

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE : GENERALITES ET RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : GENERALITES SUR LES PEGMATITES

I-1- Définitions

I-2- Types de pegmatite

I-3- Origine des pegmatites

I-4- Forme et structure

I-5- Gisement de pegmatite

I-6- Principaux substances extractibles des pegmatites et leur utilisation

Chapitre II : PEGMATITES DE MADAGASCAR

II-1- Histoire géologique des pegmatites de Madagascar

II-2- Classification des champs des pegmatites Malgaches

CONCLUSION PARTIELLE

DEUXIEME PARTIE : PROSPECTIONS ET METHODES D'ANALYSE

Chapitre III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDES

III-1- Géographie physique

III-2- Contexte géologique

Chapitre IV : TECHNIQUES DE PROSPECTION

IV-1- Prospection au marteau

IV-2- Prospection alluvionnaire

Chapitre V : METHODES D'ANALYSES

V-1- Télédétection

V-2- Lames minces

V-3- Minéraux de fond de batée

CONCLUSION PARTIELLE

TROISIEME PARTIE : PRESENTATION DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Chapitre VI : PRESENTATION DES RESULTATS

VI-1- Tranchées et anciens travaux d'exploitation

VI-2- Images satellites

VI-3- Résultats de l'échantillonnage

VI-4- Résultats de l'analyse des minéraux de fond de batée

VI-5- Carte de localisation des pegmatites

Chapitre VII : INTERPRETATIONS

VII-1- Mise en place des pegmatites d'Ampamehena

VII-2- Or alluvionnaire

CONCLUSION PARTIELLE

CONCLUSION

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES ABREVIATIONS

| | |
|------------------|---|
| µm | : Micromètre |
| Al | : Aluminium |
| Am | : Amphibole |
| B | : Bore |
| BD 100 | : Base de données à l'échelle 1/100 000 |
| Be | : Béryllium |
| Bt | : Biotite |
| Ca | : Calcium |
| CEG | : Collège d'Enseignement Général |
| Cl | : Chlore |
| cm | : Centimètre |
| CO ₂ | : Dioxyde de carbone |
| Cs | : Césium |
| CSB II | : Centre de Santé de base niveau II |
| E | : Est |
| EPP | : Ecole Primaire Publique |
| ESPA | : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo |
| F | : Fluor |
| Fe | : Fer |
| FRAM | : Fikambanan'ny Ray Aman-drenin'ny Mpianatra |
| g | : Gramme |
| G.P.S | : Global Positioning System |
| H ₂ O | : Eau |
| ha | : Hectare |
| HCl | : Acide Chlorhydrique |
| K | : Potassium |
| KCl | : Chlorure de Potassium |
| km | : Kilomètre |
| LCT | : Lithium, Césium, et Tantale |
| Li | : Lithium |
| LPA | : Lumière Polarisée Analysée |
| LPNA | : Lumière Polarisée Non Analysée |
| m | : Mètre |
| MA | : Million d'année |
| Mc | : Microcline |
| Mg | : Magnésium |
| ml | : Millilitre |
| mm | : Millimètre |
| Ms | : Muscovite |
| N | : Nord |
| Na | : Sodium |
| Nb | : Niobium |

| | |
|-----------------|---|
| nm | : Nanomètre |
| NYF | : Niobium, Yttrium et Fluor |
| P | : Phosphore |
| P.G.R.M | : Projet de Gouvernance des Ressources Minières |
| Pl | : Plagioclase |
| PO ₄ | : Phosphate |
| Px | : Pyroxène |
| Qtz | : Quartz |
| Rb | : Rubidium |
| RN | : Route Nationale |
| S | : Sud |
| Si | : Silice |
| Ta | : Tantale |
| Th | : Thorium |
| TM | : Thematic Mapper |
| Tr | : Tourmaline |
| U | : Uranium |
| W | : Tungstène |
| W | : Ouest |
| Zr | : Zircon |
| π | : Pegmatites |

LISTE DES FIGURES

| | | |
|---------|---|----|
| Fig. 1 | : Classification des pegmatites Malgache selon Lacroix revue par Bésairie | 11 |
| Fig. 2 | : Classification des pegmatites Malgache selon Cerny | 15 |
| Fig. 3 | : Localisation des champs pegmatitiques de Madagascar..... | 16 |
| Fig. 4 | : Localisation de la zone d'étude..... | 20 |
| Fig. 5 | : Accès au site..... | 23 |
| Fig. 6 | : Cadre géologique de la zone d'étude | 26 |
| Fig. 7 | : Organigramme des travaux exécutés | 28 |
| Fig. 8 | : Affleurement de quartz laiteux | 30 |
| Fig. 9 | : Composition colorée 321 | 35 |
| Fig. 10 | : Composition colorée 432 | 36 |
| Fig. 11 | : Composition colorée 453 | 36 |
| Fig. 12 | : Composition colorée 742 | 36 |
| Fig. 13 | : Flow sheet de l'analyse des minéraux de fond de batée | 43 |
| Fig. 14 | : Localisation des échantillons et des minéraux de fond de batée..... | 46 |
| Fig. 15 | : Coupe schématique d'un puits..... | 47 |
| Fig. 16 | : Localisation des failles vue par image satellite..... | 48 |
| Fig. 17 | : Pegmatite..... | 49 |
| Fig. 18 | : Quartzite..... | 49 |
| Fig. 19 | : Migmatite | 50 |
| Fig. 20 | : Gabbro à olivine..... | 50 |
| Fig. 21 | : Granite..... | 51 |
| Fig. 22 | : Gneiss à biotite..... | 51 |
| Fig. 23 | : Carte géologique d'Ampamehena avec ses minéralisations | 54 |
| Fig. 24 | : Histogramme montrant les teneurs en or des minéraux de fond de batée..... | 61 |
| Fig. 25 | : Carte des permis miniers de la Commune de Sahanivotry | 66 |
| Fig. 26 | : Quelques matériels de prospection | 67 |
| Fig. 27 | : Echelle de biréfringence..... | 68 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Comparaison des deux classifications de Pegmatites | 10 |
| Tableau 2 : Coordonnées géographiques (projection Laborde) du périmètre minier..... | 19 |
| Tableau 3 : Caractéristiques des images satellites | 34 |
| Tableau 4 : Cristallographie des principaux minéraux sur les lames minces..... | 39 |
| Tableau 5 : Critères de reconnaissance des principaux minéraux de minéraux de fond de batée.... | 41 |
| Tableau 6 : Constituants globaux de puits suivant une coupe verticale | 48 |
| Tableau 7 : Répartition des échantillons | 52 |
| Tableau 8 : Inventaire des minéraux lourds des minéraux de fond de batée..... | 53 |
| Tableau 9 : Minéralisations des 3 zones des pegmatites | 59 |
| Tableau 10 : Principaux pegmatites de la région et leurs minéralisations | 60 |
| Tableau 11 : Résultats d'analyse des minéraux de fond de batée..... | 69 |

INTRODUCTION

Les richesses minérales constituent un domaine économique important. Depuis des décennies, diverses activités humaines en dépendent notamment l'agriculture, l'architecture, l'électronique où elles jouent un rôle primordial en tant que fournisseurs de matières premières. La plupart des pays s'appuient alors sur ces richesses comme base de développement.

Madagascar, pays en voie de développement dispose de richesses minérales considérables dont certaines sont déjà exploitées tandis que d'autres encore sous forme d'indices nécessitent des recherches et des travaux d'investigations plus avancées.

Actuellement, pour un développement durable, l'Etat Malagasy incite les activités minières à prendre part d'une manière beaucoup plus importante au développement du pays. Parmi ces activités, l'exploitation des gisements pegmatitiques est l'une des plus favorables, à cause de leur abondance, de la grande variété de leurs minéraux, et de leurs potentiels en minéraux industriels, en minerais et en gemmes.

Sachant qu'à Madagascar, les travaux sur les pegmatites ont commencé en 1910 dans la Région du Vakinankaratra (Betafo, Sahatany, Ibity), et depuis, seuls les collecteurs et dans une moindre mesure les petits exploitants en tirent un peu de bénéfice. Dans les bonnes conditions, les pegmatites pourraient améliorer largement la vie de plusieurs personnes et même la vie de toute une nation, mais par faute de moyens financiers et techniques, une partie seulement de cette richesse est exploitée.

L'importance du rôle joué par ces pegmatites dans le développement économique de notre pays nous a incités à fixer le choix du sujet. Au cours de son élaboration, des descentes sur terrain ont été effectuées à Ampamehena dans la Commune de Sahanivotry – Manandona, district Antsirabe II, Région de Vakinankaratra. La télédétection a aussi contribué dans cette étude pour la détermination des zones à failles où les pegmatites sont mieux localisées. En effet, le sujet se rapporte à l'étude de ces pegmatites et s'intitule : **«Approche géologique des pegmatites et du potentiel aurifère d'Ampamehena, Commune Rurale de Sahanivotry, Région de Vakinankaratra»**.

Nous avons essayé de donner des informations complètes et utiles relatives à ces pegmatites, ainsi trois parties sont développées dans cet ouvrage :

- Généralités et rappels bibliographiques sur les pegmatites ;
- Prospections et méthodes d'analyse ;
- Résultats et interprétations.

PREMIERE PARTIE
GENERALITES ET RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : GENERALITES SUR LES PEGMATITES

I-1-Définitions [12]

Une pegmatite est une roche magmatique silicatée dont les cristaux, fréquemment automorphes sont de grande taille. Elle est liée le plus souvent associée à des granitoïdes ou à des migmatites. Ses minéraux essentiels sont semblables à ceux du granite : quartz, feldspath, mica ; par concentration d'éléments rares (Li, Nb, Ta, Zr, U, Lanthanides, ...) se forment des minéraux particuliers dits pneumatolytiques : béryl, tourmaline, topaze, lépidolite ...

Le pegmatitoïde est une pegmatite sans quartz, avec orthose et néphéline liée en général aux massifs de syénite néphélinique. Ce terme est plus adapté aux roches basiques comme la pegmatite pour les roches acides. Le terme pegmatitique se rapporte aux pegmatites et également à la structure des passées à cristaux tous de grande taille dans une roche endogène.

La pegmatite graphique est une pegmatite dans laquelle s'interpénètrent de grands cristaux de quartz et de feldspath, donnant en section des plages anguleuses cunéiformes.

I-2-Types de pegmatite [12]

Les pegmatites peuvent être classées en plusieurs types ; selon leurs compositions minéralogiques il y a :

- les pegmatites granitiques : contiennent du feldspath sodi-potassique (microcline perthitique, rarement orthose), du quartz, plagioclase sodique, et en moindre abondance, de la muscovite, de la biotite, de la tourmaline et du grenat. Beaucoup de pegmatites ont une proportion d'albite lamellaire très importante et contiennent du béryl, des micas ou des tourmalines lithinifères, du spodumène et de nombreux minéraux rares ;
- les pegmatites alcalines, liées génétiquement aux roches magmatiques alcalines (syénite), qui sont constituées de néphéline, microcline, sodolite, hornblende alcaline, biotite, avec de très nombreux minéraux d'éléments rares ;
- les pegmatites basiques beaucoup plus rares sont constituées de plagioclase basique et de hornblende, avec de magnétite, d'ilménite, d'apatite et de sulfures.

Les termes granitiques, alcalins, basiques ou autres, permettent une meilleure définition de la nature de la roche pegmatitique. La suite de ce mémoire fera référence aux pegmatites granitiques car elles sont très répandues à Madagascar et surtout dans notre zone d'étude contrairement aux autres types.

I-3-Origine des pegmatites [12]

L'origine des pegmatites est liée à de nombreux phénomènes géologiques complexes, néanmoins un modèle simplifié peut être résumé comme suit :

- A quelques dizaines de kilomètres de profondeur dans le globe, les hautes températures génèrent la formation des magmas qui migrent vers la surface à travers des roches constituant la croûte terrestre (ou soubassement cristallin). Si les magmas atteignent la surface, ils forment des volcans et en se solidifiant, des roches volcaniques. Si au contraire les magmas sont piégés dans la croûte terrestre, ils se cristallisent sous forme de masses : ce sont les granitoïdes.
- Un granitoïde ou roche granitique est une variété de roche plutonique présentant des cristaux de minéraux communs des granites (composés principalement de quartz, feldspaths potassiques, plagioclases, micas, amphiboles, pyroxènes) qui sont composés d'éléments courants (Si, Al, K, Na, Ca, Fe, Mg, ...). Les éléments plus rares (comme Li, B, Be, P, Cs, Rb, Nb, Ta, W, Bi, ...) présents dans les magmas en très faible proportion et en traces, ne sont pas intégrés aux cristaux des minéraux communs et par conséquent, ces éléments en traces sont concentrés durant la cristallisation des derniers magmas.
- Par le phénomène de pneumatolyse, ces derniers magmas se présentant en vapeurs (gaz pneumatolytes), riches en éléments rares et métaux rares sus-cités, ont une grande mobilité, et tendent à se déplacer vers les zones périphériques des masses granitiques, ou, migrent à l'extérieur des plutons dans les roches métamorphiques.
- Ces magmas tardifs se cristallisent après leur mise en place et génèrent les pegmatites. Il s'agit du stade pneumatolytique qui correspond à la fin de la cristallisation d'un magma (température environ 400 à 600°C) avec concentration de gaz (H₂O, HCl, CO₂, ... conduisant à la formation de minéraux accessoires particuliers (tourmaline, béryl, topaze...) : minéraux pneumatolytiques (ou pneumatogènes) enrichis en éléments chimiques rares (B, F, Cl, Li, Lanthanides, ...).

I-4-Forme et structure [12]

I-4-1-Forme

Généralement, les pegmatites se présentent sous forme de filons ou corps irréguliers, recoupant les roches encaissantes avec des contacts habituellement brusques. De dimension généralement métrique à hectométrique, elles peuvent atteindre parfois quelques kilomètres de longueur pour une épaisseur de quelques centaines de mètres. Elles sont appelées « champ pegmatitique » lorsque plusieurs pegmatites sont groupées.

I-4-2-Structure

Il existe trois principaux types de structure interne des pegmatites, ce sont :

- structure homogène ;
- structure litée ;
- structure zonée.

I-4-2-1-Pegmatites à structure homogène

Les pegmatites à structure homogène sont les plus abondantes : la répartition des minéraux est régulière. Pour l'exploitation des gemmes, les pegmatites homogènes ont peu d'intérêt, car elles ne permettent pas la formation de concentrations minérales significatives ou des poches.

I-4-2-2-Pegmatites à structure litée

Les pegmatites à structure litée sont typiques de dykes lenticulaires ou de remplissages de fractures. Elles se caractérisent par la présence de nombreux « cœurs » riches en cavités et en gemmes.

I-4-2-3-Pegmatites à structure zonée

Les pegmatites à structure zonée sont composées de deux ou plusieurs zones concentriques. C'est une structure caractéristique de grands filons, avec un « cœur » bien délimité et en périphérie de poches riches en minéraux rares.

I-5-Gisement de pegmatite [12]

Les gisements de pegmatite se présentent sous deux formes :

- les lentilles et
- les amas.

I-5-1-Lentilles

Les lentilles ont une longueur d'environ une cinquantaine de mètres et sont plus puissantes que les filons (une dizaine de mètres de puissance). Elles occupent des positions structurales variées dans la roche encaissante : concordantes, discordantes, horizontales, verticales ou obliques.

I-5-2-Amas

Les amas ont une longueur supérieure à cent cinquante mètres avec une puissance d'environ une cinquantaine de mètres et une extension longitudinale d'une centaine de mètres.

I-6-Principales substances extractibles des pegmatites et leurs utilisations

Une pegmatite est composée de quartz, de feldspaths et de micas. Outre les principaux minéraux essentiels de pegmatite, d'autres éléments s'y rencontrent à divers degrés et peuvent contenir des substances économiques utilisées en haute technologie, dont entre autres :

- Béryllium (métal ultraléger) : associé à certains alliages, il donne des produits qui offrent une grande résistance à la chaleur, une meilleure résistance à la corrosion. Ainsi, il est utilisé dans les ordinateurs, l'aéronautique, les lasers, la télévision, les instruments océanographiques et dans les armures de corps individuelles...
- Lithium (métal plus léger que l'eau) : Le métal est utilisé comme antioxydant et pour supprimer les gaz indésirables qui se forment pendant la fusion des métaux non ferreux. La vapeur de lithium sert à éviter la formation de dépôts dus au dioxyde de carbone et à l'oxygène dans les fours de traitement thermique de l'acier...
- Niobium (supraconducteur) : Le niobium est utilisé en électrotechnique, dans les bobines électromagnétiques et aussi dans de nombreux alliages supraconducteurs (générateurs, moteurs). Il apporte aux alliages une grande résistance aux températures élevées ; il entre ainsi dans la composition de certains alliages réfractaires. Il est aussi un élément d'addition de plus en plus employé en sidérurgie : il apporte aux aciers inoxydables et aux superalliages une résistance supplémentaire à la corrosion...

- Tantale (inaltérable et opaque aux radiations) : il résiste plus que le platine à de nombreux agents corrosifs. Il est employé dans les condensateurs, les circuits électroniques, les instruments chirurgicaux et dentaires ...

Les principaux minéraux les contenant sont la molybdénite, le spodumène, le lépidolite, la fluorite, l'apatite, l'amblygonite, la columbite et la tantalite, les minéraux d'uranium, de thorium et de terres rares...

Les pegmatites sont aussi exploitées pour leurs constituants essentiels :

- les feldspaths pour la céramique ;
- les micas comme isolants ;
- le quartz pour son caractère piézo-électrique.

Enfin, les pegmatites peuvent contenir toutes sortes de gemmes, en particulier des béryls (émeraude, aigue-marine), des topazes, des tourmalines, des grenats et des saphirs...

Chapitre II : PEGMATITES DE MADAGASCAR

Madagascar est une île de 587 041 km² de superficie, se trouvant à plus de 2000 km des dorsales de l'Océan Indien et 1000 km du rift Est-africain. Elle a un profil topographique transversal dissymétrique : l'Ouest est peu incliné tandis que l'Est par contre plonge rapidement.

Du point de vue géologique, Madagascar est constituée par le socle précambrien qui recouvre les 2/3 de la partie orientale ; il culmine à 2665 m d'altitude d'environ 550 MA¹ et 1/3 par la couverture sédimentaire à l'Ouest (du Carbonifère Supérieur au Quaternaire). L'origine des pegmatites malgaches est étroitement liée à l'histoire géologique de l'île.

II-1-Histoire géologique des pegmatites de Madagascar [6]

A l'origine, l'emplacement de Madagascar était occupé par une fosse marine vaste et profonde appelée : géosynclinal. Dans cette mer se déposèrent essentiellement les unes au-dessus des autres trois couches sédimentaires très épaisses qui correspondent au :

- système de Vohibory ;
- système du Graphite ;
- système Androyen.

La géochronologie suivante illustre les principales manifestations géologiques subies par le socle de la formation des terrains anciens à la formation des pegmatites :

2420 MA : Orogenèse majeure avec métamorphisme dont les plissements ont amené au jour la chaîne malgache surgie des océans. Puis sous l'effet de l'érosion, cette chaîne s'est peu à peu démantelée et aplanie.

1890 MA : Des roches intrusives contenant souvent du chrome et du nickel se mettent en place, principalement dans la région d'Andriamena. Pendant ce temps, à la suite des cassures du socle, la région d'Ambatofinandrahana s'affaisse, une mer y pénètre et dépose des calcaires puis des sables et des grès.

1125 MA : Ces sédiments à la suite d'une nouvelle orogenèse émergent et se métamorphisent : les calcaires se transforment alors en cipolins (marbres d'Ambatofinandrahana) et les sables en quartzite (Massif d'Itremo).

¹ - Cf. liste des abréviations

525 - 480 MA : Mise en place des pegmatites lors de l'évènement thermo-tectonique panafricaine. Les pegmatites se sont cristallisées entre 8 et 12 km de profondeur et sont mises en surface après 500 MA d'érosion.

L'évènement thermo-tectonique panafricaine affecte tout le socle de Madagascar. Il s'agit d'un réchauffement des roches. Commenant au milieu du Cambrien, l'évènement regroupe une succession de plissements et de magmatisme sur plus de 300 MA qui a profondément transformé toutes les roches. D'importantes granitisations et migmatisations ont alors donné au vieux socle de Madagascar sa tectonique actuelle.

II-2-Classification des champs des pegmatites Malgaches [12]

Il existe deux types de classification de pegmatites Malgaches :

- selon Lacroix ;
- selon Cerny.

II-2-1-Classification selon Lacroix

Il a classé les pegmatites malgaches en deux groupes principaux :

- **Le Groupe Sodolithique** : Caractérisé par des pegmatites riches en albite, ainsi qu'en minéraux contenant du lithium ; spodumène, tourmaline lithinifère, amblygonite et lépidolite, et béryl rose à césium.
- **Le Groupe Potassique** : Caractérisé par des pegmatites de grande taille, riches en feldspaths potassiques avec béryl bleu, tourmaline noire, muscovite, et de nombreux minéraux accessoires comme des minéraux à uranium, phosphore, terres rares, niobium.

Bésairie a utilisé cette classification, en divisant les pegmatites à béryl du Groupe Potassique en trois types différents : le Type Trois Zones, le Type Deux Zones, et le Type non zoné. Parmi ces trois types, le plus important est le Type Trois Zones, qui forme des dykes larges, en général discordants, de 100 à 300 m de long et 20 à 40 m d'épaisseur. Les trois zones sont :

- **La Zone I**, constituant le cœur de la pegmatite, est caractérisée par la présence de cristaux géants de quartz et de perthite. Le quartz forme parfois de large masse (le cœur de la pegmatite) de couleur blanche, rose ou plus rarement, fumée.

- **La Zone II** : généralement peu épaisse, composée de petites masses de quartz, perthites, agrégats de muscovite, et colombite. Les cristaux de béryl de grande taille, apparaissent au contact entre les deux Zones I et II. En association avec ces béryls se trouve fréquemment une concentration de minéraux rares à uranium, terres rares, niobium et tantale.
- **La Zone III** : forme les murs de la pegmatite, à grains moyens, avec des concentrations de structures graphiques : muscovite, grenat, magnétite, colombite, béryl de petite taille, et minéraux à niobium et tantale. La tourmaline noire peut être présente ou non, formant parfois d'importantes concentrations au niveau des murs des dykes.

