



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention de la diplôme de:

MAITRISE EN SCIENCES ET TECHNIQUES
EN GEOPHYSIQUE APPLIQUEE

Option: Mines et Environnement

Intitulé

**APPORT DE L'AEROMAGNETISME ET DE LA TELEDETECTION A
L'ELABORATION DE CARTES STRUCTURALES DES SECTEURS
MINIERS DE MAROMBY ET DE TRANOMARO**

Présenté par

RAKOTOMANANTSOA Aina Diamondra

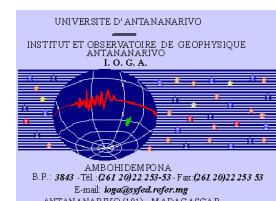
Devant la commission d'examen composée de :

Président : RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien, Professeur

Rapporteur : RAKOTO Heritiana, Maître de conférences

Examineurs : RASOLOMANANA Eddy Harilala, Professeur

ANDRIANAIVO Lala, Maître de conférences



le vendredi 12 Mars 2010



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention de la diplôme de:

MAITRISE EN SCIENCES ET TECHNIQUES

EN GEOPHYSIQUE APPLIQUEE

Option: Mines et Environnement

Intitulé

**APPORT DE L'AEROMAGNETISME ET DE LA TELEDETECTION A
L'ELABORATION DE CARTES STRUCTURALES DES SECTEURS
MINIERS DE MAROMBY ET DE TRANOMARO**

Présenté par



RAKOTOMANANTSOA Aina Diamondra

Devant la commission d'examen composée de :

Président : RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien, Professeur

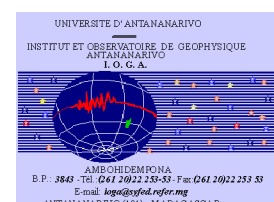
Rapporteur : RAKOTO Heritiana, Maître de conférences

Examineurs : RASOLOMANANA Eddy Harilala, Professeur

ANDRIANAIVO Lala, Maître de conférences



le vendredi 12 Mars 2010



REMERCIEMENTS

Je souhaite adresser ici mes vifs remerciements à toutes personnes, qui de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Particulièrement, j'adresse mes remerciements et ma vive reconnaissance à des personnes citées ci-après :

Monsieur **ANDRIANANTENAINA Bruno**, Doyen de la Faculté des Sciences à l'Université d'Antananarivo, d'avoir permis l'instauration de cette option au sein de la Faculté ;

Madame **RANDRIAMANANTANY Zely Arivelo** ; Chef du Département de Physique de l'Université d'Antananarivo.

Monsieur **RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien**, Professeur, responsable pédagogique de la formation Maîtrise en Sciences et Techniques en Géophysique Appliquée (MSTGA), qui m'a accepté d'être parmi ses étudiants au sein dudit d'établissement, et bien voulu assurer le président de jury malgré ses nombreuses responsabilités.

Monsieur **RAKOTO Heritiana**, Docteur, Enseignant chercheur au Laboratoire de Géophysique appliquée de l'IOGA, gérant de la SGDM. Je tiens à lui adresser ma profonde gratitude de ne pas avoir ménagé son temps pour m'encadrer tout au long de ce travail.

Monsieur **RASOLOMANANA Eddy Harilala**, Professeur, Enseignant à l'ESPA, qui a bien voulu examiner et analyser mon travail et qui a accepté d'être membre de jury malgré ses lourdes responsabilités.

Monsieur **ANDRIANAIVO Lala**, Docteur, Enseignant chercheur à l'ESPA, d'avoir accepté d'examiner ce présent mémoire.

Toute l'équipe de la SGDM (Société Géosciences pour le Développement de Madagascar).

Je voudrais également remercier toutes les équipes de l'IOGA/MSTGA de m'avoir conseillé au cours de mes études, en particulier, mes enseignants et mes collègues étudiants

Je n'oublierai pas de remercier ma famille, qui m'a soutenu moralement et surtout financièrement tout au long de mes études.

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS	I
TABLES DES MATIERES	II
LISTE DES ACRONYMES/ABREVIATIONS.....	V
LISTE DES FIGURES.....	V
LISTE DES PHOTOS.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES ANNEXES.....	VI
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : RAPPELS THEORIQUES ET METHODOLOGIE	
I. LA TELEDETECTION.....	2
I.1. Généralités.....	2
I.2. Son principe.....	2
I.3. Le rayonnement électromagnétique.....	3
I.4. Image Landsat TM7.....	4
I.5. Application à la géologie et à la géomorphologie.....	5
II. LA PROSPECTION MAGNETIQUE	5
II.1. Généralités.....	5
II.2. Objectif.....	6
II.3. Rappels théoriques du magnétisme	6
II.3.1. Élément du champ magnétique terrestre.....	6
II.3.2. La susceptibilité magnétique	7
II.3.3. Magnétisme induit et rémanent.....	8
II.3.3.1. Aimantation induit	8
II.3.3.2. Magnétisme Rémanent.....	8
II.3.4. Anomalie magnétique.....	9
II.3.5. Magnétisme aéroporté.....	9

III. LA TECHNIQUE DE TRAITEMENT DES DONNEES MAGNETIQUES	10
III.1.Réduction à la base.....	10
III.2.Réduction au pôle.....	10
III.3.Prolongement vers le haut.....	10
III.4.Dérivation verticale.....	11
III.5.Signal analytique.....	11
IV. DESCRIPTION DE L'ACQUISITION DES DONNEES	12
IV.1.Image satellite	12
IV.2.Données aéromagnétiques.....	12
 DEUXIEME PARTIE : CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE	
V. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDES	13
V.1.Situation géographique.....	13
V.2.Cadre géologique	13
V.2.1. Le système Androyen	14
V.2.2. Le système Anosyen.....	14
V.3. Contexte géomorphologique	17
V.3.1. Notion sur la géomorphologie	17
V.3.2.La géomorphologie de la zone.....	17
V.4. Contexte hydrographique	17
V.4.1.Le réseau de l'Androy	18
V.4.2.Le réseau du Mandrare	18
V.4.3.Les rivières de la Côte Est.....	18
VI. LES MINERAIS À EXPLOITER.....	19
VI.1.Le saphir	19
VI.2.L'uranothorianite	20
VI.3.L'exploitation minière dans la vallée de Tranomaro-Maromby.....	20
VI.4.L'uranothorianite de Tranomaro	21

TROISIEME PARTIE : TRAITEMENT ET INTERPRETATION DES DONNEES

VII. PRESENTATION DES LOGICIELS UTILISES LORS DU TRAITEMENT	23
VII.1 Le logiciel Oasis Montaj 7.00 (Geosoft)	23
VII.2 Le logiciel ENVI 4.0	23
VIII. TRAITEMENT ET INTERPRETATION DES IMAGES LANDSAT7 TM.....	23
VIII.1.Processus à suivre en interprétation de télédétection	23
VIII.2.Interpretation des données de source images satellites.....	24
IX. TRAITEMENT ET INTERPRETATION AEROMAGNETIQUES.....	28
IX.1.Considération générales	28
IX.2.Approche qualitative et quantitative	29
IX.3.Le traitement des données aéromagnétiques.....	29
IX.4.Interpretation magnétique	30
X. INTERPRETATION TECTONO-STRUCTURALE.....	38
XI.LES ZONES DE MINERALISATION	39
CONCLUSION GENERALE.....	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	42
ANNEXES	
ANNEXE I.....	44
ANNEXE II	46

LISTE DES ACRONYMES/ABREVIATIONS

3D	: Trois dimensions
BD 200	: Base des données à l'échelle 1/200000
BD 500	: Base des données à l'échelle 1/500000
Bloc C	: Localisation de la zone d'étude de levés géophysiques du PGRM ,2003
ERTS	: Earth Ressources Technology Satellite
ESPA	: Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
ETM+	: Enhanced Thematic Mapper plus
Hz	: Hertz
IOGA	: Institut et Observatoire Géophysique d'Antananarivo
km	: kilomètre
m	: mètre
MIR	: Moyen Infra Rouge
MSS	: Multi Spectral Scanner
MSTGA	: Maîtrise en Sciences et Techniques en Géophysique Appliquée
N45°	: Nord 45°
OMNIS	: Office Militaire National pour les Industries Stratégiques
PIR	: Proche Infra Rouge
RCM	: Remote Control Multiplexer
RVB	: Rouge Vert Bleu
SGDM	: Société Géosciences pour le Développement de Madagascar

LISTE DES FIGURES

Figure1 : Base de la Télédétection (Source : Centre Canadien de Télédétection).....	2
Figure2 : Chaînes d'Acquisition (Source : Centre Canadien de Télédétection).....	3
Figure3 : Représentation de la longueur d'onde d'une fonction sinus	4
Figure4 : Représentation à 3D du champ magnétique terrestre.....	7
Figure5 : Direction du magnétisme induite et rémanent (Source : Stettler E., 2004).....	9
Figure6 : Carte de localisation de la Région d'Anosy.....	13
Figure 7 : Carte géologique de la région d'Anosy BD 500 (Source : PGRM, Symposium 2008).....	16

Figure8 : Carte hydrographique de la Région d'Anosy.....	19
Figure9 : Composition colorée (7, 4, 2).....	25
Figure10 : Composition colorée (5/7,5/1,5/4*3/4).....	27
Figure11: Carte du champ magnétique total	31
Figure12 : Carte de réduction au pôle	33
Figure13 : Carte du signal analytique	35
Figure14 : Carte de dérivation verticale.....	37
Figure15 : Carte de synthèse : composition colorée (3/5,3/1,5/7).....	41

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : De gauche à droite « Uranothorianite » - « Mine d'uranothorianite de Maromby dans le Sud de Madagascar ;mine située dans la zone de contact du pyroxénite (à gauche) et des dykes granitiques associés aux marbres » - « Thorianite ».....	20
Photo2 : Photographie de la mine de thorium d'Antroatsaba dans la vallée de Tranomaro.....	22
Photo3 : Cessna 404 Aéronef de prospection utilisé par Fugro	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau: Caractéristiques du capteur TM de Landsat	4
--	---

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I.....	45
ANNEXE II	47

INTRODUCTION

Madagascar dispose de richesses minérales considérables dispersées sur l'ensemble de son territoire. Il en recèle plusieurs variétés tant dans le socle ancien qui couvre 75% de sa superficie que dans les formations sédimentaires. Mais, sans une bonne connaissance structurale du socle malgache, on n'arrive jamais à exploiter ces ressources raisonnablement.

La Société Géosciences pour le Développement de Madagascar (SGDM) s'est chargée à faire des études structurales dans les zones de Maromby et de Tranomaro; situé dans la région d'Anosy en vue d'identifier les zones à ressource minière potentielle, à l'aide des techniques utilisant la géophysique ; ainsi elle a utilisée les données aéromagnétiques et la télédétection pour la réalisation de cette étude.

Les données aéromagnétiques délimiteraient les différentes structures magnétiques constituant le sol et un reflet du sous-sol, et la télédétection consiste à la mise en évidence des différentes déformations structurales susceptibles d'indiquer les zones intéressantes pour des quelconques exploitations ultérieures.

C'est pour cette raison que le sujet du mémoire de stage est intitulé : « Apport de l'aéromagnétisme et de la télédétection à l'élaboration de cartes structurales des secteurs miniers de Maromby et de Tranomaro ». Ces travaux ont pour objectifs principaux d'apporter plus d'information sur la structure géologique du lieu qui est jugé très complexe et riche en minéralisation.

Le présent mémoire s'articule sur trois parties :

- La première partie se rapporte à la méthodologie, les rappels théoriques de la télédétection et du magnétisme,
- La deuxième partie se focalise sur la présentation de la zone d'étude,
- Enfin, la dernière partie concerne le traitement et l'interprétation des données aéromagnétiques et de source satellitales en vue d'une interprétation géologique et structurale pour indiquer la zone de minéralisation éventuelle. La conclusion termine le corps de ce mémoire.

PREMIERE PARTIE : Rappels théoriques et
méthodologie

I. LA TELEDETECTION

I.1.Généralités

La télédétection est une technique qui permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact avec celle-ci. Elle regroupe tous les processus qui consistent à capter et à enregistrer d'un rayonnement électromagnétique. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométrique (position, forme et dimension), optique (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimique (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phyto-masse, matière organique du sol,...), etc. [01]

I.2.Son principe

Le principe de base de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme. La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un vecteur. La cible est la portion de la surface terrestre observée par le satellite. Sa taille peut varier d'une dizaine de kilomètres carrée à plusieurs milliers.

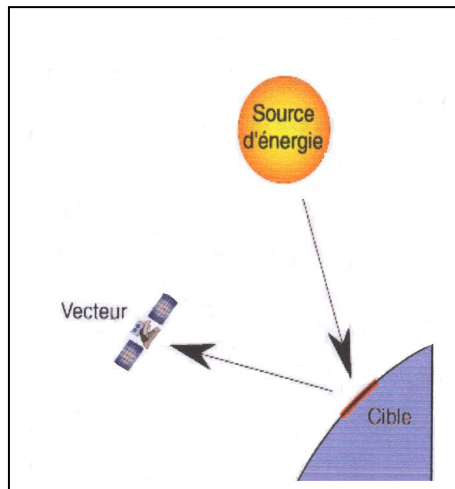


Figure1 : Base de la Télédétection (*Source* : Centre Canadien de Télédétection)

Une vectrice ou plate forme de télédétection mesure l'énergie solaire (rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible. Le vecteur peut être un satellite ou un avion dominant la cible de quelque centaine de mètre à 36 000kilomètres.

Les capteurs embarqués sur le satellite mesurent le rayonnement électromagnétique réfléchi, puis un émetteur renvoie l'image sur terre vers des stations de réception. [01]

I.3. Le rayonnement électromagnétique

Premièrement, une source d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique est nécessaire pour illuminer la cible, à moins que la cible ne produise elle-même cette énergie.

