

LISTE DES FIGURES

Fig.1 : Carte de localisation de la région d'étude.....	5
Fig.2 : Carte Administrative de la région d'étude.....	6
Fig.3 : Evolution annuelle de la pluviométrie de Taolagnaro.....	8
Fig.4 : Les neuf unités téctono-métamorphiques du Précambrien de Madagascar (Collins et al. 2002).....	14
Fig.5 : Carte montrant les six ceintures du secteur Sud D'après Windley et al 1994.....	16
Fig.6 : Carte Géologique de Ranomafana du Sud, Ech : 1/100.000 extrait de BAZOT (1972).....	23
Fig.7 : Carte Géologique de la région de Taolagnaro, Ech : 1/100.000 Verstraete, G.Bazot (1972).....	24
Fig.8 : Carte tectonique de la région (Image Landsat 7 Etm+) Canal utilisé : tm8.....	26
Fig.9 : Microphotographie (X5) DN12 d'un granite à biotite du Col de Manangotry....	28
Fig.10 : Microphotographie DN49 ($\times 5$) en LP, LN : Granite à biotite.....	29
Fig.11 : Microphotographie DN50 ($\times 5$) en LP, LN.....	30
Fig.12 : Microphotographie DN13 ($\times 5$) en LP, LN.....	32
Fig.13 : Géologie des indices.....	36
Fig.14 : Monazite disséminée parmi les minéraux interstitiels dans la charnockite Microphotographie DN13 ($\times 5$) en LP	39
Fig.15 : Monazite disséminée parmi les minéraux interstitiels dans le granite à grenat... ..	40
Fig.16 : Carte de repérage des échantillons.....	45
Fig.17 : Morphoscopie MT3 : monazite à grains grossiers et anguleux du Manangotry (Grossissement X40).....	48
Fig.18 : Morphoscopie TS1 : monazite à grains anguleux (Grossissement X10) au microscope.....	49
Fig.19 : Morphoscopie (TS3): grains anguleux fracturés avec des impuretés rouges (Ambahibe) (grossissement X 16).....	50
Fig.20 : Morphoscopie (TS9) : Grains rougeâtres avec des impuretés de la monazite (Grossissement X16).....	52
Fig.21 : Morphoscopie : Grains grossiers à impuretés de la monazite de SD10 (Grossissement X40).....	53
Fig.22 : Morphoscopie SD11 (TS10) : Grains de la monazite un peu émoussée (Grossissement X 40).....	54

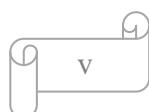
Fig.23 : Morphoscopie TS12 des grains de monazite des sables de plage.....	60
Fig.24 : Morphoscopie TS13 : Monazite des sables de plages d'Amboinabe (Grossissement X40).....	61
Fig. 25 : Cortège des minéraux lourds de la source jusqu'aux sables de plages.....	65
Fig. 26 : Profil longitudinal de la rivière Ifaho avec les échantillonnages.....	66
Fig. 27 : Radioactivité/distance de la source jusqu'aux sables de plage.....	67
Fig. 28 : Image ternaire MNOP 60-61-62 à l'échelle 1/100.000.....	69
Fig.29: Anomalie en thorium.....	70
Fig.30 : Carte de localisation des indices en monazite.....	71

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU N°1 : Variations mensuelle de la température à Taolagnaro en 2006.....	8
TABLEAU N°2 : Evolution annuelle de la pluviométrie de Taolagnaro.....	8
TABLEAU N° 3 : Composition minéralogique des concentrés.....	64
TABLEAU N°4 : Tonnage des minéraux lourds (indice d'Ambohitra).....	76
TABLEAU N°5 : Tonnage des formations minéralisées en ilménite, monazite, zircon (Vohibarika).....	78
TABLEAU N°6 : Tonnage des minéraux lourds (indice d'Ambohitra).....	79
TABLEAU N°7 : Tonnage des minéraux lourds (Iabakoho).....	80
TABLEAU N°8 : Tonnage des minéraux lourds dans une dune (Matatoro-Evatra).....	81
TABLEAU N°9 : Tonnage des minéraux lourds dans la plage ancienne (Matatoro- Evatra).....	81

ABREVIATIONS

Al :	Aluminium
BRGM :	Bureau de Recherche Géologique et Minière
Ca :	Calcium
Ce :	Cérium
CEA :	Commissariat de l'Energie Atomique
Cpx :	Clinopyroxène
Cp/s :	Coups par seconde
Dy:	Dysprosium
Er :	Erbium
Eu:	Europium
Fe:	Fer
Fk:	Feldspath potassique
Gd:	Gadolinium
Ho:	Holmium
K:	Potassium
Kb:	Kilobar
La :	Lanthane
Lu:	Lutétium
LP :	Lumière polarisée
LN :	Lumière naturelle
Ma :	Millions d'années
MAEP :	Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MEM :	Ministère de l'Energie et des Mines
Nd:	Néodyme
O:	Oxygène
P:	Phosphate
Pr :	Praséodyme
PGRM :	Projet de Gouvernance des Ressources Minérales
QMM:	Qit Madagascar Minerals
Qz :	Quartz
RN:	Route Nationale
Sm:	Samarium



Tb:	Terbium
Th:	Thorium
Tm:	Thulium
U:	Uranium
Yb:	Ytterbium

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
<u>CHAPITRE I : CONTEXTES GENERAUX</u>	3
I-1- CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA REGION D'ETUDE.....	4
I-1-1- Géographie physique	4
I-1-2- Géographie économique	9
I-2- CADRE GEOLOGIQUE GENERAL.....	11
I-2-1- Aperçu sur le Précambrien Malgache	11
I-2-2- Concepts actuelles sur le domaine de faciès granulite du Sud	15
<u>CHAPITRE II : GRANDS TRAITS GEOLOGIQUES DU SECTEUR D'ETUDE</u>	18
II-1- DESCRIPTION DES FORMATIONS GEOLOGIQUES	19
II-1-1- Les formations ignées	19
II-1-2- Les formations cristallophylliennes.....	21
II-1-3- Les formations superficielles.....	22
II-2- TECTONIQUE	25
II-3- PETROGRAPHIE DU COMPLEXE GRANITO-CHARNOCKITIQUE.....	27
II-3-1- Les granites et charnockites	27
II-3-2- Conclusion.....	33
<u>CHAPITRE III : GITOGIE DES GISEMENTS DETRITIQUES DE MONAZITE LE LONG DE LA VALLEE DE L'IFAHO JUSQU'A SON EMBOUCHURE A AMBINANIBE.....</u>	34
III-1- INTRODUCTION.....	35
III-1-1- La monazite en filons pegmatitiques.....	35
III-1-2- La monazite disséminée dans les roches encaissantes.....	38
III-2- LES GISEMENTS DE MONAZITE DETRITIQUES.....	41
III-2-1- Introduction.....	41
III-2-2- Méthodologie.....	41
III-2-3- Les indices alluvionnaires.....	45
III-2-4- Les indices des sables de plages à monazite, zircon, ilménite.....	55

III-2-5- Discussion et conclusion.....	61
III-3 – INDICES PROBABLES.....	68
III-4- CONCLUSION.....	72
CHAPITRE IV : ASPECTS ECONOMIQUES	73
IV-1- GENERALITES	74
IV-1-1- Utilisations des terres rares non séparées.....	74
IV-1-2- Utilisations des terres rares séparées.....	75
IV-2- ASPECTS ECONOMIQUES DES GISEMENTS DETRITIQUES A MONAZITE DE TAOLAGNARO.....	76
IV-2-1- Les gisements alluvionnaires.....	76
IV-2-2- Les gisements de sables de plages.....	77
SYNTHESE.....	85
BIBLIOGRAPHIE.....	86
ANNEXES	
ABSTRACT	



INTRODUCTION

Cette étude a été réalisée pour apporter notre modeste contribution dans l’élargissement de la recherche en métallogénie du PGRM concernant « La monazite des Chaînes Anosyennes : des gîtes primaires aux minéralisations des sables de plage du Sud-Est de Madagascar »

La monazite dont le nom vient du mot grec monazein « être seul, rare », est un minéral accessoire fréquent des pegmatites associées aux magmatismes acides et alcalins dont les granites et les syénites. Elle est également abondante dans les complexes charnockitiques. C'est un phosphate de terres cériques de formule générale : (Ce, La, Nd, Th) (PO₄) du système monoclinique. On peut avoir les éléments Fe, Al et Ca en trace en substitution avec La. La monazite se présente en cristaux généralement de petite taille, exceptionnellement de grande taille et grossiers. Le minéral de monazite est transparent à translucide avec un éclat généralement cireux à résineux, de couleur brun jaunâtre ou rougeâtre à brun dans les différents tons du jaune et du vert. Résistante à l’altération, on la retrouve dans les sables de plage avec l’ilménite, le zircon, et le rutile. C'est le principal minéral des lanthanides et parfois elle est utilisée comme source de thorium. L’Australie, les Etats-Unis, le Brésil, l’Inde, la Chine, et l’Afrique du Sud sont les principaux producteurs de monazite dans le monde.

Les minéralisations en monazite sont connues à Madagascar depuis 1952, et dès 1953 de sérieuses recherches ont été effectuées. La région de l’extrême Sud-Est présente un intérêt géologique et économique en monazite, les réserves dans les sables de plage sont estimées à 19.410.000 tonnes d’ilménite, 460.000 tonnes de monazite et 977.000 tonnes de zircon (gisement de Vohibarika, Mandena et Petriky) (M.E.M, 1985).

- BUT DE L’ETUDE :

Notre étude a porté sur le secteur de Manangotry et la région de Taolagnaro connues depuis longtemps pour ses gisements en monazite.

Du point de vue géologique, les dépôts détritiques secondaires en monazite sont connues sur plusieurs portions des côtes Est, Sud et Sud-Ouest de Madagascar dont Taolagnaro et ses environs. La monazite est également retrouvée le long des cours d’eau qui descendent des Chaînes Anosyennes vers l’Océan Indien.

Les objectifs de ce travail concernent les deux points suivants :



- étude du comportement des concentrations de la monazite détritique selon leur radioactivité, le long des vallées des rivières Ambahibe, Andriambe et de la vallée du fleuve Ifaho jusqu'aux sables de plage d'Ambinanibe ;
- l'appréciation des intérêts économiques des gisements détritiques

- TRAVAUX EFFECTUES :

Un stage de terrain d'un mois en Août 2006 a été fait en vue de réaliser des observations géologiques et des mesures de radioactivité. Les travaux suivants ont été menés :

- mesure de la radioactivité totale au scintillomètre Geométrics de Scintrex ;
- échantillonnage systématique des sables à monazite le long de l'Ifaho, jusqu'aux sables de plage d'Ambinanibe.

Une image radiométrique ternaire des coupures **MNOP 60-61-62** nous a beaucoup aidé pour la localisation des gîtes à monazite de notre secteur d'étude.

Les échantillons ont été ramenés directement au Service des Laboratoires des Mines d'Antananarivo en vue des études pétrographiques des roches à monazite et pour l'analyse des sables à monazite.

L'ouvrage comprendra les chapitres suivants :

- les contextes généraux de notre région d'étude ;
- les grands traits géologiques du secteur étudié ;
- la gîtologie des gisements détritiques de monazite le long de la vallée de l'Ifaho jusqu'à son embouchure à Ambinanibe;
- et enfin, l'aspect économique des gisements détritiques de Taolagnaro.



CHAPITRE I :

CONTEXTES GENERAUX



CHAPITRE I : CONTEXTES GENERAUX:

I-1- CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA REGION D'ETUDE :

Le secteur de Manangotry (30 km à vol d'oiseau au Nord-Ouest de Taolagnaro) et la région de Taolagnaro sont situés à l'extrême Sud-Est de l'île dans la Région de l'Anosy (**fig.1**). Ces secteurs se trouvent dans le District de Taolagnaro (**fig.2**) à plus de 1 000 km d'Antananarivo en empruntant successivement la RN7, et la RN13

Le fleuve Ifaho prend sa source dans le massif granitique de Manangotry, et traverse la plaine d'Ifarantsa, avant de se jeter dans l'Océan Indien sur la côte de Taolagnaro.

I-1-1- Géographie physique :

I-1-1-1-Relief et paysage :

La région est située en bordure de la côte Sud-Est de Madagascar, où sont situées les Chaînes Anosyennes qui plongent dans l'Océan Indien en offrant un paysage grandiose et une végétation variée d'une étrange séduction.

Le trait géographique majeur de l'extrême Sud est marqué par de grandes zones montagneuses avec de grandes dorsales à ossature granitique dont les hauts sommets frisent les 2000 mètres d'altitude. En revanche, la pénéplaine côtière est une zone littorale très accueillante.

Les zones côtières de la région se trouvent face à l'Océan Indien.

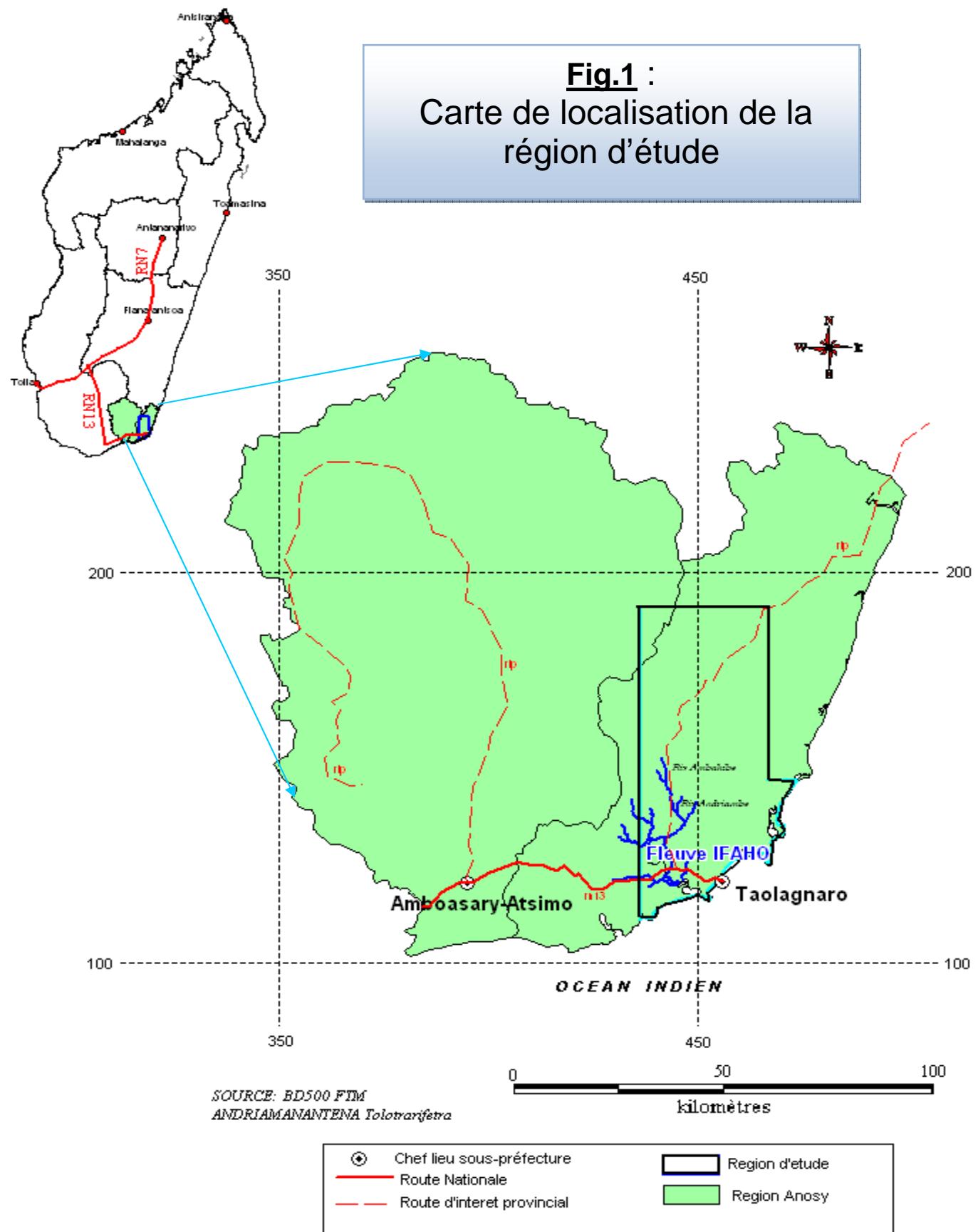
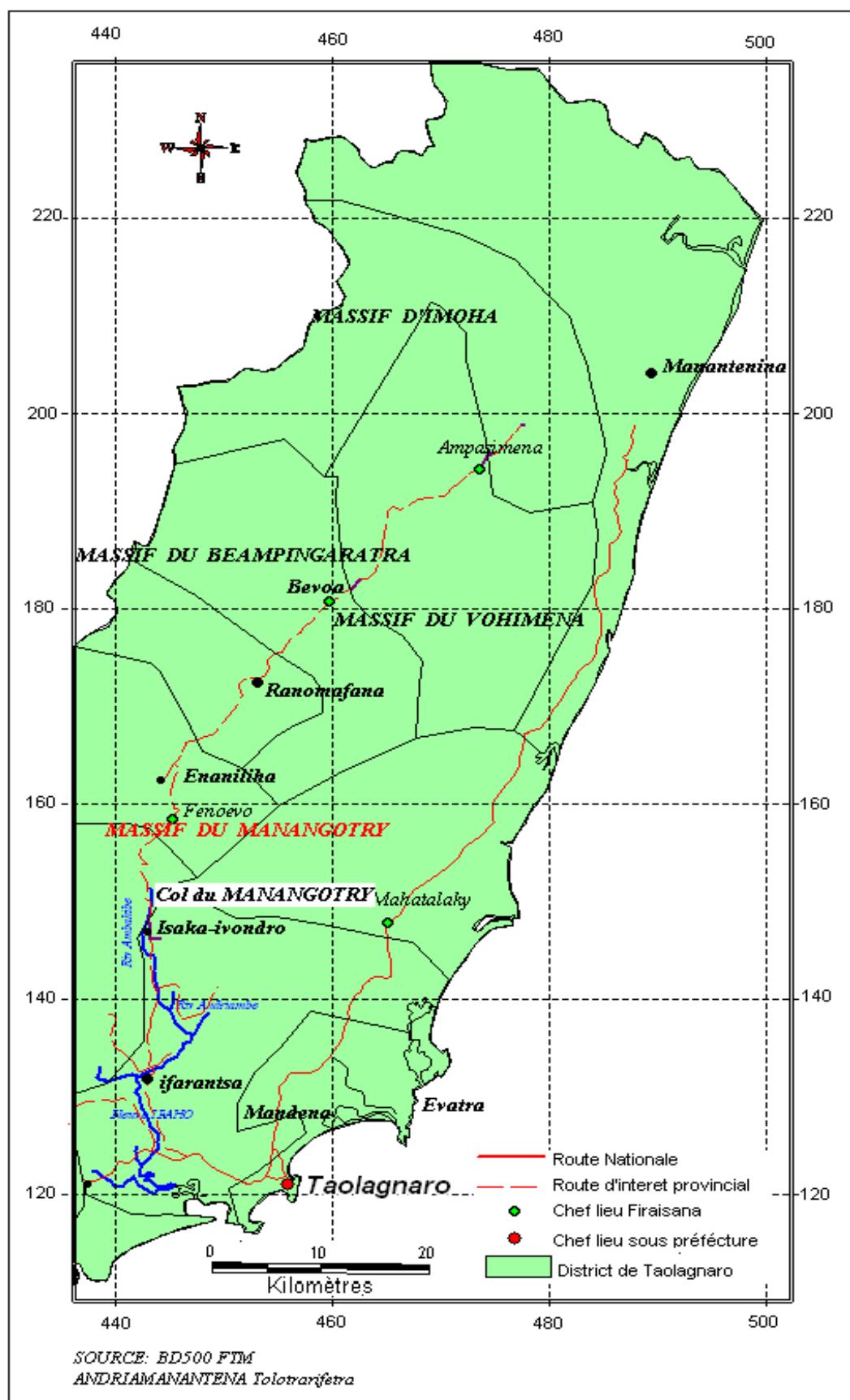


Fig.2 : Carte Administrative de la région d'étude





I-1-1-2-Réseau hydrographique :

Tous les cours d'eau de la zone d'étude se jettent entièrement dans l'Océan Indien. Tous les grands cours d'eau prennent leur source dans la zone forestière des Chaînes Anosyennes. Ils ont un régime torrentiel dans leur cours supérieur et un régime plus calme dans leur cours moyens, avant de s'étaler largement dans la zone côtière. Leurs embouchures sont soient des estuaires deltaïques, soient changeants, multiples et obstrués une partie de l'année par des barrières de sable.

Les principales rivières sont Manampanihy, Ebakika, Vatomirindra, Esama, Ifaho, Andriambe.

I-1-1-3- Sols et végétations :

La végétation est l'une des plus riches et des plus variées de la région. Sur les versants Est, la grande forêt ombrophile (grands arbres à voûtes de cathédrale) se déploie sur les hautes pentes et passe à une forêt secondaire de Savoka à Ravinala sur les parties basses. Tandis que sur la côte, on a des marais à Pandanus et Nymphaeacés (Bésairie, 1954).

Les sols des Communes du district de Taolagnaro sont tous de nature ferralitique, bariolés jaune-rouge, rouges et d'association de sols ferralitiques bariolés jaune-rouge et rouge.

Les sables dunaires décalcifiés plus ou moins rubéfiés de la partie Sud font l'objet de remaniements éoliens permanents. Bien que fragiles, à faible capacité de retention et à faible proportion de matières organiques, ils sont très prisés pour la culture du fait qu'ils sont hydrophiles et conservent bien l'humidité (MAEP, 2003).

I-1-1-4- Le climat :

L'ensemble de la région est soumis à un climat tropical d'altitude. La courbe pluviométrique montre des hauteurs de précipitation assez élevées durant les mois d'avril et de septembre.

A titre indicatif, nous présentons ici les résultats des hauteurs de précipitation et la variation des températures mensuelles pendant l'année 2006 de la région de Taolagnaro. (tab.1 et fig.3)

TABLEAU n°1 : Variation mensuelle de la température à Taolagnaro en 2006

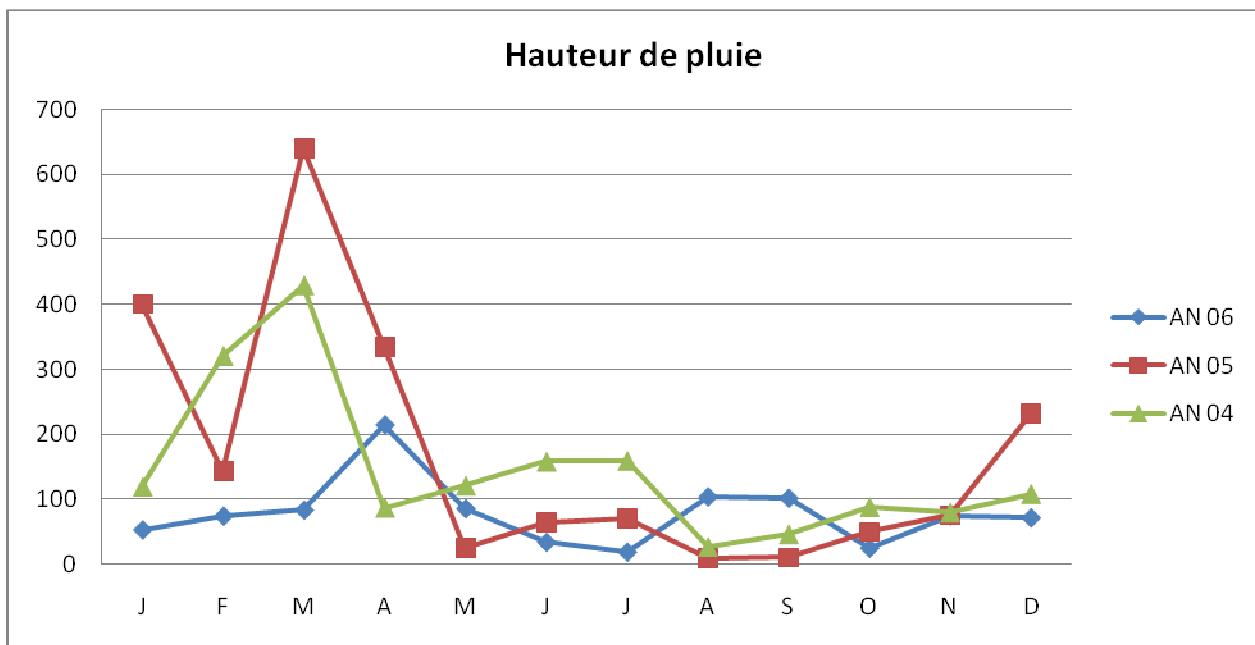
T° C	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°max	31,1	31,7	31,3	28,7	26,7	26,3	25,1	26,2	25,6	28	29,3	31
T°min	23,8	24,4	24,1	21,3	18,5	17,5	17,4	17,7	17,7	20	21,4	23,5

Source : Direction des exploitations météorologiques 2007

TABLEAU n°2 : Evolution annuelle de la pluviométrie de Taolagnaro

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
AN 06	52,4	73,5	82,6	213,7	85	33,3	18,3	103,1	101,1	24,3	74,2	70,8
AN 05	400,3	144,2	639,5	334	26,1	65,5	71,2	9,8	10,9	50,5	76,2	232,7
AN 04	119,3	320,5	429,3	86,8	120,8	158	159,2	26,7	46,2	88,2	79,8	108,3

Source : Direction des exploitations météorologiques 2007

**fig.3 :** Evolution annuelle de la pluviométrie de Taolagnaro



- Vents :

L'Alizé du Nord-Est à Est domine le District de Taolagnaro pendant presque toute l'année (MAEP, 2003).