Exceptionnellement, entre les Zones I et II, apparaissent la tourmaline lithinifère, le lépidolite et l'ambligonite associés.

Le tableau suivant montre ces deux classifications des pegmatites, il compare les principaux minéraux constitutifs et la morphologie de ces deux groupes cités précédemment.

Tableau 1 : Comparaison des deux classifications de Pegmatites

| | Groupe potassique | Groupe sodolithique |
|---------------------------|---|---|
| Caractère morphologique | zonée ou non zonée | non zonée ou homogène |
| Minéraux abondants | microcline, feldspath alcalin, muscovite, béryl bleu | albite, microcline, minéraux lithinifères |
| Minéraux caractéristiques | tourmalines toujours noires, absence de minéraux lithinifères | tourmaline noire toujours accompagnée de tourmaline de couleurs, lépidolite |
| Minéraux accessoires | minéraux à uranium, à phosphore, à niobium et tantale, terres rares | - |

Pour une meilleure compréhension de ces types de pegmatites, la figure suivante récapitule cette classification de Lacroix revue par Bésairie.

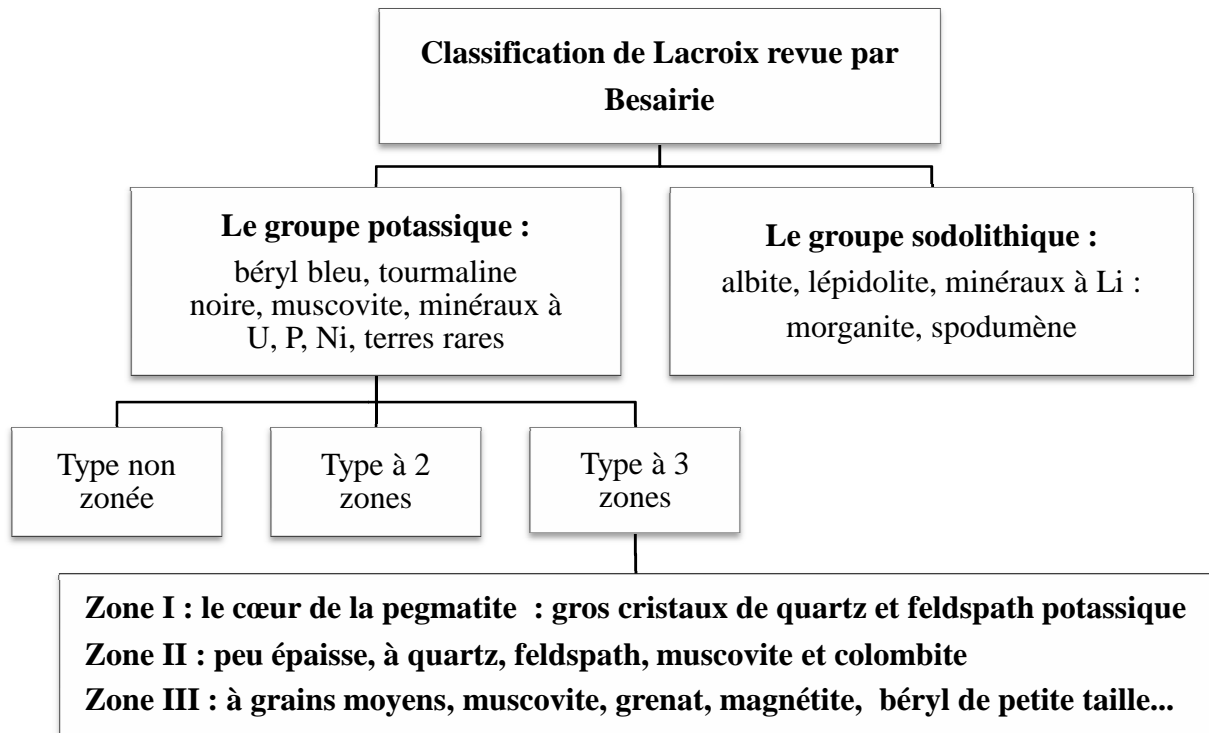


Fig. 1: Classification des pegmatites Malgache selon Lacroix revue par Bésairie

II-2-2-Classification selon Cerny

La classification proposée par Cerny est basée sur la présence et la quantité de minéraux accessoires. Elle est beaucoup plus complexe et comporte :

- **Deux FAMILLES** : Elles se basent sur deux grandes lignées de types de magmas parents granitiques qui possèdent des « signatures chimiques » très différentes :
 - « LCT » signifiant présence de Lithium, de Césium, et de Tantale et correspondent aux pegmatites de Groupe Sodolithique de Lacroix. Ses minéraux caractéristiques sont la tourmaline rouge, le béryl rose (morganite) et la spessartine.
 - « NYF » signifiant présence de Niobium, de l'Yttrium et de Fluor avec de nombreux types et sous types suivant l'existence des minéraux principaux et secondaires. La plupart des pegmatites du sous-type béryl, terres rares, NYF miarolitiques correspondent au groupe potassique de Besairie dans la classification de Lacroix. Ses pegmatites sont caractérisées par la présence de nombreuses cavités contenant du quartz fumé, des citrines, des améthystes, des topazes et des béryls.

- **Trois CLASSES :**

- Classe des pegmatites à éléments rares, avec un grand nombre de types et de sous types ;
- Classe des pegmatites miarolitiques ;
- Classe des pegmatites abyssales.

II-2-2-1-Classes miarolitiques - NYF

Elles sont caractérisées par la présence de nombreuses cavités miarolitiques à minéralogie assez simple, comprenant du quartz (fumé, jaune, violet), feldspaths potassiques (généralement altérés), topazes (incolore, jaune et bleu), béryls (incolore, vert, jaune et bleu).

II-2-2-2-Classe abyssale

Elle est caractérisée par la présence de la cordiérite, dumortiérite, et la grandidierite.

Les variétés riches en corindon ont localement un grain très grossier, avec des cristaux géants de corindon associés à la muscovite, aux feldspaths potassiques et plus ou moins à la sillimanite.

II-2-2-3-Classe à éléments rares

Elle représente les pegmatites riches en minéraux contenant des éléments en trace tels que :

- les éléments légers : lithium, béryllium, bore ;
- les éléments alcalins : césium, rubidium ;
- les terres rares (du lanthane au lutétium) et l'yttrium, le niobium, tantale, tungstène, bismuth, uranium et thorium.

Cette classe est divisée en 3 types avec plusieurs sous-types selon l'abondance des minéraux accessoires :

- type béryl (LCT) ;
- type complexe (LCT) ;
- type terre rares (NYF).

II-2-2-3-1-Type béryl (LCT)

Ce type est représenté par la présence de béryls bleus à vert et comprend cinq sous-types selon la présence de minéraux accessoires :

- **Sous-type Béryl-Colombite :** ce sont les pegmatites les plus communes à Madagascar. Elles regroupent la plupart des pegmatites à trois zones, deux zones et non zonée de Bésairie. Dans ce sous-type le feldspath potassique est plus abondant que le plagioclase et dans quelques dykes, le feldspath potassique se présente sous la variété Amazonite. A part le béryl, la colombite et la tantalite, les autres minéraux accessoires sont rares.
- **Sous-type Colombite-Uranium :** Elles sont similaires au sous-type précédent mais plus rares et de plus petite taille. Elles sont caractérisées par d'exceptionnelles concentrations en minéraux à uranium et à thorium, en particulier des oxydes, associées à des minéraux d'altération.
- **Sous-types Colombite-Phosphate :** Elles contiennent des concentrations significatives de minéraux à phosphate.
- **Sous-types Chrysobéryl :** Elles contiennent du chrysobéryl, en plus du béryl et quelques rares minéraux de colombite et de tantalite, enchâssés dans le quartz du cœur de la pegmatite. Elles peuvent également contenir de la tourmaline et du grenat almandin. La biotite est dominante par rapport à la muscovite.
- **Sous-types Émeraude :** Elles sont riches en béryllium et se trouvent dans des roches métamorphiques basiques. Elles sont caractérisées par des cristaux verts de béryl riches en chromes (émeraude).

II-2-2-3-2-Types Terres Rares (NYF)

Ces pegmatites contiennent des silicates, phosphates et des carbonates d'yttrium et de Terres Rares. Toutes ces pegmatites contiennent de la biotite comme seuls micas, ou biotite dominant largement la muscovite. Elles comprennent trois sous-types :

- **Sous-type Allanite-monazite :** Se caractérisent par l'abondance de ces deux minéraux accessoires (Allanite et Monazite) ainsi que leur association à un grand nombre d'autres minéraux rares comme la strüvérite, la fergussonite. Le béryl peut être présent en moindre quantité.
- **Sous-type Monazite-Thortveitite :** Similaire au sous-type précédent, mais contient de la thortveitite comme minéraux accessoires. Le scandium est présent en faible pourcentage dans les cristaux de béryl, ainsi que le xénotime et le zircon parmi les minéraux accessoires.

- **Sous-type Bastnaésite :** Contiennent des quantités significatives de bastnaésite associées à des cristaux d'hématite bien formés. Il y a la présence de la monazite avec la biotite et la magnétite dans les bordures des pegmatites.

II-2-2-3-3-Type complexe (LCT)

Les pegmatites du type Complexe (LCT) sont riches en minéraux contenant du lithium, de césium, de tantale et une grande quantité de bore. Dans le même champ pegmatitique, deux sous-types ou plus peuvent être présents, fréquemment associés à un sous-type ou plus de béryl. De plus, la transition d'un sous-type à l'autre à l'intérieur des dykes importants, zonés concentriquement et latéralement peuvent être observés. Des masses à grains fins, riches en albite et de formation tardive, associées à des minéraux accessoires rares sont typique de ce type de pegmatite.

Les minéraux caractéristiques sont : la tourmaline polychrome à rouge, le béryl rose et la spessartine relativement pure. Ce type de pegmatite comprend quatre sous-types :

- **Sous – type Lépidolite** (miarolitique ou massive) : Parmi les minéraux accessoires, le spodumène peut être abondant et la lépidolite peut constituer des masses mono minérales relativement importantes à grains fins. La topaze peut être localement présente dans des cavités.
- **Sous-type Ambligonite :** sont rares à Madagascar et similaires à celles du sous-type Lépidolite, mais elles contiennent d'importantes concentrations d'ambligonite massive associée à d'autres phosphates.
- **Sous-type Elbaïte :** La tourmaline lithinifère est le seul minéral contenant du lithium ; les micas et le spodumène étant très rares ou inexistant.
- **Sous-type Damburite :** Elle est caractérisée par la présence de damburite de formation précoce. Les minéraux associés sont les spessartines, tourmalines et spodumènes en abondance. Dans quelques filons, l'apatite bleue vive est commune. Les micas sont inexistant ou présents en quantité extrêmement limités.

Cette classification peut être résumée par la figure suivante :

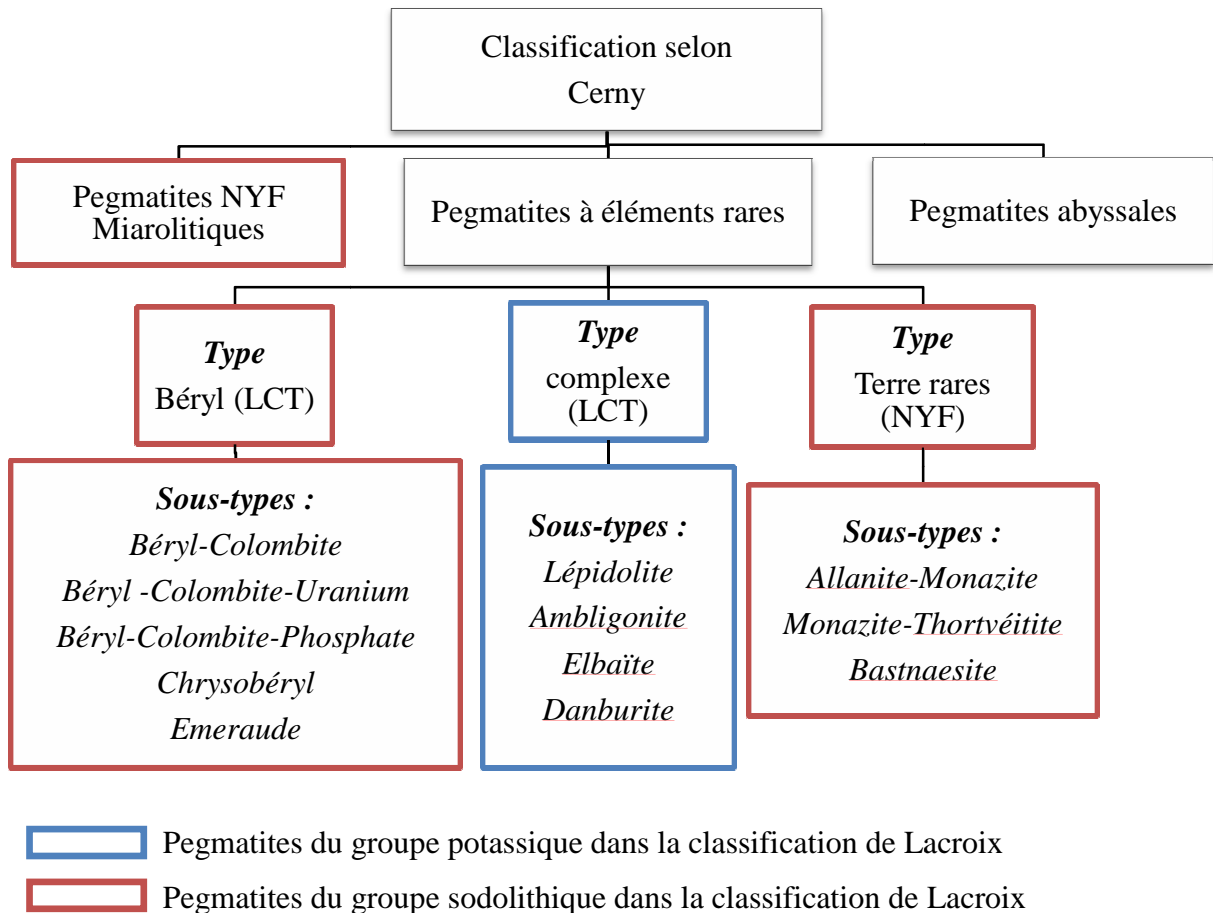


Fig. 2 : Classification des pegmatites Malgache selon Cerny

Les champs pegmatitiques se concentrent principalement à la partie centrale de Madagascar sur le socle cristallin, d'autres plus rares se situent au Nord et au Sud. La figure ci-après montre alors leur répartition sur toute l'île, elle montre les 28 champs pegmatitiques connus actuellement suivant la classification de Cerny.

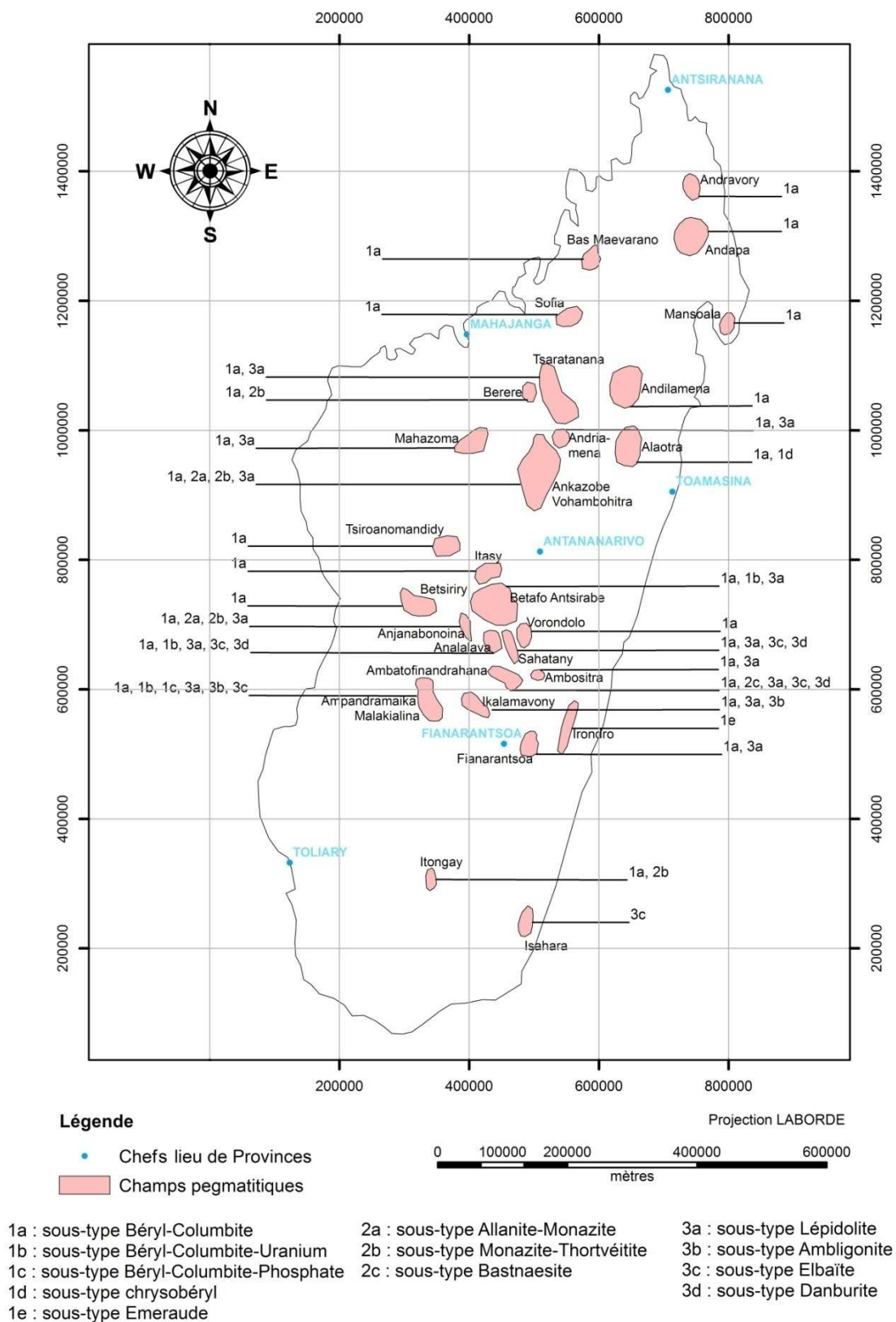


Fig. 3 : Localisation des champs pegmatitiques de Madagascar [12]

CONCLUSION PARTIELLE

Les pegmatites sont des roches magmatiques associées au granite. De ce fait, leur minéralogie est identique à celle du granite mais avec de nombreux minéraux accessoires d'intérêt économique. Elles ont des compositions relativement riches en éléments rares.

A Madagascar, les pegmatites se concentrent principalement à la partie centrale, sur le socle cristallin. Leur prospection nécessite la connaissance de leur position dans des champs régionaux. Actuellement, elles sont classées par la signature chimique des magmas parents et par les minéraux accessoires qu'elles recèlent.

DEUXIEME PARTIE
PROSPECTIONS ET METHODES D'ANALYSE

Chapitre III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Ce chapitre décrit la géographie physique et le contexte géologique de la zone d'étude. La zone d'étude est située dans la Commune de Sahanivotry, au voisinage du village d'Ampamehena. Le périmètre minier est délimité par les 4 points dont les coordonnées sont données par le tableau ci-après :

Tableau 2 : Coordonnées géographiques (projection Laborde) du périmètre minier

| | Limites W | Limites E |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Limites N | X = 469 375 m Y = 667 500 m | X = 475 000 m Y = 667 500 m |
| Limites S | X = 469 375 m Y = 665 000 m | X = 475 000 m Y = 665 000 m |

III-1-Géographie physique [13]

III-1-1-Fondations historiques

L'origine du nom de la Commune est issue du nom de ses rivières qui sont : la rivière de Sahanivotry et la rivière de Manandona d'où son nom « *Sahanivotry - Manandona* ».

III-1-2-Situation géographique et délimitation administrative

La Commune rurale de Sahanivotry - Manandona fait partie de l'une des vingt communes rurales d'Antsirabe II ; de la Région de Vakinankaratra et de la Province d'Antananarivo. Elle se trouve à l'extrême-Sud de la Région du Vakinankaratra à environ 200 km au Sud d'Antananarivo et est traversée dans la direction Nord - Sud par la RN7.

La Commune s'étend sur une superficie de 160 km². Elle est composée de 7 Fokontany dont :

- Sahanivotry : Chef lieu de la Commune
- Farihitsara : 18 km au Nord-Est
- Ampamehena : 7 km au Nord-Est
- Laimbolo : 7 km à l'Est
- Ambohimananarivo : 1,5 km à l'Ouest
- Ambatolahy : 3 km au Sud
- Maromanana : 6 km au Sud-Est

La figure suivante montre la localisation de la zone d'étude dans la Commune de Sahanivotry Manandona.