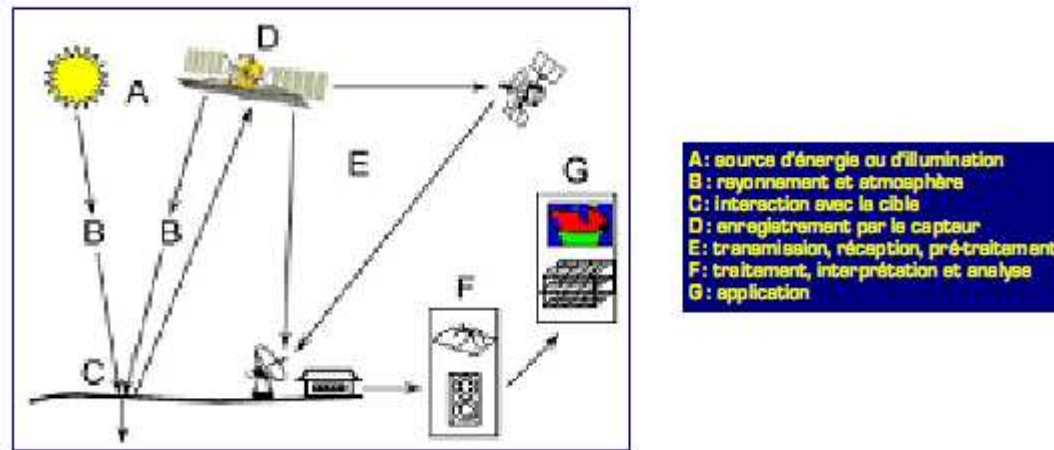


Figure2 : Chaînes d'Acquisition (*Source : Centre Canadien de Télédétection*)

Selon la théorie des ondes, tout rayonnement électromagnétique possède des propriétés fondamentales et se comporte de façon prévisible. Le rayonnement électromagnétique est composé d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique (M). Le champ électrique varie en grandeur et est orienté de façon perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement. Le champ magnétique est orienté de façon perpendiculaire au champ électrique. Les deux champs se déplacent à la vitesse de la lumière (c). [01]

Pour comprendre la télédétection, il est indispensable de saisir les deux composantes du rayonnement électromagnétique qui sont la longueur d'onde et la fréquence. La longueur d'onde équivaut à la longueur d'un cycle d'une onde, ce qui correspond à la distance entre deux crêtes successives d'une onde. La longueur d'onde est représentée habituellement par la lettre grecque lambda, et est mesurée en mètres ou en l'un de ces sous multiples tels que les nanomètres (nm, 10^{-9} mètre), micromètres (μm , 10^{-6} mètre) ou centimètres (cm, 10^{-2} mètre). La fréquence représente le nombre d'oscillations par unité de temps. Normalement, la fréquence est mesurée en Hertz (Hz) (c'est-à-dire en oscillations par seconde) ou en multiples d'Hertz. [01]

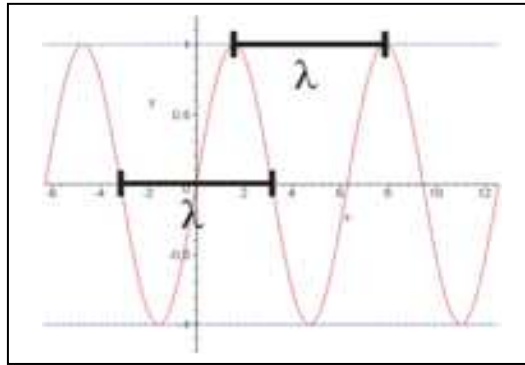


Figure3 : Représentation de la longueur d'onde d'une fonction sinus

La formule suivante illustre la relation entre la longueur d'onde et la fréquence :

$$\lambda = c/v$$

λ est la longueur d'onde (m);

c est la vitesse de la lumière ($\approx 3 \times 10^8$ m/s) ;

v est la fréquence de l'onde (Hz).

La longueur d'onde et la fréquence sont donc inversement proportionnelles, c'est-à-dire que plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et plus la longueur d'onde est grande, plus la fréquence est basse. [01]

I.4. Image Landsat TM7

Tableau: Caractéristiques du capteur TM de Landsat

Tableau: Caractéristiques du capteur TM de Landsat

Satellite	Capteur	Bande	Canal	Longueur d'Onde en (μm)	Résolution Spatiale (m)
Landsat 7	TM	TM1	Bleu	0,45 à 0,52	30
		TM2	Vert	0,52 à 0,60	30
		TM3	Rouge	0,63 à 0,69	30
		TM4	PIR	0,76 à 0,90	30
		TM5	MIR 1	1,55 à 1,75	30
		TM7	MIR 2	2,08 à 2,35	30
		TM6	Thermique/ lointain	10,4 à 12,5	60
		Panchromatique	Visible	0,50 à 0,9	15

(Source : Centre Canadien de Télédétection)

Une image LANDSAT est une manière de représenter les informations spatiales dans lesquelles chaque point correspond à un pixel pour une unité de surface élémentaire dans l'espace. L'ensemble des images forme une matrice de n pixels, p lignes et q colonnes. L'image obtenue est caractérisée par sa résolution qui correspond à une surface de dimension donnée de son pixel. Une image multispectrale, obtenue à partir de quelques capteurs opérant dans plusieurs bandes spectrales. A chaque capteur correspond un intervalle du spectre des longueurs d'onde du rayon électromagnétique. De nombreux capteurs permettent de réaliser simultanément des images d'un même site dans plusieurs bandes spectrales.

Landsat 7, c'est la troisième génération du satellite d'observation de la terre avec un cycle d'orbital de 16 jours après la disparition du capteur MSS, un nouveau capteur TM dit ETM+ est né.

I.5.Application à la géologie et à la géomorphologie

Le principe d'utilisation de la télédétection en exploration géologique et géomorphologique est principalement fondé sur l'analyse des réponses spectrales de chaque unité structurale. Ces méthodes ont été héritées de la photogéologie. Les réponses attendues de l'analyse des données des différents moyens sont de type : lithologique, minéralogique, structurale et beaucoup d'autres. [02]

La reconnaissance des types de roches en télédétection peut être directe ou indirecte.

Elle est directe quand les roches considérées affleurent en surface, sans qu'il y ait de couverture végétale ou de sols. Dans ce cas, elle peut s'appuyer sur une analyse de l'interaction entre la roche et les ondes électromagnétiques porteuses de l'information télédéteectée. Cependant, dans la plupart des cas, les roches ne sont pas directement visibles en surface, et leur reconnaissance doit s'appuyer sur des connaissances géologiques. On passe donc à l'identification et à l'interprétation géologique in situ. [02]

II.LA PROSPECTION MAGNETIQUE

II.1.Généralités

La Géophysique ou Physique de la terre a pour but d'étudier les propriétés physiques du globe terrestre. Son objectif principal est de connaître la constitution de la terre à partir des propriétés physiques qui leur sont associées.

On sépare la géophysique du globe de la géophysique appliquée pour des raisons d'échelle (spatiale et temporelle). Par conséquent, le géophysicien a toujours à l'esprit les trois mots clefs suivants : dynamique, structure ou modèle et échelle.

Pour notre cas, on va se cantonner à la géophysique appliquée qui étudie seulement la croûte. La dénomination « appliquée » vient du fait que le sous-sol contient des matières premières susceptibles d'être exploitées par l'homme.

II.2.Objectif

Le géomagnétisme a pour objet l'étude du champ magnétique terrestre. Leur application se porte sur les trois domaines suivants :

En physique du globe, l'étude des variations temporelles du champ dans des échelles de temps, couvrant près de vingt ordres de grandeur, permet d'en préciser et d'en modéliser ses parts externes (Magnétosphère et ionosphère) et interne (circulation dans le noyau terrestre, effet dynamo, composantes mantellique et lithosphérique).

En géodynamique, grâce à l'archéomagnétisme et au paléomagnétisme, on peut reconstituer les mouvements passés des plaques lithosphériques.

En géophysique appliquée à la prospection, l'étude des anomalies magnétiques apporte des informations sur les sources plus ou moins profondes dans la croûte terrestre qui peuvent intéresser le prospecteur.

II.3.Rappels théoriques du magnétisme

II.3.1.Elément du champ magnétique terrestre

Le champ magnétique terrestre peut être défini en tout point donné par trois composantes: Nord, Est, Verticale (X, Y, Z).Très souvent, on donne une valeur exprimée par la grandeur du champ total F et sa déclinaison D ainsi que son inclinaison I ; où D est l'angle entre la composante horizontale du champ et le nord géographique et I , l'angle entre F et l'horizontale.

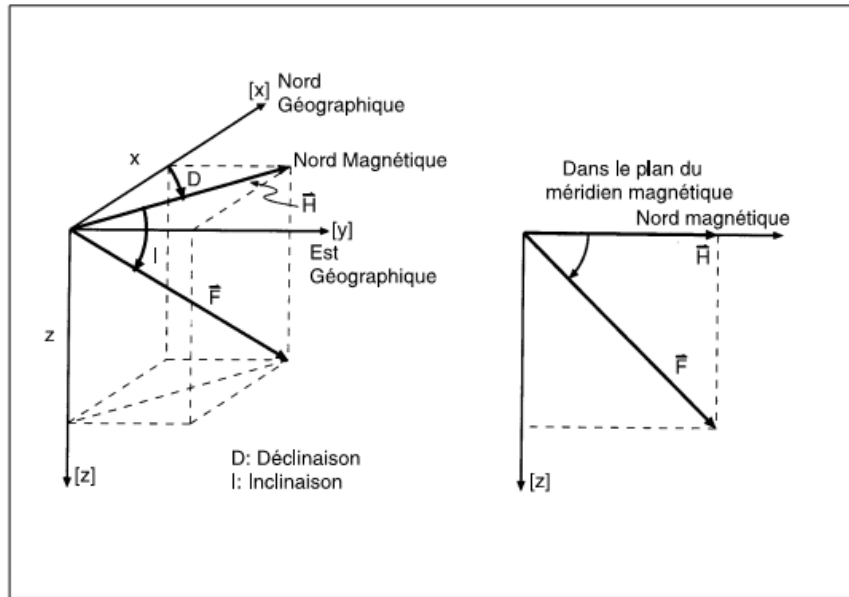


Figure4 : Représentation à 3D du champ magnétique terrestre

(Source : Stettler E., 2004)

Nous avons les relations suivantes :

$$H = F \cos I$$

$$X = F \cos I \cos D$$

$$Y = F \sin I$$

$$F^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

Les composantes X, Y, Z sont les composantes cartésiennes du champ magnétique, généralement utilisées pour la recherche. Les composantes H, D et Z sont les composantes sphériques du champ magnétique.

II.3.2. La susceptibilité magnétique

La susceptibilité magnétique χ c'est le degré de magnétisation d'un corps. Mais, dans la prospection magnétique, on parle la susceptibilité magnétique des roches et elle joue un rôle important. Elle permet de caractériser la composition magnétique des roches.

Tous les matériaux peuvent être classés à l'intérieur de trois groupes définissant leurs propriétés magnétiques : diamagnétisme, paramagnétisme, ferromagnétisme (et ferrimagnétisme).

On dit que:

- le matériau est diamagnétique si sa susceptibilité magnétique est négative, comme le quartz, feldspath, sel...etc.,

- le matériau est paramagnétique si sa susceptibilité magnétique est positive, comme les gneiss, pegmatite,...etc.,

- le matériau est ferromagnétique et ferrimagnétique si ses susceptibilités magnétiques sont positives, comme la magnétite, ilménite,...etc. [03]

II.3.3.Magnétisme induit et rémanent

II.3.3.1.Aimantation induite

Le champ magnétique de la terre crée de l'aimantation dans les roches. Il est faible en comparaison avec un électroaimant. Le degré de magnétisme induit dépend de l'intensité du champ terrestre au point particulier ainsi que d'une caractéristique de la roche connue sous le nom de la susceptibilité magnétique. [03]

II.3.3.2.Magnétisme Rémanent

En plus de l'aimantation induite par le champ magnétique de la terre, quelques roches et minéraux possèdent une aimantation rémanente qui est due à l'aimantation rémanente de leurs grains ferromagnétiques constituants.

Dans quelques roches et minerais, l'aimantation rémanente pourrait dominer l'aimantation induite complètement et il peut être orienté dans une direction différente à celle du champ magnétique terrestre et il peut, en effet, être opposé au champ terrestre. Ceci est le résultat du fait que le champ terrestre, au moment où les roches étaient magnétisées, avait une orientation différente à celle du champ actuel. L'aimantation rémanente pourrait résulter d'une cause ou une autre ou une combinaison des causes telles que les suivantes :

- le refroidissement d'une roche dans un champ magnétique ;
- la formation chimique ou la cristallisation dans un champ magnétique ;
- la tendance des grains magnétiques d'être orientés dans la direction du champ magnétique au cours de la sédimentation. [03]

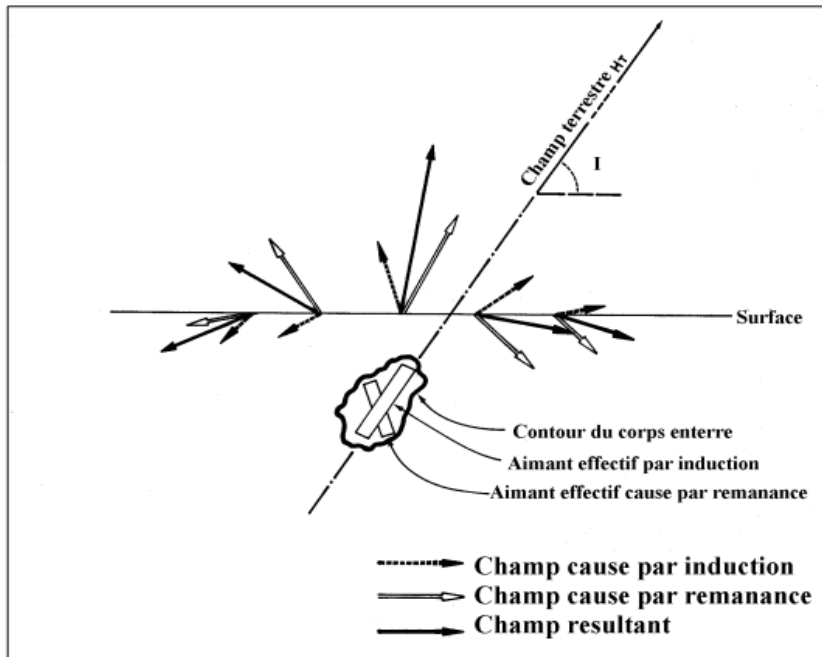


Figure5 : Direction du magnétisme induite et rémanent (Source : Stettler E., 2004)

II.3.4. Anomalie magnétique

Une anomalie magnétique représente une perturbation locale du champ magnétique terrestre. Elle résulte d'un contraste d'aimantation. Soit B_t , B_p , B_a respectivement le vecteur du champ magnétique total, champ normal et le champ d'anomalie crustal.