- Cyclones :

Selon les statistiques, 14% seulement des cyclones qui ont traversé le pays de 1911 à 1982 sont passés près ou par Taolagnaro. En une quinzaine d'années, de 1985 à 2000, plusieurs cyclones ont frappé Madagascar mais sur les 18, les plus célèbres avaient Taolagnaro sur leurs trajectoires à trois reprises seulement. A la différence avec le reste de la côte Est Malgache qui est rarement épargnée, la région de Taolagnaro se trouve bien à l'abri même si elle fait partie de la façade orientale de l'île.

I-1-2- Géographie économique :

I-1-2-1- Économie:

Le riz est la culture principale des basses vallées des Chaînes Anosyennes avec localement des cultures de bananier, de caféier et de manioc. La pêche et le tourisme assurent par contre l'essentiel des ressources des populations de la côte.

Pendant la colonisation, l'exploitation forestière a été très active dans les régions de Bemangidy et Esetra-Antsapa. Elle alimentait alors en grumes plus ou moins équarries les scieries de Taolagnaro actuellement en mal d'activité. Beaucoup ont fermé.

I-1-2-2- Ressources minières :

De multiples ressources du sous-sol existent dans le district de Taolagnaro mais la plus importante est formée par les sables de plage et les dunes à ilménite (oxyde de fer et de titane), la monazite (phosphate de terres rares), le zircon (silicate de zirconium) de Taolagnaro jusqu'à Manantenina.



Les réserves des sables de plages sont estimées globalement à 6 millions de tonnes de minerais lourds mais l'exploitation a longtemps fait l'objet de controverses entre différentes parties, notamment face aux enjeux économiques et à la destruction de l'environnement.

En définitive, une Convention d'Etablissement avec Qit Madagascar Minerals SA (QMM) et l'Etat Malagasy définit le cadre juridique de l'exploitation des sables minéralisés. Il s'agit d'extraire, de produire et d'exploiter, l'ilmenite (700 000 tonnes), le rutile (35 000 tonnes), le zircon (27 000 tonnes) et la monazite (3000 tonnes) (MAEP, 2003)

Le projet est prévu durer 40 ans. Le début d'exploitation sera vers 2009. L'évaluation de l'impact environnemental a été réalisée pour permettre l'établissement d'un plan d'aménagement tenant compte d'un développement durable. Un nouveau port minéralier est en construction à Ehoala pour permettre l'exportation du concentré.

I-1-2-3- Le tourisme :

La région de Taolagnaro, du fait de sa richesse sur le plan touristique, de l'existence d'infrastructures et de liaisons aériennes, connaît un réel développement du secteur tourisme. En effet, les environs immédiats offrent une grande diversité de paysages allant des forêts humides et des montagnes, aux baies sablonneuses et plages de sable fin ... etc. ... C'est une zone riche en circuits de découverte associés au produit balnéaire.



I-2- CADRE GEOLOGIQUE GENERAL :

I-2-1- Aperçu sur le Précambrien Malgache :

Géologiquement, Madagascar est subdivisé en deux grandes entités dont, le socle cristallin précambrien qui occupe les deux tiers orientaux de l'Île, et les formations sédimentaires du Phanérozoïque qui affleurent sur le tiers occidental et sur une bande mince le long du littoral Est. Notre secteur d'étude appartient au socle cristallin de Madagascar.

Antérieurement, Bésairie (1973), a proposé une lithostratigraphie reposant sur l'hypothèse que le socle cristallin aurait été un empilement de séries sédimentaires que l'orogenèse majeure de 2,6 Ga appelée Shamwaienne aurait métamorphisé.

Des études plus récentes sur le Précambrien de l'ensemble de Madagascar ont été présentées par Hottin (1976). Cette synthèse fait suite à une étude géochronologique générale par Hottin, (1976) et Caen Vachette (1979). Le schéma de la géologie du Précambrien Malgache d'après la combinaison des propositions de Bésairie (1973) et de Hottin (1976), est alors le suivant :

La ligne de dislocation majeure orientée NW-SE dite structure de Bongolava-Ranotsara (linéament B-R) sépare deux domaines bien distincts :

- Un âge Catarchéen à Archéen est attribué à la majorité des terrains constituant les deux tiers Nord de l'île, à l'exclusion des formations du Protérozoïque Inférieur au Sud de la structure de Bongolava-Ranotsara, du Protérozoïque Moyen de Daraina et d'Amborompotsy-Ikalamavony et l'Itremo). Ce vieux Précambrien est reparti en deux systèmes qui se superposent :

- La série Infragraphite essentiellement de nature granitique et migmatitique d'âge Catarchéen ;
- Un système archéen, plissé et métamorphisé lors de l'orogenèse shamwaienne majeure de 2600 Ma, comprenant à la base : une série silico-alumineuse souvent à graphite (série de Manampotsy) avec des migmatites et granites stratoides dans la zone centrale (Ambatolampy) ; au sommet : faciès à dominante calcique renfermant de vastes complexes basiques et ultrabasiques : sillon Beforona Alaotra, Maevatanana, Andriamena.



- Un âge Protérozoïque Inférieur est attribué aux terrains au SW de ce linéament B-R et qui sont les formations du système Androyen. C'est un ensemble ultra-métamorphique à leptynites granulitiques et formations pyroxéno-wernéritiques, et le système de Vohibory regroupant Ampanihy-Vohibory-Vohimena.

Ce schéma du Précambrien de Madagascar est sérieusement remis en cause par les datations obtenues par les méthodes U-Pb sur zircons et Sm-Nd (Paquette et al, 1994 ; Andriamarofahatra et al, 1990) jugées beaucoup plus fiables que la méthode Rb-Sr utilisée auparavant.

Le socle précambrien est perçu actuellement comme étant un ensemble façonné par des événements tectono-métamorphiques successifs (Collins et al., 2000) et serait constitué par cinq blocs tectoniques stables, trois nappes de charriage et une zone de suture.

Collins et Windley (2002), subdivisent alors le socle en 9 unités téctono-métamorphiques suivantes :(fig.4)

- Le Bloc d'Antongil

Le bloc de l'Antongil se trouve dans la partie Nord-Est et extrême Nord du socle et est constitué de métasédiments à noyaux granitiques et gneissiques stabilisés dans le faciès schiste vert au faciès amphibolite inférieur.

- Le Bloc d'Antananarivo

Le bloc d'Antananarivo est la plus grande unité tectonique Pré-Paléozoïque de Madagascar et constitue son ossature centrale. Il est formé par des schistes, migmatites, gneiss et des granitoïdes, stabilisé antérieurement dans le faciès amphibolite, et intensément réactivé par les événements du Néoprotérozoïque responsables d'un métamorphisme prograde dans le faciès granulite, et qui s'accompagne d'un rajeunissement généralisé des biotites.

- La Nappe de Charriage de Bemarivo (510-520 Ma)

Son soubassement est formé par des migmatites, gneiss et amphibolites archéens d'origine sédimentaire et volcano-sédimentaire d'Ambohipato qui ont été métamorphisés par l'événement du 730 Ma et intrudé par les formations magmatiques calco-alcalines de Daraina et Milanoa.



- La Nappe de charriage de Tsaratanana :

Elle est constituée de gneiss, de diorite quartzique (tonalite) avec des gisements de chromite et de métapélites et formée par trois ceintures : ceintures de Maevatanana, d'Andriamena, et de Befandriana - Alaotra – Beforona et qui sont lithologiquement, géochronologiquement, et structuralement similaires.

- La Nappe d'Itremo :

La nappe d'Itremo est formée par des roches métasédimentaires mésoprotérozoïques à néoprotérozoïques charriées sur le Bloc d'Antananarivo. Des imbrications locales ont été décrites. Les épisodes gabbroïques du 790 et 810 Ma, syénitiques et granitiques du 570 - 539 Ma marquent des intrusions des formations de l'Itremo qui sont considérées comme étant d'une plateforme continentale.

- Le Bloc d'Ikalamavony-Amborompotsy :

Les gneiss et les migmatites du groupe d'Ikalamavony Amborompotsy seraient les équivalents abyssaux des formations de la nappe d' Itremo (Moine, 1971).

- La suture Betsimisaraka

Elle limite à l'Est le craton de l'Archéen Inférieur de Darwhar formé d'un socle gneissico-migmatitique emballant les formations ultramafiques, et mafiques. La suture Betsimisaraka est le vestige de la fermeture d'un océan entre l'Inde et Madagascar à l'époque de la coalescence du Gondwana Est et du Gondwana Ouest.

- Le Sud de Madagascar

Le Sud de Madagascar, au Sud de la structure de Bongolava-Ranotsara est formé de deux blocs qui sont le Bloc de Taolagnaro-Ampanihy (ensemble de terrains du Protérozoïque Inférieur) qui est essentiellement constitué de para et orthogneiss, et le Bloc de Vohibory avec du gneiss amphibolique rétromorphosé dans le faciès schiste vert. Six ceintures magmatiques matérialisées par de la phlogopithe qui, localement, peut constituer des concentrations d'intérêt minier et économique, subdivisent le secteur Sud.

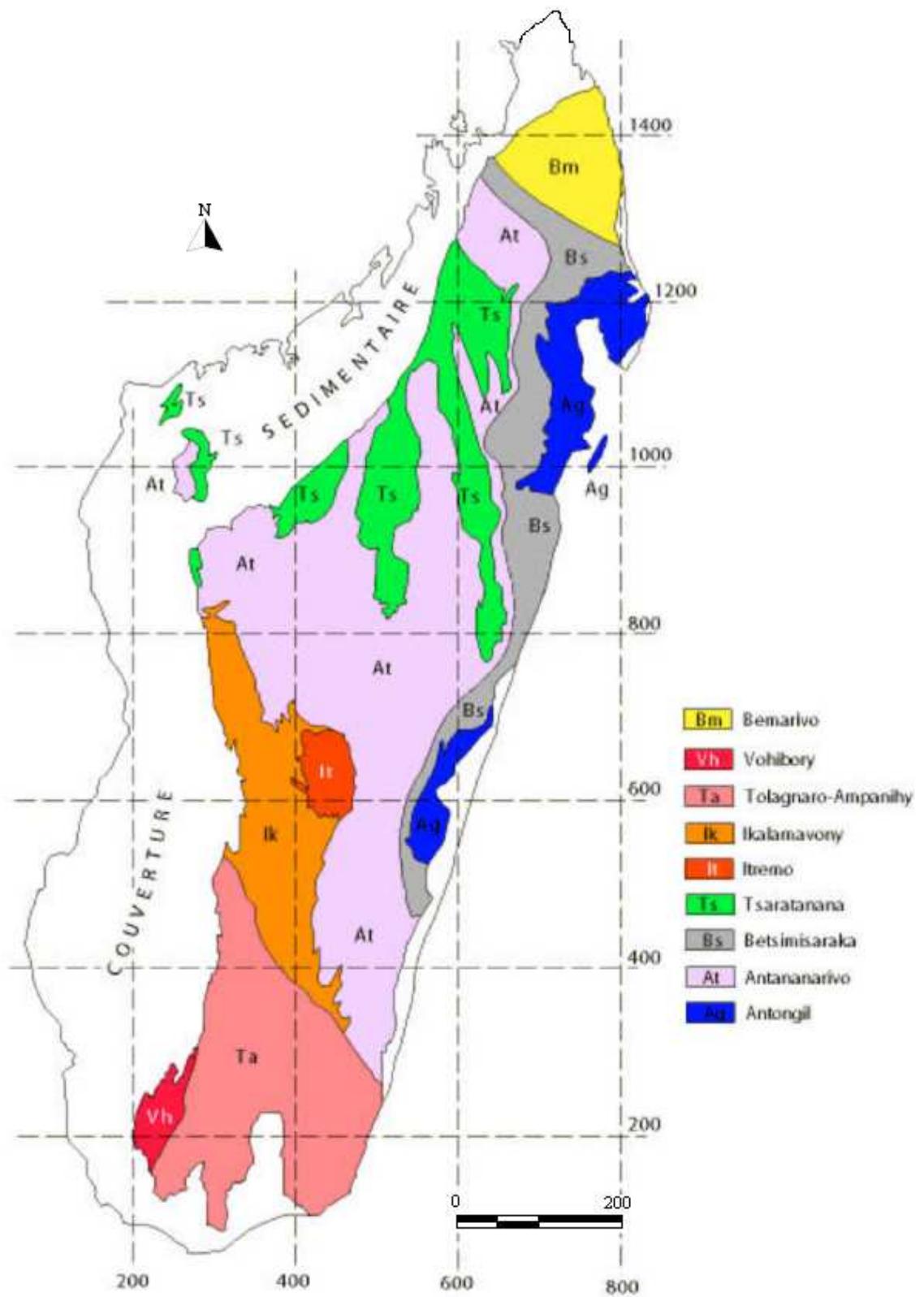


Fig. 4- Les neuf unités téctono-métamorphiques du Précambrien de Madagascar (Collins et al.2002)



I-2-2- Concepts actuels sur le faciès granulite du Sud :

D'après Windley et al, (1994) (**fig.5**), le bloc de Taolagnaro-Ampanihy qui se situe au Sud du grand axe de cisaillement Bongolava-Ranotsara, est traversé par six ceintures magmatiques. Nous allons présenter brièvement ce secteur, auquel la région de Taolagnaro et les chaînes Anosyennes sont rattachées.

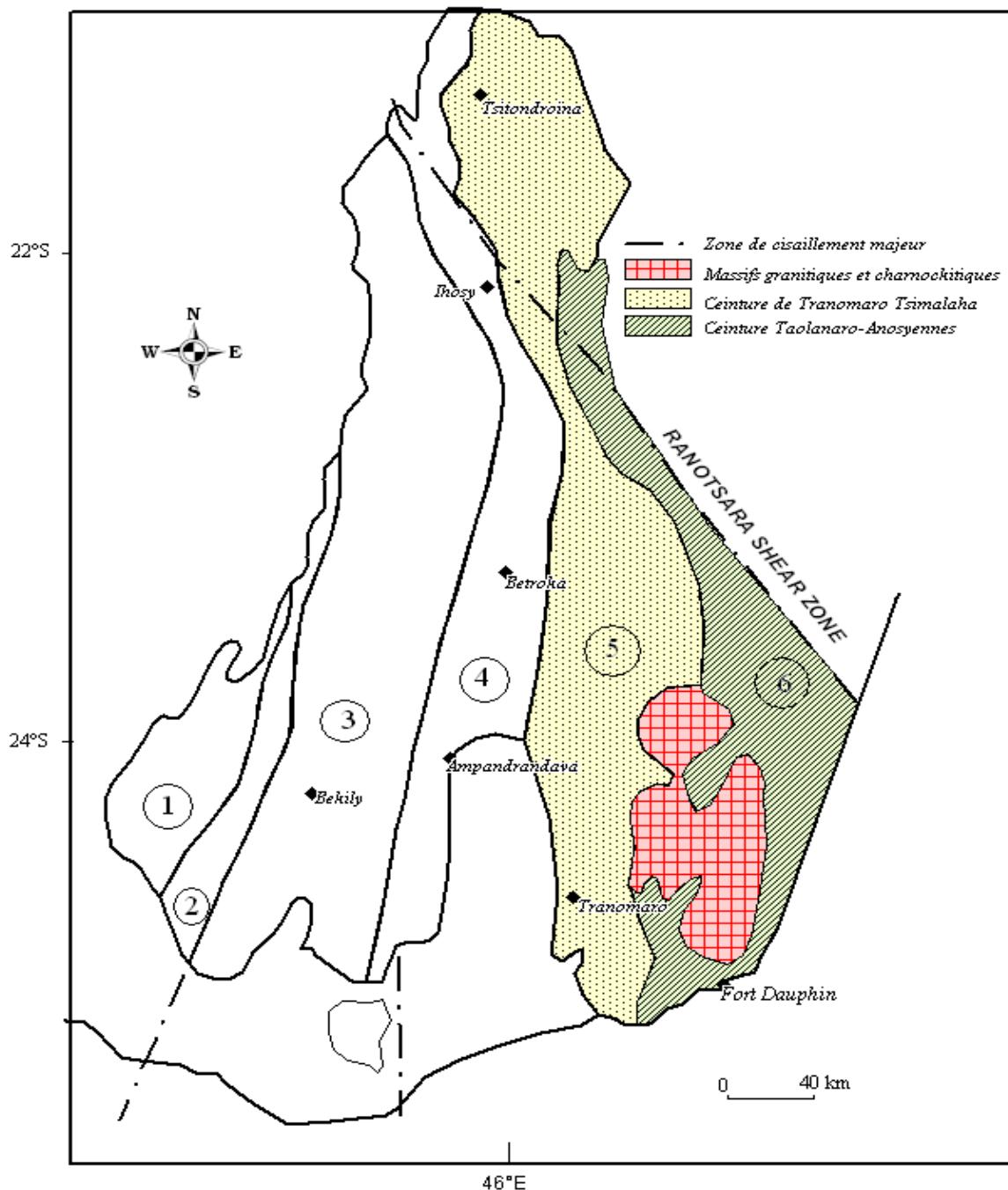
D'Ouest en Est, on a :

- la ceinture de Vohibory, constituée par des orthogneiss et des paragneiss à sillimanite et grenat qui sont intercalés dans des couches épaisses de marbre et d'amphibolite. Les minéralisations rencontrées sont à Mn, Fe et Cu qui sont des restes d'ophiolites (Ramambazafy, 1998). D'après Nicollet (1985,1990), les roches de base ont été converties par un métamorphisme de haute pression (9 - 11,5Kb) et se seraient stabilisées dans le faciès granulite à grenat.

- la ceinture d'Ampanihy formée par des gneiss à graphite et hornblende et/ou biotite. Les lentilles d'anorthosite dont celles d'Ankafotra et de Saririaka sont encaissées par ces formations. Cette ceinture est interprétée comme étant une zone de cisaillement ductile de type « strike-slip » alors que les anorthosites sont déformées suivant un mécanisme de cisaillement simple avec un aplatissement intense cité par Ramambazafy (1998).

- la ceinture de Bekily large de 50 kilomètres, qui est composée de paragneiss à sillimanite-cordiérite-grenat. La caractéristique de cette ceinture est marquée par sa minéralisation en phlogopithe qui la distingue de celle de Vohibory et de tout le secteur centre Nord.

- la ceinture de Betroka, linéaire et escarpée, large de 20 à 50 kilomètres, caractérisée par des gneiss à sillimanite-cordiérite-grenat et qui contient des couches de



**Fig.5- Carte montrant les six ceintures magmatiques du secteur Sud
D'après Windley et al 1994**



métasédiments et un fusion crustale de granite (Nicollet, 1985). La paragenèse à enstatite, sillimanite, saphirine et cordiérite indique des conditions de haute température et de haute pression (9,5 Kbar et 950°C) pour cette ceinture (Ramambazafy, 1998).

- la ceinture de Tranomaro large de 40 à 60 kilomètres est caractérisée par des paragneiss, d'orthogneiss, des roches granitiques, dont la mise en place a été responsable de la constitution de Skarn à Urano-Thorianite au sein des métasédiments.. Les borosilicates de haute température se sont formés dans le paragneiss. L'Eocambrien est bien marqué dans la ceinture de Tranomaro. En effet les événements suivants sont définis :

- un magmatisme à l'origine du granite de Vohimena dont l'âge de cristallisation est de 565 ± 7 Ma (Paquette et al., 1994)

- un métamorphisme granulitique responsable de la mise en place de filons de granodiorite et de charnockite au 561 ± 12 Ma (Andriamarofahatra, 1990) et des pyroxénites d'âge 565 ± 15 Ma. Ces pyroxénites ont par la suite été définies comme étant parmi les produits d'une Skarnisation (Rakotondratsima, 1983).

- une circulation tardive au 523 ± 5 Ma responsable de la formation du zircon dans les minéraux de la calcite (Ramambazafy, 1998).

- la ceinture de Taolagnaro-Chaînes Anosyennes montre une certaine linéarité. Elle est formée par des leptynites à cordiérite grenat, des granites et charnockites, et de rares pyroxénites et des gneiss mylonitiques à texture granulitique à quartz étiré (Hottin, 1976). Ces leptynites sont traversées par des réseaux de veines sombres à feldspath potassique (Bazot, 1974). La foliation et la linéation minérale dans les gneiss sont conservées dans ces veines qui sont interprétées comme la recristallisation de la charnockite. Les charnockites de Chaînes Anosyennes ont des âges modèles de 2,1-2,8 Ga par Sm-Nd (Paquette et al, 1994), ce qui montre qu'elles sont situées au Protérozoïque Inférieur. L'âge à 570 ± 3 Ma obtenu sur zircon avec U-Pb dans les charnockites a été interprété par Paquette et al. (1994) comme étant l'âge de la cristallisation des protolithes granitiques dans des conditions du faciès granulite.



CHAPITRE II :
GRANDS TRAITS GEOLOGIQUES DU SECTEUR D'ETUDE



CHAPITRE II : GRANDS TRAITS GEOLOGIQUES DU SECTEUR D'ETUDE :

Géologiquement, la région de Taolagnaro et le secteur de Manangotry sont localisés au Sud de la structure majeure de Bongolava-Ranotsara et se trouvent dans la ceinture « Taolagnaro-Anosyenne ».

II-1- Description des formations géologiques :

Deux formations principales occupent la presque totalité de notre région d'étude. A la base, les couches alumineuses de Fort-Dauphin et au sommet les granites et charnockites stratoides des Chaînes Anosyennes (**fig.6** ; **fig.7**). L'ensemble des séries a été repris dans des zones de faciès métamorphique du type granulite. La région est formée par :

- des roches ignées avec de granites et charnockites ;
- des roches cristallophylliennes constituées de leptynites et de gneiss à cordiérite.

Des filons basiques, des bancs de quartzite et de pyroxénite existent aussi dans le secteur étudié.

II-1-1- Les formations ignées :

C'est un complexe granitique constitué principalement par de la charnockite et du granite à grenat-biotite. Ces roches occupent la majeure partie de la région. Des lentilles de quelques dizaines de mètres d'apatitite à biotite, zircon et grands cristaux de monazite sont localement observées. Le granite renferme aussi à l'état de septa, des enclaves de paragneiss à amphibole, de pyroxénite et de wernéritite.

➤ Les granites :

Le faciès pétrographique commun est un granite orienté, porphyroïde à méga cristaux de feldspath potassique, plagioclase, biotite, pyroxène et minéraux divers. Le grenat est accessoire. Il correspond aux granites définis sous le nom de «granites Esiriens» décrits par Besairie (1948) cité par de la Roche (1956).

Les travaux plus récents font apparaître une certaine hétérogénéité interne des Chaînes Anosyennes dans lesquelles ont été distingués des zones de leptynite et des



complexes où les granites sont intimement associés à divers faciès cristallophylliens.

Les pendages des foliations sont généralement faibles tant à la périphérie qu'à l'intérieur du massif granitique. Les granites, dans l'ensemble, présentent un caractère stratoïde net.

Les septa ou enclaves intra granitiques (pyroxénite, gneiss à hypersthène, faciès alumineux ou ferromagnésiens) montrent des caractères pétrographiques particuliers témoignant de l'influence de la granitisation. Les enclaves hyperalumineuses ou ferromagnésiennes sont interprétées comme des fronts intragranitiques où se concentrent certains éléments remis en mouvement par la granitisation (de la Roche et Marchal, 1955)

Les granites Anosyens renferment d'importantes minéralisations en ilménite, magnétite, monazite dont l'accumulation à la suite de l'érosion des chaînes a constitué les sables littoraux minéralisés de la région de Taolagnaro.

➤ Les Charnockites :

Souvent porphyroïdes, ils forment l'essentiel des granites. D'après, Bazot (1974), l'apparition de l'hypersthène, d'abord co-existant avec le clinopyroxène, puis seul avec la disparition de la biotite marque le passage au faciès charnockitique qui témoigne d'un métamorphisme de degré plus élevé. Il est caractérisé par une teinte jaune verdâtre dite de cassonade due à l'altération du feldspath potassique (Lacroix, 1922) sous le nom de faciès malgachitique. Ces vastes complexes malgachitiques prédominent dans la zone centrale des Chaînes Anosyennes et dans leur extrémité Sud.

D'après de la Roche (1958) cité par Bazot en 1974, le faciès malgachitique s'accompagne d'une décroissance des positions hexacoordonnées dans lesquelles était installée une partie de l'aluminium et du fer ferrique. Et au sens descriptif, le faciès charnockitique est caractérisé par la coexistence du feldspath potassique, de l'hypersthène et parfois du grenat. Mais Bazot (1974), précise que certaines roches dites du type malgachitique ne contiennent pas d'hypersthène mais plutôt une diopside ferrifère et d'après lui, il n'est pas écarté qu'une grande partie des malgachites ne soit en fait qu'un faciès d'altération superficiel du fer par oxydation habituellement lié au potassium.



II-1-2- Les formations cristallophylliennes :

Ce sont des roches silico-alumineuses parmi lesquelles le faciès commun est la leptynite à grenat, cordiérite, spinelle qui forme la partie Sud des Chaînes Anosyennes. Les gneiss à cordiérite sont regroupés sous le nom de couche d'Antsakomiry tandis que les leptynites à cordiérites et à grenat constituent la couche de Fort-Dauphin.

