SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES LISTE DES PHOTOS LISTE DES TABLEAUX LISTE DES ACRONYMES LISTE DES ANNEXES INTRODUCTION

PARTIE I : CONDITIONS GEOGRAPHIQUES ET GEOLOGIQUES – TRAVAUX ANTERIEURS

CHAPITRE 1 : Conditions géographiques et géologiques

- 1.1- Le district chromifère d'Andriamena
- 1.2- Données particulières au secteur prospecté

CHAPITRE 2 : Travaux antérieurs

- 2.1-Historique
- 2.2- Justification du choix de la méthode magnétique

PARTIE II : BASES METHODOLOGIQUES

CHAPITRE 3 : La théorie du magnétisme

- 3.1- Notion de magnétisme
 - 3.11- La loi de Coulomb
 - 3.12- Moment magnétique
 - 3.13- Intensité d'aimantation
- 3.2- Le Champ magnétique terrestre
- 3.3- Les éléments du champ magnétique
- 3.4- Propriétés magnétiques
- CHAPITRE 4 : La prospection magnétique
 - 4.1- Généralités

- 4.2- Caractéristiques de la méthode
- 4.3- Acquisition des données
- 4.4- Utilisation de la méthode
- 4.5- Définition de l'anomalie
- CHAPITRE 5 : Les outils de traitements spatial et fréquentiel
 - 5.1- Filtres du domaine spectral
 - 5.2- Champ magnétique total
 - 5.3-La réduction au pôle
 - 5.4- Les dérivées
 - 5.5- Le signal analytique
 - 5.6- Déconvolution d'Euler
 - 5.7- Modèles géophysiques et interprétation géologique

PARTIE III: INTERPRETATION DES CARTES ET RESULTATS

CHAPITRE 6 : Mise en oeuvre de la méthode magnétique

- 6.1- Moyens et travaux
- 6.2- Mesures de magnétisme au sol
 - 6.21- Site 1 Ambararata Ankandrinosy
 - 6.22- Site 2 Bemenavony Nord
 - 6.23- Site 3 Bemenavony Sud
- 6.3- Mesures de susceptibilité magnétique
- 6.4- Synthèse de résultats

CONCLUSION GENERALE

ANNEXE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

TABLE DES MATIERES

RESUME

LISTE DES FIGURES

Figure 1- Carte de localisation de la Zone d'étude	3
Figure 2- La région chromifère d'Andriamena	4
Figue 3- Carte géologique (Extrait Feuille P42, Source : Service Géologique)	6
Figure 4- Susceptibilités k pour des différents types de roches (d'après R.Monster, 2004	4)13
Figure 5- Le champ géomagnétique (d'après R.Monster, 2004)	14
Figure 6- Les éléments du champ magnétique terrestre	15
Figure 7- Carte du CMT couvrant la Feuille P42 (d'après levé FUGRO Ltd, 2004)	25
Figure 8- Variation du CMT avec l'inclinaison i. (d'après Nettleton, 1976)	
Figure 9- Variation de l'anomalie avec l'inclinaison, comme vu sur cartes magnétique	
(d'après Vacquier et al. 1951 ; Geological Society of America)	29
Figure 10- Anomalies causées par diverses orientations des corps magnétiques par rappo	ort au
Nord magnétique (d'après Vacquier et al. 1951 - Geological Society of America)	29
Figure 11- Situation des trois sites de mesures de magnétisme au sol	32
Figure 12- Ambararata Ankandrinosy, carte topographique au 1/1.000	33
Figure 13- Carte d'anomalie du champ magnétique total au 1/1000	34
Figure 14- Carte de la réduction au pôle au 1/1000	35
Figure 15- Carte du signal analytique au 1/1000	36
Figure 16- Carte du gradient vertical au 1/1000	37
Figure 17- Carte de la déconvolution d'Euler au 1/1000	38
Figure 18- Profil de déconvolution d'Euler	38
Figure 19- Bemenavony Nord, carte topographique au 1/1.000	40
Figure 20 : Carte d'anomalie du Champ magnétique total au 1/1.000	41
Figure 21 : Carte réduite au pôle au 1/1.000	42
Figure 22- Carte du signal analytique au 1/1.000	43
Figure 23- Carte du gradient vertical au 1/1.000	44
Figure 24 - Carte de déconvolution d'Euler au 1/1.000	45
Figure 25-Profil de déconvolution d'Euler site 2	46
Figure 26- Bemenavony sud, cartes topographique au 1/1.000	47
Figure 27- Carte d'anomalie du champ magnétique total au 1/1.000	48

Figure 28- Carte réduite au pôle au 1/1.000	49
Figure 29- Carte du signal analytique au 1/1.000	50
Figure 30- Carte du gradient vertical au 1/1.000	50
Figure 31- Carte de déconvolution d'Euler au 1/1.000	51
Figure 32- Profil de déconvolution d'Euler site 3	51

Rapport-gratuit.com

LISTE DES PHOTOS

Photo1- Aperçu général de la Zone Nord Andriamena	5
Photo 2- Un aperçu de la zone Ambararata	32
Photo 3- Type de roche ultrabasique à veines quartzo-feldspathiques distensives	32
Photo 4- Traversée de Bemavo	39
Photo 5- Bloc de roches ultrabasiques	39
Photo 6- Observation et analyse géologiques	46
Photo 7- Blocs de chromitite observés sur le Site 3	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1- Valeurs de K dans l'ensemble de 3 sites	. 52
Tableau 2- Valeurs de susceptibilités des roches	. 54

LISTE DES ACRONYMES

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CMT: Champ Magnétique Total
IGRF: International Geomagnetic Reference Field
IOGA : Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo
MSTGA : Maîtrise des Sciences et Techniques en Géophysiques Appliquées
PGRM : Programme Gouvernances des Ressources Minières
SGDM : Société Géosciences pour le Développement de Madagascar
UB : Ultra-Basique

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Carte de gîtes de Chromite de Madagascar Annexe 2 : Instruments

INTRODUCTION

Une mission de prospections géologique, topographique et géophysique a été effectuée dans les prospects miniers sis à l'Ouest de Bepilopilo. Le périmètre fait partie de la Feuille P42 Betrandraka et comporte vingt deux carrés de 2,5km de côté chacun totalisant quelques 137,5km².

Le principal objectif de la mission était de faire l'inventaire des indices de chromite sur tout le périmètre, d'une part, et de prélever des échantillons de roches afin de pouvoir procéder à la délimitation des zones susceptibles de contenir des gisements d'intérêt économique dans cette région, d'autre part.

Sur l'ensemble des vingt deux carrés, cinq ont été identifiés probants après une prospection systématique faite sur le terrain en partant des cartes géologique et topographique au 1/100.000 combinée avec l'analyse de l'image satellite Landsat couvrant cette zone.

Trois sites, identifiés comme potentiellement intéressants en minéralisation chromifère, ont fait l'objet de mesures magnétiques détaillées au sol. Quelques mesures de susceptibilité magnétique ont été également faites sur des affleurements de chromite observés afin de faciliter les modélisations magnétiques ultérieures.

Les résultats de l'interprétation qualitative géologie-géophysique combinée et semiquantitative par déconvolution d'Euler sont relativement intéressants, à ce stade de l'étude.

L'étude est divisée en 3 parties, la première parle les conditions géographiques et géologiques de la zone et ces travaux antérieurs faits, la deuxième rappelle les bases méthodologiques et en fin la troisième partie parle l'interprétation des cartes et résultas.

PARTIE 1 Conditions géographiques et géologiques - Travaux antérieurs

CHAPITRE 1 : Conditions géographiques et géologiques

1.1- Le district chromifère d'Andriamena

La région étudiée se trouve dans la partie Nord du district chromifère, à 60 km au Nord d'Andriamena.Elle se trouve dans la région de Betsiboka, district Tsaratanana, commune Betrandraka, fokotany Manakana (Bepilopilo).Dans ce secteur, les lentilles de Bepilopilo ont été trouvées en 1960 lors de la couverture géologique faite au 1/100.000 par les géologues du Service Géologique et du BRGM. L'ensemble de la région chromifère s'étend sur 60 km du N au S, entre les coordonnées Laborde X=498820, Y=985974 et X=542698, Y= 926706 et sur 45 km d'Est en Ouest. C'est un pays entièrement montagneux, d'altitude moyenne 1000m, les dénivelées entre sommets et vallées ne dépassant pas quelques centaines de mètres.



Figure 1- Carte de localisation de la Zone d'étude

Cette région est bordée à l'Ouest et à l'Est par les deux fleuves Betsiboka et Mahajamba. Elle est dominée au Sud-Ouest par le plateau circulaire de Vohambohitra, d'altitude 1500m, et au Sud par les divers sommets d'altitude semblable formant le Tampoketsa.



Figure 2- La région chromifère d'Andriamena

Les produits latéritiques, dont l'épaisseur atteint plusieurs mètres, recouvrent toute la région. Un élément caractéristique du paysage est constitué par les *lavaka*. Ce sont des sortes d'entonnoirs d'érosion à parois subverticales, qui entaillent les flancs des collines.

Leurs formes sont très variées, et leurs dimensions passent de quelques dizaines à quelques centaines de mètres, avec des profondeurs atteignant 10 à 20 m dans les secteurs prospectés par gravimétrie. Ces *lavaka* semblent résulter du glissement de loupes d'argiles latéritiques sur leur soubassement rendu glissant par la nappe aquifère. Ils mettent à nu des affleurements qui, sans leur existence auraient été cachés par le recouvrement. C'est ainsi que de nombreuses lentilles de chromite ont été découvertes en prospectant le fond des l*avaka*.