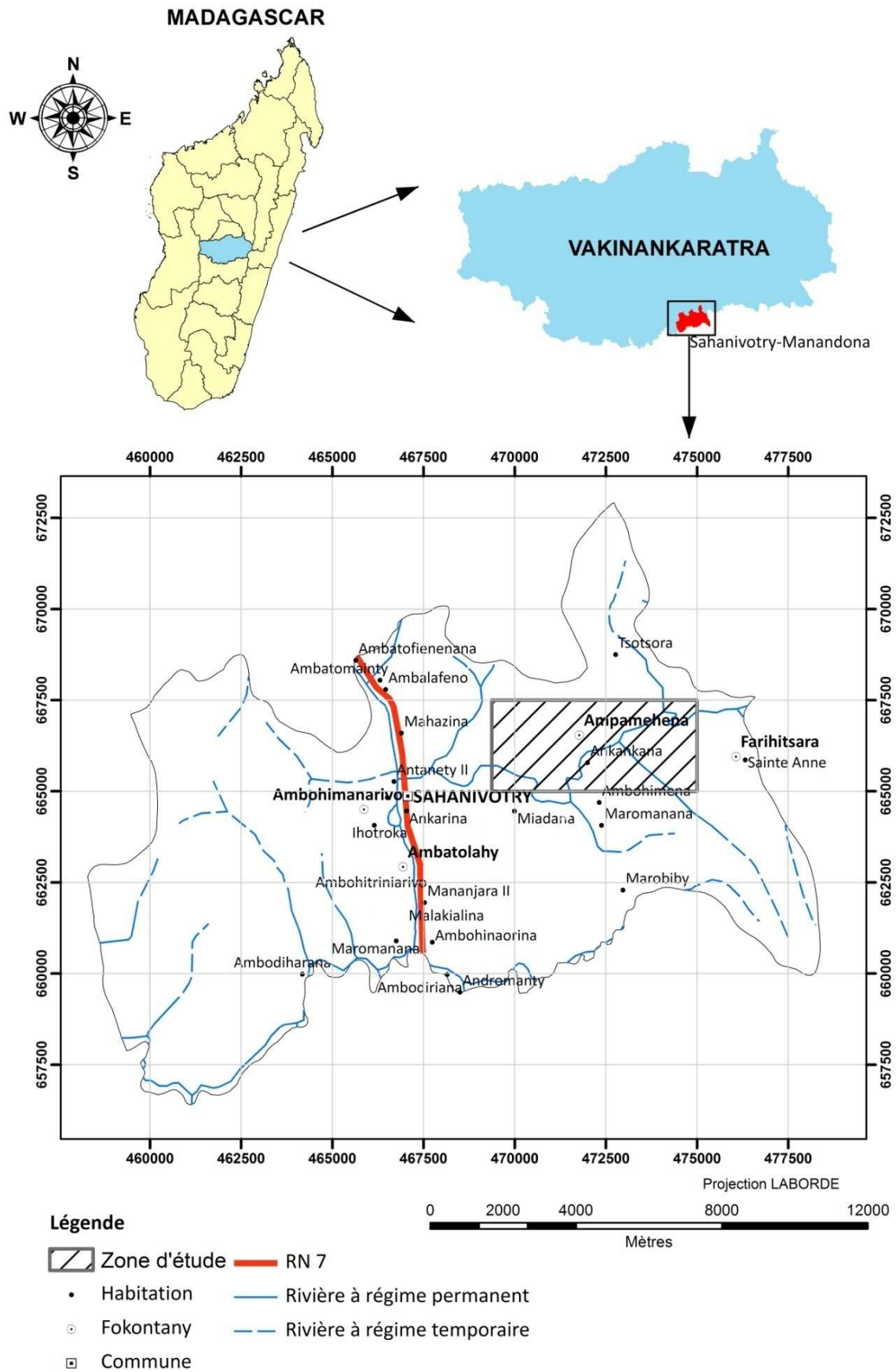


Fig. 4 : Localisation de la zone d'étude

(source F.T.M)

III-1-3-Ressources naturelles

III-1-3-1-Relief

Sur le plan topographique, la zone basse forme une cuvette ouverte vers l'Ouest constitué par les Fokontany de Sahanivotry, Ambohimananarivo, Maromanana, Ambatolahy. A l'Est, elle est bordée par la zone haute constituée par la partie Est et Nord Est de la Commune, c'est-à-dire les Fokontany de Laimbolo, Ampamehena, Farihitsara dont l'altitude est située entre 1300 m et 1900 m.

III-1-3-2-Forêts et environnement

Le paysage rural présente peu de couverture végétale, environ 108 ha seulement sont reboisés et 80 ha couverts de vestiges forestiers naturels de « *Tapia* ». Ces derniers parsèment encore les collines, mais sont souvent remplacés par des pins. Les espèces forestières rencontrées sont les pins dans les parties hautes, tandis que les parties intermédiaires sont parfois recouvertes de mimosas et d'eucalyptus.

III-1-3-3-Hydrographie

La Commune dispose de deux principales rivières :

- **Rivière Manandona** du Nord au Sud et se jette vers l'Ouest en traversant le Fokontany de Sahanivotry, Ambohimananarivo, Maromanana et Ambatolahy.
- **Rivière Sahanivotry** traversant les Fokontany Farihitsara, Laimbolo, Sahanivotry de l'Est à l'Ouest et se jette vers la rivière Manandona.

III-1-3-4-Climat

La Commune fait partie des régions de hautes terres, elle est donc soumise à un climat tropical d'altitude avec deux saisons bien distinctes :

- **une saison sèche** : mois de mai au mois de septembre et
- **une saison humide** : mois d'octobre au mois d'avril. Chaque année, la zone en position basse du flanc Ouest de la Commune enregistre des inondations fréquentes par la rivière de Manandona.

Les gelées les plus basses sont enregistrées entre le mois de juin et le mois d'août avec parfois des gelées matinales.

III-1-3-5-Sols

Dans l'ensemble, les sols sont de deux types :

- **Ferrallitiques dans les hautes terres** : l'absence de forêt rend la formation d'humus presque inexistant et l'existence de larges « tanety non boisés » active la dégradation des bassins versants et le lessivage ;
- **Hydromorphes et alluviaux dans les zones basses** : très favorable à l'agriculture surtout à la production du riz et aux cultures maraîchères et de contre saison sur rizières, mais nécessitent des travaux d'aménagements hydrauliques et de protection de l'environnement, surtout contre l'ensablement.

III-1-4-Situation démographique

La Commune compte actuellement près de 10 000 habitants selon le dénombrement fait au niveau de chaque Fokontany en 2008 dont 48 % du sexe masculin et 52 % du sexe féminin. La densité de la population, selon la superficie de la commune est de 61 hab/km².

III-1-5-Données économiques

III-1-5-1-Agriculture

Les cultures vivrières et fruitières sont les principales activités de la population. Le riz occupe la première place avec une pratique de culture deux fois par an (culture de 1^{ère} et 2^e saison) ; viennent ensuite le maïs, la pomme de terre, la patate douce, les haricots,...

III-1-5-2-Élevage

Dans le domaine d'élevage, celui des bovidés tient une place assez importante avec un cheptel plus de 2 500 têtes réparties dans les sept Fokontany. L'élevage de bovin est utile aux travaux des champs, au transport par charrette d'un côté et d'autre à l'élément d'épargne. L'élevage porcin, avec un cheptel de 478 têtes, reste encore une activité secondaire par rapport au précédent. En troisième position arrive l'élevage des volailles et des chèvres. L'élevage des vers à soie est aussi pratiqué dans la zone en position basse.

III-1-5-3-Pêche

Les deux rivières traversant la Commune sont favorables à la pêche pour la consommation familiale.

III-1-5-4-Infrastructures

L'accès au site est donné par la figure suivante :

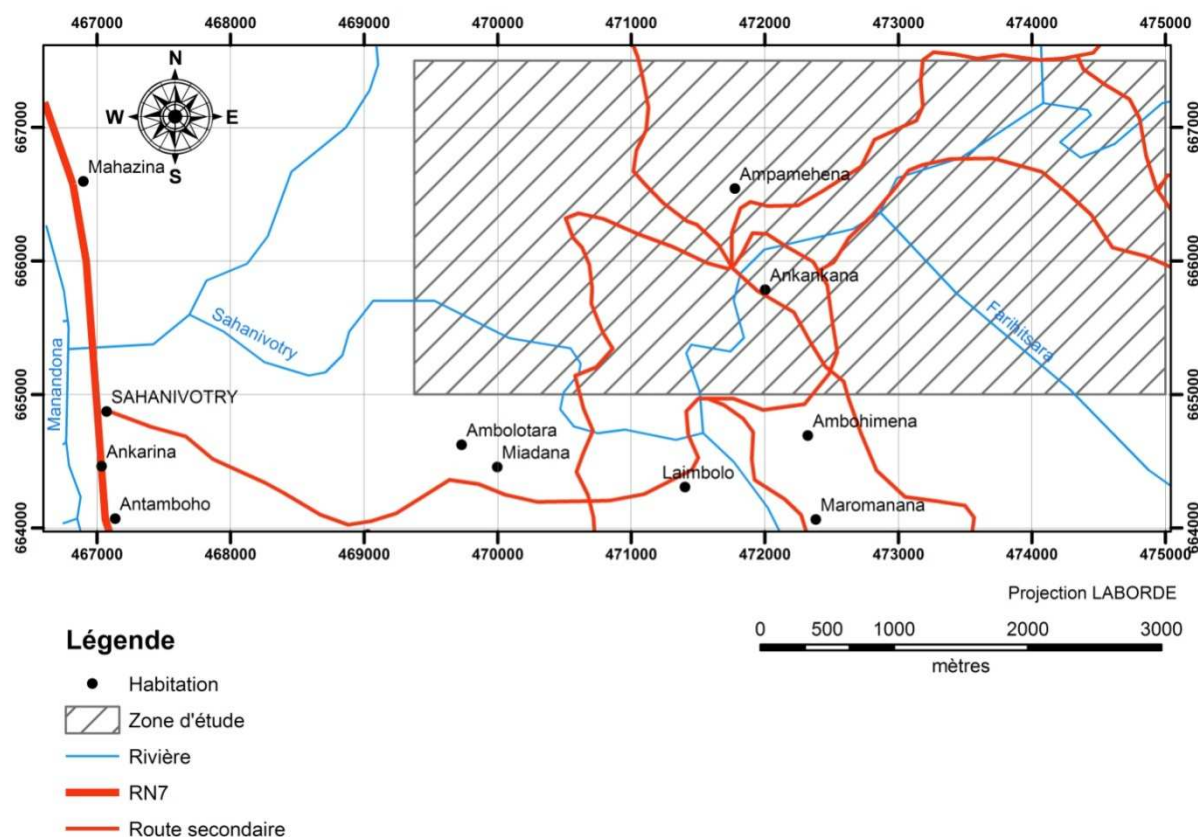


Fig. 5 : Accès au site

L'axe routier vers le Sud (RN7) traversant la Commune a une longueur de 7 km. Les routes secondaires reliant le Chef lieu de la Commune Sahanivotry et le Fokontany Ampamehena sont en dégradation progressive. Elles sont pratiquement impraticables en saison de pluie.

Les infrastructures suivantes sont présentes au sein de la Commune : 10 EPP, 1 CEG, 2 écoles privées, 3 CSB II implantés respectivement au chef-lieu de la commune, à Laimbolo et à Farihitsara et 4 puits pour alimentation en eau. L'implantation d'un barrage hydraulique par HYDELEC en voie de construction donnera une source d'énergie électrique pour la Commune vu qu'elle n'en bénéficie pas encore. En matière d'infrastructure hydro-agricole, 6 Fokontany disposent de vieux barrages de type traditionnel.

III-1-5-5-Artisanat et industrie

Le secteur artisanal est constitué par le travail du bois, du fer, de la brique, de la couture et des diverses tresses. Il n'y a pas encore de création d'unités ou de petites

entreprises rurales par faute de moyens matériels et financiers des artisans. L'implantation de la société industrielle HYDELEC, société productrice d'énergie à partir d'un barrage hydroélectrique dont l'électricité est destiné pour la ville d'Antsirabe, d'Antananarivo et de Fianarantsoa constitue un potentiel de développement de la Commune.

III-1-5-6-Commerce

Les échanges commerciaux tournent autour de la vente des produits de l'agriculture (paddy, riz, maïs,...) puis viennent ensuite les activités de collecte et de commerce de volailles et de porcs. La présence d'un marché hebdomadaire (tous les mardis) est un atout favorable pour le développement de la Commune vu la proximité de la RN7 qui traverse le chef-lieu de la Commune.

III-1-5-7-Ressources minières

L'or, la tourmaline, le béryl, le quartz rose, le cristal, le talc ainsi que le kaolin sont des ressources minières existantes. Si l'exploitation minière est bien licite et claire, la Commune gagnera des avantages au point de vue pécuniaire seulement avec les ristournes. En ANNEXE 1 sont représentés les permis miniers de la Commune.

III-1-6-Données sociales

III-1-6-1-Enseignement et éducation

Parmi les 13 établissements scolaires existants, il y a 2258 élèves pour tous les niveaux. Le taux de scolarisation est de 93,65 % en 2007.

Le nombre d'enseignants et administratifs : 10 pour le CEG dont 6 cadres et 4 FRAM, 43 pour l'EPP dont 17 cadres et 17 FRAM.

III-1-6-2-Santé

Le CSB II de Sahanivotry est pourvu d'un médecin, une infirmière et un aide sanitaire. Les deux autres sont chacun gérés par une sage-femme.

III-1-6-3-Association paysanne et Dina

28 Associations paysannes ont été recensées dans la Commune. Ainsi trois « dina » ont été adoptées :

- « Dinan' asa »: chaque habitant de plus de 18 ans doit participer aux travaux collectifs prévus sinon il serait pénalisé ;

- « Dina Vonjy taitra » : à un appel ponctuel ou d'urgence, chaque habitant de plus de 18 ans surtout les hommes doit répondre et se rendre au bien de l'appel ;
- « Dinam-pivoriana » : un représentant de chaque maison doit assister et pratiquer aux réunions du village.

III-1-6-4-Valeurs culturelles et structures traditionnelles

Environ 40 % de la population sont des Protestants, 30 % sont Catholiques et le reste pratiquent d'autres religions. Le milieu est encore fortement imprégné par un système traditionnel d'organisation tel que le respect des personnes âgées à l'intérieur d'un univers communautaire (LOHOLONA). Rien ne peut se passer sans la permission et/ou la consultation de ces personnes dans la Commune pour la mise en œuvre et la réalisation des projets et/ou action envisagée pour la société rurale.

III-1-6-5-Sécurité

Par rapport aux communes voisines, le problème d'insécurité ne constitue pas un problème majeur pour cette Commune d'après les recensements faits les cinq dernières années concernant les vols, les cambriolages et les assassinats. De plus l'application et le respect de trois Dina sus-cités renforcent la sécurité communale.

III-2-Contexte géologique [9]

D'après la carte géologique, la zone d'étude est formée en général de roches métamorphiques, elle comporte surtout des roches migmatitiques de direction subméridienne et est le siège d'anciennes manifestations volcaniques.

Les formations géologiques correspondent à une série migmatitique recoupée par de nombreuses intrusions acides et basiques.

La carte suivante montre les formations géologiques de la zone d'étude.

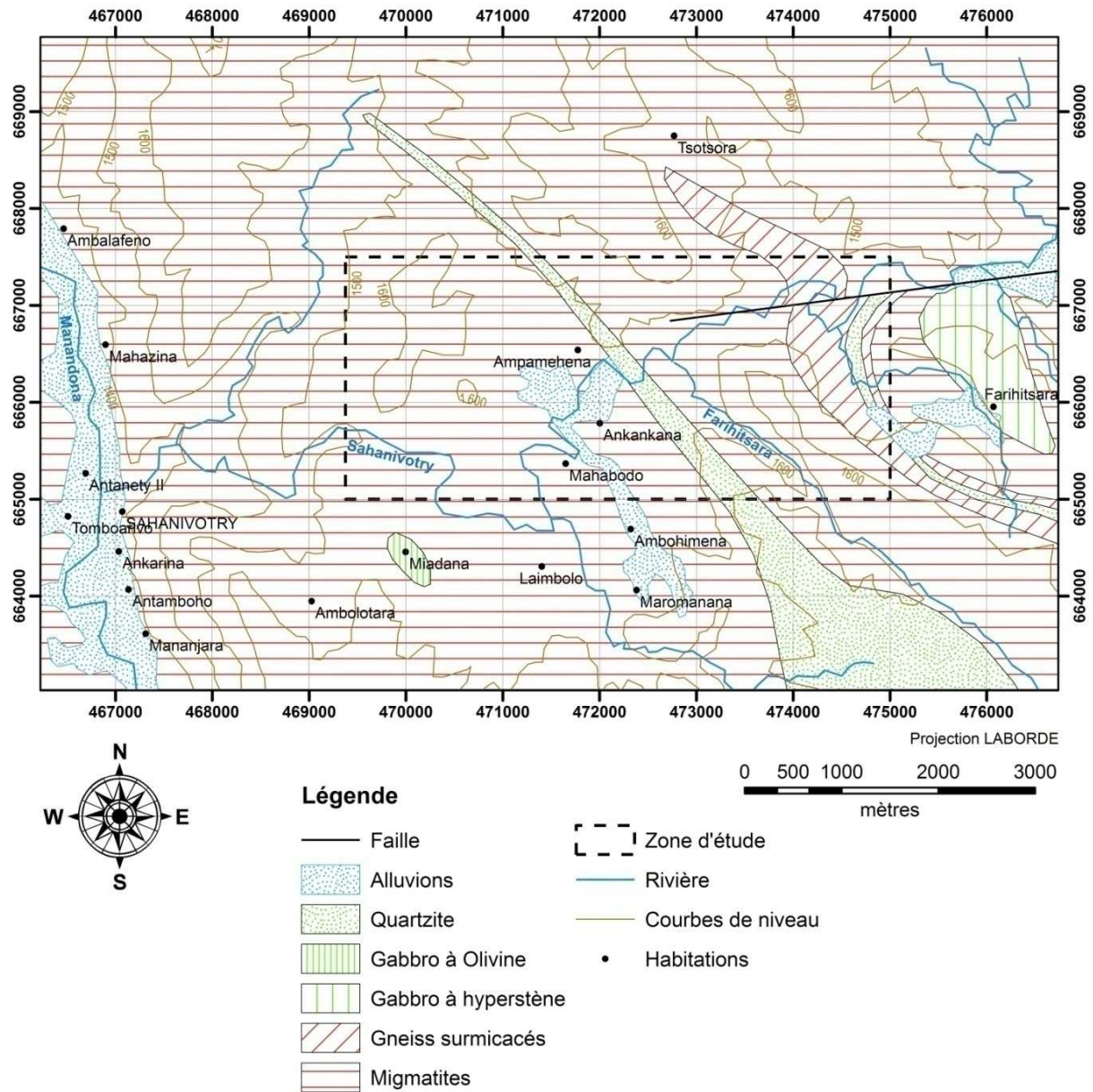


Fig. 6 : Cadre géologique de la zone d'étude

(Source : extrait des cartes N50 et O50 numérisés avec Arcgis 9.3)

III-2-1-Roches métamorphiques

Les migmatites sont caractérisées par l'hétérogénéité des faciès. Structuralement, elles correspondent à la base des schistes cristallins formant un anticlinal déversé vers l'Est et renferment toujours de la biotite, de l'amphibole et du pyroxène.

La série des quartzites se reposent en discordance sur les migmatites de bases. Son épaisseur varie brusquement de quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres. Ces quartzites sont généralement en bancs massifs, vitreux et à gros grain et renferment toujours de la muscovite, de la tourmaline en quantité variable et éventuellement de la biotite,

et du microcline. Associés aux migmatites et habituellement très altérés, les gneiss sont abondants et atteignent souvent plusieurs centaines de mètres d'épaisseur.

III-2-2-Roches éruptives

Les filons granitiques recoupent les schistes cristallins en discordance. Ils montrent une grande résistance à l'érosion et sont généralement marqués par des arêtes aiguës bien détachées des terrains encaissants.

III-2-3-Intrusions basiques et roches associés

Les intrusions basiques sont essentiellement gabbroïques et à hypersthène. Les gabbros quartzitiques sont presque entièrement transformés en amphibolites et sont aurifères.

III-2-4-Pegmatites

Les pegmatites sont potassiques et sont caractérisées par la présence de filons de quartz inclus dans la latérite. Elles se présentent couramment sous l'apparence de filons parfois concordants mais le plus souvent obliques par rapport à la direction de schistosité ou à la foliation de la roche encaissante. Elles forment des amas ou des alignements isolés et sont nombreuses dans la série migmatitique.

Ses minéraux accessoires sont la tourmaline et éventuellement le béryl, le grenat ...

III-2-5-Formations récentes et superficielles

Les formations superficielles comprennent les cuirasses ferrugineuses et les alluvions fluviales. Les alluvions fluviales sont peu développées et n'occupent que de surfaces restreintes et forment de minces poches alluviales très dispersées que les habitants exploitent et aménagent pour la culture surtout du riz.

Chapitre IV : TECHNIQUES DE PROSPECTION

La prospection est l'ensemble des opérations d'investigations qui consistent à découvrir des indices de substances minérales. Les matériels utilisés au cours de cette prospection sont :

- deux cartes géologiques N50 et O50 à l'échelle 1/100 000 du P.G.R.M ;
- des images satellites ;
- une carte des permis miniers (disponible en ANNEXE 1) ;
- une boussole avec clinomètre : Utilisée pour indiquer la direction Nord-Sud et mesurer les directions et pendages ;
- un marteau de géologue pour le prélèvement d'échantillons ;
- des sacs à échantillons ;
- des feutres indélébiles pour référencer les échantillons ;
- un G.P.S. (appareil qui donne les coordonnées sphériques du point de prélèvement) ;
- une batée et une pelle ;
- un tamis de maille de 5 mm.

Lors des descentes sur terrain, deux types de prospection ont été exécutés :

- la prospection au marteau ;
- la prospection alluvionnaire.

Ainsi, l'organigramme suivant reflète les étapes suivies au cours de ces travaux :

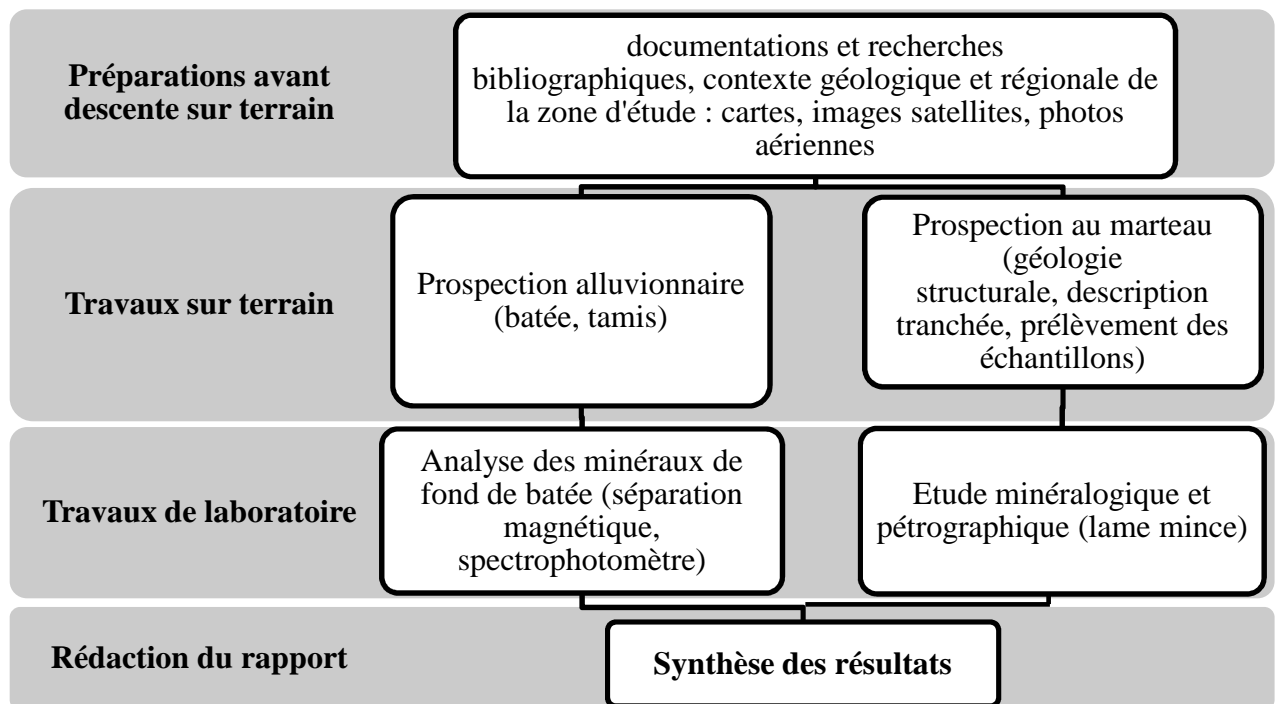


Fig. 7 : Organigramme des travaux exécutés

Nous avons effectué deux descentes pour les travaux de prospections :

- la première descente a duré deux jours au cours du mois de décembre 2010, elle a pour objectif la localisation, la reconnaissance et la délimitation de la zone à étudier ;
- la seconde et dernière descente a duré deux semaines au cours du mois de février 2011 pour les travaux de prospections proprement dit citées ci-dessous.