- La couche d'Antsakomiry :

Le faciès pétrographique type d'après Bazot (1974), est représenté par des gneiss rubanés à biotite, cordiérite, spinelle, orthose, (plagioclase, grenat, sillimanite).

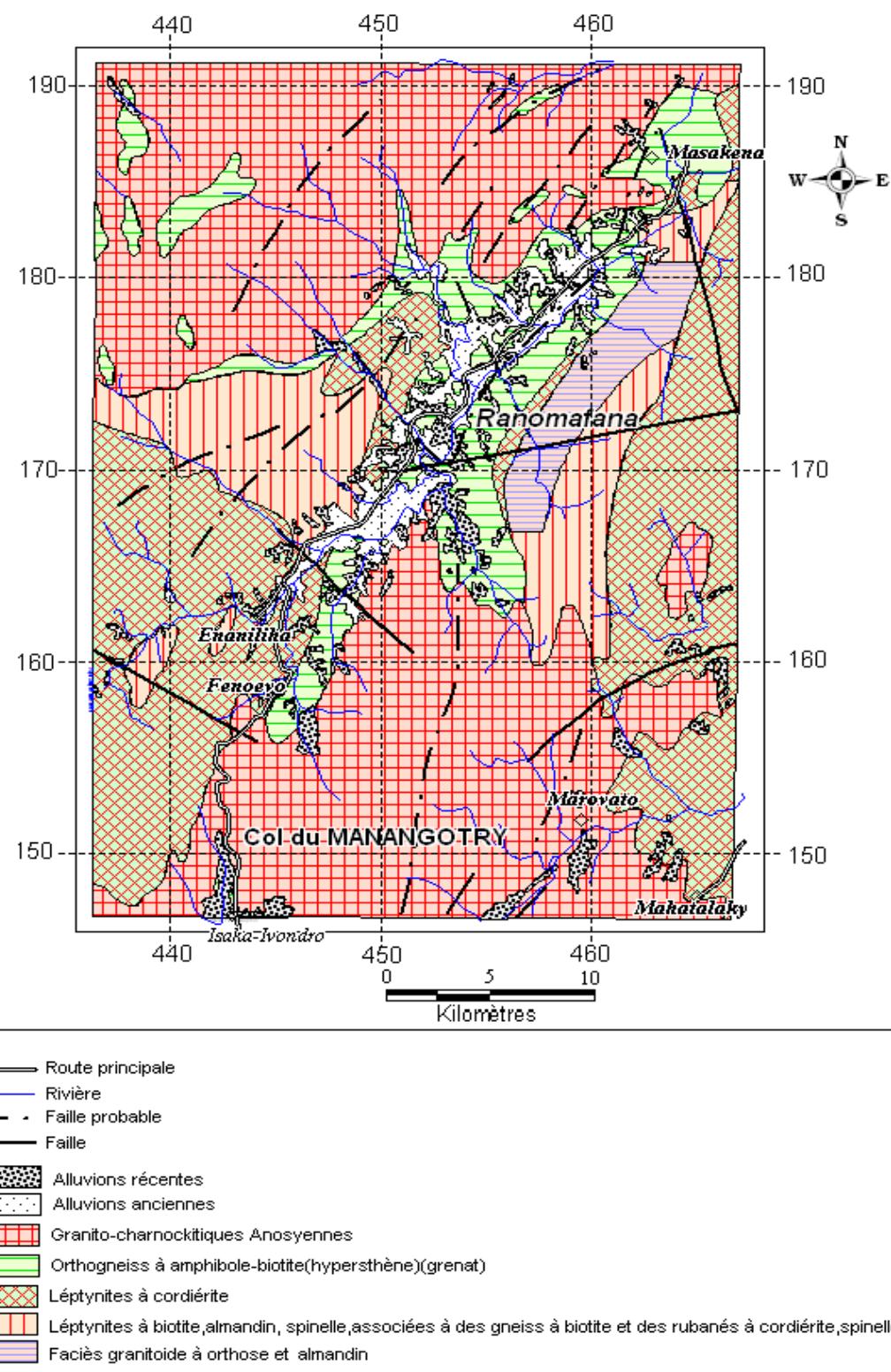
- La Couche de Fort-Dauphin :

Ce sont des leptynites homogènes à cordiérite et grenat. Les leptynites constituent la formation la plus étendue dont la coïncidence morphologique est remarquable, dessinant des croupes molles de la pénéplaine qui descend en pente faible vers l'Océan Indien. Il s'agit de leptynites dont la caractéristique la plus frappante pour l'observateur de terrain est leur remarquable homogénéité de faciès. L'absence presque totale des minéraux hydroxylés les a classé dans la zone de faciès ultra métamorphique. Le faciès pétrographique type est une leptynite homogène très leucocrate, bleutée, à grain moyen et à texture orientée de tous les minéraux (Bazot, 1974). La schistosité n'apparaît que dans les types les plus riches en éléments colorés. Ce sont les roches les plus profondes et par conséquent les plus transformées de la région (Marchal. ,1955)



II-1-3- Les formations superficielles

D'après Bazot (1974), la série sédimentaire récente n'est pas précisément datée, faute d'horizon fossilifère. Bésairie (1973) rapporte au Néogène les argiles kaoliniques et les sables plus ou moins consolidés par rapprochement aux sédiments de la région d'Ambovombe et Behara. Les argiles, les argiles bariolées, et les sables argileux à niveaux d'alias des environs de l'aérodrome de Taolagnaro et d'Ambandrika sont assimilés au Plioquaternaire. Il s'agit de sables mixtes provenant à la fois de l'arasement d'anciennes crêtes dunaires et du démantèlement des bancs de quartzites du socle ; leur consolidation sur le rivage a fourni les grès plus ou moins calcaires à stratifications entrecroisées de la page de Libanona et de la pointe Echoala près de Taolagnaro.



**Fig.6- Carte Géologique numérisée de Ranomafana du Sud
(feuille NO61), Ech : 1/100.000 extrait de BAZOT (1978)**

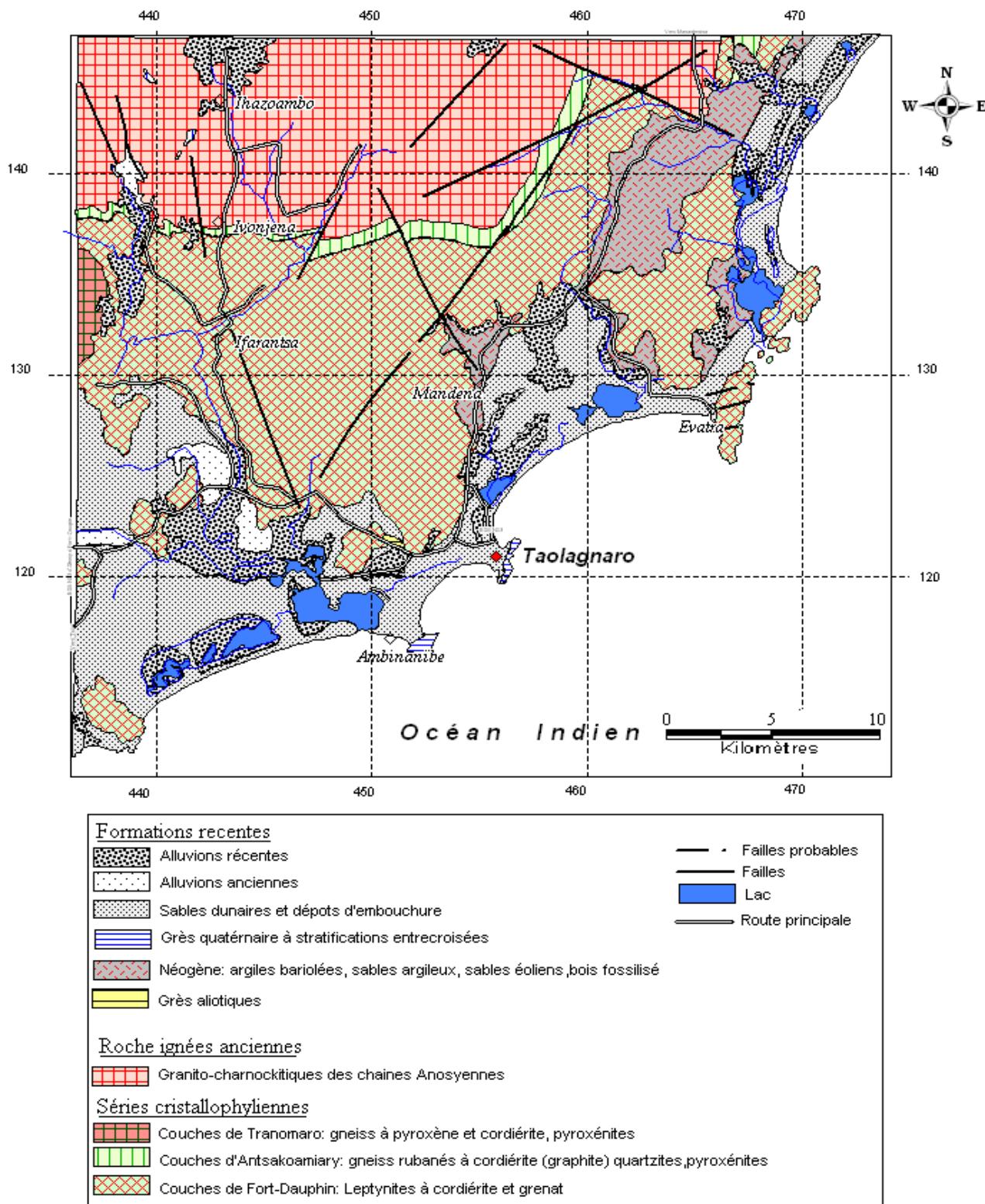


Fig.7- Carte Géologique numérisée de la région de Taolagnaro (feuille NO62), Ech : 1/100.000 extrait de Verstraete, G.Bazot (1978)



II-2-Tectonique

Deux styles tectoniques sont reconnus sur la feuille NO62 de Taolagnaro. Dans la région des Chaînes Anosyennes, il n'existe que des plis larges étalés à plongement faible, tandis qu'un peu plus au Sud, une succession de plis serrés et déversés est notée. Les formations granitiques apparaissent dans les synclinaux tandis que les leptynites forment les anticlinaux.

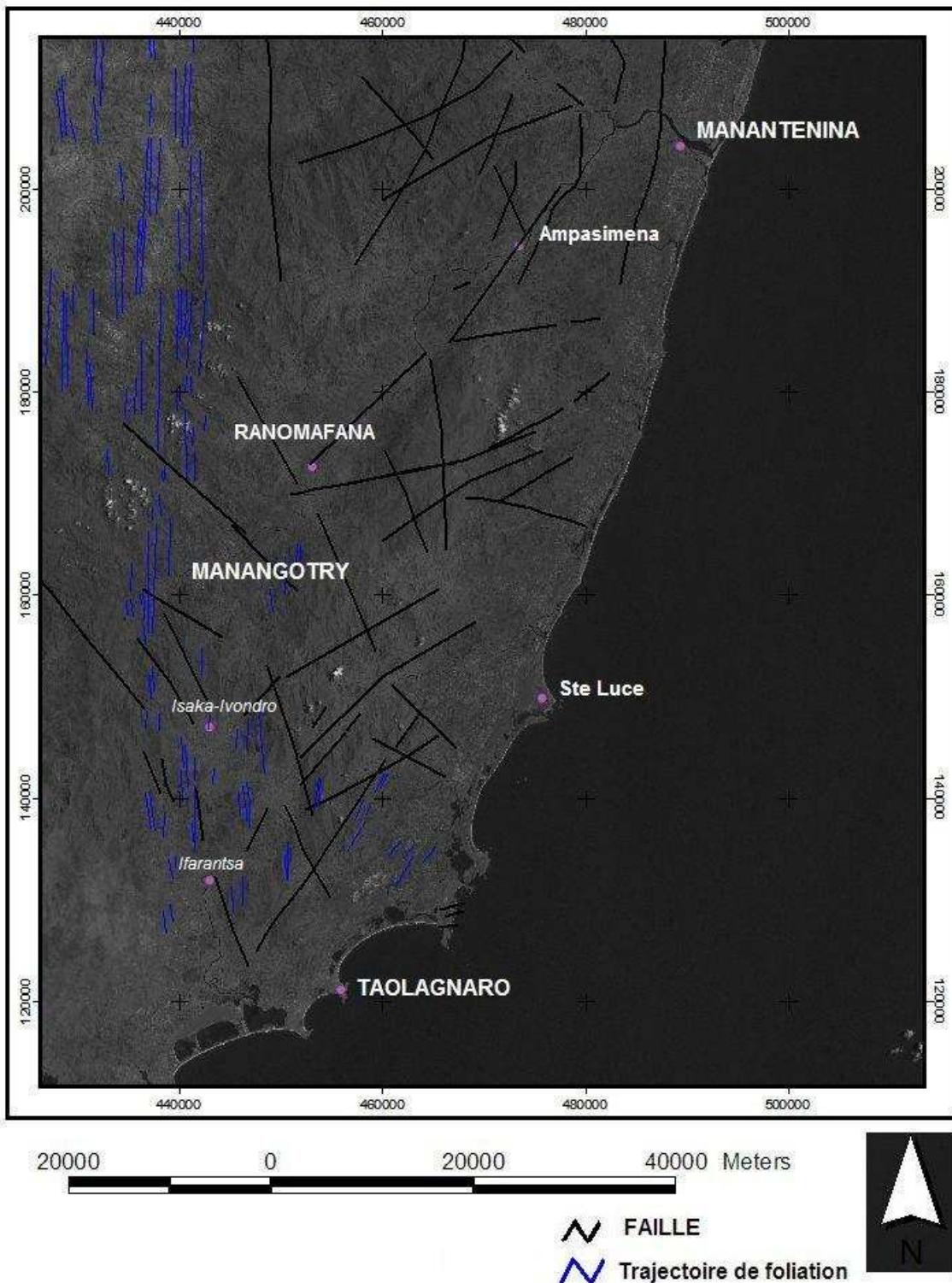
Sur la feuille NO61 de Ranomafana Sud, la direction générale des structures est Nord-Sud à N20°E. D'Ouest en Est, les granites et les charnockites des Chaînes Anosyennes constituent un synclinal et sont concordantes avec les leptynites et granulites du groupe de Fort-Dauphin qui dessinent un vaste pli anticlinal N20°E à déversement Est dans la partie occidentale de la feuille.

Les leucogranites à grenat renferment souvent des enclaves charnockitiques à grain moyen parfois plissées. L'ensemble granitique est caractérisé par une foliation bien marquée. En général, les granites sont orientés NNE-SSW.

L'utilisation d'une image Landsat permet de distinguer diverses fractures en utilisant le canal panchromatique tm8 (fig.8).

Les linéaments sont très fréquents et ont des orientations presque submériennes dans le secteur de Manangotry. Les linéaments des leptynites de Fort-Dauphin ont une orientation NE-SW.

Dans les formations granitiques, les failles sont nombreuses et se recoupent entre elles. Elles ont deux directions bien distinctes : la première direction est de NE-SW et la seconde NNW-SSE.



**Fig.8- CARTE TECTONIQUE DE LA REGION
(Image Landsat 7 Etm+)
Canal tm8**



II-3- PETROGRAPHIE DU COMPLEXE GRANITO-CHARNOCKITIQUE :

II-3-1- LES GRANITES ET LES CHARNOCKITES

Les granites et les charnockites sont les principales formations des Chaînes Anosyennes. D'une manière générale, le faciès pétrographique commun est un granite orienté, porphyroïde à mégacristaux de feldspath potassique, riche en quartz, à minéraux colorés plus ou moins abondants tels que la biotite, le clynopyroxène, l'orthopyroxène, la biotite. La formation des roches du type charnockite se fait dans le faciès granulite. Des textures grenues sont également observées sur les granites et les charnockites. Des lentilles (de quelques mètres) d'apatitite à biotite, zircon et grands cristaux de monazite sont par endroit décrites (Expl : Col du Manangotry).

Les granites et charnockites représentent un mode de gisement stratoïde.

Ces granites ont été classés en deux types :

- Des granites roses à grenat et/ ou biotite
- Des charnockites

D'après de la Roche (1956), il n'est pas possible de préciser la répartition sur le terrain de ces variétés de granites qui semblent étroitement imbriquées en de nombreuses zones. Les granites à grenat et biotite prédominent sur le versant Ouest des Chaînes tandis que les charnockites constituent la zone centrale des Chaînes et leur extrémité Sud.

II-3-1-1- Les granites à grenat et / ou biotite :

Ce sont des granites roses avec comme minéraux colorés le grenat et/ou la biotite. Ils ont une texture orientée et porphyroïde à aspect pegmatitique. Le feldspath potassique est souvent une orthose perthitique.

Comme paragenèse minérale, on a :

Qz + Plagio + Fk + Biotite + Grenat ± Zircon, Ilménite, Monazite

Voici quelques exemples de faciès types observés au microscope optique. (fig.9, 10 et 11)

DN 12 : granite à biotite (Col du Manangotry)

Localisation : E 046° 51.762'

S 24°45.701'

Au microscope optique (fig.9), les minéraux sont essentiellement, le quartz caractérisé par son extinction roulante en lumière polarisée ; les plagioclases (oligoclase-andésine) très abondants, les feldspaths potassiques reconnaissables par la macle en jupe écossaise du microcline, et souvent perthitiques. Le clynopyroxène est présent. La biotite brun rouge est très abondante et est souvent associée au grenat automorphe à subautomorphe. Les minéraux accessoires sont la monazite, le zircon et l'ilménite.

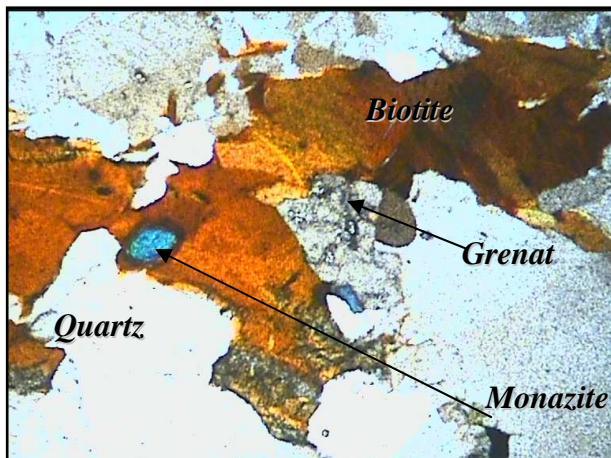
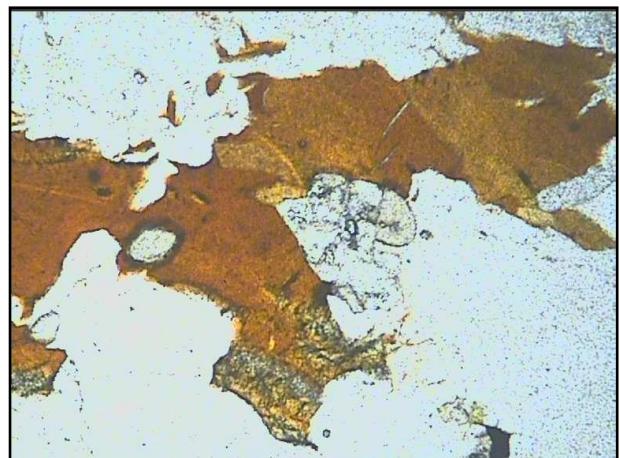
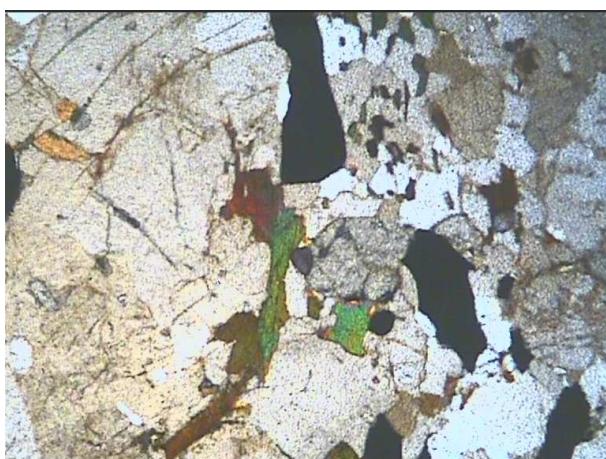
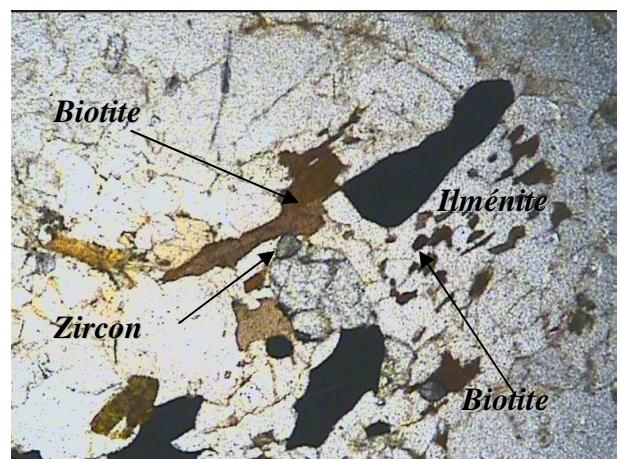
MICROPHOTOGRAPHIE DN12 (x5) en LP, LN**LP****LN****LP****LN**

Fig.9 Microphotographie (X5) DN12 d'un granite à biotite du Col de Manangotry,

DN 49 : granite à biotite

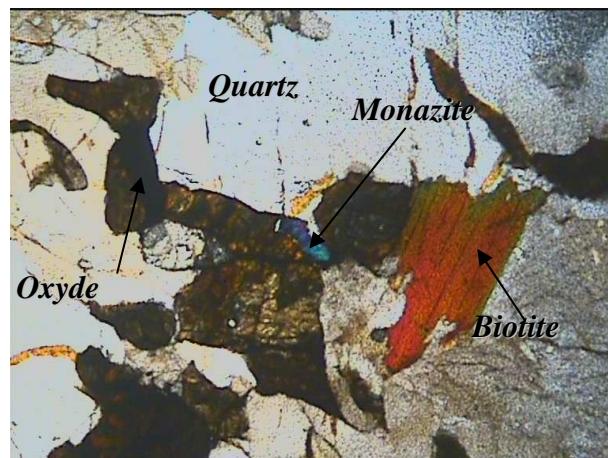
La roche a une morphoscopie granulaire pegmatitique.

En lame mince (fig.10), les grands cristaux de quartz sont dominants par rapport aux grands cristaux de feldspath et les autres minéraux ; la biotite de couleur brun rouge avec un fort pléochroisme et une biréfringence élevée est assez fréquente. Des minéraux altérés (oxyde) et opaques sont aussi à signaler.

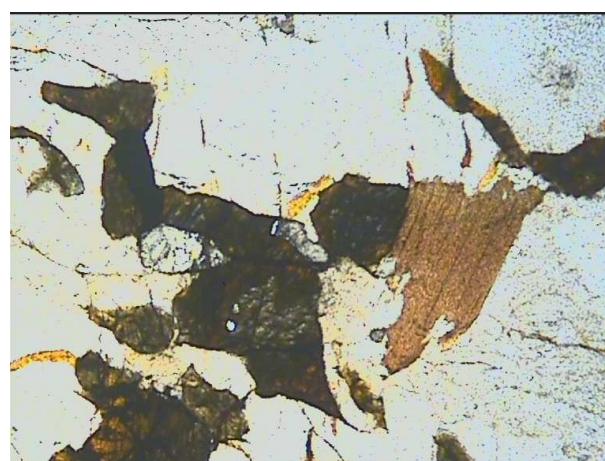
Comme minéraux accessoires, on a de l'ilménite, de la monazite, et du zircon.

Fig.10- MICROPHOTOGRAPHIE DN49 ($\times 5$) en LP, LN :
Granite à biotite

LP



LN



DN 50 : (Fig.11)

Filon qui recoupe le granite (DN 49).et de la même composition minéralogique sauf qu'il est pauvre en biotite et plus ou moins riche en pyroxène.

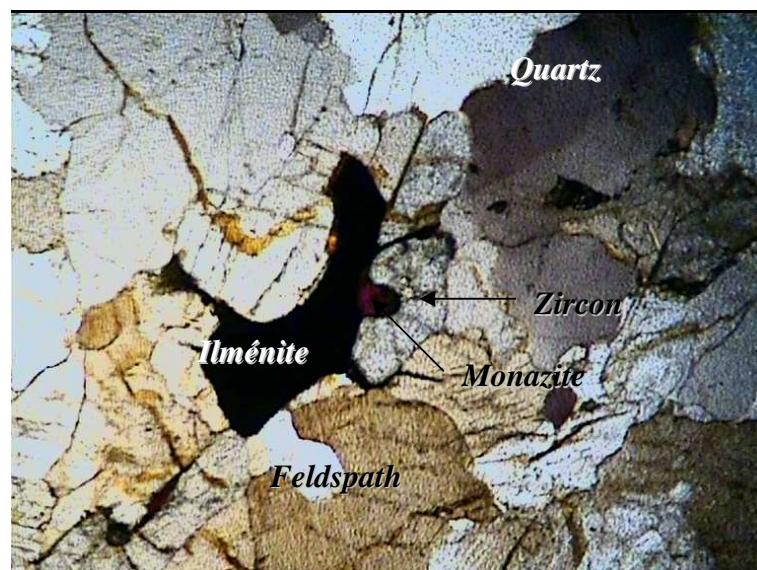
LP**LN**

FIG.11_MICROPHOTOGRAPHIE DN50 (x5) en LP, LN



DN 51 : granite à grenat

Filon plus récent qui recoupe DN 50, riche en grenat et pauvre en minéraux ferromagnésiens. La roche ne contient pas de monazite.

