

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOTATION

LISTE DES CARTES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

Chapitre I : Société d'accueil et Minerai de Fer

Chapitre II : Zone d'étude : le gisement de Fer de Tratramarina

Chapitre III : Résumé des résultats des travaux d'exploitation

Chapitre IV : Essai de modélisation par Rockworks 15

Chapitre V : Quelques rappels théorique

Chapitre VI : Modèle proposé et choix de méthode d'exploitation

Chapitre VII : Proposition de méthode et technique d'exploitation du gisement de fer de Tratramarina selon les instructions de l'UEM

Chapitre VIII : Méthode de traitement

CONCLUSION GENERALE

Références bibliographiques

Références webographiques

Annexe I

Annexe II

LISTE DES ABREVIATIONS

Unités :

% : pourcent

μ : micron

μm : micromètre

$^{\circ}\text{C}$: degré Celsius

$\Omega.\text{cm}$: ohm centimètre

$\leq$: inférieur ou égal à

$\geq$: supérieur ou égal à

$>$: strictement supérieur à

$\approx$: sensiblement égal à

– : moins

g : gramme

Ha: hectare

Kg: kilogramme

Km: kilomètre

Km²: kilomètre carré

m : mètre

m³ : mètre cube

m³/s : mètre cube par seconde

mm : millimètre

Mt : million de tonnes

nT/m : nano tesla par mètre

Abréviations :

A : masse atomique

Ar : arsénique

BD 500 : Base de données 1/500000

BGS : British Geological Survey

CNUCED : Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement

Cos: cosinus

DTT: Davis Tube Test

Fe: fer

FTM: Foiben-Taotsaritanin'I Madagasikara

GPS: Global Positioning System

HQT: Quartzite à hematite

ID: Identification

IPRL: Indian Pacific Resources Limited

Mn: manganèse

MQG: Quartzite à magnétite en intrusion dans les gneiss

MQS: Quartzite à magnétite siliceux

MQT: Quartzite à magnétite

NGM: Northern Gold Mining

ONE: Office National de l'Environnement

PGRM : Projets Gouvernementaux pour les Ressources Minières

PR : Permis de recherche

RN : Route nationale

RIP : Route d'intérêt Provincial

SARL : Société à responsabilités limitées

SINBAD : Société et marché de l'Information et des Bases de Données

Si: silicium

UEM : Universal Exploration Madagascar

UTM : Universal Transverse Mercator

WGS : World Geodetic System

XSf : spectrométrie par fluorescence X

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Organigramme de l'UEM.....	2
Figure 02 : Tableau périodique des éléments.....	4
Figure 03 : Pays producteur et exportateur de minerai de fer.....	7
Figure 04 : Interface du logiciel Rockworks 15.....	41
Figure 05 : Interface d'entrée des données de puits.....	42
Figure 06 : Etapes de réalisation de la modélisation.....	42
Figure 07 : Réalisation 3D des 7 points de Forage.....	43
Figure 08 : Modèle 3D des couches minéralisées.....	44
Figure 09 : Méthode par tranches simultanées.....	46
Figure 10 : Gisement en amas.....	46
Figure 11 : Gisement en filon.....	47
Figure 12 : Méthode par fosses emboîtées.....	47
Figure 13 : Méthode par tranches horizontales successives en pleine largeur.....	48
Figure 14 : Méthode par tranches horizontales successives en pleine largeur pour une exploitation en flanc de coteau.....	48
Figure 15 : Profil A-B.....	51
Figure 16 : Profil C-D.....	52
Figure 17 : Profil J-K.....	52
Figure 18 : Profil E-F.....	52
Figure 19 : Représentation de la méthode par fosses emboîtées avec un graphe de tonnage.....	53
Figure 20 : Paramètres géométriques d'un plan de tir.....	53
Figure 21 : Plan de foration selon Pascal Montagneux.....	56
Figure 22 : Coupe géologique d'Ambatovy au niveau de sondage.....	69
Figure 23 : Etapes de concassage et broyage.....	72

LISTE DES CARTES

Carte 01 : Carte de Localisation des permis de l'UEM	3
Carte 02 : Carte des Gites de Fer à Madagascar.....	10
Carte 03 : Carte de Localisation de la commune de Betsizaraina.....	13
Carte 04 : Carte de Localisation de la zone d'étude.....	15
Carte 05 : Carte topographique de la zone d'étude.....	16
Carte 06: Appartenance de la zone d'étude selon Collins & Windley (2003).....	20
Carte 07: Champ magnétique total	23
Carte 08: Champ magnétique total réduit au pôle	24
Carte 09 : Ancienne carte géologique régionale.....	26
Carte 10 : Nouvelle carte géologique de la zone d'étude.....	27
Carte 11 : Carte géologique simplifiée avec les points de forage.....	28
Carte 12 : Carte d'échantillonnage.....	29
Carte 13 : Carte d'indication des bandes considérées pour l'estimation de réserve.....	39
Carte 14 : Carte géologique simplifiée montrant les coupes.....	51
Carte 15 : Carte de localisation des zones à étudier proposées par l'UEM.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Résumé des travaux antérieurs.....	22
Tableau 02 : Résumé des teneurs en fer des roches minéralisées.....	32
Tableau 03 : Résumé des résultats et interprétations des microphotographies des échantillons.....	36
Tableau 04 : Type de minerai.....	37
Tableau 05 : Résumé des résultats d'essai d'enrichissement.....	38
Tableau 06 : Résumé de l'estimation de réserve.....	40
Tableau 07 : Tableau du coefficient de dureté des roches.....	54

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 01 : Echantillonnage sur terrain.....	30
Photo 02 : Mise en sac des échantillons.....	30
Photo 03 : Microphotographie (x5) en lumière naturelle de l'échantillon n° 2489.....	33
Photo 04 : Microphotographie (x5) en lumière polarisante de l'échantillon n° 2489.....	33
Photo 05 : Microphotographie (x5) en lumière naturelle de l'échantillon n° 2490.....	34
Photo 06 : Microphotographie (x5) en lumière polarisante de l'échantillon n° 2490.....	34
Photo 07 : Microphotographie (x5) en lumière naturelle de l'échantillon n° 2863.....	35
Photo 08 : Microphotographie (x5) en lumière polarisante de l'échantillon n° 2863.....	35
Photo 09 : Mineur au marteau piqueur.....	49
Photo 10 : Carottes de forage du DD11TROO4 de 0 à 4 m de profondeur.....	59
Photo 11 : Carottes de forage du DD11TROO4 entre 11 et 15 m de profondeur.....	59
Photo 12 : Pelle mécanique.....	60
Photo 13 : Eboulis d'Ambodilalona.....	61
Photo 14 : Excavateur chargeur.....	62
Photo 15 : Brise roche.....	63
Photo 16 : Bloc de quartzite à magnétite.....	64
Photo 17 : Pic du bloc de quartzite à magnétite.....	65

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Tableaux des calculs d'estimation de réserves.....	77
ANNEXE II : Types de concasseurs et broyeurs.....	80

INTRODUCTION

Depuis des décennies, le minerai de Fer est l'une des matières premières les plus convoitées sur le marché mondial des métaux. Presque tous les domaines comme le bâtiment, les travaux publics, la construction automobile et encore d'autres domaines d'activité ne peuvent s'en passer [20].

Déjà pendant la période coloniale, les recherches de minerais de Fer ne cessaient de progresser sur le sol Malagasy. Des entreprises nationales et multinationales se multiplient pour réserver ou faire des négociations pour l'octroi de permis miniers dans la recherche de minerais ferrifère dans notre pays surtout depuis les années 2000. Vu, la potentialité de Madagascar en Fer, beaucoup de grands projets d'exploitation de minerais de Fer ont vu le jour comme le projet Soalala, le projet Bekisopa et le projet Tratramarina qui est l'objet de ce présent mémoire.

La société UEM commençait à explorer la région Est de Madagascar depuis 2009. Les étapes d'exploration commencent à avancer et avoir des résultats plus concrets concernant cette région, plus précisément la minéralisation de Tratramarina Mahanoro. D'où la naissance de ce mémoire qui s'intitule : « **ETUDE DE L'EXPLOITATION DU GISEMENT DE FER DE TRATRAMARINA-MAHANORO** »

L'objectif de cette étude est de connaître les caractéristiques et la forme du gisement afin de choisir la méthode d'exploitation adéquate.

Ce mémoire est divisé en trois parties :

- La première partie traitera la généralité sur le fer et minerai de fer suivi de la présentation générale de la zone d'étude
- La seconde concernera les résultats des investigations déjà faites par la société UEM
- La dernière portera sur les méthodes d'exploitation, d'abattage et de traitement proposées

Première Partie : GENERALITES

Chapitre I : Société d'accueil et Minerais de Fer

1. Présentation de la société Universal Exploration Madagascar

La société privée Universal Exploration Madagascar (UEM) est de type SARL. Ses actions appartiennent à 100% à une compagnie australienne Indian Pacific Resources Limited (IPRL). Sise à Ivandry-Antananarivo, elle s'est lancée dans l'exploration du fer et de tous ceux qui s'y affèrent dans la région de Mahanoro. Dotée d'un permis de recherche (PR), elle est l'une des compagnies minières autorisées à explorer le sol malagasy, bénéficiant ainsi de cinq périmètres miniers à prospector dans la partie Est de Madagascar. Selon la Charte de l'environnement signée à Genève et face aux exigences de la nation Malagasy au sujet des problèmes que l'exploration et/ou exploitation peuvent engendrer, elle s'engage à respecter les valeurs traditionnelles Malagasy et les revendications de l'Office Nationale pour l'Environnement (ONE), tout en assurant une meilleure convivialité avec les autochtones et les milieux naturels qui les entourent. La structure hiérarchique au sein de la société sera représentée sur l'organigramme ci-dessous :

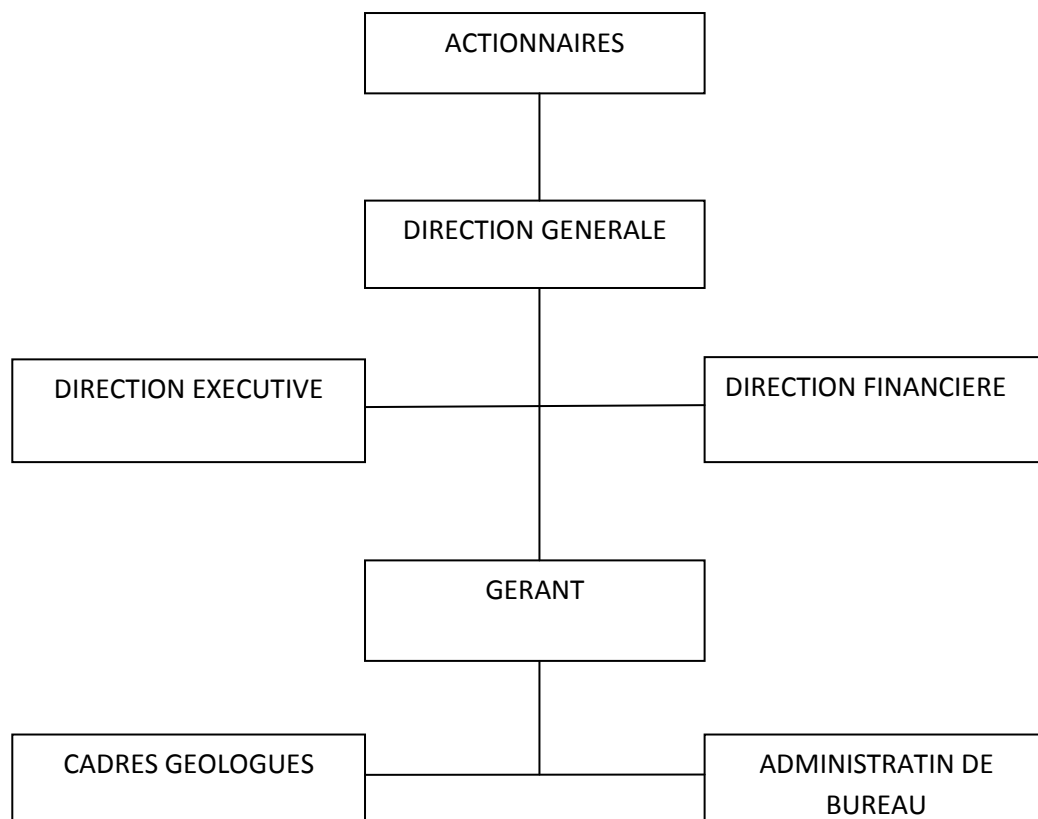
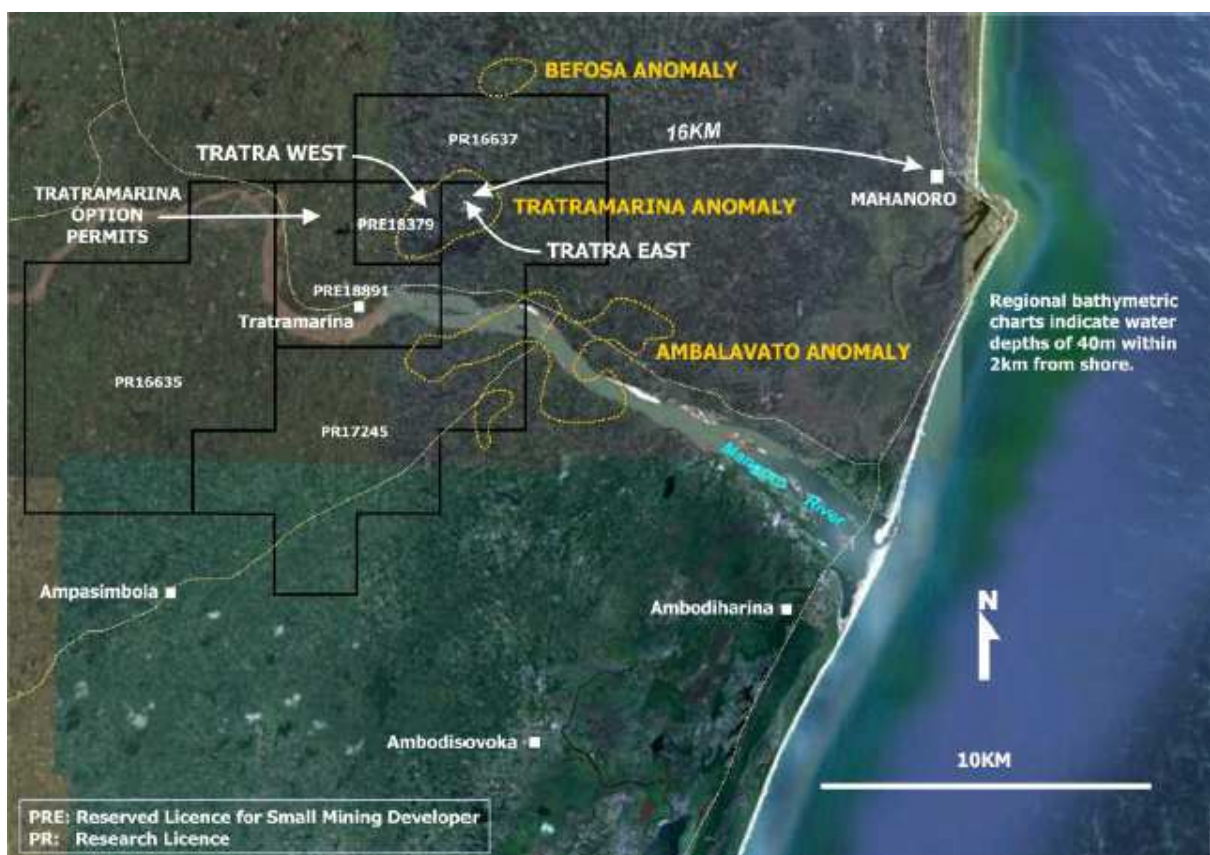


Figure 01 : Organigramme de l'UEM

Source : UEM

La société UEM se focalise aux études de minéralisation en fer dans la région de Mahanoro, concentre ses explorations dans quatre différents endroits .Elle est alors propriétaire des quatre périmètres de recherche à Madagascar, destinés exclusivement à la mise en évidence d'une concentration de fer. Il s'agit alors : du projet Ambalavato, du projet Befosa, du projet Andovolalina et du projet Tratramarina faisant l'objet de cette présente étude.

Dans ces projets, elle prospecte vingt six carrés miniers sur une superficie de 162,5 km² sur cinq périmètres miniers.



Carte 01 : Carte de localisation des permis de l'UEM

Source : UEM (2012)

2. Généralités sur le fer

2.1 Elément Fer

Le fer est un élément métallique blanc argenté, à reflets gris, de symbole Fe et de numéro atomique 26. A l'état ordinaire, c'est un solide ferromagnétique. Sa masse atomique est environ 55,847 et sa configuration électronique est $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$.

Le fer appartient au groupe VIII du tableau périodique de Mendeleïev et fait partie des éléments de transition. Il est situé dans la quatrième période du tableau périodique.

Periodic Table of the Elements

Legend:

- Solids
- Liquids
- Gases
- Artificially Prepared

Atomic Number: 26

Symbol: Fe

Name: Iron

Atomic Weight: 55.847

Figure 02 : Tableau périodique des éléments [21]

2.2 Propriétés physico-chimiques du Fer

Le fer est un métal d'une grande réactivité chimique : il s'associe facilement aux halogènes, au Soufre, au Phosphore, au Carbone et au Silicium. Il est soluble dans la plupart des acides dilués et brûle dans l'oxygène pour former un oxyde appelé magnétite.

Exposé à l'air libre en présence d'humidité, le fer se corrode en formant de la rouille de couleur orangée dont la réaction d'oxydation peut se propager jusqu'au cœur du métal. En effet, s'il n'est pas entretenu, le fer se dégrade progressivement jusqu'à ce que plus rien ne reste de son état solide naturel.

En présence d'acide nitrique concentré, il forme une couche d'oxyde qui le rend passif et l'empêche de réagir avec des acides ou toutes autres substances. Cette couche d'oxyde protectrice peut être facilement enlevée en frottant le métal ou par tout autre moyen mécanique.

En solution, le fer présente deux valences principales :

- Fe^{2+} (le fer ferreux) qui présente une faible couleur verte ;

- Fe^{3+} (le fer ferrique) qui présente une couleur rouille caractéristique. Fe^{3+} peut être réduit par du cuivre métallique, par exemple, réaction à l'origine du procédé de gravure des circuits imprimés par le perchlorure de fer, FeCl_3 .

Le fer pur a une dureté comprise entre 4 et 5 dans l'échelle de Mohs.

Il est mou, malléable et ductile. Il est aussi facilement magnétisable aux températures ordinaires, mais il l'est difficilement lorsqu'il est chauffé. C'est un métal magnétique avec un point de Curie de 770°C , au-delà de ce point ses propriétés magnétiques vont disparaître.

Le fer pur fond vers 1538°C , et il bout vers 2750°C . Sa densité est de 7,86. Sa résistivité électrique est de $9,9.10^{-6} \Omega\cdot\text{cm}$ à 20°C . Comme tous les autres métaux, le fer est un bon conducteur à la fois électrique et thermique.

3. Minerais de Fer

Le minerai de fer est une roche contenant du fer, généralement sous la forme d'oxydes, comme l'hématite. Il peut avoir une teneur en fer variable selon le minéral ferrique [19].

La genèse des formations de fer doit être replacée dans son contexte au début du Protérozoïque[19]. Les formations de fer apparaissent avant les premiers calcaires, alors que l'océan est en voie d'oxydation du fait du fonctionnement de bactéries photosynthétiques. Plusieurs modèles génétiques ont été proposés. Les modèles sédimentaires font appel soit à des courants de fond qui remonteraient vers des plates-formes continentales étendues et très stables des eaux anoxiques et acides riches en Si, Fe et Mn, soit à des apports fluviaux (Dimroth, 1977). Les modèles hydrothermaux suggèrent un enrichissement en fer et silice liés à des eaux hydrothermales dans des bassins anoxiques profonds. Le mélange de ces eaux avec les eaux de surface lors de décharge hydrothermale produirait un dépôt, avec séparation gravitationnelle des éléments. L'état actuel des minéralisations suggère que ces premiers dépôts ont été enfouis, transformés en un assemblage de martite-goethite, puis d'hématite en microplaques. Enfin, un modèle synorogénique a également été récemment proposé (Powell et al, 1999).

Par rapport à leur teneur en fer, les minerais sont classés en :

- minerais pauvres : $\text{Fe} < 30 \%$
- minerais moyens : $\text{Fe} = 30 \%$ à 50%
- minerais riches : $\text{Fe} > 50 \%$

Les principaux minerais de fer sont les sulfures, les carbonates et les oxydes.

3.1 Utilisation du minerai de fer

Le minerai de fer est une matière première essentielle au développement de nos économies modernes. C'est le métal et le matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne. C'est le principal élément entrant dans la composition de l'acier, l'une des plus nobles inventions. Le fer est le métal le plus utile qui soit. Il est utilisé sous diverses formes, dans une multitude d'applications. En effet, environ 98% de sa production totale sont utilisés pour produire de l'acier dont ce dernier est un composant non seulement nécessaire mais surtout indispensable au développement industriel d'une économie. Il a de nombreux usages possibles, et est principalement utilisé dans l'industrie de la construction automobile, aéronautique, navale ou dans le bâtiment.

Bien que d'autres usages du fer et du minerai de fer ne représentent qu'une très faible part de la consommation finale, ils sont révélateurs de l'ingéniosité et de la multitude d'applications que l'on peut créer autour des ressources naturelles de la planète. Le fer métallique et ses oxydes sont utilisés depuis l'avancée technologique pour fixer des informations analogiques ou numériques sur des supports appropriés (bandes magnétiques, cassettes audio et vidéo, disquettes).

3.2 Offre et demande de fer sur le marché international

L'explosion de la demande chinoise en acier et le resserrement de l'offre en minerai de fer qui en a résulté ont bouleversé ce système, avec l'émergence et le développement d'un marché au début des années 2000. Les sidérurgistes chinois, dont la production d'acier a progressé en moyenne de 23 % de 2000 à 2003, rencontraient des difficultés d'approvisionnement sur le marché conventionnel dominé par des clients non-chinois. Ils se sont alors tournés vers le minerai indien, marquant ainsi le début d'un parallèle plus flexible et transparent. Les exportations de minerai en provenance des états asiatiques de Goa, du Karnataka et de l'Orissa ont bondi, passant de 17 Mt en 2003 à 119 Mt en 2009 ;

elles représentaient environ 80 % des transactions sur le marché du minerai de fer en 2009. Suite à la chute de la production et des exportations indiennes en 2010, les mineurs australiens et brésiliens en profitèrent pour partager une part plus importante de ce marché [13].

3.3 Pays producteurs et exportateurs de minerais de fer

La production mondiale de minerai de fer a atteint 3320 millions de tonnes en 2015, soit une légère diminution par rapport à 2014 (3420 millions de tonnes).

Le fer est le quatrième élément le plus abondant dans la croûte terrestre [20]. Concernant l'extraction, la Chine est le leader du groupe [15].

L'Australie est le plus grand pays exportateur de minerai de fer : en 2009, elle a exporté 363 millions de tonnes, soit une augmentation de 17 %. Les exportations du Brésil, avec 266 millions de tonnes, ont perdu 3 %. L'Inde, avec 116 millions de tonnes, a pris la troisième place. On estime que le commerce maritime du minerai de fer a augmenté de 11 % en 2009, avec 890 millions de tonnes. La Chine est de loin le plus grand importateur de minerai de fer puisqu'elle représente les deux tiers des importations mondiales. Malgré la récession, sa consommation de minerai a progressé de 41 % en 2009, pour atteindre 628 millions de tonnes. [15]

Le diagramme (Cf figure 03) montre les premiers pays producteurs et exportateurs de minerais de fer.

