

## LISTE DES ACRONYMES

- **BRGM** : Bureau des Recherches Géologiques et Minières
- **CGI** : Code Générale des Impôts
- **ERT** : Electrical Resistivity Tomography
- **IBS** : Impôts sur les Bénéfices de Société
- **IP** : Induced Polarisation
- **PBMR** : Pebble Bed Modular Reactor
- **PS** : Polarisation Spontanée
- **RBE** : Résultat Brute d'Exploitation
- **SAE** : Safety Automotive Engineer
- **TMVS** : Tirupati Madagascar Ventures Sarl
- **TVA** : Taxe sur les Valeurs Ajoutés
- **TRI** : Taux de Rentabilité Interne
- **USGS** : United State for Geological Survey
- **VAN**: Valeur Actuelle Nette

*Rapport-gratuit.com*   
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Structure du graphite .....	4
Figure 2: Répartition de la consommation du graphite par secteurs industriels .....	8
Figure 3: Production mondiale du graphite selon les pays .....	9
Figure 4: Axe graphiteux EST de Madagascar (source: plan directeur pour la mise en oeuvre du sol et du sous sol de Madagascar, modifié par l'auteur).....	13
Figure 5 : Localisation de la zone d'étude, (source : BD 500 FTM, modifié par l'auteur) .....	4
Figure 6: Unité tectono-métamorphique du précambrien de Madagascar (source : plan directeur pour la mise en œuvre du sol et du sous-sol de Madagascar, modifié par l'auteur) .....	19
Figure 7: Géologie de la zone d'étude (source: BD 500 FTM, modifié par l'auteur) .....	19
Figure 8: Signature de carbone organique par donnée Landsat (source: USGS.....	28
Figure 9: Limite de zones graphitueuse par image satellite.....	28
Figure 10: Validation de zones graphitueuse (source USGS) .....	29
Figure 11: Localisation des points de levés de polarisation spontanée.....	31
Figure 12: Anomalies de Polarisation Spontanée .....	31
Figure 13: Localisation des panneaux électriques .....	32
Figure 14: profil géoelectrique n°08 .....	33
Figure 15: profil 03.....	34
Figure 16: Localisation des levés PS sur la zone 02 .....	35
Figure 17: Anomalie de PS sur la zone 02 .....	36
Figure 18: Localisation des panneaux électriques de la zone 02.....	37
Figure 19: profil 12.....	38
Figure 20: Modelisation du gisement de la zone 1A.....	41
Figure 21: Modélisation du gisement de la zone 1B.....	41
Figure 22: modélisation du gisement de graphite de la zone 2 .....	42
Figure 23: cycle d'un camion (source: auteur 2014).....	43
Figure 24: Echéance de remboursement par annuité constante (source: auteur) .....	76

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: prix du graphite selon la classification .....	10
Tableau 2: Compte immobilisation.....	68
Tableau 3: Liste des matériels personnels .....	69
Tableau 4: Liste des matériels d'exploitation.....	69
Tableau 5: Liste des matériels de traitement.....	69
Tableau 6: Engin et divers .....	69
Tableau 7: Coûts de construction .....	70
Tableau 8: Véhicule.....	70
Tableau 9: Salaire des personnels .....	70
Tableau 10: Dépenses initiale (source: auteur).....	71
Tableau 11: Détermination du fond de roulement pour l'année 1 (source: auteur) .....	72
Tableau 12: Détermination du fond de roulement initiale .....	73
Tableau 13: Amortissement annuelle (source: auteur) .....	74
Tableau 14: Plan de financement en Ariary (source: auteur) .....	75
Tableau 15: Remboursement des dettes par annuités constantes .....	76
Tableau 16: Remboursement des dettes pour une annuité 5 .....	77
Tableau 17: Recettes d'exploitation .....	77
Tableau 18: R.B.E .....	78
Tableau 19: Charge de l'année 1 (source: auteur) .....	79
Tableau 20: Charge pendant l'année 6 à 10.....	80
Tableau 21: Compte d'exploitation prévisionnel (source: auteur 2014) .....	81
Tableau 22: Emploi et ressources.....	83

## **LISTE DES PHOTOS**

Photos 1: Formation secondaire (source: auteur 2014) .....	22
Photos 2: Zone de culture (source: auteur 2014) .....	22
Photos 3: Bande de graphite (source: auteur 2014) .....	25
Photos 4: Puits de sondage (source: auteur 2014) .....	26
Photos 5: Argile latéritique + signature de graphite (source: auteur 2014) .....	26
Photos 6: Graphite disséminé dans des argiles latéritiques jaunâtres (source: auteur 2014) .....	27
Photos 7: Graphite disséminé (source: auteur 2014) .....	27

## INTRODUCTION

Possédant une importante réserve, Madagascar occupa jadis le monopole mondial de la production de graphite pour la fabrication des creusets de métallurgie. C'est vers 1907 que le graphite commença à être exploité à Madagascar. A cette époque les procédés sommaires de traitement donnaient un produit de qualité médiocre tout juste débourbé.

Des successions de crises : la première et la seconde guerre mondiale, la crise de 1929 et surtout le « tabataba » en 1947, cassent cet essor de la production malgré l'amélioration du produit vendu. En 1953, bon nombre des exploitants ont dû se fermer à cause des crises que la grande île a traversées. Seules subsistent, celles situées plus près du port dans la Région de Toamasina et qui sont recouverts de stériles altérés, donc facilement exploitable. Depuis, les gisements de graphite de Madagascar furent mal exploités qu'ils n'assurent plus qu'un infime pourcentage de la production mondiale.

De nos jours, le marché des matières premières évolue. Avec l'entrée en scène des « minerais stratégiques », utilisés dans l'industrie de la défense, de l'aérospatiale ou de l'énergie, le graphite est très prisé. En effet, il est surtout utilisé dans le secteur de l'énergie notamment les réacteurs nucléaires modernes et les piles à combustible, ainsi que dans le secteur de l'électronique. Néanmoins, étant un carbone aux propriétés uniques, le graphite fait l'objet de nouvelles utilisations industrielles, commerciales et de haute technologie diverses. Les Etats-Unis ont l'intention de mettre sur route 250 000 voitures électriques par année à partir de 2015 et la Chine 1 million<sup>3</sup>. Avec 50 kg de graphites nécessaires pour la batterie de chaque voiture électrique, le marché du graphite aura besoin de trouver 250 000 tonnes supplémentaires de graphite pour répondre à cette seule demande. Bien que plus petite que celle d'une voiture électrique, la batterie des téléphones devrait être produite en de très grande quantité puisque selon l'Union internationale des télécommunications, 5,9 milliards de personnes sur une population mondiale de 7 milliards utilisent un téléphone mobile. C'est ainsi que d'ici 2015, il est estimé qu'il y aura plus de téléphones mobiles que d'habitants sur terre.

Tirupati Madagascar Ventures Sarl (TMVS) voit cette demande croissante de façon exponentielle de graphite comme une opportunité, et s'engage à investir dans le projet d'exploitation de graphite de Vatomaina. Ce présent ouvrage qui s'intitule contribution à « l'exploitation de graphite de Vatomaina, Commune d'Ambinaninony, District de Brickaville », fait l'objet d'une étude d'avant-projet sommaire sur l'exploitation de ce

gisement. Ce mémoire est le fruit de recherche basée sur la collecte des données sur terrain, des analyses de ces données via des logiciels scientifiques, des appréciations in-visu de la zone d'étude associée avec des recherches bibliographiques et lectures des revues scientifiques. Le but de l'étude est d'en sortir les conditions techniques de l'exploitation de ce gisement, de conclure la rentabilité économique, et tous cela sont basés sur le respect des lois en vigueur et les chartes de l'environnement. Pour se faire, l'ouvrage a été divisé en quatre grandes parties :

- La première partie se rapporte à la généralité
- La seconde est axée sur le cadre d'étude
- La troisième discute des techniques adoptées pour l'exploitation de ce gisement, enfin
- une étude économique et évaluation environnementale consignés pour la quatrième partie

# **PARTIE I : GENERALITES**

## **I.1. ETUDES DESCRIPTIVES DU GRAPHITE [15]**

**[W1] [W2] [W3]**

Au XVII<sup>ème</sup> siècle, un important gisement de minerais de couleur noir semblable au plomb a été découvert en Angleterre. Son appellation fut la plombagine, mais il s'agit en fait du graphite. Le graphite a été nommé par un chimiste et minéralogiste allemand appelé Alfred Gottlieb Werner en 1789, le terme Graphite vient du mot grec « graphein » signifiant écrire.

### **I.1.1 MINERALOGIE DESCRIPTIVE**

Le carbone se présente sous 04 formes allotropiques, le diamant, le fullerène, le carbone amorphe et le graphite qui est essentiellement constitué de carbones. Pour le graphite les atomes de carbone, qui sont liés à trois autres atomes de carbone par des liaisons covalentes forment un réseau infini d'hexagones.

Ces hexagones forment à leurs tours des couches. Ces couches sont appelés graphènes. Les feuillets sont reliés entre eux par des liaisons de type Van der Waals ce qui explique la faible interaction entre ces couches (entraînant une faible dureté de 2 sur l'échelle de Mohs). Par contre, chez le diamant, chaque atome de carbone est entouré de quatre liaisons covalentes dans un arrangement tétraédrique, ce qui leurs confèrent une forte interaction et donc une grande dureté.

Le graphite est un minéral natif qui se cristallise dans le système hexagonal. Il a un clivage parfait et se fracture en feuillets. La densité cristallographique est de 2,26 à 2,30. La densité pourrait être supérieure à cette intervalle si le graphite contient des impuretés et inférieur dans le cas où le graphite comporte des porosités. La couleur varie du gris au noir.

Le graphite a un éclat métallique, il est opaque, ductile, avec une dureté de 1 à 2 sur l'échelle de Mohs. Une des signes particulières des graphites est ce qu'il tâche les doigts.

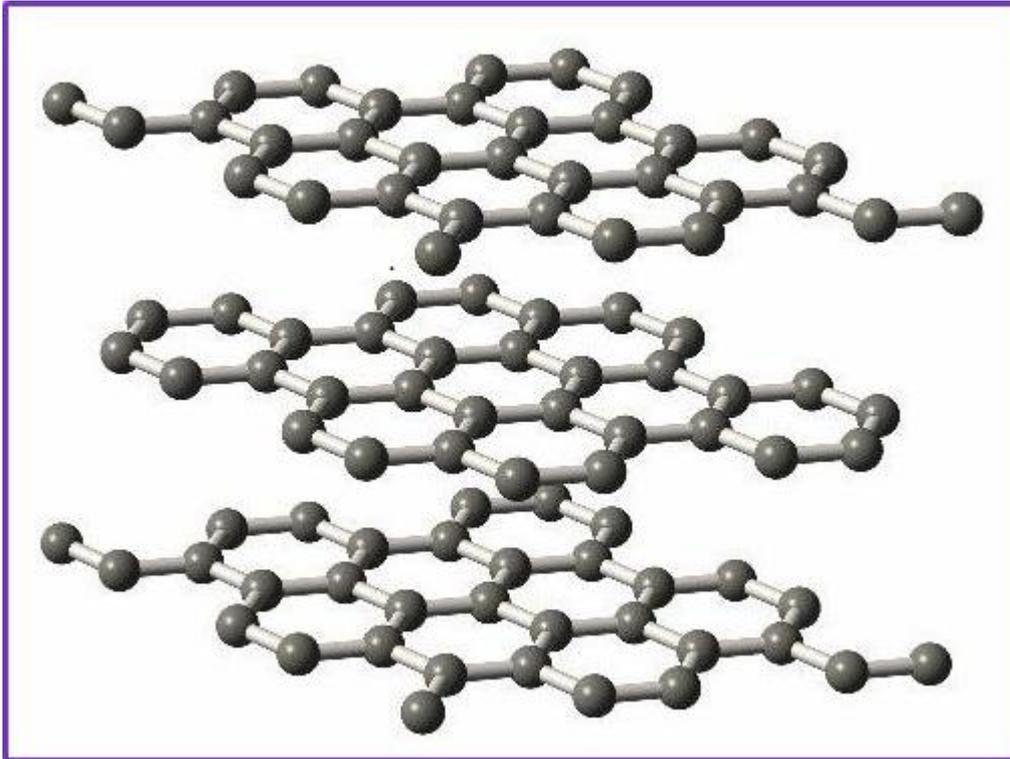


Figure 1: Structure du graphite

### **I.1.2 CRISTALLOGRAPHIE**

Sa structure est constituée de feuillets hexagonaux non compacts nommés graphèmes, séparés d'environ 0,36nm le long de la direction de leur normal. Dans chaque feuillet, chaque atome de carbone est fortement lié par des liaisons covalentes de type sigma pour ses 3 électrons  $sp^2$ . Ces liaisons pi sont des liaisons conjuguées avec les trois atomes voisins, les électrons y sont très mobiles ce qui explique la grande conductivité électrique et thermique ainsi que la couleur noire du graphite.