En lame mince, le quartz est abondant. Le feldspath potassique domine par rapport au plagioclase. Le grenat souvent automorphe à subautomorphe, est en gros cristaux et le zircon est un minéral accessoire.

II-3-1-2-Les Charnockites :

Elles ont une teinte verdâtre généralisée. La coloration des feldspaths confère un aspect sombre à la roche.

Le faciès charnockitique, au sens descriptif, est caractérisé par la coexistence du feldspath potassique et de l'hypersthène.

L'hypersthène coexiste avec le pyroxène monoclinique et présente ainsi une tendance plus ferrifère (Bazot, 1974) et avec la biotite de couleur brun rouge due à l'altération.

Comme paragenèse minérale, on a :

Quartz + Plagioclase + Feldspath potassique + Clinopyroxène + biotite ± grenat ± Zircon, ilménite, monazite.

D'après de la Roche (1956), la biotite brun rougeâtre provient souvent de l'altération de l'hypersthène.

Ce cas est le faciès commun des charnockites des Chaînes Anosyennes

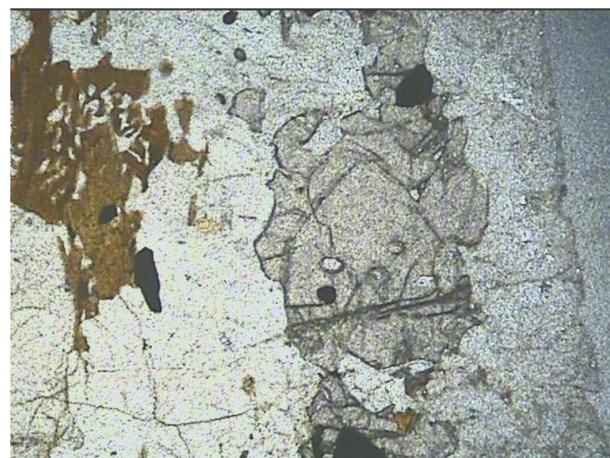
DN 13 : Charnockite du Col de Manangotry

En lame mince (fig.12), la texture est massive, les feldspaths potassiques de grande taille dominent par rapport aux quartz souvent à extinction roulante.

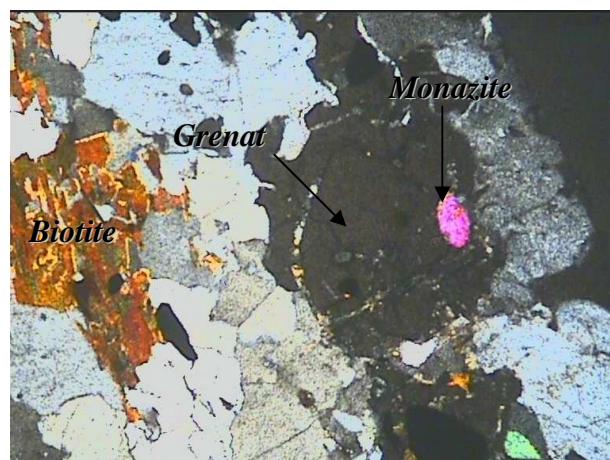
Quelques plages de plagioclase (andésine) de taille plus petite que les feldspaths potassiques sont à signaler. Le pyroxène monoclinique présente une tendance plus ferrifère. La biotite brun rouge presque altérée est très faible.

Comme minéraux accessoires, on a de l'ilménite, du zircon, et de la monazite disséminée en grain.

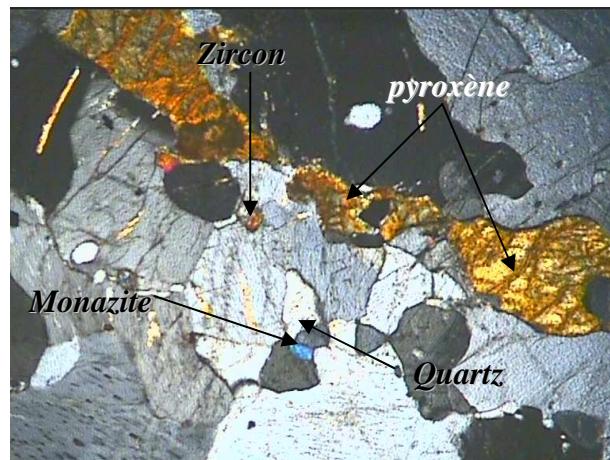
FIG.12. MICROPHOTOGRAPHIE ($\times 5$) d'une charnockite (DN13) en LP,



LN



LP



LP



II-3-2- CONCLUSION :

Les roches granito-charnockitiques des chaînes Anosyennes sont caractérisées par les assemblages minéralogiques suivants (Ramambazafy, 1998) :

- granites à faciès charnockitique : Qz + Plagio + Fk + Opx + Biot + Horn ± Zircon, Ilménite, apatite
- granites à grenat et /ou biotite : Qz + Plagio + Fk + Gt + Biot + Horn ± Ilménite, apatite, zircon, rutile

Or d'après notre étude pétrographique, les granites et charnockites contiennent de la monazite comme minéral accessoire :

- granites : Qz+ Plagio + Fk + Biot + Grt ± Zircon, Ilménite, Monazite
- charnockites: Qz + Plagio + Fk + Cpx + biot ± grenat ± Zircon, ilménite, monazite



CHAPITRE III

GITOLOGIE DES GISEMENTS DE MONAZITE DETRITIQUE LE LONG DE LA VALLEE DE L'IFAHO JUSQU'A SON EMBOUCHURE A AMBINANIBE



CHAPITRE III : GITOTOLOGIE DES GISEMENTS DE MONAZITE DETTRITIQUE LE LONG DE LA VALLEE DE L'IFAHO JUSQU'A SON EMBOUCHURE A AMBINANIBE

III-1- INTRODUCTION :

Tous les indices de monazite importants sont localisés dans le complexe granito-charnockitique et sur le littoral (**fig.13**). Rappelons que l'objectif majeur de ce mémoire, c'est d'étudier les comportements des concentrations en monazite détritique le long du fleuve Ifaho. La genèse des ces concentrations en monazite est favorisée par la présence de roches sources favorables. La richesse en monazite détritique du littoral dépend de la constitution des zones lessivées qui sont les Chaînes granitiques Anosyennes riches en monazite.

Les gisements en place de monazite sont situés dans le complexe granitique et dont le démantèlement alimente les gisements détritiques à monazite le long du fleuve Ifaho et sur le littoral de Taolagnaro. On rencontre deux types de gisement en place de monazite :(fig.13)

- monazite des filons pegmatitiques ;
- monazite disséminée et accessoire dans les roches granito-charnockitiques

III-1-1- Les monazites en filon pegmatitique:

Toutes les pegmatites à monazite sont encaissées dans les granites. Leur mode de gisement et la dimension de leurs cristaux sont variables.

En 1952, la reconnaissance géologique du Commissariat français à l'Energie Atomique a débouché sur la découverte d'une pegmatite à monazite dans les chaînes granitiques Anosyennes.

De la Roche et Marchal (1955-1956) cité dans Behier (1960) ont étudié l'indice du Col de Manangotry. La pegmatite à monazite du Manangotry offre un exemple de pegmatite à gros cristaux.

Andriamanantena (1993) a étudié le massif de Manangotry et ses minéralisations en monazite. Il a montré que la monazite est concentrée dans des veines à apatite (probablement en relation avec des manifestations hydrothermales tardives).

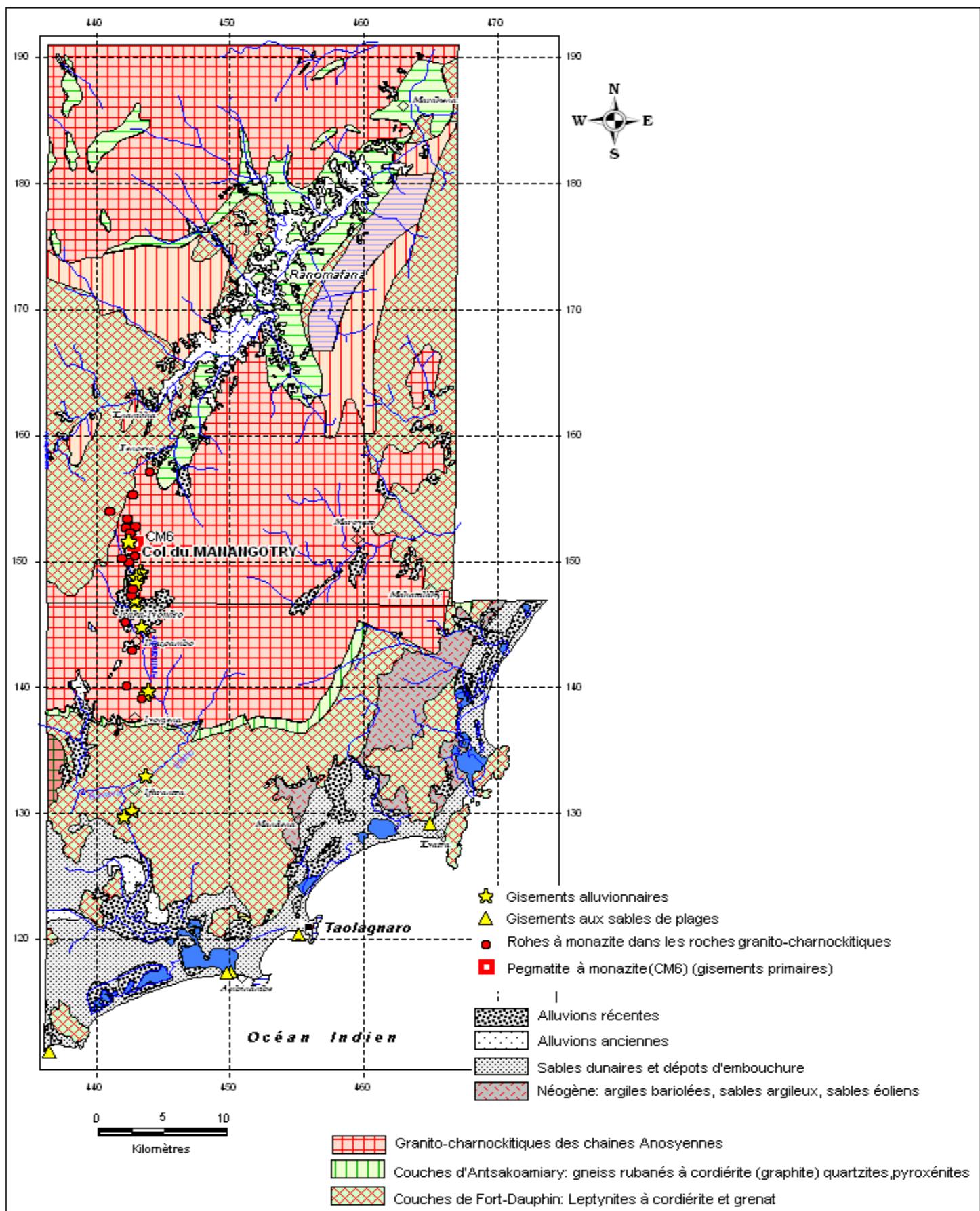


Fig.13 GEOLOGIE DES INDICES



- Description générale de l'affleurement

Au Col de Manangotry :

Position géographique : E : 046°51'748

S : 24°45'901

Cet indice se situe au Col de Manangotry, à une trentaine de kilomètres au Nord Nord-Ouest de Taolagnaro et à 6 kilomètres d'Isaka Ivondro. Pendant notre descente sur le terrain, nous avons pris comme origine des distances le village d'Isaka Ivondro.

On rencontre des pegmatites alternant avec de l'apatite (ph.7 en Annexe 1), le filon de monazite est bien visible sur un talus de route et avec comme roche encaissante du granite. Le filon pegmatitique est concordant à la foliation des feuillets granitiques encaissants. La radioactivité mesurée sur cet endroit est supérieure à 500 Cp/s.

Sur la route, on observe des cristaux de monazite de taille centimétrique en éluvion au Col de Manangotry.

La lentille pegmatitique à apatite et à gros cristaux de monazite atteint trois à quatre mètres de puissance et son extension de direction N20°E, 35°SE est de 35 mètres. C'est une pegmatite fortement kaolinisée. On y trouve des variétés à grain fin, souvent riche en biotite. Cette pegmatite renferme des veines et des lentilles très riches en biotite pouvant se présenter en grandes lames et qui alternent avec des lits riches en apatite. Les gros cristaux jaune marron de monazite se trouvent à l'intérieur de la zone à biotite.

La pegmatite commune essentiellement quartzo-feldspathique et les zones à biotite semblent être très faiblement minéralisées et en plus, la monazite se présente en grain plus fin.

Dans sa partie principale, l'affleurement est de bas en haut formé par :

- Au pied de la paroi : granite à gros grain kaolinisé
- une pegmatite concordante kaolinisée à biotite, monazite, grenat, zircon, apatite et quartz enfumé.



- Une masse pegmatitique atteignant trois mètres de puissance à très gros cristaux d'apatite jaunâtre à blanchâtre. Cette masse à apatite renferme des petites lentilles à gros cristaux de monazite, biotite en grosses paillettes.

III-1-2- Monazite disséminée dans les roches encaissantes:

En général, la monazite se présente en minéral accessoire au sein des granites et des charnockites. Ce sont des roches riches en quartz et feldspath avec des minéraux plus ou moins abondants (biotite, grenat, orthopyroxène, amphibole); de structure grenue et de texture foliée.

Des études en lame mince des roches prélevées dans le massif de Manangotry montre la monazite disséminée parmi les minéraux interstitiels de la charnockite et du granite à biotite et à grenat. Elle se présente en cristaux de 1 à 5mm.

En lame mince, et en lumière naturelle la monazite est de couleur jaune à jaune brun, à grain fin, à pléochroïsme très faible et un relief très fort. En lumière polarisée, elle montre une biréfringence très forte dans le ton du second ordre.

III-1-2-1- La monazite disséminée dans la charnockite :

DN 13 :

Charnockite du Col de Manangotry

Localisation : E 046°51.758'

S 24°46.088'

La monazite se présente comme minéral accessoire. La roche est constituée par des feldspaths potassiques plus abondants que les minéraux du quartz, la biotite est presque altérée. La roche est grenue.

En lumière naturelle, la monazite est reconnaissable par son relief très fort. Elle est de taille plus petite par rapport à celle de la biotite et du grenat. Elle est accolée au quartz. En lumière polarisée, sa biréfringence est très forte dans le ton du second ordre. On rencontre aussi d'autres minéraux de monazite accolés à de gros cristaux de grenat. Le quartz et le grenat sont contemporains de la monazite (fig.14).

MICROPHOTOGRAPHIE DN13 ($\times 5$) en LP

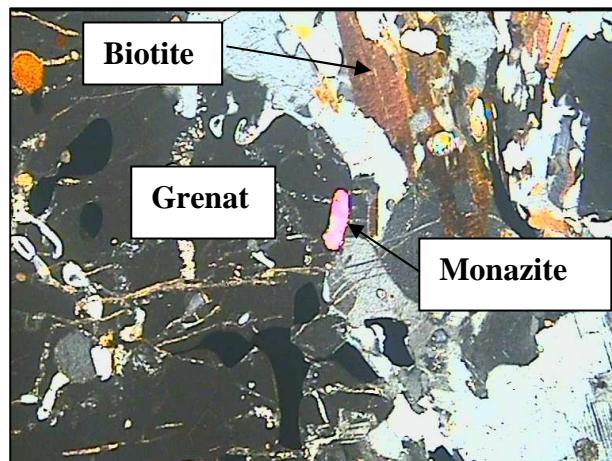
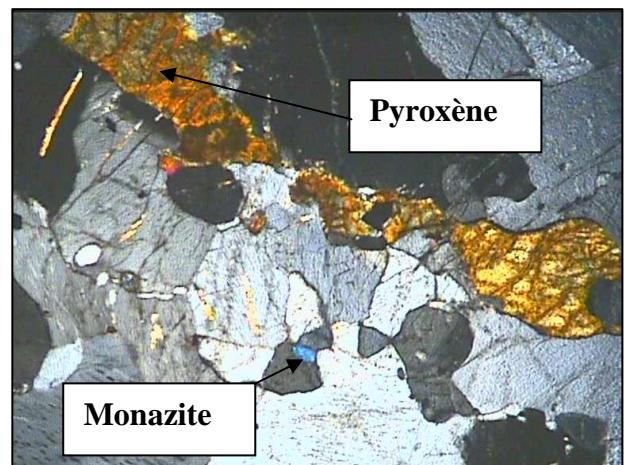
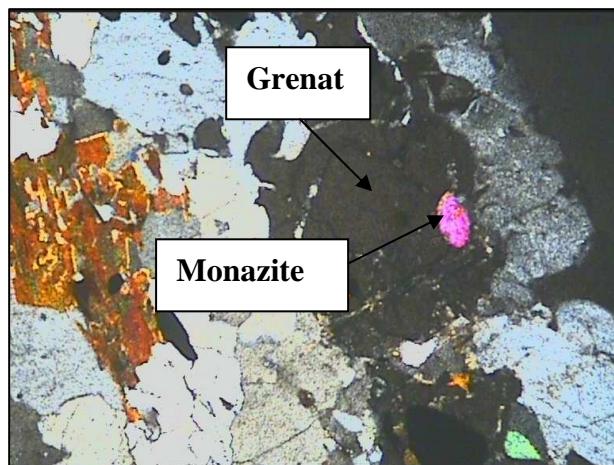


Fig.14- Monazite disséminée parmi les minéraux interstitiels dans la charnockite

MICROPHOTOGRAPHIE DN13 ($\times 5$) en LP

III-1-2-2- La monazite disséminée dans le granite :

La monazite peut se trouver en dissémination dans le granite. Elle se trouve alors parmi les minéraux en position interstitielle.

L'échantillon que nous avons étudié a été prélevé sur un granite à biotite, de structure grenue :

DN 12 : E 046° 51.762'

S 24°45.701'

La monazite se présente alors comme un minéral accessoire parmi les autres petits minéraux interstitiels. Il est difficile d'observer la monazite à l'œil nu car ses grains sont de très petite taille.

La monazite est incolore, à grain fin, à très fort relief. Elle est accolée à la biotite et elle a une demi-couronne de grains de quartz, grenat et biotite. (fig.15)

Le contour du minéral est presque altéré. La biotite et l'ilménite présentent un même étirement minéral. Ce n'est pas le cas de la monazite. Elle n'est pas déformée, donc elle est tardive et c'est un minéral accessoire. Ce qui justifie sa formule riche en terre rare légers et phosphatée.

MICROPHOTOGRAPHIE DN12 ($\times 5$) en LP

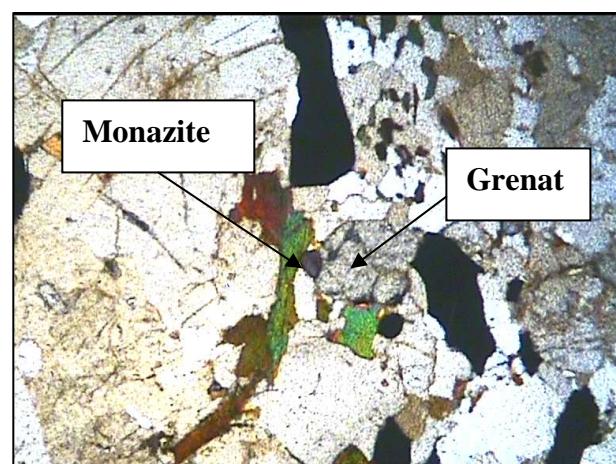
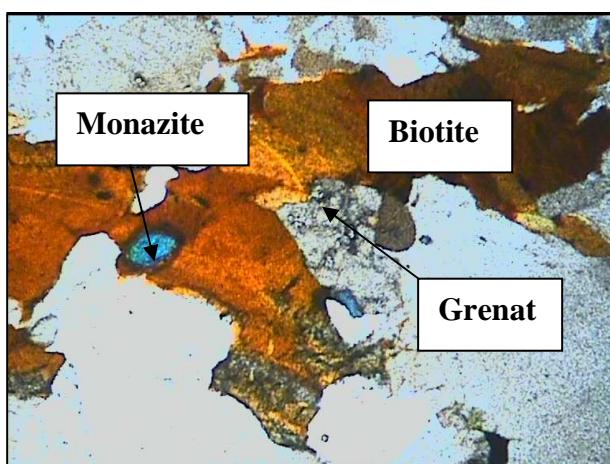


Fig.15 Monazite disséminée parmi les minéraux interstitiels dans le granite à grenat



III-2- LES GISEMENTS DE MONAZITE DETRITIQUES :

III-2-1- Introduction :

Les principales rivières qui descendent des chaînes Anosyennes ont favorisé le lessivage en grain de la monazite et généré ainsi la formation de gîtes notables de monazite dont certains ont été exploités dans les plages vives. Le fleuve Ifaho longue de 50 kilomètres prend sa source dans la zone forestière du massif de Manangotry. Les concentrations de monazite, et leur évolution morphoscopique le long de cette rivière, sont les principaux objectifs de notre étude.

III-2-2- Méthodologie :

Notre étude a comporté les opérations successives suivantes, effectuées autant sur le terrain qu'au laboratoire :

III-2-2-1- Sur le terrain :

III-2-2-1-1- Mesure de la radioactivité

Les mesures de la radioactivité ont été faites au scintillomètre Géométrics de Scintrex (Canada) qui mesure le champ total. L'examen au scintillomètre des zones radioactives a finalement conduit à la sélection des sables présentant une radioactivité moyenne suffisante (supérieur à 50Cp/s). L'émanation radioactive provient du thorium contenu dans la monazite.

III-2-2-1-2- Echantillonnage et numérotation

- Echantillonnage :

L'échantillonnage systématique des sables a été fait dans les ruisseaux et le fleuve Ifaho depuis leurs sources dans les Chaînes Anosyennes à leurs embouchures. Les échantillons récoltés présentent une radioactivité supérieure à 50 Cp/s. La figure 16 montre le repérage des échantillons sur une carte géologique de Fort-Dauphin (coupure NO62) et une partie de Ranomafana Sud (coupure NO61)



- Numérotation :

Nous avons utilisé des numérotations simples pour chaque échantillon prélevé afin d'éviter la confusion. Les indicatifs des échantillons sont les suivants :

TS, MT : échantillons récoltés par Andriamanantena (2006)

SD : échantillons récoltés par Razafimahatratra (2006)

III-2-2-2-Etude en laboratoire :

L'objectif est de séparer le minéral cible. L'étude d'un échantillon alluvionnaire requiert des fractions pures, ce qui nécessite des techniques de séparations et de traitements méticuleux. L'étude en laboratoire se fait en deux étapes :

- Analyse des sables pour la séparation des minéraux lourds
- Etude morphoscopique

III-2-2-2-1- Méthode d'analyse des sables

Une partie de la méthode de séparation a été effectuée par Razafimahatratra au Laboratoire de l'Université Paul Sabatier de Toulouse (France).

Préparation de l'échantillon

Puisque l'objectif principal est l'analyse de la monazite des différents sites, la séparation de la monazite des différents constituants du sables est nécessaire.

- La décarbonatation :

Cette opération a pour but d'éliminer le CaCO₃ en ajoutant de l'acide acétique (10%) dans les sables. On mesure le pH du milieu jusqu'à la coloration du papier pH en jaune (pH acide) qui marque la décarbonatation. On peut alors mesurer la teneur en CaCO₃ de l'échantillon.

- Séparation de l'argile :

- Passage pendant 15mn à l'ultrason de l'échantillon additionné d'eau chaude pour désagglomérer les particules fines.



- Tamisage sous 63μ pour séparer les argiles des éléments grossiers.

➤ Séparation des éléments légers des éléments lourds :

Le passage à la liqueur dense (bromoforme de densité = 2,9) permet d'obtenir deux populations de sables : sables légers (densité < 2,9) essentiellement formés de quartz, feldspath,... et les sables lourds (densité > 2,9) contenant de la monazite, zircon, apatite, ilménite,...

➤ Séparation magnétique des minéraux lourds: elle se fait avec un séparateur électromagnétique « Frantz Fanon» qui permet de varier l'intensité du courant afin d'obtenir diverses tranches de susceptibilités magnétiques. L'échantillon étant préalablement passé à l'aimant à main pour enlever la magnétite.

En premier lieu, on effectue la séparation des éléments moins magnétiques (monazite, apatite, zircon,..) des éléments moyennement magnétiques (ilménite, grenat,...) ; dans ce cas, l'intensité du courant utilisée est égale à ***0,625 A*** et le réglage de vibreur est de 2,8 secousse/seconde.

Pour séparer la monazite de l'apatite parmi les éléments peu magnétiques, l'intensité du courant a été relevée à ***0,75 A*** et le réglage du vibreur à maintenu à 2,8 secousse/seconde.

Pour séparer l'ilménite des éléments moyennement magnétiques comme les grenats, zircon, ...l'intensité du courant a été ramenée à ***0,25 A*** avec un réglage du vibreur restant à 2,8 secousse/seconde.