Photo1- Aperçu général de la Zone Nord Andriamena

L'histoire géologique de ces gisements de chromite commence au Précambrien avec la mise en place des roches basiques, ultrabasiques et de la chromite associée, et se termine au début de l'ère primaire, avec celle des pegmatites dans un ultime réseau de fractures. Les grandes phases sont les suivantes :

- 2500 MA : mise en place du corps basique et ultrabasique ainsi que de la chromite ;

- 1700 MA : métamorphisme régional de haute intensité avec formation de gneiss à grenat et hypersthène à l'Est de Bemanevika, accompagné de plissements et de déformations du massif

- 750 MA : épisode de déformation cassante avec granitisation et formation des premières pegmatites;

- 550 MA : nouveau cycle orogénique et phase majeure de granitisation et de migmatisation.

Cette histoire géologique régionale, longue et marquée de plusieurs épisodes orogéniques et métamorphiques, est à l'origine de la complexité géologique et structurale du gisement.

Les gneiss, de divers types, plus ou moins migmatisés, sont prépondérants, ils contiennent des amas résiduels de roches basiques (gabbros, norites) et ultrabasiques (pyroxénites, péridotites).

Figue 3- Carte géologique (Extrait Feuille P42, Source : Service Géologique)

La schistosité régionale est très homogène, et orientée NW-SE à NNW-SSE. Les pendages sont toujours très forts et peuvent être NE ou SW. Vers le Sud, toute cette formation vient se resserrer entre le massif granitique du Vohambohitra et les migmatites du Tampoketsa.

Les amas de chromite sont généralement contenus dans des lentilles de pyroxénites, qui constituent la gangue du minerai. Ces pyroxénites, roches ignées très anciennes, subissent parfois des altérations qui les transforment en talcshistes ou soapstones. Il existe maintenant plus de 300 lentilles de chromite connues et près de 800 indices. Ces concentrations se répartissent suivant des alignements sensiblement parallèles, comme les roches ultrabasiques qui les contiennent. A noter que la chromite n'est pas magnétique.

1.2- Données particulières au secteur prospecté

La plupart des indices de chromite de la région d'Andriamena est contenue dans un corps de roches basiques et ultrabasiques, ces dernières constituant la gangue du minerai. L'ensemble de ce corps minéralisé est encastré dans un massif de gneiss-migmatitique. Cette formation gneissique s'étend dans la direction NNW-SSE sur plus de 80 km depuis la région de Betrandraka, à 50 km au Nord d'Andriamena, jusque dans la région de Bemanevika, au Sud. Cette formation de direction constante se resserre entre les deux massifs granitiques, Tampoketsa et Vohambohitra. Les déformations tectoniques dues à cet étranglement donnent à cet ensemble une allure synclinale assez nette, appelée synclinorium d'Andriamena.

En fait, le gisement comprend plusieurs veines de chromite plus ou moins parallèles, encaissées dans des roches ultrabasiques : pyroxénite au toit et péridotites au mur. Minerai et roches encaissantes sont souvent traversés de pegmatites et d'aplites (résultant de la granitisation).

De nombreux sondages ont permis de connaître l'altération des roches, qui est très importante. On distingue une zone de surface altérée jusqu'à 20m environ, puis une zone semi-alterée de 30 à 40m d'épaisseur, les roches saines n'apparaissent qu'a partir de 60 m de profondeur.

Les roches encaissantes comprennent non seulement les éléments ultrabasiques mais aussi des gabbros et des gneiss. Des champs de pegmatites recoupent, par endroits, le secteur.

CHAPITRE 2 : Travaux antérieurs

2.1-Historique

Si les premiers indices (en place et alluvionnaires) ont été découverts au début du siècle au Centre Nord-Ouest et au Sud d'Andriamena, les intérêts miniers ne furent révélés qu'à la suite des travaux de cartographie au 1/200.000 en 1954-1955 de Giraud qui ont mis ainsi à jour plusieurs autres nouveaux indices. Le BRGM entreprit alors une prospection systématique débouchant sur la mise en évidence de nombreuses découvertes.

Il sortirait du cadre de ce rapport de relater les détails des travaux géologiques dont cette région a fait l'objet, nous conseillons plutôt les lecteurs de se référer aux ouvrages cités en annexe.

La région d'Andriamena est divisée en deux zones: la Zone Nord Andriamena et la Zone Sud Andriamena. La Zone Nord n'a pas révélé de gisements de taille d'importance minière. On y note seulement les petits indices d'Andranobe et Besahobaka. La Zone Sud qui inclut les mines actuelles de la Kraoma a fait, par contre, l'objet de plusieurs travaux d'investigation.

La Société UGINE ouvre dès 1957 une première exploitation à Ranomena. Puis en 1969 par le biais de sa filiale COMINA, une seconde à Andriamena. Dans le même temps de nouvelles chromitites sont mises en évidence dans les régions de Befandriana- Mandritsara (à partir de 1956), de Mananara (en 1966), de Beforona-Alaotra, de l'Ampasary, de Maevatanana et à l'Ouest d'Antananarivo mais seule une partie des premières a donné lieu à une mise en exploitation en 1975 dans le secteur de Zafindravoay par COMINA.

Ces exploitations se poursuivent toujours à Andriamena dont le potentiel est à n'en pas douter de niveau mondial avec en particulier les très grosses lentilles à ratios Cr/Fe élevés de Bemanevika qui commence à produire et d'Ankazotaolana qui, malheureusement, arrivent à son terme.

2.2- Justification du choix de la méthode magnétique

La justification de l'emploi de la méthode magnétique repose, d'une part, sur la disponibilité des cartes aéromagnétiques du Fugro Ltd couvrant l'ensemble du District chromifère d'Andriamena (2004-2006, Feuilles OPQ 424344) qui montre clairement l'Unité d'Andriamena-Tsaratanana et, d'autre part, par les résultats des levés magnétiques, au 1/1.000^e, acquis par le projet Campus Géophysique de l'IOGA (1994-1996) sur plusieurs

secteurs de la Zone Sud d'Andriamena.En prospection magnétique, la susceptibilité magnétique est un paramètre fondamental, puisque la réponse magnétique des roches est fonction du contenu en matériel magnétique, qui lui aura une susceptibilité beaucoup plus grande que celle de la roche elle-même.

Au vu de ces résultats tout-à-fait concluants, on peut à juste titre considérer que la méthode magnétique est bien adaptée à la recherche de nouveaux amas de chromite dans la région d'Andriamena.

Bien sûr, il ne faut pas s'attendre à trouver des anomalies aussi considérables où la prospection a bénéficié de plusieurs facteurs favorables : importance de la minéralisation et faible profondeur du gisement. Par ailleurs, il ne faut pas négliger le fait que les ultrabasites et les quartzites à magnétite associées aux lentilles de chromite contribuent pour une part importante à l'anomalie magnétique. Autrement dit, il pourra arriver que le minerai soit trop profond, et/ou trop peu concentré pour donner lieu à une anomalie magnétique appréciable; par contre, il n'est pas exclu que son "environnement ultrabasique" soit suffisamment important pour affecter les résultats géophysiques, fournissant ainsi un fil conducteur d'un intérêt certain pour la suite des opérations. PARTIE 2 BASES METHODOLOGIQUES

CHAPITRE 3 : Théorie du magnétisme

3.1- Notion de magnétisme

Quelques principes du magnétisme doivent être exposés afin de bien comprendre les propriétés physiques des anomalies rencontrées.

3.11- La loi de Coulomb

La loi de Coulomb pour un dipôle magnétique est définie par :

$$\vec{F} = \frac{q \cdot q'}{\mu_r^2} \vec{r} \quad (1)$$

Où F : force en dynes (cm.g/s² = 10^{-5} N)

q, q' : masse magnétiques ou pôles (emu)

- r : distance entre les deux pôles
- \vec{r} : Vecteur unitaire selon la droite joignant m, m'
- μ : Perméabilité du milieu autour des pôles ($\mu = 1$ dans le vide et l'air)

Si deux pôles de 1 emu sont placés dans le vide à 1cm l'un de l'autre, la force entre eux sera de 1 dyne. Par convention, un pôle est positif s'il est attiré par le Nord magnétique de la terre et négatif s'il est attiré vers le Sud.

3.12- Moment magnétique

Il n'y a pas de masse magnétique libre. Seul le dipôle, association de deux pôles -m et +m séparés d'une distance l, a une signification physique.

Le moment magnétique \vec{M} du dipôle est un vecteur dirigé suivant la droite joignant –m à +m, orienté de –m à +m et d'intensité : $\vec{M} = m \vec{r}$ (3)

3.13- Intensité d'aimantation

Un corps magnétique placé dans un champ magnétique externe sera magnétisé par induction. L'intensité de la magnétisation est proportionnelle à la force du champ et sa direction est dans celle du champ. Elle est définie comme le moment magnétique par unité de volume :

$$\vec{I} = \frac{\vec{M}}{v}$$
 (4)

 \vec{I} porte souvent le nom de polarisation magnétique parce que l'induction tend à aligner les dipôles du corps magnétique. La susceptibilité magnétique k est une mesure du degré auquel un matériau peut être magnétisé. Plus grande que serait la susceptibilité, plus grand serait l'intensité de la magnétisation induite et, par conséquent, plus grand serait l'anomalie produite par rapport au champ terrestre. On a :

$$k = \frac{\vec{I}}{\vec{H}}$$
, $\vec{I} = k\vec{H}$ (5)

La susceptibilité magnétique d'un volume de roche est une fonction de la quantité de minéraux magnétiques (surtout la magnétite et la pyrrhotite) qu'elle contient. Les mesures de la susceptibilité magnétique peuvent donner une estimation rapide du caractère ferromagnétique de la roche. Ces mesures peuvent être interprétées comme étant des changements lithologiques ou d'homogénéité de la roche ou encore comme une indication de la présence de zones d'altération dans le massif rocheux. Pendant le processus d'altération hydrothermale, les minéraux magnétiques primaires (la magnétite) peuvent être altérés ou oxydés en minéraux peu ou pas magnétiques (par exemple en hématite). Une susceptibilité magnétique anormalement basse dans une roche autrement homogène à susceptibilité magnétique élevée peut indiquer la présence de zones d'altération.