Ainsi, pour le calcul de cette anomalie les hypothèses suivantes ont été prises : le réseau considéré est de dimension assez restreinte pour qu'on puisse considérer que la surface considérée est pleine. [04]

Unité : En S.I l'unité de champ magnétique est le Tesla. On utilise souvent, dans le cas de la prospection magnétique, le nanoTesla (nT) ou Gamma (γ).

On a la relation, $1\text{nT} = 10^{-9}\text{T} = 1\gamma$

II.3.5. Magnétisme aéroporté

Le terme Aéroporté vient du fait que l'appareil de mesure est porté par un avion ou un hélicoptère.

L'aéromagnétisme consiste à mesurer le champ magnétique terrestre au-dessus du sol depuis un avion pour en tirer des informations sur les roches sous-jacentes. Elle est utilisée aussi en géologie structurale et pour l'établissement de cartes géologiques car elle permet de détecter des failles et de localiser précisément les limites de diverses structures géologiques.

Par rapport à des levés au sol, l'usage de l'avion permet de couvrir rapidement des surfaces importantes avec un personnel réduit. [05]

L'algorithme de traitement utilisé en magnétisme aéroporté est analogue à l'algorithme magnétique classique que nous développerons dans les paragraphes qui suivent.

III.LA TECHNIQUE DE TRAITEMENT DES DONNEES MAGNETIQUES

Afin de traiter les anomalies magnétiques, avant même de les modéliser, un certain nombre de traitements numériques peuvent être appliqués.

III.1.Réduction à la base

Le champ magnétique total $\vec{B}(P,t)$ se décompose en trois termes :

$$\vec{B}(P,t) = \vec{B}_p(P,t) + \vec{B}_c(P,t) + \vec{B}_t(P,t) \quad \text{avec}$$

$\vec{B}_p(P,t)$: Champ principal

$\vec{B}_c(P,t)$: Champ crustal

$\vec{B}_t(P,t)$: Champ transitoire

-le champ principal a une origine dipolaire centrée, c'est le champ magnétique dû à la rotation de la terre.

-le champ transitoire est produit par des rayonnements externes, par le soleil, par les astres,...

-le champ crustal est le champ magnétique dû à l'aimantation des roches dans la croûte. C'est ce champ qui nous intéresse les prospecteurs. [06]

III.2. Réduction au pôle

Comme, on a montré ci-dessus, le champ crustal est dû uniquement à l'aimantation des roches de la croûte. Le champ magnétisant est le champ principal B, dans ce cas, ce que l'on mesure lors d'un levé magnétique est la résultante de ces deux champs principaux et crustal. La réduction au pôle consiste en d'autres termes à mettre la source à la verticale de l'anomalie.

III.3.Prolongement vers le haut

Le filtre de continuation vers le haut recalcule les données comme si l'observation se fait à un niveau plus élevé. Il permet de distinguer des sources régionales plus clairement. Le niveau de continuation est relatif à l'altitude d'acquisition de 50 mètres au dessus du sol et une continuation vers le haut de 100mètres résultera en une altitude de profil de 150 mètres au-dessus du sol. [06]

III.4.Dérivation verticale

Par un traitement mathématique, il est possible de faire « ressortir » les structures perpendiculaires à la direction de dérivation. Le calcul des dérivées des données aéromagnétiques d'un levé efface les informations non requises de basse fréquence et présentes les bords des anomalies. Les zones qui n'ont pas d'anomalies n'affichent aucun changement en champ magnétique et ont, par conséquent, une dérivée de zéro. Au bord d'une anomalie, les données changeront et la dérivée sera non zéro. Une zone qui a une dérivée non zéro délimitera clairement une anomalie.

La dérivée verticale est donc la dérivée des données Z transformées en fonction de l'hauteur et amplifie les anomalies superficielles en vue de distinguer les causes de toutes les anomalies sans chevauchement. [06]

$$\varphi_h^{(P)} = \frac{\partial^P}{\partial Z^P} \varphi(X, Y, Z) \quad (\text{nT/m})$$

III.5.Signal analytique

Une caractéristique importante est l'indépendance de la direction des sources magnétiques. L'amplitude du signal analytique est simplement liée à l'amplitude de la magnétisation.

Le signal analytique est défini comme :

$$F = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} \quad (\text{nT/m})$$

f : valeur de la cellule de la grille

$\frac{\partial f}{\partial x}$: Première dérivée horizontale avec azimuth égal=0

$\frac{\partial f}{\partial y}$: Première dérivée horizontale avec azimuth égal=90

$\frac{\partial f}{\partial z}$: Première dérivée verticale

IV. DESCRIPTION DE L'ACQUISITION DES DONNEES

IV.1. Image satellite

Des scènes d'image 158077 et 159077 du LANDSAT7 TM ont été utilisées. Les bandes spectrales ont été rehaussées, découpées pour couvrir la zone d'étude. Les images ont été ensuite re-échantillonnée pour avoir une bonne résolution afin de mieux différencier les cibles intéressantes.

IV.2. Données aéromagnétiques

Les données font partie des données aéromagnétiques du PGRM qui a effectué des levés aéromagnétiques et spectrométriques dans plusieurs régions de Madagascar dans le cadre du renouvellement des cartes géologiques de Madagascar.

On a utilisée pour ce traitement la partie des données des coupures LM60 – 61 du bloc C.

DEUXIEME PARTIE : Contexte général de la zone d'étude

On va présenter, dans ce chapitre, le contexte général de la zone c'est-à-dire sa localisation, sa géologie et la généralité sur les uranothorianites et les saphirs.

V. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDES

V.1.Situation géographique

La zone d'étude se trouve dans la région d'Anosy située dans l'extrême sud de Madagascar. La région appartient à l'ancienne province de Toliara et au district d'Amboasary. Elle est limitée géographiquement par les latitudes 23° et 25° et par les longitudes 44° et 47°, selon le système de référence WGS 84. [07]

Les deux sites Maromby et Tranomaro sont respectivement localisées géographiquement, selon le système de coordonnées Laborde: X=413420m et Y=196450m puis X=403500m et Y=169300m.

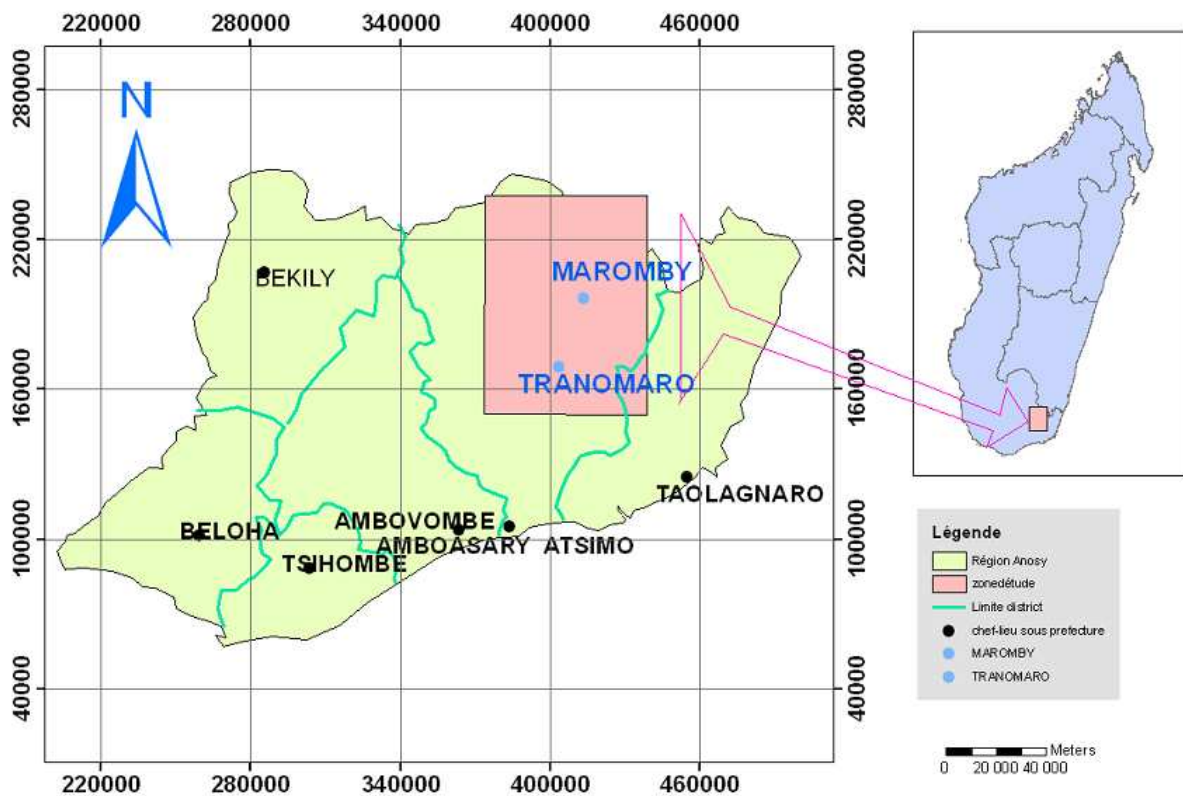


Figure6 : Carte de localisation de la Région d'Anosy

V.2.Cadre géologique

Selon Bésairie 1951-1973, Madagascar est divisée en 3 grandes formations :

- le socle cristallin qui est une formation métamorphique datant du précambrien
- la couverture sédimentaire surtout localisée dans la partie occidentale

- les manifestations magmatiques qui sont un peu partout aussi bien dans le socle cristallin que dans le sédimentaire.

Comme la feuille Esira est située dans la partie Sud-Est de l'île, il repose donc sur le socle cristallin.

Le socle précambrien ancien comprend un système surtout paragneissique profond dit : Androyen, traversé par un système granitique dit Anosyen.

V.2.1. Le système Androyen

Ce système a été divisé zonéographiquement en plusieurs groupes à caractères minéralogiques et métallogéniques distincts, sans qu'aucune considération d'âge relatif puisse intervenir. Ces groupes sont :

- **Groupe de Fort-Dauphin** : leptynites et gneiss, cordiérite et grenat, migmatitisation forte: grosses intrusions granitiques, granitisation conduisant à des granites grenatifères,

- **Groupe de Tranomaro** : extrême abondance de paragneiss calciques et magnésiens. leptynites, pyroxénites, wernéritites, cipolins. Diopside, cordiérite, grenat, phlogopite, migmatitisation forte. Grosses intrusions granitiques. Granitisation conduisant à des granites grenatifères,

- **Groupe d'Ampanrandava** : Gneiss, leptynites, pyroxénites. Grenat, phlogopite, accessoirement, cordiérite et sillimanite. Migmatitisation variable. Intrusions granitiques modérées,

- **Groupe d'Ampanihy** : Extrême abondance du graphite .Leptynites et gneiss. Grenat, amphibolite, biotite. Migmatitisation légère de type artéritique. Intrusions granitiques très rares,

- **Groupe de Vohibory** : Leptynites, gneiss à amphibolite, sans graphite. Migmatitisation légère,

- **Groupe de Vondrozo** : Surtout orthogneissique, encore mal défini. Migmatitisation variable.

V.2.2. Le système Anosyen

Il comporte :

. Le granite de type Esirien, monzonitique, toujours associé à la série des malgachites (comparables aux charnockites),

. La série du type Kalambatréen, avec prédominance de granites monzonitiques sans malgachite mais aussi des granites akéritiques, des diorites quartziques, des monzonites, en gisements laccolitiques,

. Les filons et veines de granites monzonitiques épars, généralement injectés suivant la schistosité des gneiss.

La réactualisation de la carte géologique de Madagascar, introduit une nouvelle interprétation et a simplifiée la géologie de la région d'Anosy.

La partie nord-ouest est composée de leptynites du faciès granulitique qui ont été traversés par des granites et des syénites. La partie centrale contient des gneiss et des granites et la partie Est comprend surtout de pyroxénite et de marbre qui sont interpliés avec le leptynite et traversés à l'Est par un granite d'âge Panafricain.

La partie sud-ouest de l'Anosy est formée des roches volcaniques du Crétacé et des stocks de rhyolite, de basalte volcanique et subvolcanique qui forment une masse ovale. Elles donnent la caractéristique topographique prédominante de cette partie.