A la fin de la manipulation, la monazite, l'ilménite et l'apatite ainsi que d'autres minéraux lourds sont individuellement séparés.

Cette séparation magnétique a permis de distinguer ***quatre populations*** de minéraux lourds :

- *les minéraux peu magnétiques* : constitués surtout par *l'apatite*,...
- *la monazite* (avec quelques pyroxènes et amphiboles)
- *les éléments moyennement magnétiques* : constitués surtout par le *grenat* et le *zircon*
- *l'ilménite*.

A l'issue de cette séparation, il a été procédé une étude morphoscopique des minéraux de monazite qui ont pu être isolés.



III-2-2-2-2- Etude morphoscopique des minéraux lourds

L'étude morphoscopique des minéraux lourds a été effectuée au Laboratoire National des Mines et de la Géologie du Ministère de l'Energie et des Mines.

L'étude morphoscopique a pour but d'étudier les variations dans la forme des grains de monazite des divers gîtes de dépôts de la source jusqu'aux sables de plages. Ceci nécessite l'examen des minéraux lourds à la loupe binoculaire.

Il y a trois catégories principales de grains :

➤ Les grains non usés « N-U » :

Les grains « N-U » se caractérisent par leur forme anguleuse, que les cristaux soient automorphes (c'est-à-dire bien formés tels que les cristaux bipyramides) ou non. Les arêtes, c'est-à-dire les parties saillantes des grains ne présentent aucune trace de polissage ni d'arrondissement. Leur aspect de surface peut indifféremment être mat ou luisant. Ces grains caractérisent les arènes, les transports dans les cours d'eau douce sur de très faibles distances, les dépôts glaciaires, etc....

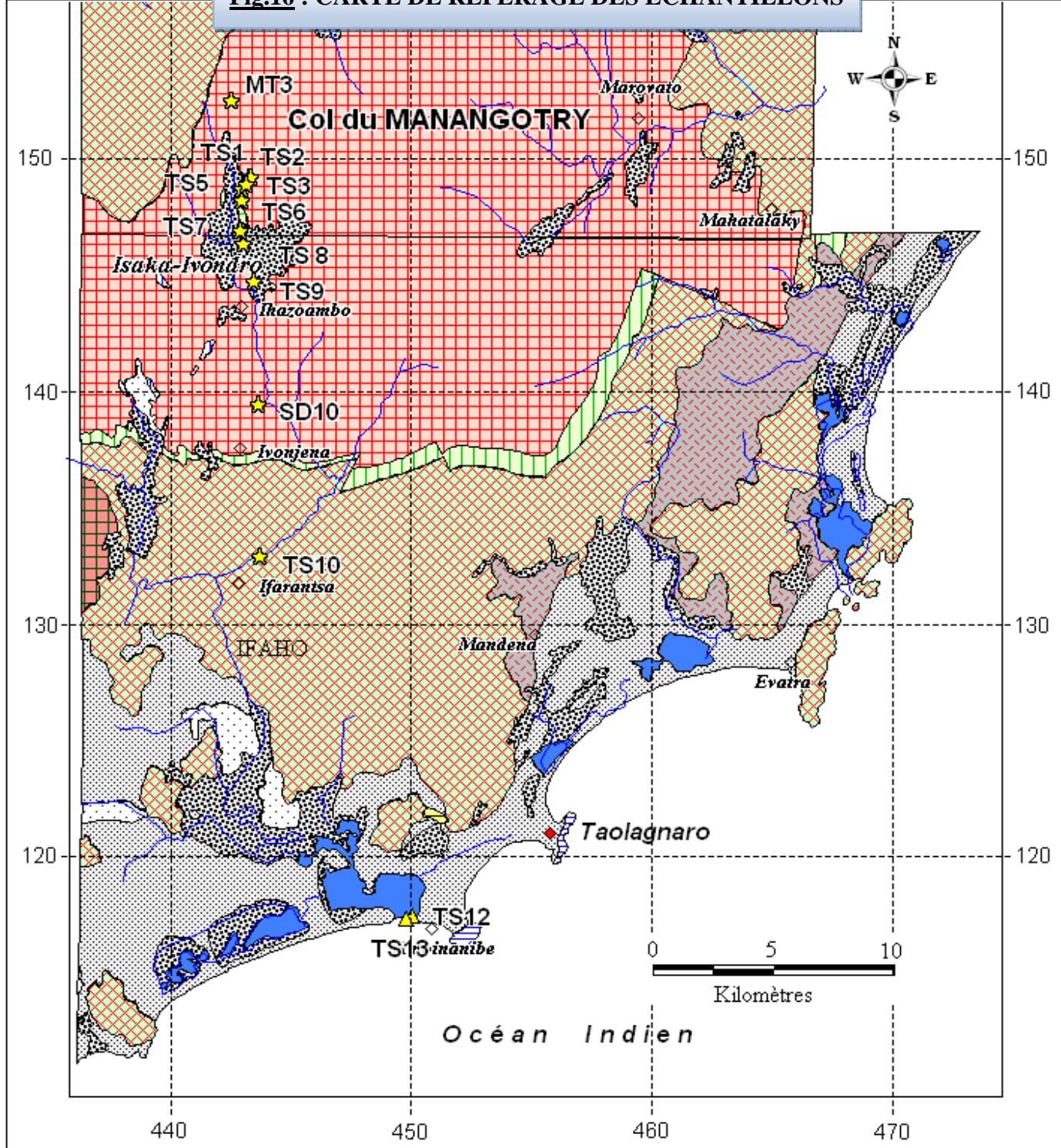
➤ Les grains émoussés luisants « E-L » :

Les « E-L » présentent une dominance d'arêtes arrondies et peuvent parfois acquérir la forme de sphères presque parfaites. Leur aspect de surface est toujours très poli, brillant, luisant sous l'éclairage de la loupe binoculaire. Ils sont caractéristiques de longs transports en milieux aquatiques continentaux (rivière, fleuve) ou d'évolutions en milieux marins (plateau continental, plages etc....)

➤ Les ronds mats « R-M » :

Comme leur nom l'indique, les « R-M » ont une morphologie générale sub-sphérique pouvant parfois atteindre celle d'une sphère parfaite. Leur aspect de surface est toujours dépoli et mat. Ils sont caractéristiques d'une évolution en milieu éolien, et essentiellement trouvés sur les dunes littorales et dans certains environnements désertiques.

Fig.16 : CARTE DE REPERAGE DES ECHANTILLONS



ANDRIAMANANTENA Tolotrarifetra

★ Sables à monazite

▲ Sables de plages et dunes à monazite

■ Alluvions récentes

□ Alluvions anciennes

▨ Sables dunaires et dépôts d'embouchure

▨ Néogène: argiles bariolées, sables argileux, sables éoliens

■ Granito-charnockitiques des chaines Anosyennes

▨ Couches d'Antsakaoamiry: gneiss rubanés à cordiérite (graphite) quartzites, pyroxénites

▨ Couches de Fort-Dauphin: Leptynites à cordiérite et grenat



III-2-3- LES INDICES ALLUVIONNAIRES

III-2-3-1- Généralités :

III-2-3-1-1- Les processus exogènes de formation des gisements :

Les gîtes éluvionnaires et alluvionnaires résultent du démantèlement par divers agents des gîtes primaires. Le couple altération-érosion est un processus de destruction mécanique et chimique des roches. Cette destruction est stimulée par l'action des variations de la température, de l'eau, des gaz et à l'activité des organismes végétaux et animaux dont l'homme. Il se forme alors des produits divers d'altération qui peuvent être transportés du lieu de leur formation à une certaine distance. La vitesse et l'intensité d'altération, dépendent d'un certain nombre de causes. Ainsi, dans les régions à climat tropical humide et à faible couverture végétale, l'altération est beaucoup plus intense que dans les régions à climat tempéré. À la suite des phénomènes d'altération, toutes roches et toutes autres formations pétrographiques et minérales affleurantes sont soumises à un démantèlement qui aboutit à la formation de matériels nouveaux sous forme, soit de débris (détritique ou clastique), soit de suspension colloïdale. Les masses de minéraux utiles peuvent se former, et subissent un léger déplacement, sinon elles sont dues à des accumulations plus lointaine et les débris s'effritent progressivement et libèrent alors les substances utiles ; qui, en cas de résistance mécanique de leur part, sont roulées. Le plus important des agents du couple érosion-altération est l'eau.

On distingue :

➤ Les gîtes éluvionnaires-colluvionnaires :

Dans lesquels, les matériels détritiques ont été transportés le long des pentes, sur une faible distance. L'effet de la gravité peut provoquer localement des enrichissements en minéraux lourds.

➤ Les gîtes alluvionnaires anciens :

Les alluvions anciennes forment des terrasses surélevées le long des vallées et entaillées par des cours d'eau actuels.



➤ **Les gîtes alluvionnaires actuels :**

Les matériels détritiques tapissent les lits actuels des cours d'eau. Les minéraux lourds peuvent provenir, soit du démantèlement de la terrasse ancienne, soit directement de l'érosion des gîtes primaires ou éluvionnaires.

III-2-3-1-2- Les placers :

Ce sont des accumulations meubles ou cimentées de matériel détritique contenant des minéraux utiles sous forme de débris. Ces minéraux utiles peuvent être : des métaux nobles (Or), des minéraux lourds, des pierres précieuses. Les minéralisations apparaissent sous forme de sables noirs dans les alluvions, terrasses anciennes...

La formation des placers est un processus hydraulique complexe, mais assez bien compris. Les périodes jeunes et séniles de l'évolution morphologique d'une rivière sont les plus favorables. Pour des grains de même forme, l'action du courant est fonction de la densité et du volume (loi de Stockes). Il y a concurrence entre gravité et vitesse du courant (dépôts dans les zones laminaires à vitesse lente). Les placers les plus importants du point de vue économique résultent de concentrations alluviales, fluviatiles ou marines. Ils sont de tous âges : actuels et anciens

III-2-3-2- Description des échantillons :

Ils ont été observés dans la rivière principale et les ruisseaux qui descendent du massif de Manangotry ou à la périphérie des formations géologiques particulières. Presque tous les produits de batée en région granitique ou au voisinage sont à monazite. Mais les teneurs rapportées au tout venant sont très faibles sauf dans les alluvions anciennes couvertes par des végétaux. La prospection alluvionnaire a été guidée au scintillomètre.

MT3 : Sables grossiers

Localisation : S : 24°45'579

E : 046°51'762

Sable éluvionnaire descendant du Col de Manangotry.

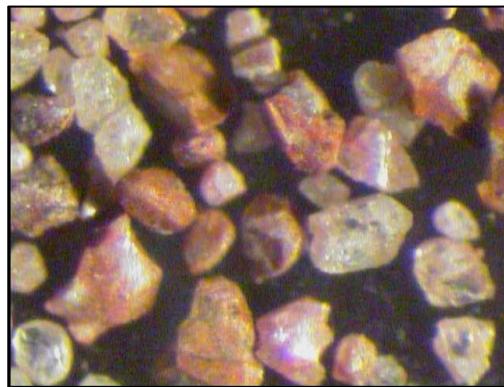


- Morphoscopie :

Les grains de monazite sont presque tous limités par des faces de cassures. Ils sont anguleux, en cristaux automorphes, colorés, et qui ont subi un faible transport. (fig.17)

Fig.17. Morphoscopie MT3 : monazite à grains grossiers et anguleux du Manangotry
(Grossissement X40)

- 98% Monazites anguleux
- 2% arrondies



-Concentrations :

Pourcentages des minéraux lourds : **1,16%** par rapport au total sans carbonate ni argile (115,76g).

Ilménite : **0,29%** par rapport à **1,16%** total des minéraux lourds.

Monazite : **0,08%** par rapport à **1,16%** total des minéraux lourds.

Les restes (0,79%) sont les éléments peu magnétiques, moyennement magnétiques et les magnétites

TS1 : Sables grossiers

Localisation : S : 24°46'751

E: 046°51'920

Le site d'échantillonnage se trouve sur un ruisseau à écoulement torrentiel et rapide descendant du versant Sud de Manangotry, en amont de la rivière Ambahibe. On note la présence des galets et des roches en boules plus ou moins arrondies de quelques centimètres de diamètre. Ce sont des boules de charnockite à grains fins.

- Radioactivité :

La radioactivité est de 150 à 200Cp/s.

- Morphoscopie :

L'étude morphoscopique des monazites donne des grains non usés, anguleux. Les arêtes ne présentent aucune trace de polissage. Ces grains ont été transportés par les cours d'eau sur de très faible distance. (fig.18)



Fig.18 Morphoscopie TS1 : monazite à grains anguleux

- (Grossissement X10) au microscope
- 98% Monazites anguleux
- 2% arrondies

- Concentrations :

Le pourcentage des minéraux lourds dans les touts venants sans carbonate ni argile donne 3,69% dont :

Ilménite : 1,49% par rapport à 3,69% total des minéraux lourds

Monazite : 0,11% par rapport à 3,69% total des minéraux lourds.

TS2 : Sable à grain grossier

Localisation : S : 24°46'758

E: 046°51'957

La rivière a un écoulement torrentiel. Des blocs et galets de taille centimétrique à métrique sont à signaler. La plupart de ces blocs sont constitués de granito-charnockites surtout charnockites. La radioactivité est plus ou moins faible de l'ordre de 70 à 80 Cp/s.

TS3: Sables plus ou moins grossiers

Localisation: S : 24°46'912

E : 046°51'834

L'échantillon a été prélevé au niveau d'un élargissement du lit de la rivière Ambahibe. Des éboulis jusqu'à des tailles décimétriques occupent le lit de la rivière.

- Radioactivité :

La radioactivité est de 200 à 250 Cp/s.

- Concentrations :

Pourcentages des minéraux lourds : 3,21% par rapport au total sans carbonate ni argile (145,45gr).

Ilménite : 1,64 % par rapport à **3,21%** total des minéraux lourds

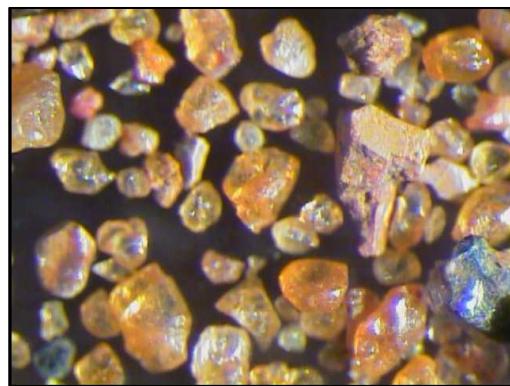
Monazite : 0,06 % par rapport à **3,21%** total des minéraux lourds

- Morphoscopie de la monazite :

Les grains de monazite présentent une dominance d'arêtes anguleuses.(fig.19)

Fig. 19 Morphoscopie (TS3): grains anguleux fracturés avec des impuretés rouges (Ambahibe) (grossissement X 16)

- 70% Monazite anguleux
- 30% arrondies



TS5 : Sables fins

Localisation: S: 24°47'01"

E: 046°51'74"

Au bord de la rivière, près d'un affleurement de granite d'Ivarinandambo (granite à l'Ouest de la rivière). Une zone couverte de végétaux sur à peu près 10m² offre une radioactivité élevée entre 700 à 800 Cp/s.



-Concentrations :

Pourcentages des minéraux lourds : 33,27% par rapport au total sans carbonate ni argile (144,55gr)

Ilménite : 23,45 % par rapport à **33,27%** total des minéraux lourds

Monazite : 1,48 % par rapport à **33,27%** total des minéraux lourds

TS6 : Sables grossiers

Localisation: S: 24°47'270

E: 046°51'750

Le prélèvement a été fait au Sud de Manangotry et en face d'Ivarinandambo. Le matériau prélevé est du sable de rivière. On note la présence de petits galets roulés en nappe qui couvrent les sables grossiers. La radioactivité est de 150Cp/s.

- Concentrations :

Pourcentages des minéraux lourds : 4,54% par rapport au total sans carbonate ni argile (139,28gr)

Ilménite : 0,84% par rapport à **4,54%**total des minéraux lourds

Monazite : 0,20% par rapport à **4,54%**total des minéraux lourds

TS7 : Sables alluvionnaires sous couvert de végétaux.

Localisation: S: 24°47'981

E: 046°51'692

Prélèvement également dans le lit de la rivière d'Ambahibe et à 300m à l'Ouest d'Isaka Ivondro. Il y a des sables alluvionnaires recouverts par des végétaux qui présentent une radioactivité de 400 à 500 Cp/s. Les grains de monazite sont encore variés et en majorité « E-L »

-Concentrations :

Pourcentages des minéraux lourds : 17,19 % par rapport au total sans carbonate ni argile (126,84gr)

Ilménite : 12,92 % par rapport à **17,19 %** total des minéraux lourds

Monazite : 0,25% par rapport à **17,19 %** total des minéraux lourds

**TS8 : Sables fins**

Localisation: S: 24°48'309

E : 046°51'766

Sur la rivière Ambahibe au Nord-Ouest d'Ambatomainty. Ce sont des sables limoneux recouverts par des végétaux. Les gains de monazites sont variés et en majorité « E-L ».

- Radioactivité :

La radioactivité est de 300Cp/s. Près de cette zone, une partie couverte par des végétaux présente une teneur plus ou moins élevée de 400 à 500Cp/s.

- Concentrations :

Pourcentages des minéraux lourds : 5,76 % par rapport au total sans carbonate ni argile (98,66gr)

Ilménite : 3,52% par rapport à **5,76 %** total des minéraux lourds

Monazite : 0,28% par rapport à **5,76 %** total des minéraux lourds

TS9 : Sables grossiers

Localisation: S: 24°49'154

E : 046°52'018

Sur la rivière Ambahibe, au Sud d'Ambatomainty. On note la présence de petits galets de quartz.

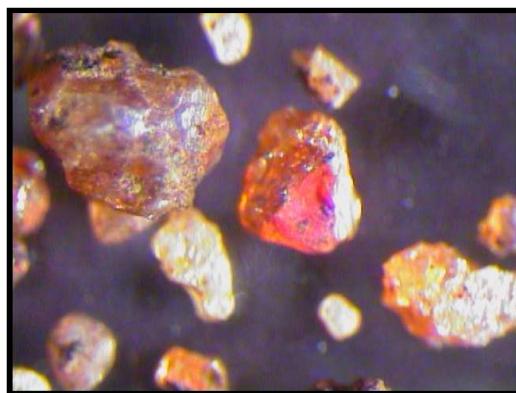
- Radioactivité :

La radioactivité est de 500Cp/s.

- Morphoscopie : La majorité des grains de monazite sont en émuossés luisants

Fig.20 Morphoscopie (TS9) : Grains rougeâtres « E-L » de la monazite (Grossissement X16)

- 40% Monazite anguleux
- 10% arrondies
- 50% E-L





-Concentrations :

Pourcentages des minéraux lourds : 3,58% par rapport au total sans carbonate ni argile (104,19gr)

Ilménite : 1,35% par rapport à **3,58%** total des minéraux lourds

Monazite : 0,21% par rapport à **3,58%** total des minéraux lourds

SD10 : Sables grossiers (fig.21)

Localisation: S: 24°52'019

E : 046°52'154

On se trouve sur le contact entre le socle métamorphique de la couche de Fort-Dauphin et les granites Anosyennes.

- Radioactivité :

La radioactivité est de 250Cp/s sur les parties altérés sous couverture végétale. Les sables prélevés, sont des produits d'altérations d'un granite à structure pegmatitique (Photos en annexe). L'anomalie en terres rares se trouve surtout au niveau des colluvions au pied du massif.

- Concentrations :

Pourcentage des minéraux lourds : 2,46 % par rapport au total sans carbonate ni argile

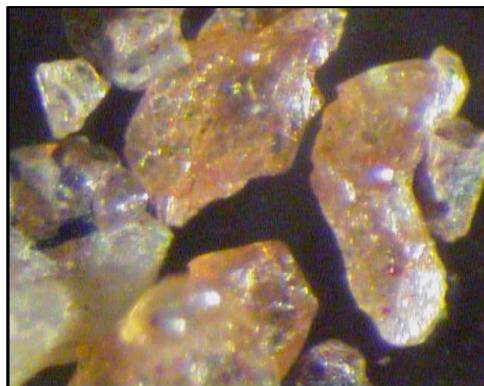
Ilménite : 0,14% par rapport à **2,46 %**total des minéraux lourds

Monazite : 0,10% par rapport à **2,46 %**total des minéraux lourds

- Morphoscopie :

Fig.21 Morphoscopie : Grains grossiers à impuretés de la monazite de SD10 (Grossissement X40)

- 90% Monazite anguleux
- 10% arrondies





TS10 : Sables de rivière d'Ifaho au Nord d'Ifarantsa

Localisation: S: 24°55'569

E : 046°52'191

- Radioactivité :

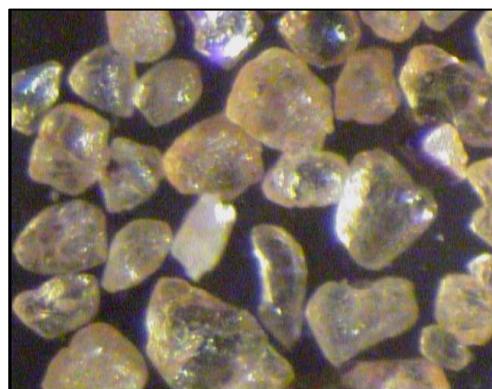
Sables grossiers présentant une radioactivité de 150 Cp/s.

- Morphoscopie :

Ce sont des grains de monazite « E-L » présentant d'arêtes arrondies (fig.22). Ils sont caractéristiques de longs transports en milieu aquatique continental (fleuve Ifaho)

Fig.22 Morphoscopie SD11 (TS10) : Grains de la monazite
un peu émoussée
(Grossissement X 40)

- 80% E-L
- 10% arrondies



-Concentrations :

Pourcentages des minéraux lourds : 4,28 % par rapport au total sans carbonate ni argile (90,97gr)

Ilménite : 2,31% par rapport à 4,28 %total des minéraux lourds

Monazite : 0,13% par rapport à 4,28 %total des minéraux lourds



III-2-4- Les indices des sables de plages à monazite, zircon, ilménite :

Les sables de plage, à l’Ouest et au Nord de Taolagnaro, sont riches en monazite, principalement aux embouchures des lagunes et des rivières. La zone minéralisée se situe entre la dune stabilisée du Pliocène et le niveau de la mer à marée basse. La minéralisation la plus intéressante est localisée dans de minces lits de sables noirs de quelques centimètres d’épaisseur. La présence de concentration de monazite dans cette zone littorale s’explique par la proximité des Chaînes granitiques Anosyennes qui constituent la région la plus riche en monazite connue à Madagascar. Le démantèlement par l’érosion des granites et des charnockites des Chaînes, et l’entraînement des matériaux arrachés par les cours d’eau ont finalement provoqué l’accumulation des sables à ilménite, zircon et monazite le long du littoral.

III-2-4-1- Travaux antérieurs :

La présence de monazite dans la région de Taolagnaro a été signalée pour la première fois en 1952. Les prospections ont été entreprises par la suite par plusieurs organismes de recherche.

Au début, les premiers programmes de prospection ont été surtout orientés vers la recherche de la monazite. Les prospections s’effectuaient principalement au compteur Geiger, gamma phone et scintillomètre dans les sables de plages et des formations récentes, mais ce n’est qu’en 1956, après la découverte des gisements de monazite d’Antete que les recherches s’étendaient dans les formations plus anciennes.

Le CEA, puis le Service Géologique de Madagascar prospectaient alors la région de Taolagnaro dans les années 1956 à 1958, avec la participation de la Roche le long du littoral de Vaingandrano à Taolagnaro tandis que Marchal prospectait l’extrême Sud. De nombreux placers côtiers à ilménite, monazite et zircon ont été découverts, surtout dans les dunes anciennes avec la monazite d’Antete qui fut mise en exploitation en 1960.

Au début des années 70, le BRGM a entrepris des recherches sur la côte Sud-Est entre Manantenina et Taolagnaro. Et, l’US Steel a obtenu un permis de recherche, dans le Sud-Est, de part et d’autre de Taolagnaro.



A partir de 1972, l'US Steel, disposant de gisement de Mandena et de Petriky, dans le Sud-Est, tentait le traitement de ces minéraux par une usine pilote installée dans le Nord de Taolagnaro.

III-2-4-2- Les unités morphologiques :

Les gisements de sables de plages se repartissent en quatre unités morphologiques distinctes (Rantoanina, 1986), de la plus ancienne à la plus récente :

➤ **Les dunes Karimboliennes :**

De 100.000 à 35.000 ans d'âge et à plus de 70m d'altitude, le complexe dunaire, en rapport avec la transgression marine "karimbolienne", est fortement minéralisé mais d'extension sporadique et restreinte à la bordure du littoral. Les formations sont également très développées dans l'extrême Sud où elles forment le plateau du Karimbola. Dans les autres régions, elles sont aussi rares ou moins développées et parfois absentes.

➤ **Les dunes flandriennes :**

Moins de 10.000 ans d'âge, les dunes flandriennes forment d'une part, un système plus ancien en rapport avec la régression préflandrienne et présentant les accumulations minéralisées les plus importantes et d'autre part, un système plus récent correspondant aux dépôts de la transgression flandrienne.

➤ **Les dunes actuelles ou dunes vivantes**

Pauvres en minéralisations, les dunes actuelles sont constituées par des sables blancs, dénudés ou à demi-fixés par une végétation rampante clairsemée, parfois accompagnée de quelques filaos. Ces dunes récentes se trouvent immédiatement en arrière des plages vives.