Les coulées mafiques et les dykes de diabase qui contiennent une forte proportion de minéraux magnétiques peuvent être facilement délimités en mesurant leur susceptibilité magnétique quand ils sont présents dans une séquence sédimentaire qui contient habituellement peu ou pas de minéraux magnétiques.

La figure ci-dessous donne une idée sur la gamme de susceptibilité de quelques types de roches. On la note pour des types similaires.

Figure 4- Susceptibilités k pour des différents types de roches (d'après R.Monster, 2004)

3.2- Le Champ magnétique terrestre

Le champ géomagnétique ou champ magnétique terrestre est composé de trois termes :

- champ principal $B_p(s, t)$

- champ d'anomalie crustal B_a (s)

- champ transitoire $B_t(s, t)$

tel que : $B(s, t) = B_p(s, t) + B_a(s) + B_t(s, t)$ (6)

Le champ transitoire : résulte de la superposition d'un champ externe B_e (t) dont les sources primaires proviennent de l'interaction entre les rayons solaires et l'environnement terrestre et d'un champ interne induit $B_i(s,t)$ dans le globe conducteur :

$$B_t(s, t) = B_e(t) + B_i(s, t)$$
 (7)

Le champ primaire externe $B_e(t)$ résulte d'un courant électrique circulant dans l'ionosphère. La géométrie de ce champ est très complexe alors qu'en ce qui concerne le champ induit, des courants sont induits dans un corps conducteur plongé dans un champ magnétique variable et crée ce qu'on appelle champ induit. Ce champ est présent dans tout l'espace, il décroît lorsqu'on s'éloigne du corps conducteur et dépend ainsi :

- de la géométrie des sources externes

- de la période du phénomène conducteur et de la distribution de conductivité du corps.

L'étude de ce champ induit renseigne sur la conductivité dans la terre (prospection électromagnétique). Le champ principal ou la partie principale du champ magnétique terrestre est d'origine purement interne. En première approximation sa géométrie est celle d'un dipôle centré du moment $M=7,81.10^{22}$ Am² d'incliner de $\theta = 11,5^{\circ}$ par rapport à la terre.

Figure 5- Le champ géomagnétique (d'après R.Monster, 2004)

Le champ principal évolue très lentement dans le temps, quelques dixièmes de nT au plus sur sa composante transitoire. Les périodes des événements vont de quelque mois à 100 ans. La description de sa variation et de sa distribution renseigne sur le mouvement possible du noyau.

Le champ d'anomalie crustale est le champ magnétique moyen engendré par les roches aimantées des couches superficielles. Son intensité varie de quelques nT à quelques milliers de nT. BLes longueurs d'onde sont comprises entre quelques dixièmes de mètres à quelques milliers de kilomètres. Sa géométrie est très variable, liée aux structures géologiques à l'aimantation des roches de la croûte terrestre à cause de gradient thermique toute aimantation cesse au-delà de la température de Curie

3.3- Les éléments du champ magnétique

Le champ magnétique terrestre peut être défini par trois composantes en tous point donné : Nord, Sud, Vertical (X, Y, Z). Très souvent, on donne une valeur exprimée par la grandeur du champ total F, 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.

$$H = F \cos I$$
$$X = F \cos I \cos D - Y = F \cos I \sin D - Z = F \sin I$$

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

Les composantes X, Y, Z sont les *composantes cartésiennes* du champ magnétique, généralement utilisées pour la recherche. Les composantes H, D, Z sont les *composantes cylindriques* du champ magnétique, concernant les mesures relatives et les composantes (F, I, D) sont les *composantes sphériques* du champ magnétique, déterminées directement par des mesures absolues.

 \vec{F} a un intensité de 0,6 Oe aux pôles magnétiques (I= ±90°) et minimale de 0,3 Oe à l'équateur magnétique (I=0°). A l'heure actuelle, l'unité utilisée en prospection magnétique est le nanotesla (nT), qui par un jeu de transformation est exactement égal à l'ancienne unité, le γ . Avec : 1 nT = 10⁻⁹T = 1 γ (8)

Remarques

- En CGS, puisque $\mu=1$ dans l'air (ou le vide), $\overline{B} = \overline{H}$ et 1 Oersted est équivalent à 1 gauss. Comme le gauss est une unité d'induction très grande, on a eu recours au gamma (γ) dans le passé pour exprimer dans les champs $1\gamma=10^{-5}$ Gauss.

- Les anomalies causées par des sources ferromagnétiques peuvent avoir des intensités aussi importantes que \vec{F} local. La plupart ont des intensités de l'ordre de $0,001 \vec{F} \ge 0,1 \vec{F}$.

-L'aiguille d'une boussole s'oriente suivant un méridien magnétique. L'angle entre le méridien magnétique et le nord géographique s'appelle la déclinaison magnétique, D.

-D est positive (+) si la déviation est vers l'Est et négative (-) vers l'Ouest.

-Dans un plan vertical ayant la direction du nord magnétique, on définit l'inclinaison du champ qui est entre le champ total et sa composante horizontale.

-Pour l'hémisphère magnétique nord, le champ pointe vers le bas et I est positive (+) ; dans l'hémisphère magnétique sud, l'inverse se produit et I est négative (-).

-Dans la prospection, la présence d'anomalies est marquée par des changements dans le champ terrestre, allant de dizaines de nanoteslas jusqu'aux dizaines de milliers de nanoteslas, du fait qu'il existe des corps magnétiques massifs. Le champ terrestre non dérangé se situe entre 25000nT et 70000nT.

3.4- Propriétés magnétiques

Tous les matériaux peuvent être classés à l'intérieur de 3 groupes définissant leurs propriétés magnétiques : - diamagnétisme

- paramagnétisme
- ferro et ferrimagnétisme

- Si k<0, on parle de diamagnétisme. L'intensité de la magnétisation induite est dans la direction opposée au champ inducteur. Phénomène faible, réversible, affecte tous les corps et souvent caché par un autre phénomène. Ex : quartz, feldspath, sel.

- Si k>0, la substance est alors paramagnétique. Comme le diamagnétisme, c'est un phénomène faible et réversible, mais tend à renforcer l'action du champ inducteur. Le champ induit décroît cependant avec la température. Ex : métaux, gneiss pegmatite, dolomie, syénite.

Dans le cas de substances ferromagnétique, les moments magnétiques de chaque atome s'alignent spontanément dans des régions appelées domaines et cela même en l'absence de champ magnétique externe. En général, le moment magnétique total est nul parce que les différents domaines ont des orientations différentes et leurs effets s'annulent. Le ferromagnétisme disparaît si on dépasse une certaine température, appelée point de Curie.

Si les moments magnétiques d'une substance sont anti-parallèles dans les domaines et de grandeurs différentes, le moment magnétique total est différent de zéro. La substance est alors appelée ferrimagnétique.

ex : magnétite, ilménite

Dans le cas d'une substance ferrimagnétique dont la somme de moments parallèles et antiparallèles est nulle, on parle d'anti-ferromagnétisme.

ex : hématite

La susceptibilité d'une roche est entièrement dépendante de la quantité de minéraux ferromagnétiques qu'elle contient, de la dimension des grains et de leur distribution. Donc, c'est une propriété très variable et il est pratiquement impossible de prédire la teneur en minéraux à partir de la susceptibilité.

La sensibilité minimale requise pour mesurer les anomalies avec suffisamment de détail est de ± 5 nT. Il est alors possible de détecter des anomalies provenant de sources situées à plus de 10.000m de profondeur. Comme le champ induit est proportionnel au champ ambiant, les anomalies seront plus intenses aux hautes latitudes magnétiques qu'à l'équateur magnétique.

CHAPITRE 4 : La prospection magnétique

4.1- Généralités

En prospection minière, la méthode magnétique est souvent utilisée à la recherche directe des minerais présentant des caractéristiques magnétiques. Certains minéraux non magnétiques, en eux-mêmes, sont associés à d'autres qui ont des effets magnétiques détectables à la surface du sol. Des campagnes aéromagnétiques à grande échelle ont été effectuées pour localiser les grandes failles et fractures ainsi que les zones de fissuration. De telles zones peuvent receler des variétés de minéraux et servent d'indices significatifs pour la prospection minière dans la région étudiée.

Le but recherché est d'améliorer la connaissance d'un gisement de minerai magnétique et de conduire de manière optimale, plus tard, le programme d'exploitation puisque les limites du gisement a été assez bien défini par cette méthode géophysique.

4.2- Spécificités de la méthode

Elles sont basées sur le champ magnétique terrestre et sur la susceptibilité magnétique des minéraux composant les roches. La susceptibilité est la propriété qu'ont certains matériaux à s'aimanter en présence d'un champ magnétique ambiant et à créer un champ magnétique secondaire.

La prospection magnétique consiste donc à rechercher les roches, les formations, et les gisements magnétiques par l'observation des anomalies ou des variations locales qu'ils produisent dans le champ terrestre. La plupart des minéraux ont une susceptibilité magnétique très faible ou même nulle sauf la magnétite (Fe₃O₄) et quelques minéraux plus rares.

La magnétite est présente dans presque toutes les roches en quantité plus ou moins grande, une fraction de 1% étant détectable. La teneur en magnétite a tendance à être à peu près constante dans une même formation quoiqu'elle peut varier d'une formation de même type de roche à une autre.

Même si la présence de minéraux magnétiques est facilement détectable par la prospection magnétique, il est généralement impossible d'évaluer les possibilités économiques d'un gisement en se basant sur des données magnétiques seules.

La magnétite a une susceptibilité supérieure aux autres matériaux ferriques et les données magnétiques reflètent surtout sa concentration. Ainsi une faible quantité de magnétite dans une roche non magnétique peut donner une anomalie beaucoup plus importante qu'un dépôt.