### **I.1.3 METALLOGENIE DU GRAPHITE**

Le graphite se forme à de hautes températures et pression. Ce sont des conditions essentielles pour transformer le carbone amorphe en graphite cristallin. Par conséquent, il se forme soit dans des roches métamorphiques soit dans les roches ignées mais jamais dans des couches sédimentaires, le graphite se forme dans des milieux pauvres en oxygène.

## **I.1.4 CLASSIFICATION DU GRAPHITE**

Le graphite naturel se présente sous trois formes différentes : le graphite amorphe, le graphite en paillettes et le graphite filonien.

### **I.1.4.1 Graphite amorphe**

Cette dénomination est due par le fait que sa structure cristalline n'est visible ni à l'œil nu ni au microscope optique standard, de ce fait on le nomme aussi graphite microcristallin ou cryptocristallin. Le graphite amorphe est celui qui présente le plus d'impureté : 40 à 60 % alors que les autres en contiennent moins de 10%. Ceci est probablement dû au fait que les proto-carbones sont associés à des impuretés de quartz ou d'argiles.

### **I.1.4.2 Le graphite en paillette**

Ce type de graphite contient généralement une teneur en carbone supérieure à 90%, c'est le plus demandé dans le marché puisque considéré de haute qualité, c'est aussi le plus familier utilisé comme mines de crayon. On les rencontre rarement dans les roches ignées mais généralement dans les roches métamorphiques. Les pétrologues pensent que les graphites en paillettes se sont formés sous faciès granulite à une pression d'environ 10 bars et une température avoisinant les 750°C

L'origine du carbone dans le cas du graphite en paillette peut être organique ou inorganique, le carbone organique proviendrait de microorganismes ou algues benthiques du protérozoïque qui seraient tombés au fond des océans

### **I.1.4.3 Le graphite en bloc ou graphite filonien**

Ce type de graphite est contenu dans les fissures ou filon de l'écorce terrestre. On l'appelle également graphite de Ceylan parce que c'est le seul pays qui le commercialise. Ce graphite est souvent associé à d'autres minéraux hydrothermaux comblant les fissures. Le graphite filonien a également une haute teneur en carbone de 90 à 95 %. L'origine du carbone reste encore mal comprise, cependant, certains scientifiques pensent que lors des intrusions, des fluides pegmatitiques ont entraîné des graphites en paillettes et ainsi des graphites filoniens se sont déposés plus loin.

**Remarque** : Le graphite peut être soit naturel, soit synthétique. Les graphites synthétiques sont obtenus par pyrolyse à partir de charbons et d'hydrocarbures et sont utilisés sans ou avec traitements.

## **I.2. UTILISATION ET LE MARCHE MONDIAL DU GRAPHITE [5] [13] [25]**

### **I.2.1 UTILISATION**

Le graphite a des usages particuliers et spécifiques, de basse ou de haute technologie, selon les formes sous lesquelles il se présente. L'usage du graphite est divers et touche divers secteurs et divers formes telles que pour les batteries, les balais de carbone, la métallurgie etc...

#### **I.2.1.1. Réfractaires et creusets**

La proportion de graphite mis en œuvre dans les réfractaires va grandissant en raison de leur large spectre de propriétés et de leur capacité à résister aux conditions extrêmes de température et de corrosion. Le secteur directeur dans ce domaine est celui des producteurs d'acier. D'autres secteurs sont cependant concernés : l'industrie verrière, les cimenteries ainsi que les usines à chaux.

Parmi les avantages compétitifs apportés par les graphites dans le domaine des réfractaires, citons :

- une conductivité thermique accrue ;
- la limitation de la dilatation ;
- la non-mouillabilité par les laitiers fondus et le métal en fusion, la limitation des interactions entre revêtements et produits finis garantissant une qualité accrue pour ces produits finaux ;
- la résistance aux chocs thermiques et à la corrosion en condition de températures extrêmes ;
- une résistance mécanique accrue par l'utilisation du graphite en paillettes ;

#### **I.2.1.2. Métallurgie des poudres**

Cette métallurgie spécialisée met en œuvre des poudres aux fins de créer des pièces métalliques aux formes complexes. Le façonnage s'effectue sous forte température, par pressage isostatique. Au métal en poudre est associé du graphite naturel ou synthétique, voire un mélange des deux. Les secteurs concernés sont l'automobile, l'électroménager ou l'aéronautique.

### **I.2.1.3. Matériaux de friction : garnitures de freins et embrayages**

Du graphite peut être utilisé pour les matériaux de friction des garnitures de freins ou d'embrayages utilisées dans les industries automobile, aérienne, ferroviaire ou les engins de chantier. L'intérêt du graphite pour ces applications est la possibilité d'évacuer la chaleur en raison de sa conductivité thermique élevée, sa résistance à toutes les formes de corrosion : à l'eau, aux huiles, aux carburants et aux autres agents chimiques. Enfin, il permet de limiter le bruit et les vibrations dans les garnitures de frein et les embrayages où il est mis en œuvre.

### **I.2.1.4. lubrifiants**

Le coefficient de friction peu élevé du graphite dû à sa structure en feuillets faiblement liés est encore valorisé dans ces applications. Graphites « amorphes » et graphites synthétiques sont les formes de graphite les plus couramment utilisées avec des teneurs en carbone supérieures à 98 %.

### **I.2.1.5. Crayons**

Le graphité a été utilisé pur dans les crayons dès le XVI<sup>e</sup> siècle. Aujourd'hui, un mélange de graphite et d'argile (kaolin ou bentonite) est couramment utilisé. Si le graphite amorphe et graphite en paillettes sont tous deux utilisés, le graphite en paillettes est préféré dans les produits hauts de gamme.

### **I.2.1.6. Autres utilisations du graphite**

#### **a. Forages**

Le graphite est utilisé comme additif dans les boues de forage où il contribue à renforcer le «mud-cake» essentiel pour la tenue des parois des forages.

#### **b. Peintures**

Ajouté à la peinture, le graphite aide à protéger les surfaces métalliques contre la corrosion.

#### **c. Nucléaire**

Le graphite présente une faible absorption des rayons X et des neutrons, une forte conductivité thermique et une aptitude à conserver ces propriétés à haute température. Il est utilisé dans les réacteurs nucléaires comme modérateur de neutrons (barres de contrôle de la puissance des réacteurs) et dans des pièces réflectrices de neutrons.

#### **d. Industrie du verre**

Les équipements utilisés pour la fabrication du verre utilisent de préférence du graphite amorphe, de granulométrie très fine ( $> 1 \mu\text{m}$ ).

## I.2.2 RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION

La figure 2 illustre la répartition de la consommation du graphite naturel par secteur industriel d'après Roskill (2009).

Cette figure montre que le graphite est à 41 % destiné aux réfractaires pour l'industrie lourde (production d'aciers et fonderies). La répartition est cependant variable selon les pays : la part de la consommation pour les réfractaires est encore plus élevée dans des pays comme la Chine (51 %) ou le Brésil (58 %).

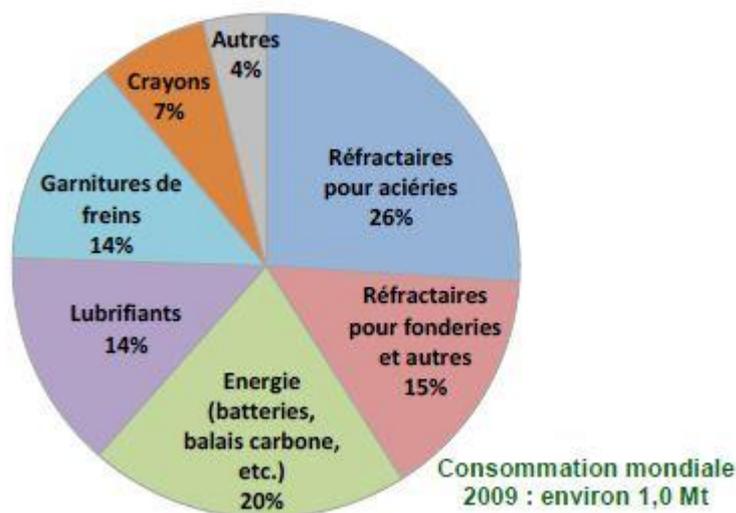


Figure 2: Répartition de la consommation du graphite par secteurs industriels

## I.2.3 MARCHE MONDIAL DU GRAPHITE

Les plus importantes ressources en graphite répertoriées se trouvent en Chine. Les ressources totales se monteraient à environ 217 Mt.

Les réserves de graphite naturel en Inde étaient estimées par l'« Indian Minerals Yearbook » à 168,8 Mt en 2005, mais il s'agit plutôt de minerais à des teneurs variables en carbone (seulement 1,1 Mt répertoriées comme contenant plus de 40 % de carbone. Les réserves du Mexique sont estimées à 3,1 Mt par l'USGS, comprenant des réserves de graphite en paillettes, microcristallin et quelques occurrences de veines de graphite ; L'Afrique reste largement sous-explorée pour le graphite et ses ressources sont mal évaluées. Le graphite est exploité au Zimbabwe. Le Malawi a des réserves estimées à 2,7 Mt, le Mozambique 33 Mt à 15 % de graphite. D'autres pays comme la République Centrafricaine, la Tanzanie, le Rwanda pourraient disposer de réserves importantes. L'Australie dispose de ressources évaluées à 350 Mt à 6-7 % de graphite.

## I.2.4 PRODUCTION

La Chine domine largement la production mondiale en fournissant environ 80 % du graphite naturel mondial. Ces 80 % se répartissent environ à 70 % sous forme « amorphe » et 30 % sous forme de paillettes.

Le Brésil, qui est le seul pays producteur de graphite naturel en Amérique du Sud, a considérablement augmenté sa production et passe, en 2011, au 2<sup>ème</sup> rang mondial, avec environ 8 % de la production.

Le reste de la production se répartit entre une quinzaine de pays (Inde, Canada, Corée du Nord, Sri Lanka, Autriche, Norvège, etc.).

La production mondiale aurait été de l'ordre de 1,24 million de tonnes en 2011.