La sédimentation Cénozoïque a pris place dans certaines de vallées continentales et le long de la côte. Plusieurs altérations profondes ont produit des zones latéritiques dans certaines parties de la région. [08], [09], [10]

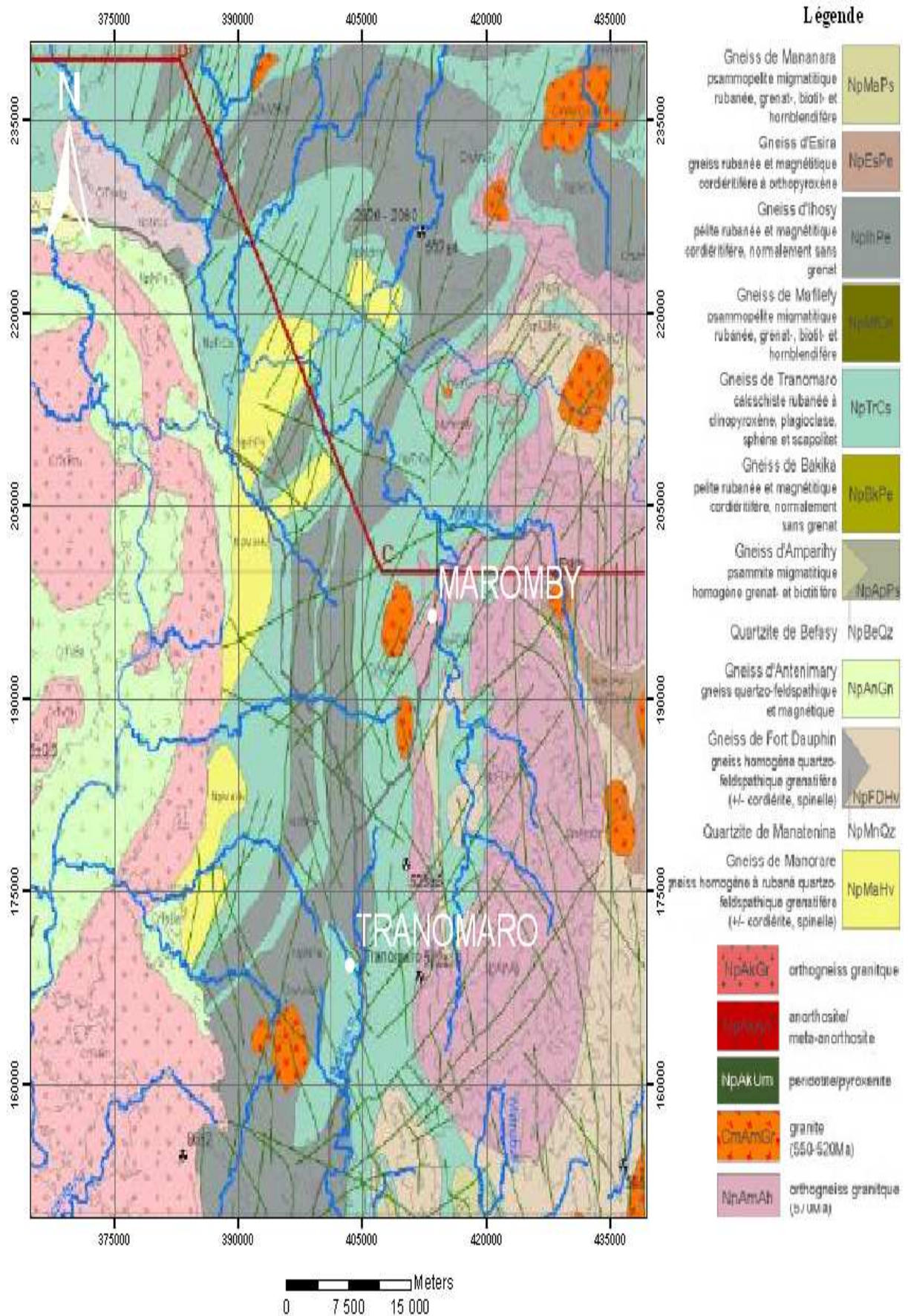


Figure7 : Carte géologique de la région d'Anosy BD 500 (Source : PGRM, Symposium 2008)

V.3. Contexte géomorphologique

V.3.1. Notion sur la géomorphologie

La géomorphologie est par définition, une discipline de la géographie physique et de géosciences. L'approche de plus en plus quantitative tend à la classer aujourd'hui dans les sciences physiques de la Terre. Elle décrit les formes de la surface de la Terre (ou relief) et explique leur formation et leur évolution, sous l'effet de la tectonique et de l'érosion.

Son principal objectif se basant de l'étude comparative entre relief et géologie. [11]

V.3.2. La géomorphologie de la zone

Les conditions naturelles et climatiques permettent de distinguer trois grandes sous-régions :

L'Anosy : située à l'extrême Sud-Est, et allant d'une étroite plaine côtière jusqu'aux haut crêtes boisées des chaînes anosyennes à l'Ouest, en passant par la large vallée de l'Efaho-Fanjahira dans la partie centrale. Les collines basses de savoka à « ravalala » prédominent à l'Est, tandis que les végétations sont déjà plus mélangées du côté opposé.

L'Androy : comprise entre les fleuves du Mandrare à l'Est et de Menarandra à l'Ouest, limitée au Nord par les contreforts montagneux des Hautes Terres méridionales Bara et au Sud par une haute falaise surplombant l'Océan Indien. La végétation est composée plantes xérophiles dont surtout les « fantiolotse ». Le climat de type semi-aride tropical, comporte deux saisons bien marquées : pluvieuse de novembre à mars et sèche d'avril à octobre. De par la nature géologique, on distingue la zone sédimentaire et la zone cristalline.

Les Hautes Terres Bara et le Haut Mandrare : sis dans la partie Nord, constituent deux ensembles régionaux plus avantagés, avec une pluviométrie plus abondante et un ensoleillement supérieur. Le relief est toutefois très tourmenté d'où un phénomène de lessivage et de dégradation. La savane herbeuse ou arborée prédomine, car la déforestation est très poussée. [08]

V.4. Contexte hydrographique

En générale, le réseau hydrographique de la région sud de Madagascar se divise en trois parties distinctes telles :

V.4.1. L'Androy et ses affluents

Ce réseau comprend deux principales rivières :

La Menarandra qui a de longueur 180km et constitue la limite ouest de l'Androy. Elle est à sec cinq mois sur douze et ses nombreux petits affluents ne coulent que pendant la saison des pluies.

La Manambovo, une petite rivière qui passe à Tsihombe est à sec durant neuf mois de l'année. [08]

V.4.2. Mandrare et ses affluents

Le fleuve Mandrare, de longueur totale de 270 km, qui passe à Amboasary et draine une vaste superficie circulaire de 12570 km², délimitée par le rebord Manambien au nord et les chaînes anosyennes à l'est. Ce fleuve débute à l'est dans les chaînes montagneuses d'Anosy. Il possède les principaux affluents : Iatranatra et Manambolo à l'est et rejoignent la rive gauche de Mandrare à l'Est de Mahaly, et Andrachné à l'ouest et afflue le fleuve au sud, au niveau de Ranomainty. C'est la seule rivière utile sur le plan agricole, car émaillée de nombreux petits barrages. [08]

V.4.3. Les rivières de la Côte Est

Ce sont les rivières de Manampanihy, Ebakika, Vatomirindra, Esama. Elles sont inexploitable sur le plan agricole et elles sont plutôt des obstacles qui entravent considérablement la circulation entre Taolagnaro, Manantenina et Vangaindrano

Le bilan hydrologique à la station d'Amboasary montre que l'alimentation des aquifères dans les altérites n'est observée qu'en décembre et janvier. [08]

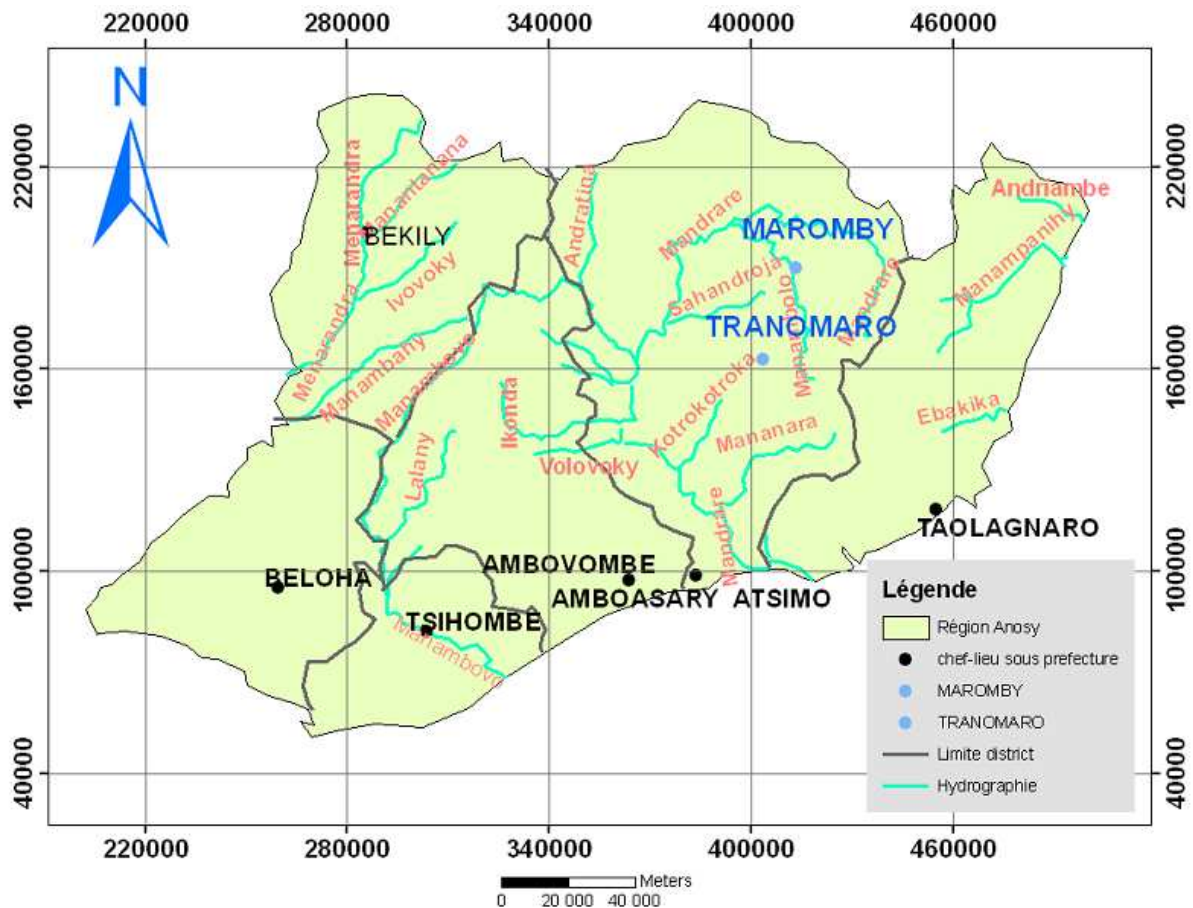


Figure8 : Carte hydrographique de la Région d'Anosy

VI. LES MINERAIS À EXPLOITER

VI.1.Le saphir

Le saphir est une pierre précieuse. Elle est la pierre de couleur la plus vendue dans le monde, notamment grâce à son prix attractif. Ce minéral est une variété de la famille minérale corindon. La variété rouge du corindon est le rubis, la couleur rouge est due aux traces d'oxyde de chrome.

Les saphirs sont constitués de cristaux d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) contenant des impuretés (oxydes) en traces qui leur donnent leur couleur (titane et fer pour le bleu, vanadium pour le violet, chrome pour le rose, fer pour le jaune et le vert). La couleur est due à l'apparition de niveaux énergétiques à l'intérieur de la bande interdite du corindon, du fait de la présence d'impuretés. Ces niveaux modifient les spectres d'émission et d'absorption du matériau et donc sa couleur.

Le saphir peut être traité thermiquement ; les pierres, trop claires, trop sombres ou avec beaucoup d'inclusions, sont chauffées. Ce processus permet de rehausser couleur et clarté en dissolvant les éléments présents à l'état de traces dans la pierre. [12]

VI.2.L'uranothorianite

L'uranothorianite (ou le thorianite) de formule chimique [(U,Th)O₂] est un minéral radioactif d'une couleur noir au gris foncé au brun, qui se présente surtout en forme de cubes.

La thorianite forme une série de solution solide complète avec l'uraninite (UO₂) et une série partielle avec le cerianite (CeO₂). Elle constituait environ 0.4 pourcent de la roche des gisements importants et une teneur de 5 à 22 pourcent d'U et jusqu'à 60 pourcent de Th. [13]



Photo 1 : De gauche à droite « Uranothorianite » - « Mine d'uranothorianite de Maromby dans le Sud de Madagascar ; mine située dans la zone de contact du pyroxénite (à gauche) et des dykes granitiques associés aux marbres » - « Thorianite »

VI.3. L'exploitation minière dans la vallée de Tranomaro-Maromby

L'aire de Ressource de la Vallée de Tranomaro-Maromby inclut la grande mine à saphir d'Andranondambo. Entre autres, plusieurs titres miniers actifs sont recensés dans ce secteur. Les lithologies dominantes dans ces zones sont les roches à scapolite, pyroxénites du Groupe de Tranomaro et les granites. Les titres miniers actifs relevés étaient jalonnés entre 1999 et 2005. On s'attend que la plupart des activités d'exploitation dans l'avenir proche visent ces zones, sur les extensions des mines connues, ou le long des horizons de pyroxénites qui peuvent contenir du phlogopite.

Une zone favorable a été délimitée dans certaines parties des communes au sud de l'aire de ressource de la Vallée de Tranomaro-Maromby basée sur la production antérieure de la mine d'Ambatoabo (394 tonnes produits entre 1931 et 1957), plusieurs occurrences de phlogopite, les titres minier actifs, et la distribution de couches de pyroxénites. [08]

Plus de 150 gisements et indices répertoriés par le CEA et l'OMNIS pour les gisements de phlogopite et de Saphirs sont exploités à Maromby et Andranondambo.

VI.4.L'uranothorianite de Tranomaro

La région de Tranomaro se trouve à l'ouest de la ceinture granitique Anosienne à l'intérieur des roches à faciès granulitique du sud de Madagascar. Les roches encaissantes pour les gisements d'uranothorianite incluent une variété de roches métasédimentaires à faciès granulitique (marbres, pyroxénites, gneiss de pyroxène, des gneiss ferromagnésiens et scapolite).

Des gisements productifs sont tous associés avec des pyroxénites dans les granulites d'âge protérozoïque de la Région de l'Anosy.

L'exploitation de gisements alluviaux a commencée vers 1950. Les mines de la Région de l'Anosy ont produit 960 tonnes d'uranothorianite entre les années 1953 et 1959. Les gisements alluviaux furent vite épuisés. La plupart de la production s'est faite entre les années 1953 et 1964.