En général, plus une roche est basique, plus la teneur en magnétite est haute, plus sa susceptibilité est haute. La gamme de valeurs possibles de la susceptibilité d'un type de roche est relativement large et recouvre les valeurs d'autre type de roches. Il est donc impossible d'identifier avec certitude la roche en se basant seulement sur sa susceptibilité.

4.3- Acquisition des données

Les levés aéromagnétiques sont réalisés efficacement à partir d'un avion, grâce aux magnétomètres aéroportés. Les magnétomètres à vapeur de Césium sont le type le plus souvent mis en œuvre pour les levés aéromagnétiques et pour les stations de base quand la meilleure résolution et/ou la cadence du cycle de fonctionnement pour mesurer le champ magnétique de la Terre est requis.

Un détecteur de Césium fournit, en pratique, des sorties qui sont essentiellement continues. En combinaison avec l'électronique requise, il peut opérer à une résolution allant jusqu'à 0,001nT, à un taux d'échantillonnage de 10 mesures par seconde ou mieux, au travers d'une portée de 20.000 à 100.000nT.

Ces magnétomètres peuvent être installés dans des aéronefs à voilure fixe ou dans les hélicoptères, dans une configuration "stringer" (aiguille) ou "towed bird" (oiseau tracté) et, en plus de mesurer le champ magnétique total, peuvent servir pour prendre des mesures verticales, transversales et/ou des mesures de l'inclinaison longitudinale en mettant en œuvre deux détecteurs. Une installation typique de magnétomètre césium comprendra quelques uns ou tous les sous-systèmes suivant :

-détecteur

-suspension d'orientation au Cadran
-unité de traitement du signal et/ou un compensateur
-surface portante

Les conditions des levés sont les suivantes :

- au moins trois lignes devront traverser la cible

- lignes de vol perpendiculaires à la cible

Dans le cas présent, les levés géophysiques aéroportées définies par la coupure GH 40-41 sont réalisés par la société Fugro Airborne Surveys Ltd pour le Compte du Projet du Gouvernance des Ressources Minérales (PGRM) en 2004 avec les conditions suivantes :

- espacement entre les lignes de vol : 500m

- hauteur du vol ou garde au sol : 100m

L'altitude et la mouvement de l'aéronef en vol par rapport au vecteur champ magnétique de la terre sont suivies par un fluxmètre à trois éléments qui est très sensible aux changements d'altitude. Les sorties de ce détecteur de movement sont utilisées pour déconvolutionner les anomalies artificielles crées par l'aéronef lui-même à partir des anomalies crées par des variations géologiques.

4.4- Utilisation de la méthode

En exploration minière, on se sert des levés magnétiques pour localiser et pour délimiter :

- des gisements de minerais de Fer magnétique

- un gisement d'amiante (les fibres sont associées avec la magnétite et se trouvent dans les roches très basiques)

- des dykes magnétiques qui forment souvent une barrière pour l'accumulation de l'eau souterraine

- des gisements de minerais métalliques qui pourraient avoir soit de la magnétite, soit de la pyrrhotite soit de l'ilménite associée avec le minerai.

Détection indirecte :

- des zones riches en magnétite qui pourraient avoir une association quelconque indirecte avec un gisement métallique

- des restes archéologiques

- du Nickel associé avec des roches basiques

- de la minéralisation généralement associée à des structures (faille, plissements, intrusifs, etc.)

En cartographie que ce soit en géologie structurale ou minière :

- utilisation la plus importante tant au sol qu'aéroporté, tant local que régional

- permet d'interpoler entre les affleurements sans être obligé de forcer ou de creuser.

L'avantage de la méthode aéroportée en est que de grandes superficies (éventuellement à accès difficile) peuvent être levées rapidement et à moindre coût que par levé au sol.

4.5- Définition de l'anomalie

Une anomalie magnétique représente une perturbation locale du champ magnétique terrestre qui résulte d'un contraste d'aimantation. Soit \vec{B}_{t} , \vec{B}_{p} et \vec{B}_{a} respectivement le vecteur champ magnétique total, champ normal et champ de l'anomalie.

Hypothèses :

- le réseau considéré est de dimension assez restreinte pour qu'on puisse considérer que la surface considérée est pleine

- B_a est petit devant B_p

- la direction du champ \vec{B}_p peut être considéré comme fixe dans le domaine des réseaux - les mesures sont faites dans un plan horizontal

L'anomalie de l'intensité est notée :

 $A_b = B_t - B_p$: liée au champ d'anomalie par $A_b = \vec{B}_a \cdot \vec{p}$ (9)

avec \vec{p} : direction du champ principal \vec{B}_{p}

 \vec{B}_{a} est un champ de gradient, cela signifie qu'il existe une fonction potentiel scalaire Ω telle que $\vec{B}_{a} = -\overline{grad} \Omega$ (10)

Alors
$$A_b = -\frac{\partial \Omega}{\partial p}$$
 d'où $A_b = -(\alpha \frac{\partial \Omega}{\partial x} + \beta \frac{\partial \Omega}{\partial y} + \gamma \frac{\partial \Omega}{\partial z})$ (11)

Dans la demi-sphère z > 0, on a : div $\vec{B}_a = 0$ et $\vec{rot} \vec{B}_a = \vec{0}$. La direction locale du champ normal qui dépend de la latitude a une influence sur la forme de l'anomalie. La présence d'une aimantation rémanente donne lieu à une distorsion. Le calcul de $A_b(x,y,z)$ à partir de $A_b(x,y,0)$ fait appel à la fonction de Green, du problème de Dirichlet pour le plan : $\varphi(\mathbf{x},\mathbf{y},\mathbf{z}) = \frac{1}{4\pi} \int_{(s)} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial n} - \varphi \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r}\right)\right] dS$ (12) avec φ est une fonction harmonique

$$\Leftrightarrow \frac{\partial \varphi}{\partial n} = - \frac{\partial \varphi}{\partial r}$$

Ainsi la fonction de Green G (P,Q) du problème de Dirichlet dans le volume V limité par (S) est donnée par la relation :

$$\varphi(\mathbf{x},\mathbf{y},\mathbf{z}) = -\frac{1}{4\pi} \int_{(s)}^{(s)} \varphi \frac{\partial G}{\partial n} dS$$
 (13)

CHAPITRE 5 : Les outils de traitements spatial et fréquentiel

Dans le *domaine spatial*, les données sont représentées dans un espace mathématique où les dimensions correspondent aux trois directions. En analysant la fréquence et l'orientation des motifs d'ondes dans les données, utilisant les transformations de Fourier, il est possible de cartographier un ensemble de données dans le *domaine spectral*, où au lieu de la distance, les dimensions correspondent aux fréquences augmentant dans les directions correspondantes. Au lieu des valeurs originales des données (composantes), les valeurs élevées et faibles correspondent à l'énergie des données à la fréquence en question.

5.1- Filtres du domaine spectral

Dans le domaine spectral il est possible de traiter les données selon leurs énergies à chaque fréquence, plutôt que par leur valeur correspondante à la composante choisie ou de leur position spatiale. On peut, par exemple, supprimer ou extraire des données de certaines fréquences, voire des ondes orientées dans une direction particulière.

Soulignons que la base des transformations repose sur le CMT, c'est-à-dire que la carte réduite au pôle est calculée à partir du CMT. Les autres cartes : dérivée, signal analytique dérivent, par contre du champ réduit au pôle.

5.2- Champ magnétique total

La sortie d'un levé magnétique aéroportée est une carte de l'intensité magnétique total de la zone d'étude. Comme le champ magnétique est incliné et n'est pas orienté directement vers le bas, une roche magnétique crée une valeur maximum aussi bien qu'une valeur minimum. Dans le cas présent, elle varie entre les deux valeurs minimum et maximum dues à la présence des corps magnétiques massifs. La présence des minéraux magnétiques dans les roches et des masses minéralisées provoque des déviations d'envergure différentes dans le champ normal et fourni la base pour la méthode magnétique.

La carte d'isovaleur de champ magnétique terrestre donne moins de précision en ce qui concerne la localisation exacte des sources magnétiques. Toutefois, les formations géologiques magnétiques se comporte comme des aimants enterrés, et auront un champ local

qui sera superposé au champ normal de la terre. Les mesures du champ prélevées dans le voisinage de telles formations géologiques présentent des entorses qui peuvent être de grandes ou petites dimensions au champ non dérangé, ce sont les anomalies. On donne, ci-après, la carte du CMT couvrant tout le secteur prospecté.

Figure 7- Carte du CMT couvrant la Feuille P42 (d'après levé FUGRO Ltd, 2004)

5.3- La réduction au pôle

Avant que le filtre soit appliqué, l'influence du champ magnétique du noyau terrestre correspond au lieu du levé. Après que le filtre ait été appliqué, l'influence apparente du champ magnétique terrestre sur les données du levé sera la même qu'elle aurait été au pôle. On va travailler sur l'hypothèse que les données prélevées proviennent des sources directement au dessous de la station. A cause de l'angle du champ magnétique, les sources des données ne seront pas, en effet situées directement au droit de la station.

$$R\rho(u,v) = \frac{\rho^{2}}{4\Pi^{2} (\gamma \rho + i(\alpha u + \beta v)) (c\rho + i(\alpha u + bv))}$$

$$\overrightarrow{\rho} \begin{vmatrix} \alpha = \cos D \cos I & \overrightarrow{\rho} & \alpha & \overrightarrow{\rho} \\ \beta = \sin D \cos I & \overrightarrow{p} & \beta & \overrightarrow{q} & a \\ \gamma = \sin I & \gamma & \gamma & c \end{vmatrix}$$

Le filtre suivant est appelé Réduction au pôle car il permet de supposer que les sources des données soient directement au dessous de la station. En réalité, ceci ne serait possible qu'à l'une des pôles.