IV-1-Prospection au marteau

La prospection au marteau consiste à rechercher et à collecter des indices de minéralisation par l'observation des affleurements et des éboulis de pierres ainsi que des anciens travaux (tranchées, exploitations abandonnées ...). Elle se fait le long des itinéraires qui sont choisis au préalable à partir des documents disponibles (cartes géologiques, carte des permis miniers, images satellites, ...).

La localisation tectonique des pegmatites est plus ou moins définie : linéation, foliation, failles, zones bréchiques, contact entre formation pétrographiques différents, partie axiale des plis... Les formations pegmatitiques se signalent dans la nature par un noyau quartzeux ou d'un tas de quartz laiteux. La prospection au marteau est effectuée en vue de connaître les roches encaissantes des pegmatites ainsi que les pegmatites elles-mêmes et leurs minéraux constitutifs respectifs.

IV-1-1-Tranchées et anciens travaux

Les tranchées sont creusées surtout pour rechercher les corps minéralisés : leur largeur est la dimension la plus faible. Elles permettent de relever des renseignements sur les minéraux et les minerais, la gangue de la pegmatite et la roche encaissante.

Lors des descentes sur terrain effectuées, des tranchées creusées par les ouvriers locaux existent déjà, probablement pour la recherche notamment de quartz rose, de grenat, de béryl dont certaines sont inondées et d'autres éboulées à cause de la forte précipitation que subit la région, de l'insuffisance de la couverture végétale et de la mauvaise organisation des travaux. Leur creusement a été effectué manuellement avec des pelles, des pioches, des marteaux et des burins...

IV-1-2-Observation de la morphologie, des sols, de la végétation

La région d'Ampamehena fait partie des hautes terres et présente quelques forêts de Tapia et de pins mais peu de couverture végétale. En effet, la couverture latéritique est

drainée par les eaux de précipitation qui activent la dégradation des bassins versants et le lessivage. Ce phénomène met en affleurement quelques filons de quartz et certaines roches encaissantes telles que les migmatites, les gneiss, les micaschistes et les granites.

IV-1-3-Echantillonnage

L'échantillonnage est fait dans un but plus qualitatif que quantitatif. Il consiste à prélever une partie de roche en place, de dimension moyenne de 10 cm x 10 cm x 10 cm pour qu'il lui soit représentatif. Au cours de la collecte des échantillons, il est nécessaire de mesurer la direction et le pendage de la stratification, de la schistosité et des fractures significatives, ainsi que la direction et le prolongement des linéations. Les échantillons recueillis permettront ensuite d'en établir une étude pétrographique plus avancée (lames minces).

IV-1-4-Observation des affleurements

L'observation des affleurements constitue l'étape principale de la prospection au marteau. Sur terrain, des affleurements notamment de gneiss, de granite, de quartzite, et de migmatites ont pu être localisés, observés puis échantillonnés. Leurs coordonnées géographiques sont ensuite positionnées sur une carte avec la direction et le pendage de chaque affleurement pour permettre d'avoir une carte géologique plus descriptive de la zone d'étude.

Les éboulis aperçus au loin révèlent généralement la présence d'un affleurement de quartz comme le montre la figure suivante, qui peut être un indice sur la présence de pegmatites.

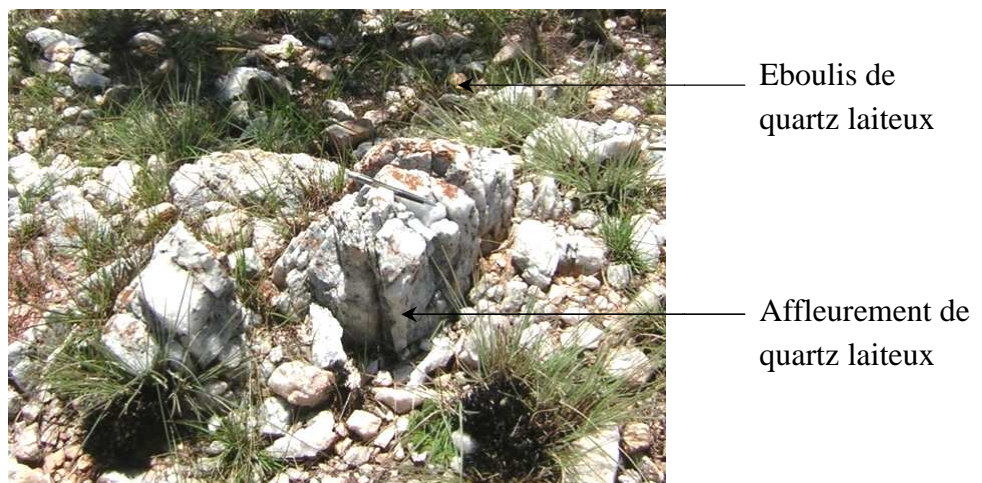


Fig. 8 : Affleurement de quartz laiteux

IV-2-Prospection alluvionnaire

La prospection alluvionnaire consiste à prélever et à laver des échantillons d'alluvions ou d'éluvions pour en extraire les minéraux lourds et utiles et évaluer leur degré de concentration ou teneur exprimée le plus souvent en grammes par mètre cube.

La partie affleurante des pegmatites se dégrade sous l'influence notamment des eaux de pluies et de la variation de température. Ainsi, ses minéraux se trouvent alors libérés puis entraînés par les eaux de ruissellement pour se déposer dans les rivières. Ce type de prospection est donc indispensable pour la recherche des minéraux de pegmatites.

Elle a pour but la recherche de points d'accrochage (indices ou anomalies). Elle est effectuée dans le réseau hydrographique et conduit à mettre en évidence des points à minéralisations alluvionnaires.

IV-2-1-Caractères généraux des alluvions

Les alluvions sont définies par les caractères suivants :

- dépôt de terre, sable ou toute autre matière sans cohésion ou cohésion partielle (caractère détritique) ;
- sédimentation à partir d'éléments arrachés à d'autres roches ou gisements en place par l'action mécanique de certains agents comme l'eau de ruissellement, le vent ou la marée ;
- dépôt après transport plus ou moins long.

IV-2-2-Formation des gîtes alluvionnaires

Trois facteurs entrent en jeu dans la formation des gîtes alluvionnaires :

- **Érosion** : désagrégation de la roche plus ou moins minéralisée. Elle est due à des agents mécaniques et physiques (eau de pluie, eau de ruissellement, action du soleil, du froid, du gel/dégel...). Certains phénomènes physico-chimiques comme la dissolution des roches, la kaolinisation des feldspaths et la latéritisation peuvent aussi intervenir.
- **Transport** : Le transport par l'eau des éléments détritiques issus des roches altérées puis érodées se fait par roulement, par suspension en suivant le cours d'eau.

Un cours d'eau peut transporter avec une vitesse de :

- 0,3 km/h : des argiles et des boues ;
- 0,6 km/h : des sables ;
- 3 km/h : des galets de 100 g ;
- 15 km/h : des blocs de 100 kg ;
- 30 km/h : des rochers de 100 t.

En effet, les variations de vitesse de courant dans un même cours d'eau, donnent lieu à des dépôts très variés. Ainsi, les gros blocs s'arrêtent les premiers, puis les galets de plus petites tailles. La charge ne se répartit pas uniformément dans toute la section du cours d'eau. Elle se concentre au fond sur les bords et progresse de deux manières différentes :

- en suspension pour les fines particules ;
- par traînage, roulement et sauts successifs pour les gros blocs et/ou galets.

Le transport est fonction de la nature du bedrock (lit large ou étroit, fond uni ou inégal et rugueux) et de la nature des minéraux transportés (poids spécifiques, dureté, arrondissement des minéraux, clivage, mouillabilité et flottabilité).

- **Dépôt :** Le dépôt se fait quand le transport n'est plus possible (quand la vitesse ralentit). Les gros blocs vont s'accumuler en premier puis les galets de plus en plus petits. Cet ensemble forme le cône de déjection.

Il est à noter que les sables fins correspondent à des dépôts actuels ou récents tandis que les galets et blocs fins à des dépôts plus anciens.

IV-2-3-Prélèvement des échantillons

La densité de prélèvement doit être aussi régulière que possible, dans la majorité des cas dans les affluents et parfois dans les sous affluents des grands collecteurs. Les prélèvements doivent être effectués aux points de concentration optimale des minéraux lourds : seuils rocheux, marmites d'érosion, dépôts à gros galets, zones d'étranglement du lit.... De très nombreux prélèvements ont été effectués dans les alluvions à galets de quartz de part et d'autre de la rivière de Sahanivotry.

Il est à noter que pour la prospection aurifère, les prélèvements sont surtout effectués au niveau des marmites d'érosion, au niveau des méandres et sur les barres rocheuses. L'or a une densité très élevée qui est de 19,3 par rapport à l'eau. Il fait alors partie des particules premières à se sédimenter.

IV-2-3-1-Prélèvement au niveau des marmites d'érosion

Une marmite est une dépression morphologique du bedrock dans lequel, par érosion circulaire, s'accumulent des minéraux lourds ; c'est un lieu où la sédimentation est favorable.

IV-2-3-2-Prélèvement au niveau des coudes

Dans un coude d'une rivière, la distribution de la vitesse est différente suivant la largeur. Lorsqu'elle est très faible, la sédimentation est favorable.

IV-2-3-3-Prélèvement sur les barres rocheuses

Les barres rocheuses empêchent l'écoulement normal de la rivière, ainsi sa vitesse s'en trouve réduite. Elles favorisent alors la sédimentation des particules lourdes.

IV-2-4-Lavage et concentration

Le débourage du gravier s'effectue sur un tamis de maille de 5 mm placé au-dessus d'un plan d'eau. Les rejets sont rapidement examinés et en cas de minéralisation visible, elle est conservée. Les passants (de diamètre inférieur à 5 mm) vont ensuite à la batée.

La séparation de minéraux lourds est obtenue au moyen de la batée. C'est une plate circulaire métallique de 40 à 50 cm de diamètre, de quelques centimètres de profondeur et dont les bords se relèvent légèrement. En la tenant légèrement inclinée, on lui imprime un mouvement de rotation, l'eau agitée soulève les particules plus légères alors que d'autres plus lourdes retombent rapidement vers le fond. De temps à autre, il est nécessaire de secouer la batée pour tasser les particules plus lourdes au fond. Peu à peu, elle se vide de terre, de sable, d'eau et d'autres particules légères ; il ne reste plus au fond de la batée que les minéraux lourds.

IV-2-5-Étiquetage des échantillons et emballage

Après lavage et concentration à la batée, le concentré est stocké provisoirement dans un sac en plastique étanche, soigneusement vidé d'eau, fermé et étiqueté (avec un feutre indélébile).

Chapitre V : METHODES D'ANALYSES

La préparation des images satellites est nécessaire bien avant les descentes sur terrain. Elle permet de mieux échantillonner en des points stratégiques. Après les descentes sur terrain, des études au laboratoire ont été réalisées. La confection et l'observation des lames minces ont été effectuées au sein du Ministère chargé des Mines à Ampandrianomby tandis que la spectrophotométrie et l'observation à la loupe binoculaire pour les minéraux de fond de batée, au laboratoire Génie chimique de l'ESPA.

V-1-Télédétection

Les images fournies par les satellites de télédétection peuvent être extrêmement précises et spécialisées, et sont destinées à faire apparaître et mettre en valeur certaines caractéristiques géographiques de la surface de la Terre en les juxtaposant à d'autres. Les données satellitaires ou images LANDSAT sont obtenues au sein de la FTM. Le traitement des images satellites a pour but :

- de cartographier les structures majeures d'Ampamehena (failles) ;
- d'établir une liaison à partir des résultats obtenus entre ces structures et les pegmatites.

V-1-1-Données satellites

Ces images ont les caractéristiques données par le tableau suivant :

Tableau 3 : Caractéristiques des images satellites

| Images LANDSAT | Correspondance du pixel ² [m] | Longueur d'onde [μm] |
|----------------|---|------------------------------------|
| TM1 | 30 | 0,45 – 0,52 (bleu) |
| TM2 | 30 | 0,52 – 0,60 (vert) |
| TM3 | 30 | 0,63 – 0,69 (rouge) |
| TM4 | 30 | 0,76 – 0,90 (proche infrarouge) |
| TM5 | 30 | 1,55 – 1,75 (proche infrarouge) |
| TM6 | 60 | 2,08 – 2,35 (proche infrarouge) |
| TM7 | 30 | 10,4 – 12,5 (infrarouge thermique) |
| TM8 | 15 | 0,52 – 0,90 (panchromatique) |

Notons que ces images brutes (images LANDSAT) sont données en Noir et Blanc.

² Le pixel représente le plus petit point dans une image. Ce pixel correspond à la distance réelle (en mètre) donné par le tableau.

V-1-2-Traitement d'images satellites

Il consiste à améliorer la qualité de l'image pour permettre l'analyse et l'extraction des informations. Ces informations peuvent être, plus ou moins détectables selon la qualité de l'image (les détails présents sont nets et clairs). Dans cette étude, il doit permettre de détecter les failles pour faciliter la localisation des pegmatites.

Nous avons traité les images satellites à l'aide du logiciel ENVI 4.5. Le traitement consiste principalement à établir une composition colorée afin de ressortir les structures tectoniques. La création de composition colorée consiste à afficher les différents composants de l'image en Rouge, Vert et Bleu, couleurs fondamentales sur les canaux des TM, c'est-à-dire afficher respectivement trois images LANDSAT en Rouge, Vert et Bleu puis les superposer.

Exemple : Composition colorée 321

Le chiffre 3 correspond à l'image LANDSAT TM3 qui sera affichée en Rouge ;

Le chiffre 2 correspond à l'image LANDSAT TM2 qui sera affichée en Vert ;

Le chiffre 1 correspond à l'image LANDSAT TM1 qui sera affichée en Bleu.

Pour mettre en exergue les structures tectoniques, quatre différents types de composition colorée ont été proposés pour cette étude afin de donner une forte amélioration par rapport aux images brutes :

- 321 couleur naturelle ;
- 432 image en fausse couleur ;
- 453 image en fausse couleur ;
- 742 image en proche infrarouge.

Ces compositions colorées sont données par les figures suivantes :

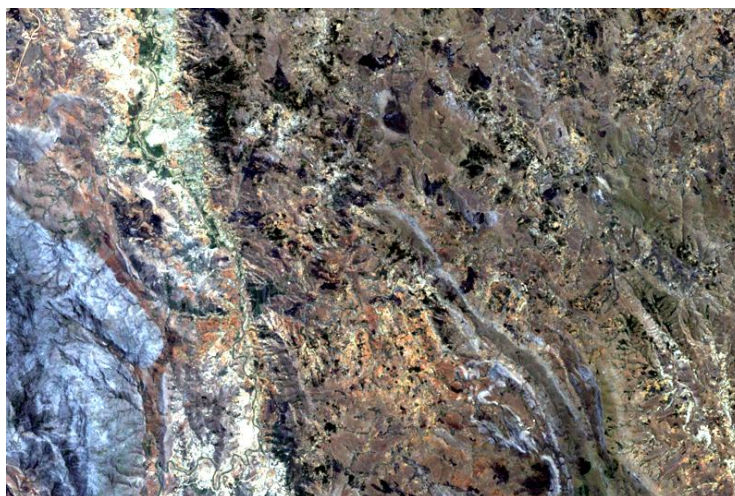


Fig. 9 : Composition colorée 321

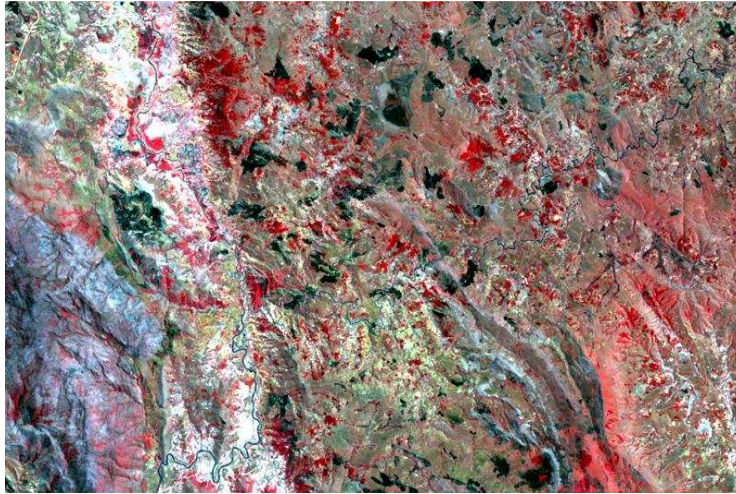


Fig. 10 : Composition colorée 432

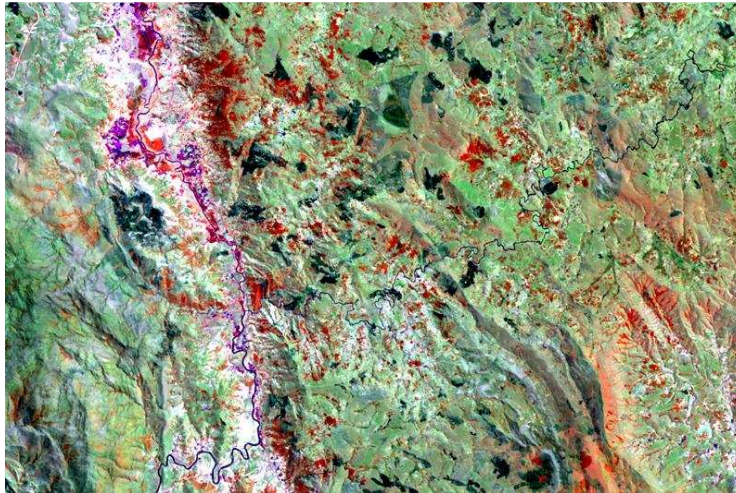


Fig. 11 : Composition colorée 453

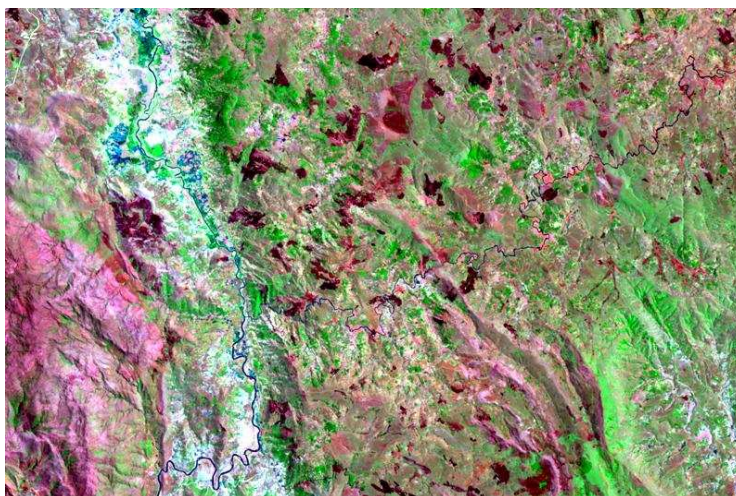


Fig. 12 : Composition colorée 742

Après analyse sur chaque composition colorée, nous avons choisi la composition colorée 742 car c'est sur elle que les failles sont les plus nets.

V-2-Lames minces

V-2-1-Confection des lames minces

Une lame est une plaque de verre sur laquelle est placée un échantillon de roche pour pouvoir l'examiner et l'analyser au microscope. La plupart des minéraux en grains qui constituent les roches ne laissent pas traverser les rayons lumineux, ainsi une lame mince est réalisée pour pouvoir les observer au microscope. En effet, à partir des échantillons récoltés sur le terrain, des roches passent par différentes étapes de préparation. Ainsi divers matériels sont alors utilisés et demande beaucoup d'attention à chaque étape, qui consiste :

- au sciage de la roche ;
- au collage d'un échantillon sur une lame de verre ;
- à la réalisation de la lame mince.

V-2-1-1-Sciage

Le sciage est réalisé à partir d'une scie circulaire diamantée « la tronçonneuse » jusqu'à obtenir un parallélépipède appelé « sucre » de dimension 4 cm x 3 cm x 1 cm.

Le sucre obtenu est ensuite rodé à la prérodeuse pour éliminer les traces de scie, puis poli à l'aide de la rodeuse. Au cours de ces phases, le carbure de silicium ou corindon synthétique est utilisé comme poudre abrasive. Il est ensuite « nettoyé » dans un bac à ultrason pour éliminer les contaminations au cours de ces opérations, puis séché sur une plaque chauffante.

V-2-1-2-Collage d'un échantillon sur une lame de verre

De la colle forte est utilisée pour le collage. Sur l'une des faces aplanie du sucre est collé le verre d'épaisseur bien défini. L'ensemble est ensuite placé dans une presse chauffante pendant 3 heures.