L'année 1964 représente la production maximum avec l'export de 690 tonnes de minerai et de concentré d'uranium. A cette époque, l'uranothorianite était le produit minéral principal à Madagascar en termes de valeur .L'exploitation était à ciel ouvert utilisant des boteurs et des lavoirs à secousses. Le traitement sur place inclut le broyage. Les minerais étaient traités à des usines sur la Rivière Manambolo et à Betioky. A Madagascar, la thorianite est retrouvée dans les gisements de skarn dans les pyroxénites. La plupart des gisements sont reliés aux roches protérozoïques du groupe Tranomaro dans la partie sud-est de l'île à l'est de la Rivière Mandrare.

La production de l'uranothorianite diminue régulièrement après 1964 et se termine en 1967 avec une production de 307 tonnes. [08]



Photo2 : Photographie de la mine de thorium d'Antroatsaba dans la vallée de Tranomaro

TROISIEME PARTIE : Traitement et interprétation des données

L'interprétation sera réalisée principalement à partir de la carte géologique, des images satellites Landsat TM 7 et des cartes magnétiques

VII. PRESENTATION DES LOGICIELS UTILISES LORS DU TRAITEMENT

VII.1 Le logiciel Oasis Montaj 7.00 (Geosoft)

Oasis Montaj de Geosoft est un logiciel de traitement des données et de cartographie. Il permet de gérer, manipuler, visualiser et cartographier les données géoréférencées dans le domaine des Sciences de la Terre. Il fournit un environnement optimal pour l'intégration, la visualisation et la comparaison de grands volumes des données. Il a aussi des extensions qui apportent des fonctions complémentaires telles que l'analyse géophysique, géochimique ou géologique.

VII.2 Le logiciel ENVI 4.0

Le logiciel ENVI est un logiciel commercial complet au traitement d'images de télédétection. Toutes les méthodes de traitement d'image de correction géométrique radiométrique, de démixage radiométrique, de classification et de mise en page cartographique sont présentes.

D'autres outils relatifs à la visualisation et à la modélisation de données topographiques sont aussi disponibles. Ces différents outils et méthodes seront examinés dans la suite de ce document. Aussi, il est important de signaler que le logiciel ENVI est conçu en langage IDL (Interactive Data Language – Research System) et offre donc des moyens de programmation évoluée.

Au terme du traitement proprement dit, on a deux utilisations possible au traitement avec le logiciel ENVI : la classification et la composition colorée, mais en réalisation de ce mémoire, on a utilisé la composition colorée.

VIII. TRAITEMENT ET INTERPRETATION DES IMAGES LANDSAT7 TM

VIII.1.Processus à suivre en interprétation de télédétection

En exploration géologique, à des degrés divers et selon les conditions d'affleurement, par observation directe des phénomènes ou par interprétation des indicateurs de surface, texture, morphologie, occupation des sols, etc., on découvre sur les images des objets que seule l'expérience de la photo-interprétation permet d'assimiler à des objets géologiques :

- les faciès morpho lithologique ;

- les discontinuités dans les images, indicateurs de failles ;
- les éléments de la tectonique souple ;
- les structures circulaires...

Actuellement, la photo-interprétation des images optimisées par l'application de tous les traitements numériques, fondée sur leur sélection en mode interactif, et sa numérisation si nécessaire sont des voies privilégiées en télédétection géologique. La supériorité de la photo-interprétation est reconnue en géologie, car le plus souvent, lithologie et tectonique, ne sont pas lisibles directement à cause de la couverture pédologique et végétale. Alors que la forme numérique des données de télédétection est une des caractéristiques majeures de cette source d'information, on constate que, au-delà des traitements destinés à améliorer leur visualisation, leur structure originelle et privilégiée n'est pas optimisée.

La photo-interprétation des images est fondée sur trois descripteurs principaux : le spectre, qui détermine la teinte ou la couleur des objets, qu'elles soient visibles directement ou artificiellement ; la morphologie accessible en deux ou trois dimensions. Il s'agit de la forme des objets et de leur mode dominant, de leur type, de leur taille, de leur orientation, de leur réparation ; la texture définie par le mode d'arrangement des teintes, leur variabilité locale (homogénéité, granularité, mélange, contraste local, amplitude, densité locale). [02]

VIII.2. Interpretation des données de source images satellites

L'interprétation de la carte a été faite sur la trichomie RVB à partir des images de composition colorées des bandes 742, des bandes ratios (5/7,5/1,5/4*3/4) et (3/5,3/1,5/7).

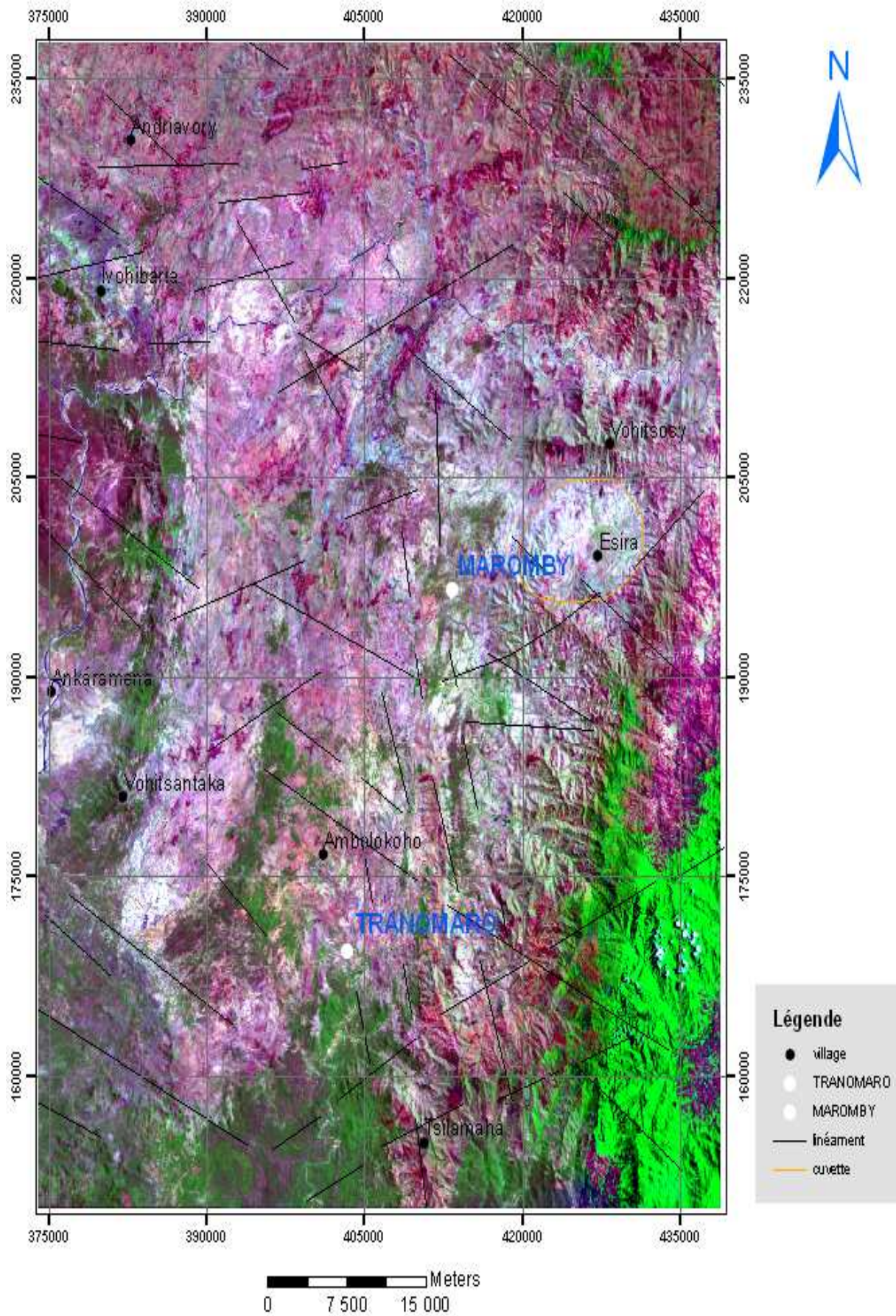


Figure9 : Composition colorée 742

Par la composition de couleur RVB avec les bandes 7-4-2, les différentes déformations tectoniques ont été mises en évidence, c'est-à-dire les deux déformations cassantes et souples. Ces déformations ont été tracées sur le logiciel Arcgis 9.1. Les conditions climatiques et la végétation dans cette zone font que ce type de traitement suggère divers renseignements sur la géologie, la géomorphologie, l'hydrographie et surtout sur les déformations.

Nous avons pu mettre en évidence les deux directions de linéaments N100° et N45°, définissant les déformations cassantes. La direction N100° coïncide à la direction majeure de la faille de Ranotsara. Par contre la direction N45° est interprétée comme une faille secondaire qui est probablement l'effet du volcanisme d'Androy. Ces déformations se rencontrent en majeure partie dans les zones centrale et orientale de la coupure étudiée.

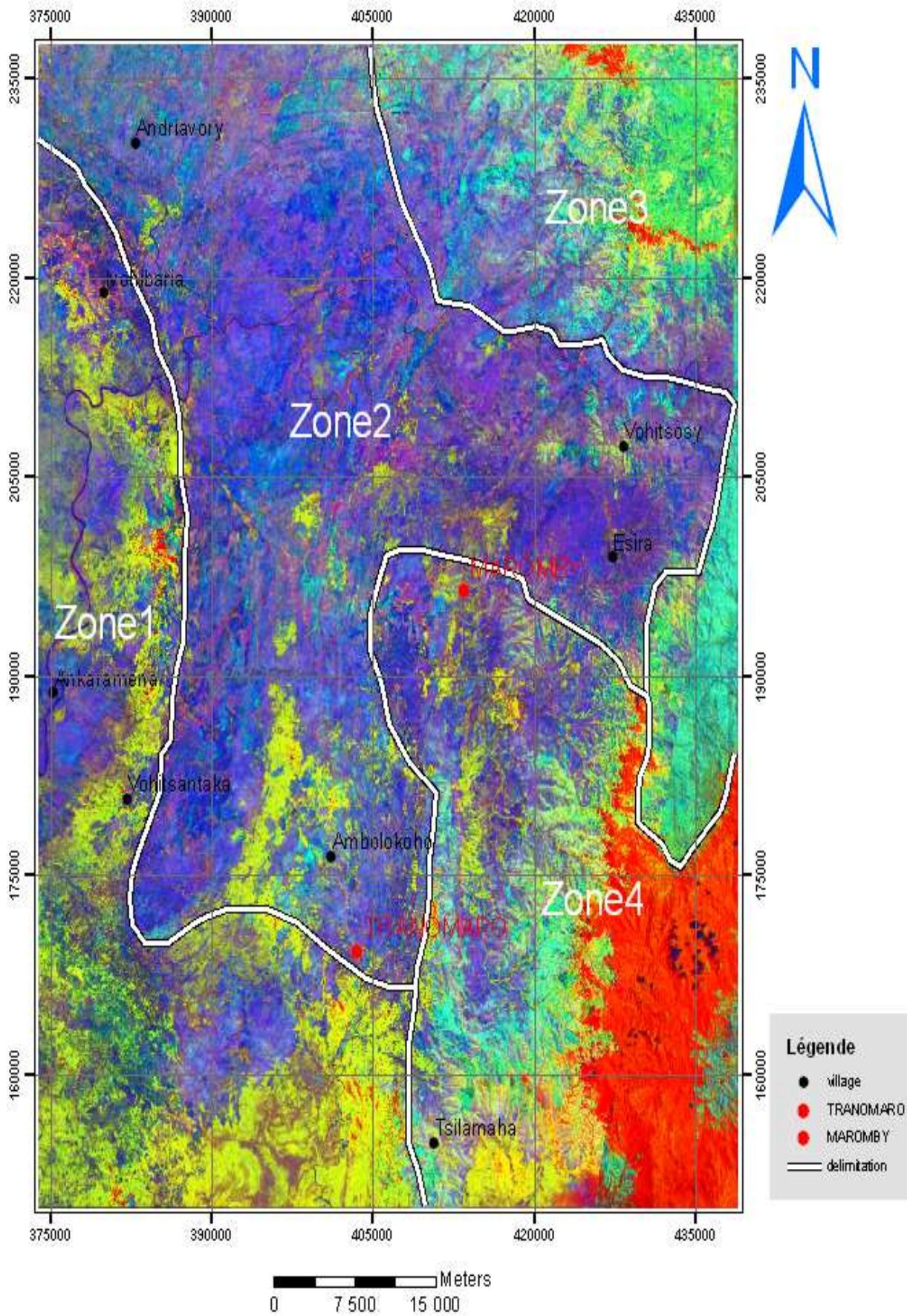
Par ailleurs, l'étude des images satellite nous a prouvé que l'effet du volcanisme a entraîné la création de déformation radiale, dans la partie ouest et surtout au centre de la zone étudiée.

D'autres directions de linéaments complètent ces deux directions, par exemple N145. D'où ces formations sont des effets postérieurs du volcanisme.

Les déformations souples représentées par les schistosités se localisent dans les formations de méta sédiments. Leur présence entraîne l'isolement de formations intrusives qui est vérifié par la présence de fractures à son endroit.

Ratios de canaux 5/7,5/1,5/4*3/4

La composition colorée 5/7,5/1 et 5/4*3/4 permet de séparer la zone d'étude suivant leur structure et de faire la délimitation de chaque unité lithologique. Ainsi, nous avons utilisé la composition colorée de type RVB (5/7,5/1 et 5/4*3/4) pour délimiter les différentes unités géologiques, qui se manifestent en différente coloration, présentent dans notre zone d'étude. En superposant avec la carte géologique de la zone, la bande ratio 5/7 met en évidence les formations métamorphiques, la bande ratio 5/1 permet de différencier les roches volcaniques et les bandes ratio (5/4*3/4) distinguent les roches granitiques. [14]



Par rapport à leurs colorations, nous avons distingué quatre zones:

La zone1 se trouve à l'ouest et au sud ouest de la zone d'étude, l'abondance de couleur vert-jaune est remarquable où on a rencontré de coulées rhyolitiques, de coulées basaltiques à l'ouest et de granites riches en pegmatites au sud.

La zone2 est marquée par la présence de coloration bleue foncée, des couches de Mafilefy et d'Ampanrandava dominée par de l'amphibolite et de paragneiss à haute métamorphique.