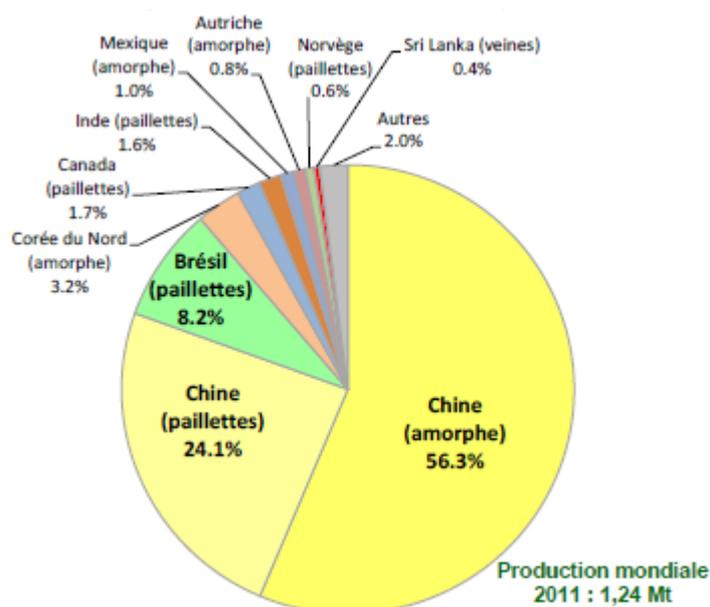


Figure 3: Production mondiale du graphite selon les pays

## I.2.5 LES PRIX RÉCENTS

Il n'y a pas de cotation publique des prix du graphite, ils sont négociés directement entre les acheteurs et les producteurs. Le prix du graphite naturel n'est pas unique. Il varie en fonction du type de graphite (paillette et « amorphe »), et pour chaque type, du degré de pureté, de la teneur en carbone et de la taille des cristaux pour les paillettes (Tab. 17).

Les prix avaient augmenté entre 2007 et 2008, tirés par une augmentation de la demande et l'instauration de taxes à l'exportation par la Chine. Ils ont chuté à partir du 2<sup>e</sup> semestre 2008

et début 2009 avec la crise financière, puis ont repris leur forte croissance bien au-delà des niveaux avant la crise.

Tableau 1: prix du graphite selon la classification

Classification	2008	2009	2010	2011	2012
Amorphous high grade powder 99 % to 99,9 %C, +400 mesh	nc	nc	35 000	nc	nc
Amorphous 99 % to 99,9 % C, +50 mesh	nc	nc	nc	nc	4 500 à 6 000
Crystalline large 94 % to 97 % C, +80 mesh CIF	900 à 1 000	1 100 à 1 350	2 500	2 000 à 2 500	2 500 à 3 000
Crystalline large 90 % C, +80 mesh	700 à 800	700 à 800	1 375	nc	2 000 à 2 500
Crystalline medium 94 % to 97 % C, +100-80 mesh	800 à 900	880 à 1 150	1 795	1 800 à 2 300	2 200 à 2 500
Crystalline medium 90 % C, +100-80 mesh	680 à 780	650 à 750	1 150	1 050 à 1 300	1 500 à 2 000
Crystalline medium 85 % to 87 % C, +100-80 mesh	670 à 770	650 à 750	1 020	1 500 à 1 900	1 500 à 1 900
Crystalline fine 94 % to 97 % C, -100 mesh	600 à 700	620 à 1 000	1 489	nc	2 000 à 2 400
Crystalline fine 90 % C, -100 mesh	550 à 650	550 à 600	1 050	nc	1 400 à 1 800
Amorphous powder 80 % to 85 C	460	430	850	800 à 800	600 à 800
Synthetic 99,95 % C2	5 550 à 17 900	6 200 à 19 000	nc	nc	7 000 à 20 000

### **I.3. GRAPHITE A MADAGASCAR [2] [5] [25]**

Connu sous différents noms: Manjarano dans l'Imerina, Anjamanga pour les Vakinakaratra et Betsileo, Tanimainty chez les Betsimisaraka et Vanja pour les Sakalava du nord.

Madagascar possède des réserves importantes de graphite, le graphite à Madagascar est en paillettes dans des paragneiss divers : micaschistes, gneiss, khondalites, leptynites, et dans des migmatites. On le rencontre rarement en agrégats de grosses aiguilles et en blocs dans des filons recoupant à gangue de quartz de type Ceylan. Sur la partie orientale de l'île et sur les plateaux du centre où la latéritisation est beaucoup plus poussée, engendrant la transformation des roches en argiles latéritiques, épaisses de quelques dizaines de mètre rend beaucoup plus facile la séparation par débouillage et les traitements par broyage, flottation, tamisage. Par contre au Sud, ils sont abondants dans les schistes cristallins non latéritisés, la dureté roches graphiteuses est telle, que l'exploitation s'avère difficile bien qu'il y ait une kaolinisation générale.

### **I.3.1 INDICES GRAPHITEUX DE MADAGASCAR**

#### **I.3.1.1 faisceau de Moramanga**

Deux ensembles de faisceaux graphiteux du groupe du Manampotsy bordent à l'Est et à l'Ouest une large bande constituée par les migmatites de Brickaville. L'exploitation actuelle se concentre sur les deux gisements vers le Nord d'Andasibe dans les villages d'Ambatoarana et de Tsaravoniana, au voisinage immédiat de la gare de Perinet, et sur le chemin de fer Antananarivo-Toamasina. Ces deux gisements ont donné une grosse production et des réserves importantes.

#### **I.3.1.2 Secteur d'Anosibe**

D'après H. BESAIRIE, « La formation la plus intéressante se trouve dans l'anticlinal d'Itompy, à 20km à l'Est d'Anosibe An'ala, où l'on trouve plusieurs faisceaux graphiteux. Cette zone était autrefois accessible par les pistes routières Antanambao-Manampotsy-Analatsara à l'Est, la route Anosibe-Ambinanindrano à l'Ouest, mais seul le gisement d'Analatsara était relié par la route. Il bénéficiera d'un regain d'intérêt le jour où le réseau routier sera entretenu.

#### **I.3.1.3 Secteur Nord Perinet à Ihofa**

Ce secteur comprend les deux anciens sites d'exploitation d'Andasifahatelo de Louys et de Falierana de l'établissement Izouard. Ces dernières se positionnent sur une unique couche puissante, faible pente et parallèle à la topographie. Rappelons que ces anciens sites étaient autrefois privilégiés, du fait, de la proximité de l'axe routier Antananarivo-Toamasina, de la voie ferrée Moramanga-Toamasina, avec une bretelle de raccordement et de la rivière importante, avec micro-centrale électrique.

#### **I.3.1.4 Secteur Nord Ihofa à Rabaona**

Il comprend le gisement de Tsaravoniana Cette zone est attribuée à Izouard et située à 18 km à vol d'oiseau au Nord de Perinet, soit 27 km au N NW de Falierana. C'est une zone de plateau à arêtes étroites, dominant de 150 m, des vallées étroites ; l'altitude atteint environ 1000m. Cette région est très boisée et de pénétration difficile.

Sur le plan géologique, dans cette zone, les niveaux à graphite sont situés au sommet des collines recouvertes d'une forêt primaire. Le minerai, facilement abattable, est constitué par

d'horizons graphitiques, avec argile latéritique ou du gneiss décomposé, argileux, séparé par des niveaux stériles.

Les indices de Tsaravoniana et Ambatoaranana sont localisés, dans une même bande de gneiss plus ou moins quartzeux, reposant en concordance, sur un dôme anticlinal de migmatites, au faciès dit de Brickaville.

#### **I.3.1.5 Axe de Vatomandry et la région de Marivolanitra**

Les gisements de cette région sont situés dans un rayon maximal de 2.5 km autour du mont Ambohitranala, à 32 Km au S. SE de Brickaville, en empruntant la route Ambila-Lemaintso, jusqu'au village Vohitrampasina (25km), on traverse ensuite le canal des Pangalanes et le lac Ankaraina d'Est en Ouest (2km). Une piste, avec plusieurs embranchements, permet d'approcher les anciens chantiers, d'une part d'Ambodivoahangy, d'Ambohitranala, d'Andalona, d'Andranoriha, de Tsarasaotra, d'autre part d'Ambohimalasa, de Betaraitso, de Mavolambo, de Mahagaga. Sur le plan géologique dans cette zone, Marovintsy appartenant à la région de Marivolanitra et Antsirakambo sur l'axe Vatomandry ont des formations graphiteuses appartenant à une seule même formation de gneiss, à graphite abondant, migmatisé, de plus de 50 m de puissance, située stratigraphiquement au-dessous des gneiss et migmatites à graphite rare ou sans graphite.

#### **I.3.1.6 Axe d'Ampasinambo**

Cette région renferme quelques gisements importants qui ont été travaillés jusqu'en 1952 et abandonnés, suite à des frais de transport prohibitifs et de l'ennoyage rapide des couches subverticales.

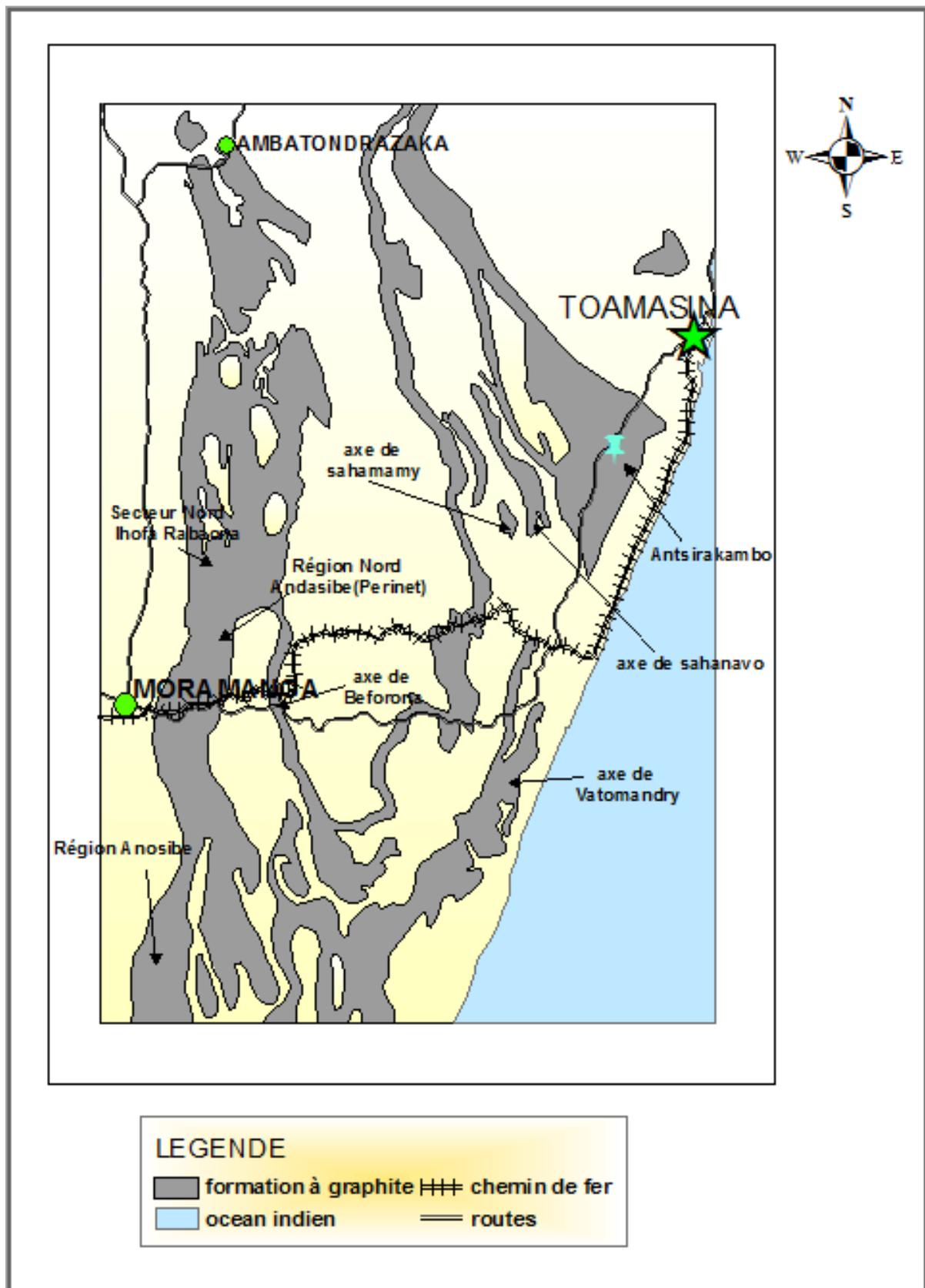


Figure 4: Axe graphiteux EST de Madagascar (source: plan directeur pour la mise en oeuvre du sol et du sous sol de Madagascar, modifié par l'auteur)

### **I.3.1.7**      *Faisceau d'Antsirabe- Ambatolampy*

L'examen des indices de cette région montre que si le graphite offre une teneur en roche bien supérieure à celle des gisements actuellement exploités sur la Côte Est, le graphite est généralement plus pulvérulent, donc plus difficile à enrichir et de moindre valeur marchande.