5.3- Les dérivées

Le calcul des dérivées des données d'un levé efface les informations non requises de basse fréquence et présente les bords des anomalies. Les zones levées qui n'ont pas d'anomalies n'affichent aucun changement en champ magnétique et ont, par conséquent, une dérivée (gradient) de zéro. Au bord d'une anomalie, les données changeront et le gradient sera non zéro. Une zone qui a un gradient non zéro délimitera ainsi clairement une anomalie.

Les filtres des dérivées rehausseront aussi les structures magnétiques près de la surface, car ils changent plus fréquemment. La dérivée verticale est la dérivée de la transformée en fonction de la profondeur (Z). Tandis que le concept des dérivées fractionnaires (par exemple la dérivée verticale 1.5) n'a que peu de sens dans la mathématique journalière, il est possible en pratique de calculer une dérivée fractionnaire.

Les géophysiciens se sont rendus compte que la dérivée fractionnaire est un outil puissant.

Une dérivée fractionnaire peut s'avérer supérieure à la dérivée du premier ou second ordre pour la mise en évidence de certaines anomalies.

Théoriquement, on calcule la dérivée d'ordre p par rapport à Z suivant la formule :

$$\boldsymbol{\varphi}_{h}^{(p)} = \frac{\partial^{p}}{\partial z^{p}} \boldsymbol{\varphi}(\mathbf{x},\mathbf{y},\mathbf{z}) \quad (15)$$

5.4- Le signal analytique

Le filtre du signal analytique passe par les étapes suivantes :

le calcul de trois grilles de dérivée séparées dans le domaine spectral, c'est-à-dire les dérivées horizontales pour 'X' ou 'Est', 'Y' ou 'Nord' et la première dérivée verticale (suivant Z)

- la transformation de ces fichiers (*.grd) intermédiaires dans le domaine spatial

Dans le domaine spatial, la combinaison des trois grilles de dérivée pour produire la grille de sortie du signal analytique. Le signal analytique est défini par :

$$\mathbf{f} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}$$

où :

f : valeur de la cellule de la grille

$$\frac{\partial f}{\partial x}$$
: Première dérivée horizontale avec azimut égal = 0
$$\frac{\partial f}{\partial y}$$
: Première dérivée horizontale avec azimut égal = 90
$$\frac{\partial f}{\partial z}$$
: Première dérivée verticale

5.5- Déconvolution d'Euler

L'utilisation de la déconvolution d'Euler pour faire l'interprétation rapide des données magnétiques est particulièrement efficace et ce, pour délimiter les contacts et évaluer rapidement la profondeur. La qualité de cette évaluation dépend en grande partie du choix approprié de l'indice structural, lequel est fonction de la géométrie des corps causaux. Une

rapide estimation de la place et de la profondeur des sources magnétiques peut être faite en utilisant la relation d'homogénéité d'Euler. Cette méthode est basée sur l'usage des gradients verticaux et horizontaux et elle n'a pas besoin de supposition sur l'aimantation. Le signal analytique peut ainsi être utilisé pour localiser les sources magnétiques sans faire une supposition sur l'aimantation. Une structure aimantée située en point $M(x_0, y_0, z_0)$ crée en point S(x, y, z) de la surface un champ d'anomalie d'intensité T. Selon Thompson (1982), la relation d'homogénéité d'Euler est :

$$(x - x_0)\frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0)\frac{\partial T}{\partial x} + (z - z_0)\frac{\partial T}{\partial x} = N(B - T)$$

Dans cette relation, *B* représente l'intensité du champ régional et N le degré d'homogénéité ou indice structural. Les coordonnés des sources sont obtenues par inversion matricielle. Ces dernières années, l'usage de cette méthode est devenu plus répandu parce qu'il a été automatisé pour travailler avec n'importe quelle grille ou données en profil.

5.6- Modèles géophysiques et interprétation géologique

L'effet magnétique d'un corps dépend de sa taille (dimension), de sa forme, de sa profondeur de sa susceptibilité ainsi que la direction du champ magnétisant.

Figure 8- Variation du CMT avec l'inclinaison i. (*d'après Nettleton, 1976*) Des mesures magnétiques faites près d'un corps magnétique verraient une anomalie pointue,

tandis que l'anomalie serait plus petite, plus large et plus lisse si le corps magnétique était éloigné. La distance aux corps magnétiques peut être déterminé par l'étalement du relief des profiles magnétiques. Des anomalies pointues indiquent en générale des sources magnétiques proches de la surface alors que celles des anomalies larges sont probablement profondes.

Figure 9- Variation de l'anomalie avec l'inclinaison, comme vu sur cartes magnétique (d'après Vacquier et al. 1951 ; Geological Society of America)

Figure 10- Anomalies causées par diverses orientations des corps magnétiques par rapport au Nord magnétique (*d'après Vacquier et al. 1951 -Geological Society of America*)

PARTIE 3

INTERPRETATION DES CARTES ET RESULTATS

CHAPITRE 6 : Mise en œuvre de la méthode magnétique

L'étude géologique a permis de délimiter plusieurs sites probants, cinq au total, mais dans le cadre de ce rapport, on ne s'intéressera qu'à trois d'entre eux, le premier se trouvant au centre du secteur et les deux derniers tout au Sud. Les limites respectives de ces sites sont présentées dans les paragraphes correspondants.

6.1- Moyens et travaux

L'exécution des mesures et calculs topographiques au 1/1.000^e des trois secteurs Bemenavony Nord, Ambararata-Ankandrinosy et Bemenavony Sud où plusieurs indices de chromite sont groupés sur une superficie de 8km² a été confiée au géomètre de l'équipe. Celui-ci a utilisé un théodolite Wild T2, pour les lectures angulaires et stadimétriques nécessaires à la planimétrie et à l'altimétrie. En général, les résultats topographiques vinrent après les mesures magnétiques et les différentes cartes sont présentées dans la suite pour aider à l'interprétation.

6.2- Mesures de magnétisme au sol

Les données magnétiques analysées concernent l'ensemble des mesures au sol réalisées sur les trois secteurs prospectés. Les mesures du champ magnétique ont été faites avec un magnétomètre Geometrics, le capteur se trouvant à 2 ou à 2,5m du sol, d'une part, pour les mesures du champ total et par un susceptibilimètre Bartington, d'autre part, pour les mesures de susceptibilité.

En chaque station, trois mesures ont été réalisées et c'est la valeur moyenne qui a été prise en compte dans nos calculs. Au total, il y a près de 3152 mesures levées au cours de cette étude. La réduction des mesures, qui a pour but d'éliminer les effets des variations temporelles du champ mesuré, a été faite à partir des enregistrements en continu de l'Institut et Observatoire Géophysique d'Antananarivo et l'anomalie du champ magnétique total est déduite des valeurs réduites par soustraction de la moyenne du champ géomagnétique théorique (IGRF) couvrant chaque secteur étudié.

La figure suivante montre la localisation des trois secteurs étudiés :

Figure 11- Situation des trois sites de mesures de magnétisme au sol

6.21- Site 1- Ambararata Ankandrinosy

Ce secteur se trouve juste au Nord de la colline Ankandrinosy.

Photo 2- Un aperçu de la zone Ambararata

Photo 3- Type de roche ultrabasique à veines quartzo-feldspathiques distensives

- Durée de la prospection magnétique et levé topo : 4 jours
- Nombre station par profil : 51
- Kilométrage par profil : 625 m
- Nombre profil au total : 26 profils
- Nombre station au total : 1 326

Figure 12- Ambararata Ankandrinosy, carte topographique au 1/1.000

Carte d'anomalie du champ magnétique total

L'anomalie magnétique de la zone d'étude est localisée au centre du secteur de direction NW-SE. En comparant avec la carte topographique ci-dessus on voit que la source de cette anomalie est les roches B-UB (en particulier les gabbros). Les valeurs correspondantes de cette anomalie varient de 34143 à 36789nT. La carte se divise en trois parties bien distinctes :

- un chapelet d'anomalies moyennement magnétiques longe toute la partie Est et Sud-Ouest de la carte.
- dans la partie centrale apparaît l'anomalie magnétique positive c'est-à-dire un pôle très magnétique correspondant aux gabbros
- à l'Est, une anomalie magnétique négative apparaît de direction NE-SW

On peut conclure, à la suite de l'analyse et interprétation de cette carte du champ magnétique

totale que les grandes masses magnétiques sont biens identifiées et les indices de chromite se trouvent dans la périphérie des massifs de basiques-ultrabasiques et dans la zone non magnétique.

Figure 13- Carte d'anomalie du champ magnétique total au 1/1000

Carte réduite au pôle

La première observation faite est que l'ensemble des anomalies sont déplacées vers l'Est si on prend comme référence la carte du champ magnétique total .Les valeurs de la déclinaison et inclinaison magnétiques utilisées pour la transformation sont respectivement -13° et -50.23°. L'interprétation de cette carte est celle de la carte du champ magnétique total sauf dans la partie Nord Ouest et Sud Ouest, les anomalies positives se grandissent.

Figure 14- Carte de la réduction au pôle au 1/1000

Carte du signal analytique

On a obtenu la carte du signal analytique en partant de la carte réduite au pôle.On retiendra notamment que seules deux zones très magnétiques sont observées :

- au Centre, on voit toujours apparaître l'anomalie très magnétique correspondant aux gabbros et cette anomalie se prolonge vers NW
- à l'Est, en particulier le Nord Est une anomalie linéaire apparaît et deux failles sont observées.

En bref, le signal analytique a permis de déterminer un peu plus précisément les limites des anomalies les plus significatives. On voit bien que les indices de chromite se trouvent toujours en périphérie des massifs de basiques-ultrabasiques.

Figure 15- Carte du signal analytique au 1/1000

Carte du gradient vertical

La carte du gradient Vertical repose sur la mise en évidence de structures superficielles, c'est un filtre numérique passe-haut. On peut constater que les anomalies sont plus fines, plus rectilignes par rapport à ce qu'on a observé sur les trois premières cartes.