La zone3 est caractérisée par la couleur verte, elle est formée des roches anciennes comme les granites esiriens.

La zone 4 correspond aux couches de Fort-Dauphin et d'Antsakomiary comme les leptynites du faciès granulitique, des granites et des syénites.

Les compositions colorées utilisées ci-dessus nous ont permis de mettre en évidence les deux déformations cassante et souple et de délimiter les différentes entités géologiques présentes dans la zone. L'utilisation des images satellites favorise de même la bonne connaissance de la géomorphologie et surtout la tectono- métamorphisme de la région.

IX. TRAITEMENT ET INTERPRETATION AEROMAGNETIQUES

L'interprétation relie les observations magnétiques à leur cause possible. Un corps magnétique produira non seulement un effet magnétique à la surface mais l'intensité de l'anomalie et la forme de l'anomalie reflète la teneur en minéral magnétique, la taille, la profondeur et la forme du corps enterré. [15]

IX.1.Considération générales

La grandeur et la forme de l'anomalie dépendent donc de la teneur en minéral magnétique, de la profondeur du corps causatif et de l'orientation de l'anomalie par rapport à la direction du champ magnétique de la terre.

Les anomalies observées expriment seulement l'effet global des aimantations induites et rémanentes qui ont en général des directions et des intensités d'aimantation différentes. Comme l'aimantation rémanente peut avoir des aspects et des propriétés variables, on interprète généralement les anomalies comme si l'aimantation induite était le total de tous les effets d'anomalie. [15]

IX.2.Approche qualitative et quantitative

L'interprétation se base sur des approches : l'approche qualitative et l'approche quantitative. [15]

L'approche qualitative tient un rôle important sur de la reconnaissance des tendances, des formes et des motifs dans les données magnétiques et leur rapport avec la géologie. Par exemple, les anomalies étroites s'étendant sur des grandes distances sont associées à des dykes. Des anomalies elliptiques avec des valeurs positives et négatives avoisinantes correspondent plutôt à des cheminées intrusives. [15]

Par contre, l'interprétation quantitative a mis en exergue les deux phénomènes suivants :

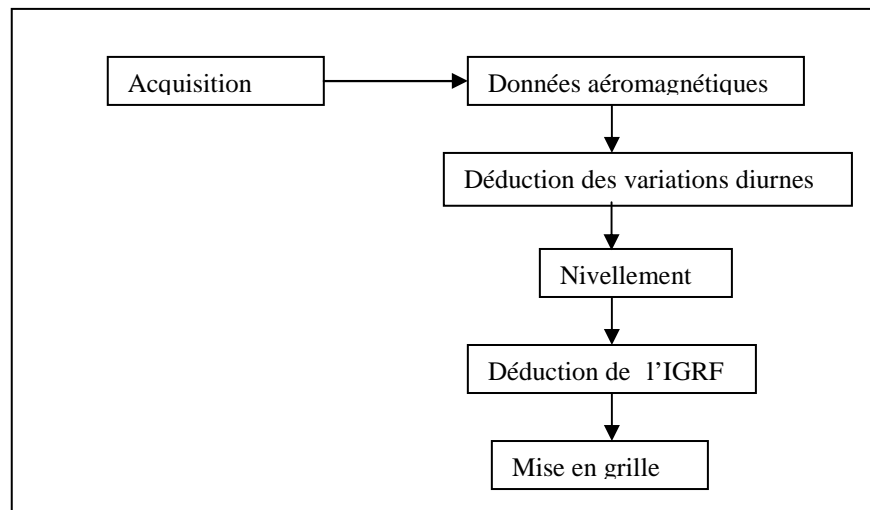
- la différenciation des entités géologiques c'est-à-dire, détermination des différentes déformations géologiques structurale à partir des cartes obtenues par le traitement aéromagnétique.
- localisation des sources d'anomalies

IX.3.Le traitement des données aéromagnétiques

Le traitement des données aéromagnétiques exige la correction des effets des variations diurnes seront déduites des données en provenance du magnétomètre aéroporté.

Une quantité égale à la moyenne des données du magnétomètre au sol pendant toute la période du levé sera ajoutée aux données aéromagnétiques acquises. L'étape suivant sera le « nivellement » : les intersections des lignes de vol et des lignes de contrôle seront déterminées et utilisées afin de niveler les données magnétiques. Après l'IGRF de la période du levé sera déduit des données nivelées. Enfin, les données seront mises en grille avant de les traiter dans les domaines spatial et fréquentiel.

On peut comparer les diverses étapes du traitement par l'organigramme ci-dessous.



Organigramme de traitement des données aéromagnétiques

IX.4. Interprétation magnétique

L'interprétation magnétique comporte à faire l'analyse qualitative des prospections aéromagnétiques dans la zone étudiée. Les données traitées permettent d'aboutir à l'élaboration :

- Carte d'anomalie du champ magnétique total
- Carte de réduction au pôle
- Carte du signal analytique
- Carte du gradient vertical

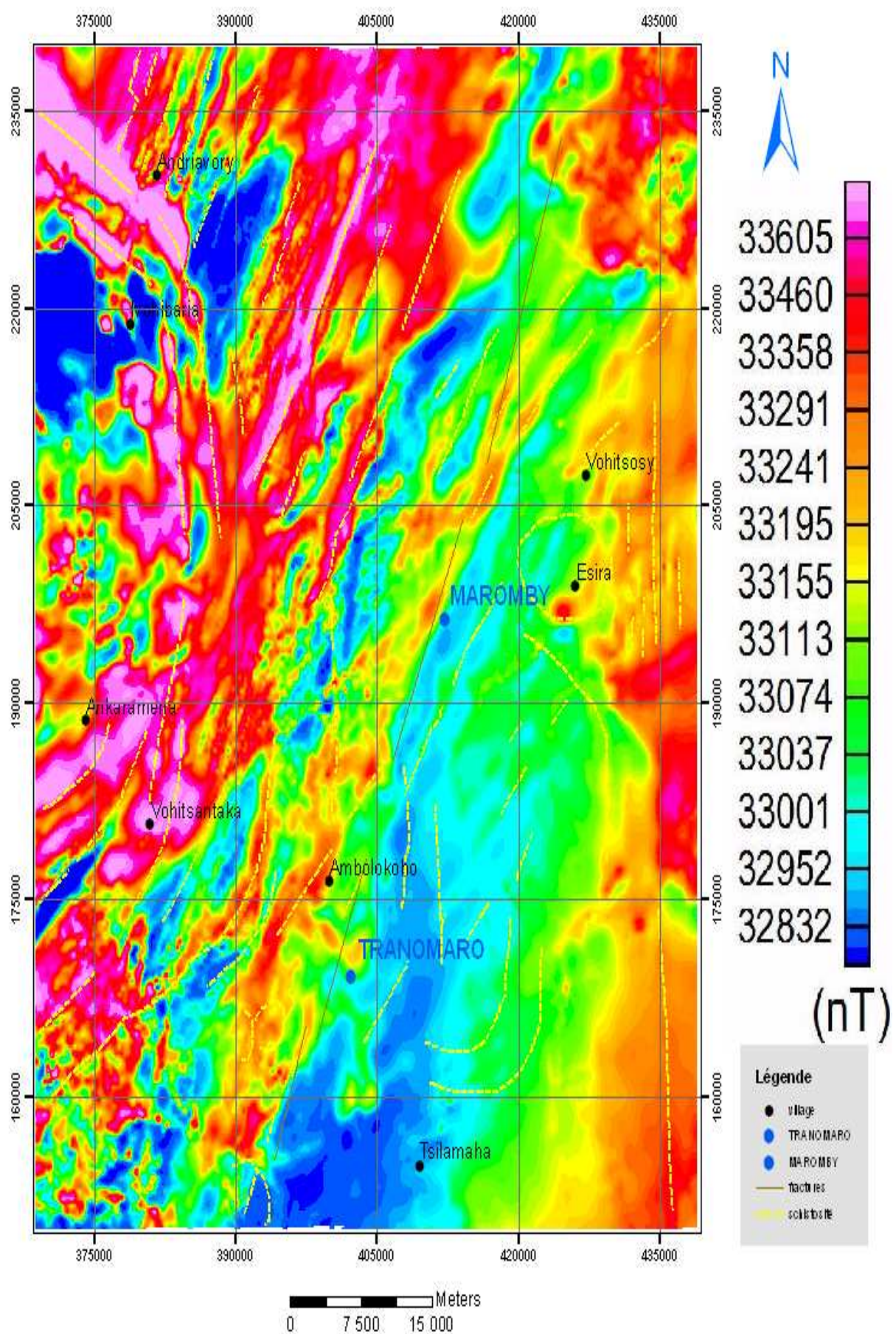


Figure 11: Carte du champ magnétique total

Le résultat d'un levé magnétique aéroporté est présenté sur une carte de l'intensité du champ magnétique total. Comme le champ magnétique est incliné et n'est pas orienté directement vers le bas, un corps magnétique pourrait créer une valeur maximum aussi bien qu'une valeur minimum. Dans notre cas, il varie entre 32800 et 33600 nanoTeslas (nT).

Sa valeur moyenne vaut 33200nT ; qui est proche de la valeur 33314nT de référence donnée par l'IGRF.

$$D=-22,23^{\circ}$$

$$I=-57,625^{\circ}$$

Le champ magnétique total au bord de la formation volcanique est caractérisé par les fortes intensités magnétiques. Il est de couleur violet, et apparaît de forme circulaire discontinue. En plus, une partie centrale proche du volcanisme comporte ainsi de valeurs de champ magnétique élevé, avec les corps magnétiques dans ce secteur a de direction parallèle environ de N35°. Alors, les minerais dans ces secteurs sont très magnétisés.

Par contre, la zone à faible valeur de champ magnétique total est apparue dans la périphérie de Tranomaro et se prolonge vers la partie centrale Sud, ainsi les minerais existant se comporte effectivement comme des corps diamagnétiques.

La reste de la zone, surtout la partie orientale ont de valeur moyenne de champ magnétique varie entre 33000 et 33120nT.

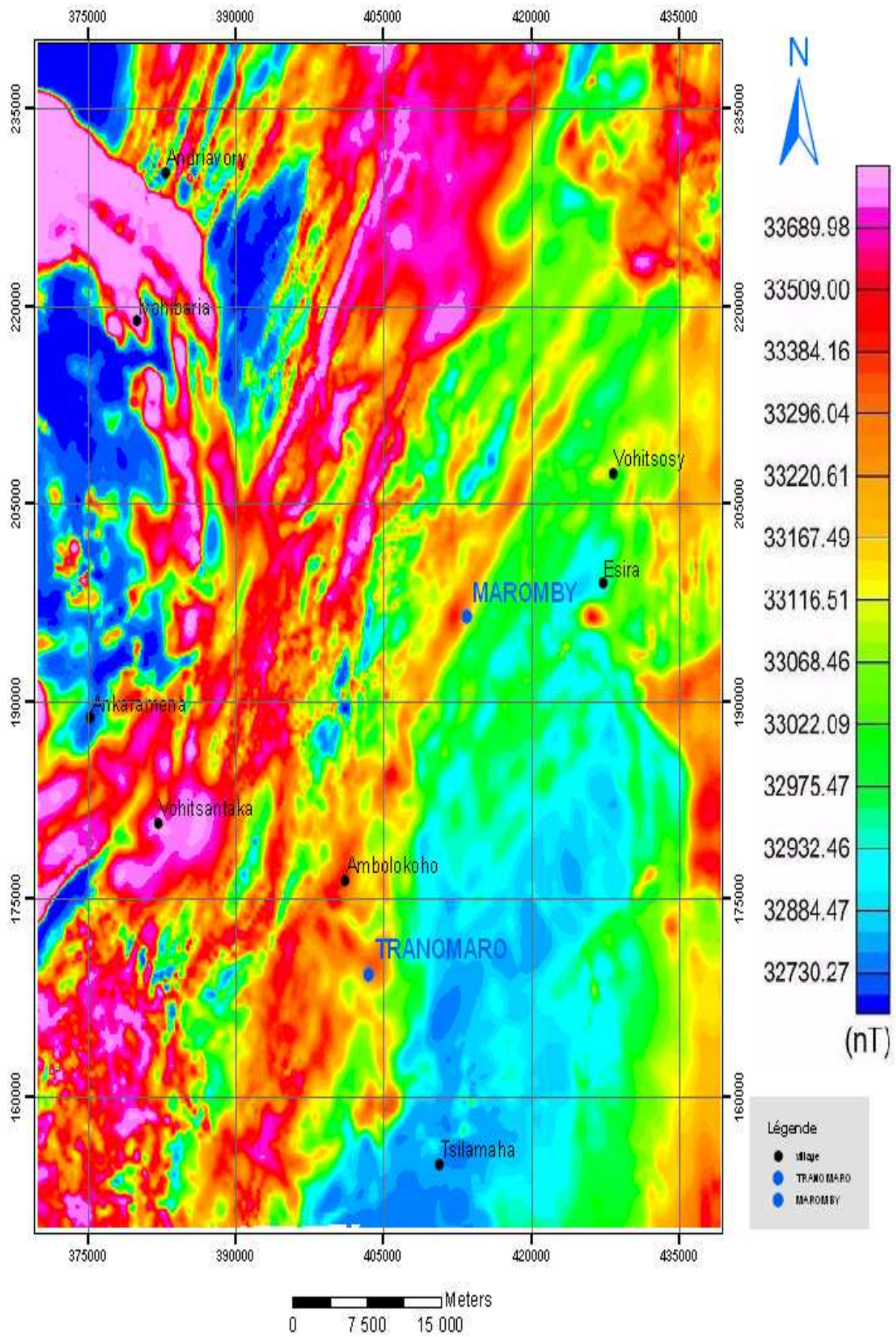


Figure12 : Carte de réduction au pôle

Si l'on réfère à la carte du champ magnétique total, on constate que l'anomalie se déplace légèrement vers le sud-est suivant la déclinaison magnétique terrestre, environ N100°.

Les anomalies magnétiques ont de gamme de valeurs comprise entre 32730nT et 33690nT.

