pp 1-19

30. Robert F. Martin, A. Randrianandraisana, P. Boulvais (2014) Ampandrandava and similar phlogopite deposits in southern Madagascar: Derivation from a silicocarbonatitic melt of crustal origin. *Journal of African Earth Sciences*, 94, 111–118
31. R. Rakotondrazafy, S. Pierdzig, M.M Raith, S Hoernes, (1997). Phlogopite mineralisations in the Beraketa belt of southern Madagascar: a spectacular example of channelized fluid flow and fluid–rock interaction. In: *Proceedings of the UNESCO–IUGS–IGCP International Field Workshop on the Proterozoic Geology of Madagascar (Antananarivo)*, vol. 81 (abstr.)
32. R.D Tucker, J.Y Roig, P.H Macey, C Delor, Y Amelin, R.A Armstrong, M.H Rabarimanana, A.V Ralison (2011). A new geological framework for south-central Madagascar, and its relevance to the “out-of-Africa” hypothesis. *Precambrian Research* 185, 109–130.
33. J.E Martelat, J.M Lardeaux, C Nicollet, R Rakotondrazafy (2000). Strain pattern and late Precambrian deformation history in southern Madagascar. *Precambrian Res.* 102, 1–20.