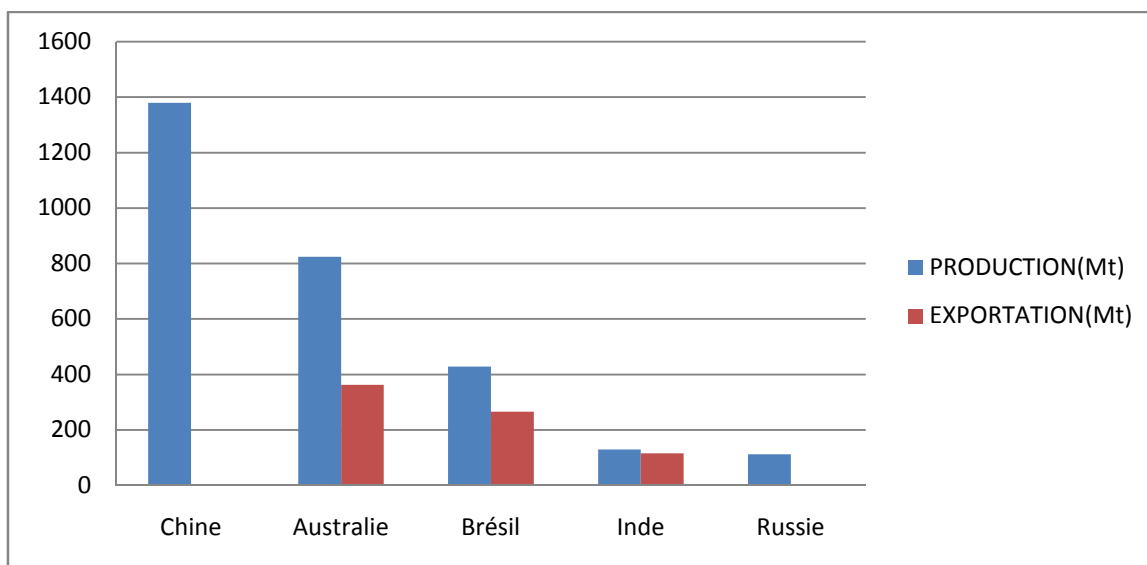


Figure 03 : Pays producteur et exportateur de minerai de fer

Source : USGS (2009)

3.4 Commerce du minerai de fer

Selon le rapport du Fonds d'affectation spéciale de la CNUCED ,la production mondiale de minerai de fer avait baissé de 6,2 % en 2009 pour passer à 1 milliard 588 millions de tonnes, d'après le rapport. La production a diminué dans la plupart des pays, à quelques exceptions notables près, comme l'Australie et l'Afrique du Sud.

Malgré la récession mondiale, le commerce du minerai de fer avait atteint un niveau record de 955 millions de tonnes en 2009, soit une hausse de 7,4 % par rapport à l'année précédente L'augmentation était due à des importations chinoises plus élevées, résultant d'une demande croissante conjuguée à une baisse de la production intérieure chinoise.

La production de minerai de fer a baissé pour la première fois en sept ans mais le commerce de cette matière première, stimulé par la demande chinoise, n'en a pas moins augmenté l'année précédente, d'après le rapport intitulé The Iron Ore Market 2009-2011 [13]

Les prix du minerai de fer se sont effondrés en 2015 à l'instar de ceux de la plupart des matières premières. Cependant, si ces derniers réagissent essentiellement à la stagnation de la croissance économique chinoise, un autre facteur est responsable du déclin de celui du minerai de fer, l'inondation du marché par du minerai australien et brésilien à bas prix.

2.3Minerais de fer à Madagascar

Depuis la période coloniale, des études étaient déjà faites dans le domaine de recherche de minerais de fer. Malgré la baisse du prix du minerai de fer sur le marché mondial, les recherches dans ce domaine continuent mais jusqu'à des étapes peu coûteuses.

Désormais, Madagascar abrite plusieurs gîtes de minerais de fer mais on ne va citer que les plus importants.

On peut en citer :

➤ Gîte d'Ambohipaky

Situé au Sud de Mahajanga dans la région du cap St André mieux connu sous le nom de Soalala. La minéralisation se présente sous forme de quartzite magnétite.

Depuis 1969 plusieurs travaux d'exploration sont faits et ont donné une estimation de réserve de 134 millions de tonnes à 35% Fe. [7]

➤ Gîte de Bekisopa

Situé au sud de Fianarantsoa, le gîte de Bekisopa se présente sous forme de magnétite. Après sa découverte en 1933, des études d'exploration sont faites à partir de 1955. L'estimation de réserve est de 30 millions de tonnes à 35% Fe. [7]

➤ Gîte d'Ambohimahavony-Ampiadiamby

Situé à 40km Sud-Est d'Ambatolampy, la minéralisation d'Ambohimahavony-Ampiadiamby se présente sous forme de quartzite à magnétite. Déjà, entre les années 1860 et 1895 cette région était déjà exploitée pour l'usage local par des forgerons de la région. Mais les recherches sérieuses ont commencé en 1968. La réserve estimée est de 14 millions de tonnes à 45% Fe. [7]

➤ Gîte de Fasintsara

Le gîte de Fasintsara correspond à un banc de quartzite à magnétite situé sur la côte Est de Madagascar près de la ville d'Ambositra. Mais une grande partie de la minéralisation reste inexploitable à cause de la situation géographique, quant à une petite partie estimée à 10 millions de tonnes avec une teneur en fer de 36% en Fe reste favorable à l'exploitation. [7]

➤ Gîte de Fenoarivo

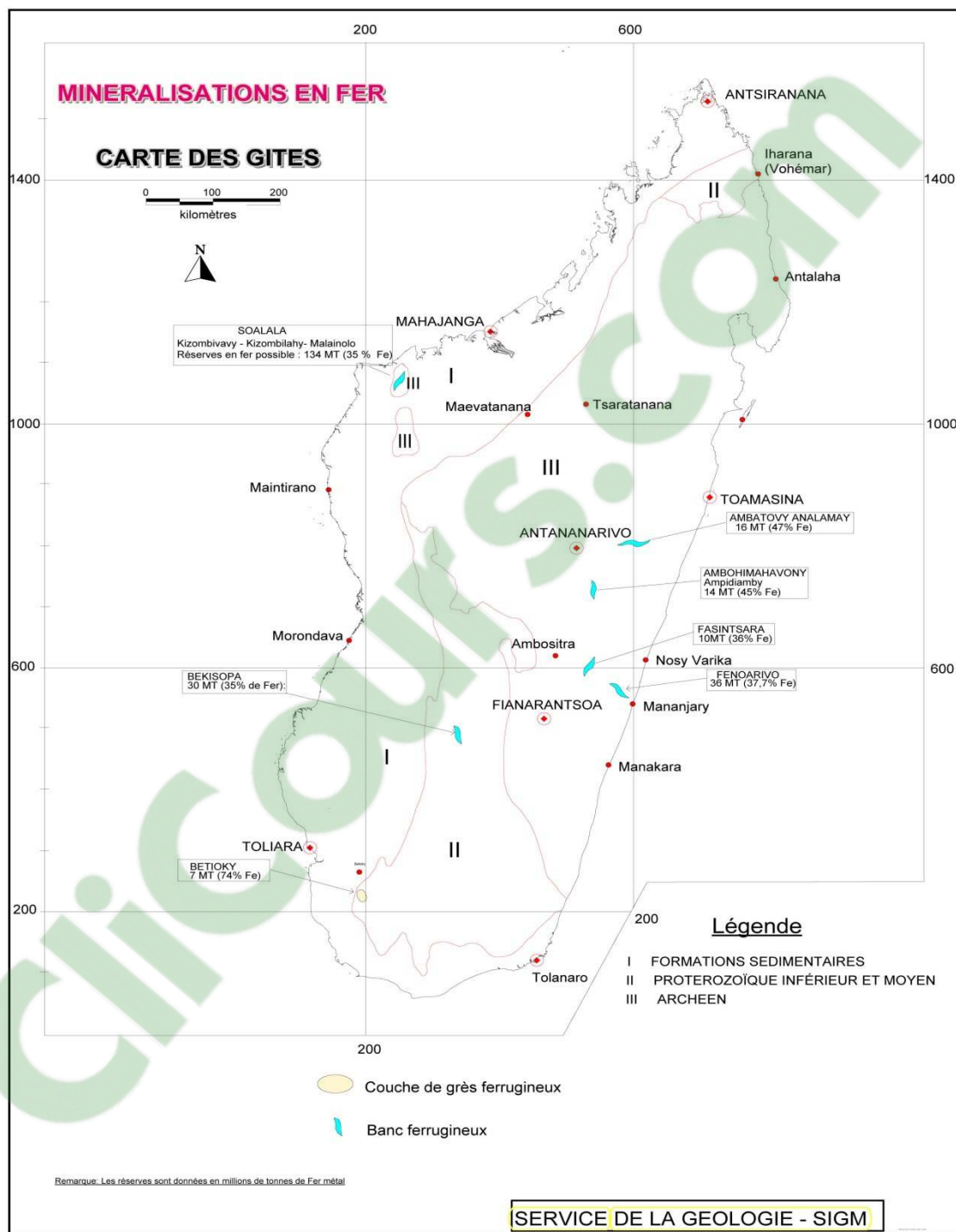
Situé dans la ville de Fenoarivo au Nord Ouest de Mananjary, la minéralisation se présente sous forme de magnétite, d'hématite et d'hydroxyde de fer. Au début des années 80 des études sont entreprises à partir des indices superficiels mais notamment la teneur diminue avec la profondeur. La réserve est estimée à 36 millions de tonnes à 37,7% Fe. [7]

➤ Gîte d'Ambatovy-Analamay

Situé à 15 km de la ville de Moramanga, les cuirasses ferrugineuses recouvrent la latérite nickélifère exploitée maintenant par la société Ambatovy. La réserve est estimée à 16 millions de tonnes à 47% Fe. [7]

➤ Gîte de Betioky

Les grès ferrugineux du Sud de Betioky se situent à 85km au sud-est de Toliary et à 40km du bassin charbonnier de Sakoa. Il s'agit d'un minerai évalué à 74% en Fer. La réserve est estimée à 7 millions de tonnes. [7]



Carte 02 : Carte des gîtes de fer de Madagascar

Source : PGRM (2008)

Chapitre II : Zone d'étude : Le gisement de Fer de Tratramarina

La première étude faite et qui a été enregistrée sur la géologie de Mahanoro fut réalisée par le service géologique de Madagascar en 1958. Cette descente sur terrain aboutissait à l'élaboration de carte géologique de la région mais la découverte de la présence de minéralisation en fer sur le lieu met des années plus tard. La minéralisation n'a été décelée qu'en 2005 de façon accidentelle par deux géologues explorant le lieu pour chercher de l'or. En 2007, plusieurs négociations ont été faites entre le propriétaire du carré et les investisseurs dans le but de trouver des partenaires sur le sujet de minerai de fer. Un an après, en l'an 2008, sous la direction du PGRM quelques enquêtes géologiques ont été menées afin de renouveler la carte géologique de la région. Ainsi, des survols sur le lieu sont exécutés par la compagnie FUGRO pour la prospection géophysique aéroportée et pour avoir plus d'informations concernant la topographie. Du point de vue géochimique, les études entreprises par le BGS (British Geological Survey) montre de fortes anomalies sur le dôme de Vohitrambo. Et en 2010, la compagnie SINBAD Ressources, en quête des informations précises sur la minéralisation ferrière pour des éventuelles explorations à venir, élaborait une carte de base. Cette étape concerne l'identification de la zone d'étude par le biais des analyses des images satellites ou par descente sur terrain avant d'aborder des études plus complexes pour y acquérir des échantillons pour confirmation de gisement.

En 2011, la société UEM prend en main l'étude de la zone. Après une compilation des résultats des recherches antérieures, des descentes sur terrain ont été organisées dans le but de collecter les échantillons nécessaires permettant la procuration des informations indispensables à la continuation du travail. De manière que, les informations en déduites servent à mieux connaître la minéralisation étudiée et de confirmer le gîte en un gisement.

1. Localisation

Le secteur d'étude qui est l'objet de ce présent mémoire se trouve à proximité du village de Lalôna dans la Commune rurale de Betsizaraina, district de Mahanoro, région Antsinanana, dans l'ex-province de Toamasina. Il se situe à environ 28 Km de Mahanoro, région Antsinanana et à 350 Km de la capitale Malagasy.

Qui est entre les coordonnées :

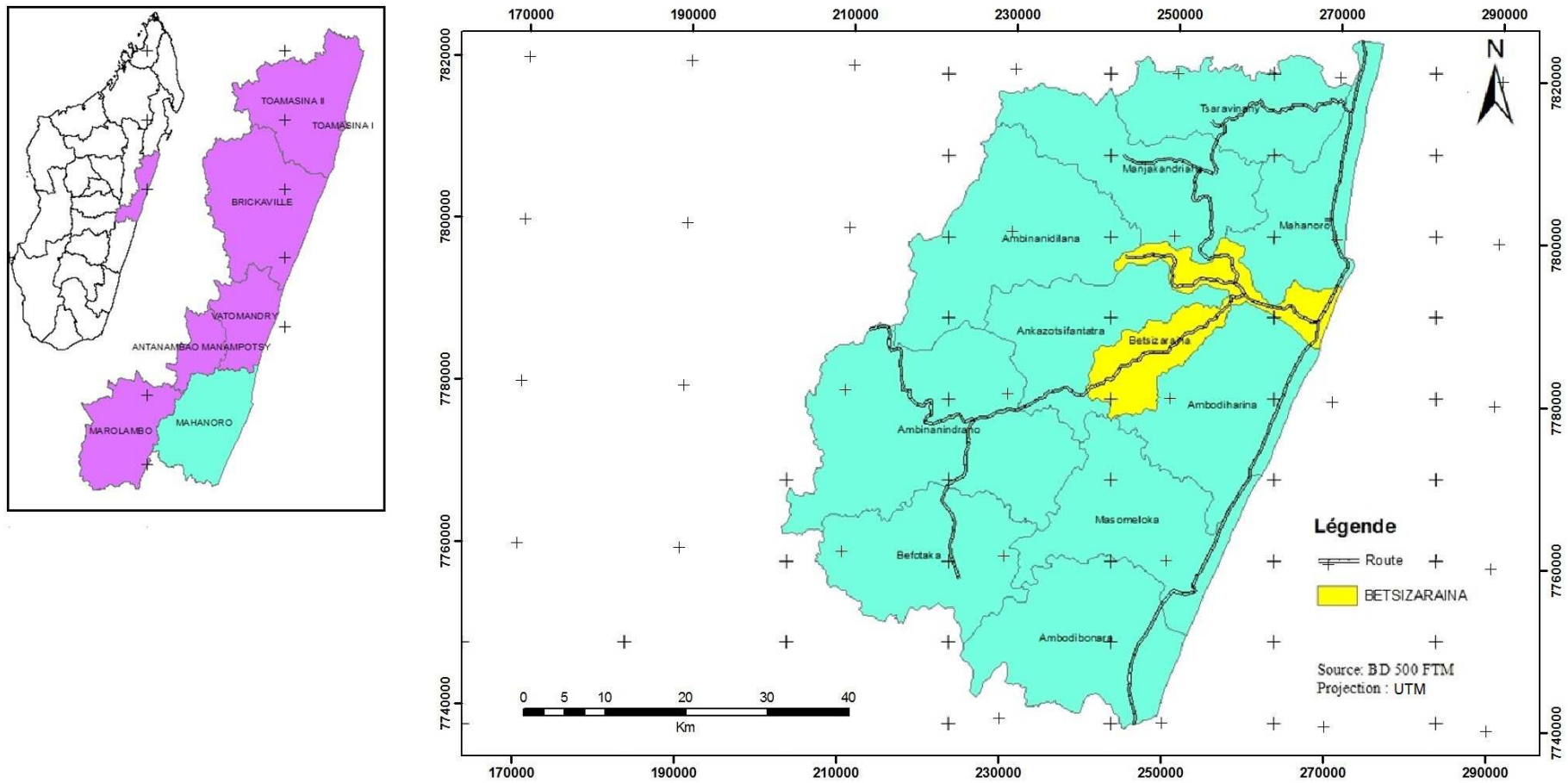
X =256500 m et X=254 000 m ;

Y=7 796 500 m et Y =7 795 000 m.



Système UTM WGS84, zone 39S

Clicours.COM



Carte 03 : Carte de localisation de la commune de Betsizaraina

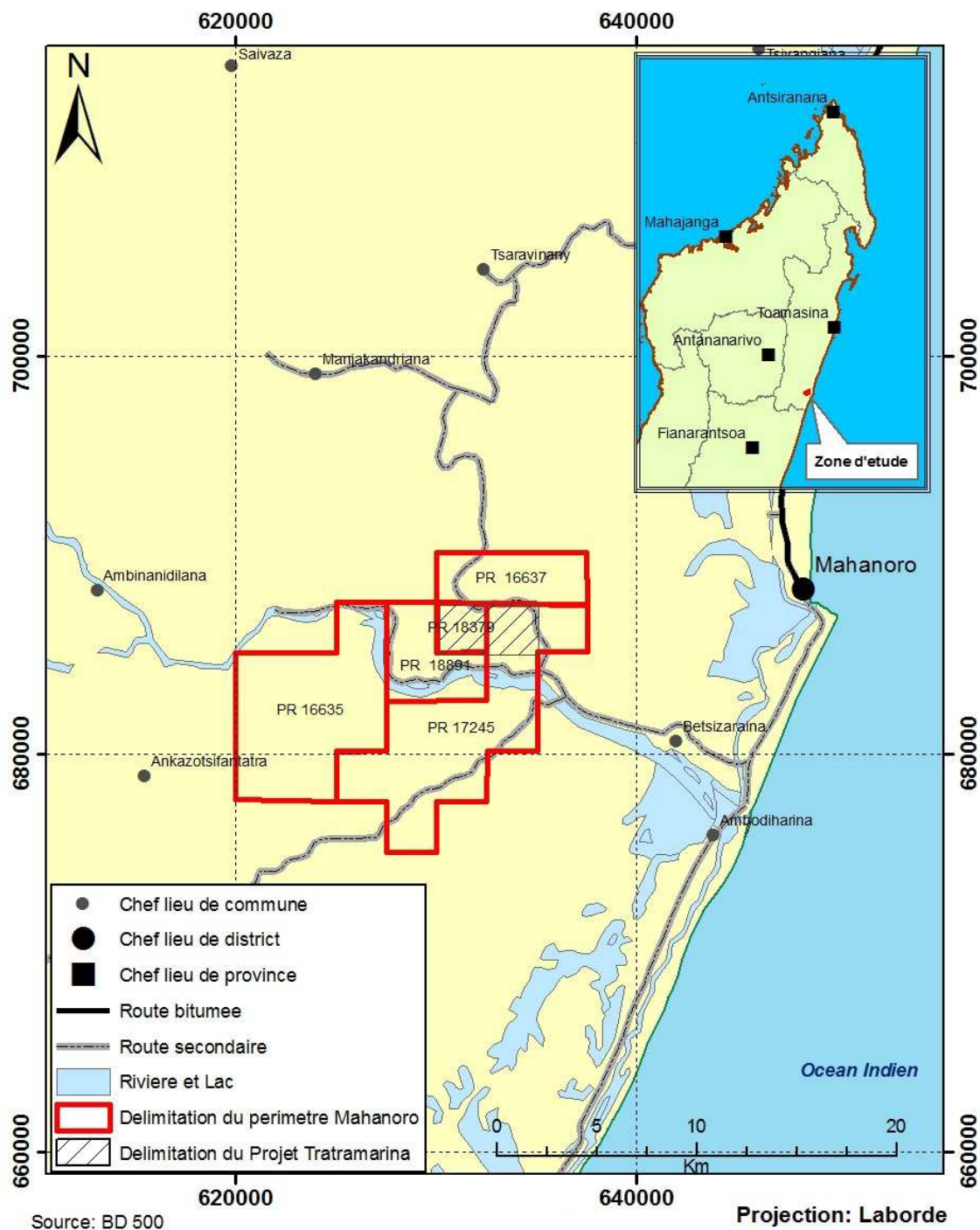
Source : BD 500 FTM

2. Accès

Atteindre la zone d'étude amène, en quittant Antananarivo, à emprunter la route nationale (RN2) jusqu'à la bifurcation d'Antsampanana où convergent deux voies dont l'une conduit à Toamasina. L'autre, la route nationale n° 11B (RN11B), passant par Vatomandry, mène à Mahanoro où l'on prend la route d'intérêt provincial (RIP 05), vers le Sud, jusqu'à Marolambo. A la découverte d'une seconde bifurcation, on tourne vers la direction Ouest que l'on suit pour aboutir finalement à la minéralisation de fer, située à 25km environ du Sud-Ouest de Mahanoro.

Ce périmètre est limité approximativement :

- à l'Est par le village de Betamotamo et l'Océan Indien ;
- à l'Ouest, la vallée du Manambolo,
- au Nord par le cours de Vantana
- au Sud par le fleuve du Mangoro.



Carte 04 : Carte de localisation de la zone d'étude

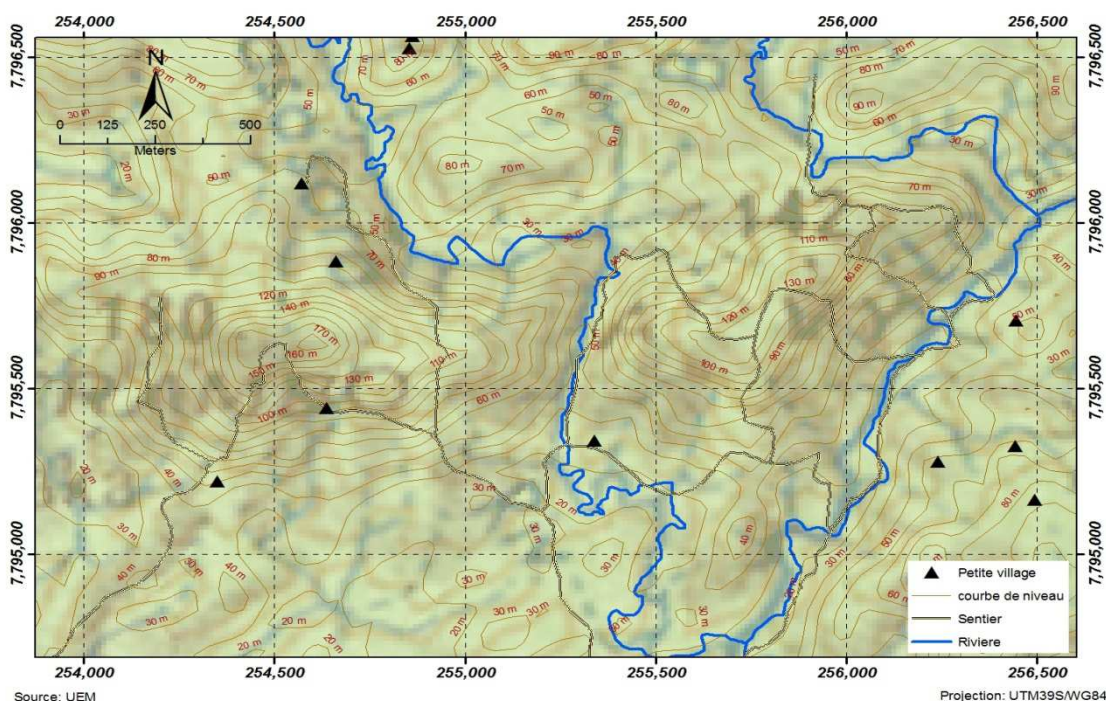
Source : BD 500 FTM

3. Climat

Comme sur tout le littoral Est de Madagascar, la Commune Rurale de Betsizaraina bénéficie d'un climat de type tropical humide à deux saisons distinctes : une saison chaude et moins pluvieuse s'étalant de septembre à mars et une autre très pluvieuse et fraîche, du mois d'avril au mois d'août. De plus, elle se trouve dans la zone côtière à haut risque cyclonique. La température minimale (au mois de Juin et Août) atteint 16°C et la plus forte chaleur (janvier et février) est autour de 31°C. La moyenne annuelle des températures est de 24 °C sur la côte, avec une précipitation annuelle de 2300 mm. A Mahanoro, le nombre de jours de pluie par an est de 200 en moyenne.

4. Relief et topographie

De nombreux reliefs et collines d'altitudes moyennes dominent la Commune de Betsizaraina en général. La topographie correspond à une succession de montagnes, de collines, de plaines et de vallées de l'Est vers l'Ouest. Les monts de Vohitrambo et d'Ambatovy semblent les plus importantes montagnes dans la commune. Et c'est au niveau de ces deux monts que se trouve la minéralisation en fer de Tratramarina.