Figure 16- Carte du gradient vertical au 1/1000

Carte de déconvolution d'Euler

Dans la carte de déconvolution d'Euler, ci-après, on voit des profondeurs différentes dans les zones très magnétiques c'est-à-dire de 8-35m, 35-65m et de 65-135m correspondantes aux massifs de basiques-ultrabasiques tandis que dans la zone non magnétique, on trouve les indices de chromite affleurant à la surface.

Figure 17- Carte de la déconvolution d'Euler au 1/1000

Profil de déconvolution d'Euler

Le profil de déconvolution d'Euler est obtenu à partir du profil électrique P2 de la carte topographique ci-dessus.

Figure 18- Profil de déconvolution d'Euler

6.22- Site 2- Bemenavony Nord

Le site se trouve dans une zone de hautes collines.

Photo 4- Traversée de Bemavo

Photo 5- Bloc de roches ultrabasiques

- Durée de prospection et levé topo : 4 jours
- Nombre station par profil : 51
- Kilométrage par profil : 625 m
- Nombre profil au total : 26 profils
- Nombre station au total : 1 326
- Maillage rectangulaire : 12,5x25m
- Nombre Affleurements rencontrés et prélevés : 6

Figure 19- Bemenavony Nord, carte topographique au 1/1.000

Carte d'anomalie du champ magnétique total

La carte d'anomalie magnétique total de la zone d'étude est localisée dans la zone Nord Est et Sud Ouest. En comparant avec la carte topographique ci-dessus on voit que la source de cette anomalie est les roches gabbroiques Les valeurs correspondantes de cette anomalie varient de 34477 à 35499nT.

La carte se divise en trois parties bien distinctes :

• Dans la partie centrale apparaît un pôle très magnétique positif se prolongeant vers Nord Est correspondant aux gabbros. De Même pour la zone Sud Ouest

on trouve une anomalie très magnétique

- Au Nord Ouest apparaît une anomalie linéaire de direction SE-NW
- Au sud, une zone non magnétique c'est-à-dire une anomalie négative apparaissent les indices de chrome

On peut conclure, à la suite de l'analyse et interprétation de cette carte du champ magnétique totale que les grandes masses magnétiques sont biens identifiées. On voit que les indices prélevés se trouvent bien sur les bords des intrusions basiques-ultrabasiques. On peut espérer que tout autour de ces intrusions est favorable à la présence de chromite

Figure 20 : Carte d'anomalie du Champ magnétique total au 1/1.000

Carte réduite au pôle

La première observation faite est que l'ensemble des anomalies sont déplacées vers Nord Est si on prend comme référence la carte du champ magnétique total et il y a une apparition des anomalies dans la partie Ouest et Sud Ouest de direction NW-SE.Les valeurs de la déclinaison et inclinaison magnétiques utilisées pour la transformation sont respectivement - 13° et -50.23°

On peut dire sur la carte de la réduction au pôle que les indices du chrome se trouvent toujours dans la périphérie de massifs basiques ultrabasiques

Figure 21 : Carte réduite au pôle au 1/1.000

Carte du signal analytique

On a obtenu la carte du signal analytique en partant de la carte réduite au pôle.On retiendra notamment que seules deux zones très magnétiques sont observées : au Centre et au Nord-Est, on voit toujours les anomalies très magnétiques correspondant aux gabbros.

En bref, ce signal analytique a permis de déterminer un peu plus précisément les limites des anomalies les plus significatives. On voit bien sur la carte du Signal Analytique que les indices de chromite se trouvent toujours en périphérie des massifs de basiques-ultrabasiques.

Figure 22- Carte du signal analytique au 1/1.000

Carte du gradient vertical

La carte du gradient Vertical repose sur la mise en évidence de structures superficielles, c'est un filtre numérique passe haut.on peut constater que les anomalies sont plus fines, plus rectilignes par rapport à ce qu'on a observé sur les trois premières cartes.

Figure 23- Carte du gradient vertical au 1/1.000

Carte de déconvolution d'Euler

Dans la carte de déconvolution d'Euler, ci-après, on voit des profondeurs différentes dans les zones très magnétiques c'est-à-dire de 8-35m, 35-65m et de 65-135m correspondantes aux massifs de basiques-ultrabasiques dominants dans la partie Ouest, tandis que dans la zone non magnétique, on trouve les indices de chromite affleurant à la surface, les profondeurs varient de 8-35m à 35-65m dominant le reste de la partie de la zone.

Figure 24 - Carte de déconvolution d'Euler au 1/1.000

Profil de déconvolution d'Euler

Le profil de déconvolution d'Euler est obtenu à partir du profil électrique P1 de la carte topographique ci-dessus.

Figure 25-Profil de déconvolution d'Euler site 2

6.23- Site 3 Bemenavony Sud

C'est le secteur le plus au Sud de la zone. C'est le plus petit secteur en termes de surface couverte.

Photo 6- Observation et analyse

géologiques

Photo 7- Blocs de chromitite observés sur

le Site 3

- _ Durée de prospection et levé topo : 2 jours
- Nombre station par profil : 25
- Kilométrage par profil : 300

- Nombre profil au total : 20
- Nombre station au total : 500
- Maillage rectangulaire : 12,5x25m
- Nombre tranchées prélevées : 0

On voit l'alignement particulier des indices sur la carte du Signal Analytique et une partie relativement magnétique apparaît vers le Nord-Ouest, une structure qui n'apparaît pas en évidence sur la carte géologique.

Figure 26- Bemenavony sud, cartes topographique au 1/1.000

Carte d'anomalie du champ magnétique total

Les anomalies magnétiques positives de la zone d'étude sont localisées au centre et à Est. En comparant avec la carte topographique ci-dessus on voit que la source de ces anomalies est les

roches gabbroiques Les valeurs correspondantes de cette anomalie varient de 34210à 34763nT. A l'Ouest et entre les anomalies positives apparaissent une anomalie linéaire de direction NE-SW

Dans la partie centrale Une anomalie importante, très large, occupe la partie centrale de la Zone et toute la partie Est.

On peut conclure, à la suite de l'analyse et interprétation de cette carte du champ magnétique total que les grandes masses magnétiques sont biens identifiées. On voit que les indices prélevés se trouvent bien sur les bords des intrusions basiques-ultrabasiques. On peut espérer la présence de chromite tout autour de ces intrusions.

Figure 27- Carte d'anomalie du champ magnétique total au 1/1.000

Carte réduite au pôle

La première observation faite est que les anomalies dans la partie centrale se grandissent si on prend comme référence la carte du champ magnétique total tandisque dans la Partie Est les anomalies se retrechie .Les valeurs de la déclinaison et inclinaison magnétiques utilisées pour la transformation sont respectivement -13° et -50,23°.

L'interprétation de cette carte est celle de la carte du champ magnétique total

Figure 28- Carte réduite au pôle au 1/1.000

Carte du signal analytique

On a obtenu la carte du signal analytique en partant de la carte réduite au pôle. On retiendra notamment que seules deux zones très magnétiques sont observées :

Les anomalies couvrent toujours la partie centrale mais se divisent en deux zones bien distinctes : l'une au Centre et l'autre à l'Est et se prolongeant dans la partie Nord Est.Deux pôles magnétiques apparaissent dans la partie Nord Ouest une structure qui n'apparaît pas en évidence sur la carte topographique.

En bref cette signal analytique a permis de déterminer un peu plus précisément les limites des anomalies les plus significatives : On voit bien sur la carte du Signal Analytique que les indices de chromite se trouvent toujours en périphérie des massifs de basiquesultrabasiques.

Figure 29- Carte du signal analytique au 1/1.000

Carte du gradient vertical

La carte du gradient Vertical repose sur la mise en évidence de structures superficielles, c'est un filtre numérique passe haut. On peut constater que les anomalies sont plus fines, plus rectilignes par rapport à ce qu'on a observé sur les trois premières cartes.

Figure 30- Carte du gradient vertical au 1/1.000

Carte de déconvolution d'Euler

Dans la carte de déconvolution d'Euler ci-dessous on voit des profondeurs différentes dans les zones magnétiques c'est-à-dire de 8-35m, 35-65m, 65-135m corresponds aux massifs basiques ultrabasiques tandis que dans la zone non magnétique qu'on trouve les indices de chrome les profondeurs varient de 8-35m à 35-65m

Figure 31- Carte de déconvolution d'Euler au 1/1.000

Profil de déconvolution d'Euler

Le profil de déconvolution d'Euler est obtenu à partir du profil électrique P2 de la carte topographique ci-dessus.

Figure 32- Profil de déconvolution d'Euler site 3

6.3- Mesures de susceptibilité magnétique

La susceptibilité magnétique K des roches est entièrement contrôlée par le pourcentage de minéraux ferrimagnétiques contenus, de la taille des grains, de leur mode de distribution, etc.... et sa valeur varie largement d'un point à un autre. Les mesures de susceptibilité ont été faites avec un susceptibilimètre Bartington.