De plus, les amas sont de puissance métrique et leur exploitation à ciel ouvert ne peut supporter économiquement un taux de décapage important. L'exploitation souterraine, compte tenu de la mauvaise tenue de terrains, ne paraît pas convenable à priori.

### **I.3.1.8**      *Faisceau d'Ampanihy-Bekily*

Cette région s'étend sur près de 200 km de long et 20 à 25 km de large, dans l'extrême Sud-Ouest de Madagascar. Elle est traversée par une route importante, joignant la province autonome de Toliara. Le climat est semi- aride, seules les rivières principales restent en eau toute l'année. Le groupe d'Ampanihy, à faciès granulite, renferme un grand nombre de bancs de leptynites à graphite se groupant en faisceaux continus. La région n'est pas latéritisée et les affleurements sont parfaitement visibles. Les leptynites à graphite présentent une forte kaolinisation des feldspaths. Les teneurs sont souvent fortes mais la roche reste dure et exige un broyage pour séparer le graphite. L'exploitation a été entreprise, mais elle a été rapidement abandonnée par suite du prix de revient très élevé et des difficultés d'alimentation en eau, en dépit de la consommation de barrages de retenue. Le traitement était trop sommaire et le graphite insuffisamment purifié. La région d'Ampanihy paraît très attrayante pour les raisons suivantes : la bonne qualité du graphite semble systématique ; paillettes et aiguilles dominantes, à teneur en C très élevée. Les couches sont souvent très puissantes, ce qui est favorable à des exploitations à gros tonnages à ciel ouvert.

Les bonnes conditions d'affleurement et le faible couvert végétal facilitent la prospection. Les pistes sont moins coûteuses à établir et entretenir que sur la côte Est, mais les indices sont encore vierges. Parmi les inconvénients, il faut citer : la méconnaissance des teneurs en place, le manque d'eau, la distance de transport au port le plus proche et le manque d'énergie (hydroélectrique) bien que le proche gisement de charbon de Sakoa puisse éventuellement y suppléer. Mais dans le groupe d'Ampanihy dans le Sud, l'exploitation est très difficile car il faut dégager les roches dures pour mettre à jour le minerai. L'exploitation sur le versant oriental se fait en carrière, en attaquant les argiles avec le bulldozer et en les faisant circuler

dans les canalisations avec un courant d'eau. Les argiles sont ainsi mises en suspension et passent par une série de grilles d'épierreage qui retiennent les cailloux, puis sur les tamis de maille convenable, qui retiennent le graphite. Après cette phase de débouillage, le graphite impur est ensuite transporté dans l'usine de raffinage.

### **I.3.2 PRODUCTION ET EXPORTATION :**

A Madagascar, C'est vers 1907 que le graphite commença à être exploité à Madagascar ; à cette époque les procédés sommaires de traitement donnaient un produit de qualité médiocre. La production de graphite atteint son sommet de 35000t à cause de la première guerre mondiale, une performance qui ne s'est plus manifesté jusqu' aujourd'hui. Les exploitants, après les prospections suscités de 1917, mettent au point ente les deux guerres, un procédé de raffinage qui fournit le graphite standard à 85% de teneur en carbone et 70% de refus sur tamis 40. ce produit d'excellente qualité donne à Madagascar le monopole mondiale de graphite dans la fabrication des creusets de métallurgie. Mais les crises de 1922 liées au stockage de la première Guerre Mondiale casse l'essor de production malgré l'amélioration de la qualité du produit vendu. La seconde Guerre Mondiale permet à la production d'atteindre 22000t mais l'évènement tragique de 1947 a suscité à nouveau des ravages sur la production du graphite à Madagascar. La constitution de stock piles aux USA entraine des achats massifs de 1948 à 1952 et la production est remontée à 18000t à cette date.

# **PARTIE 2 : CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDES**

## II.1 LOCALISATION de la ZONE D'ETUDE

Le site minier en question se trouve dans la Commune d'Ambinaninony, District de Brickaville, Région Antsinanana. Ambinaninony est à 35[km] environ du Brickaville centre suivant la route nationale n°2 vers le nord

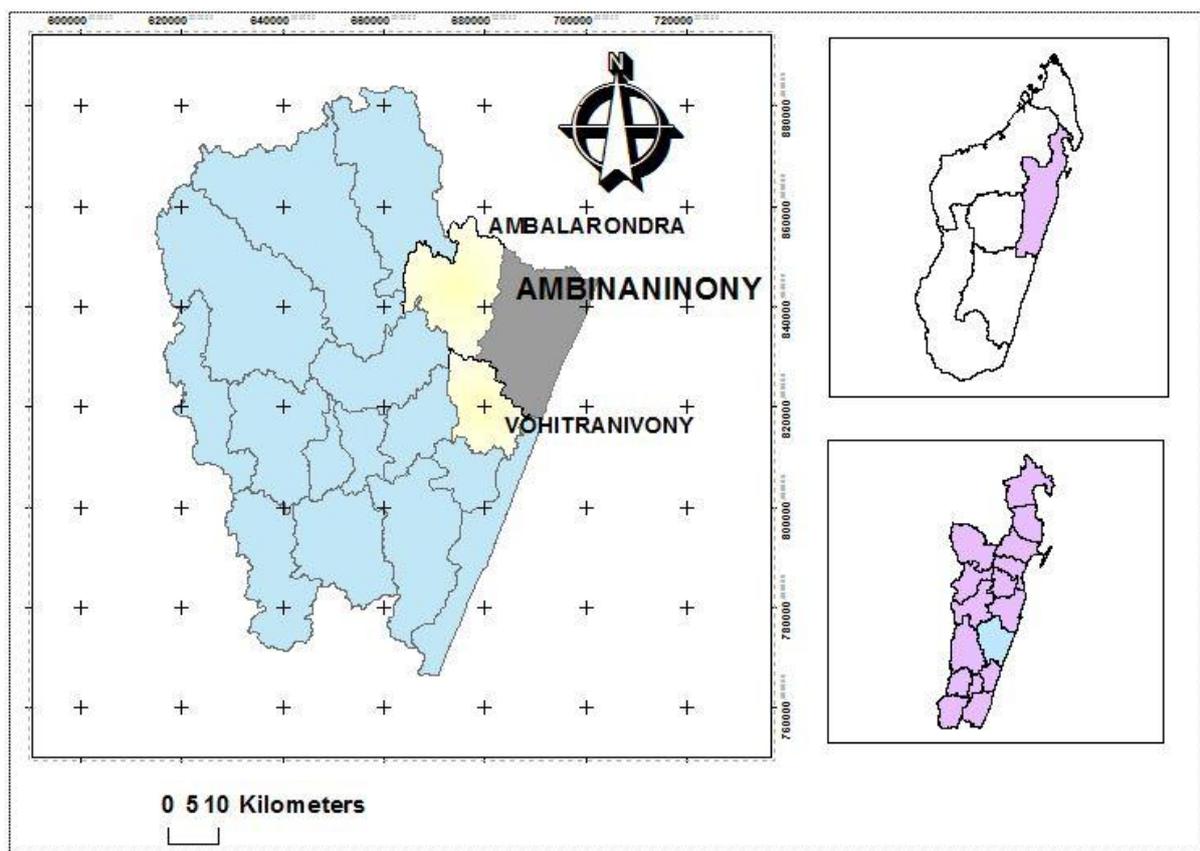


Figure 5 : Localisation de la zone d'étude, (source : BD 500 FTM, modifié par l'auteur)

## **II.2 GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDES**

### **II.2.1 CONCEPTS ACTUELS SUR LE PRECAMBRIEN MALAGASY**

Le symposium du PGRM du 17-18 Juillet 2008 a permis d'aborder une nouvelle approche sur le socle Malagasy. Elle se base sur la géochronologie qui est rattachée aux événements tectono-métamorphiques successifs du précambrien. Elle ne considère plus la ligne Bongolava- Ranotsara comme zone de dislocation qui subdivise le précambrien en deux formations d'âge différent, mais c'est une grande « flexure » aux quels les terrains protérozoïques d'Itremo- Ikalamavony du domaine central de l'île se poursuivent jusqu'au Sud pour donner un domaine appelé : « Itremo-Ikalamavony-Taolagnaro. De ce fait, cette nouvelle donne subdivise le socle précambrien en 5 domaines distincts.

#### ***II.2.1.1. Domaine d'Antongil-Masora :***

D'âge Archéen et mesoarchéen avec ses métasédiments à noyau granitiques et gneissiques stabilisés dans le faciès schistes vert au faciès amphibolite inférieur, y compris le groupe de Mananara.

#### ***II.2.1.2. Domaine d'Antananarivo***

C'est une grande unité tectonique pré-paléozoïque qui constitue l'ossature centrale de Madagascar, et, est formé par des schistes, migmatites, gneiss et des granitoïdes, y compris les unités de Tsaratanàna, et la suture de Betsimisaraka décrit par Collins et Windley.

#### ***II.2.1.3. Domaine d'Itremo-Ikalamavony-Taolagnaro :***

Qui assemble les différentes formations de la nappe d'Itremo, d'Ikalamavony-Amborompotsy avec le secteur sud (sauf Vohibory), et comprenant le sous domaine d'Androyen et Anosyen. Ce domaine est traversé par des différentes intrusions du sud vers le nord par le complexe massif d'Anosyen, la suite d'Ambalavao (Ambalavao suite : d'âge 750 Ma-520Ma) et la suite de l'Imorona (Imorona suite : 820 à 720 Ma).

#### **II.2.1.4. Domaine de Bemarivo :**

Qui est formé à la base par des migmatites, gneiss et amphibolites archéens d'origine sédimentaire et volcano-sédimentaire d'Ambohipato et intrudé par les formations magmatiques calco-alkalines de Daraina et Milanoa.

#### **II.2.1.5. - Domaine de Vohibory (550Ma-500Ma) :**

C'est le seul domaine qui n'est pas traversé par la suite d'Ambalavao. Il est considéré comme ancien Arc volcanique, vestige de la collision continentale produite au cours de formation du Gondwana. (30)