Carte 05 ; Carte topographique de la zone d'étude

Source UEM (2016)

5. Végétation

Généralement, la Commune Rurale de Betsizaraina dispose peu de végétation caractérisée par quelques lambeaux forestiers. Ces derniers sont éparpillés et constituent des réserves naturelles intégrées. On peut dire que la végétation qui couvre Tratramarina (Vohitrambo et Bevatana) est plus ou moins dense. La forêt occupe une superficie de 20 ha dans ce secteur en 2004. Elle ne cesse d'être détruite actuellement. D'une part, elle est exploitée pour la fabrication des meubles et pour la construction des maisons traditionnelles. D'autre part, la forêt est dégradée et remplacée peu à peu par la végétation de savoka. La pratique de tavy est responsable de cette dégradation. La zone où se trouvent les indices minéralisés en fer est quasiment recouverte des forêts secondaires constituées essentiellement par des Ravinala (*ravenala madagascariensis*) et de Longoza (*aframomum angustifolium*).

6. Hydrographie

En général, le réseau hydrographique est dense à Mahanoro. Cette zone est connue par l'existence du grand fleuve de Mangoro qui draine un bassin versant de 17 175 km² et traversée par le canal de Pangalane qui assure le transport fluvial. Le cours du fleuve de Mangoro s'élargit progressivement jusqu'à son embouchure (au Sud de la ville de Mahanoro), où il atteint une largeur de 2 km. Le fleuve de Mangoro reçoit sur ces deux rives de nombreux petits affluents comme Andranombe, Mandraka, Antsapazana, Antandrokomby. Ils prennent racine dans les massifs environnants. Ce fleuve a un débit important et relativement régulier.

La majorité de ces affluents ont des écoulements de régime permanents. La zone d'étude est traversée par un cours d'eau appelé « Masasara » avant de se jeter dans le Mangoro au niveau de Tsaravinany. Il est caractérisé par son écoulement de régime permanent dont le débit varie de 0.5 à 4 m³/s en période de crue.

7. Milieu Socio-économique

7.1 Agriculture

L'agriculture constitue la première activité exercée par les paysans de la zone d'étude. Plusieurs types de culture s'y trouvent. Les céréales comme les paddy ; les

tubercules tels les maniocs et les patates douces, constituent la base alimentaire des habitants de la zone d'étude.

A part cela, les fruits notamment les bananes, les litchis, les ananas s'y trouvent également. Les bananes existent presque toute l'année et occupent 70% des champs de culture. La culture de vanille, de poivre, de girofle, de café et de cannes à sucres existe aussi dans cette zone mais elle reste encore rare. Jusqu'à présent, presque tous les habitants de cette région ne s'intéressent pas à ces types de culture à cause de l'instabilité des prix.

7.2 Elevage

L'élevage bovin et porcin existe dans la commune rurale de Betsizaraina mais reste rare. C'est la commune de Betsizaraina qui ravitaille la zone de Mahanoro en lait.

7.3 Pêche

La pêche, une des activités exercées par les habitants de cette commune, est encore peu développée. En effet, les matériels utilisés demeurent traditionnels si bien que les produits sont destinés uniquement à l'autoconsommation et ne suffisent pas à réaliser toute exportation.

7.4 Transports

Plusieurs types de transports sont utilisés par les habitants de cette commune rurale : le transport terrestre, le transport fluvial et le transport à dos d'hommes.

Le transport terrestre est limité par la route reliant Mahanoro et le Fokontany de Betsizaraina, et les autres Fokontany sont inaccessibles à cause de la dégradation des routes reliant la commune et les Fokontany.

Le transport fluvial assure la relation de cette commune à d'autres communes voisines comme la commune de Masomeloka, d'Ankazotsifantatra. La rivière du Mangoro est la plus empruntée par les villageois pour atteindre le chef-lieu communal et le chef-lieu du district de Mahanoro.

Certaines communautés font le transport à dos d'hommes sur une distance en moyenne de 10 à 20 Km dont les marchandises sont alors taxées à ariary 60 à 100 le kilogramme.

7.5 Ressources minières

Les ressources minières de la zone d'étude sont constituées essentiellement par l'or et le cristal. Malgré son potentiel important, le secteur minier de la région est faiblement développé, du fait de l'existence d'un certain nombre de contraintes qui empêchent l'expansion de cette activité.

La faiblesse des moyens de l'administration minière ne favorise pas l'essor de la production dans la région. Depuis plusieurs décennies, la population de la zone d'étude a déjà remarqué l'existence de l'or dans le fleuve Mangoro mais l'exploitation s'avère difficile.

8. Cadre géologique de la zone d'étude

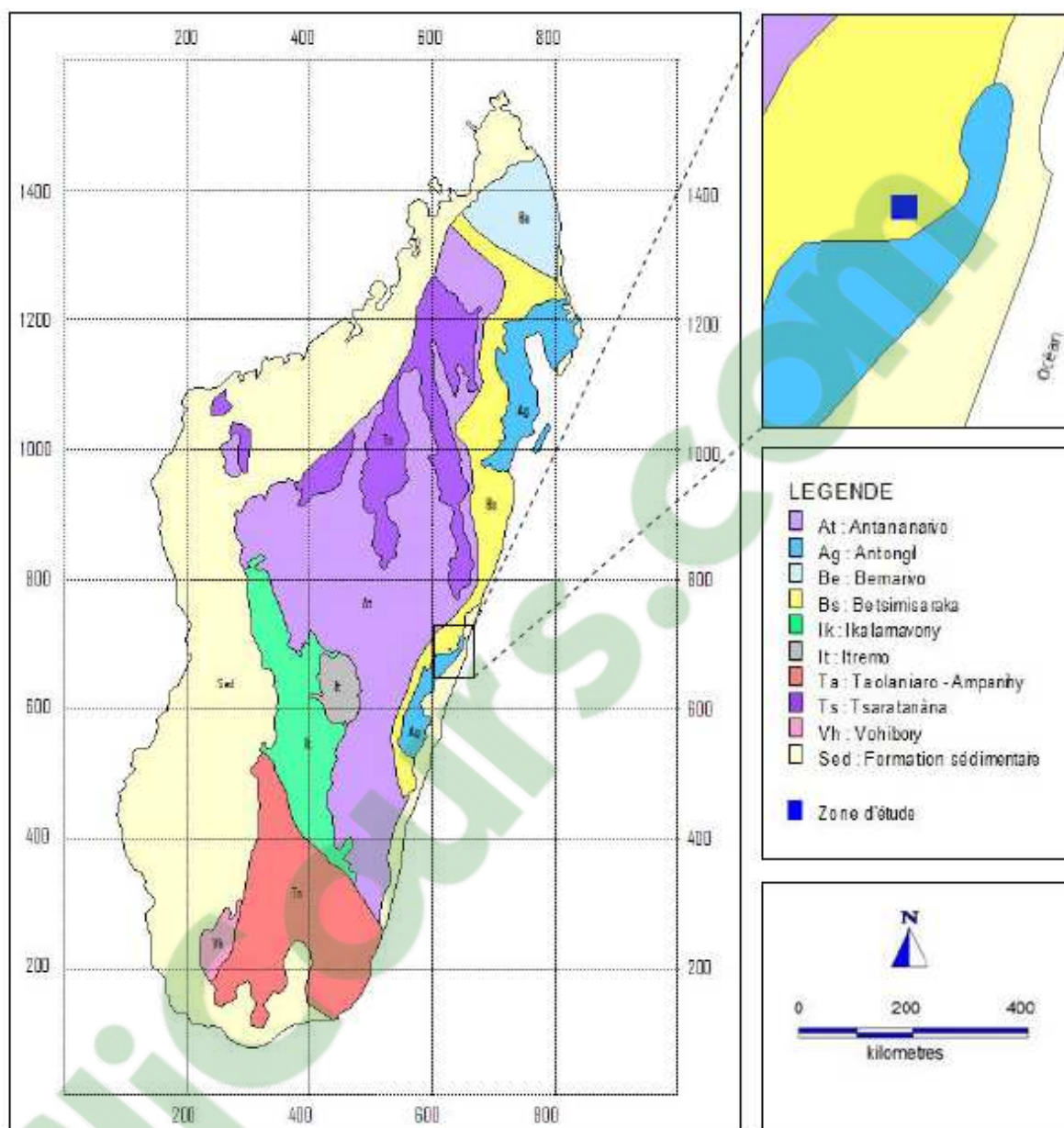
8.1 Géologie générale de Madagascar

A Madagascar, on distingue deux formations géologiques bien distinctes : le socle cristallin qui occupe deux tiers de la grande île dans sa partie orientale et le reste une couverture sédimentaire.

Notre zone d'étude appartient au socle cristallin malagasy, alors on ne va entrer en détails que pour les commentaires et interprétations de ce dernier.

Selon l'hypothèse de Collins et Windley (2003), le socle cristallin malagasy est un ensemble façonné par des événements tectono-métamorphiques successifs composés de neuf unités géologiques : Antananarivo, Antongil, Bemarivo, Betsimisaraka, Ikalamavony, Itremo, Taolaniaro-Ampanihy, Tsaratanana et Vohibory.

Notre zone d'étude appartient à la suture Betsimisaraka comme la carte 06 l'indique :



Carte 06 : Appartenance de la zone d'étude selon l'hypothèse de Collins & Windley (2003)

Source : UEM

8.2 Géologie régionale de la zone d'étude

La minéralisation en fer de Tratramarina se trouve dans des roches métamorphiques d'âge archéen. La géologie du gisement comprend trois grandes unités pétrographiques d'âge méso-archéen, néo-protérozoïque et crétacé supérieur. L'unité d'âge méso-archéen est marquée par des quartzites à magnétite. Les quartzites, les schistes, et les gneiss composent l'unité d'âge protérozoïque. Les gabbros, les dolérites,

les diorites et les dacites sont les roches magmatiques récentes d'âge crétacé. Par rapport aux corps encaissants métamorphiques, les roches intrusives comme le gabbro sont en contact soit concordant, soit discordant. Dans le cas de la minéralisation en fer de Tratramarina, la masse intrusive gabbroïque recoupe les couches des roches encaissantes.

La région étudiée est essentiellement constituée de terrains cristallins. Une épaisse couverture latéritique s'étend sur ces terrains cristallins, masquant les affleurements en gênant considérablement le travail de levé ; la végétation qui est très dense n'arrange pas les choses. Beaucoup de piste suit, surtout dans les basses collines, les lignes de crête, où l'on ne voit strictement rien. Les meilleures coupes sont fournies par les berges des rivières, les thalwegs et les lits de torrents. Les bancs granitisés et la formation de Brickaville offrent de beaux affleurements qu'on peut parfois suivre sur le terrain le long des quelques distances ; par contre les micaschistes de la Nosivolo sont très altérés, n'offrent que des rares affleurements, de même que les formations grès-argileuse côtières.

Deuxième Partie : Résumé des résultats des travaux d'explorations

Clicours.COM

Chapitre III : Résumé des résultats des travaux d'exploration

Avant d'entamer cette partie, il est préférable de connaître tous les travaux d'exploration antérieure. Le tableau 01 récapitule ces travaux :

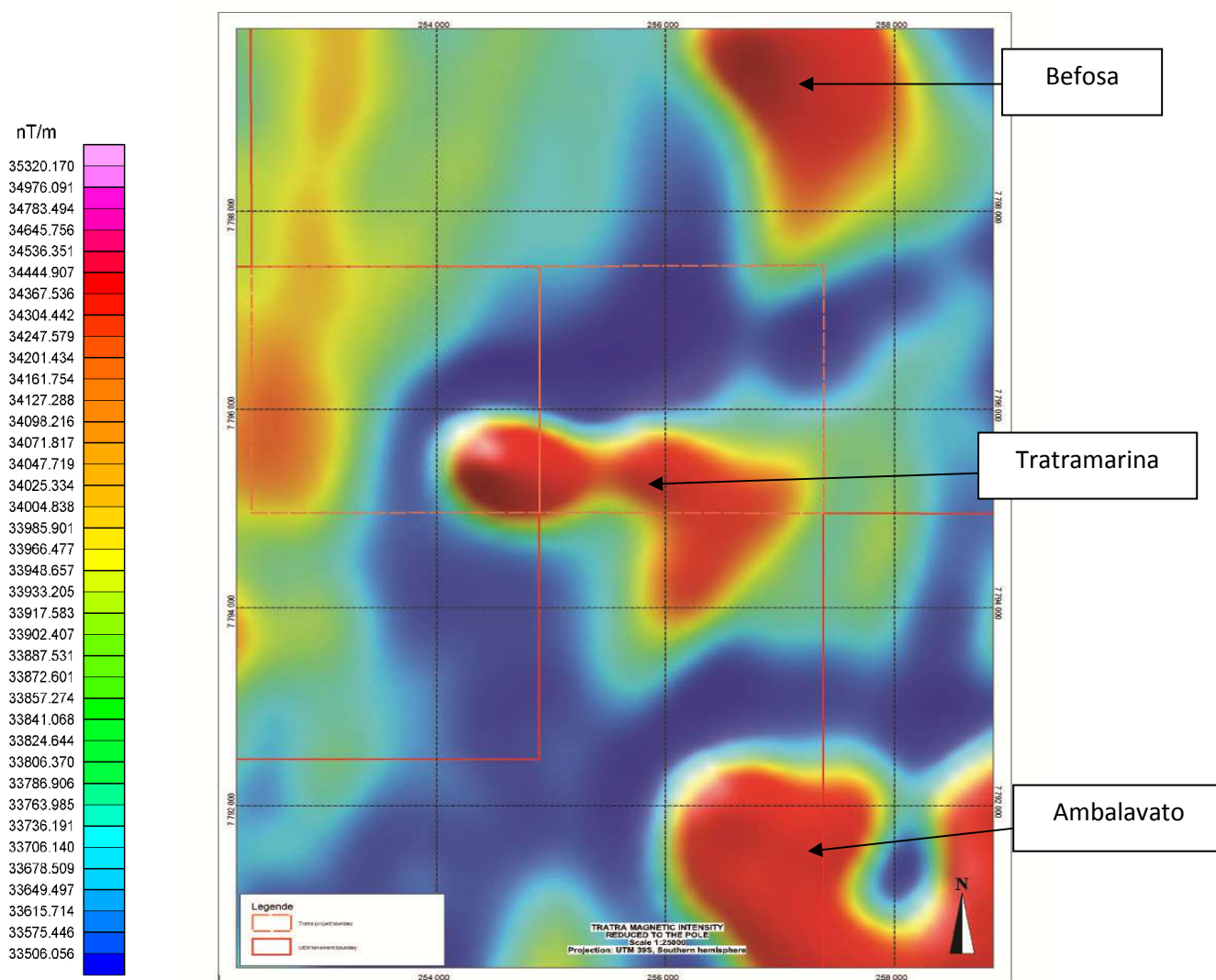
Tableau 01 : Résumé des travaux antérieurs

Dates	Travaux effectués	Prestataires	Bénéficiaires
1958	Cartographie de la géologie régionale 1/100.000	Olivier Dottin	Gouvernement malgache
2005	Quick assessment of PRE18801 & PRE 18379 Tratra-Ouest	Ravelonjoma et al	Mr Joseph Rakotoarisoa et Mr Gaulbert
2006	Géophysiques aéroportées par T49 de la région	FUGRO	Gouvernement malgache
2006	Cartographie de la géologie régionale au 1/100.000	BGS& USGS geologists	Gouvernement malgache
2007	Reconnaissance de Tratra-Ouest	Roger Villanueva	ASIANA AXPLORATION
2009	Echantillonnage à Tratra-Est	Thierry Andriamihaja	NGM
2010	Reconnaissance de Tratra-Est	Dr Geoffrey Loftus-Hills	NGM Resources
2010	Reconnaissance de Tratra Est et Ouest	Chris Robinson (Hematite Consultants)	NGM & IPR Resources
2010	Echantillonnage à Tratra-Ouest PRE 18379	Rudy Vooy (RAVEX Ltd)	SINBAD Resources
2011	Rapport résumé sur Tratra-Est	Paladin Energy Ltd	Paladin

Source : UEM

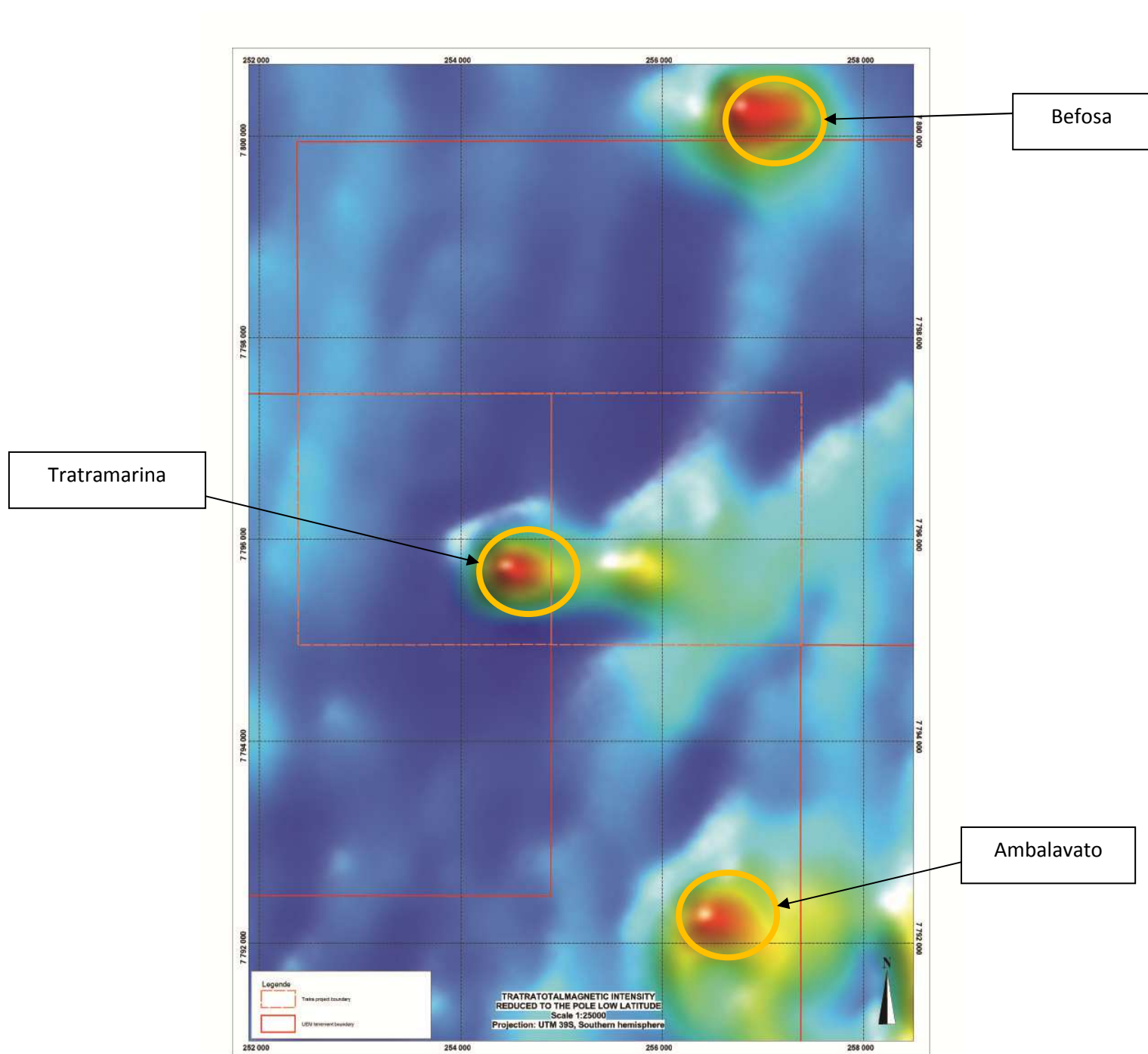
1. Etude géophysique

Les résultats d'exploration géophysiques sont basés sur les survols aéromagnétiques accomplis par la société FUGRO en 2006. Les survols qu'ils ont réalisés étaient des survols EST-OUEST d'altitude 100 mètres et d'espacement 500 mètres. Même si ces survols ne faisaient pas partie du projet d'exploration de notre zone d'étude, un géophysicien nommé Bob Smith a retraité les données pour le compte de l'UEM afin de déterminer trois anomalies qui sont : Befosa, Tratramarina et Ambalavato (Cf Carte 07 et 08)



Carte 07: Champ magnétique total

Source: UEM



Carte 08: Champ magnétique total réduit au pôle

Source: UEM

2. Etude cartographique géologique

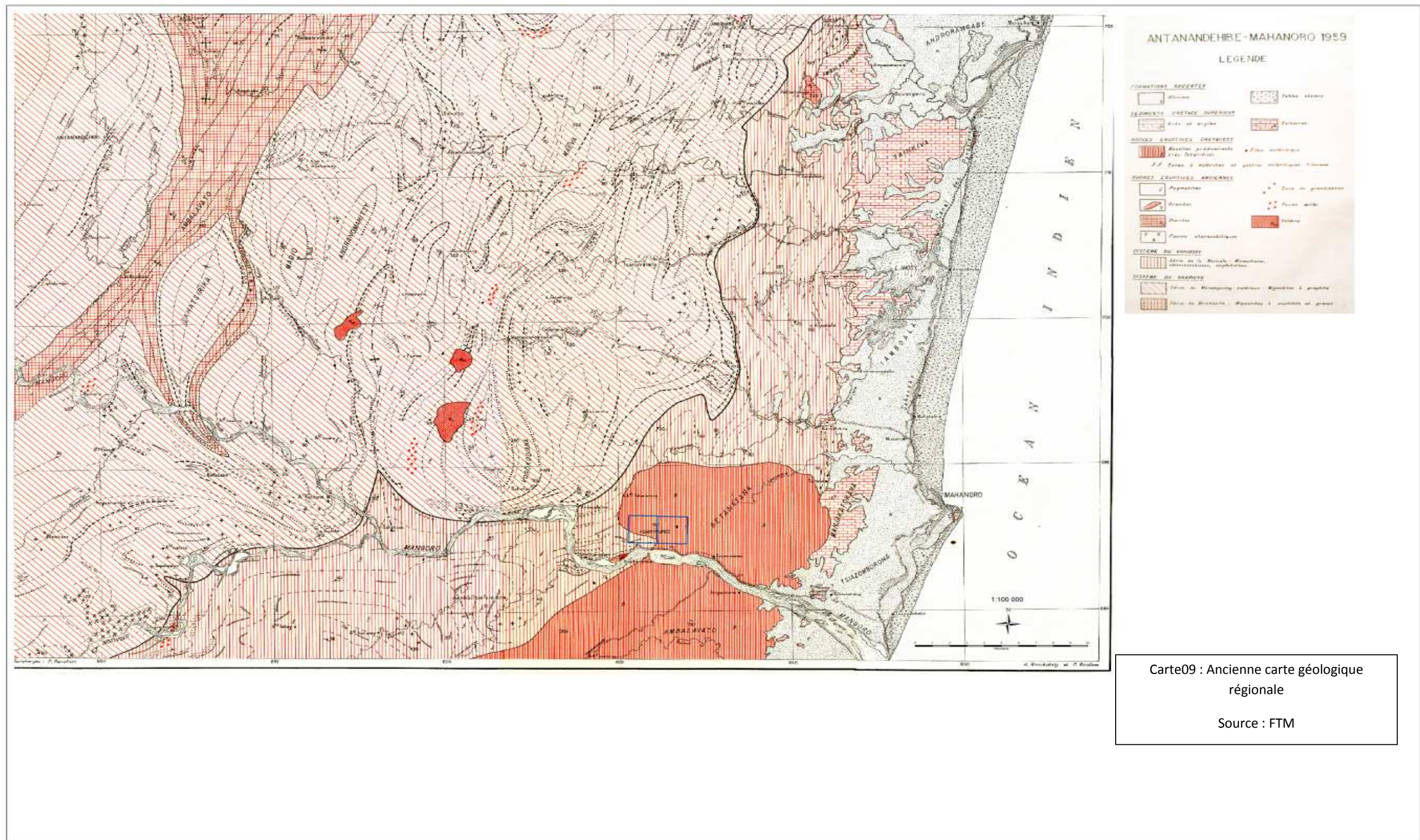
Sur les anciennes cartes géologiques de la région de notre zone d'étude, on n'a jamais vu la formation de quartzite affleurant sur Tratramarina (Cf Carte 09). Donc, la société UEM a décidé de faire une campagne de cartographie pour délimiter les couches lithologiques et aussi connaître les structures des lithologies.