V-2-1-3-Réalisation de la lame mince

Le sucre collé sur le verre est ensuite scié avec une petite scie pour réduire son épaisseur. Cette lame est ensuite mesurée et rodée par « la machine à roder », diminution progressive de l'épaisseur de la roche par frottement sur une meule (qui tourne) jusqu'à une

épaisseur minimum (sans que la roche disparaisse). A cette épaisseur, tous les minéraux sont transparents à la lumière et peuvent être étudiés au microscope polarisant exceptés les minerais opaques et métalliques. La lame étant ainsi bien façonnée, on y verse une goutte de baume de Canada fondue et on recouvre le tout avec une lamelle.

V-2-2-Observations au microscope polarisant

V-2-2-1-Caractères à observer

Au microscope, on peut observer les caractères suivants de chaque minéral :

- Les caractères cristallographiques facilement observables :
 - la présence de clivages et l'angle entre les plans de clivages ;
 - la présence éventuelle de macles.
- Les caractères optiques facilement observables :
 - la couleur en LPA ;
 - l'angle d'extinction en LPNA : position pour laquelle un minéral déterminé devient noir ;
 - l'indice de réfraction et relief ;
 - le pléochroïsme en LPNA : c'est le phénomène de variation de couleur en fonction de l'orientation du cristal par rapport au plan de polarisation de la lumière ;
 - la biréfringence (voir ANNEXE 3) : elle est définie comme la différence entre l'indice de réfraction maximum et minimum d'un minéral.

Une estimation semi visuelle des minéraux est effectuée lors de l'observation au microscope. Ceci afin de mieux décrire la roche et ainsi la donner un nom plus adéquat.

V-2-2-2-Cristallographie des principaux minéraux sur les lames minces

Le tableau suivant illustre les caractères facilement observables des principaux minéraux aperçus sur les lames minces.

Tableau 4 : Cristallographie des principaux minéraux sur les lames minces

| | LPNA | | | LPA | | |
|-------------|-------------------------------------|---------------|---------|------------|---------------|---|
| | Couleur | Pléochroïsme | Relief | Extinction | Biréfringence | Macles |
| Amphibole | verte | faible | moyen | oblique | moyenne | - |
| Biotite | jaune à brune | - | moyen | droite | forte | - |
| Microcline | incolore | nul | faible | oblique | faible | traces de macles perpendiculaires |
| Muscovite | incolore, légèrement verdâtre | - | moyen | droite | forte | - |
| Olivine | incolore | nul | fort | droite | forte | - |
| Plagioclase | incolore | nul | faible | oblique | faible | macles formant de bandes longitudinales |
| Pyroxène | verte pâle, vert jaune à vert-brune | faible ou net | fort | droite | faible | - |
| Quartz | incolore | absent | faible | droite | faible | - |
| Tourmaline | brune, brun-verte, rose | - | moyenne | droite | moyenne | - |

V-3-Minéraux de fond de batée

L'étude des minéraux de fond de batée comprend les étapes suivantes :

- préparation des minéraux de fond de batée pour les analyses ;
- observation à la loupe binoculaire ;
- analyse au spectrophotomètre.

V-3-1-Préparation des minéraux de fond de batée

La préparation des minéraux de fond de batée comprend les étapes suivantes :

- séchage au four ;
- tamisage sur un tamis d'ouverture 50 μm ;
- séparation magnétique effectuée manuellement à l'aide d'un aimant des minéraux magnétiques (magnétite, ilménite ...) et des substances non magnétiques (or, martite, ...).

V-3-2-Observation à la loupe binoculaire

V-3-2-1-Loupe binoculaire

La loupe binoculaire est un instrument permettant d'observer les minéraux de taille relativement petite (de l'ordre 50 μm), le but est de faire un inventaire et une estimation semi quantitative visuelle des minéraux de fond de batées. En effet, les caractères des minéraux suivants peuvent être observés à la loupe binoculaire : la couleur, la forme (système cristallin), l'éclat, le clivage, la macle, la cassure, ...

V-3-2-2-Estimation semi-quantitative

L'estimation semi-quantitative est une estimation volumétrique approximative visuelle des différents minéraux lourds par rapport au volume total. Elle est exprimée en pourcentage, avec une erreur estimée à ± 5 % pour un bon opérateur.

Pour une meilleure compréhension des résultats, les notations suivantes sont adoptées :

- +++ : Très abondante (60 % à 100 %) ;
 - ++ : Abondante (30 % à 60 %) ;
 - +
 - =
- : Rare (1 % à 30 %) ;
: Très rare (inférieure à 1 %).

V-3-2-3-Descriptions des minéraux à la loupe binoculaire

Le tableau suivant illustre les caractères facilement observables des principaux minéraux lourds des minéraux de fond de batée à la loupe binoculaire.

Tableau 5 : Critères de reconnaissance des principaux minéraux de fond de batée

| | Forme | Densité | Transparence | Couleur | Eclat | Clivage | Cassure |
|------------|--|----------------|---|------------------------------|------------------------------|----------------|---------------------------|
| Amphibole | prisme plus ou moins allongé | 2,9 – 3,4 | non transparent à translucide | vert-noire, noire | vitreux | parfait | conchoïdale |
| Grenat | hexaoctaèdre | 3,4 – 4,6 | non transparent à translucide | rouge, brune | vitreux à résineux | très imparfait | conchoïdale à irrégulière |
| Magnétite | octaèdre striés ou petit grain millimétrique | 5,2 | opaque | noire | métallique | imparfait | conchoïdale |
| Monazite | tablettes, prismes | 4,8 – 5,5 | translucide à opaque | jaune, verte, brune jaunâtre | gras | parfait | conchoïdale |
| Or | plaque, écaille | 19,3 – 15,5 | opaque | jaune | métallique | absent | dentelée |
| Pyroxène | prisme trapu | 3,2 – 3,4 | transparent | verte | vitreux | visible | |
| Rutile | prisme allongé et striés | 4,2 – 4,3 | non transparent à translucide | brune | adamantin ou semi-métallique | décelé | subconchoïdale |
| Tourmaline | prisme ou fragment d'un prisme | 2,9 – 3,2 | non transparent, translucide, transparent | noire | vitreux | imparfait | conchoïdale |
| Zircon | prisme bipyramidé à section carré | 4 – 4,7 | transparent | incolore à jaunâtre | adamantin | imparfait | conchoïdale |

V-3-3-Analyses et mesures au spectrophotomètre

Le spectrophotomètre mesure l'absorbance (reliée à la quantité de lumière absorbée) d'une solution contenant l'échantillon, avant et après que la solution a réagi avec un réactif colorant.

V-3-3-1-Mise en solution des minéraux de fond de batée

Pour la détermination de la teneur en or, la mise en solution de chaque fond de batée comprend :

- **Étape de préparation** : le but est de faciliter la réaction des acides pour les prochaines étapes. Il consiste à broyer puis tamiser à 90 µm les minéraux de fond de batées puis à récolter 0,5 g des passants dans un bécher ;
- **Attaque à l'HCl** : Sachant que l'or est inattaquable aux acides, partant de ce principe, on verse 10 ml d'HCl à 25% dans le bécher. Le tout est chauffé sur une plaque chauffante et ensuite filtré avec un papier-filtre pour obtenir le filtrat ;
- **Attaque au KCl et à l'eau régale** : L'eau régale est un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique qui rend l'or soluble. En effet, elle attaquera l'or qui par la suite sera fixée par le chlore et donnera une solution de chlorure d'or. Cette attaque consiste alors à verser dans le filtrat 1 ml de la solution de KCl et 3 ml d'eau régale puis à chauffer la solution jusqu'à réduction totale en s'assurant qu'il n'y ait pas de brûlure.
- **Diluer le résidu** avec 100 ml d'eau distillée pour obtenir la solution finale.

V-3-3-2-Préparation de la solution étalon

La préparation de la solution étalon est identique à la mise en solution des minéraux de fond de batée, à quelques exceptions près. On utilise en effet 0,05 g d'or pur (passants dans le bécher) qui sera ensuite attaqué au KCl et à l'eau régale sans passer à l'attaque avec l'HCl.

V-3-3-3-Mesures au spectrophotomètre

Avant chaque mesure au spectrophotomètre, il faut caler l'appareil avec la solution étalon pour avoir la courbe d'étalonnage. Le spectrophotomètre doit être calibré à 464 nm de longueur d'onde. Les mesures sont alors effectuées en versant la solution correspondante au volume de la cuve du spectrophotomètre. Le spectromètre est relié à une imprimante qui lui permet d'imprimer directement les résultats.

La figure suivante récapitule sommairement les étapes d'analyse suivies depuis le prélèvement des alluvions/éluvions jusqu'à l'inventaire de leurs minéraux constitutifs.

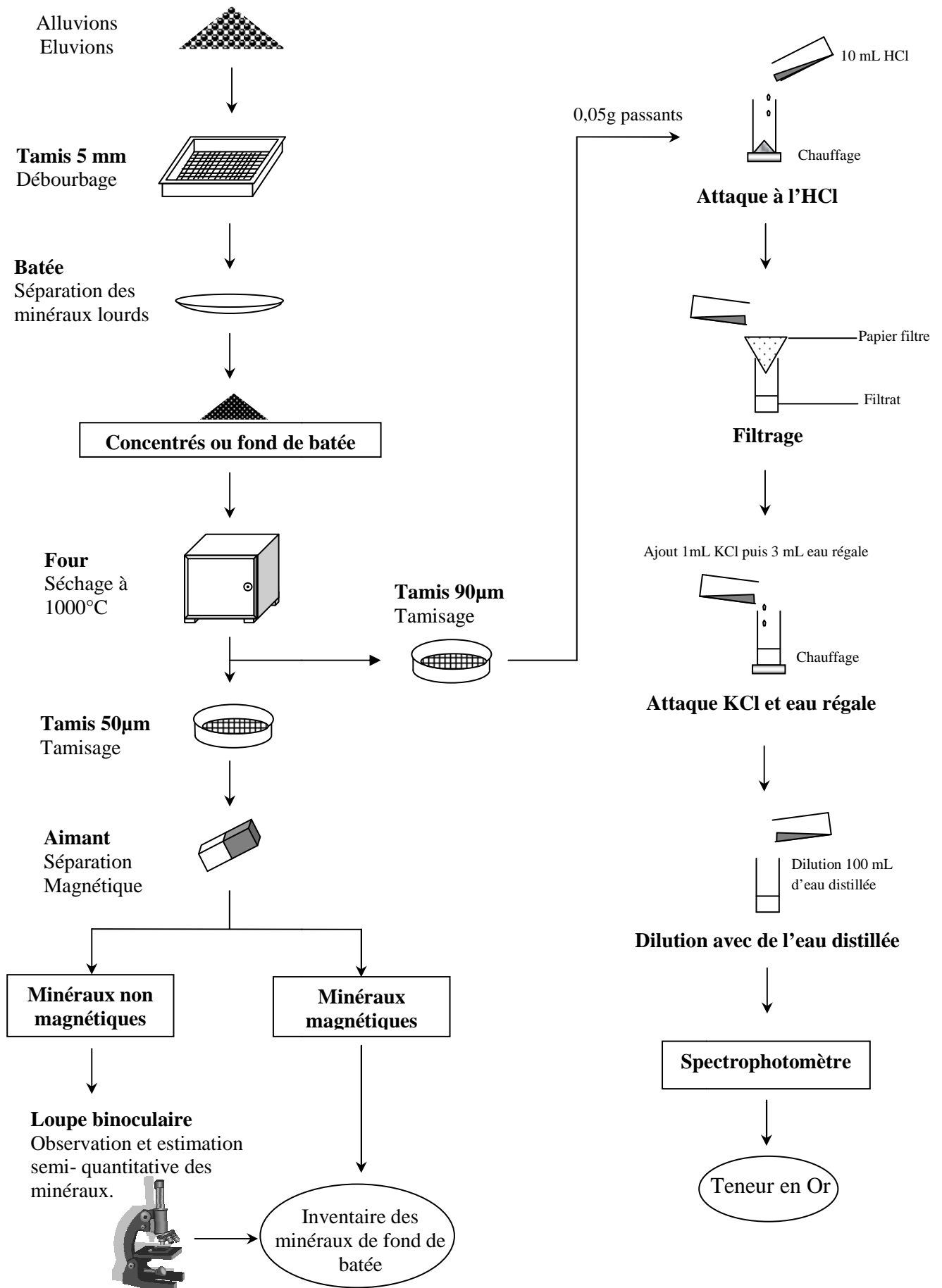


Fig. 13 : Flow sheet de l'analyse des minéraux de fond de batée

CONCLUSION PARTIELLE

Notre périmètre minier se trouve dans le Fokontany d'Ampamehena. Lors des descentes sur terrain, nous avons effectué deux types de prospection : la prospection au marteau et la prospection alluvionnaire. L'analyse des minéraux de fond de batée, des lames minces donnent un aperçu global de la pétrographie et de la minéralogie de la zone d'étude. La télédétection contribue à la localisation des failles et à la recherche des sites des pegmatites.

TROISIEME PARTIE
PRESENTATION DES RESULTATS ET
INTERPRETATIONS

Chapitre VI : PRESENTATION DES RESULTATS

Suites aux travaux effectuées aux environs d'Ampamehena, dans la Commune de Sahanivotry – Manandona, 25 échantillons de roches et 16 minéraux de fond de batée ont pu être récoltés. Parmi ces échantillons, 6 d'entre eux, les plus représentatifs ont pu être observées au microscope à partir de lames minces. Les études de ces échantillons et de minéraux de fond de batée récoltés ainsi que les observations des tranchées et des anciens travaux d'exploitation ont permis de donner les résultats exposés dans ce chapitre.

La carte suivante montre la localisation des points de batée, des échantillons (les affleurements de roches) visités sur terrain.

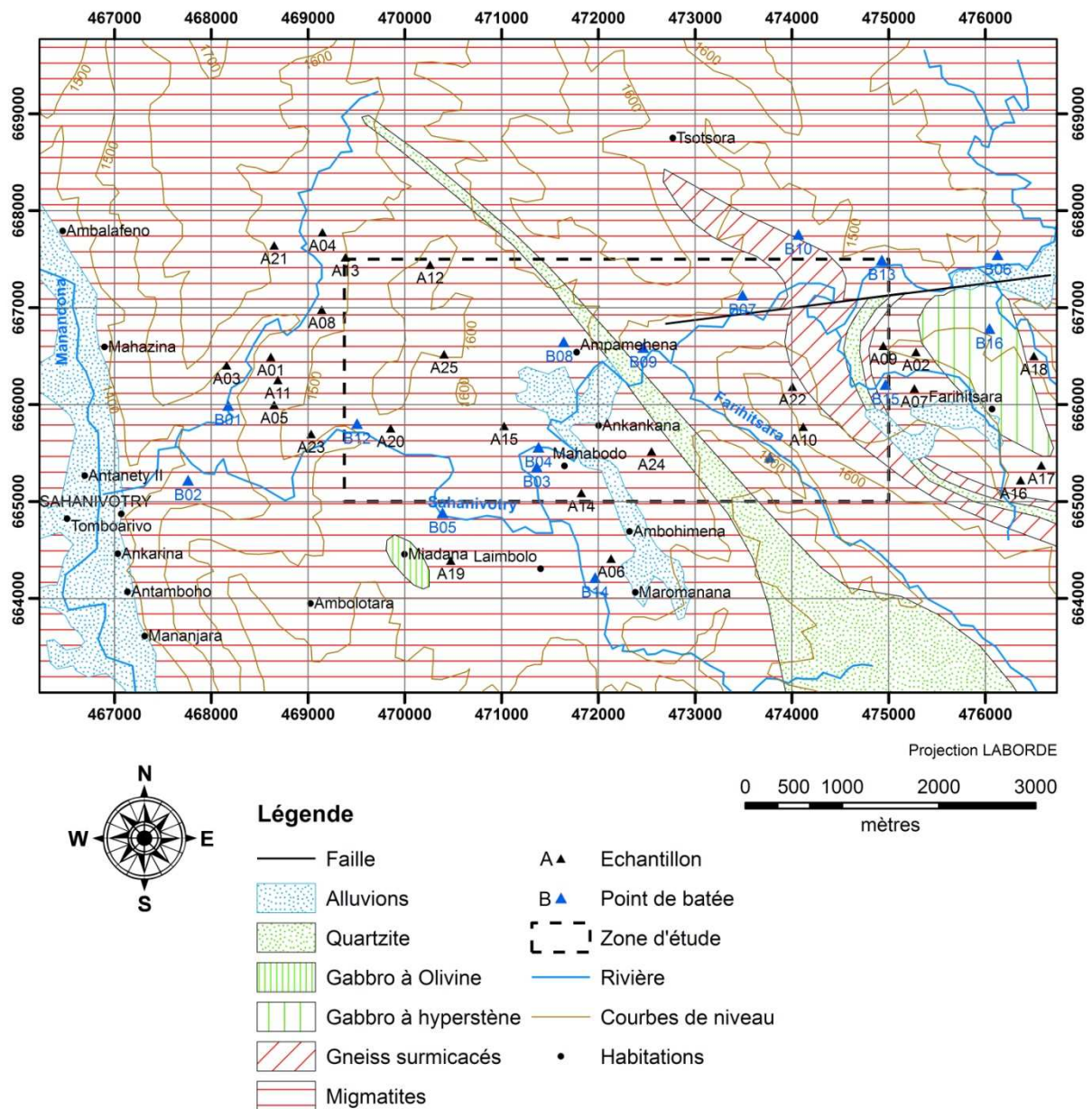


Fig. 14 : Localisation des échantillons et des minéraux de fond de batée

VI-1-Tranchées et anciens travaux d'exploitation

Certaines tranchées aperçues lors des descentes sur terrain étaient presque entièrement comblées d'éboulis ou victimes d'inondation. Par contre, dans les autres, nous avons constaté que :

- elles sont constituées essentiellement de quartz (incolore, laiteux, fumé, rose), de tourmaline noire, de micas et de feldspath ; la muscovite peut recouper en filonnets la pegmatite qui sert de guide pour les ouvriers en cours d'exploitation pour atteindre le quartz rose ;
- leur creusement s'effectuait suivant les affleurements de quartz et était abandonné lorsque la profondeur a atteint le quartz fumé ou lorsque le gisement était jugé trop profond pour être exploité manuellement. Leur profondeur est généralement comprise entre 2 à 6 m ;
- les feldspaths constituant la partie affleurante des pegmatites sont plus ou moins kaolinisés.

De la surface jusqu'à 5 à 6 m de profondeur, suivant le schéma et le tableau ci-dessous, les minéralisations éventuelles ci-après peuvent être aperçues.

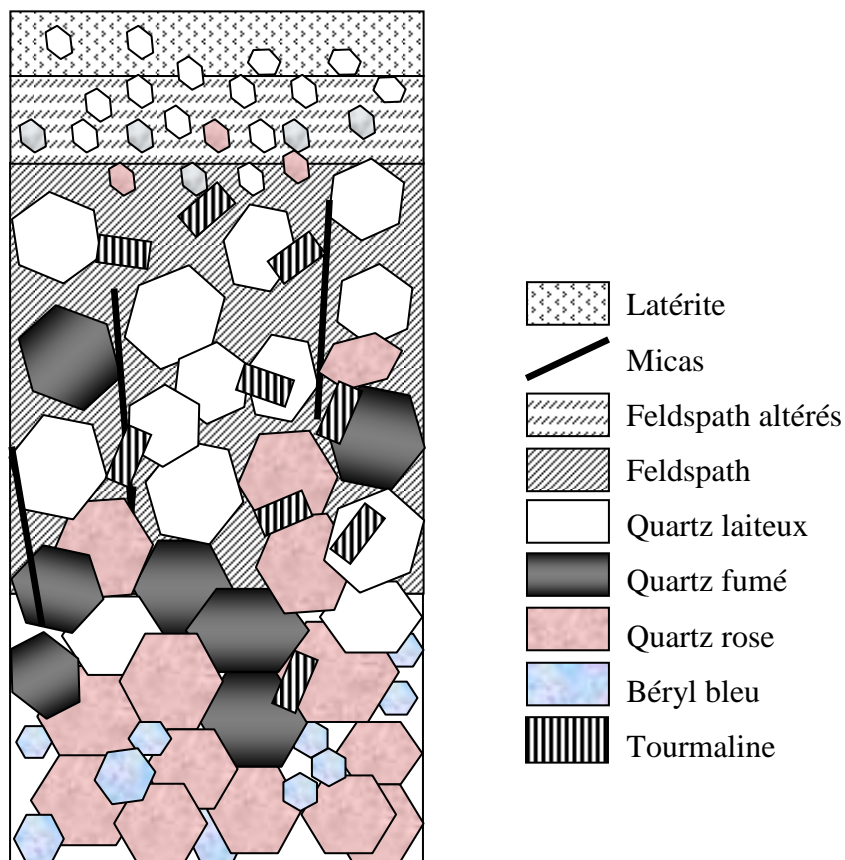


Fig. 15 : Coupe schématique d'un puits

Tableau 6 : Constituants globaux de puits³ suivant une coupe verticale

| Coupe verticale | | Principaux minéraux constitutifs | Puissance ⁴ [m] |
|-----------------------|---------------|---|-------------------------------|
| Couverture | Latérite | | 1 à 3 |
| Zones de la pegmatite | III (externe) | Feldspath, Micas, Quartz | 1 |
| | II | Quartz laiteux, Micas parfois du béryl, tourmaline | 2 |
| | I (cœur) | Quartz fumé, quartz rose parfois du béryl, tourmaline | 2 à 3 |

VI-2-Images satellites

Parmi les compositions colorées proposées, nous avons adopté la composition colorée 742 puisqu'elle révèle au mieux les structures tectoniques. La figure suivante montre les failles vues à partir des images satellites.