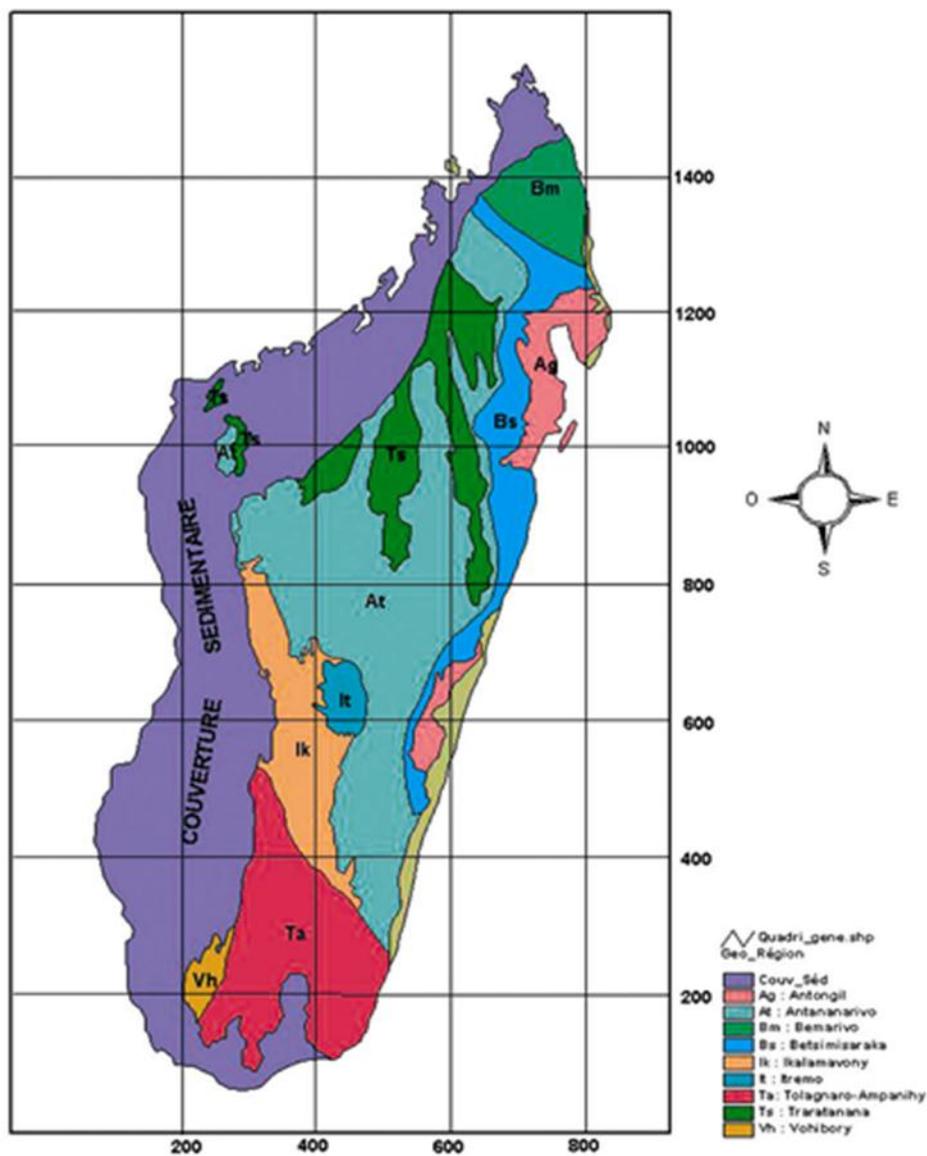


Figure 6: Unité tectono-métamorphique du précambrien de Madagascar (source : plan directeur pour la mise en œuvre du sol et du sous-sol de Madagascar, modifié par l'auteur)

## II.2.2 GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE [2] [3]

Le graphite est un minéral très répandu à Madagascar où il forme un élément constitutif important dans certains schistes cristallins silico-alumineux. Le système du graphite est divisé en trois groupes qui sont : le groupe d'Ampanihy (dans le sud de Madagascar), le groupe d'Ambatolampy (dans la région centrale) et puis le groupe de Manampotsy qui est dans le cadre de notre étude présentant le faciès amphibolite avec des gneiss et des migmatites. Brickaville est occupé en majorité par une formation migmatitique d'où son nom migmatite granitoïde de Brickaville, ce nom est dû à une migmatisation plus intense et non parce qu'il s'agit d'une énorme lame granitique. La pétrographie du groupe de Manampotsy est riche en khondalites, quartzites, cipolins, amphibolites et pyrénéites ;

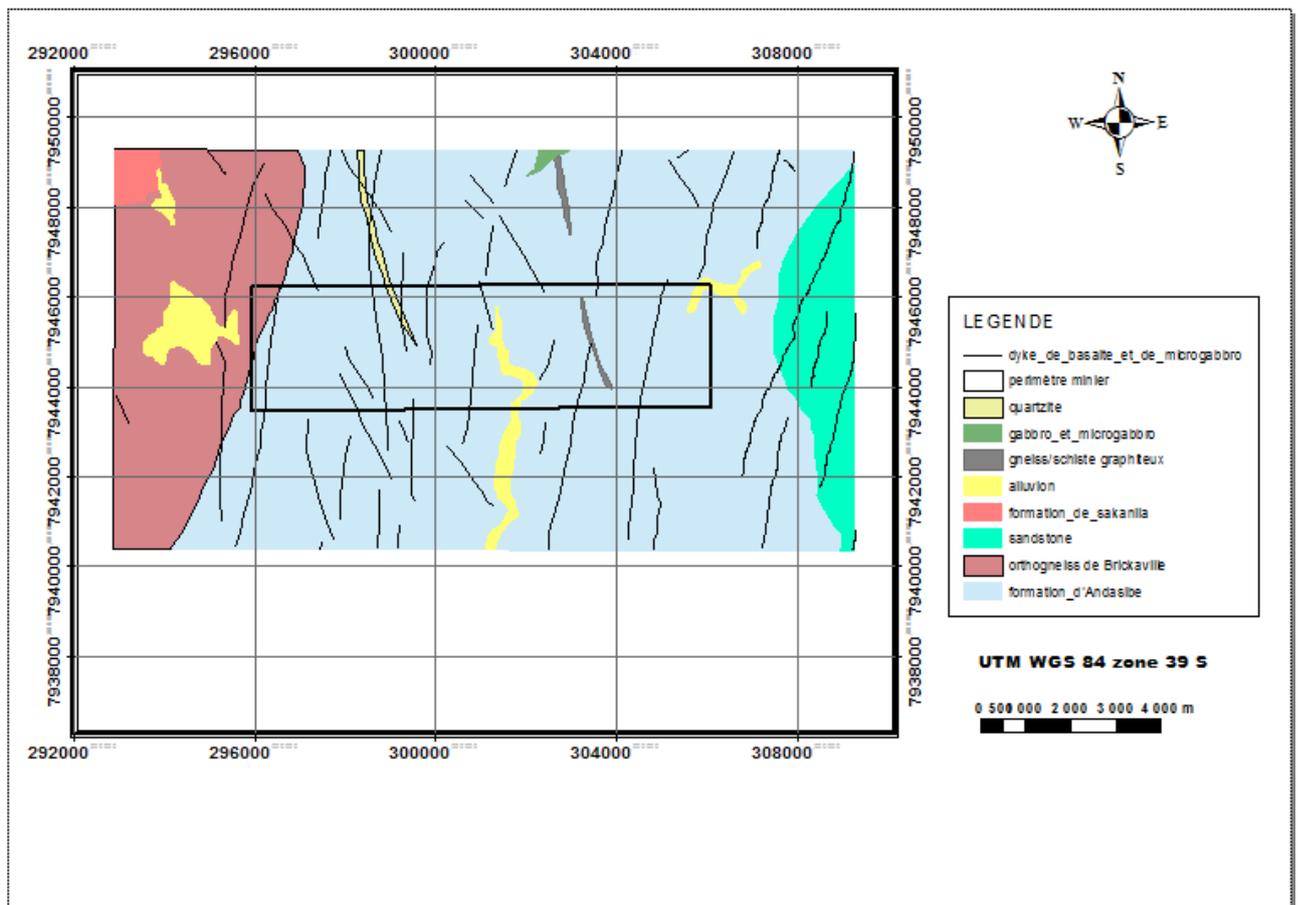


Figure 7: Géologie de la zone d'étude (source: BD 500 FTM, modifié par l'auteur)

Le gisement concerné se trouve dans les gneiss de MANAMPOTSY loin des migmatites granitoïdes. Les caractéristiques des graphites qui sont dans les gneiss de MANAMPOTSY et celles qui sont en enclaves dans l'ensemble migmatitiques sont sensiblement identiques, c'est le degré de désagrégation des roches qui est plus poussé sur les gneiss.

La partie nord-Est de Madagascar comprend le bloc d'Antongil, bloc d'Antananarivo et la feuille de Tsaratanana. Entre le domaine d'Antongil et Antananarivo se trouve la zone de suture de Betsimisaraka, largement aligné le long d'une tendance Nord-Sud.

BGS (en 2008) a défini cette zone de suture de Betsimisaraka comme un mélange de sédiments océaniques Néoprotérozoïque et de la marge continentale contenant des blocs perturbés de gneiss mafiques et ultramafiques. Les roches supracrustales sont représentées par les groupes de Manampotsy qui sont fortement déformées, métamorphosées localement amphibolites, et recoupées par des granitoïdes d'âge Néoprotérozoïque (Suite Itsindro - Imorona, 840-760 Ma, Ambalavao Suite, 560-530 Ma).

Le Groupe de Manampotsy est composé d'une série de séquences de paragneiss, du sud au nord la formation d'Ampasary, Perinet, Sakanila, Ambatondrazaka, et Sasomanangana. Le groupe est dominé par des gneiss quartzo-feldspathique, interprété avoir été un dérivé de protolithes volcanoclastiques felsiques, mais contient aussi des paragneiss à biotite, amphibole, le grenat, le graphite et sillimanite ainsi que des unités calco-silicatées mineures.

## **II.3 DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE et**

### **BIOLOGIQUE [10]**

#### **II.3.1. RELIEF ET PAYSAGE**

Le périmètre minier est caractérisé par des successions des collines de basse altitude de 50 à 100 m. Les vallées inter collines sont très étroites, quelques fois ils sont transformés en rizières. C'est sur la pente de ces collines que les paysans de cette région pratiquent les cultures sur brûlis ou *tavy*.

#### **II.3.2. CLIMAT**

La commune d'Ambinaninony est sous l'influence d'un climat tropical chaud et humide à semi-humide caractérisé par une forte pluviométrie ; une chaleur constante, et une courte saison sèche de trois à quatre mois. Ce type de climat est caractérisé par les points suivants :

- La température moyenne annuelle est de 24 °C avec un maxima de 33°C enregistrés entre décembre et février, et un minima de 18°C (Juillet -septembre)
- Généralement, la pluviométrie dans cette région est répartie entre 180 et 300 j avec un maximum 2 500 mm
- L'humidité atmosphérique est très élevée soit environ 70%.
- deux saisons, une saison chaude et pluvieuse de Novembre en Août qui se divise en deux sous saisons, la première caractérisée par une forte quantité de pluies, une valeur élevée de chaleur de Novembre en Avril et une saison fraîche de mai en août remarquée par des averses très fréquentes, de pluies persistantes qui abaissent considérablement l'ensoleillement. Le temps est triste, parfois remarquablement frais. Une courte saison sèche de septembre à Décembre
- Le vent d'Est ou « Varatraza » prédomine en toutes saisons. Pendant la période de Juin à Septembre, l'Alizé, vent du Sud-Est, apporte une humidité constante et abondante. Parfois le vent d'ouest ou « Talio » peut apparaître. Le vent d'est ou « Varatraza » prédomine en toutes saisons. La commune est souvent soumise à l'influence des vents cycloniques vue sa position géographique très proche de l'océan indien. Cette zone se trouve dans la partie Est, caractérisée par une forte précipitation et se trouve dans des zones à risque des cyclones. En plus le type de sol de cette zone est très sensible à l'érosion, des risques d'effondrement, d'éboulement et des glissements des terrains peuvent avoir lieu dans les endroits critiques surtout pendant la période de pluie. Les risques des inondations, des ruptures des berges, d'ensablement des cours d'eau peuvent aussi se passer.

### **II.3.3. CONTEXTE PEDOLOGIQUE**

Les sols dans cette zone peuvent être classés en trois catégories :

#### **II.3.3.1. Les sols ferrallitiques**

Ils sont observés sur les collines. Ils sont de couleur jaune sur rouge, parfois riches en concrétion. Ils sont plus ou moins dégradés suivant l'état d'évolution des formations végétales. Leur horizon organique est de faible épaisseur. Les sols ferrallitiques sont peu profonds et sensibles à l'érosion au moment de la mise en culture. Leurs propriétés physiques sont bonnes mais leur richesse chimique est faible. Les pentes restent les facteurs limitant de leur exploitation rationnelle. La pratique du « tavy » accélère la dégradation du sol.

### **II.3.3.2. Les sols hydromorphes**

du bas fond ou le long de la bordure du cours d'eau. Ce type occupe une petite partie du périmètre minier vu que les vallées sont moins étroites. Dénommés localement "Horaka", ces sols sont saturés d'eau en permanence et dégagent une odeur de soufre. De couleur noirâtre, ils présentent des dépôts ferrugineux de couleur rouille à la surface de l'eau. Les matières organiques y sont mal décomposées.