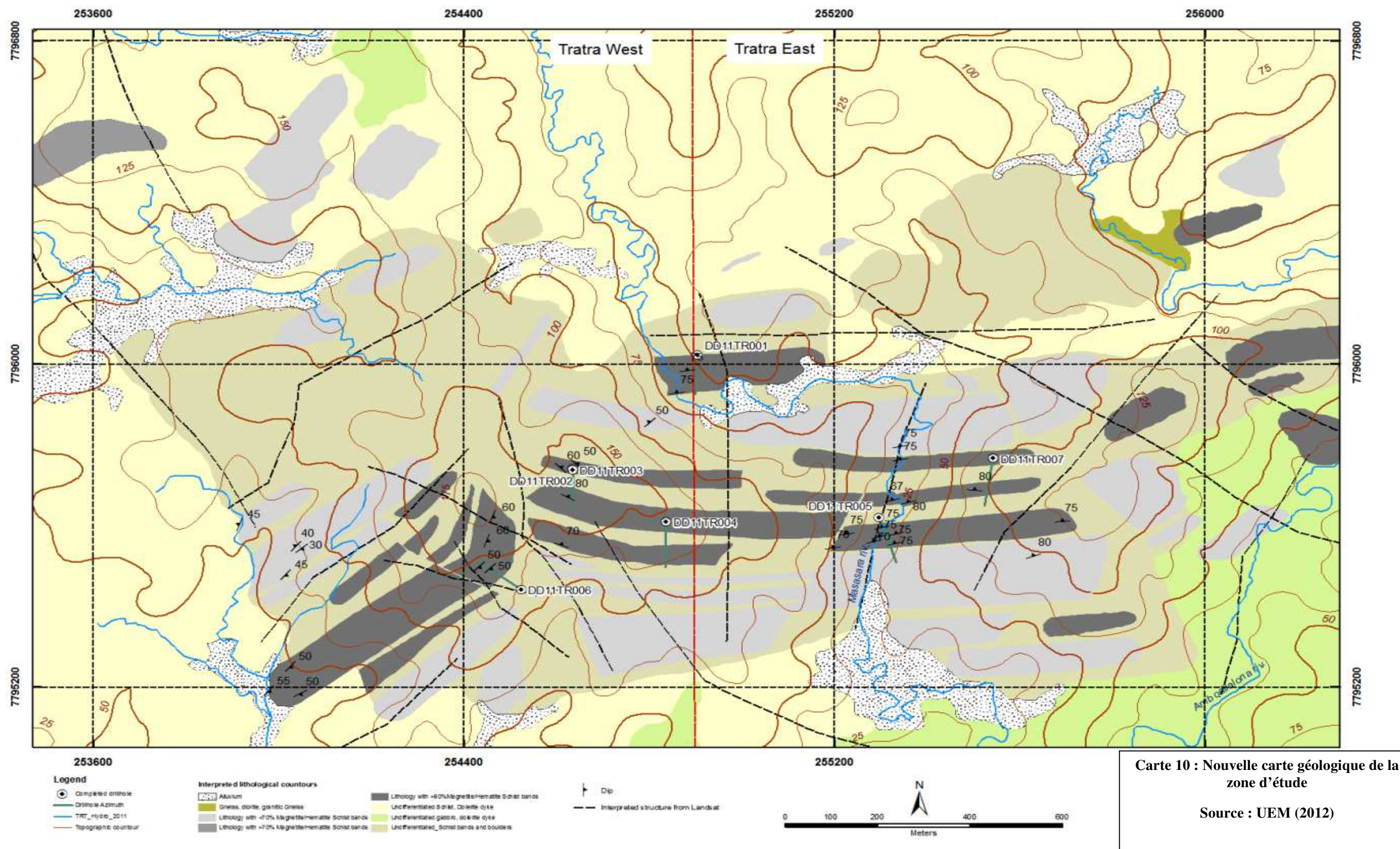
Sur la carte 09, on remarque que notre zone d'étude appartient à un basalte prédominant. Lors de notre descente sur terrain, on a constaté qu'il existe des affleurements de quartzite à magnétite.

Principe de la campagne de cartographie

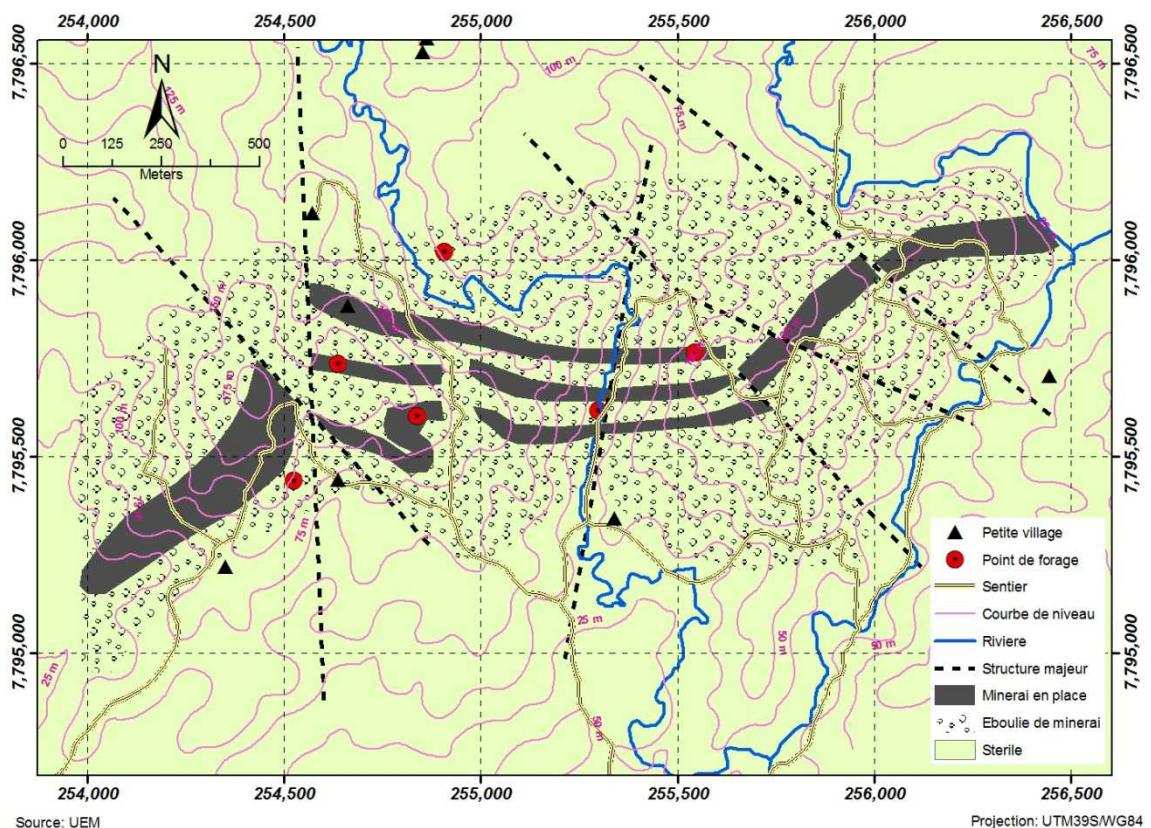
Le principe de la méthode de cartographie est de prendre des échantillons suivant des profils bien déterminés et continus. On a alors choisi une direction Nord-Sud, soit 2,5km de longueur sur un intervalle de 100 mètres.

Cette campagne nous a donné une nouvelle carte géologique de notre zone d'étude (Carte 10)





Pour faciliter les tâches pour la troisième partie de ce présent mémoire on a décidé de dresser une autre carte plus simple afin de différencier les minerais des stériles.



Carte 11 : Carte géologique simplifiée avec les points de forage

Source : UEM (2016)

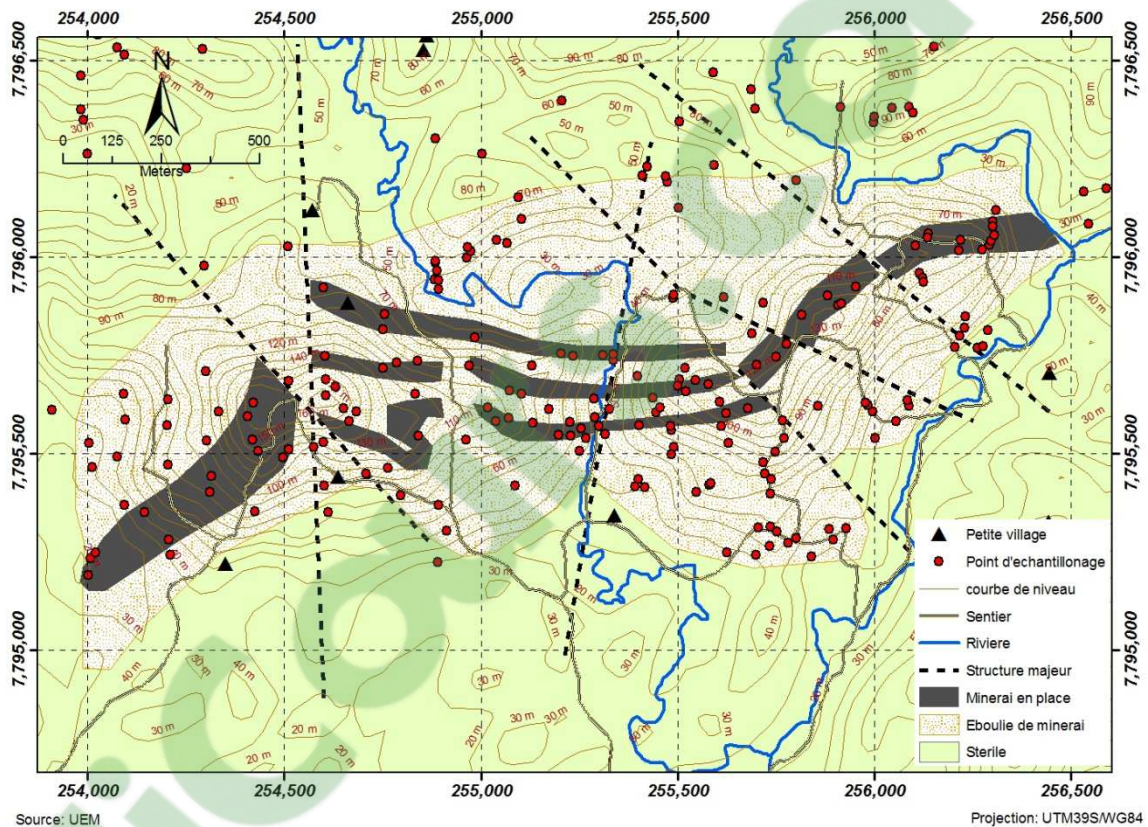
3. Etude géochimique

Les objectifs de la géochimie sont : d'une part de déterminer les teneurs de minerais non seulement pour le Fer mais pour les autres éléments utiles afin d'aider les minéralurgistes à choisir les méthodes d'enrichissement. D'autre part, connaître la succession avec les teneurs de chaque couche.

3.1 Géochimie de surface

La géochimie de surface consiste à analyser des échantillons prélevés en surface de la zone d'étude. Cette étape de prospection a été effectuée par les équipes de géologues de la société UEM en 2011.

Le travail consistait à prélever des échantillons entre 250 g et 500 g maillés de 15m. Les matériels utilisés sont : les marteaux de géologues pour arracher les échantillons du massif, un GPS pour savoir l'emplacement exact des échantillons pris tout en ordonnant les travaux en équipes et le clinomètre pour mesurer les pendages.



Carte 12 : Carte d'échantillonnage

Source : UEM (2012)

Ces échantillons sont mis en sac et scellés ; puis envoyés aux laboratoires d'analyses.



Photo 01: Echantillonnage sur terrain

Source : UEM (2011)



Photo 02: Mise en sac des échantillons

Source : UEM (2011)

Une fois mis en sac les échantillons sont transportés vers les laboratoires d'analyse. Dans ce projet, la société UEM a mis en œuvre deux types d'analyse pour les échantillons.

Premièrement, l'analyse spectrométrique par fluorescence X ou XSF pour connaître les éléments majeurs contenu dans les roches extraites. Mais avant de faire l'XSF, les échantillons de roches doivent être séchés puis broyés jusqu'à avoir une poudre de l'ordre de 80µm. Ces étapes sont indispensables pour avoir des résultats d'analyse fiables. Dans ce projet, la société a utilisé trois endroits pour les analyses XSF. Une partie des échantillons analysés au sein même de l'UEM, une autre partie au sein de Genalysis Intertek Ampandrianomby et une petite partie envoyée en Afrique du Sud chez Genalysis Laboratory Service.

Deuxièmement, un autre type d'analyse appelé Magsus consiste à mesurer les forces magnétiques tout en les transformant en valeur nano tesla et essayer de comprendre les propriétés magnétiques de la roche. Cette étape est aussi précédée de séchage et de broyage.

Les résultats sont ensuite envoyés par les laboratoires sous forme de rapport.

Concernant la numérisation des données, le rapport des analyses est transcrit sur ordinateur à l'aide de Microsoft Office Excel sous forme de document « .xls ». Ainsi, il est très facile d'exporter ces données dans d'autres logiciels pour faire les traitements de données.

3.2 Forages carottés

Vue les résultats intéressants des recherches sur la minéralisation de Tratramarina, la société UEM a décidé d'avancer à la phase de forage. Elle a alors décidé de faire six trous de forage dispersés sur toute la zone d'étude.

C'est la société Tugela qui a fait la prestation de cette campagne de forage en 2011.

La carte 11 montre la localisation des points de forage sur la zone d'étude. Il est à noter que pendant la campagne, une des tiges de forage était coupée alors il a fallu avoir un autre point de forage. C'est pour cela qu'il y a eu un septième point de forage.

Clicours.COM

Tableau 02:Résumé des teneurs en Fer des roches minéralisées

Identifiant Forage	Profondeur(m)		Epaisseur(m)	Types	Teneurs(%)
	De	A			
DD11TR001	6	16	10	MQT	32
	18	22	4	MQG	24
	14	24	10	HQT	24
	26	32	6	HQT	29
	172	190	18	MQG	25
DD11TR004	0	32	32	HQT	31
	84	100	16	MQT	29
	110	132	22	MQT	36
	136	194	58	MQT	31
	202	218	16	MQT	28
DD12TR006	8	46	38	MQT	35
	46	64	18	MQS	22
	88	110	22	MQT	29
	140	148	8	MQG	21
	70	122	52	MQT	37
	124	182	52	MQT	30

Source : UEM (2016)

4. Etude pétrographique

Dans cette partie, l'étude se concentre sur les résultats des analyses de lames minces au microscope. Chaque échantillon de roche sera étudié de deux façons avec la lumière naturelle et lumière polarisante. Le prestataire de ces analyses au microscope est le Laboratoire des Mines à Ampandrianomby. Pour notre étude, on ne va considérer que les échantillons de quartzite à magnétite afin de mieux comprendre les compositions minéralogiques des ces minerais.

Echantillon n°2489

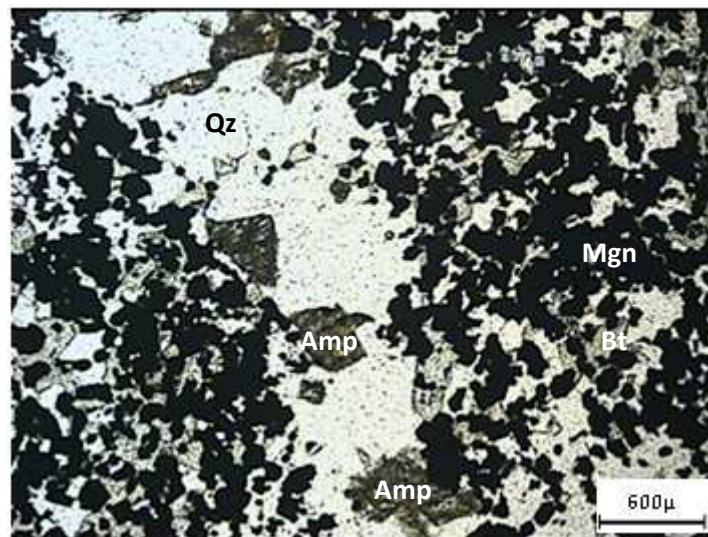


Photo 03 : Microphotographie (X5) en lumière naturelle

Source : UEM

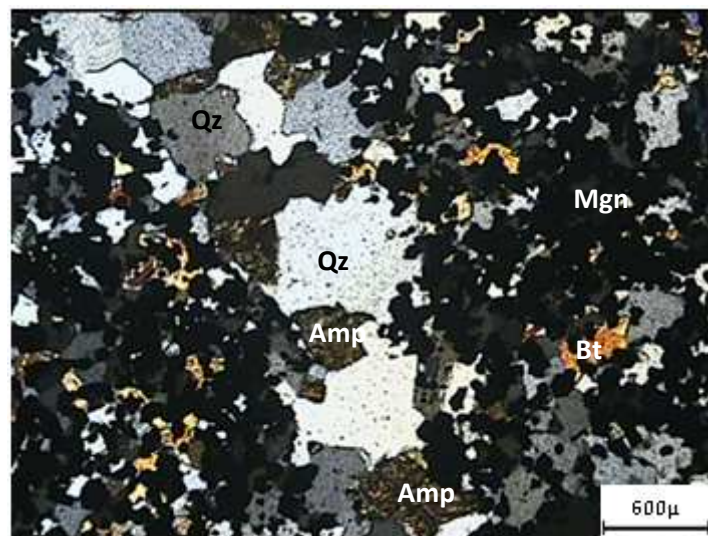


Photo 04 : Microphotographie (X5) en lumière polarisante

Source : UEM

Echantillon n°2490 :

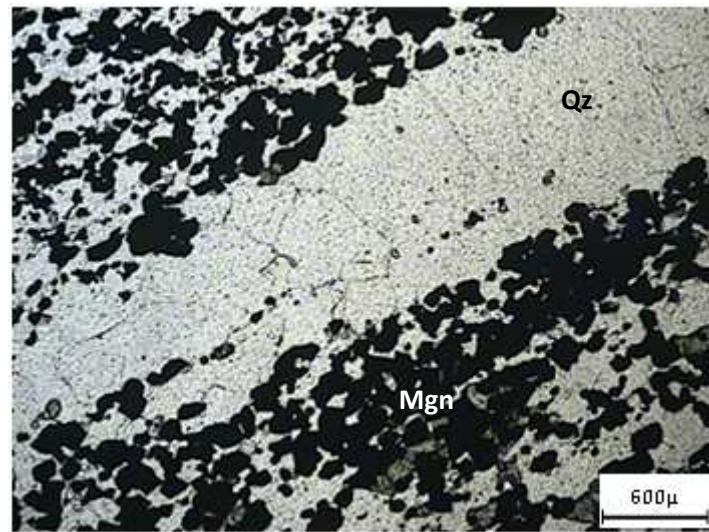


Photo 05 : Microphotographie (X5) en lumière naturelle

Source : UEM

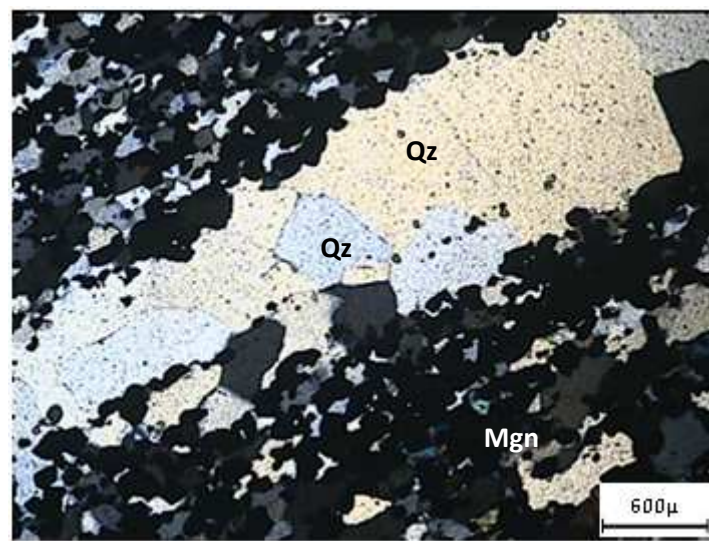


Photo 06 : Microphotographie (X5) en lumière polarisante

Source : UEM

Echantillon n°2863 :

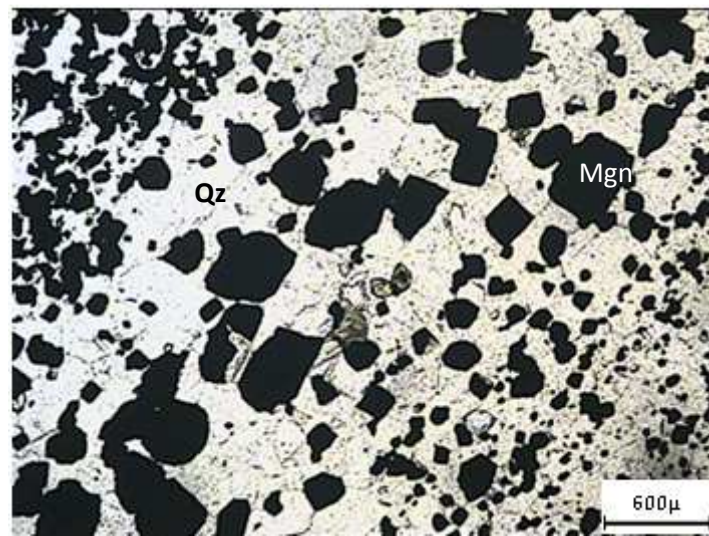


Photo 07 : Microphotographie (X5) en lumière naturelle

Source : UEM

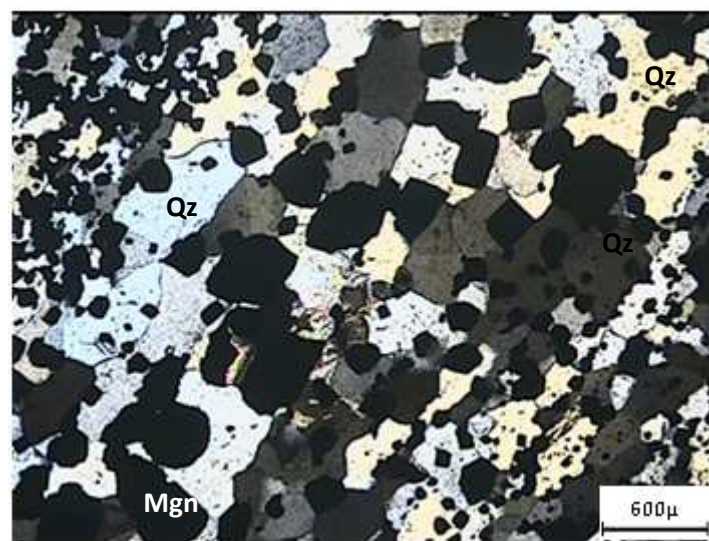


Photo 08 : Microphotographie (X5) en lumière polarisante

Source : UEM

Ces trois(3) photos ne sont que des extraits de tous les microphotographies résultant des analyses au laboratoire. Mais le tableau 03 va résumer les résultats :

Tableau 03: Résumé des résultats et interprétation des microphotographies des échantillons

ID Echantillon	Nom de la roche	Composition minéralogique	Granulométrie du minéral utile
2489	Quartzite magnétite	Quartz 58% ; Magnétite 40% ; Biotite et Amphibole 2%	0,4 mm
2490	Quartzite magnétite	Quartz 60% ; Magnétite 35% ; Biotite 5%	0,4 mm
2863	Quartzite magnétite	Quartz 48% ; Magnétite 50% ; Biotite 2%	0,3mm
2864	Quartzite magnétite	Quartz 50% ; Magnétite 40% ; Biotite et Amphibole 10%	0,2mm
3508	Quartzite magnétite	Quartz 50% ; Magnétite 50% ;	0,4mm
3509	Quartzite magnétite	Quartz 28% ; Magnétite 70% ; Biotite 2%	0,4mm
2330	Quartzite magnétite	Quartz 50% ; Magnétite 50% ;	0,4mm
2331	Quartzite magnétite	Quartz 50% ; Magnétite 50%	0,4mm

Source : UEM

5. Etude petro physique (DTT : Davis Tube Test)

Le DTT consiste à faire des essais d'enrichissement de minerais dans des laboratoires d'essais de traitement d'un appareil appelé Davis Tube Tester. Il se compose d'un électro-aimant extrêmement puissant qui peut générer une intensité de champ magnétique allant jusqu'à 4 000 gauss, un tube de séparation en verre et un mécanisme d'agitation motorisé. Le tube est positionné entre les pôles de l'aimant à un angle d'environ 45 degrés. Pendant le fonctionnement, un petit moteur électrique entraîne le mécanisme d'agitation qui supporte le tube en verre rempli d'eau. Ce dernier se déplace vers l'avant et vers l'arrière pendant qu'il tourne simultanément. Toutes les particules magnétiques présentes dans l'échantillon de produit à l'intérieur du tube sont recueillies dans la zone de magnétisme intense. Une action de lavage vigoureuse par agitation est appliquée à ces aimants. Finalement, tous les non magnétiques sont évacués du tube. Un concentré de particules magnétique est alors disponible. Le testeur de tube n'est pas destiné à montrer la teneur totale en fer d'un minerai comme l'analyse chimique. L'analyse chimique montre la teneur totale en fer, qu'elle soit magnétique ou non magnétique; Et ne parvient donc pas à donner une image vraie de ce qui peut être accompli par concentration magnétique. Le Davis Tube Tester déterminera le contenu magnétique et il ne faut que 10 minutes pour une détermination précise. [22]

Cela se déroulait en trois catégories de granulométrie : 125,100 et 75 μ . On peut aussi classifier notre minéralisation en trois classes : quartzite à magnétite mélangé altérée, quartzite à magnétite mélangé fraîche et quartzite à magnétite pure fraîche.