Dans la partie Nord-Ouest de la zone, ils sont de sources dipolaires, comprises entre deux formations géologiques différentes à savoir de volcanisme à l'âge crétacé et métamorphisme, très abondantes et de forme arrondie. Ces faits s'expliquent l'effet du volcanisme.

Une anomalie de forte intensité coupe perpendiculairement les bandes d'anomalies.

Dans le secteur sud, les bandes d'anomalies sont très rares et presque nulles dans le reste de la zone. Sur la carte géologique, on ne voit pas une délimitation précise susceptible de produire cette anomalie transversale. C'est l'un des apports du magnétisme quant à la détermination des gisements profonds des minéraux renferment d'importante teneur en fer et en magnésium.

La zone cristalline est couverte d'anomalie magnétique dipolaire. Le champ magnétique varie beaucoup dans ce secteur.

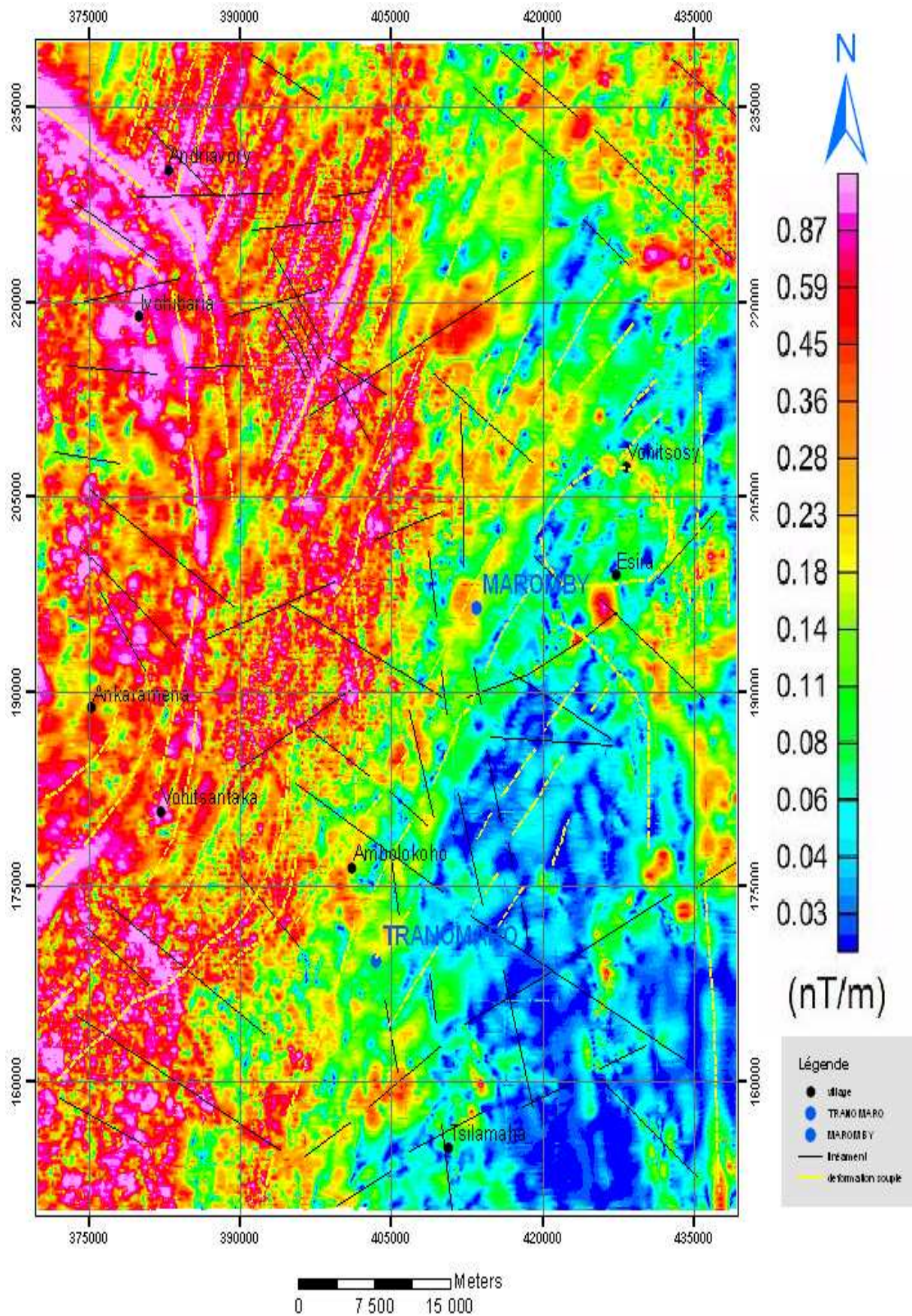


Figure13 : Carte du signal analytique

L'objectif principal de la carte de signal analytique est de délimiter les différentes formations géologiques de la région de cette zone d'étude.

A l'ouest, la zone d'étude est marquée par une forte valeur de signal analytique. La formation géologique correspondante est symbolisée par la coulée rhyolithe. Elle se trouve dans la partie occidentale de la coupure étudiée. La zone à forte valeur de signal analytique est beaucoup étendue dans le secteur Sud.

La formation appelée « couche d'Esira » est caractérisée par le signal analytique très varié et elle est de couleur verte teintée en rouge sur la carte. Elle occupe presque toute la partie Est de la zone.

Le métasédiment est facilement délimité sur la carte, il est caractérisé par le signal analytique faible, dans la partie Sud et Sud-Est de la zone.

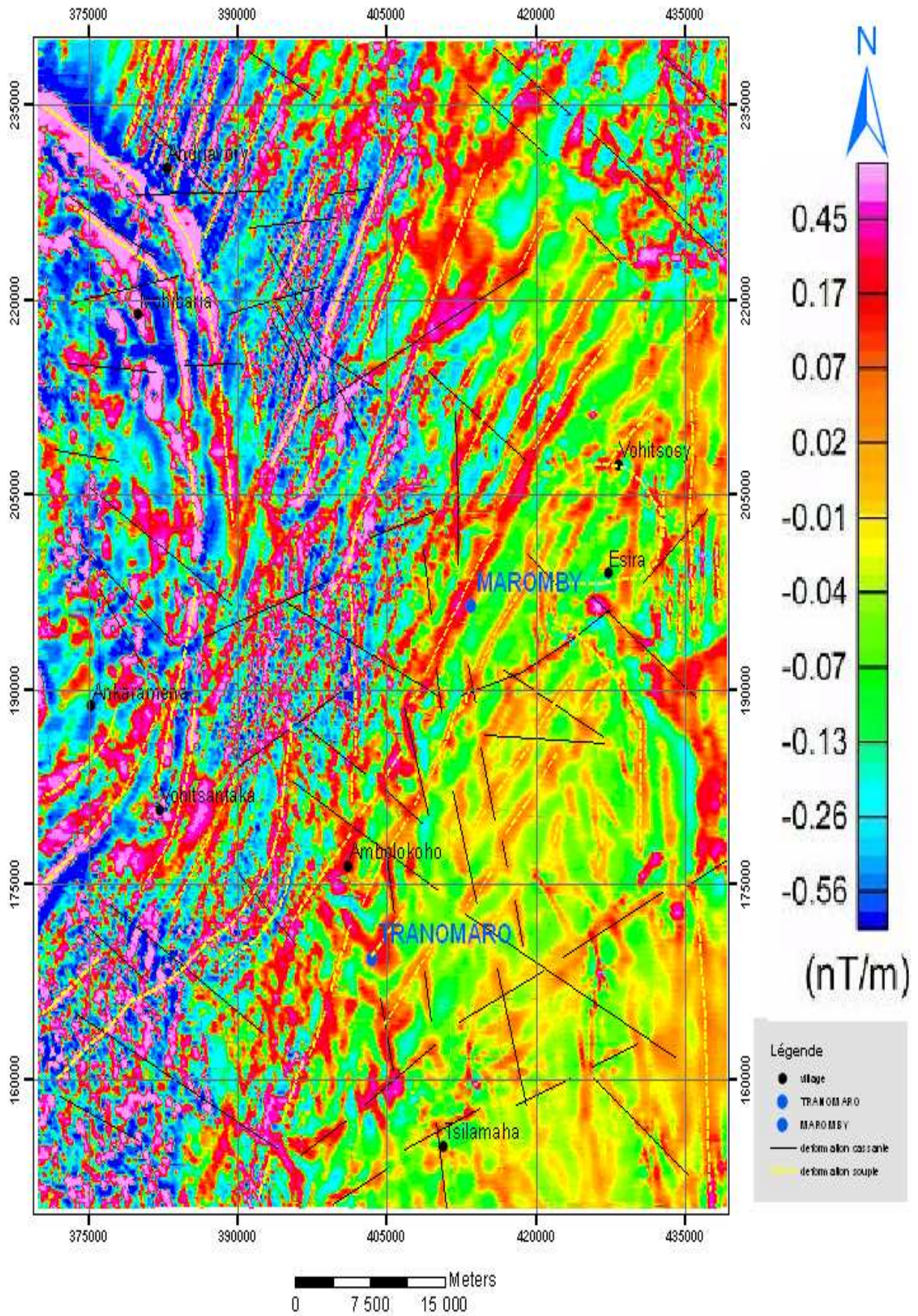


Figure14 : Carte de dérivation verticale

La carte de dérivation verticale met en évidence les différentes structures géologiques de surface à savoir les linéaments, les schistosités, déformations cassantes et souples.

Dans cette zone, on a trouvé les directions générales des linéaments :

Du Nord-Est au Sud-Ouest, N45° : on trouve des linéaments très allongé, situé presque tous dans la partie centrale de la zone étudiée.

Du Nord-Ouest au sud-est, N120° : les linéaments sont de longueurs moyennes, établi dans la partie Nord-Ouest du site.

Enfin, les schistosités sont rencontrées presque dans la zone, mais elles apparaissent en formes différentes ; en arcs de cercle à l'Ouest, allongées au milieu et à l'Est.

L'aspect structural de cette zone est la conséquence de phénomène tectonique

Ces différentes cartes magnétiques représentent les anomalies magnétiques ; celles du champ magnétique total et de réduction au pôle sont très intéressantes, elles sont très concentrées et s'inclinent dans une même direction voisine de Nord45°.

En plus, les différentes déformations géologiques aussi sont eues lieu. D'où, l'importance de l'étude magnétique à la connaissance de la localisation des anomalies et l'étude structurale.

X.INTERPRETATION TECTONO-STRUCTURALE

L'interprétation de l'image satellite et des cartes magnétiques nous a conduit à l'élaboration de la carte tectono-structurale. Les linéaments identifiés sur les cartes magnétiques correspondent à la variation du champ magnétique suivant des lignes bien définies. Elles auraient une signification géologique et structurale, mais leur origine reste à déterminer par une reconnaissance plus détaillée sur le terrain.

Ainsi, des structures régionales et locales ont été délimitées sur les cartes magnétiques traitées, notamment des structures linéaires, plus ou moins circulaires, les failles, les linéaments et les déformations souples ont été également tracés.

On a des linéaments principaux de direction N45°, N100° et N120°. Chaque direction correspond à un événement tectonique bien défini, cisaillement, décrochement de failles et dislocation de Madagascar au Gondwana. [16]

La mise en place des minéralisations a eu lieu pendant ces différents événements, d'où l'importance de l'interprétation tectono-structurale et où sont les gisements connus et

éventuellement aux qui présentent les mêmes signatures géologiques, géophysiques (en bonne cohérence).

La superposition des structures obtenues sur l'interprétation des cartes magnétiques traitées avec la composition colorée en RVB des bandes 7, 4, 2 de l'image LANDSAT7 TM nous a permis d'affiner l'interprétation tectono-structurale.

La majorité des linéaments et des schistosités est visible sur l'image satellite traitée. Les formations intrusives se singularisent par des contours (métasédiment), ou par des chaînes de montagne (volcanisme d'Androy)

XI.LES ZONES DE MINERALISATION

Les systèmes de fractures constituaient le lieu de passage des gaz et des liquides magmatiques riches en minerais. La circulation tardive des solutions hydrothermales à travers les différentes roches fracturées a transporté les minerais tels que l'or, le saphir, l'uranothorianite, le rubis, le marbre, l'émeraude, le nickel, le pyroxène, phlogopite,.... Les éléments chimiques sont nécessaires à la cristallisation des minerais. Les minéralisations en relation avec la circulation de fluides hydrothermaux principalement panafricains. [16]

La zone d'altération hydrothermale est alors intéressante de point de vue minéralisation.

Notons que le mouvement du fluide s'est surtout concentré dans les fractures. Ces fractures sont responsables de la minéralisation.

L'interprétation tectono-structurale combinée avec la délimitation de la zone d'altération hydrothermale amène à la localisation des zones potentielles en minéralisation.

La tectonique est importante à la ressource minière, à la ressource en eau et à la géorisque (inondation, tsunami, cyclone,...).

La technique de Floyd F Sabins., 1999, utilisant l'image satellitale pour la délimitation de la zone d'altération a été utilisée. On a adopté la composition colorée RVB avec les bandes ratios 3/5,3/1,5/7. [17]

La carte a ciblé les zones suivantes :

- de zone1 à coloration bleue qui coïncide avec la zone à champ magnétique élevé de valeurs 33605nT, se rencontre avec la roche volcanique ;

- de zone2 de couleur orange se trouvant à Andranondambo et à Maromby indiquant la présence des saphirs. Les vaines de saphir sont orthogonaux et ayant de direction Nord-Sud, de direction Nord Nord-Est et de direction Nord 25°;

- de zone3, Tranomaro en rencontrant de l'uranothorianite et les pierres colorées comme les apatites verts. L'uranothorianite se trouve dans des roches à diopside, spinelle,

méionite (les pyroxénites) qui sont des skarns comme le montrent les contacts avec des granites ;

- de zone4, il est rare de trouver l'uranium et du saphir, mais on a rencontré de couverture sédimentaire.