➤ **Les plages actuelles et les plages anciennes :**

Elles sont pauvres en minéralisation. Les plages actuelles forment un glacis à pente variable entièrement balayée par les vagues en période de tempête et sujet à de fréquents remaniements.

Entre la plage vive et la première dune, on rencontre parfois des plates formes gazonnées dont la largeur n'excède pas 50 mètres, surélevées de 2 mètres environ par rapport à la mer. Ce sont des plages anciennes.

III-2-4-3- Processus contrôlant les dépôts des minéraux :

Les facteurs contrôlant les concentrations des minéraux lourds sont assez nombreux. Les minéralisations se trouvent aux voisinages des estuaires, des embouchures et en principe dans les dunes plus ou moins anciennes (karimboliennes, flandriennes). Les minéralisations des plages actuelles ou plages vives peuvent être riches, mais les gîtes ont un volume réduit, c'est-à-dire ne leur conférant que rarement d'importance économique. Ils sont difficiles à estimer en cas d'exploitation du fait qu'ils réapparaissent ou disparaissent saisonnièrement. Mais les phénomènes qui conditionnent les concentrations importantes de minéraux lourds dans les sites favorables sont les suivants :

- **la morphologie de la côte :**

La présence des promontoires, qui interrompent la régularité de la ligne de rivage et qui ralentissent le courant marin, occasionne la formation des anses plus ou moins ouvertes où s'effectue un classement par gravité des éléments charriés vers la mer. Derrières ces promontoires s'accumulent, en général, les minéraux lourds.

- **la présence d'une dérive littorale assez prononcée :**

Sur les plages, le mouvement des vagues et l'avancée progressive du littoral, provoquent le classement par densité des grains détritiques et un enrichissement progressif en minéraux lourds des dépôts en déplaçant plus loin les matériaux détritiques plus légers et en déplaçant peu ou pas les éléments lourds.



- **la variation lente du niveau de la mer :**

Dont l'action conjuguée avec le balancement des marais et des vagues, déterminent également, par ce même processus, un classement et un enrichissement en minéraux lourds des dépôts qui s'en suivent.

- **l'action des vents dominants**

Le vent entraîne plus facilement plus loin les particules légères, laissant presque en place les éléments denses. Ceci s'observe sur les formations sableuses asséchées.

- **la constitution géologique de l'arrière pays :**

Les concentrations en minéraux lourds alimentant les formations sableuses littorales, dépend de la constitution des zones drainées. La formation granitique des chaînes Anosyennes riches en monazite qui drainent la côte est la cause de la richesse en monazite des sables du littoral Sud-Est.

- **l'altération ferralitique :**

L'altération ferralitique en pays chaud et très arrosé, provoque dans les dépôts anciens, une dissolution des silicates basiques tels que le grenat, l'amphibole, pyroxène et autres, laissant intacts les éléments insolubles ; ilménite, zircon, monazite, cassitérite etc...., en somme presque tous les minéraux utiles, facilitant le traitement futur du minerai.

III-2-4-4- Caractéristiques des dépôts de minéraux lourds de Taolagnaro :

En général, les sables minéralisés ont un caractère identique. Le minerai est souvent constitué par du sable fin gris ou noir, suivant l'importance de la minéralisation, à granulométrie très peu étalée. La minéralisation est rarement homogène. En général, les coupes offertes par les talus montrent une succession de lit blanc ou gris (plus grossier) et de lit noir ou gris (plus fin) (Rantoanina, 1986). Elle apparaît souvent en surface, sans recouvrement de stérile. Ce sont les formations anciennes qui offrent le plus souvent une minéralisation plus homogène.



- **dans les plages :**

L'évolution des plages apparaît comme un phénomène cyclique. Les minéralisations des plages sont souvent particulièrement riches, mais les concentrations ont un volume réduit et se renouvellent ou disparaissent saisonnièrement. Par gros temps, une charge importante de matériaux provenant de la plate forme littorale est remontée sur la plage vive où un processus de dépôts sélectif favorise la concentration des minéraux lourds. En période calme, la charge supplémentaire apportée par les tempêtes « glisse » progressivement vers la mer revenant à son origine première. Dans les plages actives, les concentrations des minéraux lourds se rattachent à deux types :

- Sables feuilletés avec alternance centimétrique de lits noirs et de lits blancs sur une épaisseur de 40 centimètres à 1 mètre ;
- Nappe superficielle de sables noirs sur une largeur de 5 à 30 mètres. L'épaisseur de la nappe dépasse rarement 30 centimètres.

Pour les plages anciennes, elles peuvent renfermer de belles minéralisations de même type que celles des plages vives, parfois enfouies sous un horizon stérile mince.

- **Dans les dunes :**

Dans les dunes récentes, les talus naturels fournissant de bonnes coupes montrent des stratifications entrecroisées très fines de sables blancs et de sables gris à minéraux lourds. Les dunes anciennes représentent des volumes énormes comparativement aux autres unités précédemment décrites. Les minéralisations sont moins riches que celles des plages mais très homogènes avec des sables gris à 25 ou 30% de minéraux lourds constituants des dunes entières (de la Roche, 1958).

III-2-4-5- Description des échantillons :

La rivière Ifaho se jette dans l'Océan Indien par l'embouchure d'Ambinanibe au Sud-Ouest de Taolagnaro,

TS12 : Sables de plages d'Ambinanibe

Localisation: S: 25°03'908

E : 046°56'020

Ce sont des sables à grains fins très uniformes riches en éléments noirs. La radioactivité est de 200 à 250 Cp/s. La monazite de couleur jaune, se présente en des grains ronds mats (100%) et ovoïdes, elle est totalement roulée (fig.23) (Photos en annexe)

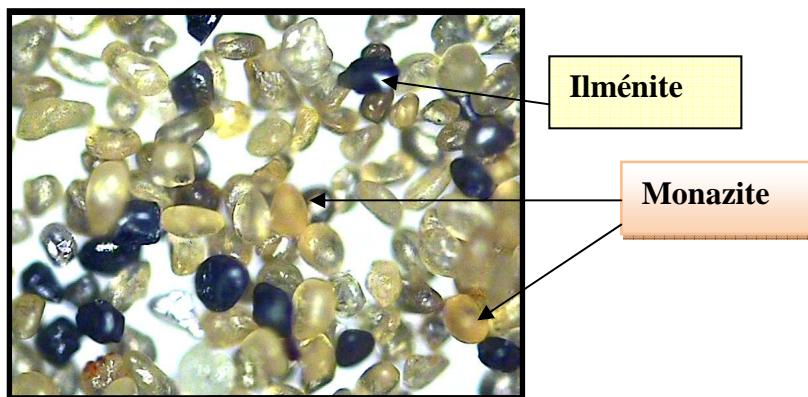


Fig.23 : Morphoscopie TS12 des grains de monazite des sables de plage

Les sables présentent les teneurs suivantes :

Pourcentages des minéraux lourds : 25,78% par rapport au total sans carbonate ni argile (105,69gr)

Ilménite : 22,11 % par rapport à **25,78%** total des minéraux lourds

Monazite : 0,83 % par rapport à **25,78%** total des minéraux lourds

TS13 : Sables de plages d'Ambinanibe

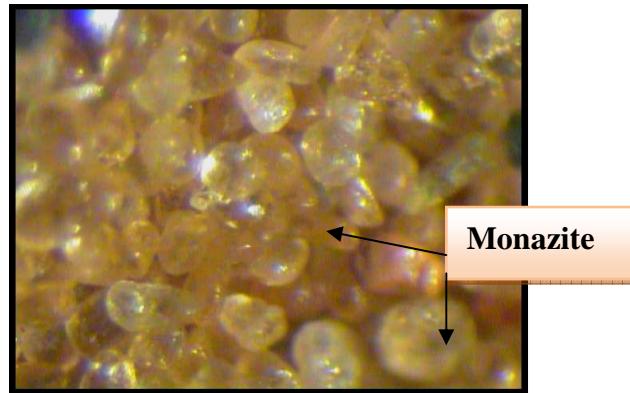
Localisation: S: 25°03'982

E : 046°56'036

Sur les dunes côtières couvertes par des végétaux, la teneur en radioactivité est localement très forte, plus de 300Cp/s au scintillomètre. (Photos en annexe)

L'étude morphoscopique montre des grains de monazite totalement roulés : (fig.24)

**Fig.24 : Morphoscopie TS13 : Monazite des sables de plages d'Ambohibe
(Grossissement X40) (100% grains ronds mats)**



Pourcentages des minéraux lourds : 34,29% par rapport au total sans carbonate ni argile (181,15gr)

Ilménite : 29,42 % par rapport à **34,29 %** total des minéraux lourds

Monazite : 1,11 % par rapport à **34,29 %** total des minéraux lourds

III-2-5- Discussion et conclusion :

Le démantèlement par l'érosion des granites et charnockites des Chaînes Anosyennes expliquerait la présence de concentrations de monazite dans les rivières et le long du littoral.

Le cortège des minéraux lourds (**fig.25**) étaye bien cette hypothèse car la monazite existe de la source jusqu'aux sables de plages. L'érosion et l'entraînement des matériaux arrachés par les cours d'eau ont finalement provoqué l'accumulation de ces sables à monazite. Ce sont des gisements sédimentaires détritiques formés par une séparation mécanique naturelle. La formation de ces gisements est soumise au schéma sédimentologique classique : démantèlement, transport, dépôt.

A la suite des phénomènes d'altération météorique, les granites et charnockites sont soumis à un démantèlement qui aboutit à la formation d'un matériel mobile. Ce matériel mobile contient des minéraux lourds qui vont être transportés par les eaux courantes de surface, et forme suite à un piégeage suivi d'un dépôt des gisements alluvionnaires. Ils se forment du fait de la concentration de minéraux denses par des mécanismes hydrodynamiques qui jouent sur la granulométrie, la densité et la forme des particules.



Les teneurs en minéraux lourds des gisements éluvionnaires sont pauvres (0,08% pour MT3). Elles sont proches de celle de la zone source. Leurs teneurs sont encore plus basses que dans les gisements de plages. Les concentrations en monazite varient en fonction des lieux de dépôts. Les résultats obtenus montrent que les concentrations en minéraux lourds sont importantes dans les alluvions anciennes couvertes par des végétaux (0,20% à 1,48% pour TS5, TS7, TS8) ; elles sont aussi plus importantes dans les sables de plage et de dunes (TS12, TS13). La teneur en radioactivité varie selon les concentrations et les modes de dépôts de la monazite (**fig.27**). Le **tableau N°2** donne les pourcentages des minéraux de chacun des concentrés obtenus du traitement des échantillons prélevés.

Enfin, l'étude morphoscopique et l'échantillonnage systématique (**fig.26**) des grains de sables de ruisseaux descendant des Chaînes jusqu'aux sables de plages ont montré des grains de monazite non usés anguleux aux sources, puis des émoussés luisants pour les sables de rivière et des ronds mâts pour les sables dunaires et marins. La morphoscopie des minéraux varient donc de la source jusqu'aux sables de plages, elle permet de déterminer les milieux de dépôts des grains. Aux sources, presque les minéraux conservent encore leur forme parce qu'ils sont peu déplacés. La vitesse du courant joue un rôle important. Les grains de monazite (en majorité émoussée luisant) des sables fluviatiles révèlent l'impact du transport hydraulique sur les matériaux d'origine. L'effet du vent et le brassage des vagues sur la côte par contre, ont réussi à changer beaucoup l'aspect des grains de monazite. Ces grains de monazite ronds mats sur le littoral montrent le transport, sur une certaine de kilomètres, de l'arène originelle.



Echantillon	Localisation	Total sans carbonate ni argile	Minéraux légers (Q,Feld,...)	Lourds	Eléments moins magnétique (Apatite,...)	moyennement magnétique (Gre, Zircon,...)	ilménite	Monazite	magnétite	R.A en µSv
MT3	24°45.579	115,76	114,42	1,34	0,12	0,78	0,34	0,1		0
	46°51.762		98,84%	1,16%	0,10%	0,67%	0,29%	0,08%		

TS1	24°46.751	96,08	92,53	3,55	0,19	1,65	1,44	0,11	0,16	0
	46°51.920		96,30%	3'69%	0,19%	1,71%	1,49%	0,11%	0,16%	

TS3	24°46.912	145,45	140,79	4, 66	0,32	1,62	2,39	0,1	0,23	1
	46°51.834		96,79%	3,21%	0,22%	1,11%	1,64%	0,06%	0,15%	

TS5	24°47.015	144,55	96,46	48,09	4,58	6,17	33,91	2,15	1,28	4
	46°51.747		66,73%	33,27%	3'16%	4,26%	23,45%	1,48%	0,88%	

TS6	24°47.270	139,28	132,96	6,32	0,36	1,17	4,23	0,28	0,28	2
	46°51.750		95,46%	4,54%	0,25%		0,84%	0,20%	0,20%	

TS7	24°47.981	126,84	105,04	21,8	1,21	3,46	16,39	0,32	0,42	2
	46°51.692		82,81%	17,19%	0,95%	2,72%	12,92%	0,25%	0,33%	

TS8	24°48.309	98,66	92,98	5,68	0,33	1,47	3,48	0,28	0,12	1
	46°51.766		94,24%	5,76%	0,33%	1,48%	3,52%	0,28%	0,12%	



TS9	24°49.154	104,19	100,46	3,73	0,18	1,81	1,41	0,22	0,11	0
	46°52.018		96,42%	3,58%	0,17%	1,74%	1,35%	0,21%	0,11%	

SD10	24°52.019	151,63	147,9	3,73	0,34	3,01	0,22	0,16		0,5
	46°52.154		97,54%	2,46%	0,22	1,98%	0,14	0,10%		

TS10	24°55.569	90,97	87,07	3,9	0,23	1,15	2,11	0,12	0,29	0
	46°52.191		95,71%	4,28%	0,25%	1,26%	2,31%	0,13%	0,31%	

TS12	25°03.908	105,69	78,44	25,78	2,98		23,38	0,88		3
	46°56.020		74,22%	25,78%	2,82%		22,11%	0,83%		

TS13	25°03. 982	181,15	119,04	62,11	6,8		53,3	2,01		4
	46° 56. 036		65,71%	34,29%	3,75%		29,42%	1,11%		

TABLEAU : N°3 Composition minéralogique des concentrés



Fig.25: Cortège des minéraux lourds de la source jusqu'aux sables de plage

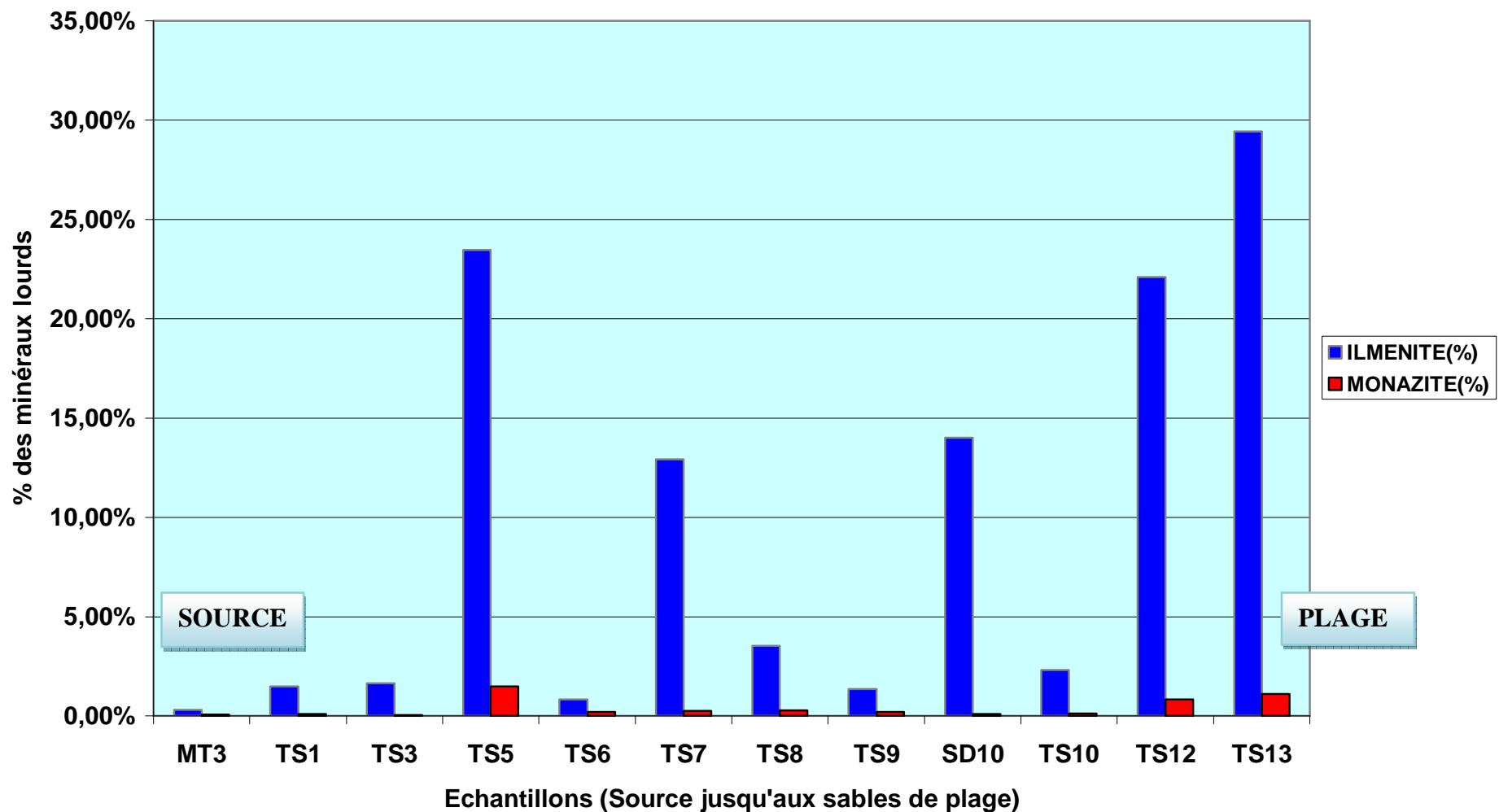




Fig. 26 : Profil longitudinal de la rivière Ifaho avec les échantillonnages

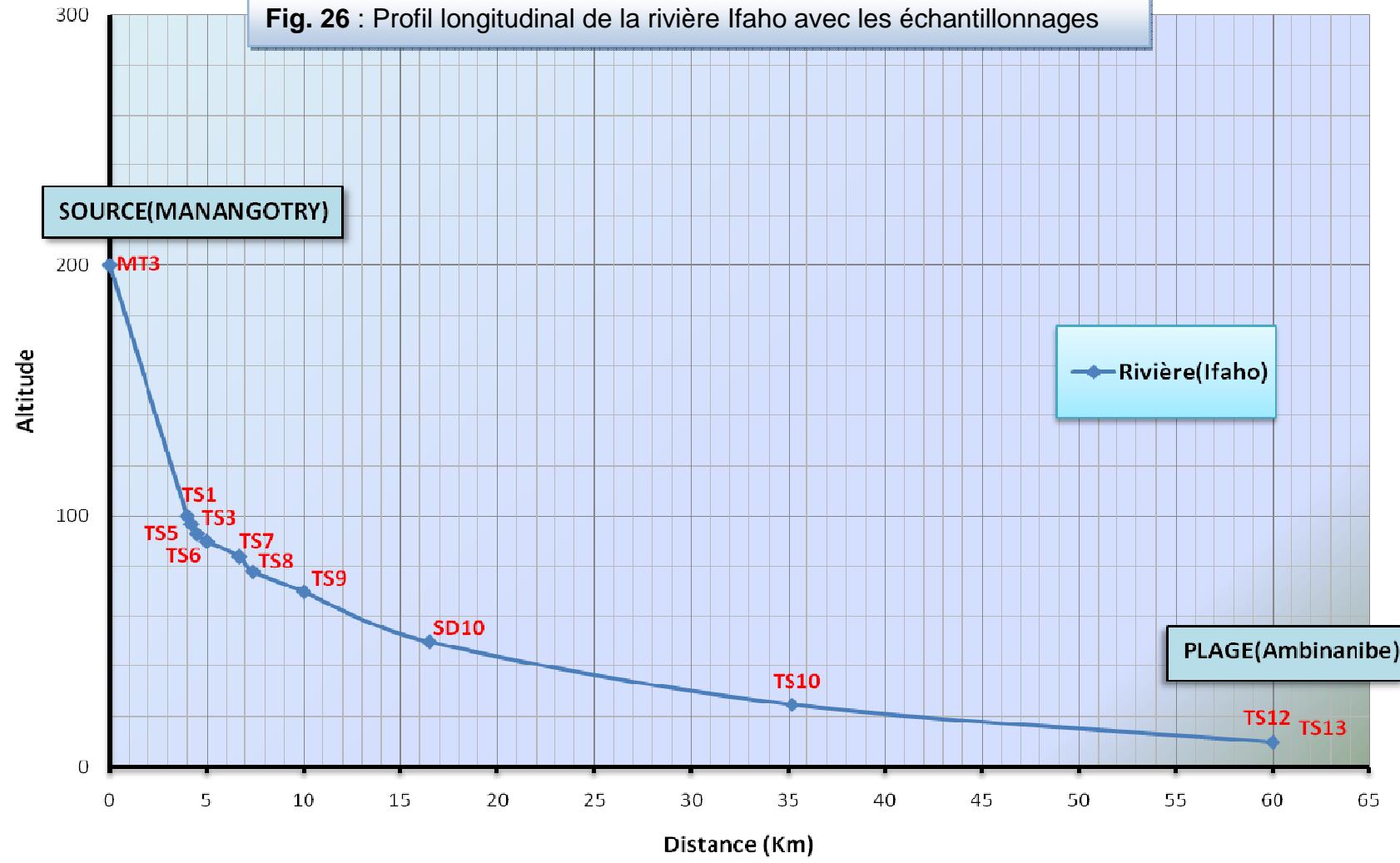
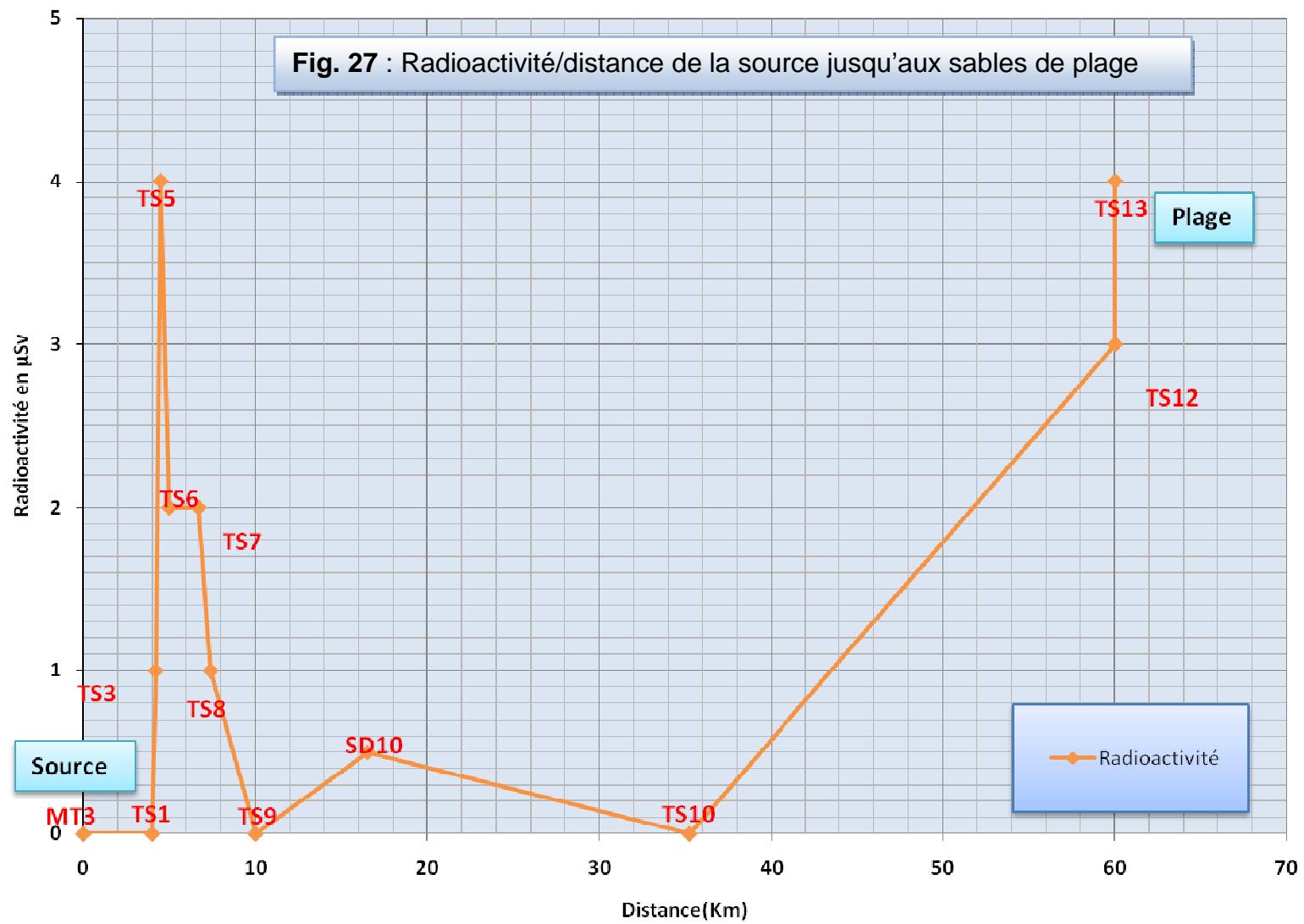


Fig. 27 : Radioactivité/distance de la source jusqu'aux sables de plage





III-3 – INDICES PROBABLES :

- Méthodologie :

Les résultats sont obtenus à l'aide d'une image spectrométrique composite ternaire des coupures MNOP 60-61-62 à une échelle de 1 :100.000 (**fig. 28**) ; les trois éléments naturels radioactifs intéressants qui jouent un rôle notable dans la radioactivité naturelle des minéraux et des roches sont : l'Uranium, le Thorium et le Potassium. Les réponses radiométriques (K, U, Th) émises par ces trois éléments sur l'image sont représentées par les couleurs suivantes :

K : couleur rouge

U : couleur bleue

Th : couleur verte

Les gîtes probables à monazite peuvent donc être localisés à l'aide de la couleur verte (anomalie positive en Th) du fait que la monazite contient une proportion notable en thorium.