Tableau 04: Types de minerai

N° type	Type de minéralisation	Abondance
Type 1	MQT mélangé altérée	25%
Type 2	MQT mélangé fraîche	25%
Type 3	MQT pur fraîche	50%

Source : UEM

Tableau 05 : Résumé des résultats d'essai d'enrichissement

Type de minerais	Granulométrie la plus avantageuse	Teneur en Fer finale(%)	Teneur en SiO ₂ (%)	Teneur Al ₂ O ₃ (%)	Teneur S(%)	Teneur P(%)
Type1	125	66.23	4,53	1,01	0,01	0,04
Type2	100	66,83	4 ,8	0,8	0,01	2,6
Type3	125	65,02	8,26	0,2	0,42	0,01

Source : UEM (2012)

6. Estimation de réserve

Pour l'estimation de réserve, on va alors calculer par bande et on va utiliser les formules suivantes :

$$V = L l e$$

V : volume

L : Longueur

l : largeur

e : puissance ou épaisseur

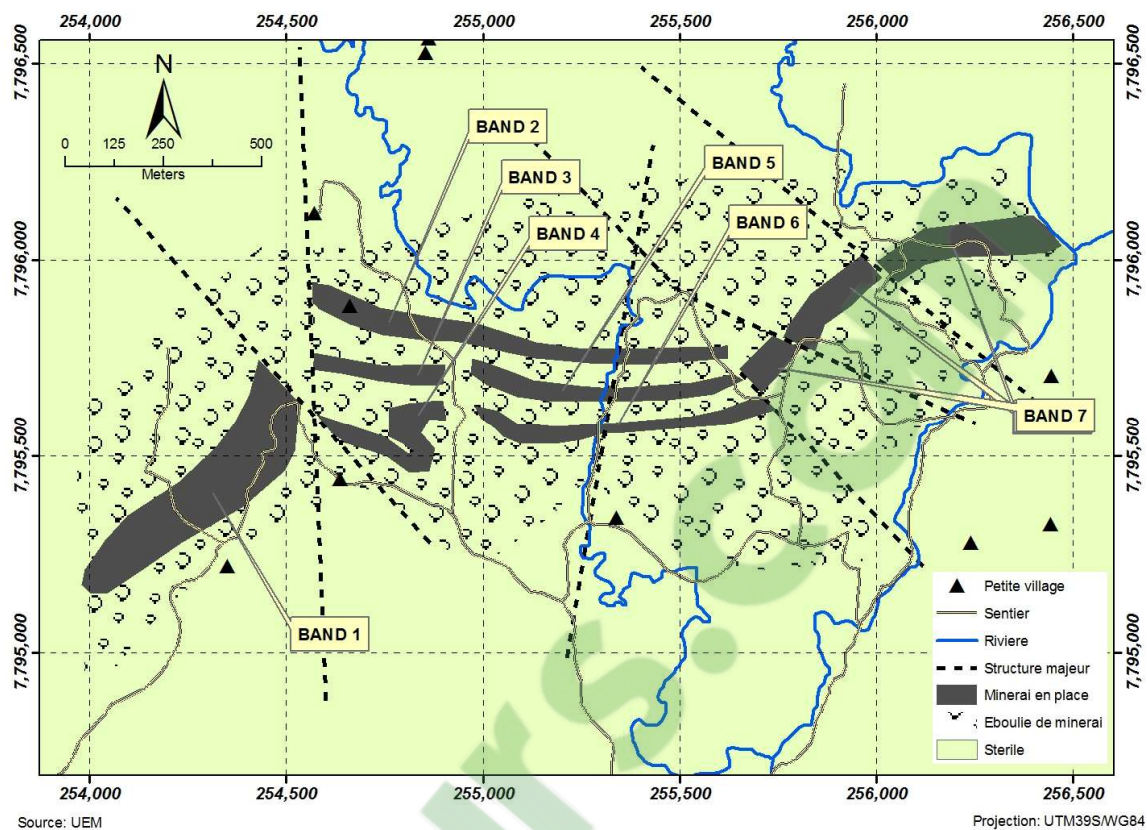
Et puis après, pour calculer le tonnage de minerai brut on aura la formule suivante :

$$M = V d$$

M : Tonnage de minerais bruts

d : Densité moyenne du minerai

Pour mieux comprendre notre démarche on va considérer la carte 13 pour calculer par bande notre réserve de minerai de fer.



Carte 13: Carte d'indication des bandes considérées pour l'estimation de réserve

Source : UEM(2016)

En résumé, le tableau 06 montre l'estimation totale de réserve mais les détails des calculs sont dans l'annexe III.

Tableau 06: Résumé de l'estimation de réserve

Couche ID	Reserve en Tonne
Band 1	26 054 325
Band 2	10 153 440
Band 3	4 716 855
Band 4	13 288 275
Band 5	9 238 697
Band 6	9 468 113
Band 7	38 732 100
TOTAL	111 651 804

On a alors une estimation de réserve de 111 651 804 tonnes de minerais de Fer à 36% Fe soit 40 195 000 de tonnes métal.

Il est à noter qu'on n'a pas pris en compte les éboulis dans cette estimation et aussi on a calculé ces valeurs jusqu'à une profondeur de 25m au dessous de la mer parce que cette profondeur est celle de la fosse ultime estimé par la société.

Chapitre IV : Essai de modélisation par Rockwork 15

Dans ce présent mémoire, on a décidé d'utiliser le logiciel Rockworks 15 pour la modélisation 3D. Le choix de ce logiciel est dû à sa facilité de manipulation, et aussi les données fiables sont des données de forage carotté, facilement traitées avec ce logiciel.

1- Présentation du logiciel Rockworks 15

Rockworks 15 est un logiciel développé par Rockware, c'est un logiciel de visualisation et de traitement de données utilisé dans plusieurs domaines comme l'Ingénierie pétrolière, l'environnement, la géotechnique l'ingénierie minière.

Il comprend plusieurs fonctions mais les plus importants dans notre domaine c'est la cartographie (mapping), modélisation de puits(striplogs), modélisation solide ou volumétrique, coupe et section, et enfin les différents diagrammes.

Voici une figure montrant l'interface de Rockworks 15

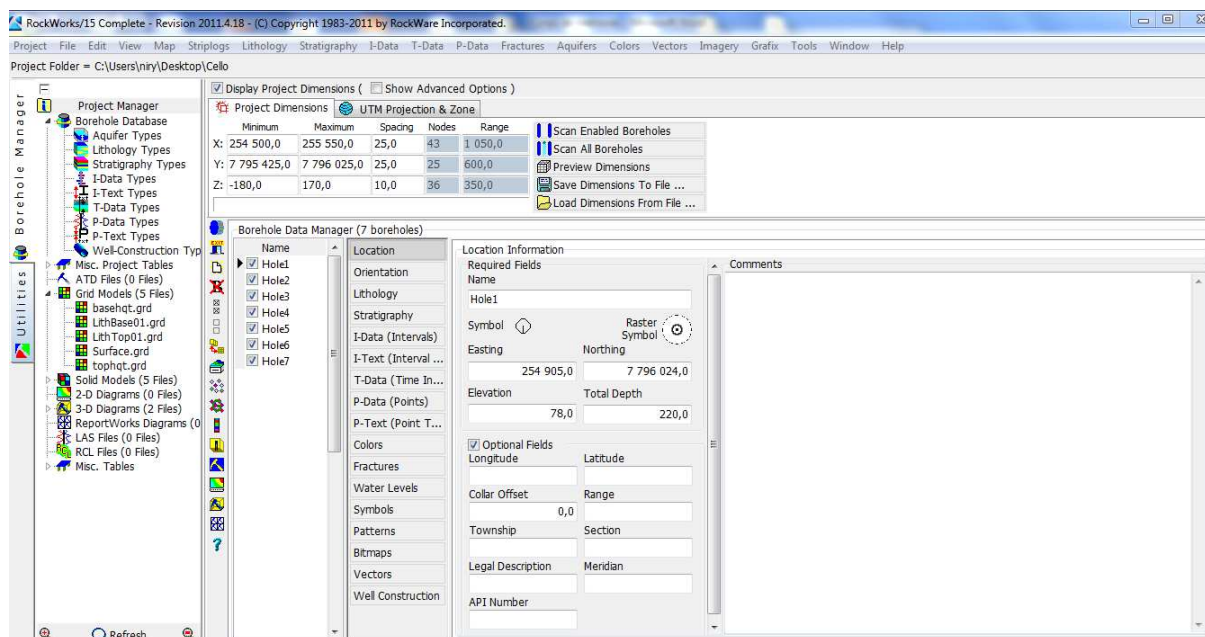


Figure 04 : Interface du logiciel Rockworks 15

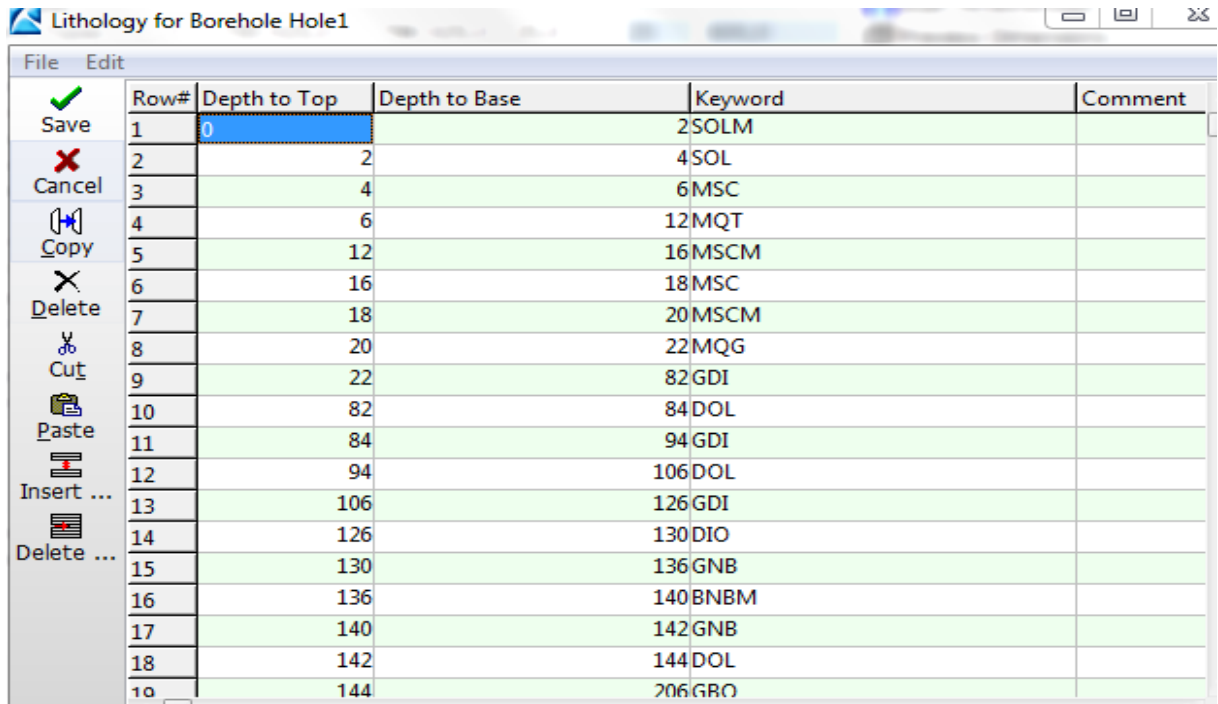
2- Numérisation des données

Pour la numérisation des données, on a utilisé le logiciel Microsoft Office Excel 2007.

Clicours.COM

3- Traitement de données

L'entrée des données dans Rockworks 15 se fait manuellement dans le logiciel comme l'indique la figure ci dessous



Row#	Depth to Top	Depth to Base	Keyword	Comment
1	0		2SOLM	
2		2	4SOL	
3		4	6MSC	
4		6	12MQT	
5		12	16MSCM	
6		16	18MSC	
7		18	20MSCM	
8		20	22MQG	
9		22	82GDI	
10		82	84DOL	
11		84	94GDI	
12		94	106DOL	
13		106	126GDI	
14		126	130DIO	
15		130	136GNB	
16		136	140BNBM	
17		140	142GNB	
18		142	144DOL	
19		144	206GRO	

Figure 05: Interface d'entrée des données de puits

Le traitement des données se fait par 4 étapes comme l'indique la figure 06 :

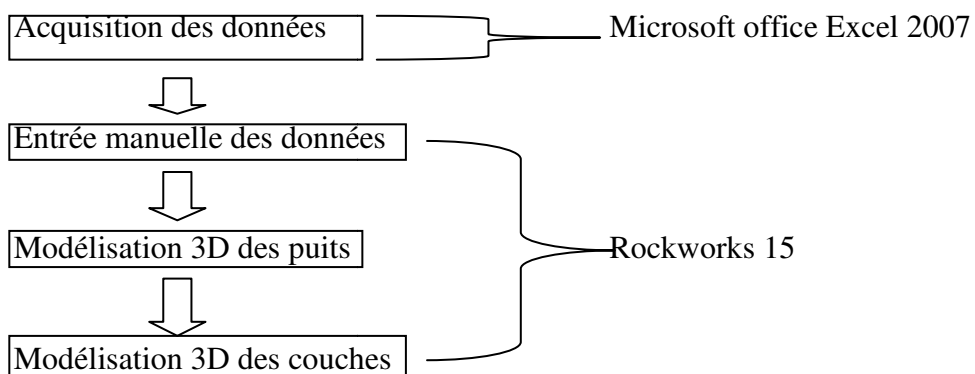


Figure 06 : Etapes de réalisation de la modélisation

4- Modélisation 3D des sept(7) puits de forage par Rockworks 15

L'objectif de cette étape est de savoir la succession des couches présentes dans notre zone d'étude et de les représenter en 3D.

La figure ci-dessous représente le modèle des sept(7) puits de forage en 3D.

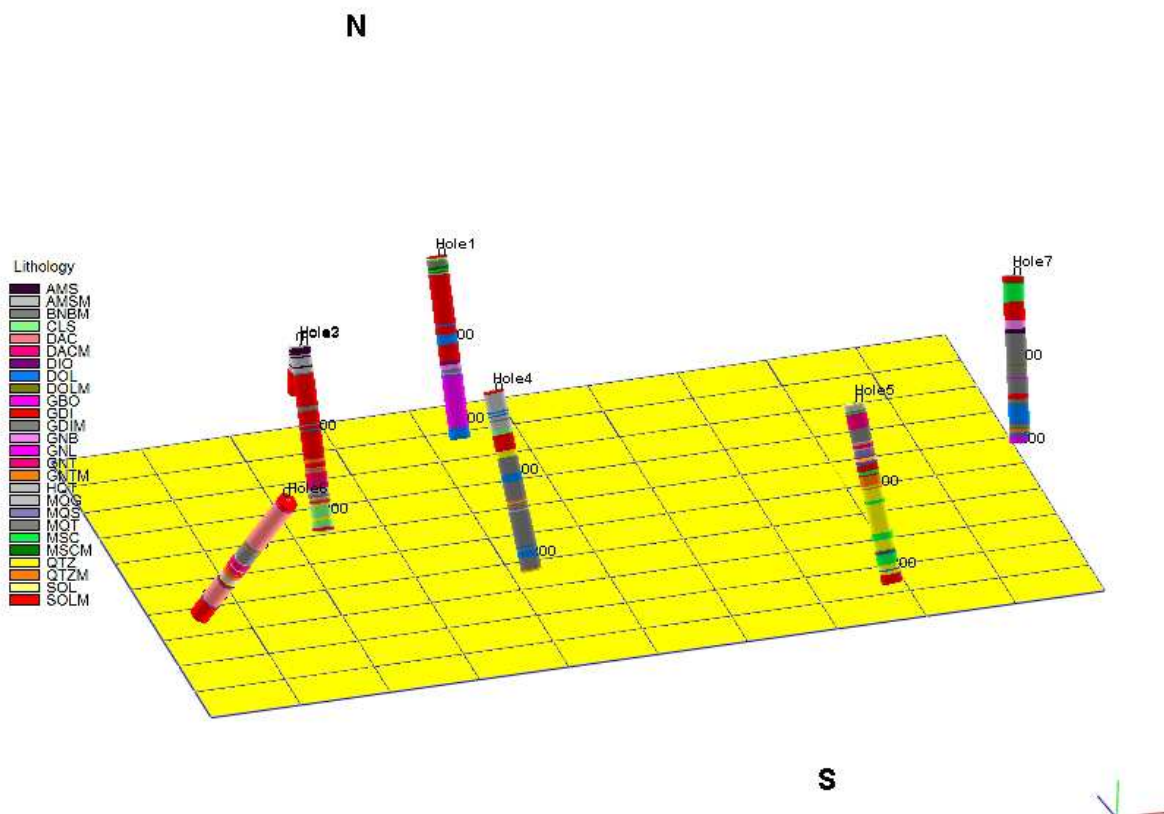


Figure 07: Réalisation 3D des sept(7) points de forage

Source : Rockworks 15

Cette réalisation nous aidera beaucoup à la compréhension des couches existantes dans notre zone d'étude et aussi de mieux comprendre le model final.

5- Modélisation 3D des couches de Tratramarina

Pour cette partie le logiciel ne peut pas prendre en compte les pendages des couches à cause de manque de puits.

Alors on ne peut pas se fier aux pendages des couches de ce modèle mais la réalisation va nous aider à connaître la forme de la minéralisation.

On va alors montrer dans cette réalisation, juste les couches minéralisées.

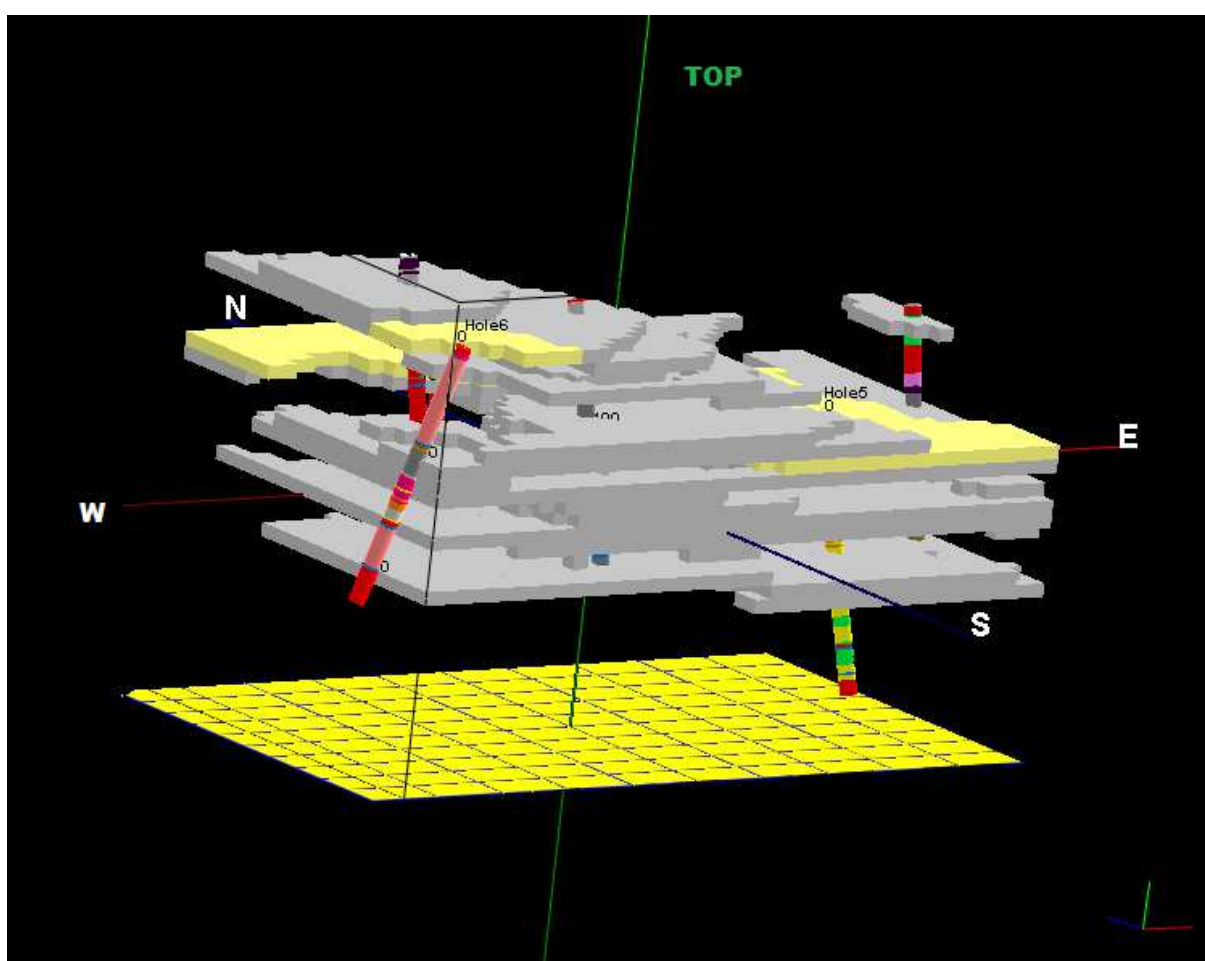


Figure 08: Modèle 3D des couches minéralisées

Source : Rockworks 15

Troisièmes Partie :

Proposition de techniques d'exploitation du
gisement de fer de Tratramarina

A cause du faible prix du minerai de fer, l'exploitation souterraine ne sera pas considérée tout au long de cette partie. C'est pour cela qu'on ne va pas entamer un rappel sur les méthodes d'exploitation souterraine.

Chapitre V : Quelques rappels théoriques

1. Rappel sur les méthodes d'exploitation a ciel ouvert

En parlant d'exploitation à ciel ouvert, il existe quatre méthodes :

- La méthode par tranches horizontales simultanées
- La méthode par fosse emboîtée
- La méthode par tranches horizontales successives
- La méthode mixte

1.1 Méthode par tranches horizontales simultanées

Cette méthode est une méthode d'exploitation dans laquelle la progression de l'excavation se fait par tranche horizontale; elle est conduite simultanément pour enlever en un seul passage la totalité de l'épaisseur verticale à exploiter [4].

Cette méthode est aussi appelée « découverte ».

Voici quelques exemples de type de gisement pour cette méthode : gisements alluvionnaires ou stratiformes subhorizontaux de grande extension (bauxite, phosphate, charbon,)

Seule cette méthode permet un remblayage continu de l'excavation à l'arrière de l'exploitation.