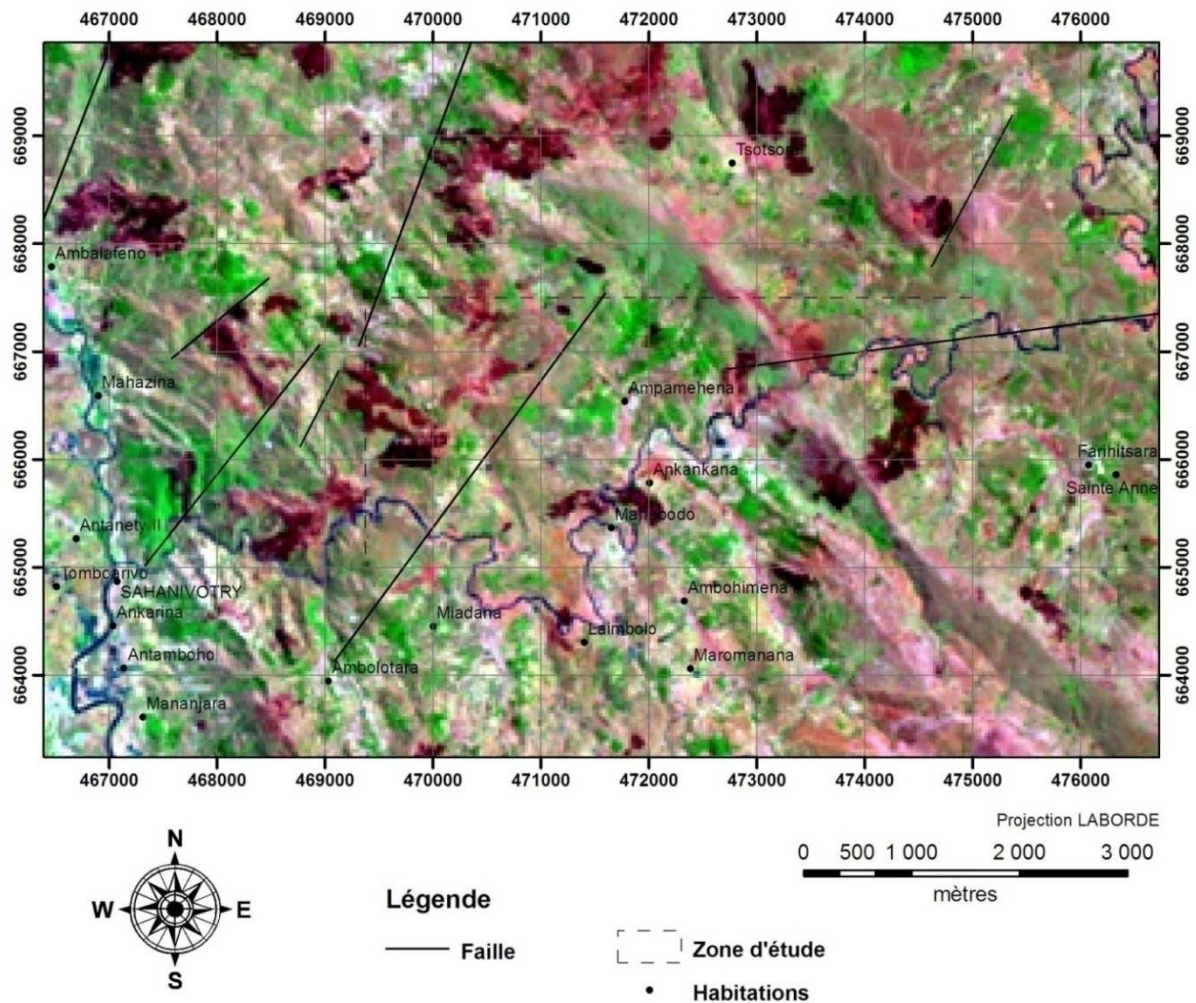


Fig. 16 : Localisation des failles vue par image satellite

³ -La notion de puits dans ce contexte est plutôt fictive

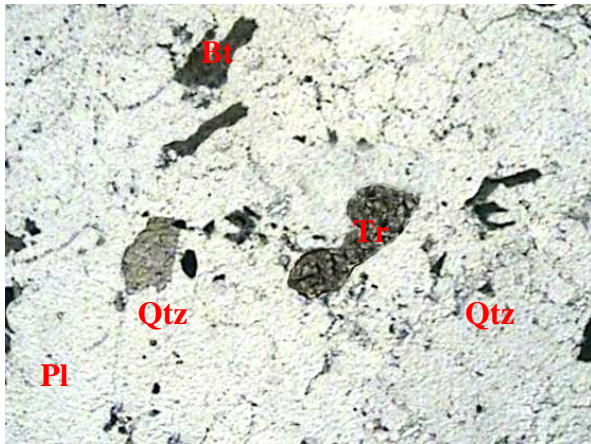
⁴ -Même remarque

VI-3-Résultats de l'échantillonnage

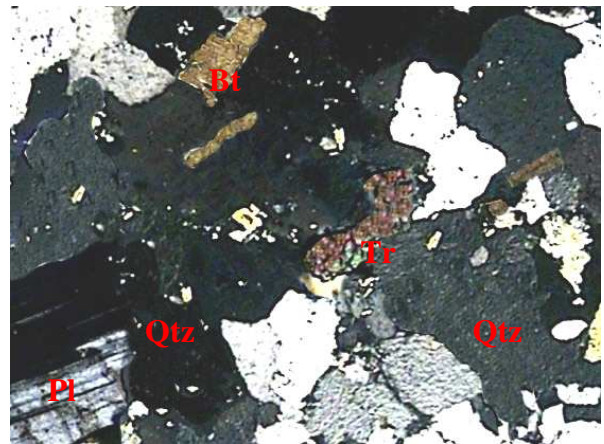
VI-3-1-Disposition des cristaux sur les lames minces

Parmi les échantillons collectés sur terrain, 6 d'entre eux ont été observés en lame mince, ce sont les suivants : A03 ; A08 ; A12 ; A19 ; A20 ; A22. (Cf. fig. 14)

VI-3-1-1-Échantillon A03



A03 LPNA, Grossissement 5X



A03 LPA, Grossissement 5X

Fig. 17 : Pegmatite

Composition minéralogique

Quartz (Qtz) ; Biotite (Bt) ; Tourmaline (Tr) ; Plagioclase (Pl).

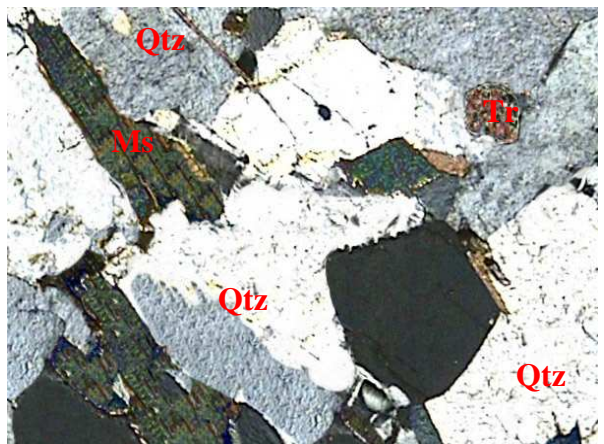
Observations et nomenclature

La tourmaline est accessoire dans cette roche, elle peut être observée à la loupe. Vu la structure pegmatitique de la roche, nous pouvons en déduire que c'est de la pegmatite.

VI-3-1-2-Échantillon A08



A08 LPNA, Grossissement 5X



A08 LPA, Grossissement 5X

Fig. 18 : Quartzite

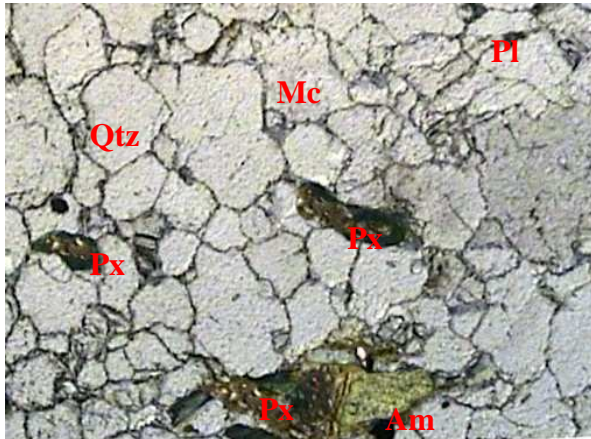
Composition minéralogique

Quartz ; Muscovite (Ms) ; Tourmaline

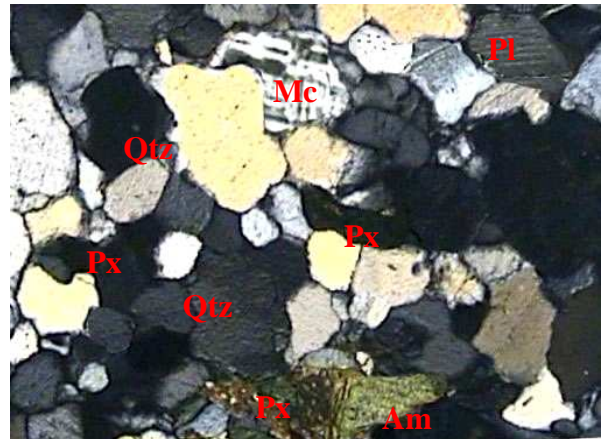
Observation et nomenclature

La roche est leucocrate et est constituée essentiellement de quartz, la muscovite et la tourmaline ne représentent qu'un faible pourcentage, elle est donc du quartzite.

VI-3-1-3-Échantillon A12



A12 LPNA, Grossissement 5X



A12 LPA, Grossissement 5X

Fig. 19 : Migmatite

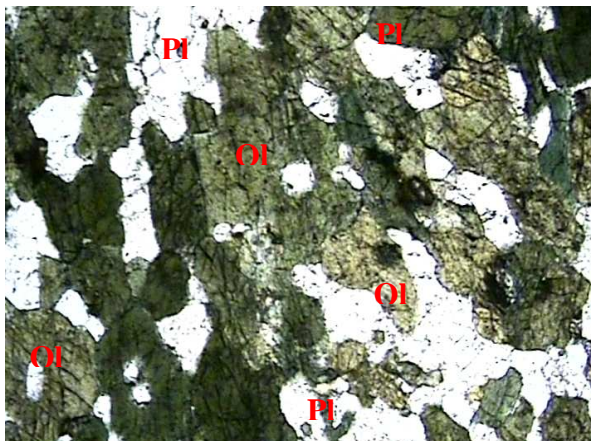
Composition minéralogique

Quartz ; Plagioclase ; Pyroxène (Px) ; Amphibole (Am) ; Microcline (Mc)

Observations et nomenclature

La roche est composée essentiellement de quartz et de feldspath avec de l'amphibole et du microcline comme minéraux accessoires. A la loupe, les minéraux sont disposés en lits (foliation) ; d'où la roche est une migmatite.

VI-3-1-4-Échantillon A19



A19 LPNA, Grossissement 5X



A19 LPA, Grossissement 5X

Fig. 20 : Gabbro à olivine

Composition minéralogique

Plagioclase ; Olivine (Ol)

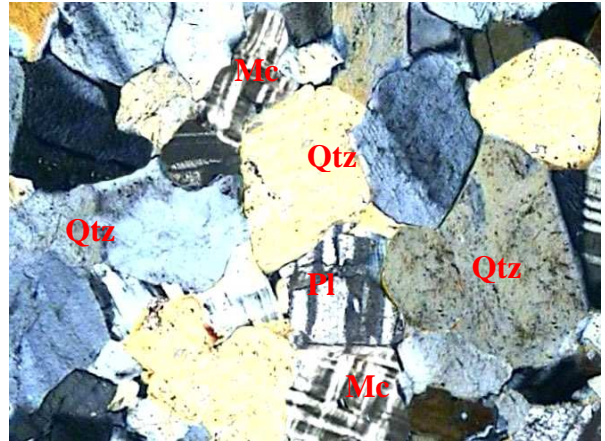
Observations et nomenclature

Macroscopiquement, la roche est mélanocrate. Composée essentiellement de plagioclase avec prédominance d'olivine, la roche est du gabbro à olivine.

VI-3-1-5-Échantillon A20



A20 LPNA, Grossissement 5X



A20 LPA, Grossissement 5X

Fig. 21 : Granite

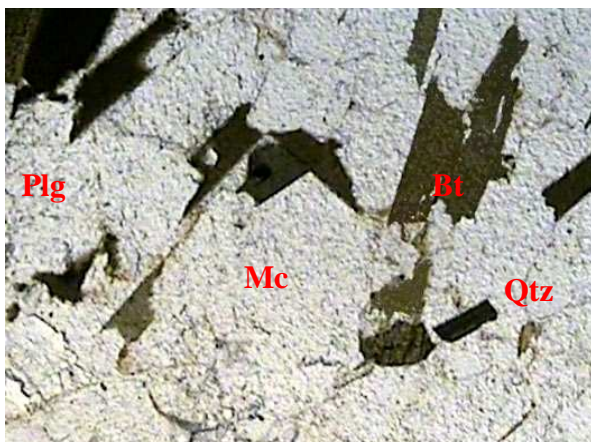
Composition minéralogique

Quartz ; Plagioclase ; Microcline

Observations et nomenclature

La roche est composée essentiellement de quartz et de feldspath, de structure grenue et leucocrate : elle est du granite.

VI-3-1-6-Échantillon A22



A22 LPNA, Grossissement 5X



A22 LPA, Grossissement 5X

Fig. 22 : Gneiss à biotite

Composition minéralogique

Quartz ; Microcline ; Plagioclase ; Biotite

Observations et nomenclature

La biotite est accolée dans les cristaux (quartz, microcline, plagioclase) et est orientée. À l'œil nu, la roche présente des lits blancs (quartz, feldspath) et noirs (biotite) alternants. Ces observations permettent alors de déduire que la roche est du gneiss à biotite.

VI-3-2-Répartition des échantillons

Les échantillons récoltés sont localisés principalement aux environs des villages suivants : Ampamehena, Mahazina, Farihitsara, Mahabodo, Miadana, Ambohimena. D'après les observations pétrographiques et minéralogiques faites lors des descentes sur terrain ainsi que des expérimentations et des analyses au laboratoire, le tableau suivant est établi pour illustrer les résultats obtenus.

Tableau 7 : Répartition des échantillons

| Réf | Echantillons | Localisation |
|-----|-------------------|--------------|
| A01 | Micaschistes | Mahazina |
| A02 | Gneiss à biotite | Farihitsara |
| A03 | Pegmatite à béryl | Mahazina |
| A04 | Pegmatite à béryl | Mahazina |
| A05 | Pegmatite à béryl | Mahazina |
| A06 | Pegmatite | Ambohimena |
| A07 | Pegmatite à béryl | Farihitsara |
| A08 | Quartzite | Mahazina |
| A09 | Pegmatite | Farihitsara |
| A10 | Pegmatite à béryl | Farihitsara |
| A11 | Gneiss | Mahazina |
| A12 | Migmatites | Mahazina |
| A13 | Micaschistes | Ampamehena |
| A14 | Micaschistes | Ampamehena |
| A15 | Migmatites | Farihitsara |
| A16 | Pegmatite | Farihitsara |
| A17 | Gneiss | Farihitsara |
| A18 | Pegmatite | Farihitsara |
| A19 | Gabbro à olivine | Miadana |
| A20 | Granite | Ampamehena |
| A21 | Granite | Mahazina |
| A22 | Gneiss à biotite | Ampamehena |
| A23 | Quartzite | Mahazina |
| A24 | Migmatites | Ampamehena |
| A25 | Quartzite | Ampamehena |

VI-4-Résultats de l'analyse des minéraux de fond de batée

L'observation à la loupe binoculaire des minéraux de fond de batée a donné le tableau suivant, il donne une estimation semi quantitative visuelle de ses minéraux constitutifs ainsi que les teneurs en or donnés par le spectromètre.

En annexe 4 se trouvent les détails de la teneur en or, données du spectromètre.

Tableau 8 : Inventaire des minéraux lourds des minéraux de fond de batée

| Réf | Amphibole | Grenat | Magnétite | Monazite | Pyroxène | Rutile | Tourmaline | Zircon | Or | Teneur en or [g/m ³] |
|-----|-----------|--------|-----------|----------|----------|--------|------------|--------|----|----------------------------------|
| B01 | + | + | +++ | = | + | + | ++ | + | = | 0,031 |
| B02 | ++ | = | +++ | = | ++ | + | + | = | = | 0,045 |
| B03 | ++ | = | +++ | = | + | + | + | + | + | 0,352 |
| B04 | ++ | + | +++ | = | + | + | + | = | + | 0,310 |
| B05 | ++ | + | +++ | = | ++ | + | ++ | + | = | 0,135 |
| B06 | ++ | = | +++ | ++ | ++ | = | + | ++ | + | 0,481 |
| B07 | ++ | + | +++ | + | + | + | + | + | + | 0,351 |
| B08 | + | = | +++ | = | + | = | + | = | = | 0,092 |
| B09 | ++ | + | +++ | + | + | + | + | + | + | 0,285 |
| B10 | + | + | +++ | = | ++ | = | + | + | = | 0,143 |
| B11 | ++ | = | +++ | = | + | = | + | + | = | 0,152 |
| B12 | ++ | + | +++ | = | + | + | + | + | = | 0,091 |
| B13 | ++ | + | +++ | ++ | + | + | + | ++ | + | 0,314 |
| B14 | ++ | + | +++ | = | ++ | = | + | + | = | 0,098 |
| B15 | ++ | ++ | +++ | = | + | = | + | + | = | 0,251 |
| B16 | ++ | = | +++ | = | ++ | = | + | = | + | 0,479 |

Les notations « +++ », « ++ », « + » et « = » sont explicitées au paragraphe V-3-2-2 ci-dessus.

VI-5-Carte de localisation des pegmatites

Des observations pétrographiques sur le terrain ainsi que des minéralisations aperçues au cours des prospections et des études effectuées nous a permis d'établir la répartition géographique des pegmatites qui est illustrée par la figure suivante. Elle est obtenue par superposition de la carte géologique avec celui des failles.

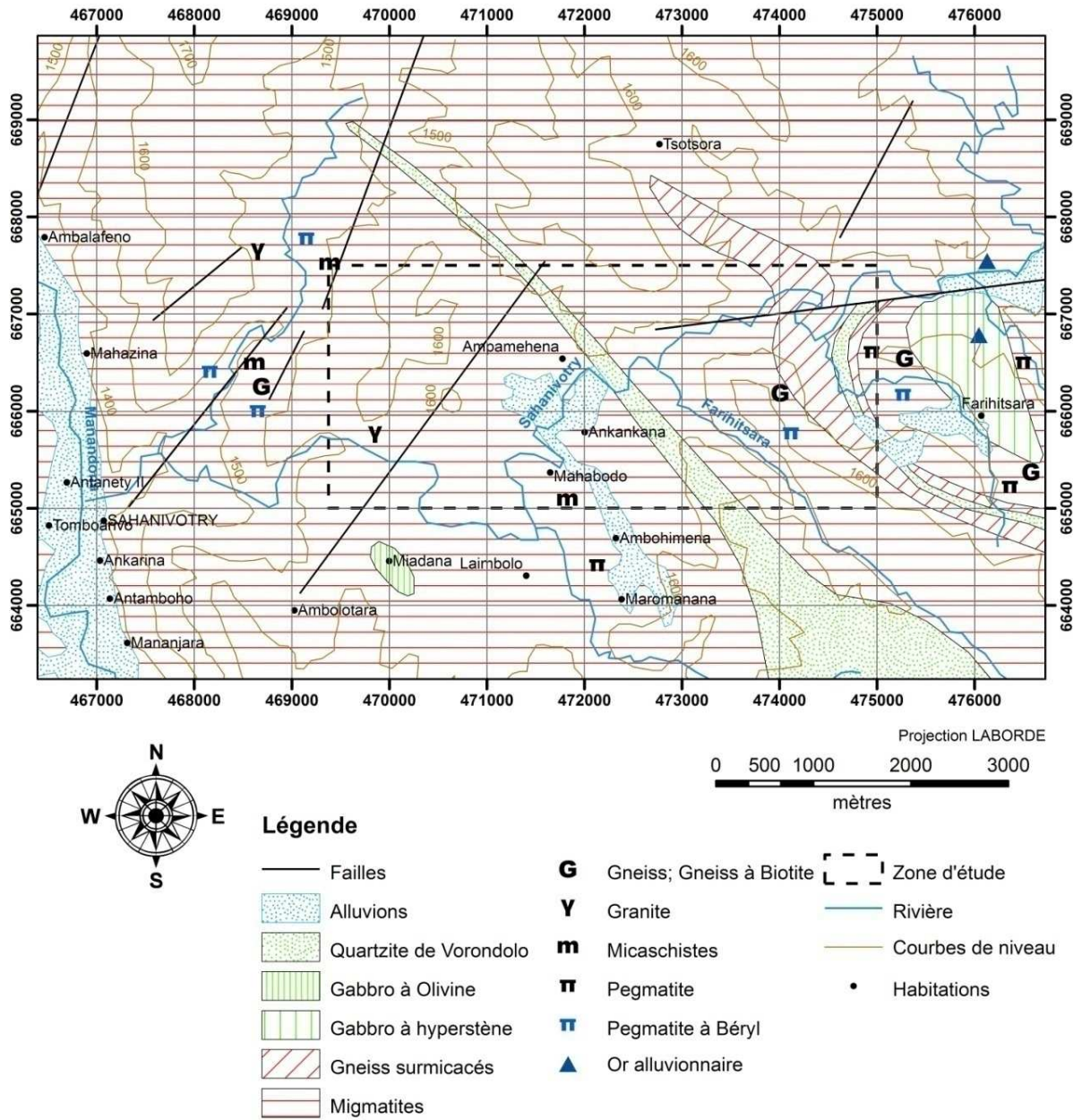


Fig. 23 : Carte géologique d'Ampamehena avec ses minéralisations

Chapitre VII : INTERPRETATIONS

Les lames minces montrent une concentration assez importante de quartz et de feldspaths potassiques (microcline, plagioclase). En effet, ces minéraux sont les caractéristiques des pegmatites qui appartiennent au groupe potassique dans la classification de Lacroix et sont de type béryl LCT – sous type Béryl Columbite dans la classification de Cerny.

Dans ce chapitre, à partir des résultats obtenus, nous allons déterminer les constituants des pegmatites d'Ampamehena et établir des relations entre les pegmatites et les roches métamorphiques.

VII-1-Mise en place des pegmatites d'Ampamehena

D'importantes granitisations et migmatisations ont eu lieu dans cette région. Ce qui a transformé les roches sédimentaires en roches métamorphiques et ces dernières en roches magmatiques. L'intensité de métamorphisme se situe entre les micaschistes et les gneiss c'est-à-dire dans les faciès amphibolite et granulite par l'apparition de la biotite rare en grenat. D'après les observations des lames minces, les roches métamorphiques correspondent à des micaschistes, gneiss, migmatites : c'est une succession de terrains de plus en plus métamorphisés de même qu'une schistosité de plus en plus poussée.