La couleur verte sur l'image ternaire a été numérisée, et ensuite superposée sur des cartes géologiques (cartes : Ranomafana Sud N61, Fort-Dauphin N62).

- Résultats :

Nous avons obtenu les indications suivantes :

- la couleur coïncide exactement avec les gisements déjà connus (Exemple : cas de la pegmatite à monazite du Col de Manangotry).

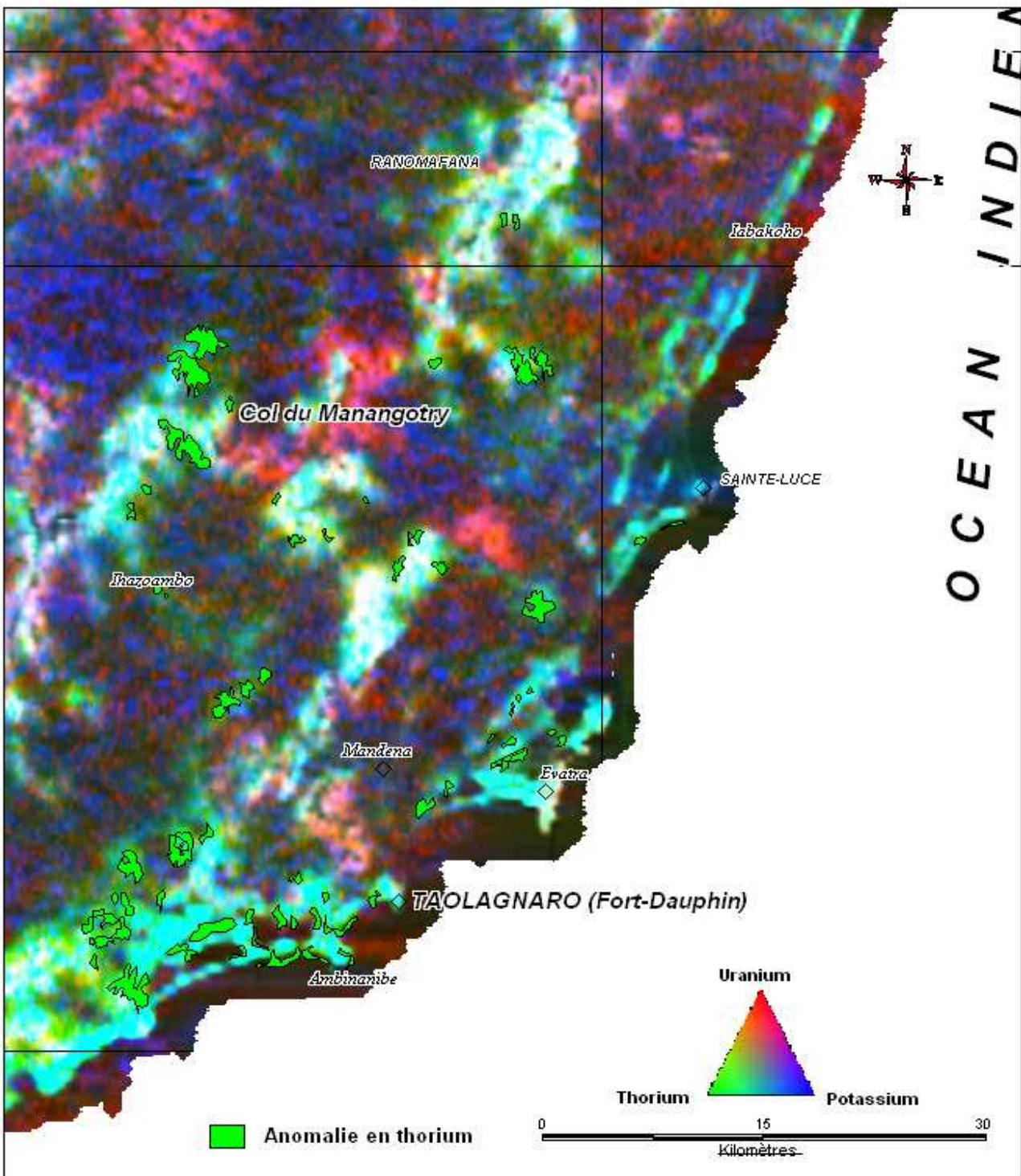
- L'anomalie en thorium est révélée surtout au niveau des embouchures, le long du chenal des rivières et dans le complexe granito-charnockitique. (**fig.29**)

On peut donc faire une carte des indices en monazite déduite de ces indications (**fig.30**)

- Conclusions :

Donc, on peut conclure que les gîtes à monazite se repartissent en 3 types :

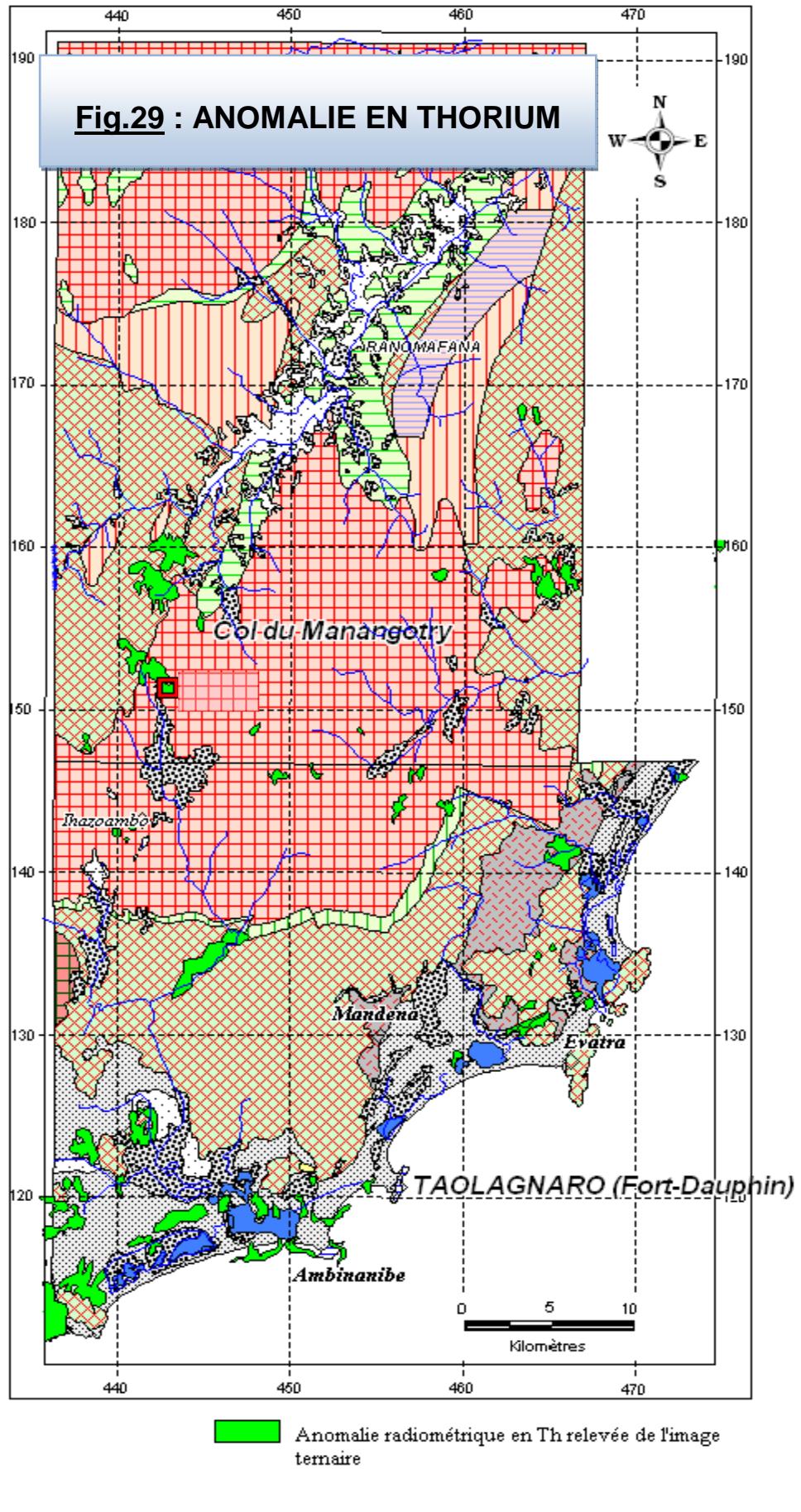
- les gisements primaires localisés dans le complexe granito-charnockitique
- les gisements alluvionnaires repartis le long des rivières
- les gisements de sables de plage repartis surtout sur la côte et dans les embouchures

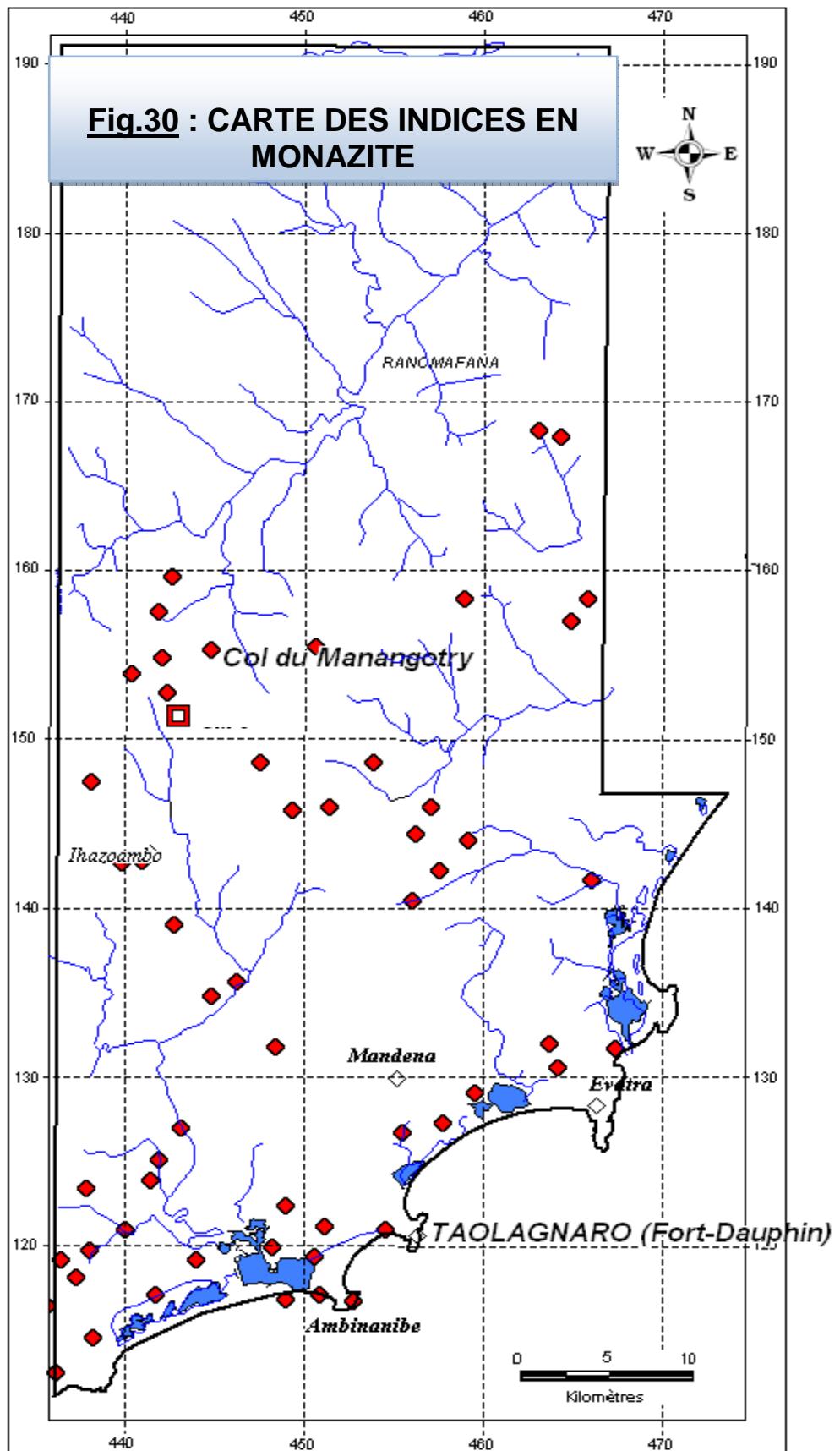


Andriamanantena Tolotrarifetra

Fig. 28 : Image ternaire MNOP 60-61-62 à l'échelle 1/100.000

Source : Razafimahatratra (2006)





- ◆ Indices probables en monazite
- Rivière
- Pégrinatite à monazite (pK6) Col du Manangotry



III-4- CONCLUSION :

La présence des monazites détritiques le long de la vallée de l'Ifaho jusqu'à son embouchure à Ambinanibe est favorisée par le démantèlement d'une roche source située dans le complexe granitique des Chaînes Anosyennes. Le cortège des minéraux lourds montre que la monazite existe le long du fleuve jusqu'aux sables de plage. Les teneurs en monazite sont importantes dans les terrasses anciennes (2,15g pour 144,5g de sable) et dans les formations des sables de plage (0,88g pour 105,69g de sable) et des dunes de Taolagnaro (2,01g pour 181,15g de sable). Les grains de monazite sont anguleux dans la zone source, émuossés dans les sables fluviatiles, et enfin en des grains ronds mats dans les sables de plage et dans les dunes. Leurs gîtes se repartissent en 3 types tels que les gisements primaires, les gisements alluvionnaires et enfin les gisements de sables de plage.



CHAPITRE IV :
ASPECTS ECONOMIQUES



CHAPITRE IV : ASPECTS ECONOMIQUES

IV-1- GENERALITES :

La monazite, phosphate de terre rare et de thorium, est un minéral des terres rares. La monazite est le minéral qui contient le plus des terres rares car naturellement, elle est formée par 50 à 60% d'oxyde de terres rares (cérium, lanthane...). C'est également le principal minéral de thorium qui s'y trouve à des proportions variables mais atteignant fréquemment 5 à 12% et très exceptionnellement 20 à 30% en oxydes de thorium (Adam, 1956). La monazite est exploitée dans les sables de plage, en Australie, Inde, Brésil, Malaisie, et sera prochainement comme sous-produit à Madagascar.

La monazite est d'abord traitée pour récupérer le thorium (et en partie le cérium) destiné aux manchons à gaz. Les terres rares sont valorisées en métallurgie ou pour la fabrication des pierres à briquets. Quoique la plupart des éléments de terres rares soient présents dans la monazite, la teneur de chacun de ces éléments varie considérablement d'un gisement à l'autre, ce qui peut avoir une incidence importante sur la valeur du produit. Il est fort probable que la valeur de la monazite de Madagascar sera sensiblement inférieure à celle de l'Australie qui se vend sur le marché international à 650 dollars US la tonne métrique et ce, à cause de sa plus faible teneur en oxydes de terres rares les plus recherchés.

Les terres rares (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) forment un groupe de 15 éléments chimiquement semblables et portant les numéros atomiques 57 à 71. Ils se divisent en deux groupes : les terres rares légères (La à Eu) et les terres rares lourdes (Gd à Lu). Plus de 200 minéraux contiennent des terres rares, mais seules la monazite, la bastnaésite et la xénotime ont une importance industrielle.

IV-1-1- Utilisations des terres rares non séparées :

Les terres rares ont plusieurs destinations industrielles :

Fabrication des pierres à briquet qui sont en ferrocérium (alliage de mischmétal avec 25 à 30 % de fer). Le fort pouvoir réducteur des terres rares est utilisé dans cette application : les terres rares sont pyrophoriques (les fines particules arrachées par abrasion s'enflamment à



l'air). Cette application est fortement concurrencée par les briquets à allumage piézo-électrique.

La Métallurgie les utilise, pour désoxyder et désulfurer l'acier (les métaux de terres rares sont très réducteurs). Elles permettent également, sous forme d'ajout de mischmétal ou de son siliciure, à des teneurs de 0,1 à 0,2 %, la sphéroïsation du graphite dans la fonte nodulaire.

La Catalyse utilise, en 1993, 38 % de la production de terres rares. Les terres rares jouent un rôle de promoteur dans des zéolithes utilisées comme catalyseurs dans le craquage des produits pétroliers, principalement aux États-Unis.

IV-1-2- Utilisations des terres rares séparées :

Les domaines d'application des terres rares séparées sont en croissance continue. L'avenir de terres rares séparées se trouve dans les nombreux domaines de la haute technologie. Les utilisations font, en général appel à leurs propriétés physiques.

➤ **Applications liées aux propriétés optiques :**

Les terres rares sont utilisées comme luminophores.

- **Catholuminescence** : pour la télévision en couleur : la couleur rouge est actuellement, exclusivement à base de terres rares.
- **Radioluminescence** : dans le domaine des rayonnements de hautes énergies (rayon X...) en particulier en radiographie médicale.
- **Fluorescence** : dans les lampes à décharge fluorescente.
- **Lasers**

➤ **Applications liées aux propriétés magnétiques :**

Les terres rares ont des propriétés magnétiques exceptionnelles. La formation d'alliages samarium-cobalt, tels que SmCo_5 ou $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, a des performances magnétiques remarquables. Ceci a permis la miniaturisation des aimants et leur utilisation dans les moteurs pas à pas ou dans les écouteurs miniaturisés des baladeurs.



Les aimants néodyme-fer-bore ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$) sont actuellement les plus performants ; et en particulier, utilisés pour positionner les têtes de lecture des disques durs.

➤ Autre applications :

- **Métallurgie** : l'yttrium métal est employé pour améliorer la tenue aux chocs thermiques des aciers pour pipeline.
- **Céramiques** : l'oxyde d'yttrium, à des teneurs > 7 %, est utilisé pour stabiliser, à haute température, la forme cubique de la zircone (ZrO_2). La zircone cubique, qui possède des propriétés de réfraction de la lumière proches de celles du diamant, est utilisée, comme imitation du diamant, en joaillerie
- **Verres** : les oxydes des terres rares peuvent colorer les verres : violet, avec 2 à 6 % d'oxyde de néodyme; vert clair, avec 2 à 6 % d'oxyde de praséodyme; rose pale, avec 2 à 5 % d'oxyde d'erbium; jaune clair à orange, avec CeO_2 (1 à 3 %) associé à TiO_2 (2 à 6 %).

L'oxyde de lanthane, à des teneurs comprises entre 5 et 40 %, accroît l'indice de réfraction et diminue la dispersion de la lumière. Les verres au lanthane sont universellement employés, en optique de précision, pour réaliser des lentilles de microscopes, de télescopes, des objectifs photographiques...

IV-2- ASPECTS ECONOMIQUES DES GISEMENTS DETRITIQUES A MONAZITE DE TAOLAGNARO :

IV-2-1- Les gisements alluvionnaires :

Les gisements alluvionnaires des Chaînes Anosyennes sont abondants mais les teneurs rapportées au tout venant sont très faibles. Ils représentent en réalité des tonnages faibles (inférieur dans chaque cas à 30 tonnes) avec des teneurs de l'ordre de 0,4 à 1% (de la Roche, 1958).

Les autres indices en éluvions et surtout en alluvions sont négligeables, en comparaison aux teneurs et réserves représentées par les sables de plages de Taolagnaro. Il n'est pas possible de trouver dans les cours d'eau des chaînes Anosyennes des alluvions exploitables. Les formations alluvionnaires sont très irrégulières et contiennent une grosse proportion de galet et de gros blocs, donc il n'est pas possible d'en préciser le volume.



IV-2-3- Les gisements de sables de plages :

Les sables de plage constituent les plus importants gîtes de monazite. En réalité, les gisements des sables de plages présentent des tonnages et des teneurs intéressants. La monazite se présente ici comme étant un sous produit de l'ilménite et ou peut constituer des gisements économiques exploitables. Les travaux effectués par les différents organismes de recherches (CEA, BRGM, US.Steel...) ont attiré l'attention sur l'intérêt économique des gisements. A l'Ouest et au Nord de Taolagnaro, les sables de plages sont riches en monazite. Les réserves sont estimés à 19.410.000 tonnes d'ilménite, 460.000 tonnes de monazite et 977.000 tonnes de zircon (gisement de Vohibarika, Mandena et Petriky).

Les teneurs et les tonnages des gisements et indices inventoriés lors des différents travaux effectués par de la Roche (1956), le Service Géologique (1956), le BRGM et US.Steel dans le secteur Sud Sud-Est sont représentés sur les tableaux ci-dessous :

Les secteurs minéralisés sont répartis comme suit, du Nord au Sud :

- Indice d'Ambohimanana' Andringitra
- Gisement de Vohibarika
- Indice Manambato
- Indice Iabakoho
- Indice d'Evatra
- Gisement de Mandena et Petriky

➤ Indice d'Ambohimanana' Andringitra :

Localisations coordonnées géographiques :

- X : 500,500
- Y : 222,500

Le gîte se trouve au Nord de l'embouchure de la rivière Andringitra sur la feuille Manantenina 1/100.000 ; la minéralisation se présente dans une dune.



TABLEAU N°4 : Tonnage des minéraux lourds (indice d'Amboinan'Andringitra, Rantoanina 1986)

Tout venant (tonne)	Horizon noir ou gris (en tonne)	Ilménite (en tonne)	Zircon (en tonne)	Monazite (en tonne)
47.500	37.500	12.200	600	410
Teneurs moyennes dans les sables gris ou noirs (en %)		33,00	1,60	1,10
Teneurs moyennes dans les sables tout venant (en %)		25,60	1,26	0,87

Analyse chimique de la monazite : AMEI : P.ROSE (Rantoanina 1986)

	ThO2 (%)	Oxyde de terres rares (%)
Monazite	6,84	59,16

➤ Gisement de Vohibarika :

Localisations coordonnées géographiques :

- X : 495,000
- Y : 207,360

Le gisement se trouve proche de l'embouchure de la rivière Manampanihy et autour du signal de Vohibarika.

Minéralisations :

Les minéralisations sont reparties dans différents formations sableuses, plage active, plage ancienne, dunes anciennes, et dunes flandriennes.

Tonnage : (M.E.M, 1985)

Les différentes formations minéralisées sont :

A- Gisements préflandriens (Ouest) :

Avec les gîtes de :

- Manambato 1-2-3-4
- Ifotaka Ouest
- Esama Ouest



- Ampasimasay Ouest
- Vohibarika Ouest

Extension longitudinale Nord-Sud prospectée : 35 kilomètres.

Extension latérale moyenne Est-Ouest : 150 mètres.

B- Gisements préflandriens (Ouest et Centre) :

Comportant les gîtes de :

- Manambato 1-2-3-4
- Ifotaka Ouest
- Esama Ouest
- Ampasimasay Ouest
- Vohibarika Ouest
- Iavibola centre
- Vohibarika centre

C- Gisements flandriens (Est) :

Comprenant les gîtes de :

- Ifotaka Est
- Esama Est
- Ampasimasay Est
- Vohibarika Est
- Iavibola Est

Le tableau suivant montre les tonnages de ces différentes formations minéralisées



TABLEAU N°5 : Tonnage des formations minéralisées VOHIBARIKA
Travaux B.R.G.M (M.E.M, 1985)

Noms des zones minéralisées	Cubage du minerai (m ³)	Tonnage du tout venant (en tonnes)	Teneur en ilménite en %	Tonnage ilménite (en tonne)	Teneur en zircon en %	Tonnage zircon (en tonne)	Teneur en monazite (en %)	Tonnage monazite (en tonne)
Gisements préflandriens (Ouest)	19.200.000	31.143.000	13,8	4.200.000	0,82	255.000	0,27	84.000
Gisements préflandriens (Ouest et Centre)	21.500.000	35.000.000	13,03	4.560.000	0,78	273.000	0,27	94.500
Gisements flandriens (Est)	32.108.720	51.300.000	5,56	2.850.000	0,29	149.000	0,16	82.000
Total Général	72.808.720	117.443.000	-	11.610.000	-	677.000	-	260.500



Analyse chimique de la monazite : A.M.E.I (Rantoanina 1986)

Secteurs	ThO2 (%)	Oxyde de terres rares (%)
Vohibarika Nord	6,84	59,16
Vohibarika Sud (secteur Nord)	7,88	59,02
Vohibarika Sud (secteur Sud)	9,04	58,46
Vohibarika Ouest (secteur Nord)	7,88	59,02

➤ Indice de Manambato :

Localisations coordonnées géographiques :

- X : 485,000
- Y : 176,000

Le gîte se situe immédiatement au Sud de l'embouchure de la rivière du même nom.