La figure 09 montre la représentation schématique de cette méthode :

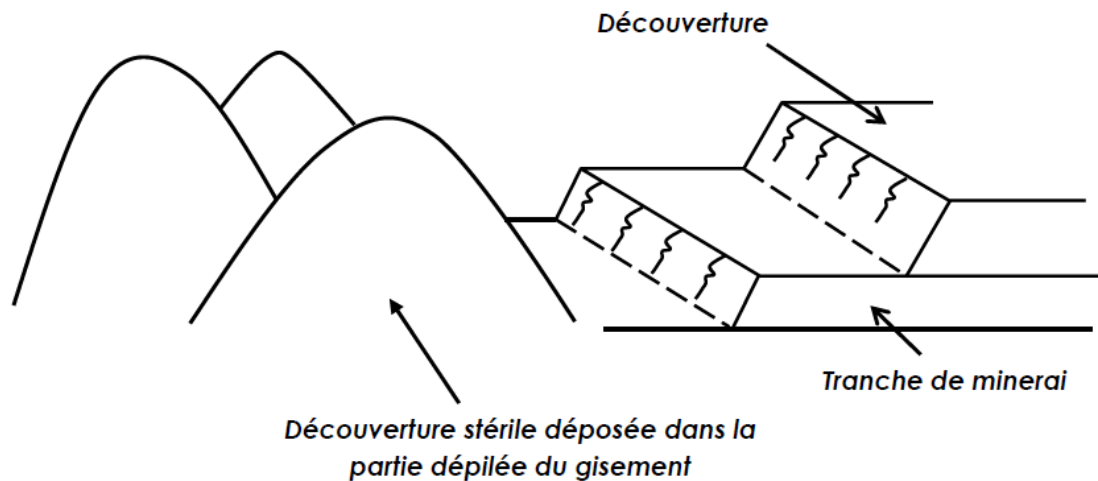


Figure 09: Méthode par tranches simultanées [4]

1.2 Méthode par fosse emboîtée

Pour cette méthode d'exploitation, la progression se fait par tranches inclinées pour passer d'une fosse à la suivante qui l'englobe.

Le point le plus bas du gisement exploitable n'est atteint en principe qu'à la fin de l'exploitation, ce qui interdit toute mise en place de remblai dans l'emprise de la fosse ultime. L'exploitation se développe verticalement en contre bas par fosses successives comportant du minerai et du stérile que l'on est obligé d'excaver et de déplacer au fur et à mesure de l'approfondissement des travaux d'exploitation [9].

On utilise cette méthode d'exploitation pour les gisements en amas ou en filons.



Figure 10: Gisement en amas [4]



Figure 11 : Gisement en filon [4]

La représentation schématique de cette méthode est comme suit :

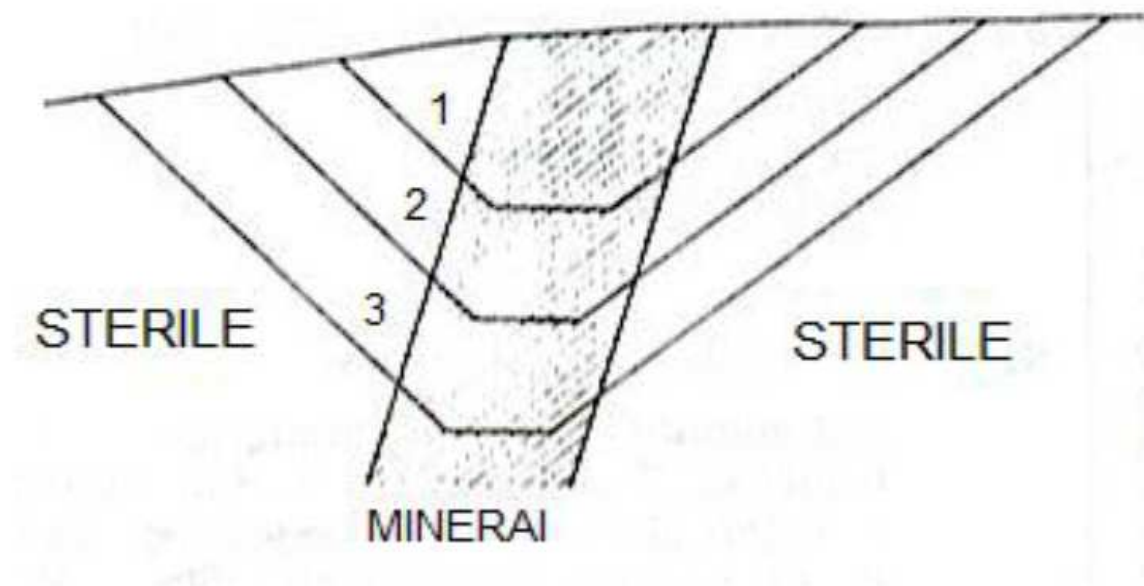


Figure 12: Méthode par fosse emboîtée [4]

1.3 Méthode par tranches horizontales successives

Cette méthode est une méthode d'exploitation dans laquelle la progression globalement descendante de l'excavation se fait par tranches horizontales conduites successivement jusqu'au contour final. Ce dernier dessine une fosse ou un entonnoir. Cette

méthode est aussi appelée méthode par tranchées successives, c'est-à-dire des terrains en place qui recouvrent la couche minéralisée qui sont déplacés et remis en arrière où on a déjà enlevé du minerai. [9]

On utilise cette méthode pour les types de gisement subhorizontaux ou en plateaux et gisement à flanc de coteau.

La figure 13 montre une représentation de cette méthode :

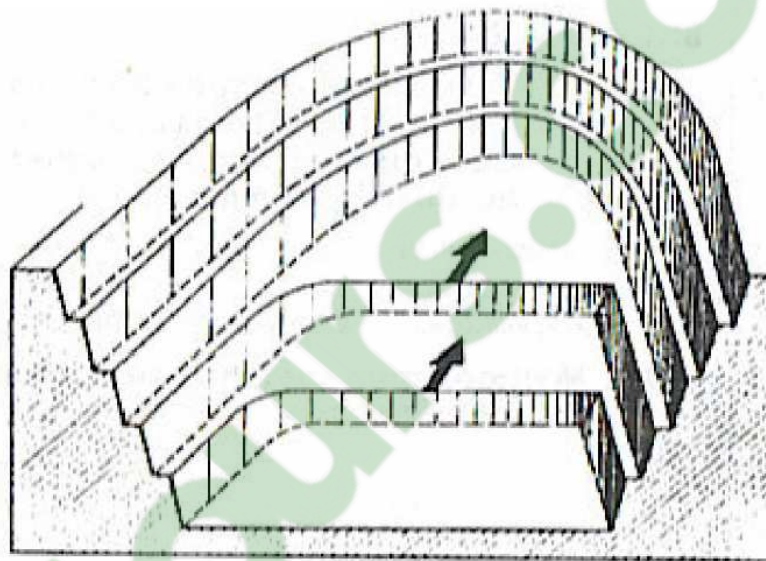


Figure 13: Méthode par tranches horizontales successives en pleine largeur [4]

La figure 14 présente le cas d'une exploitation à flanc de coteau

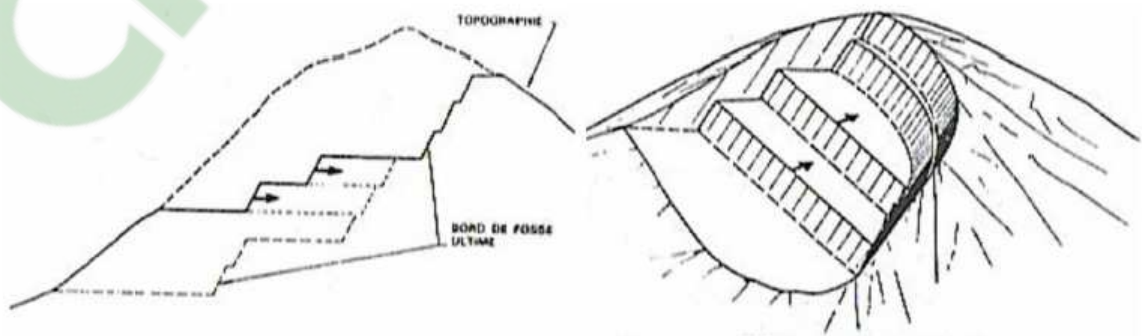


Figure 14: Méthode par tranches horizontales successives en pleine largeur pour une exploitation à flanc de coteau [4]

1.4 Méthode mixte

Une méthode d'exploitation à ciel ouvert est dite mixte quand elle combine au moins deux des trois méthodes précédentes. Elle est fréquente dans les gisements à morphologie complexe.

Par exemple, dans les exploitations des roches massives, on démarre par la méthode de fosses emboîtées pour accéder rapidement au gisement puis des tranchées successives ou cycliques suivant la forme du corps minéralisé [4].

2. Rappel sur les méthodes d'abattages

On appelle abattage l'opération qui consiste à détacher la roche à extraire du massif et à la réduire en éléments plus petits pour la manutentionner et les transporter.

2.1 Abattage à mains nues

Historiquement l'abattage était fait avec des outils à main, la rivelaine (pic à deux pointes à manche long et plat), le pic léger (pic à veine, pic lourd et pic d'avaleresse) ou encore le pied de biche. Le but du travail à la pointerolle est d'éclater la roche pour l'extraire. Le mineur frappe avec une massette (de 1 à 3 kg) sur la pointerolle appuyée contre la roche. Cette méthode n'est de nos jours utilisée que dans les carrières artisanales de matériaux de construction [14].

2.2 Abattage à outils individuels

C'est une amélioration de l'abattage à mains nues en utilisant des outils plus performant comme les marteaux piqueurs.



Photo 09 : Mineur au marteau piqueur [14]

2.3 Abattage mécanique : haveuse ou scie diamantée

La méthode est utilisée pour le découpage de blocs de formes bien définies dans un matériau non fissuré tel que le marbre ou le calcaire dur (les calcaires coralliens). Ce découpage est réalisé à l'aide d'une scie diamantée ou une haveuse pour garder la forme de la roche avant équarrissage. C'est une méthode utilisée surtout dans la fabrication de pierres ornementales [10].

2.4 Abattage par explosif

Cette méthode est la plus employée. L'abattage en masse de blocs à l'explosif concerne essentiellement les roches dures. Elle se fait dans des gradins prédécoupés par des trous de forages, sur dix mètres de paroi au maximum. Dans ces trous, on place les explosifs caractérisés par une forte puissance et l'explosion interne développe une pression de gaz pouvant dépasser quelques centaines de milliers de bars.

Lors de l'explosion des charges, les fissures créées par la multiplication des forages se rejoignent facilement et rapidement, induisant ainsi un basculement des blocs [3].

Chapitre VI : Modèle proposé et choix de méthode d'exploitation

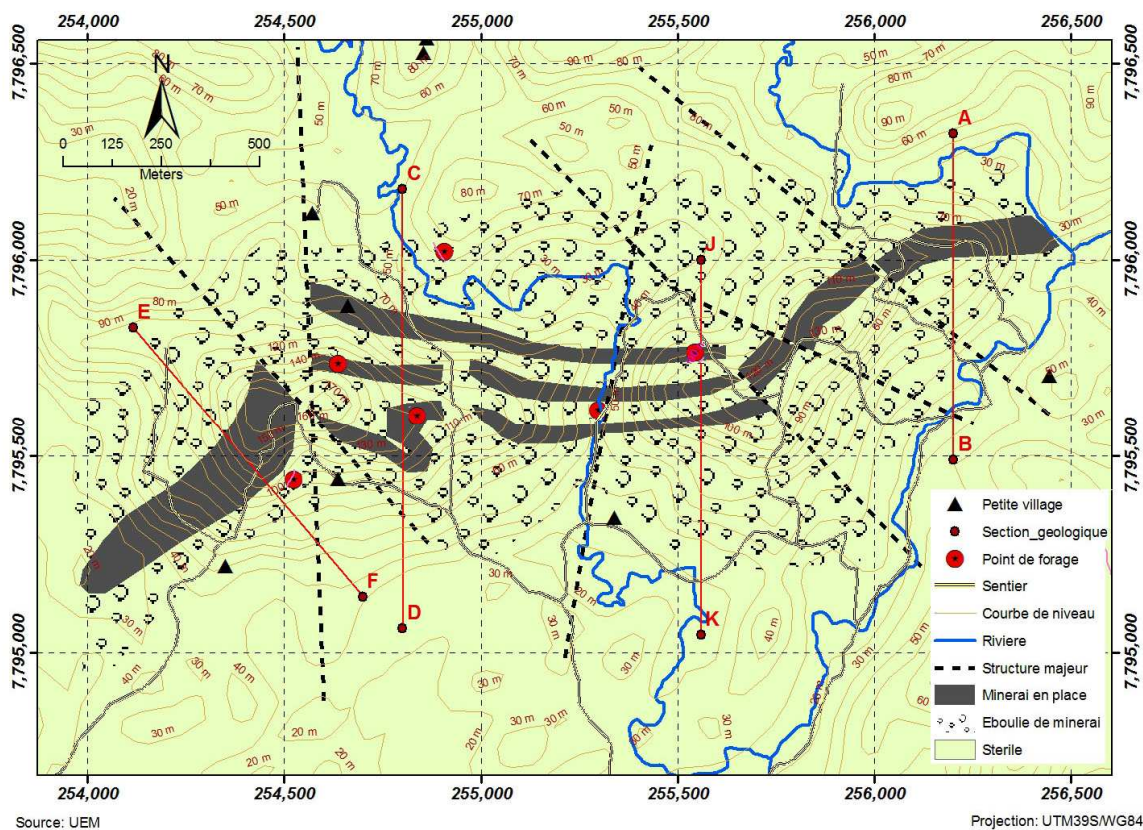
1. Proposition du modèle du gisement de fer de Tratramarina

Avant toute chose, il est impératif dans notre étude de bien définir la méthode d'exploitation. La détermination de cette dernière se fait par rapport à la morphologie du gisement.

Des essais de modélisation ont été faits durant notre stage au sein de la société, à cause du manque de nombre de forage, le modèle donné par les logiciels de traitement de données n'est pas très fiable vis-à-vis de ce manque.

On a alors décidé d'utiliser ce modèle (voir Annexe I), fait des interprétations avec la carte géologique (Carte 13) pour faire des coupes géologiques suivant les quatre profils choisis.

Clicours.COM



Carte14 : Carte géologique simplifiée montrant les coupes

Source : UEM

Les coupes géologiques des figures 15 à 18 mettent en évidence la forme de nos gisements.

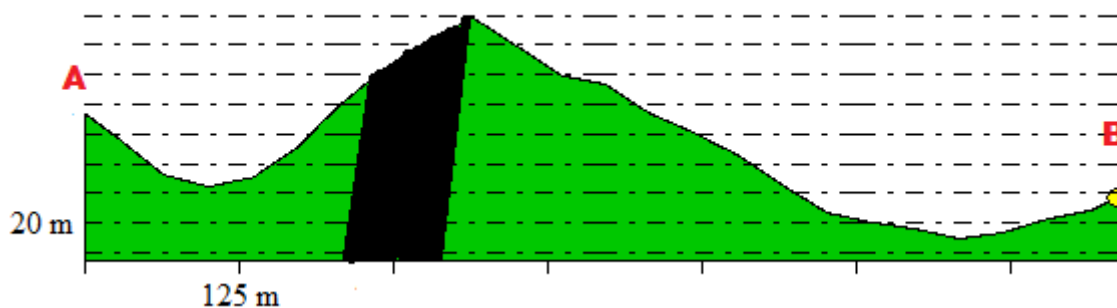


Figure 15 : Profil A-B

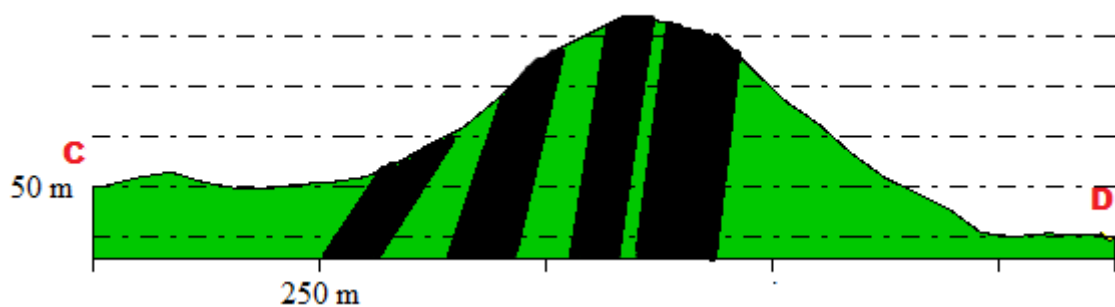


Figure 16 : Profil C-D

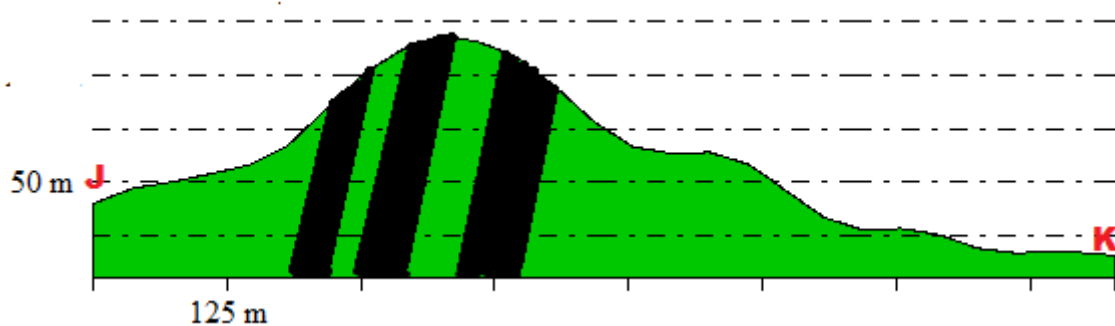


Figure 17 : Profil J-K

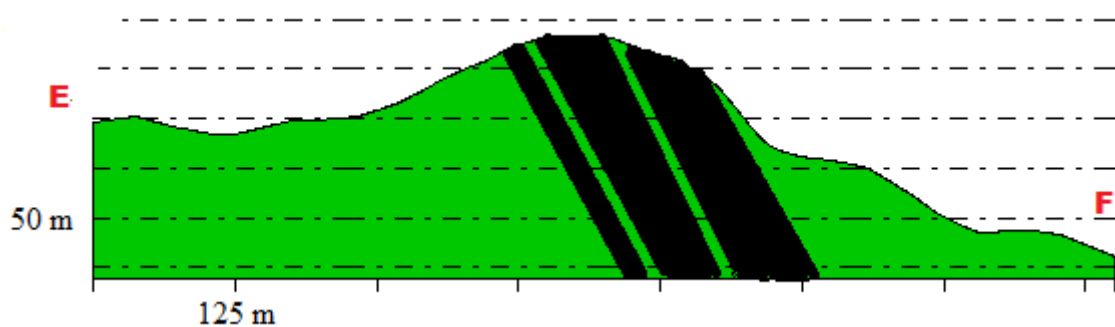


Figure 18 : Profil E-F

2. Choix de la méthode d'exploitation

La forme du gisement ne nous laisse pas de choix que d'utiliser la méthode d'exploitation à ciel ouvert par fosses emboîtées. La figure 19 représente la méthode.

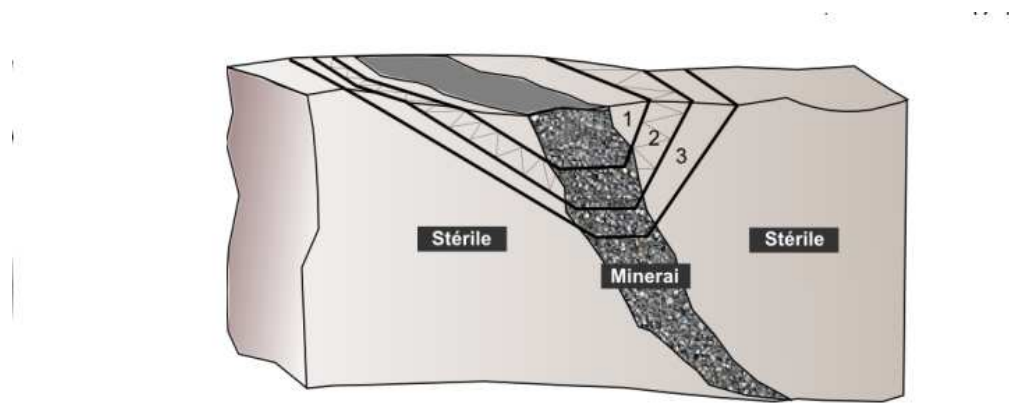


Figure 19 : Représentation de la méthode par fosse emboîtée avec un graphe de tonnage [4]

3. Paramètres de plan de tir

Les paramètres de plan de tir se résument par les calculs de banquette, espacement ou intervalle et hauteur ou profondeur de trou de mine.

La figure suivante nous met en évidence ces paramètres.

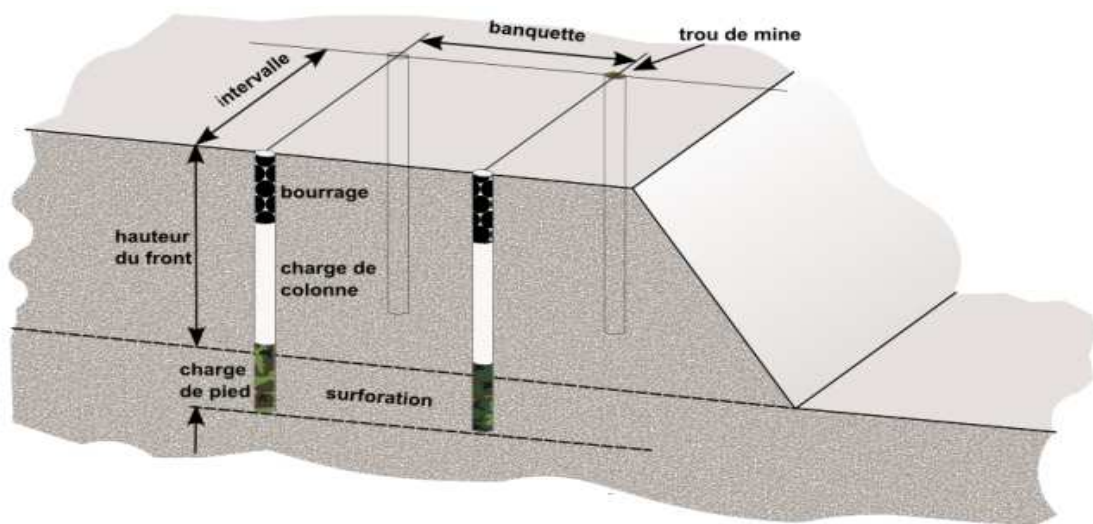


Figure 20 : Paramètres géométriques d'un plan de tir [15]

Si on connaît les dimensions des blocs de roches abattues, on peut établir un schéma de tir adapté au contexte local de l'exploitation. La définition du mode de tir se

fait en précisant : les conditions de foration (diamètre du forage, technique de forage, maillage de foration, profondeur)

Les conditions de foration incluent les éléments suivants :

3.1 Diamètre du trou (D)

Le diamètre de foration doit être adapté à la nature de la roche et à la hauteur du massif. Le mémento de Grimaud propose une relation entre le diamètre de foration et la profondeur de foration L_f :

$$D = K \times \varphi \times \sqrt[3]{L_f} \quad [10]$$

D : Diamètre du trou [mm]

K = 37 = coefficient standard

φ : Coefficient de dureté de la roche

L_f : Profondeur de foration [m]

Tableau 07: Tableau des coefficients de dureté des roches [3]

Roche	Tendre	Semi-dure	Dure	Très dure
φ	1	1.02	1.06	1.26

3.2 Maillage : banquette (B) et espacement (E)

3.2.1 Banquette : B

C'est la distance que l'on doit garder entre les rangées lors du tir de mine. Elle est évaluée avec la formule de LANGEFORS :

$$B = K_b \times D \quad [10]$$

K_b : est une constante dont la détermination relève encore à ce jour de l'expérience pratique et aucune méthodologie générale ne peut pas être appliquée. Elle peut varier entre 20 et 40, voire plus [10]

Mais on peut calculer la banquette à partir d'une autre formule :

$$\mathbf{B=4 \times d} \text{ [10]}$$

d : diagonale moyen des roches abattue

3.2.2 Espacement : E

La distance entre les trous d'une même rangée est appelée espacement. Elle peut être calculée par la formule suivante :

$$\mathbf{E= (1\grave{a}1,5) B} \text{ [10]}$$

3.2.3 Hauteur des gradins

La hauteur des gradins H est calculée en fonction du diamètre de foration, selon la formule

$$\mathbf{H=150 \times D} \quad [10]$$

En pratique, H ne doit pas dépasser 18 m pour ne pas avoir une trop grande déviation du forage par rapport à la verticale.