Les gîtes de pegmatites partagent quelques caractéristiques communes permettant d'expliquer leur mise en place, à savoir :

- le métamorphisme général ;
- la cristallisation des magmas siliceux ;
- les fractures de l'écorce terrestre.

VII-1-1-Métamorphisme général

Une roche ignée (ou métamorphique) est soumise à l'altération superficielle, se désagrège pour former les sédiments. Après avoir été transportés et accumulés dans un bassin, ils donnent naissance à des roches sédimentaires. Ces roches sédimentaires se transforment en roches métamorphiques sous l'influence de l'augmentation de température et de pression en profondeur. Les pressions sont de quelques milliers d'atmosphères et les températures comprises entre 400 et 700°C et peuvent atteindre 800°C. Les fortes pressions sur les roches environnantes favorisent la formation de fractures.

A une température proche de 700°C, les roches argileuses et pélitiques subissent alors une fusion partielle et donnent un liquide de composition granitique. Ce liquide, en migrant lentement vers la surface à travers les zones de moindre résistance (fractures, failles...), se cristallise et donne des roches magmatiques. Le granite d'anatexie constitue la limite entre le métamorphisme et le magmatisme.

Ces phénomènes sont donnés par la figure ci-dessous :

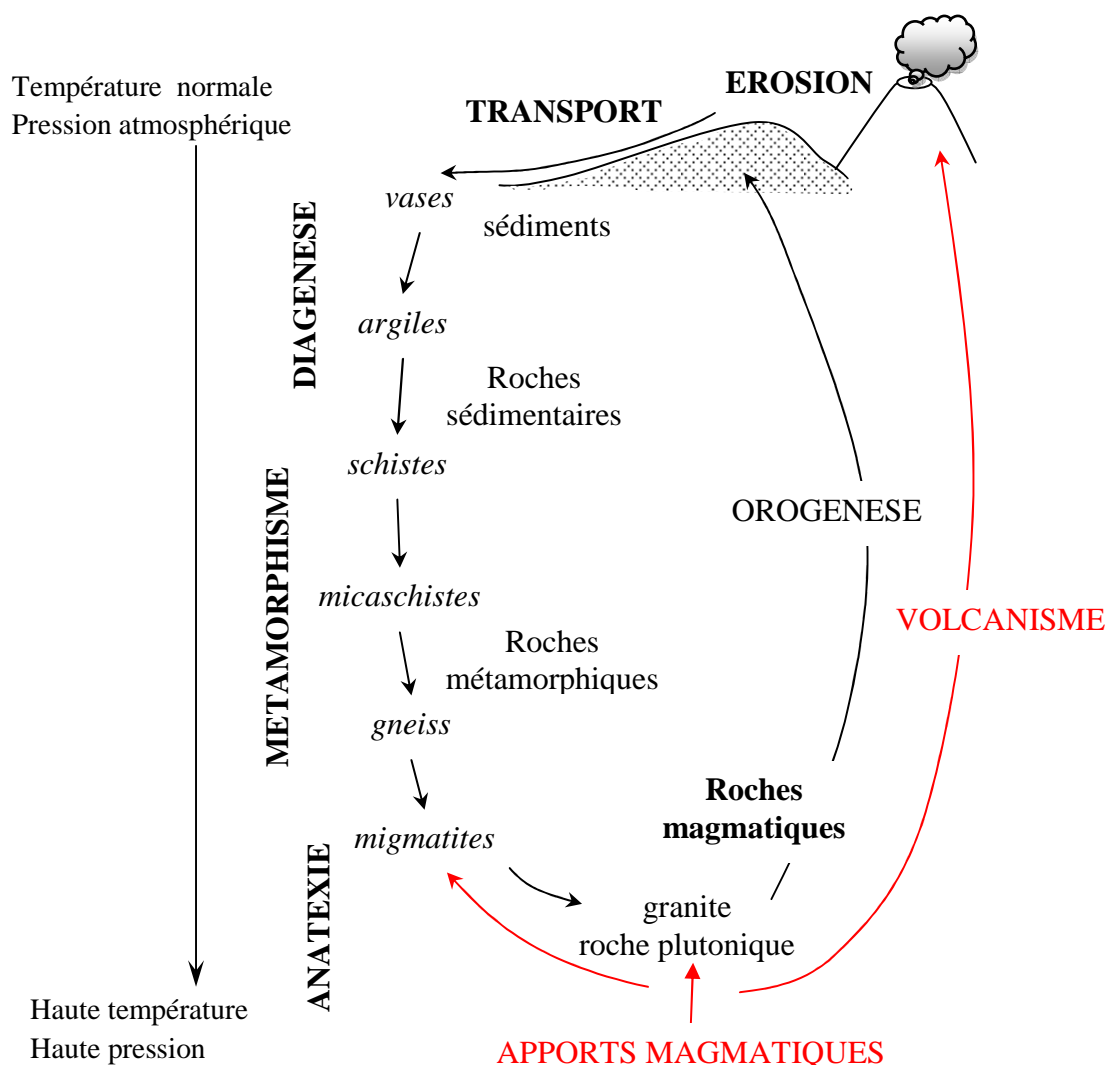


Figure 1 : Cycle des roches

Rappelons que les pegmatites sont des roches magmatiques. Elles se forment à partir de la solidification du magma (lié à la cristallisation du magma), qui est très profondément enfoui dans la lithosphère. Elles n'affleurent donc que sous l'action de l'érosion et de la tectonique.

VII-1-2-Cristallisation des magmas

La cristallisation des silicates dans un magma se fait de façon bien définie. Selon la suite réactionnelle de Bowen, la figure suivante montre l'origine des minéraux suivant la cristallisation du magma.

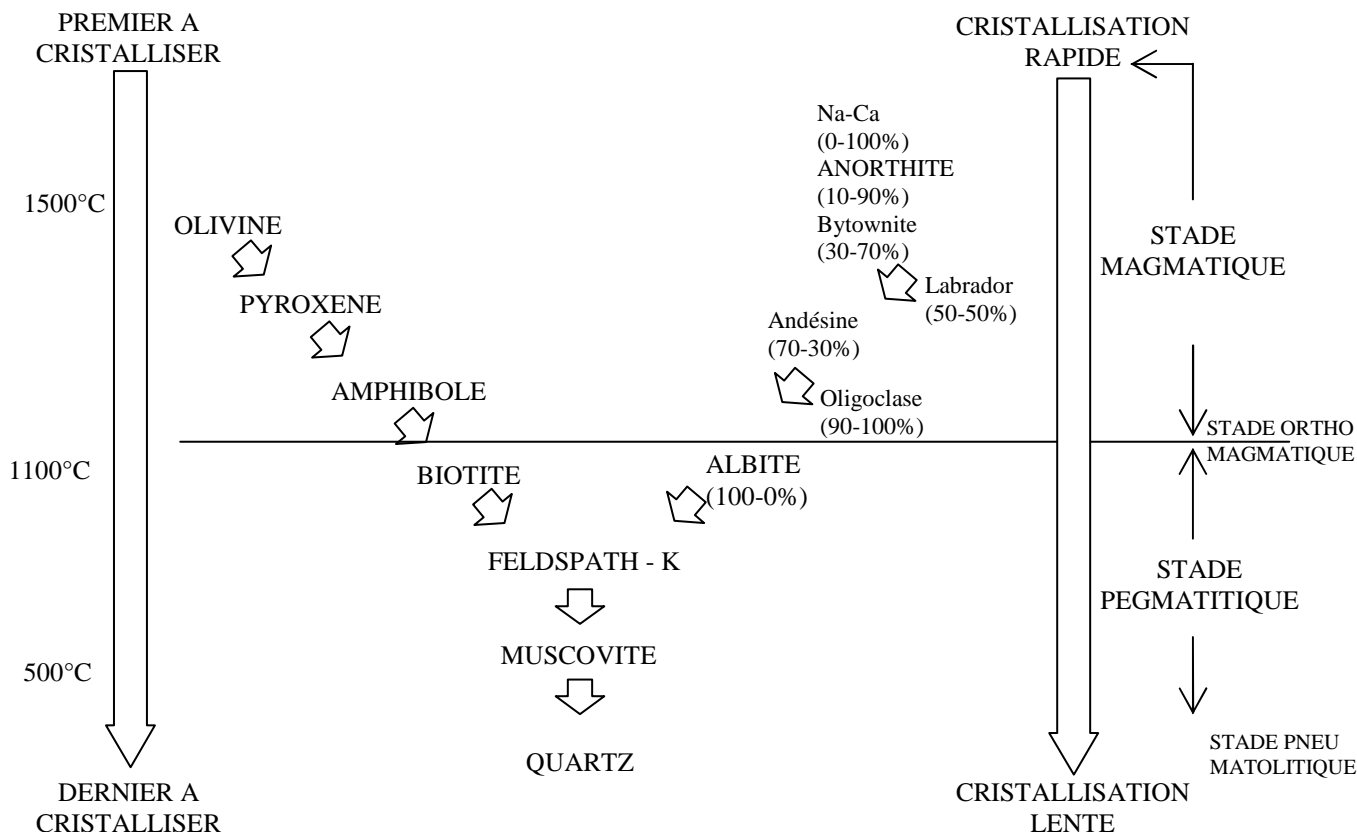


Figure 2 : Suite réactionnelle de Bowen

La cristallisation des silicates est compliquée par l'intervention d'un autre phénomène : celui de l'instabilité des premiers minéraux formés, dans le magma résiduel de température plus basse ; les minéraux de haute température sont redissous, et leurs constituants entrent dans la source de minéraux nouveaux stables dans les nouvelles conditions de température. A côté de la suite réactionnelle des minéraux ferromagnésiens, il existe une autre suite analogue, celle des minéraux calcosodiques : il se forme d'abord des plagioclases basiques puis des plagioclases moyens, puis des plagioclases acides.

En considérant le rôle joué par les constituants volatils au cours du refroidissement des magmas, il existe les stades suivants :

- le stade magmatique ;
- le stade orthomagmatique ;
- le stade pegmatitique ;
- le stade pneumatolitique.

Les gisements pneumatolytiques sont considérés comme idéalement formés par des agents gazeux en opposition avec le stade pegmatitique où il s'agit de la cristallisation d'un magma résiduel avec prédominance des silicates.

VII-1-2-1-Stade magmatique

Au cours de ce stade, lors de la baisse de la température, il y a un dépôt de produits réfractaires (à point de fusion élevé) et formation de roches ignées. Les éléments volatils restent essentiellement en solution.

L'olivine, stable à haute température en présence d'un excès de silice est détruite à une certaine température plus basse et est remplacée par du pyroxène. A une température encore plus basse, le pyroxène peut être remplacé par de l'amphibole. L'olivine, le pyroxène et l'amphibole après leur formation vont se sédimenter à la base de la chambre magmatique pour former des roches intrusives comme les gabbros et les gabbros à olivine. Ce sont des roches intrusives : roches aperçues en lames minces et sur le terrain.

Les minéraux qui naissent à ce stade sont donnés par la suite réactionnelle de Bowen.

VII-1-2-2-Stade orthomagmatique

C'est le stade intermédiaire entre le stade magmatique et le stade pegmatitique.

VII-1-2-3-Stade pegmatitique

C'est la cristallisation du magma résiduel avec prédominances des silicates. La proportion en élément volatil étant chaque fois plus élevée, les autres substances à cristalliser sont le quartz, le feldspath, le mica et certains minéraux qui n'ont pas pu se former pendant le stade magmatique.

VII-1-2-4-Stade pneumatolytique

Le système est devenu riches en phase volatile. Les derniers magmas se présentent alors en vapeurs et sont riches en éléments rares et métaux rares. Les phases pegmatitique-pneumatolitique ont alors la possibilité de migrer. Ces fluides sont des solutions saturées qui, par diminution de température et de pression, précipitent des minéraux. Elles ont une grande mobilité et migrent à l'extérieur des plutons dans les roches métamorphiques : les gneiss, les micaschistes c'est-à-dire dans les roches à schistosité accentuée (gneiss, micaschistes). Le béryl est fréquent dans les pegmatites qui traversent ces roches.

Le diagramme suivant a pu être établi suite aux observations des tranchées, des anciens travaux d'exploitation, des minéraux de fond de batée et des lames minces ainsi que des enquêtes effectuées auprès des ouvriers locaux. Il montre la formation des différents minéraux au cours du stade pegmatitique-pneumatolitique.

Tableau 9 : Minéralisations des 3 zones des pegmatites

| ZONES | | Béryl | Biotite | Grenat | Magnétite | Microcline | Monazite | Muscovite | Plagioclase | Quartz | Tourmaline | Zircon |
|---------------|-----|-------|---------|--------|-----------|------------|----------|-----------|-------------|--------|------------|--------|
| Bordure | III | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Intermédiaire | II | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Cœur | I | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Les observations sur terrain ont montré 2 formes de pegmatites : les amas à 3 zones (donnés par la figure ci-dessus) et les lentilles. Ceux qui sont en amas à 3 zones sont caractérisés principalement par :

- **Zone I** : c'est le cœur de la pegmatite, elle est constituée de quartz (rose, laiteux) qui forme de large masse et peut contenir du béryl bleu.
- **Zone II** : elle est peu épaisse et est constitué essentiellement de quartz (laiteux, fumé), de feldspath (microcline, plagioclase), de la tourmaline et des micas (biotite et muscovite). Comme minéraux accessoires, il peut y avoir du grenat, ainsi que du béryl bleu au contact de la zone I et la zone II.
- **Zone III** : C'est la zone la plus externe de la pegmatite. L'érosion a fait que la majeure partie des minéraux constituant la partie affleurante des pegmatites soit présents dans les minéraux de fond de batées. C'est la zone où se présente la structure graphique. Elle est constituée par de la magnétite, du quartz (généralement laiteux, parfois rose ou fumé), du feldspath, du mica (biotite et muscovite) et de la tourmaline.

Ceux qui sont en lentilles sont constituées de quartz, de la tourmaline noire, de la magnétite et du grenat.

VII-1-3-Fractures de l'écorce terrestre et roches de remplissage

En superposant les cartes des failles et de localisation des pegmatites, nous pouvons en déduire que les pegmatites sont encaissées entre les roches métamorphiques telle que les micaschistes et les gneiss. De plus, elles se trouvent principalement à proximité des failles (zones de moindre résistance de l'écorce terrestre). Nous pouvons en déduire alors que leur mise en place est contrôlée par des zones de fractures et par conséquent elles peuvent alors être considérées comme du remplissage des fractures.

Les pegmatites de cette région sont associées aux roches métamorphiques. Leur formation est en liaison avec des phénomènes de migmatisation et de granitisation (feldspathisation) dans les micaschistes ; ils passent insensiblement et irrégulièrement à des gneiss rubanés ou à des migmatites granitoïdes.

VII-1-4-Description des pegmatites d'Ampamehena

Il y a essentiellement des pegmatites à beryl à l'Est, à l'Ouest et au Sud de la zone d'étude. En profondeur, les pegmatites citées ci-dessous sont liées dans l'espace. Néanmoins, pour illustrer les principales minéralisations aperçues, elles peuvent être décrites par le tableau suivant :

Tableau 10 : Principaux pegmatites de la région et leurs minéralisations

| Gisement de pegmatites | | Position par rapport à l'encaissante | Principaux minéraux fréquemment rencontrés |
|------------------------|----------------|--|--|
| Pegmatites | amas à 3 zones | Dans les migmatites granitoïdes | quartz (rose, laiteux et fumé), tourmaline noire, magnétite, grenat. |
| Pegmatites à beryl | amas à 3 zones | | quartz (rose, laiteux, fumé), muscovite, beryl bleu. |
| Pegmatites à beryl | amas à 3 zones | À la limite des migmatites granitoïdes | quartz (rose, laiteux et fumé), tourmaline noire, magnétite, grenat, beryl bleu. |
| Pegmatites | lentille | | quartz (laiteux, fumé), muscovite, tourmaline noire, magnétite. |

VII-2-Or alluvionnaire

VII-2-1-Représentation graphique des teneurs en or

Les teneurs en or des minéraux de fond de batée sont reportées sur l'histogramme suivant :

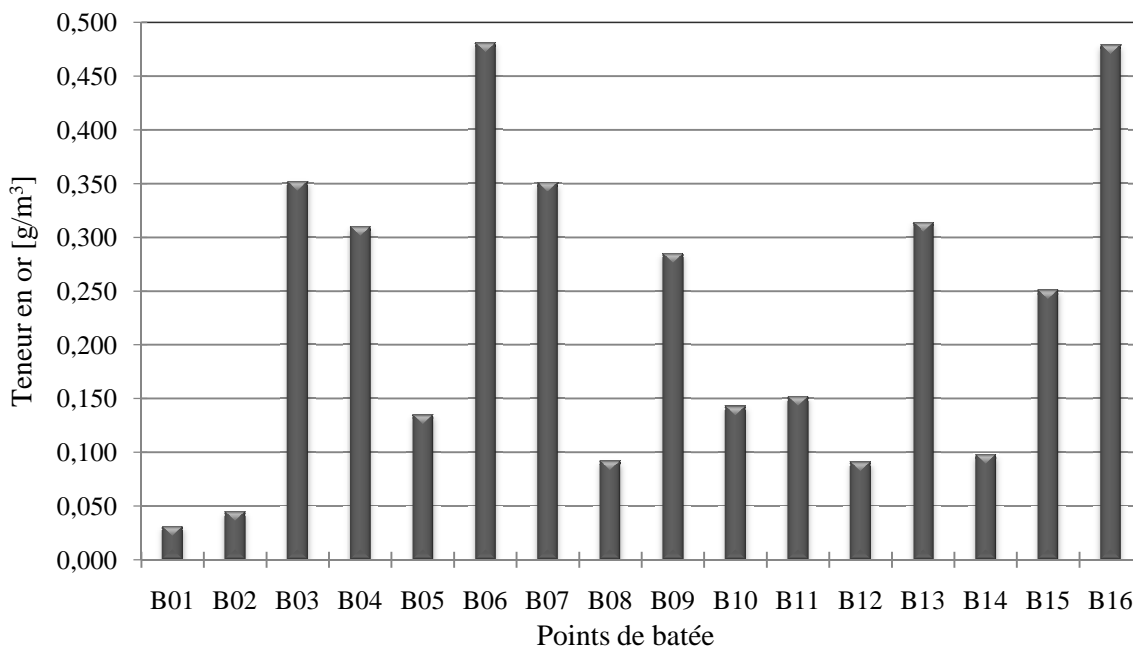


Fig. 24 : Histogramme montrant les teneurs en or des minéraux de fond de batée

D'après cette figure, les teneurs en or les plus remarquables sont ceux des batées B06 et B16. Elles sont localisées à 1 km au Nord du village de Farihitsara.

VII-2-2-Gisements aurifères

Les gabbros quartziques de Farihitsara sur la rive gauche de la Sahanimotry sont presque entièrement transformés en amphibolites qui sont aurifères [11]. Les minéralisations aurifères se trouvent dans les zones micaschisteuses peu touchées par la migmatisation. Du point de vue régional, l'or est réparti au front des migmatites.

CONCLUSION PARTIELLE

Les études des échantillons et des minéraux de fond de batée sont surtout basées sur les observations macroscopiques et microscopiques. Les pegmatites d'Ampamehena sont liées aux roches métamorphiques, elles proviennent des phénomènes de feldspathisation (migmatisation et granitisation) dans les micaschistes. De plus, la présence des failles a favorisé leur localisation. Parmi les minéralisations, nous pouvons citer entre autres le béryl, le quartz, la tourmaline et le grenat.

Les pegmatites d'Ampamehena appartiennent au groupe potassique dans la classification de Lacroix et sont de type béryl LCT - sous type Béryl Columbite dans la classification de Cerny. Elles appartiennent au champ pegmatitique de Vorondolo.

L'or exploité par les paysans est alluvionnaire et provient de la rivière de Sahanivotry. En remontant cette rivière, il est issu des zones micaschisteuses peu touchées par la migmatisation.

CONCLUSION

Les activités menées tout au long de cette étude sont :

- les travaux de prospection;
- les lames minces et les minéraux de fond de batée pour les études minéralogiques des pegmatites et des roches environnantes ;
- le traitement des images satellites pour détecter les failles et faciliter la localisation des pegmatites.

Les résultats de ces activités à travers les travaux d'analyses effectuées ont permis d'avoir entres autres des études minéralogiques complémentaires d'Ampamehena et une meilleure localisation des pegmatites.

Les pegmatites d'Ampamehena sont liées aux champs pegmatitiques de Vorondolo. Ce sont des pegmatites à béryl, qui se rapportent au grand cycle de pegmatisation de 485 MA, elles sont issues des phénomènes de feldspathisation (migmatisation et granitisation). Par conséquent, elles sont surtout localisées de préférence dans les roches de schistosité accentuée (gneiss, micaschistes) et à proximité des failles.

D'après les études et les observations pétrographiques effectuées, ces pegmatites disposent d'importantes minéralisations entre autres la tourmaline noire, le béryl bleu et le quartz rose. Elles se présentent en amas à trois zones ; il est en effet important de délimiter les zones II et III pour l'exploitation du béryl. Quelques pegmatites renfermant du béryl sont situées principalement à Mahazina et à Farihitsara.

Plusieurs gisements de pegmatites ont été déjà exploités dans cette région. L'exploitation intense et désorganisée a aboutit à l'extraction de la partie uniquement superficielle des gisements dont les substances exploitées sont dans la majeure partie le quartz rose et dans une moindre mesure le béryl. La région en possède encore plusieurs tonnes, mais nécessite lors de l'exploitation d'importants travaux de déblayage et de décapage.

La présence de quartz fumé indique la présence d'éléments radioactifs dans cette région. Toutefois pour avoir des informations plus détaillées dans ce sens, une prospection géophysique (la radiométrie) pour la recherche directe des minerais radioactifs s'avère, à notre avis, appropriée.

Par ailleurs, la présence de l'or dans les minéraux de fond de batée révèle en amont de la rivière, aux environs de Farihitsara deux points remarquables où la teneur en or est relativement élevée, raison pour laquelle on constate la présence d'anciennes exploitations dans ces lieux. L'or est issu des zones micaschisteuses peu touchées par la migmatisation. Actuellement, il n'existe plus dans la région que quelques paysans qui cherchent encore de l'or au moyen de la batée. Ils se focalisent principalement à Mahabodo (village voisine d'Ampamehena), à Farihitsara et d'autres longent la rivière de Sahanivotry jusqu'au village de Farihitsara.