Minéralisation : dans une dune ancienne.

TABLEAU N°6 : Tonnage des minéraux lourds (Manambato) (M.E.M, 1985)

Tout venant (tonne)	Horizon noir ou gris (en tonne)	Ilménite (en tonne)	Zircon (en tonne)	Monazite (en tonne)
96.000	81.720	24.500	1.480	730
Teneurs moyennes dans les sables gris ou noirs (en %)		30	1,80	0,90
Teneurs moyennes dans les sables tout venant (en %)		25,50	1,52	0,76

Analyse chimique de la monazite : AMEI (Rantoanina 1986)

	ThO2 (%)	Oxyde de terres rares (%)
Monazite	7,52	58,63



➤ **Iabakoho :**

Localisations coordonnées géographiques :

- X : 477,000
- Y : 158,000

Le gîte se place au Sud -Est du bac d'Iabakoho. Il est séparé de la route Taolagnaro-Manantenina par une zone de lagune et marais.

Minéralisation : dans plage ancienne en partie gazonnée.

TABLEAU N°7 : Tonnage des minéraux lourds (Iabakoho)

Tout venant (tonne)	Horizon noir ou gris (en tonne)	Ilménite (en tonne)	Zircon (en tonne)	Monazite (en tonne)
9.600	6.000	2.040	105	95
Teneurs moyennes dans les sables gris ou noirs (en %)		34	1,74	1,54
Teneurs moyennes dans les sables tout venant (en %)		21,20	1,10	0,99

Analyse chimique de la monazite : AMEI (Rantoanina 1986)

	ThO2 (%)	Oxyde de terres rares (%)
Monazite	5,90	62,78

➤ **Matatoro-Evatra :**

Localisations coordonnées géographiques :

- X : 466,000
- Y : 127,500

Minéralisation : dans une dune et plage ancienne.



TABLEAU N°8 : Tonnage des minéraux lourds dans une dune (Matatoro-Evatra) : (Rantoanina 1986)

Tout venant (tonne)	Horizon noir ou gris (en tonne)	Ilménite (en tonne)	Zircon (en tonne)	Monazite (en tonne)
7.900	7.800	1.600	100	35
Teneurs moyennes dans les sables tout venant (en %)		20,00	1,28	0,47

TABLEAU N°9 : Tonnage des minéraux lourds dans plage ancienne (Matatoro-Evatra) : (Rantoanina, 1986)

Tout venant (tonne)	Horizon noir ou gris (en tonne)	Ilménite (en tonne)	Zircon (en tonne)	Monazite (en tonne)
14.400	13.800	3.000	200	90
Teneurs moyennes dans les sables tout venant (en %)		21,00	1,40	0,63

Total : ilménite : **4.600 tonnes** ; zircon : **300 tonnes** ; monazite : **125 tonnes**

➤ Gisement de Mandena et de Petriky :

Localisations coordonnées géographiques :

Gisement de Mandena :

- X : 457,000
- Y : 127,000

Gisement de Petriky :

- X : 441,000
- Y : 117,000

Ces deux gisements se trouvent de part et d'autre de la ville de Taolagnaro. Ils ont été étudiés en 1973 et 1974 par US.Steel qui a réalisé le cubage et le tonnage d'ilménite, monazite et zircon. Les réserves en minéraux lourds ont été calculées à partir d'échantillons de sable brut prélevé tous les 1,5 mètres le long des 4.300 sondages totalisant 25.575 mètres forés.



Actuellement, les gisements de Mandena et Petriky appartiennent à la zone d'exploitation du projet ilménite de Fort-Dauphin exploité par QMM. Le projet a pour objectif d'exploiter les gisements de sables minéralisés pour la production et l'exportation des produits minéraux industriels (l'ilménite, le rutile, le zircon et la monazite). La société Qit Minerals Madagascar (QMM) est actuellement en phase de construction d'une partie des infrastructures qui comprennent, outre le port et les installations minières, la réhabilitation de la RN12A et de la RN13, la construction d'une route reliant le site d'exploitation au port, et de deux bases vie de 300 personnes. Ce projet de 50 ans s'inscrit dans le programme de développement économique de Madagascar porté par le projet Pôles Intégrés de Croissance (PIC) de la Banque Mondiale.

Voici les résultats obtenus sur le gisement du golf de Mandena (M.E.M, 1985):

- tonnage du sable brut : **73.000.000 tonnes**
- teneur moyenne en minéraux lourds : **11,5%**
- tonnages minéraux lourds : **8.400.000 tonnes**

Sur la côte Sud-Est, les proportions en ilménite, en zircon, en monazite dans les minéraux lourds sont relativement constantes :

- ilménite : **92,5 à 93,1%**
- zircon : **3,7 à 5,5%**
- monazite : **1,9 à 3,15%**

Suivant ces critères, on peut penser que ce secteur contient très approximativement :

- ilménite : **7.800.000 tonnes**
- zircon : **300.000 tonnes**
- monazite : **200.000 tonnes**



SYNTHESE

La région de l'extrême Sud-Est présente d'importantes minéralisations en monazite. Madagascar détient, notamment dans l'ensemble des Chaînes Anosyennes et sur la côte Sud-Est, d'importantes réserves de monazite ainsi que d'autres minéraux qui, bien entendu, contiennent du thorium, des terres cériques et yttriques. Or, il existe un problème d'exploitabilité de monazite dans les gîtes éluvionnaires et alluvionnaires. Les résultats obtenus et les chiffres fournis montrent la nécessité de recherches plus poussées pour les éluvions et les alluvions à monazite, les teneurs et les tonnages sont faibles. Mais les gisements des sables de plages donnent des tonnages intéressants pouvant être exploités.

Les indices secondaires sont localisés sur les littorales de la région. D'après cette étude, nous pouvons proposer les hypothèses préliminaires suivantes :

- l'érosion et le démantèlement de ces granites et charnockites ont finalement conduit à la formation des gisements alluvionnaires et les sables de plages à monazite, ilménite, et zircon de la région.
- les concentrations en monazite existent le long de la vallée de l'Ifaho jusqu'à son embouchure à Ambinanibe, et elles sont importantes dans les sables de plage et des dunes.
- la morphoscopie des grains de monazite le long de cette vallée montre des grains non usés aux sources, puis des émoussés luisants pour les sables fluviatiles et des ronds mâts pour les sables dunaires et marins.

Enfin, les minéralisations de plages représentent un intérêt économique important face aux gisements alluvionnaires et éluvionnaires.

Ces informations ne suffisent pas à compléter le modèle métallogénique de la monazite de cette région ; il faudrait encore des études plus approfondies comme l'analyse exoscopique et endoscopique, des analyses chimiques complètes des grains de monazite, qui seront nécessaires pour mieux comprendre la formation des gisements et donneront beaucoup plus d'indications sur le comportement de la monazite dans le processus supergène et de mieux apprécier le modèle métallogénique de la filière en monazite de la région.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- ADAM, P. (1956)** Note sur la monazite, Service Géologique Antananarivo. B.298, 12 p.
- 2- ANDRIAMAROFAHATRA, La BOISSE (de) et NICOLLET, C. (1990)**
Datation U-Pb sur monazites et zircons du dernier épisode tectono-métamorphique granulitique majeur dans le Sud-Est de Madagascar. C.R. Acad. Sci. Paris, t.310, Série II, p.1646-1648.
- 3- ANDRIANAIVO L. (1993)** Etude Géologique du Massif de Manangotry et de ces minéralisations en monazite (Chaines Anosyennes, Sud Est de Madagascar). Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université Antananarivo, 57p.
- 4- ASENSIO, A., CAILLEUX, MDG (1958)** Morphoscopie de sable de Madagascar. Service Géologique Antananarivo, A. 1306, 15p.
- 5- BAZOT, G. (1971)** Etude géologique et prospection au 1/100.000 de la feuille Ranomafana du Sud (NO61), Service Géologique Tananarive : rapport Annuel 1971, 67-75 p
- 6- BAZOT, G. (1974)** Géologie de la région Fort-Dauphin Sainte-Luce, Service Géologique Tananarive. T.B.G.M. 142, p 1-44.
- 7- BAZOT, G. (1978).** Carte Géologique Fort-Dauphin NO 62 au 1/100.000
- 8- BAZOT, G. (1978).** Carte Géologique Ranomafana du Sud NO 61 au 1/100.000
- 9- BEHIER, J. (1960).** Contribution à la minéralogie de Madagascar, Service Géologique Tananarive. Ann. Géol. Mad XXIX, p50.
- 10- BESAIRIE, H. (1954).** Documents pour la Géographie de Madagascar. Service Géologique Antananarivo. Loc : CDDMG, TBG 54
- 11- BESAIRIE, H. (1966).** Gîtes minéraux de Madagascar. MDG Ann. Géol. Serv. Mines., Vol 2 Loc. : CDDMG, Fasc. XXXIV, p 1-93, 93 pl.
- 12- BESAIRIE, H. (1973)** Les diverses interprétations du socle Malgache. Service Géologique de Madagascar Antananarivo.
- 13- CAEN-VACHETTE, M. (1979)** Le Précambrien de Madagascar. Radiochronométrie par isochrones Rb/Sr sur roches totales. Revue de Géologie dynamique et de Géographie physique, v.21, pp.331-338.
- 14- COLLINS, A.S.; KRONER, A.; RAZAKAMANANA, T.; WINDLEY, B.F.; (2000)**
The tectonic architecture of the East African Orogen in central Madagascar a structural and geochronological perspective. J. African Earth Sci. 30 (4A), 21.



- 15- COLLINS, AS., WINDLEY, BF. (2002)** The tectonic evolution of central and northern Madagascar and its place in the final assembly of Gondwana.
- 16- HOTTIN, G. (1976)** Présentation et essai d'interprétation du Précambrien de Madagascar, Bull. BRGM. v IV, pp.117-153.
- 17- LA ROCHE, (de) H.; MARCHAL, J. (1956)** Géologie et minéralisation des chaînes Anosyennes, Service Géologique Antananarivo, Loc. : CDDMG, T.B.G 76, 57 p., 14 pl.
- 18- LA ROCHE, (de) H. (1956)** Les indices de monazite du Col de Manangotry. Etude d'ensemble provisoire. Arch. Serv. Géol. Madagascar. A 1082
- 19- LA ROCHE, (de) H. (1958)** Etude géologique de l'extrême Sud-Est de Madagascar. Zone de métamorphisme élevé. Thèse Doct. Etat, Nancy, Service Géologique Antananarivo, Ann. Géol. XXIII. 110 p, 14 pl.
- 20- MARCHAL, J. (1955).** Etude de la région d'Ifarantsa, Indices de monazite de la région d'Ampasimena. Archive Service Géologique Antananarivo, A.997
- 21- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE et DE LA PECHE (2003) :** Monographie de la région d'Anosy, Unité de Politique pour le Développement Rural (UPDR).
- 22- MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DE L'ENERGIE ET DES MINES. (1985)** Plan Directeur d'Actions pour la mise en valeur des ressources du sol et du sous sol de Madagascar, première phase, Première Partie, Service Géologique Antananarivo, Loc. : A.2267
- 23- MOINE, B. (1971)** Caractères de sédimentation et de métamorphisme des séries précambriennes épizonales à catazonales du centre de Madagascar. Approche structurale, pétrographique et spécialement géochimique, Thèse d'Etat Univ. Nancy I (France), 293p.
- 24- NICOLLET, C. (1985)** Les gneiss rubanés à cordiérite et grenat d'lhosy: un marqueur thermobarométrique dans le Sud de Madagascar.; Precamb. Res v.28, p.175-185.
- 25- NICOLLET, C. (1990)**. Crustal evolution of the granulites of Madagascar. In: Vielzeuf, D. and Vidal, P. (Eds.), Granulites and Crustal Evolution, Kluwer Academic publishers, pp.291-310.
- 26- PAQUETTE, NEDELEC, A., MOINE, B., RAKOTONDRAZAFY, M. (1994)**
U-Pb, Single Zircon Pb-Evaporation, and Sm-Nd Isotopic Study of a granulite Domain in SE Madagascar, J- Geol. v.102, p523-538.
- 27- RAKOTONDRAZIMA, C. (1983)** Les pyroxénites a urano-thorianite du Sud-Est de Madagascar: étude pétrographique, minéralogique et géochimique. Conséquences Métallogéniques, Thèse de 3^è cycle, Univ Lyon I (France), 206 p.



28- RAMAMBAZAFY, A. (1998) Granites et fluides en relations avec les skarns à thorianite dans les granulites du Sud-Est de Madagascar. Thèse de Doctorat Université Paul Sabatier Toulouse(France).

29- RANTOANINA, M. (1986) L'ilménite des sables de plages et de dunes à Madagascar. Rapport interne de la DEA/OMNIS. p1-7, p 36-43.

30- RAZAFIMAHATRATRA, D., ANDRIAMANANTENA, T. (2006) Mission de terrain à Taolagnaro

31- WINDLEY, B.F., RAZAFINIPARANY, A., RAZAKAMANANA, T. and ACKERMAND, D. (1994) Tectonic framework of the Precambrian of Madagascar and its Gondwana connections: a review and reappraisal, Geol. Rundsch. v.83, pp.642-659.

Dans les sites Web :

- *Wikipedia.org*
- *Mindat.org*
- www.madagascar-diplomatie.ch

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE 1 : Photos

(1)



(4)



(2)



(5)



(3)



(6)



(1) Ruisseau descendant du Col de Manangotry ; (2) Sable à grain grossier du versant Sud de Manangotry ; (3) Sable de rivière Ambahibe ; (4) Sable provenant des produits d'altérations d'un granite (SD10) ; (5) Sable de plage d'Ambinanibe ; (6) Dune littorale d'Ambinanibe.

(7) Minéralisation en monazite d'une pegmatite au Col de Manangotry



ANNEXE 2 :

CONTEXTE ECONOMIQUE MONDIAL :

- Evolution récente :

La demande mondiale en éléments de terres rares (ETR) connaît une bonne croissance. Les nombreuses utilisations actuelles des éléments des terres rares, de même que de nouvelles applications anticipées, assurent une croissance à long terme de la consommation, bien que certaines applications déclinent, notamment les phosphores d'éléments de terres rares (éclairage, télévisions, moniteurs d'ordinateurs, radars, films à rayons X) et les catalyseurs utilisés dans le raffinage de pétrole. Par contre, la demande pour les aimants permanents (utilisant du Nd) a connu une hausse de 25% par année depuis 1990. La demande pour les convertisseurs catalytiques dans les voitures (systèmes anti-pollution) augmente également, comme celle des batteries Ni-MH rechargeables (téléphones cellulaires, ordinateurs portables, agendas électroniques et autres appareils électroniques portables).

(Explorer pour les lanthanides au Québec.htm)

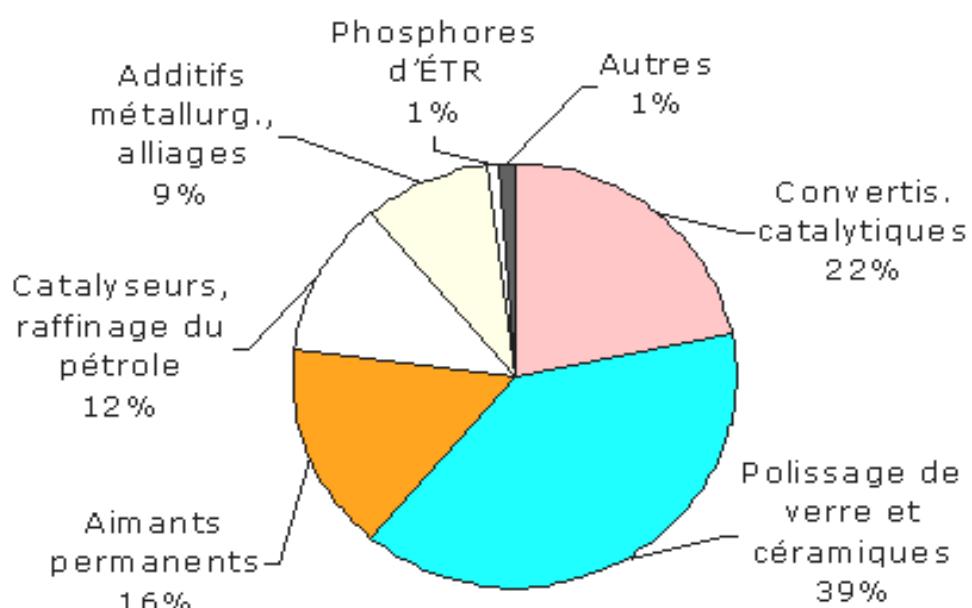


Fig.1 : Utilisation des ETR aux Etats-Unis en 2000
(source : *Explorer pour les lanthanides au Québec.htm*)

- Productions :

En 2001, la Chine représentait près de 88% de la production mondiale, sur un total estimé de 85 500 tonnes d'oxydes d'ETR contenus. Les États-Unis, avec la mine de Mountain Pass en Californie, en produisaient près de 6%, alors que l'Inde comptait pour environ 3% et les anciennes républiques soviétiques pour environ 2%. ([Explorer pour les lanthanides au Québec.htm](#))

Les réserves mondiales d'ETR s'élèvent à 110 Mt (*réserve base* de l'USGS); la Chine en compte 42,5%, les anciennes républiques soviétiques, 18,6%, les États-Unis, 12,4%, l'Australie, 5,1% et le Canada, 0,9%. ([Explorer pour les lanthanides au Québec.htm](#))

Les gisements de bastnaésite (Chine et E-U.) forment le plus grand pourcentage des réserves économiques, suivis des gisements de monazite (Australie, Brésil, Chine, Inde, Malaysia, Afrique du Sud, Sri Lanka, Thaïlande, E - U).

PAYS	RESERVES DE BASES (en millions de tonnes)
Chine	89
USA	14
Australie	5,8
Inde	1,3

Tableau n°I : Réserves mondiales de terres rares en 2005

- Principales sociétés productrices :

Le n°1 mondial est : Rhône-Poulenc (France, États-Unis, Japon) avec 40 % du marché mondial, en valeur. Il s'agit de produit des terres rares séparées de haute pureté que fournit les 3/4 du cérium utilisé dans les pots catalytiques.

Autres producteurs :

- Molycorp Inc (États-Unis) : terres rares séparées et non séparées.
- Treibacher Chemische Werke AG (Autriche) : mischmétal, alliages, sels et oxydes cériques

- Sociétés japonaises (Santoku...), chinoises et russes.

- Evolution des prix :

Les lanthanides se vendent sous forme de concentrés de monazite ou de bastanésite, ou encore de mischmétal, un mélange naturel d'élément de terres rares (~ 53% Ce, 25% La, 16% Nd, 4% Pr et 2% autres). Le prix des concentrés de monazite demeure déprimé car plusieurs usines de raffinage traitent seulement des minéraux sans thorium, pour éviter des problèmes environnementaux; aucun concentré de monazite ne fut importé aux États-Unis en 2000. Par contre, le prix des concentrés de bastnaésite a augmenté régulièrement depuis 1996, passant progressivement de 2,87 à 5,51 \$US/kg ([Explorer pour les lanthanides au Québec.htm](#)).

Les prix de l'année 2000 pour les ÉTR isolés et raffinés variaient de 20,85 \$US/kg (pureté 99,5%) pour le cérium (Ce), un élément dont l'abondance dans la croûte terrestre (60 ppm) surpasse celle du cuivre, et 3 500 \$ US/kg (pureté 99,99%) pour le lutétium (Lu), dont l'abondance crustale est d'environ 0,5 ppm.

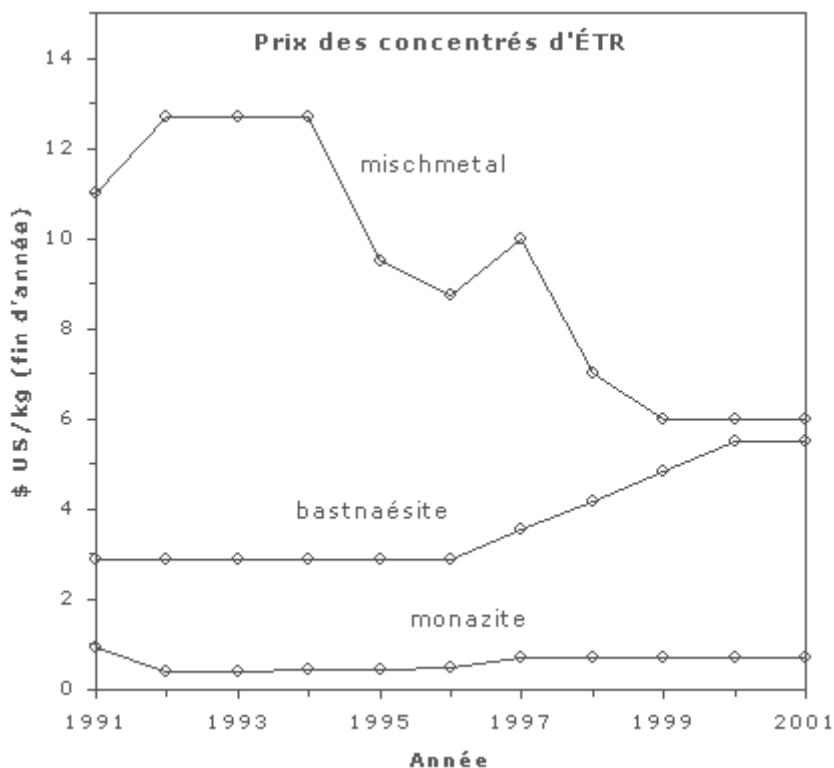


Fig.2 : Prix des minéraux de terres rares,

(Source : Mineral Commodity Summaries de l'USGS [Explorer pour les lanthanides au Québec.htm](#))

- Evolution future :

Exemples de nouvelles applications des terres rares :

- Les voitures hybrides et les voitures électriques utilisent des batteries rechargeables Ni-MH, qui comprennent un alliage de mischmétal. À mesure que l'autonomie de ces véhicules augmentera et que les législations environnementales limiteront les émissions de gaz à effet de serre, ces voitures pourraient devenir plus populaires, avec pour conséquence une augmentation de la consommation de mischmétal.
- Le dioxyde de cérium remplace le dioxyde de titane et l'oxyde de zinc dans une nouvelle génération de crèmes solaires serait plus efficace. Ces nouvelles crèmes réduiraient les coups de soleil, le vieillissement de la peau et le potentiel de cancer.

Des recherches sont en cours sur plusieurs autres alliages et composés d'ETR, avec des applications potentielles aussi diverses que les sonars militaires, les senseurs de SO₂ et la réfrigération magnétique.

ABSTRACT

The monazite is an orthophosphate of rare earth and thorium (Ce, Nd, Th) (PO₄) of the monoclonal system, it is also the main ore of thorium.

This extreme South East region of Madagascar is considered as the storage of the Madagascar monazite, namely:

- the primary deposits of the Anosyan massif about in the forms of veins with large monazite crystals within the enclosing granito-charnockitic formations
- Eluvial and alluvial occurrences, and beach sands which are probably the consequence of the Anosyan massif erosion.

The morphoscopic study of monazite show the “N-U” grains with the sources and “R-M” grains for eluvial and alluvial sands, and lastly the “R-M” for beach sands.

From an economic point of view, the areas rich in mineralization are concentrated in eluvial zones and are located in the vicinity of the estuaries of the big rivers. The former dunes are the richest in mineralization.

RESUME

La monazite, essentiellement phosphate de terres cériques de formule générale : (Ce, La, Nd, Th) (PO₄) du système monoclinique. Résistante à l'altération (dureté : 5,55), on la retrouve dans les sables de plage avec l'ilménite, zircon et rutile. C'est le principal minéral des lanthanides et parfois elle est utilisée comme source de thorium.

La région de Taolagnaro, à l'extrême Sud-Est de l'île présente d'importantes minéralisations en monazite. Les minéralisations secondaires sont représentées par les sables alluvionnaires et les sables de plage à monazite du littoral de Taolagnaro.

- L'érosion et le démantèlement des granites et charnockites Anosyens ont finalement conduit à la formation des gisements alluvionnaires et les sables de plages à monazite, ilménite, et zircon de la région de Taolagnaro.

- Les concentrations en monazite existent le long du fleuve Ifaho jusqu'à son embouchure à Ambinanibe, et elles sont importantes dans les sables de plage et des dunes.

- L'étude morphoscopique de la monazite des sables des ruisseaux descendant des Chaînes jusqu'aux sables de plages ont montré des grains non usés aux sources, puis des émuossés luisants pour les sables fluviatiles et des ronds mâts pour les sables dunaires et marins.

D'un point de vue économique, les gisements des sables de plage à monazite montrent des tonnages intéressants pouvant être exploités, mais les éluvions et alluvions à monazite nécessitent encore des recherches plus poussées.

Titre : « *Evolution de la minéralisation en monazite le long de la vallée de l'Ifaho du massif de Manangotry (Chaînes Anosyennes) jusqu'à la côte dans les environs de Taolagnaro* »

Mots clés : Monazite, gisement, thorium, minéralisation, morphoscopie, granite, charnockite

Nombre de page : 88

Nombre des tableaux : 9

Nombre des figures : 30

Auteur : Andriamanantena Tolotrarifetra

Tel : 032 07 970 91