### **II.3.4. CONTEXTE HYDROLOGIQUE**

La zone d'étude est comprise dans le bassin versant de RIANALA qui draine une superficie de 7830 [km<sup>2</sup>], plus précisément, il appartient au bassin de RONGARONGA qui est le seul effluent notable en rive gauche de RIANALA. Le bassin de RONGARONGA est situé dans un secteur très arrosés entre la Rianala supérieure et l'Ivondro. Les précipitations annuelles moyennes sont supérieures à 1500 [mm] et peuvent même dépasser le 3000 [mm].

L'évapotranspiration annuelle moyenne est comprise entre 900 et 1300 [mm], on y observe 10 à 12 mois humides. Les sols restent toujours pratiquement saturés. Les principaux affluents de la Rongaronga sont constitués par le Vatomaina et l'Amboala. Ces rivières prennent leur source dans les collines et se grossissent en s'ajoutant progressivement avec d'autres. Les rivières présentent de nombreux méandres, le réseau hydrographique de ce versant est très complexe et présente un chevelu assez dense.

### **II.3.5. DESCRIPTION DU MILIEU BIOLOGIQUE :**

Du point de vue phytogéographique, cette zone fait partie du domaine Oriental de basse altitude de 0 à 800 m caractérisé par une forêt dense humide. En générale, la partie occidentale de cette commune est dominée par des plantations, des zones de cultures, et les savoka à ravinale des collines quelques fois succédés par des savanes.

La végétation est dominée essentiellement par des formation des zones humides composées essentiellement par *Typhonodorum lindleyanum*, *Cyperus latifolius*, *Pandanus*

## Végétation

En générale, la végétation du périmètre minier peut être regroupée en quatre formations :

- La formation secondaire ou savoka en ravinala
- La formation savanicole
- La formation humide
- La zone de culture

### ***II.3.5.1. La formation secondaire ou savoka en ravinala***

Cette formation prend place après la dégradation de la forêt primaire, généralement après la pratique du tavy. Elle s'installe après une jachère plus ou moins longue. Il s'agit des "savoka" dans les zones de colline ; fouillis d'arbustes, de fougères, de plantes herbacées et le fameux, *Ravenala madagascariensis*. Cette formation occupe en générale, les flancs de collines non ravagés par les feux.



Photos 1: Formation secondaire (source: auteur 2014)

### ***II.3.5.2. La formation savanicole***

Après passage des feux ou défrichage du savoka, une formation buissonnante de type savanicole s'installe progressivement. Elle est dominée essentiellement par des espèces herbacées appartenant à la famille de Poaceae. En générale, elle est formée par des espèces envahissantes telles que *Harungana madagascariensis*, *Psiadia altissima*, *Aframomum angustifolium*. Quelques fois elle est parsemée par quelques pieds de *Ravinala*.

### ***II.3.5.3. La formation humide***

Cette formation s'observe le long du cours d'eau Vatomaina. C'est une formation peu dense, discontinue et moins élevée ; constituée essentiellement par des espèces qui peuvent se pousser sur des endroits humide en présence fréquemment d'eau. La composition floristique varie suivant l'étendue et la condition édaphique du milieu.

### ***II.3.5.4. La zone de culture***



**Photos 2: Zone de culture (source: auteur 2014)**

Puisque, la zone est fraîchement brûlée, il est un peu difficile de discerner les zones de culture. Pourtant, les vallées intercolline qui semblent être occupés par des rizières en petite surface.

Une partie de colline brûlée est occupé par des maniocs fraîchement cultivés, et dans d'autre endroit, des gens sèment les grains de riz. Malgré le passage du feu, les gens continue de cultiver et de valoriser leur terre.

Environ 19 %n de ces plantes sont connues endémiques de Madagascar, et aucune espèce recensée ne présente pas un statu écologique particulier ou enregistrée dans la liste rouge de l'UICN. En tout, la richesse floristique de ce site est très pauvre. Elle est dominée par des espèces d'herbacée constituant les formations savaniques.

**PARTIE 3 : CONTRIBUTION A  
L'EXPLOITATION DU  
GISEMENT DE VATOMAINA**

## **III.1 TRAVAUX DE PROSPECTION**

### **III.1.1. EXPLORATION ET PROSPECTION GEOLOGIQUE**

Des travaux de prospection géologique ont été réalisés pour mieux encadrer le périmètre minier. Une première descente sur terrain en vue d'une reconnaissance globale et de se préparer pour les prochaines investigations, accompagnée d'une prise d'échantillon. Une seconde descente sur terrain sur une zone (définie par la première descente) beaucoup plus réduites que celle de la première a été réalisée par la suite, et qui a permis de déterminer les lieux de sondages électriques.

#### **III.1.1.1 Exploration :**

Une exploration géologique d'environ une semaine a été réalisée avec l'équipe de « SALVA corporation » pour une vérification au sol des données et d'avoir une première idée de la géologie de la région.

Puisque des travaux antérieures ont été réalisés (une exploitation de graphite pendant la période coloniale), des bandes de graphites sont exposés sur des talus facilitant la prise d'échantillon. Sur le site de la mine française d'une longueur de 15 m ouverte, a été trouvée des bandes de graphite exposés. . Dans cette domaine, les bandes de graphite ont des tendances NNW- SSE avec des pendages modérés vers SW .les Épaisseurs de bandes de graphite sont variables de 5cm à 35cm, les bandes s'épaississent avec la profondeur illustré par la figure ci-après.



**Photos 3: Bande de graphite (source: auteur 2014)**

**Exploration du site coréen:** Une société coréenne a fait des forages à la tarière dans cette zone. Dans l'un des sites, une fosse profonde de 3,8 m est intacte. Il a révélé de la terre végétale en humus en moyenne un mètre, reposant sur l'argile latéritique rougeâtre brun avec des bandes de graphite. Des Bandes épaisses de graphite indiquées ci-dessous sont profondes de 3m dans cette fosse. Cette fosse est parmi les points d'observation les plus importants car il permet de voir la succession des couches.



Photos 4: Puits de sondage (source: auteur 2014)



Photos 5: Argile latéritique + signature de graphite (source: auteur 2014)

**Road-coupe du site:** À cet endroit, la signature de graphite sur la surface de l'argile latéritique.

Beaucoup plus au sud de l'ancienne mine, sur une piste, une fosse a été aménagée à 2,5 m de profondeur. À 1,5 m de profondeur, une bande mince (3cm) de graphite a été notée dans la couche latéritique jaunâtre. Des bandes épaisses de graphite commencent à s'exposer. Ces bandes ont des 5-8cm d'épaisseur et sont intégrés dans la couche latéritique crémeuse qui est plus sableux comparer à la partie supérieure. Ces bandes de graphite ont de tendance similaire à celle observée dans le site de la mine française.

Dans divers endroits, des signatures de dissémination de graphite ont été notées, accompagné par des argiles latéritiques brunes et jaunâtres



**Photos 6: Graphite disséminé dans des argiles latéritiques jaunâtres (source: auteur 2014)**



**Photos 7: Graphite disséminé (source: auteur 2014)**

### III.1.1.2 Téledétection :

L'analyse des données satellitaires (Landsat) permet de détecter la possibilité de l'existence du graphite, la téledétection des graphites se base sur l'étude de l'humidité du sol, la température de la surface, la présence du carbone organique.

L'humidité du sol est un facteur primordial de dominer la croissance de la matière organique dans la surface. le Carbone organique ainsi que l'humidité du sol diminuent les valeurs de réflectance. Les Valeurs de réflectance de surface diminuent à mesure que la matière organique augmente

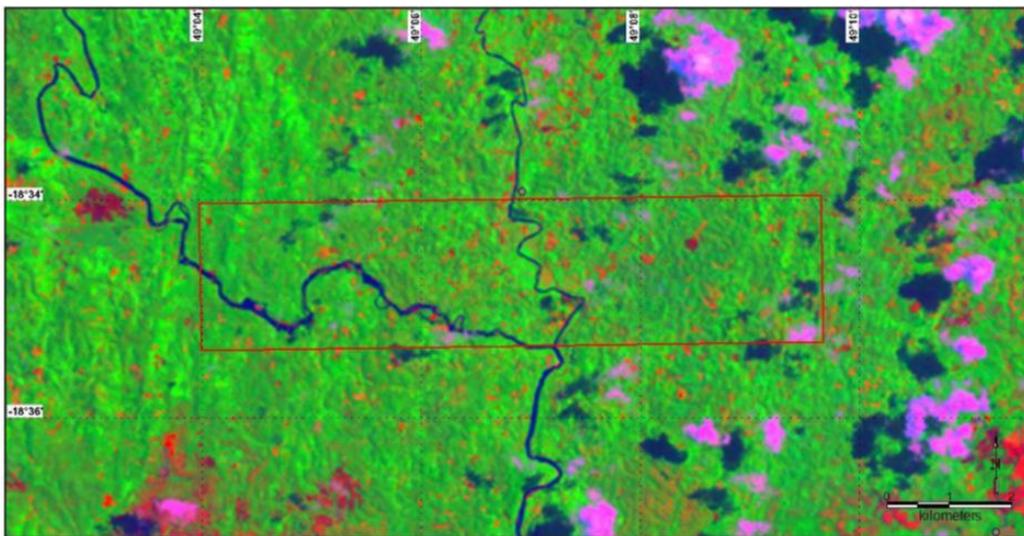


Figure 8: Signature de carbone organique par donnée Landsat (source: USGS)

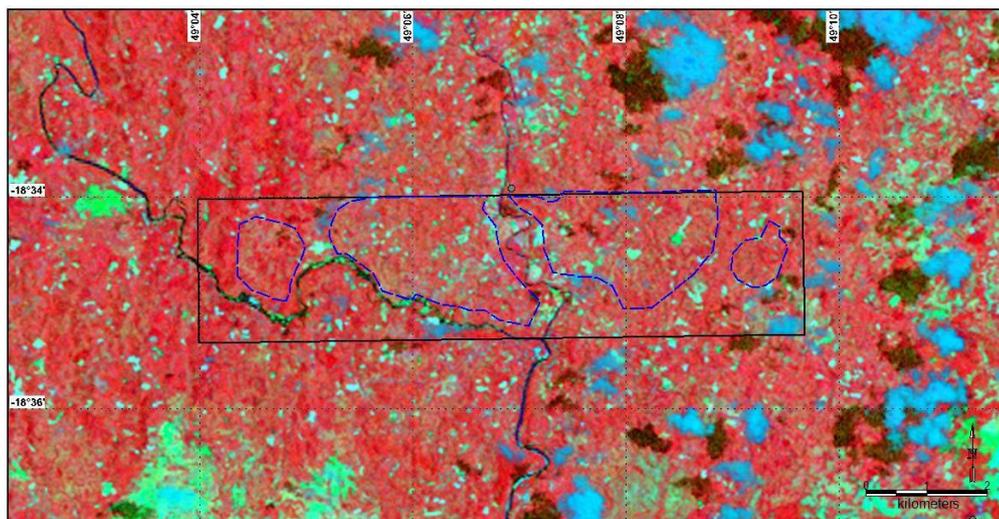


Figure 9: Limite de zones graphiteuse par image satellite

Dans la figure 5, les zones cibles ont été cartographiées sur les données satellitaires image où il y a des éventuelles zones d'altération hydrothermale et des zones avec la signature de l'argile de fer. Cette image montre une possibilité de zones riches en argile latéritiques ou de fer dû aux intempéries, effet qui pourrait masquer la présence de graphite sous la surface. Les Polygones bleu dans l'image montrent les zones avec des occurrences de graphite possibles près de la surface.

Des échantillons de graphite ont été prélevés dans divers points avec des teneurs variant de 3 à 10% de carbone pure et de quantité de cendre variant dans les 80%.

Les résultats d'échantillonnage (cartographie des échantillons) couplé à l'étude de télédétection a permis de délimiter des zones susceptibles d'être potentiellement graphiteuses illustré par l'image ci-après.