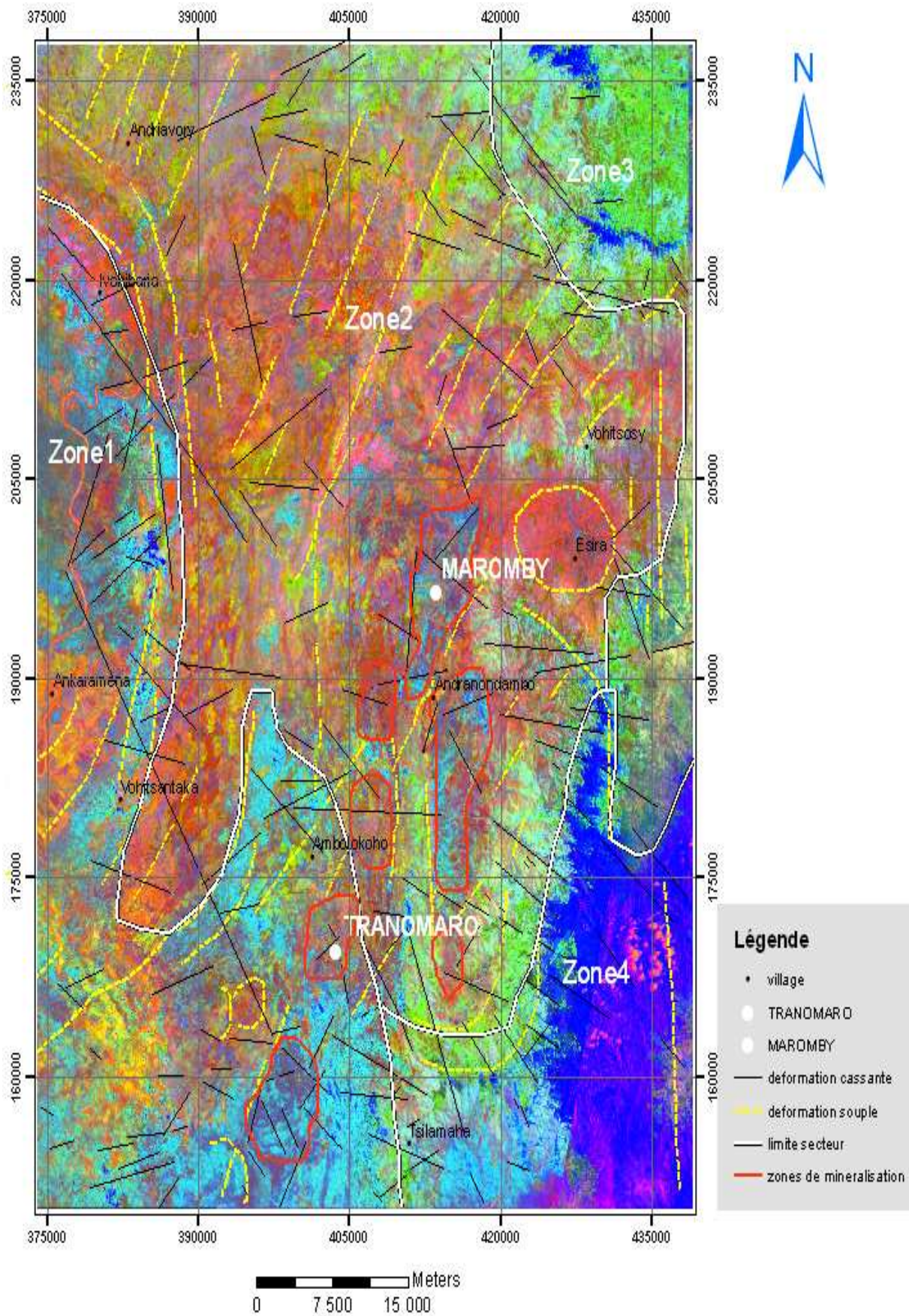


Figure15 : Carte de synthèse

CONCLUSION GENERALE

Par application du travail d'actualisation des cartes géologiques de Madagascar, faite par le BGR et le GAF dans le cadre des projets miniers, de la région d'Anosy, cette étude nous a montré l'importance de l'apport de la géophysique aéroportée, par la combinaison de l'aéromagnétisme avec la télédétection, sur la cartographie géologique.

La zone d'étude se trouve dans la feuille de Maromby et de Tranomaro (LM60-61). L'interprétation des données aéromagnétiques a permis d'identifier les structures linéaires comme les failles, les fractures, des linéaments sur lesquels se superposent en générale les zones minéralisées en saphir, en uranothorianite et autres tels le pegmatite, le chrome, le syénite,....

Par ailleurs, le traitement de l'image satellitale nous a permis de localiser les différentes formations cassantes, les failles, les fractures et les cisaillements, passant à l'intérieur de la zone étudiée. La déformation souple due à des contraintes a été mise en évidence et chaque unité géologique a été bien séparée.

La superposition des différentes cartes traitées apporte des nouvelles informations sur la géologie structurale et confirme la potentialité minérale considérable de ce secteur.

Ainsi, on peut localiser les minerais exploités en question dans des roches intrusives, dans les zones de cisaillement et des roches caractérisées par l'alternance des granites charnokitiques et de pyroxenites.

Pour plus de précision, sur la potentialité, les études géophysiques au sol sont nécessaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [03] : **Settler, Smith J., Mosterd R., (2004).** La méthode magnétique au sol et les levés magnétiques, géophysique pour les débutants. (p 15-16-17)
- [04] : **Michel C., (2002).** Géophysique appliquée (Magnétisme), Ecole Polytechnique de Montréal. (p 98)
- [06] : **Edgar S., Jaco., (2004).** Interprétation des données magnétiques, council for geosciences, Afrique du Sud.
- [07] : Ministère de l'Agriculture, de l'élevage et de la Pêche., (2003), Monographie de Madagascar, Région d'Anosy.
- [08] : **PGRM, (Avril 2006).** Monographie de Madagascar, Région d'Anosy
- [10] : **Bernard M., Enrique Ortega., (2008).** Synthèse sur le symposium géologique de Madagascar.
- [11] : **Dahl R., GAFAG., (2005).** Synthèse géologique de Madagascar, version : 1.0.
- [14] : **Jennifer I.; Tim K., Garry H., Robert T., (2003).** Supervised classifications of Landsat TM band ratio images and Landsat TM band ratio with radar for geological interpretation of central Madagascar. Journal of African Earth Sciences 37. (p 59-72)
- [15] : **Edgar S., Jaco S., (2004).** La méthode magnétique, council for geosciences, Afrique du Sud.
- [16] : **Martelat J.E., Nicollet C., Lardeaux J.M., Rakotondrazafy R., (2000).** Strain pattern and late Precambrian deformation history in southern Madagascar
- [17] : **Floyd F.S., (1999).** Remote sensing for mineral exploration, ore geology reviews 14. (p 157-183).

SITES INTERNET

- [01] : [http://mailto:stars@mm.gouv.qc.ca](mailto:stars@mm.gouv.qc.ca); consulté le 19 Janvier 2009
- [02] : <http://webmineral.brgm.fr>; consulté le 23 Décembre 2009
- [05] : <http://www.fugoearthdata.com>; consulté le 08 Janvier 2010
- [09] : <http://fr.wikipedia.org>; consulté le 01 Février 2010
- [12] : <http://fr.wikipedia.org/wiki/saphir>; consulté le 20 Février 2010
- [13] : <http://fr.wikipedia.org/wiki/uranothorianite>; consulté le 20 Février 2010

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I

Les instruments dont on se sert pour mesurer l'intensité du champ magnétique sont connus sous le nom de magnétomètres. Les magnétomètres prennent beaucoup de formes différentes dépendant sur leur application et sur les principes physiques de leur opération. Les magnétomètres sont utilisés dans la prospection et des études scientifiques de la croûte de la terre et sont utilisés dans les aéronefs et les navires, sur terre et dans les forages.

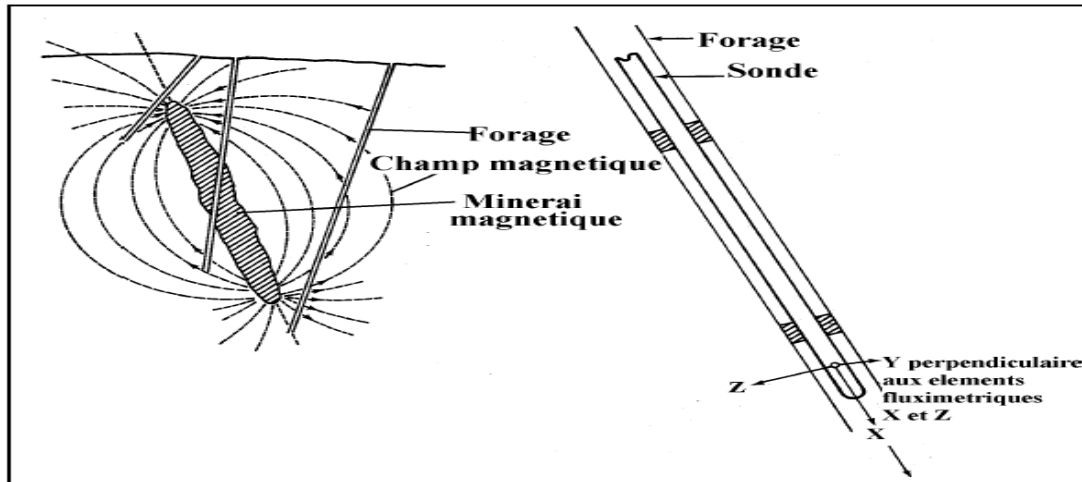
Magnétomètre aéroporté



Photo3 : Cessna 404 Aéronef de prospection utilisé par Fugro (Source , BPGRM, 2005)

Magnétomètres de Forage :

Le type le plus efficace de magnétomètre de forage est le magnétomètre à trois éléments qui mesure le champ magnétique le long de trois directions qui sont mutuellement perpendiculaires. Un élément de mesure est généralement orienté dans la direction du puits de forage, un deuxième est horizontal et le troisième est perpendiculaire aux deux autres



(Source: Stettler E.,Smith J.,Mostersd R.,2004)

Application d'un magnétomètre de forage qui prend les mesures du champ magnétique dans trois directions perpendiculaires.

ANNEXE II

Quelque mission de télédétection satellitaire à moyenne et haute résolution spatiale. Les séries de Landsat : Landsat 1, 2 et 3

Lancement du premier satellite d'observation de la terre qui a pour cycle orbital de 18 jours. Il est Américain, équipé de deux systèmes d'observation. C'est le Landsat 1 en Juillet 1972 (nom d'origine ERTS) qui équipe les Landsat 1, 2 et 3. Le satellite utilise le capteur RVB (Return Beam Vidicon) qui est une sorte de camera TV muni de trois capteurs numérotés de 1, 2 et 3. La dernière version (Landsat 3) était constitué d'un seul capteur panchro (0,5- 0,8 μ m) avec une résolution spatial au nadir : 40m dont, le champ total d'observation est de 98*98 km. Le capteur est appelé MSS (Multi Spectral Scanner) équipé d'un radiomètre multi bande à balayage par miroir oscillant, quatre capteurs numérotés 4, 5, 6 et 7. La dernière version (Landsat 3) avait en plus une bande thermique (10,4-12,6 μ m, résolution 120 m).

Durée des missions

Le Landsat 1 a durée pendant six ans, soit de juillet 1972 au juin 1978, fournissant 271.757 scènes en 27 930 révolutions. Le Landsat 2 a fonctionné pendant huit ans (janvier 1975- mars 1983) soit 615.720 scènes. Le Landsat 3 était en mission pendant cinq ans (mars 1978-mars 1983), soit 324655 scènes

Les Landsat 4 et 5

C'est une nouvelle génération de satellite d'observation de la terre avec un cycle orbital de 16 jours, ils ont pour avantages une meilleure aptitude à se positionner et une résolution spatiale accrue grâce au capteur TM en conservant en même temps le capteur dont la numérotation devient 1, 2, 3 et 4 (il n'y a plus de RVB)

Durée des missions du Landsat 4, 5, 6, 7 :

Le Landsat 4 (juillet 1982 à septembre 1987) qui a connu pas mal de problème

Le Landsat 5 (mars 1984 à octobre 1999) a pris la relève

Le Landsat 6 (mars 1993) perte de contrôle de la mise en orbite

Le Landsat 7 (juillet 1999)

**TITRE : APPORT DE L'AEROMAGNETISME ET DE LA TELEDETECTION A
L'ELABORATION DE CARTE STRUCTURALE DES SECTEURS
MINIERS DE MAROMBY ET DE TRANOMARO**

RESUME :

L'étude est faite dans la région Sud de Madagascar en utilisant la méthode géophysique ; combinaison de l'aéromagnétisme avec la télédétection. Elle s'aboutit à la réactualisation et au renouvellement de la carte structurale de cette zone ; plus précisément à la confirmation d'existence de saphirs et de l'uranothorianites dans ce secteur ; trouvé par les travaux antérieurs à base géologique. La réalisation de ce mémoire nous a permis d'assimiler la manipulation des logiciels ENVI et Geosoft respectivement au traitement des images satellitales et du traitement des données magnétiques. La connaissance en détails des secteurs Maromby et Tranomaro au point de vue recherche minière est l'apport de cette étude.

Mots clés : aéromagnétisme, télédétection, anomalie, saphirs, uranothorianites, tectono-structurale.

ABSTRACT:

The study was done in the southern region of Madagascar using the geophysical method, combined with the aeromagnetic and remote sensing. She even abutting the updating and renewal of the structural map of the area, more precisely to the confirmation of the existence of sapphires and uranothorianite in this sector found by previous work based geology. Completion of this memory has enabled us to assimilate manipulation software ENVI and Geosoft respectively processing of satellite image processing and magnetic data. The detailed knowledge of sectors and Maromby- Tranomaro point of view mining research is the contribution of this study.

Keywords: aeromagnetic, remote sensing, anomaly, sapphires, urano-thorianite, tectonostructurale.

Rapporteur:

Dr.RAKOTO Heritiana

Impétrant:

RAKOTOMANANTSOA Aina Diamondra

e-mail : rdiraktmnts@gmail.com

Lot-II-E-83-Ter Tsarahonenana Tanà