On donne dans le tableau, ci-après, les valeurs de K observée dans l'ensemble des 3 sites étudiés :

X (m)	Y (m)	K (10 ⁶ SI)	Type de formations rencontrées
512 724,0	1 001 615,3	173	Amphibolite
512 724,0	1 001 615,3	226	Amphibolite
512 543,5	1 001 591,7	299	ampibolite
512 543,5	1 001 591,7	208	ampibolite
512 543,5	1 001 591,7	48	lentille chromite
512 543,5	1 001 591,7	55	lentille chromite
512 543,5	1 001 591,7	57	lentille chromite
512 543,5	1 001 591,7	1614	quartzite à magnétite
512 543,5	1 001 591,7	1593	quartzite à magnetite
512 482,4	1 001 220,3	1038	quartzite à magnetite
512 482,4	1 001 220,3	7325	roches basiques à grains fins associées
512 482,4	1 001 220,3	82	blocs alluviaux de chromitite fracturée
			souvent à matrice de talcschiste
512 482,4	1 001 220,3	116	blocs alluviaux de chromitite fracturée
			souvent à matrice de talcschiste
512 482,4	1 001 220,3	37	lentille chromite
512 482,4	1 001 220,3	57	lentille chromite
512 482,4	1 001 220,3	41	lentille chromite
512 482,4	1 001 220,3	45	lentille chromite
512 258,3	1 001 329,1	56	lentille chromite
512 258,3	1 001 329,1	44	lentille chromite
512 130,8	1 001 246,8	59	lentille chromite
512 130,8	1 001 246,8	84	orthogneiss associés avec des gabbros à hornblende recopés par des veines de taleschistes
512 130 8	1 001 246 8	71	orthogneiss associés avec des gabbros à
512 150,0	1 001 240,0	/ 1	hornblende reconés par des veines de
			talcschistes
512 130 8	1 001 246 8	105	blocs alluviaux de chromitite à grains
512 150,0	1 001 210,0	100	très fins, matrice talcschistes
512 130.8	1 001 246.8	57	lentille chromite
512 130.8	1 001 246.8	67	lentille chromite
512 130.8	1 001 246.8	34	lentille chromite
512 195.0	1 001 102.0	20	lentille chromite
512 195.0	1 001 102.0	37	lentille chromite
512 195.0	1 001 102.0	199	soapstone
512 195.0	1 001 102.0	31	lentille chromite
512 192,1	1 001 099,0	16	quartzite

Tableau 1- Valeurs de K dans l'ensemble de 3 sites

512 192,1	1 001 099,0	30	lentille chromite
512 192,0	1 001 099,0	24	lentille chromite
511 424,0	1 000 107,0	38	lentille chromite
511 424,0	1 000 107,0	47	lentille chromite
511 424 0	1 000 107 0	7.6	blocs alluviaux de chromitite à grains
511 424,0	1 000 107,0	/6	très fins, matrice talcschistes
511 424,0	1 000 107,0	44	
511 317,4	1 000 068,3	36	
511 317 /	1 000 068 3	93	blocs alluviaux de chromitite à grains
511 517,4	1 000 000,5	75	chromitite massive foliée à finement
511 317,4	1 000 068,3	86	litée à grains fins
511 317,4	1 000 068,3	53	lentille chromite
511 309,0	1 000 090,0	35	lentille chromite
511 309,0	1 000 090,0	34	lentille chromite
511 309.0	1 000 090,0	42	lentille chromite
,	,		chromitite massive foliée à finement
511 309,0	1 000 090,0	72	litée à grains fins
511 288,0	1 000 115,0	45	lentille chromite
511 000 0	1 000 115 0	71	chromitite massive foliée à finement
511 288,0	1 000 115,0	/1	chromitite massive foliée à finement
511 288,0	1 000 115,0	82	litée à grains fins
511 288,0	1 000 115,0	52	lentille chromite
511 288.0	1 000 115.0	34	lentille chromite
511 288.0	1 000 115.0	53	lentille chromite
512 141.0	994 603.0	159	amphibolite
512 141 0	994 603 0	432	orthogneiss
512 141 0	994 603 0	164	amphibolite
512 141 0	994 603 0	160	amphibolite
512 141,0	994 603 0	304	orthogneiss
512 141,0	994 603,0	102	amphibolite
512 141,0	994 603,0	122	orthopyroxénite
512 023,0	994 683,0	247	amphibolite
512 023,0	994 683,0	146	amphibolita
512 023,0	994 683,0	167	amphibolitasoanstone
512 023,0	994 683,0	164	
512 023,0	994 683,0	43	lentille chromite
512 023,0	994 683,0	134	soapstone
512 023,0	994 683,0	40	lentille chromite
511 510 0	008 460 0	70	blocs d'orthogneiss associés à des blocs
511 510,0	998 409,0	19	blocs d'orthogneiss associés à des blocs
511 510,0	998 469,0	88	d'ultrabasites et orthopyroxénites
			blocs d'orthogneiss associés à des blocs
511 510,0	998 469,0	94	d'ultrabasites et orthopyroxénites
511 208,0	998 471,0	31	Ientille chromite
511 208,0	998 471,0	38	lentille chromite
511 208,0	998 471,0	36	lentille chromite

511 208,0	998 456,0	58	lentille chromite
			chromitite massive foliée à finement
511 208,0	998 456,0	98	litée à grains fins
511 208,0	998 456,0	97	chromitite massive foliée à finement litée à grains fins
,			chromitite massive foliée à finement
511 208,0	998 456,0	101	litée à grains fins
			chromitite massive foliée, finement litée
511 208,0	998 456,0	117	à grains fins
			chromitite massive foliée à finement
511 208,0	998 456,0	110	litée à grains fins
511 193,0	998 450,0	59	lentille chromite
511 193,0	998 450,0	57	lentille chromite
511 193,0	998 450,0	46	lentille chromite

Une simple comparaison avec quelques valeurs de K (10^6 SI) rencontrées dans la littérature montre que les roches rencontrées dans les prospects de Bepilopilo présentent des plages de valeurs se cadrant bien aux quelques valeurs présentées dans le tableau suivant :

Type de roches	K (10 ⁶ SI)
1. Quartz	15,1
2. Gabbro	3.800 - 90.000
3. Granite (avec magnétite)	25 - 50.000
4. Hématite	420 - 10.000
5. Basalte	1.500 - 25.000
6. Magnétite	70.000 - 14.000.000
7. Pegmatite	3.000 - 75.000

Tableau 2- Valeurs de susceptibilités des roches

Soulignons que l'étude de la répartition des valeurs de K se rapporte, en réalité, à des différences ΔK et aident à mieux comprendre la distribution des différentes roches et, particulièrement, des indices de chromite d'une part mais également pour aider à l'interprétation quantitative des profils magnétiques étudiés dans les prospects en question, d'autre part.

6.4 - Synthèse des résultats

On peut conclure que les indices de chromite se trouvent pratiquement tous à la périphérie des

massifs basiques et ultrabasiques. Cette indication structurale permet de mieux diriger les travaux de sondages de la deuxième phase de cette étude qui est de rechercher d'autres indices de chromite sur les limites roches basiques-ultrabasiques et gneissico-migmatitiques.

Les formations de chromite sont toujours en relation avec les petits corps de roches ultrabasiques souvent altérées en soapstones-tremolitite. Les masses minéralisées sont enrobées dans une gangue de minéraux hydroxylés (talc, chlorite, serpentine, actinote, tremolite) avec quelques pyroxènes et olivine. Les teneurs des indices de Bepilopilo sont en général supérieures à 36% de Cr_2O_3 . Celles de la partie Nord-Ouest des secteurs étudiés sont plus faibles (inférieures à 30%). Le minerai à dominance de matrice en soapstones est facilement enrichissable. On peut éliminer par lavage à la batée la grande partie de la matrice. Suite aux résultats géophysiques, structuraux et géochimiques, les zones susceptibles à forte minéralisation sont : Est Ankandrinosy et Est Antsahalavakely.

CONCLUSION GENERALE

Nous pouvons dire, au terme de cette étude que les objectifs fixés sont quasiment remplis. Les documents géophysiques indispensables à toute interprétation géologique ont été établis selon les règles de l'art. Si, et c'est tout-à fait normal, quelques imperfections se sont glissées, notamment au niveau de l'allure des cartes présentés, il ne faut pas oublier que les mesures ont été limitées uniquement aux zones d'intérêt délimitées par les observations géophysiques mais aussi par les conditions topographiques qui ne nous ont pas toujours permis d'agrandir nos surfaces de mesures et de diminuer par là les effets de bord. De bien meilleures précisions sur la forme et la dénomination des modèles géologiques auraient été obtenus si nous avions pu faire beaucoup plus de mesures de susceptibilité des roches observées dans cette région.

Les cartes magnétiques présentées sont en bonne cohérence avec l'allure générale du CMT aéroporté. Les directions structurales majeures NW-SE, N-S, ... sont encore observées dans les séries de cartes transformées calculées.

Les indices de chromite apparaissent, pratiquement tous, à la limite des formations UB, si ce n'est au toit, c'est au mur.

Enfin, on peut conclure que les résultats de cette étude pourront servir de guides de prospection pour d'autres indices de chromite qui ne sont pas encore apparus dans les *lavaka*.ou affleurant sur les crêtes par suite de l'effet de l'érosion.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDRIAMBAHOAKA Zedidia (1999), Automatisation de l'observatoire magnétique d'Antananarivo

BERTUCAT M., (1966), Etude géologique et prospection au 1/100000 des feuilles tsiandrarafa (O.42), Ambatobe (Q.42), Londokomanana (O.43), Andriamena (P.43), Ampandrana (Q.43).Rapp.BRGM TAN 66 A 30, Tananarive.

FOISSY B. et VITALI G. (1972), PGRA Nord Andriamena. Campagne 1971.Partie Sud-Ouest du PGRA.Rapp.BRGM 72 TAN 5, Tananarive.

FOISSY B. (1973), PGRA Nord Andriamena. Campagne 1972.Prospection générale et étude des indices de chromite .Rapp.BRGM 73 TAN 3, Tananarive.

FOISSY B. et LARRIBE De (1974), PGRA Nord Andriamena. Campagne 1973.Prospection générale et étude des indices de chromite .Rapp.BRGM 74 TAN 1, Tananarive.

FOISSY B. (1974), PGRA Nord Andriamena. Campagne 1974.Prospection et étude des indices de chromite .Rapp.BRGM 75 TAN 1, Tananarive.

GIRAUD P., Les roches basiques de la région d'Andriamena à Madagascar, F27.