Les points verts représentent les points de prise d'échantillon

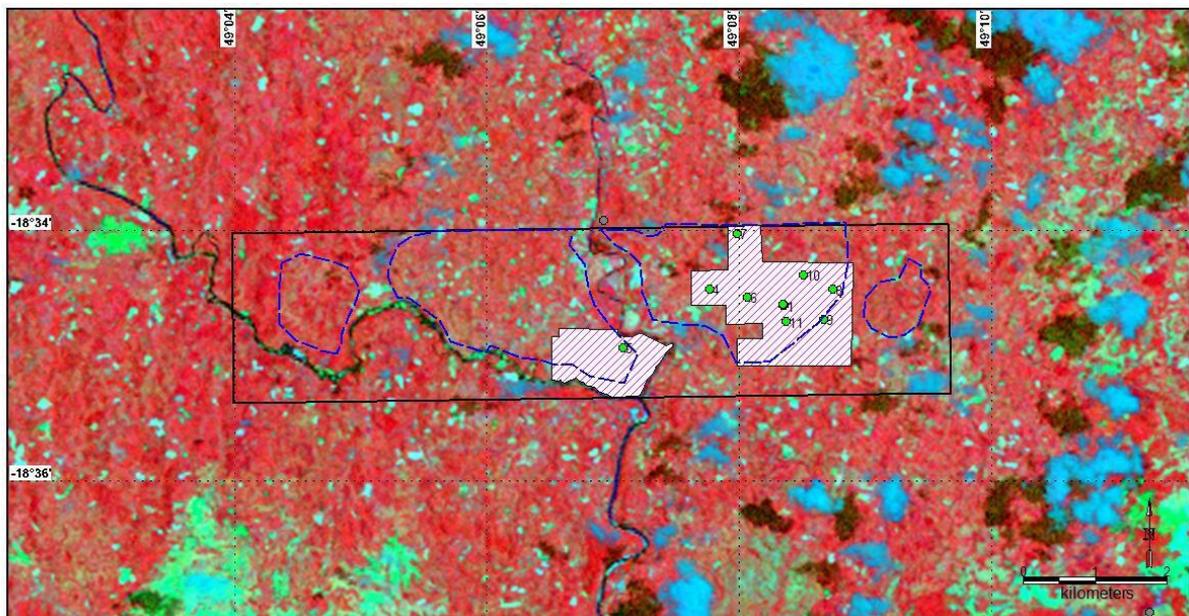
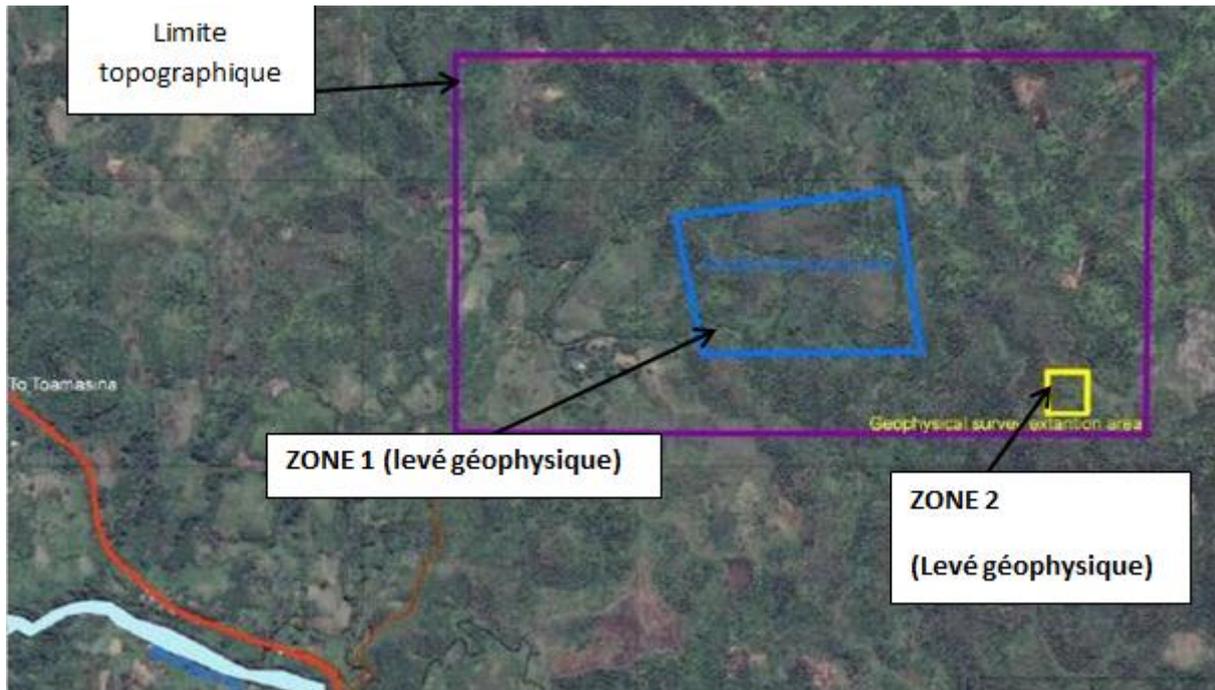


Figure 10: Validation de zones graphiteuse (source USGS)

### ***III.1.1.3      Prospection électrique [4] [9]***

La deuxième investigation géologique dans la partie de la concession a permis de sortir une carte géologique sur une échelle réduite et a aussi surtout permis de quadriller les zones à exécuter l'investigation géophysique. Cette zone est montrée par la carte suivante.



Carte 1: Localisation des zones d'investigations géophysique et topographique

## Levé

### ZONE 1

#### Sondage de polarisation spontanée

Acquisition de données

Plus de sept mille stations (7000) de SP ont été implantés à l'intérieur de la zone prédéfinie. L'étape a été renforcée lorsque la mesure montre une grande variation. La ligne suivie lors de l'acquisition de données a été orientée à l'échelle mondiale sur la direction Nord-Sud.



Figure 11: Localisation des points de levés de polarisation spontanée

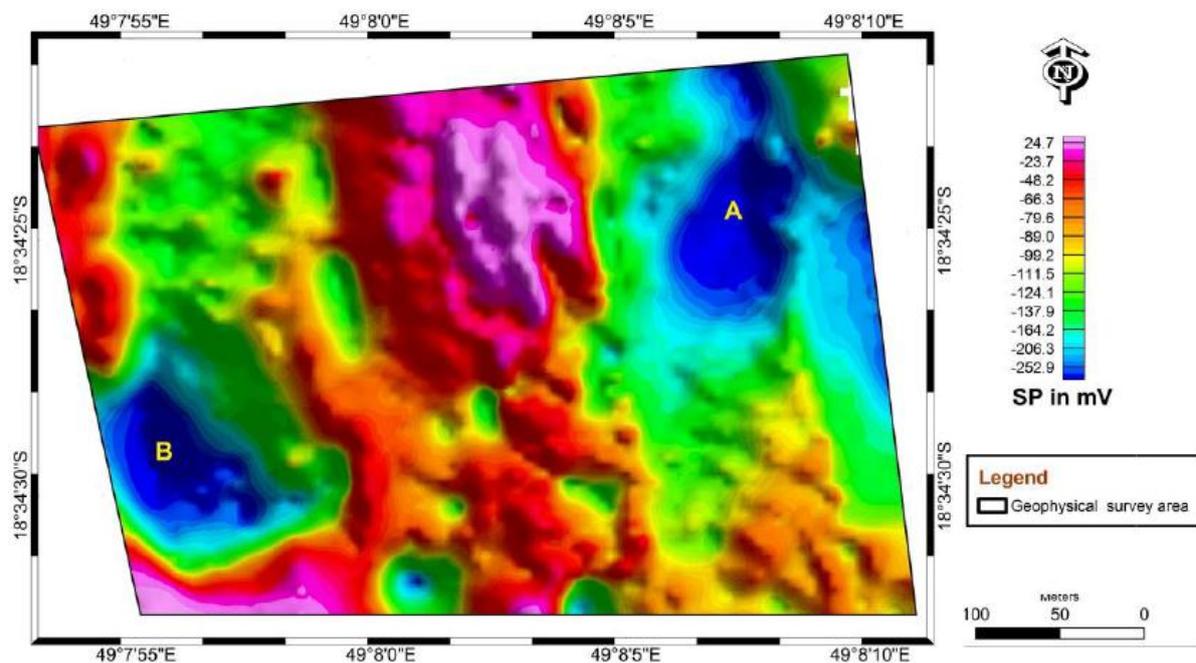


Figure 12: Anomalies de Polarisation Spontanée

La carte montre deux lobes d'anomalies négatives, le premier est situé dans la partie Est (noté Anomalie A) et le second est dans la partie sud-ouest (notée anomalie B). L'anomalie négative indique la zone où la minéralisation de graphite est importante sur ce plan des résultats.

Les deux anomalies sont généralement allongées sur le sens Nord-Sud, le long de la tendance de la structure géologique.

L'anomalie A s'étend sur 100m de largeur et occupe la partie Est de la zone d'étude.

L'anomalie négative est importante là où la minéralisation de graphite a une teneur élevée.

L'anomalie B est plus étroite que l'anomalie A. Son extension sud est quelque peu limitée.

### Coupe géoélectrique

Onze (11) lignes électriques ont été réalisées dans ce domaine. L'inter distance entre les électrodes est de 5m. La profondeur atteinte par la longueur de la ligne de propagation est d'environ 25m. La plus grande partie de la ligne électrique est croisés là où l'anomalie négative (de la polarisation spontanée) est enregistrée.