3.2.4 Longueur totale du trou : Lf

La longueur du trou est déterminée en fonction de la hauteur de gradin : H, de la surprofondeur : s (qui sera déterminée plus bas) et de l'angle de foration : α selon l'équation :

$$\mathbf{Lf = \frac{H}{\cos\alpha} + s} \quad [10]$$

3.2.5 Surprofondeur : s

Afin d'améliorer les résultats d'un tir, il est nécessaire de creuser en dessous de la hauteur de gradin calculée. Ce petit écart est aussi appelé surforation, donnée par :

$$s = (0,15 \text{ à } 0,3) B \quad [16]$$

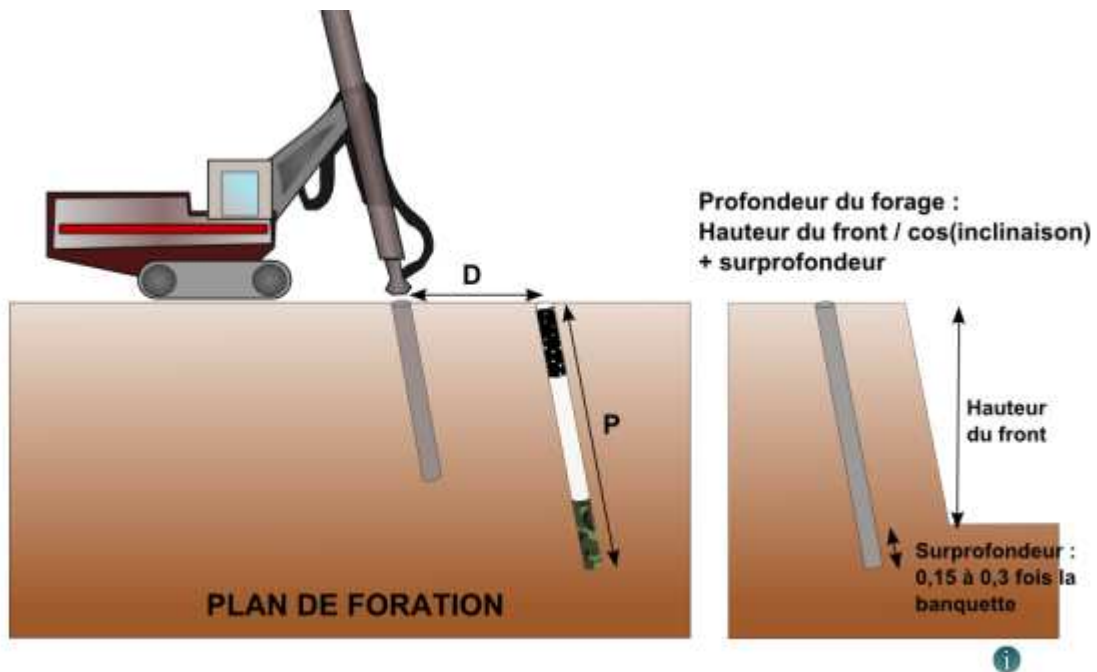


Figure 21 : Plan de foration selon Pascal MONTAGNEUX [15]

3.2.6 Bourrage

Le bourrage est essentiel pour que les énergies de choc ou de gaz libérées par les explosifs ne s'échappent pas à l'extérieur du trou. Il existe différents types de matériaux de bourrage qui dépendent du type de terrain [10]. On peut utiliser :

- de l'argile
- des sachets de sables ou de minerais
- du sable tout simplement

- des gravillons (de préférence 5 /15) pour qu'il y ait le minimum de pores entre les gravillons
- des bourres spéciales dites « bourre à l'eau ».

La longueur du bourrage est égale à :

$$b = B = \frac{1}{3}H \quad [10]$$

Avec b : longueur du bourrage

H : hauteur de gradin

B : banquettes

Chapitre VII : Proposition de méthode et technique d'exploitation du gisement de fer de Tratramarina selon les instructions de l'UEM

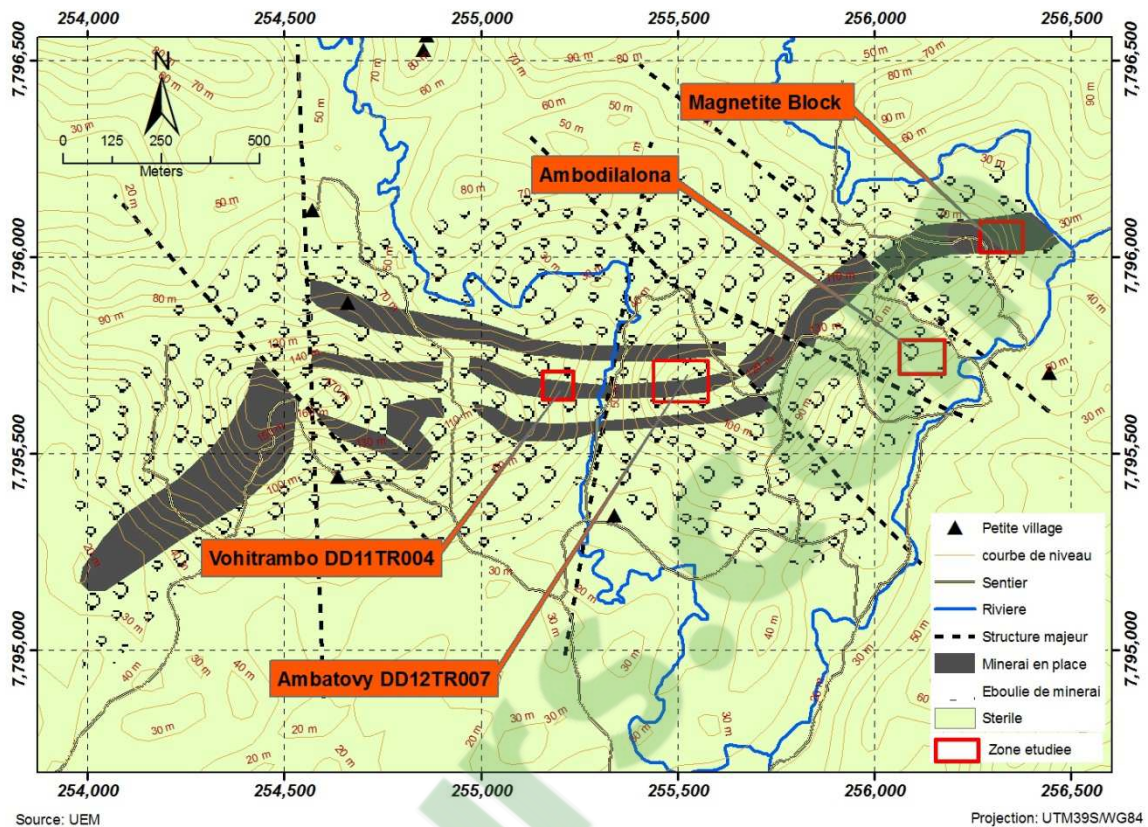
D'après les résultats des études précédents appuyés par notre observation sur le terrain, le minerai de fer de Tratramarina se présente sous forme de couches sub-verticales (inclinés d'environ 75° vers le nord ou nord-ouest) encaissés dans des roches métamorphiques. Ces dernières ont été immiscuées par des roches basiques (Cf figure 17). Cependant, en surface jusqu'à une certaine profondeur, ces roches ont subi une altération, ainsi, le minerai de fer se présente actuellement sous quatre formes de la surface jusqu'en profondeur : minerais fortement altérés en surface, éboulis de minerais en surface, minerais en affleurement et minerais enfouis en profondeur.

Dans cette partie, nous allons essayer d'avancer une proposition pour chaque forme de minéralisation pour que la société UEM puisse avoir déjà une idée des méthodes et techniques d'exploitation à utiliser lors de l'exploitation de ce gisement de fer.

Elle nous a demandé d'étudier les quatre endroits et formes de minéralisation afin de prévoir une étude plus approfondie des méthodes d'exploitation.

Notons que pour tous nos calculs, on posera H=12m. Cette valeur a été proposée par la société.

La carte 15 montre les quatre endroits d'étude exigés par l'UEM



Carte 15 : Carte de localisation des zones à étudier proposées par l'UEM

Source : UEM (2016)

1. Minerais fortement altérées en surface : cas de Vohitrambo au DD11TR004 (UTM39S 255185/ 7795677)

1.1 Nature et caractéristique du minéral

Cette partie du gisement à Vohitrambo, au niveau de point de forage DD11TR004. Ce type de minéral caractérise la minéralisation jusqu'à 12 m de profondeur. Il est formé par la succession de couches hématiques et d'hématite fortement altérée. C'est une partie assez humide avec un pourcentage de 20 à 30% en humidité.

Les photos 10 et 11 nous montrent les quelques portions de carottes du sondage DD11TR004



Photo10 : Carottes de forage du DD11TR004 0 à 4 m de profondeur

Source : UEM (2011)



Photo 11 : Carottes de forage du DD11TROO4 entre 11 et 15 m de profondeur

Source : UEM (2011)

La photo 11 montre que l'aspect du minerais change et devient compact à partir de la 2^{ème} carotte c'est-à-dire à partir de 12 m de profondeur.

1.2 Méthode d'abattage

A cause de la profondeur et dureté faibles de cette partie du gisement, la méthode d'abattage la plus adaptée est l'abattage mécanique.

1.3 Matériels et Techniques

L'utilisation de pelles mécaniques et de chargeuses suffit pour l'exploitation de cette partie. En plus, la situation permet le déplacement d'engin sans faire d'étude de stabilité mais il suffit de faire des petits aménagements de surface.

L'exploitation se fera en suivant le plan d'une exploitation par fosse emboîtée, c'est à dire en terminant par la partie la plus en profondeur tout en gardant le rythme jusqu' à la profondeur de 11m.

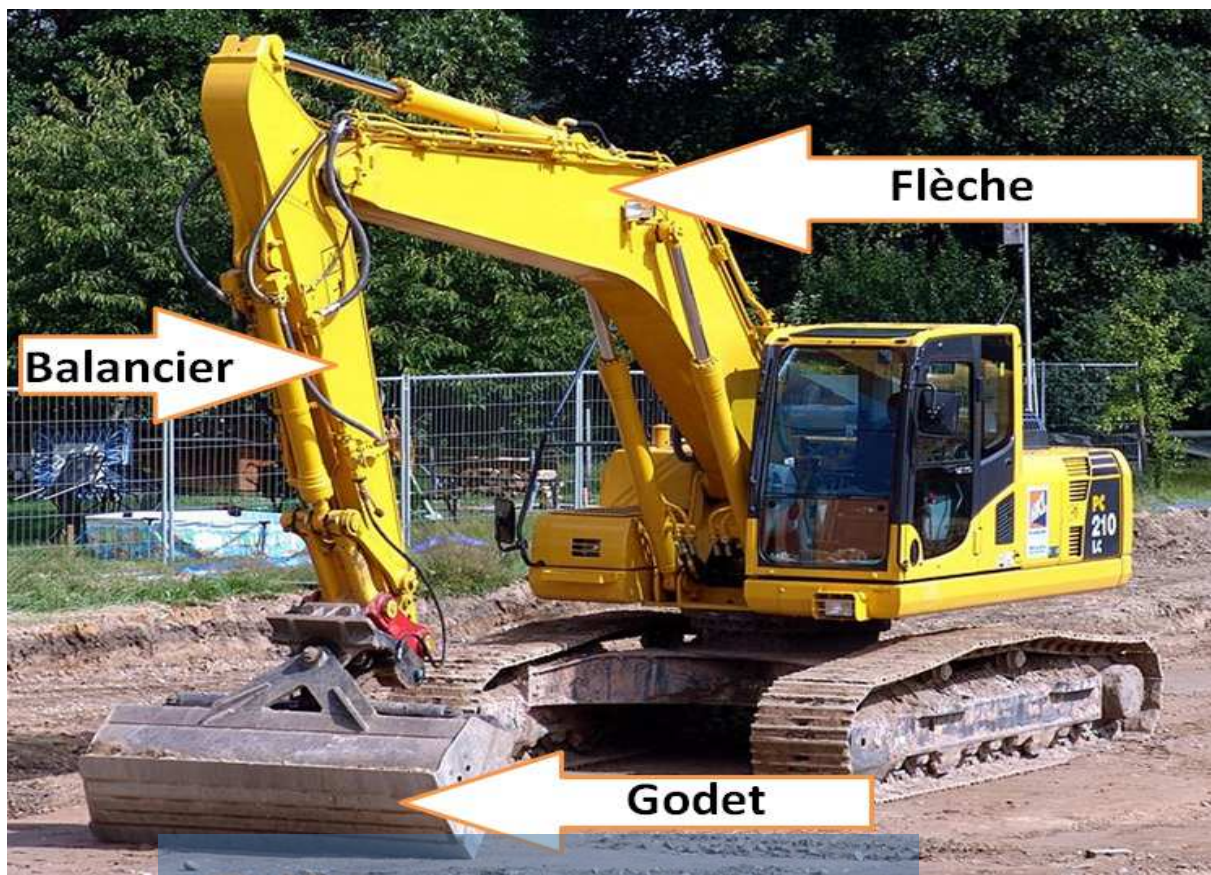


Photo 12 : Pelle mécanique [16]

2. Eboulis de minerais en surface : cas d'Ambodilalona (UTM39S 256123 / 7795754)

2.1 Nature et caractéristique du minerais

Ces éboulis de minerais de quartzite à magnétite s'éparpillent presque dans toute notre zone d'étude. Mais il prédomine à Ambodilalona.

On a constaté pendant notre descente sur terrain que ce sont des roches plus ou moins fraîches, on peut en conclure que ce sont des roches dures. Les dimensions de ces éboulis sont très variées et peuvent aller jusqu'à 20m³.



Photo 13 : Les éboulis d'Ambodilalona

Source : UEM

2.2 Méthode d'abattage

Pour ce cas de gisement, l'exploitation va se faire en utilisant des méthodes mécaniques parce que les roches sont dures et déjà arrachées du sol. Elles sont alors faciles à charger dans des engins de transport.

2.3 Matériels et technique

Puisqu'on a plus besoin d'arracher ces éboulis du sol, ce type de minerai va directement être chargé dans les engins de transport. Deux cas peuvent se produire :

- Pour les minerais de granulométrie ≤ 750 mm de section, on doit les acheminer jusqu'à l'usine de traitement.
- Pour les minerais de granulométrie > 750 mm de section on doit essayer de réduire le volume afin d'avoir une granulométrie plus ou moins identique.

Dans ce cas une zone de tri s'impose.

Ainsi, pour les blocs de roche supérieurs à la granulométrie exigée, on propose l'utilisation des engins comme les brises roches afin d'avoir des éboulis inférieurs à 750mm. Les éboulis deviennent uniformes dans la zone de dépôt.

L'utilisation d'engin excavateur-chargeur s'impose pour le chargement afin d'atteindre l'usine de traitement.



Photo 14 : Excavateur chargeur [16]



Photo 15 : Brise roche [16]

3. Minerais en place en affleurement : cas de Magnétite block (UTM39S 256350 / 7796059)

3.1 Nature et caractéristique du minéral

La nature de la partie du gisement en affleurement est le quartzite à magnétite. Cette partie est fraîche, très dure et homogène.

La taille de l'affleurement est de l'ordre de 200 000 m³.



Photo 16 : Bloc de quartzite à magnétite

Source : UEM (2011)



Photo 17 : Pic du Bloc de quartzite à magnétite

Source : UEM (2017)

3.2 Méthode d'exploitation

D'après la nature et les caractéristiques de cette partie du minerai, on propose comme méthode d'abattage, l'utilisation des explosifs à cause de la grande taille et de la forte dureté de la roche.

3.3 Matériels et technique

Pour définir le plan de tir, il faut calculer les paramètres suivants:

- Calcul de la banquette :

Pour notre usine de traitement, on va utiliser un concasseur avec un diamètre de 750mm.

$$B=4 \times d$$

$$B=4 \times 750$$

$$B= 3000 \text{ mm}$$

$$B=3\text{m}$$

Avec d : diamètre exigé de la roche

B : banquette

- Calcul de l'espacement

Pour des enrochements de 800mm, on utilise la formule $E=0,8 \times B$ [5] alors pour notre cas on a une granulométrie aux environs de 750mm ; alors on va utiliser la formule :

$$E=0,9 \times B$$

$$E=0,9 \times 3$$

$$E=2,7\text{m}$$

Avec E : espacement

- Diamètre du trou de mines

On a la formule $H=150D$

$$D=\frac{H}{150}$$

$$D=\frac{12000}{150}$$

$$D=80\text{mm}$$

- Longueur totale de la foration

$$L_f = \left(\frac{D}{k\phi}\right)^3$$

$$L_f = \left(\frac{80}{37 \times 1,06}\right)^3$$

$$L_f = 8,49\text{m}$$

- La surprofondeur

$$s = 0,15 B$$

$$s = 0,15 \times 3$$

$$s = 0,45\text{m}$$

- Le bourrage

$$b = \frac{1}{3} H$$

$$b = \frac{1}{3} 12$$

$$b = 4\text{m}$$

Le volume de roche abattue en un tir d'une maille est alors :

$$V_m = B \times E \times H$$

$$V_m = 3 \times 2,7 \times 12$$

$$V_m = 97,2\text{m}^3$$

V_m : Le volume de roche abattue en un tir d'une maille

La granulométrie des roches abattues après le tir doit être inférieure à 750mm.

4. Minerais enfouis dans le sol : cas d'Ambatovy au DD11TR007 (UTM 39S 255500/ 7795700)

4.1 Nature et caractéristiques du minerai

Le gisement d'Ambatovy est caractérisé par la succession de plusieurs couches telles que :

- le sol hématique
- quartzite à magnétite fortement altéré jusqu'à 10m
- schiste fortement altéré jusqu'à 50m
- minerai de quartzite à magnétite homogène et dure jusqu'à 190m caractérisent (Cf figure 16).

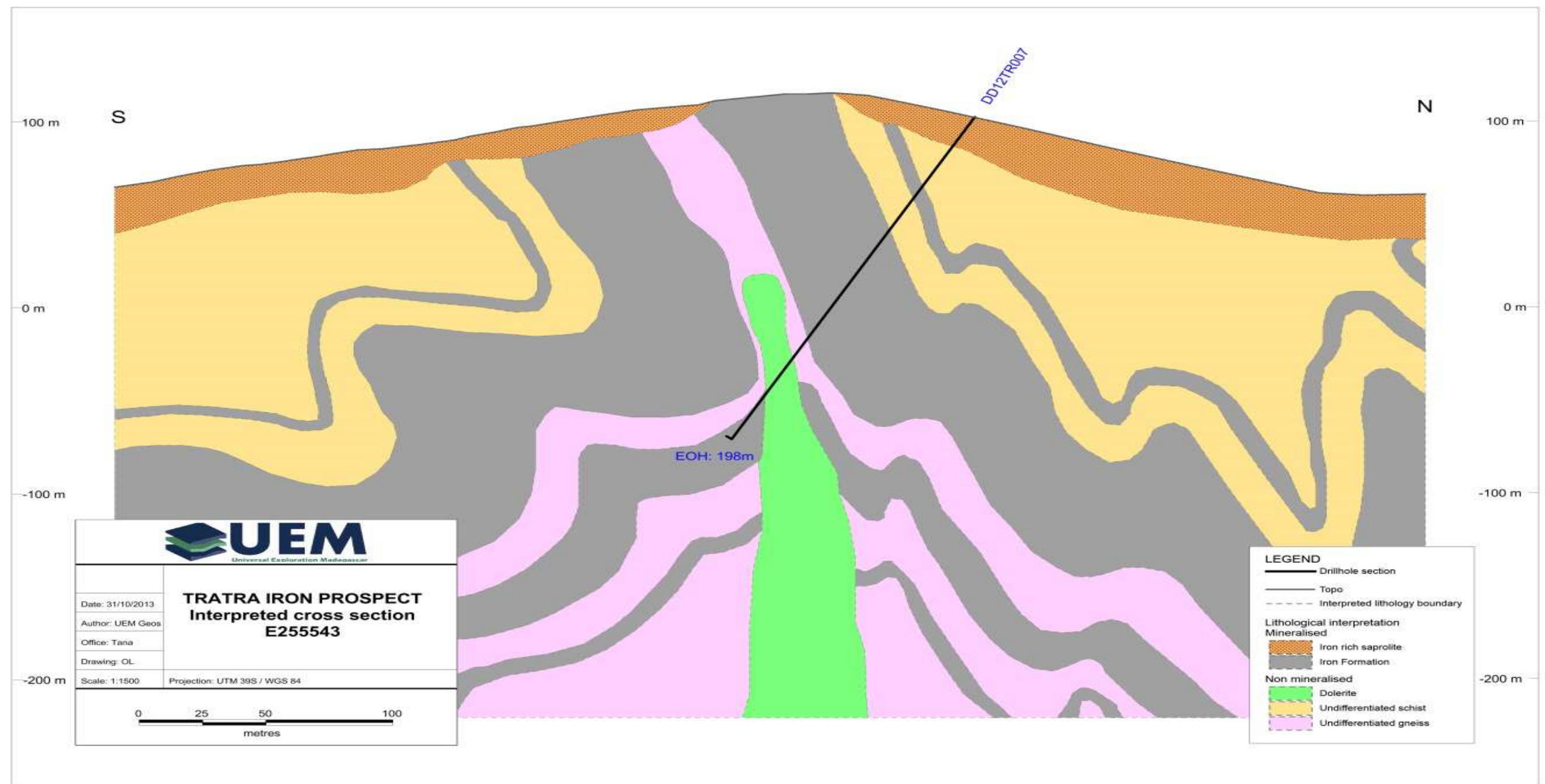


Figure 22 : Coupe géologique d'Ambatovy au niveau de sondage DD12TR007

Source : UEM (2015)

4.2 Méthode d'exploitation proposée

La couche la plus importante en matière de teneur se trouve à partir de 50 m c'est-à-dire le quartzite à magnétite. Pour atteindre cette profondeur, la méthode par fosse emboîtée s'impose.

4.3 Matériels et techniques

En regardant les résultats géochimiques des carottes de DD11TR007, on admet que c'est dans cette zone où il y a le minerai de quartzite à magnétite est le plus en profondeur.

On propose alors pour cette zone la finition de la fosse ultime pour l'exploitation en fosse emboîtée du gisement de Fer de Tratramarina.

Pour ce faire on commencera par l'utilisation de pelles mécaniques, tout en respectant les hauteurs de gradins, angles de talus et dimensions de banquettes de travail.

Faute de données exploitables, dans ce présent mémoire on ne peut pas préciser ces différentes caractéristiques de l'exploitation.

Chapitre VIII : Méthode de traitement

Le gisement de Fer de Tratramarina a une teneur moyenne de 36%. Cette qualité de minerai nécessite un traitement afin d'avoir au moins une teneur de 65% pour pouvoir concurrencer avec les autres minerais sur le marché.

Des essais de traitement étaient déjà effectués pendant les phases d'exploration. La granulométrie favorable pour le traitement de ce type de minerai était de 125 μ (Cf Tableau 05). A l'entrée de l'usine de traitement, la dimension des enrochements sera de 750mm.

Le traitement proprement dit se fait en deux étapes :

Clicours.COM

1. Etape de concassage et broyage

Cette étape est une étape de traitement ayant pour objectif de réduire la granulométrie du minerai afin de faciliter le détachement de la magnétite avec les autres composants de la roche.

La figure 23 montre la chaîne de concassage et broyage.