GONCALVES P., (2002), Pétrologie et Géochronologie des granulites de Ultra-hautes températures de l'unité basique d'Andriamena (Centre-Nord Madagascar), Thèse, Université Blaise Pascal, p.319.

GONCALVES P., **NICOLLET C.**, **LARDEAUX J.M.**, (2001), Finite strain pattern in Andriamena unit (north-central Madagascar): evidence for late Neoproterozoic-Cambrian thrusting during continental convergence, Precambrian research 123, pp. 135-157.

GUERANGE B. (1975), Mission Nord Andriamena 1975.Etude structurale préliminaire.Compte rendu sommaire de mission.Rapp.BRGM 75 TAN3, Tananarive.

JOURDE G. (1967), Etude géologique et prospection au 1/100000 des feuilles Maroadabo (O.41), Tsaratanana (P.41), Tampokesa de Beveromay (Q.41), Sakoamadinika (R.42), Amparafaravola (R.43), Tsaramasoandro (O.44), Manakana (P.44), Rapp.BRGM TAN 67 A 10, Tananarive.

KRAOMA, Rapports annuels.Rapports internes. Arch.KRAOMA.

LARRIBE D. (1975), PGRA Nord Andriamena. Mission 1975.Prospection et étude des indices de chromite .Rapp.BRGM 75 TAN 4, Tananarive.

MOELLER P. and DANIELSON A. (1988), Significance of Eu-anomalies in banded

Iron- formation Géol. Soc. Am., Abstr. Progr., 20:381 pages.

RAFALIMANANA D. (Juillet -Août -Septembre 1974), Rapports mensuels. Service géologique de Madagascar

RASOLOMANANA E.H., (1999), Etude du potentiel en minéralisation chromifère du complexe basique-ultrabasique d'Andriamena par prospections gravimétrique et magnétique, Thèse, Univ Antananarivo/Univ Paris 6/ IRD Bondy France, p.170

SOGEREM (1978) chromite d' Andriamena.Etude des indices (3t.).

UGINE (1963), La chromite d'Andriamena. Arch.KRAOMA.

•

Annexe 1 : Carte de gîtes de Chromite de Madagascar

Annexe 2 : Instruments

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. Ici, nous nous occuperons principalement des magnétomètres utilisés sur le terrain pour la prospection minérale, la hydrogéologie, le génie civil et l'archéologie. Les Susceptibilimètres sont utilisés pour déterminer les caractéristiques magnétiques des roches sur place, ainsi que celles des échantillons de roche et des carottes de forage.

Magnétomètres à protons

Le détecteur du magnétomètre à protons consiste en un conteneur de liquide riche en protons, généralement le kérosène (la paraffine), autour duquel une bobine de fil électrique est enroulée. Les protons agissent comme des petits aimants rotatifs. Les axes de rotation oscillent autour de la direction du champ magnétique de la terre dans une façon qui ressemble à la façon dont un gyroscope oscille autour de la direction du champ gravimétrique de la terre. Dans des circonstances normales les directions des axes de rotation des protons nombreux sont orientées de façon aléatoire et n'auront aucun effet sur la bobine. Un courant est passé dans la bobine, ce qui crée un fort champ magnétique qui fait aligner tous les axes de rotation dans la direction du champ terrestre et induiront ensemble un voltage oscillant dans la bobine. La fréquence de cette oscillation sera égale au taux d'oscillation et en proportion directe au champ magnétique terrestre.

La console électronique du magnétomètre fournit le courant pour la bobine en forme d'une impulsion et dispose, en même temps, de l'instrumentation électronique pour mesurer et enregistrer le champ magnétique de la terre directement en nanoteslas sur un écran numérique. La bobine (détecteur) est généralement séparée de la console et reliée avec elle par câble, ce qui assure qu'elle est éloignée d'une influence magnétique quelconque en provenance de la console et de l'opérateur. Le détecteur peut être soit porté dans un sac à dos, soit monté au bout d'une tringle d'une longueur de 2 m. Aucun nivellement n'est requis et le détecteur n'est orienté que d'une façon approximative dans une direction stipulée.

Les susceptibilimètres

Les susceptibilimètres servent à mesurer la susceptibilité magnétique d'échantillons de matériaux. Le susceptibilimètre utilisé par l'IOGA est le MS2 Bartington. Il comporte trois types de sonde caractérisés chacun par sa fréquence d'opération:

-la sonde MS2F destinée pour la mesure " in situ " et spécialement dans un terrain qui ne présente pas de surface dégagée. Sensible dans un très faible volume, elle met en évidence de faibles variations latérales et ne doit pas être utilisée sur un terrain meuble. Elle ne fait que 0,075 kg et possède une forme cylindrique de longueur axiale 85 mm et une section de 15 mm. Elle opère à la fréquence 0,580 kHz

-la sonde MS2D destinée également pour la mesure " in situ " surtout lorsque le terrain présente une surface bien dégagée. La mesure obtenue intègre un plus grand volume de matériau et peut être moins bruitée que la précédente. De forme toroïdale, de hauteur axiale 100 mm et de diamètre 185 mm, elle pèse seulement 0,4 kg. La sonde MS2D est opérationnelle à la fréquence 0,958 kHz -la sonde MS2B est destinée spécialement pour les mesures en laboratoire de la susceptibilité magnétique d'échantillons prélevés. Elle est constituée d'un boîtier de forme parallélepipédique110 x 200 x 110 mm muni d'une cavité cylindrique de 36 mm de diamètre. L'ensemble pèse à.8 kg. On peut opérer sur deux fréquences à l'aide d'un inverseur de commutation HF/BF: la haute fréquence (HF) 4,65 kHz correspond à la partie fine et la basse fréquence (BF) 0.465 kHz aux grains grossiers.

Quelle que soit la sonde utilisée, la valeur obtenue correspond à la susceptibilité volumétrique K

Le susceptibilimètres MS2 Bartington est utilisé " in situ ", uniquement pour une investigation latérale. Utilisé en profilage, il permet de connaître la distribution en surface des susceptibilités magnétiques. Le profilage vertical " in situ " est seulement possible lorsque le terrain présente une coupe franche. Sinon on doit procéder à un forage pour pouvoir prélever les échantillons qui feront l'objet des mesures en laboratoire.

Suceptibilimètre MS2 Bartington

TABLE DES MATIERES

PARTIE I : CONDITIONS GEOGRAPHIQUES ET GEOLOGIQUES – TRAVAUX ANTERIEURS

CHAP	TRE 1 : Conditions géographiques et géologiques	3
1.1-	Le district chromifère d'Andriamena	3
1.2-	Données particulières au secteur prospecté	7
CHAP	TRE 2 : Travaux antérieurs	8
2.1-H	istorique	8
2 2- I	ustification du choix de la méthode magnétique	8

PARTIE II : BASES METHODOLOGIQUES

CHAPI	ITRE 3 : Théorie du magnétisme	11
3.1- N	Notion de magnétisme	11
3.11	1- La loi de Coulomb	11
3.12	2- Moment magnétique	11
3.13	3- Intensité d'aimantation	12
3.2-	Le Champ magnétique terrestre	13
3.3-	Les éléments du champ magnétique	15
3.4-	Propriétés magnétiques	16
CHAPI	ITRE 4 : La prospection magnétique	18
4.1- C	Généralités	18
4.2- S	Spécificités de la méthode	18
4.3- A	Acquisition des données	19
4.4- U	Jtilisation de la méthode	20
4.5- D	Définition de l'anomalie	21
CHAPI	ITRE 5 : Les outils de traitements spatial et fréquentiel	23
5.1- F	Filtres du domaine spectral	23
5.2-	Champ magnétique total	23
5.3- L	a réduction au pôle	26

5.3-	Les dérivées	26
5.4-	Le signal analytique	27
5.5-	Déconvolution d'Euler	27
5.6-	Modèles géophysiques et interprétation géologique	28

PARTIE III : INTERPRETATION DES CARTES ET RESULTATS

CHAPITRE 6 : Mise en oeuvre de la méthode magnétique	
6.1- Moyens et travaux	
6.2- Mesures de magnétisme au sol	
6.21- Site 1- Ambararata Ankandrinosy	
6.22- Site 2- Bemenavony Nord	
6.23- Site 3 Bemenavony Sud	46
6.3- Mesures de susceptibilité magnétique	
6.4 - Synthèse des résultats	
CONCLUSION GENERALE	

TITRE : Prospection magnétique des prospects chromifères de Bepilopilo, zone nord Andriamena

RESUME :

Le cadre d'étude se trouve dans le District de Tsaratanana, dans les prospects chromifères de Bepilopilo. Ces gisements ont été étudiés dans les années 1980 par le BRGM mais beaucoup de points n'ont pas été étudiés ce qui a amené à y conduire des études complémentaires de géologie structurale, de prélèvements d'échantillons de chromite, de géophysique mettant en oeuvre le magnétisme au sol. Les résultats obtenus sont relativement intéressants et des zones favorables à l'implantation de sondages ont été identifiées. Il reste maintenant à passer à l'exploration, dernière étape avant l'exploitation.

Mots-clés : Bepilopilo, prospects chromifères, magnétisme au sol, champ magnétique total, réduction au pôle, signal analytique

ABSTRACT:

The framework of study is in the District of Tsaratanana, in the chromiferous prospective of Bepilopilo. These deposits were studied in 1980 by the BRGM but many sites were not studied that's why these complementary studies were completed as structural geology, samplings of chromite, geophysics implementing magnetism on the ground. The obtained results are relatively interesting and zones favourable to the establishment of surveys were identified. It now remains to pass to exploration, last stage before the exploitation.

Keywords: Bepilopilo, chromiferous prospective, magnetism on the ground, total magnetic field, reduction with the pole, analytical signal

Encadreur Pr. RASOLOMANANA Eddy Harilala Impétrant : RAMILIJAONA Rija Malala Tél : 0324909876 Email : rijamalala@gmail.com Lot 62 Ankadivory Talatamaty