ANNEXES

ANNEXE 1

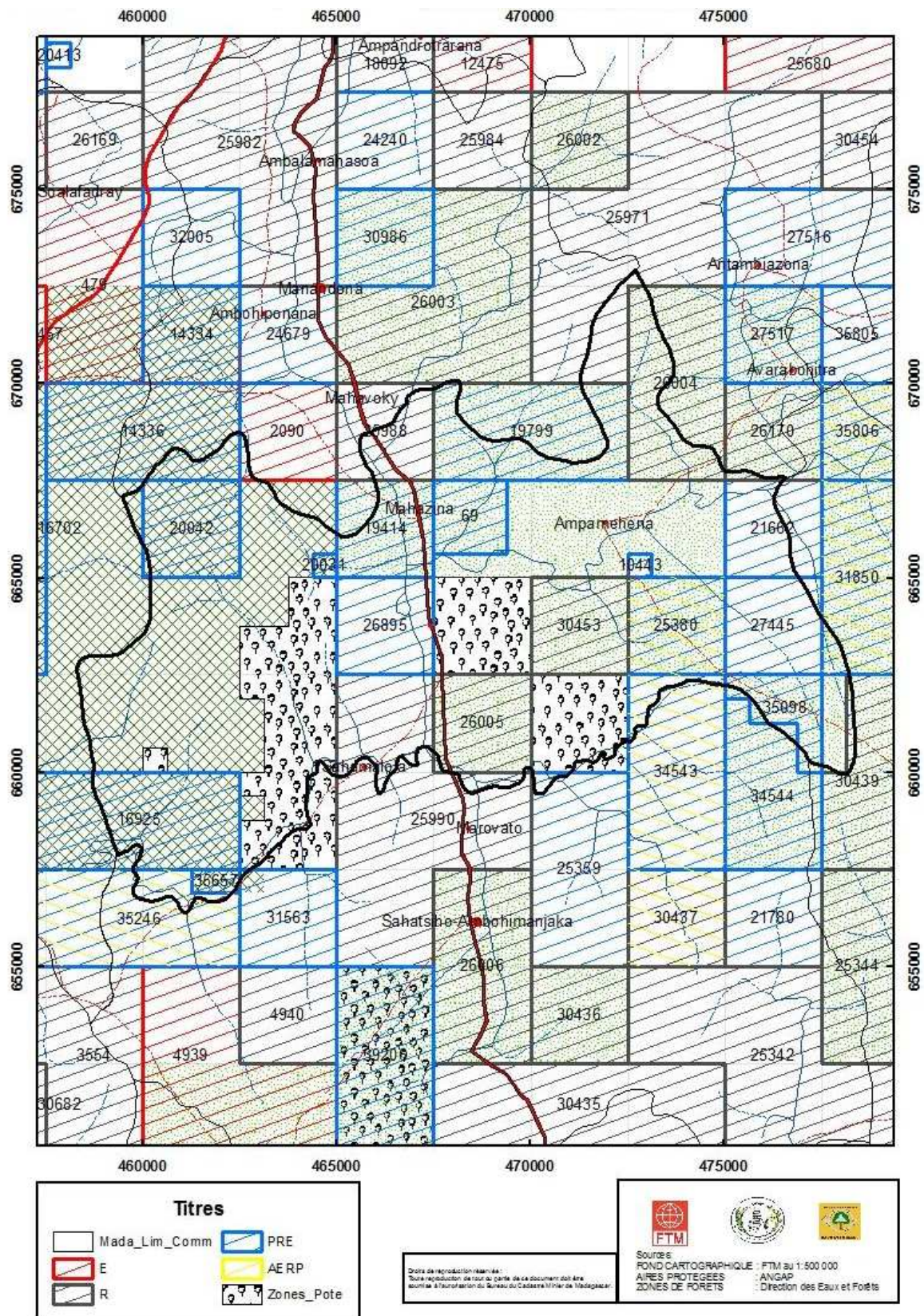


Fig. 25 : Carte des permis miniers de la Commune de Sahanivotry

(source F.T.M)

ANNEXE 2

Les matériels les plus couramment utilisés au cours de la prospection effectuée sont donnés par les figures suivantes.



Marteau de géologue



Batée



G.P.S.



Tamis d'ouverture 5mm

Fig. 26 : Quelques matériels de prospection

ANNEXE 3

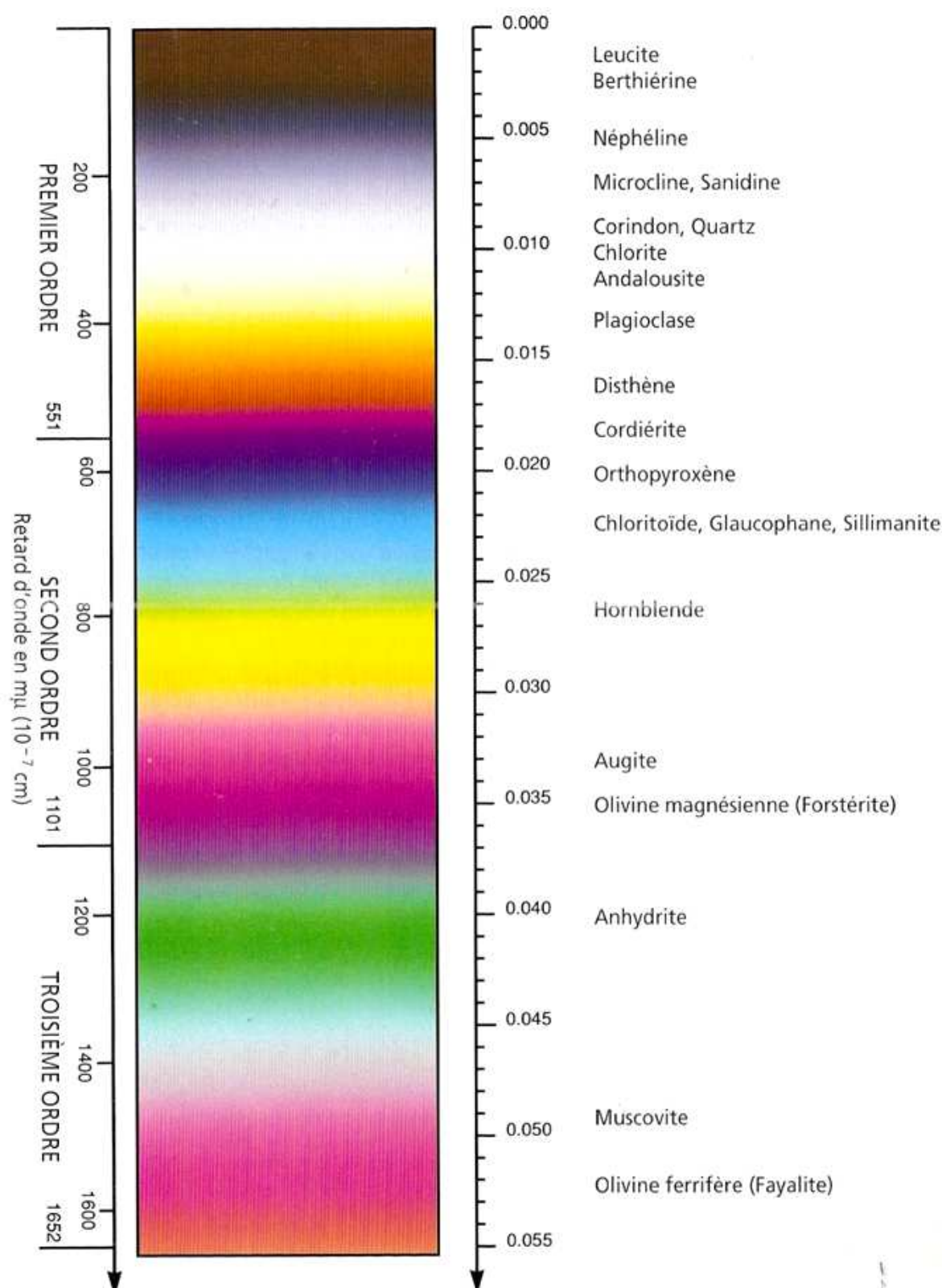


Fig. 27 : Echelle de biréfringence

ANNEXE 4

Les résultats d'analyse de fond de batée imprimés par le spectromètre sont illustrés par le tableau suivant.

Tableau 11 : Résultats d'analyse des minéraux de fond de batée

| Référence | Densité optique de la solution | Mesure [g/l] | Teneur [g/m ³] |
|-----------|--------------------------------|--------------|----------------------------|
| B01 | 0,044 | 0,035 | 0,031 |
| B02 | 0,012 | 0,188 | 0,045 |
| B03 | 0,012 | 1,467 | 0,352 |
| B04 | 0,204 | 0,076 | 0,310 |
| B05 | 0,110 | 0,061 | 0,135 |
| B06 | 0,204 | 0,118 | 0,481 |
| B07 | 0,031 | 0,564 | 0,351 |
| B08 | 0,021 | 0,224 | 0,092 |
| B09 | 0,021 | 0,695 | 0,285 |
| B10 | 0,012 | 0,596 | 0,143 |
| B11 | 0,030 | 0,252 | 0,152 |
| B12 | 0,040 | 0,114 | 0,091 |
| B13 | 0,022 | 0,714 | 0,314 |
| B14 | 0,024 | 0,204 | 0,098 |
| B15 | 0,030 | 0,417 | 0,251 |
| B16 | 0,020 | 1,174 | 0,479 |

BIBLIOGRAPHIE

1. AUDEBAUD E. Dictionnaire des roches. 1969
2. BAUDOIN G. Gîtologie et métallogénie manuel de cours. 2006
3. BESAIRIE H. Eléments de géologie de Madagascar. Antananarivo. 1962
4. BESAIRIE H. Géologie économique de la préfecture d'Antsirabe. Antananarivo. 1962
5. BESAIRIE H. Gîtes minéraux de Madagascar. Antananarivo. 1966
6. BESAIRIE H. Précis de géologie Malgache. Antananarivo. 1973
7. GUIGUES J. Etude des gisements de pegmatites de Madagascar - Première partie. 1954
8. GUIGUES J. Etude des gisements de pegmatites de Madagascar - Deuxième partie. 1955
9. JULIEN J. Etude géologique et prospection de la feuille au 1/100000 Fandriana. Antananarivo. 1965
10. JUNG J. Précis de pétrographie : roches sédimentaires, métamorphiques, éruptive. 1977
11. MACKENZIE W., ADAMS A. Initiation à la pétrographie, avec 180 photos en couleurs de roches et minéraux en lames minces. Paris. Dunod. 1999
12. PEZZOTTA F. Les pegmatites à pierres fines et leur géologie. 2001
13. Plan Communal de Développement-Province d'Antananarivo-Région de Vakinankaratra -District Antsirabe II-Commune Rurale de Sahanivotry Manandona, 2008
14. RAKOTOARISOA N. D. Contribution à l'étude monographique des gîtes pegmatitiques de la région de BETAFO – ANTSIRABE : Interprétation structurale d'images Landsat. Mémoire Ingénieur. ESPA. Antananarivo. 2003

WEBIOGRAPHIE

15. <http://salahbouhlel.fr/gd/2-.-Fluides-magmatiques.htm>
16. <http://salahbouhlel.fr/gd/GITES-METALLIFERES-%26-METALLOGENIE.htm>
17. <http://wiki.ggl.ulaval.ca/wikimetallogenica/wiki/Pegmatites/>
18. http://www.lames-minces.uhp-nancy.fr/details/litho_photos.html

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|---------------|
| REMERCIEMENTS..... | I |
| SOMMAIRE | II |
| LISTE DES ABREVIATIONS..... | III |
| LISTE DES FIGURES..... | V |
| LISTE DES TABLEAUX | VI |
| INTRODUCTION | 1 |
| PREMIERE PARTIE : GENERALITES ET RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES | 2 |
| Chapitre I : GENERALITES SUR LES PEGMATITES..... | 3 |
| I-1- Définitions | 3 |
| I-2- Types de pegmatite | 3 |
| I-3- Origine des pegmatites | 4 |
| I-4- Forme et structure | 5 |
| I-4-1- Forme | 5 |
| I-4-2- Structure | 5 |
| I-4-2-1- Pegmatites à structure homogène | 5 |
| I-4-2-2- Pegmatites à structure litée | 5 |
| I-4-2-3- Pegmatites à structure zonée..... | 5 |
| I-5- Gisement de pegmatite | 5 |
| I-5-1- Lentilles..... | 6 |
| I-5-2- Amas | 6 |
| I-6- Principaux substances extractibles des pegmatites et leur utilisation | 6 |
| Chapitre II : PEGMATITES DE MADAGASCAR..... | 8 |
| II-1- Histoire géologique des pegmatites de Madagascar | 8 |
| II-2- Classification des champs des pegmatites Malgaches | 9 |
| II-2-1- Classification selon Lacroix | 9 |
| II-2-2- Classification selon Cerny | 11 |
| II-2-2-1- Classes miarolitiques - NYF..... | 12 |
| II-2-2-2- Classe abyssale | 12 |
| II-2-2-3- Classe à éléments rares..... | 12 |
| II-2-2-3-1- Type béryl (LCT)..... | 12 |
| II-2-2-3-2- Types Terres Rares (NYF)..... | 13 |
| II-2-2-3-3- Type complexe (LCT)..... | 14 |
| CONCLUSION PARTIELLE..... | 17 |
| DEUXIEME PARTIE : PROSPECTIONS ET METHODES D'ANALYSES | 18 |
| Chapitre III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDES | 19 |
| III-1- Géographie physique | 19 |
| III-1-1- Fondations historiques..... | 19 |
| III-1-2- Situation géographique et délimitation administrative..... | 19 |
| III-1-3- Ressources naturelles | 21 |
| III-1-3-1- Relief..... | 21 |
| III-1-3-2- Forêts et environnement..... | 21 |
| III-1-3-3- Hydrographie | 21 |
| III-1-3-4- Climat..... | 21 |
| III-1-3-5- Sols..... | 22 |

| | |
|--|------------------------------------|
| III-1-4- Situation démographique..... | 22 |
| III-1-5- Données économiques..... | 22 |
| III-1-5-1- Agriculture | 22 |
| III-1-5-2- Élevage..... | 22 |
| III-1-5-3- Pêche | 22 |
| III-1-5-4- Infrastructures | 23 |
| III-1-5-5- Artisanat et industrie | 23 |
| III-1-5-6- Commerce | 24 |
| III-1-5-7- Ressources minières..... | 24 |
| III-1-6- Données sociales | 24 |
| III-1-6-1- Enseignement et éducation..... | 24 |
| III-1-6-2- Santé..... | 24 |
| III-1-6-3- Association paysanne et Dina | 24 |
| III-1-6-4- Valeurs culturelles et structures traditionnelles | 25 |
| III-1-6-5- Sécurité..... | 25 |
| III-2- Contexte géologique | 25 |
| III-2-1- Roches métamorphiques..... | 26 |
| III-2-2- Roches éruptives..... | 27 |
| III-2-3- Intrusions basiques et roches associés..... | 27 |
| III-2-4- Pegmatites | 27 |
| III-2-5- Formations récentes et superficielles | 27 |
| Chapitre IV : TECHNIQUES DE PROSPECTION..... | 28 |
| IV-1- Prospection au marteau..... | 29 |
| IV-1-1- Tranchées et anciens travaux | 29 |
| IV-1-2- Observation de la morphologie, des sols, de la végétation | 29 |
| IV-1-3- Echantillonnage..... | 30 |
| IV-1-4- Observation des affleurements..... | 30 |
| IV-2- Prospection alluvionnaire | 31 |
| IV-2-1- Caractères généraux des alluvions | 31 |
| IV-2-2- Formation des gîtes alluvionnaires..... | 31 |
| IV-2-3- Prélèvement des échantillons | 32 |
| IV-2-3-1- Prélèvement au niveau des marmites d'érosion..... | 33 |
| IV-2-3-2- Prélèvement au niveau des coudes..... | 33 |
| IV-2-3-3- Prélèvement sur les barres rocheuses..... | 33 |
| IV-2-4- Lavage et concentration | 33 |
| IV-2-5- Étiquetage des échantillons et emballage..... | 33 |
| Chapitre V : METHODES D'ANALYSES..... | 34 |
| V-1- Télédétection | 34 |
| V-1-1- Données satellites | 34 |
| V-1-2- Traitement d'images satellites | 35 |
| V-2- Lames minces | 37 |
| V-2-1- Confection des lames minces | 37 |
| V-2-1-1- Sciage | 37 |
| V-2-1-2- Collage d'un échantillon sur une lame de verre..... | 37 |
| V-2-1-3- Réalisation de la lame mince..... | 37 |
| V-2-2- Observations au microscope..... | 38 |
| V-2-2-1- Caractères à observer | 38 |
| V-2-2-2- Cristallographie des principaux minéraux sur les lames minces | 38 |
| V-3- Minéraux de fond de batée..... | Erreur ! Signet non défini. |
| V-3-1- Préparation des minéraux de fond de batée | 40 |

| | |
|--|-----------|
| V-3-2- Observation à la loupe binoculaire | 40 |
| V-3-2-1- Loupe binoculaire..... | 40 |
| V-3-2-2- Estimation semi-quantitative..... | 40 |
| V-3-2-3- Descriptions des minéraux à la loupe binoculaire..... | 40 |
| V-3-3- Analyses et mesures au spectrophotomètre | 42 |
| V-3-3-1- Mise en solution des minéraux de fond de batée | 42 |
| V-3-3-2- Préparation de la solution étalon | 42 |
| V-3-3-3- Mesures au spectrophotomètre..... | 42 |
| CONCLUSION PARTIELLE..... | 44 |
| TROISIEME PARTIE : PRESENTATION DES RESULTATS ET | |
| INTERPRETATIONS | 45 |
| Chapitre VI : PRESENTATION DES RESULTATS..... | 46 |
| VI-1- Tranchées et anciens travaux d'exploitation | 47 |
| VI-2- Images satellites..... | 48 |
| VI-3- Résultats de l'échantillonnage | 49 |
| VI-3-1- Disposition des cristaux sur les lames minces | 49 |
| VI-3-1-1- Échantillon A03 | 49 |
| VI-3-1-2- Échantillon A08 | 49 |
| VI-3-1-3- Échantillon A12 | 50 |
| VI-3-1-4- Échantillon A19 | 50 |
| VI-3-1-5- Échantillon A20 | 51 |
| VI-3-1-6- Échantillon A22 | 51 |
| VI-3-2- Répartition des échantillons | 52 |
| VI-4- Résultats de l'analyse des minéraux de fond de batée | 53 |
| VI-5- Carte de localisation des pegmatites..... | 53 |
| Chapitre VII : INTERPRETATIONS..... | 55 |
| VII-1- Mise en place des pegmatites d'Ampamehena | 55 |
| VII-1-1- Métamorphisme général | 55 |
| VII-1-2- Cristallisation des magmas | 57 |
| VII-1-2-1- Stade magmatique | 58 |
| VII-1-2-2- Stade pegmatitique | 58 |
| VII-1-2-3- Stade pneumatolytique | 58 |
| VII-1-3- Fractures de l'écorce terrestre et roches de remplissage..... | 60 |
| VII-1-4- Description des pegmatites d'Ampamehena..... | 60 |
| VII-2- Or alluvionnaire | 61 |
| VII-2-1- Représentation graphique des teneurs en or | 61 |
| VII-2-2- Gisements aurifères..... | 61 |
| CONCLUSION PARTIELLE..... | 62 |
| CONCLUSION..... | 63 |
| ANNEXES..... | 65 |
| BIBLIOGRAPHIE | 70 |

Nom : RAKOTOBÉ
Prénoms : Hariniaina Itokiana
Titre du mémoire : ETUDES MINÉRALOGIQUES DES PEGMATITES
D'AMPAMEHENA

Nombre de figures : 27
Nombre de tableaux : 11
Nombre de pages : 73

RESUME

Ampamehena se trouve dans la Commune de Sahanivotry Manandona, dans la Région de Vakinankaratra. Elle fait partie du socle cristallin de Madagascar qui regroupe la majorité des champs pegmatitiques. Les pegmatites d'Ampamehena appartiennent au champ pegmatitique de Vorondolo.

Les apports des travaux de la prospection effectuée et de la télédétection ont contribué à l'explication de la mise en place de ses pegmatites et de ses minéraux. Elles appartiennent au groupe potassique dans la classification de Lacroix et sont de type béryl LCT – sous type Béryl Columbite dans la classification de Cerny. Les minéralisations sont : le quartz, la tourmaline, le béryl, avec quelques minéraux uranifères. Le béryl y est fréquent surtout dans les pegmatites qui traversent les gneiss ou les micaschistes. Les pegmatites qui le renferment sont situées principalement à Mahazina et à Farihitsara, villages limitrophes d'Ampamehena.

Par ailleurs, l'or est alluvionnaire, c'est un gisement secondaire. Il est exploité par des paysans le long de la rivière de Sahanivotry. En remontant cette rivière, d'après les études, l'or est issu des zones micaschisteuses peu touchées par la migmatisation.

ABSTRACT

Ampamehena is in the Municipality of Sahanivotry Manandona, in the Region of Vakinankaratra. It is part of the crystalline basement of Madagascar which includes most of the pegmatite fields. The pegmatite of Ampamehena belongs to the pegmatitic field of Vorondolo.

The contributions of the work of the surveys were conducted and remote sensing have contributed to the explanation of the implementation of its pegmatite and their minerals. They belong to the potassium group in the classification of Lacroix and are type beryl LCT - under type Beryl Columbite according to Cerny classification. The mineralization are : quartz, tourmaline, beryl, with some uranium minerals. The beryl is there frequent especially in the pegmatites which cross gneisses or mica-schists. Pegmatites which contain it are mainly located in Mahazina and Farihitsara, adjacent villages of Ampamehena.

Moreover, gold is alluvial, this is a secondary deposit. It is operated by farmers along the Sahanivotry river. Going up this river, according to studies, the gold comes from micaschistous less affected by migmatization.

Mots clés : béryl, biotite, batée, gneiss, grenat, lame mince, loupe binoculaire, métamorphisme, mica, micaschiste, migmatite, muscovite, pegmatite, quartz, tourmaline.

Adresse de l'auteur : lot AB 415/IV Ambohimamory Andranonahoatra Atsimondrano
Téléphone : 033 09 323 61
E-mail : haritoky@voila.fr

Encadreur : Monsieur ZAFILAHY Ying Vah