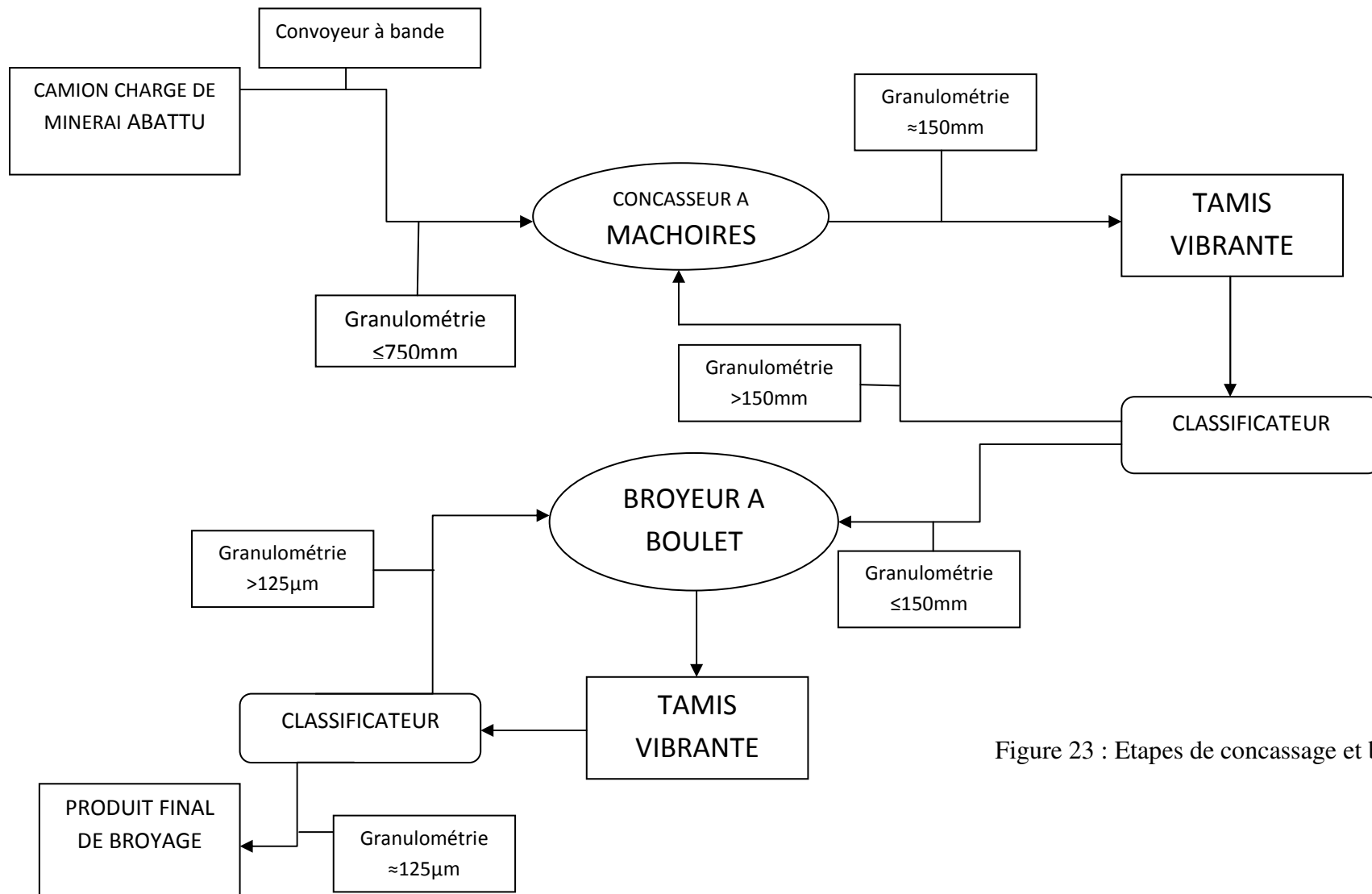


Figure 23 : Etapes de concassage et broyage

2. Etapes de séparation magnétique

Dans cette étape, on utilise trois séparateurs magnétiques à tambour.

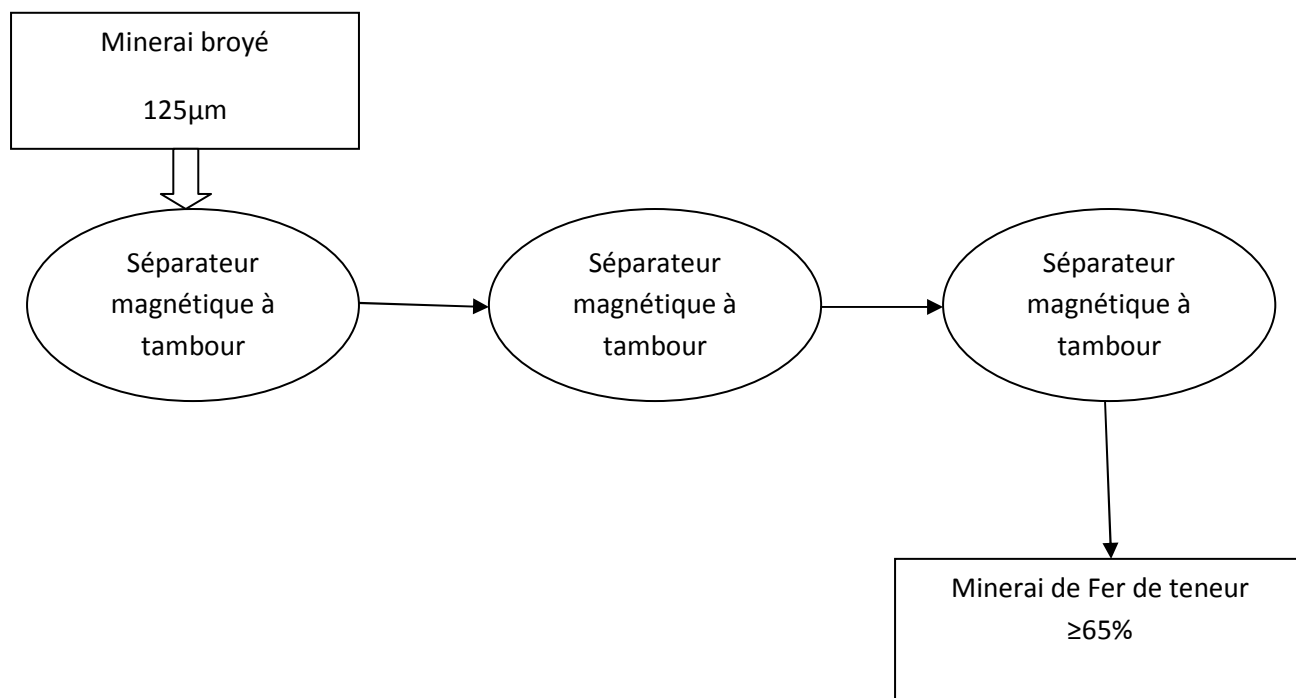


Figure24 : Etapes de séparation magnétique

CONCLUSION GENERALE

Le présent mémoire nous a informés sur la situation du gisement de fer de Tratramarina. La formation dominante de ce gisement est le quartzite à magnétite, elle a une forme plus ou moins sub-verticale. En effet, l'étude a permis de caractériser la méthode d'exploitation de ce gisement par fosse emboîtée ; mais les méthodes d'abattage utilisées seront différentes selon la nature et la profondeur des roches.

Les études effectuées concernant les caractéristiques physico-chimiques du minerai nous montrent l'exactitude du choix d'enrichissement par la méthode magnétique précédée d'un concassage-broyage.

L'estimation de réserve qu'on a vue dans notre étude nous laisse dire que c'est une des plus importantes réserves de minerai de fer à Madagascar, et son plus grand point fort est la facilité d'accès.

La réalisation de ce projet impliquera une grande croissance économique dans cette région et peut être même de toute cette côte Est de Madagascar.

Actuellement, le grand problème de ce projet est l'attente de renouvellement des permis afin de pouvoir avancer les recherches et avoir plus de précision concernant ce gisement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ANDRIAMANANTENA T. A. O. (2011). Etude cartographique de la minéralisation en fer de Tratramarina-Mahanoro (Madagascar pour l'emplacement des points de forage).Mémoire de fin d'études. Ingéniorat. ASJA. 62p
- [2] ANDRIANIAINA M. E. (2011). Contribution à l'étude métallogénique du gisement de fer de Tratramarina-Mahanoro. Mémoire de fin d'études. Ingéniorat.ASJA.62p
- [3] COULOMBEZ Cécile (2007). Analyse et optimisation des pratiques d'abattage à l'explosif dans une carrière de granulats. Rapport d'option.111p
- [4] DAMY Clotaire. Cours « Exploitation à ciel ouvert » 3^{ème} années MINES ESPA
- [5] KAMULETE MUDIANGAN. Cours d'exploitation à ciel ouvert. Université de Lumbumbashi, Faculté Polytechnique, Département des Mines, 254p
- [6] RAHERIMALALA S. C. (2016). Etude de l'abattage à l'explosif pour la production d'embrochements dans un massif précontraint. Mémoire de fin d'études. Ingéniorat.ESPA.102p
- [7] RAMBININTSOATIANIAVO R. H. (2005). Contribution à l'étude de l'exploitation des gisements de nickel-cobalt : cas du projet d'Ambatovy-Analamay. Mémoire de fin d'études Ingéniorat.ESPA.86p
- [8] RASETRARISON M. T. (2010) Monographie des gisements de fer de Madagascar. Mémoire DEA.ESPA.92p
- [9] RASOAMANANJARA M. M. (2012). Etude pétrographique des roches métamorphiques à Tratramarina. Mémoire de fin d'études Ingéniorat ASJA.78p
- [10] ROBUSTIN. Cours « Abattage et explosifs » 3^{ème} années MINES ESPA
- [11] UEM, 2012. Tratramarina Project reports
- [12]ZAFIDAHY D. (2014). Contribution a l'étude qualitative de la minéralisation en fer de Tratramarina-Mahanoro : cas des quartzites à magnétite. Mémoire de fin d'études Ingéniorat. ESPA.84p

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

- [13] Commerce internationale <http://www.universalis.fr/encyclopedie/fer-minerais-de-fer/5-le-commerce-international/> consultée le 10 Octobre 2016
- [14] Les méthodes d'abattage https://fr.wikipedia.org/wiki/Abattage_minier consultée le 17 Mars 2017
- [15] Production mondiale de minerai de fer <http://www.planetoscope.com/matieres-premieres/178-production-mondiale-de-minerai-de-fer.html> consultée le 19 Janvier 2017
- [16] Science de l'ingénieur http://www.cocorel.com/ressources/unt/unit/sciences-de-l-ingenieur/398-RMDI/RMDI5/co/grain2_3_1.html consultée 20 Janvier 2017
- [17] Les pelles mécaniques https://fr.wikipedia.org/wiki/Pelle_m%C3%A9canique_hydraulique consultée le 20 Janvier 2017
- [18] Chaîne de production de magnétite http://www.xinhaimininggroup.com/solution_3.html consultée le 16 Janvier 2017
- [19] Equipements d'enrichissement de la magnétite <http://fr.miningcrushing.com/projet/equipements-enrichissement-de-magnetite.html> consultée le 20 Janvier 2017
- [20] Minerai de fer https://fr.wikipedia.org/wiki/Minerai_de_fer consulté le 11 Juillet 2016
- [21] Tableau périodique des éléments : <http://labyrinth.a.l.f.unblog.fr/files/2007/12/tableaupriodique.jpg> consulté le 27 Février 2017
- [22] Davis Tube Tester <https://www.sepor.com/davis-tube-tester/> consulté le 26 Février 2017

Annexe I : Tableau des calculs par bande pour l'estimation de réserve :

BAND ID	Intervalle de calcul	Epaisseur moyenne en mètre	Longueur en mètre	Profondeur en mètre	Densité du minerai	Reserve en Tonne
Band 1	(-25) - 0	90	747	25	3,3	5 546 475
	0 - 25	90	747	25	3,3	5 546 475
	25 - 50	90	530	25	3,3	3 935 250
	50 - 75	90	475	25	3,3	3 526 875
	75 - 100	90	375	25	3,3	2 784 375
	100 - 125	90	260	25	3,3	1 930 500
	125 - 150	90	250	25	3,3	1 856 250
	150 - 175	90	125	25	3,3	928 125
	Sous total					26 054 325
Band 2	(-25) - 0	30	1088	25	3,3	2 692 800
	0 - 40	30	1088	40	3,3	4 308 480
	40 - 50	30	1088	10	3,3	1 077 120
	50 - 60	30	888	10	3,3	879 120
	60 - 70	30	558	10	3,3	552 420
	70 - 80	30	400	10	3,3	396 000
	80 - 90	30	250	10	3,3	247 500
	Sous total					10 153 440

Band 3	(-25) - 0	30	331	25	3,3	819 225
	0 - 90	30	331	90	3,3	2 949 210
	90 - 100	30	284	10	3,3	281 160
	100 - 110	30	210	10	3,3	207 900
	110 - 120	30	180	10	3,3	178 200
	120 - 130	30	150	10	3,3	148 500
	130 - 140	30	104	10	3,3	102 960
	140 - 150	30	5	60	3,3	29 700
	Sous total					4 716 855
Band 4	(-25) - 0	50	517	25	3,3	2 132 625
	0 - 110	50	517	110	3,3	9 383 550
	110 - 120	50	450	10	3,3	742 500
	120 - 130	50	332	10	3,3	547 800
	130 - 140	50	180	10	3,3	297 000
	140 - 150	50	85	10	3,3	140 250
	150 - 160	50	27	10	3,3	44 550
	Sous total					13 288 275
Band 5	(-25) - 0	35	763	25	3,3	2 203 163
	0 - 25	35	763	25	3,3	2 203 163
	25 - 50	35	710	25	3,3	2 050 125
	50 - 75	35	550	25	3,3	1 588 125
	75 - 100	35	351	25	3,3	1 013 513
	100 - 125	35	142	25	3,3	410 025
	Sous total					9 468 113

Band 6	(-25) - 0	37	710	25	3,3	2 167 275
	0 - 25	37	710	25	3,3	2 167 275
	25 - 50	37	660	25	3,3	2 014 650
	50 - 75	37	530	25	3,3	1 617 825
	75 - 100	37	290	25	3,3	885 225
	100 - 115	37	211	15	3,3	386 447
	Sous total					9 238 697
Band 7	(-25) - 0	110	879	25	3,3	7 976 925
	0 - 25	110	879	25	3,3	7 976 925
	25 - 50	110	750	25	3,3	6 806 250
	50 - 75	110	750	25	3,3	6 806 250
	75 - 100	110	585	25	3,3	5 308 875
	100 - 125	110	360	25	3,3	3 267 000
	125 - 150	110	65	25	3,3	589 875
	Sous total					38 732 100

Annexe II : Types des concasseurs et broyeurs

Tableau 1 – Caractéristiques des appareils de fragmentation grossière (1)				
Appareils	Dimension maximale admise (mm)	Rapports de réduction normaux	Capacité maximale (t/h)	Énergie consommée par tonne traitée (kWh)
Concasseurs à mâchoires	2 500	4/1 à 6/1	4 000	0,4 à 2
Concasseurs giratoires primaires	1 600	4/1 à 5/1	7 000	0,25 à 0,75
Concasseurs giratoires secondaires	750	5/1 à 8/1	3 000	0,5 à 1
Concasseurs à cône tête standard	450	5/1 à 8/1	3 000	0,75 à 1,5
Concasseurs à cône tête courte	175	4/1 à 7/1	1 500	1,5 à 2
Concasseurs à cylindres cannelés	0,05 à 0,6 $\varnothing_c$	3/1 à 4/1	2 000	0,3 à 0,75
Concasseurs à percussion (percuteurs rigides)	2 000	8/1 à 15/1	1 200	0,2 à 0,6
Concasseurs à marteaux articulés	0,1 à 0,8 $\varnothing_r$	10/1 à 30/1	1 200	0,2 à 0,6
Émotteurs à fléaux et à chaînes	250	10/1 à 15/1	50	0,3 à 0,8
Trommels concasseurs	0,1 à 0,5 $\varnothing_c$	25	400	0,1 à 0,3
Coupeuses et trancheuses	300	10/1 à 15/1	60	0,5 à 20
Déchiqueteuses	1 200	2/1 à 10/1	200	0,1 à 50
(1) Les valeurs indiquées sont des ordres de grandeur destinés à cerner les possibilités d'emploi des appareils. $\varnothing_c$ diamètre (en mm) du (ou des) cylindre(s) ; $\varnothing_r$ diamètre (en mm) des rotors				

Tableau 2 – Caractéristiques des appareils de broyage fin et ultrafin

Appareils	Granularité (1) (μm)		Capacité maximale (t/h)	Puissance installée (kW)
	Entrée	Sortie		
Broyeurs à barres	40 000	300	300	5 à 1 500
Broyeurs à boulets	25 000	100	300	5 à 3 000
Tubes broyeurs	25 000	40	400	5 à 8 200
Broyeurs à galets	10 000	100	350	5 à 1 800
Broyeurs semi-autogènes	150 000	100	350	15 à 6 000
Broyeurs autogènes	300 000	200	350	15 à 9 600
Tubes vibrants	5 000	74	4	3,5 à 70
Broyeurs à cylindres	5 000	500	250	2 à 300
Presses à rouleaux	5 000	40	700	220 à 1 800
Broyeurs à percussion	20 000	200	800	6 à 600
Broyeurs verticaux à meules ou à billes	25 000	100	60	90 à 900
Broyeurs pendulaires	20 000	60	120	7,5 à 700
Broyeurs à meule de corindon	500	20	0,45	0,75 à 75
Broyeurs à billes à agitateur	100	1	2	2,5 à 200
Broyeur à impact (ou à broches)	100	20	2	5,5 à 315
Broyeurs vibrants	250	3	2 000 L (2)	0,2 à 35
Broyeurs à billes, à circulation forcée	100	5	4	1 à 700
Broyeurs à billes à rotor conique ou discoïdal	100	10	2	2,2 à 225
Broyeur à jets d'air	1 000	10	3	1 à 500

(1) Les valeurs indiquées sont des ordres de grandeur. Elles varient largement en fonction des dimensions d'admission, de la nature des produits, du temps de séjour dans l'appareil, etc.

(2) Fonctionnement en discontinu (en litres)

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
Sommaire.....	iii
Liste des abréviations.....	iv
Liste des figures.....	vi
Liste des cartes.....	vii
Liste des tableaux.....	vii
Liste des photographies.....	viii
Liste des annexes.....	viii
Introduction.....	1
Chapitre I : Société d'accueil et Minerai de Fer.....	2
1 Présentation de la société UEM.....	2
2 Généralités sur le fer.....	4
2.1 Élément Fer.....	4
2.2 Propriétés physicochimiques du fer.....	4
3 Minerai de fer.....	5
3.1 Utilisation du minerai de fer.....	6
3.2 Offre et demande de fer.....	6
3.3 Pays producteur de fer.....	7
3.4 Commerce du minerai de fer.....	8
3.5 Minerais de fer à Madagascar.....	8
Chapitre II : Zone d'étude : Le gisement de Fer de Tratramarina.....	11
1 Localisation.....	11
2 Accès.....	14
3 Climat.....	16
4 Relief et topographie de la zone d'étude.....	16
5 Végétation.....	17
6 Hydrographie.....	17
7 Milieu socio-économique.....	17
7.1 Agriculture.....	17
7.2 Elevage.....	18
7.3 Pêche.....	18
7.4 Transport.....	18
7.5 Ressources miniers.....	19
8 Cadre géologique de la zone d'étude.....	19
8.1 Géologie général de Madagascar.....	19
8.2 Géologie régional de la zone d'étude.....	20
Chapitre III : Résumé des résultats des travaux d'exploration.....	22
1 Etude géophysique.....	23
2 Etude cartographique géologique.....	25
3 Etude géochimique.....	28
3.1 Géochimie de surface.....	28
3.2 Forages carottés.....	31
4 Etude pétrographique.....	32
5 Etude pétro physique.....	37
6 Estimation de réserve.....	38
Chapitre IV : Essai de modélisation par Rockworks 15.....	41
1 Présentation du logiciel Rockworks 15.....	41
2 Numérisation des données.....	41
3 Traitement des données.....	42
4 Modélisation 3D des 7 puits de forages par Rockworks 15.....	43
5 Modélisation 3D des couches de Tratramarina.....	44

TABLE DES MATIERES

Chapitre V : Quelques rappels théoriques.....	45
1 Rappel sur les méthodes d'exploitation à ciel ouvert.....	45
1.1 Méthode par tranches horizontales simultanées.....	45
1.2 Méthode par fosses emboîtées.....	46
1.3 Méthode par tranches horizontales successives.....	47
1.4 Méthode mixte.....	49
2 Rappel sur les méthodes d'abattages	49
2.1 Abattage à mains nues.....	49
2.2 Abattage à outils individuels.....	49
2.3 Abattage mécaniques : haveuse ou scie diamantée.....	50
2.4 Abattage par explosif.....	50
Chapitre VI : Modèle proposé et choix de méthode d'exploitation.....	50
1 Proposition de modèle du gisement de fer de Tratramarina.....	50
2 Choix de la méthode d'exploitation.....	52
3 Paramètres de plan de tir.....	53
3.1 Diamètre du trou (D).....	54
3.2 Maillage : banquette (B) et espacement (E).....	54
3.2.1 Banquette B.....	54
3.2.2 Espacement E.....	55
3.2.3 Hauteur de gradin.....	55
3.2.4 Longueur total du trou : l_f	55
3.2.5 Surprofondeur.....	56
3.2.6 Bourrage.....	56
Chapitre VII : Proposition de méthodes et techniques d'exploitation du gisement de fer de Tratramarina selon les instructions de l'UEM.....	57
1 Minerais fortement altérés en surface : Cas de Vohitrambo au DD11TR004.....	58
1.1 Nature et caractéristique du minerai.....	58
1.2 Méthode d'abattage.....	60
1.3 Matériels et techniques.....	60
2 Eboulis de minerais en surface : Cas d'Ambodilalona.....	61
2.1 Nature et caractéristiques du minerai.....	61
2.2 Méthode d'abattage.....	62
2.3 Matériels et techniques.....	62
3 Minerais en place en affleurement : Cas du Magnetite block.....	63
3.1 Nature et caractéristiques du minerai.....	63
3.2 Méthode d'exploitation.....	66
3.3 Matériels et techniques.....	66
4 Minerais enfuis dans le sol : Cas d'Ambatovy.....	68
4.1 Nature et caractéristiques du minerai.....	68
4.2 Méthode d'exploitation proposée.....	70
4.3 Matériels et techniques.....	70
Chapitre VIII : Méthode de traitement.....	70
1 Etapes de concassage et broyage.....	71
2 Etapes de séparation magnétique.....	73
Conclusion générale.....	74
Références bibliographiques.....	75
Références webographiques.....	76
Annexe I.....	77
Annexe II.....	80

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Auteur : **RANDREMA Hariniaina Marcello**

Date et lieu de naissance : 20 Janvier 1991 à HJRA

Contact Tel: +261 33 07 968 99 E-mail : martsayrandrema@gmail.com

Adresse : Lot AKT II A 46 Antanety Vontovorona Antananarivo, Madagascar



.....

RESUME

Ce présent mémoire consiste en l'étude préliminaire de l'exploitation du gisement ferri-fère de Tratramarina-Mahanoro. Les phases d'exploration de ce gisement sont loin d'être terminées ; malgré cela, dans le but de fournir des idées pour la société UEM, nous avons effectué l'étude de l'exploitation par rapport aux données disponibles et aux recommandations de cette société. D'après les résultats de nos recherches, la méthode d'exploitation adéquate est la méthode à ciel ouvert par fosse emboîtée en tenant compte de la forme du gisement qui est en bande de quartzite à magnétite sub-verticale de direction Est-Ouest. Les études qu'on a faites ont aussi déduit que la méthode d'abattage change selon la nature et la profondeur de gisement. Tout cela nous a permis d'enrichir nos connaissances dans le domaine de l'exploitation minière.

Mots-clés : *Tratramarina, fosse emboîtée, exploitation, quartzite à magnétite, sub-verticale*

ABSTRACT

This research work outlines a preliminary mining study of the Tratramarina – Mahanoro iron ore deposit. The exploration phases of this deposit are still far from its completion; however, in order to provide idea to UEM, we have conducted this mining study based on the available data as well as the recommendations of this company. According to the results of our research, taking consideration of deposit model which a sub-vertical Est-West strike direction Magnetite quartzite layers, the appropriate mining method is embedded open pit. Studies have also concluded that the method of slaughter changes according to the nature and depth of the deposit. All this has enabled us to enrich our knowledge in the mining field.

Keywords: *Tratramarina, open pit , exploitation, magnetite quartzite , sub-verticale*

.....

Titre : « **ETUDE DE L'EXPLOITATION DU GISEMENT DE FER DE TRATRAMARINA-MAHANORO** »

Rapporteur : RASAMIMANANA Georges

Encadreur professionnel : RANDRIAMANANJARA Santatriniaina

Nombre de pages : 81

Nombre de photographies : 17

Nombre de tableaux : 07

Nombre de cartes : 15

Nombre de figures : 23

Nombre de chapitres : 08