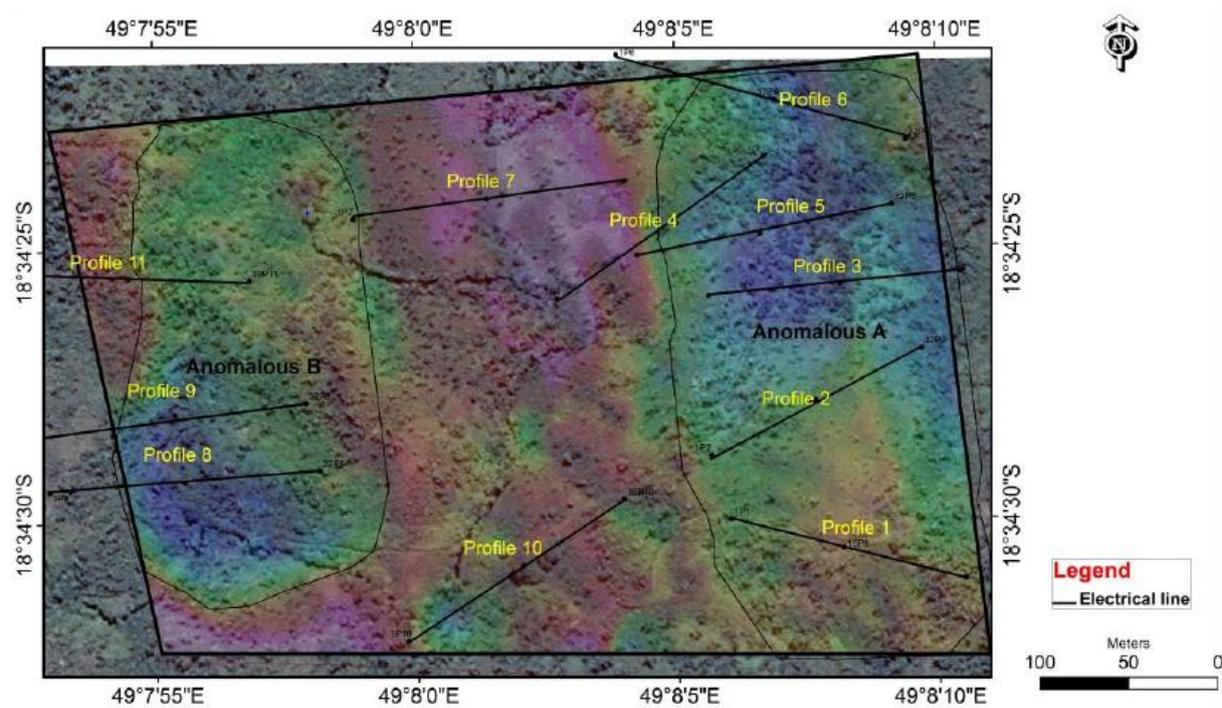


Figure 13: Localisation des panneaux électriques

## Section géoélectrique Zone 1A

Prenons le cas du profil 8

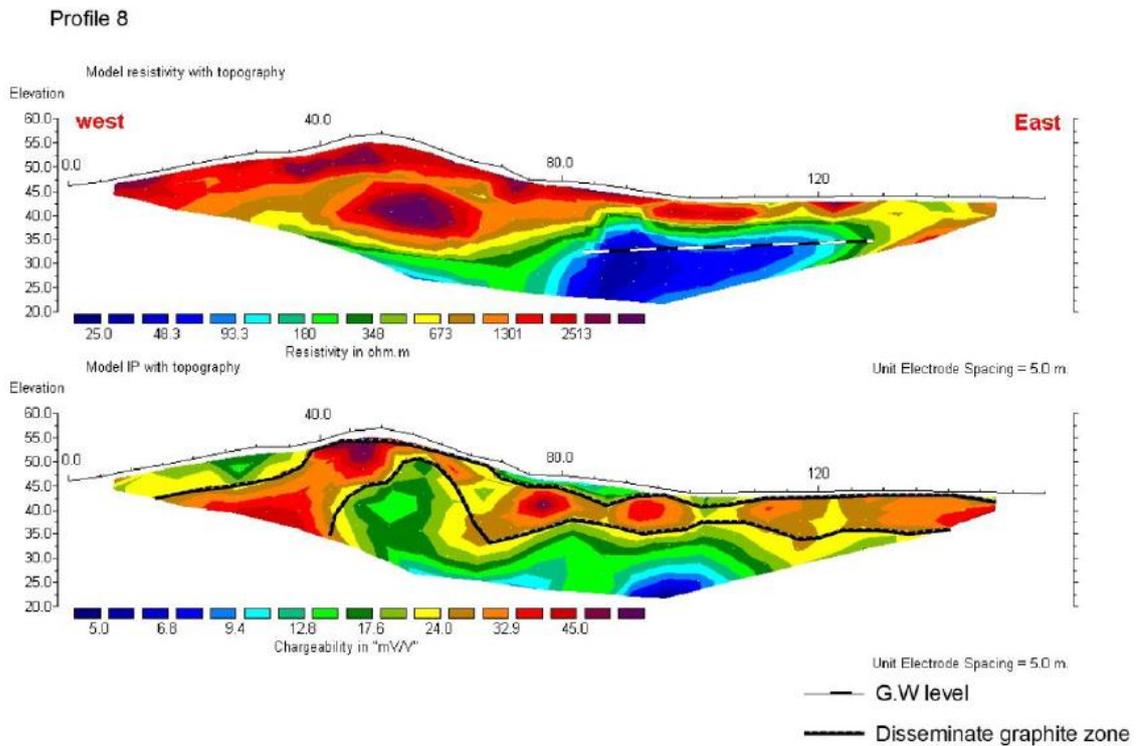


Figure 14: profil géoélectrique n°08

Cette coupe nous montre trois formations :

- Le modèle de coupe de résistivité nous montre
- Une formation conductrice (de couleur bleue) de résistivité inférieure 100ohm.m, beaucoup plus puissant à l'extrémité Est jusqu'à l'abscisse 125m. Cette formation pourrait représenter l'aquifère de la zone.
- Une formation résistante (de couleur marron) de résistivité comprise entre 700 et 2620ohm.m, s'étend d'Ouest en Est jusqu'à l'abscisse 110m Cette formation pourrait représenter un sol latéritique.
- Une formation moyennement résistante (de jaune au verte) de résistivité comprise entre 100ohm.m et 700ohm.m, beaucoup plus visible dans la partie extrême Est, apparaît en surface à l'abscisse 130m. Cette formation pourrait être du sable argileux.

➤ La coupe de chargeabilité montre des valeurs inférieures à 10mV/V dans la zone de localisation de l'aquifère indiquée par la coupe de résistivité, elle suggère un aquifère de grande porosité. La valeur de chargeabilité élevée (supérieure à 30mV/V) représente la couche minéralisée (couche avec contour).

### Section géoelectrique zone 1B

Nous prenons comme exemple de l'interprétation de la section géoelectrique de profil 3. La section de résistivité électrique montre deux formations:

- La formation d'une valeur de résistivité élevée occupe la partie peu profonde de la section
- La couche de conducteur électrique forme la base de la présente section.

La coupe de résistivité est plus sensible à la présence de la nappe phréatique. Le niveau de l'eau souterraine est marqué par la faible valeur de résistivité.

La zone minéralisée doit avoir la chargeabilité supérieure. La coupe de chargeabilité montre deux zones, caractérisées par la valeur élevée de chargeabilité. À l'Ouest et à l'Est.

La zone de valeur plus élevée a 5m d'épaisseur moyenne dans la zone de l'Ouest et il a beaucoup plus épais dans la zone Est, environ 15m d'épaisseur.

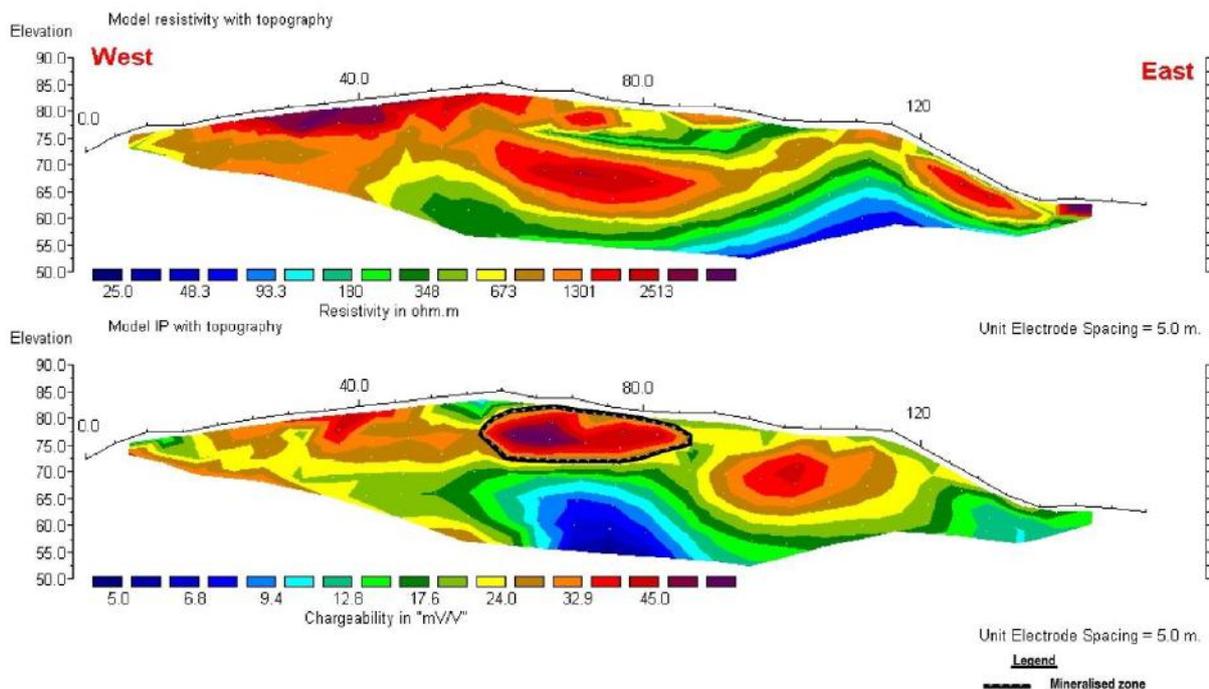


Figure 15: profil 03

Les profils 10 et 7 sont réalisés pour confirmer l'absence de graphite dans cette zone

## Zone 2

### Polarisation spontanée

#### *Acquisition de données*

Cette zone couvre l'ancienne mine, exploitée pendant la période coloniale. Comme dans la zone 1, la mesure a été effectuée à l'étape 5 m, en plus des données à 400 SP ont été collectées dans ce domaine.

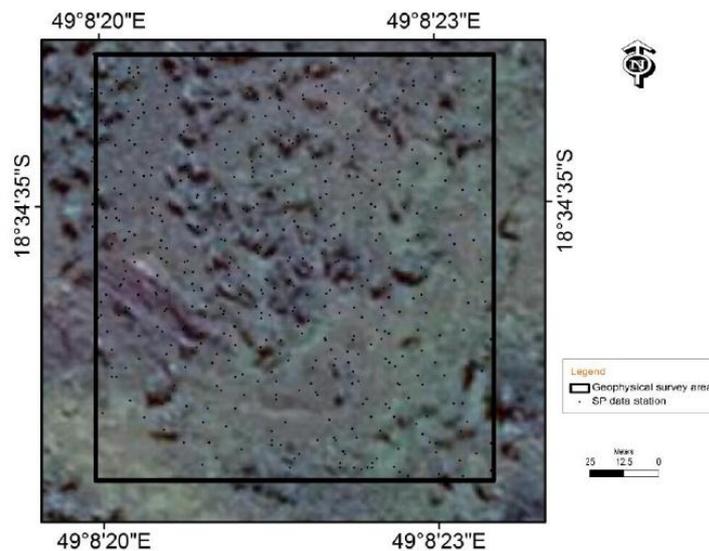


Figure 16: Localisation des levés PS sur la zone 02

La carte ci-dessous montre un lobe d'anomalies négatives. L'anomalie est localisée au centre-sud dans ce domaine, ce domaine a une anomalie de valeur plus négative que la zone 1. Cette valeur élevée indique une forte teneur en graphite à cette localité (cf. Figure 12).

Les études menées ont montré que la présence de l'important graphite crée le potentiel naturel appelé "potentiel minéral" (plus de 200 mV d'amplitude). Et c'est dans cette zone que le calage a été effectué.

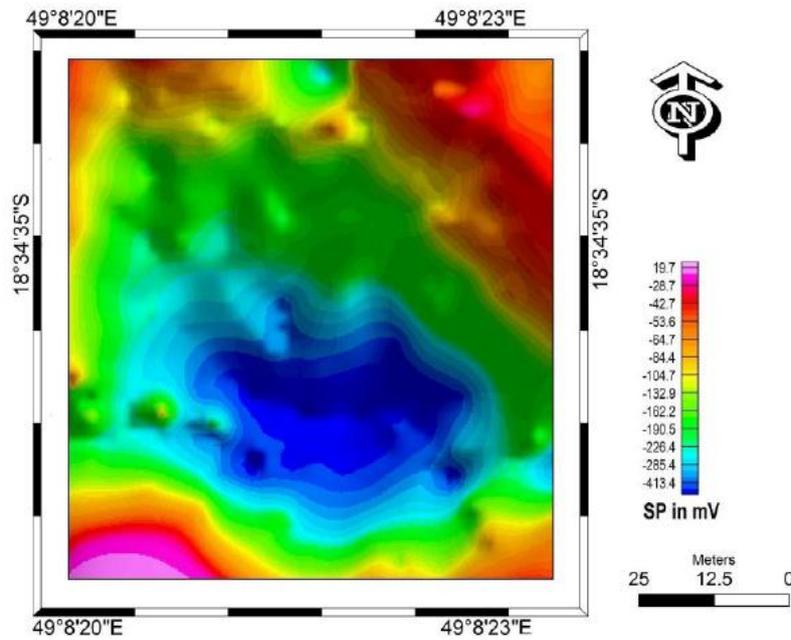


Figure 17: Anomalie de PS sur la zone 02

**Coupe géo-électrique**

*Acquisition de données*

Trois lignes ont traversé la zone étudiée d'Est en Ouest. Comme sur la zone 1, la distance entre les électrodes est de 5m.

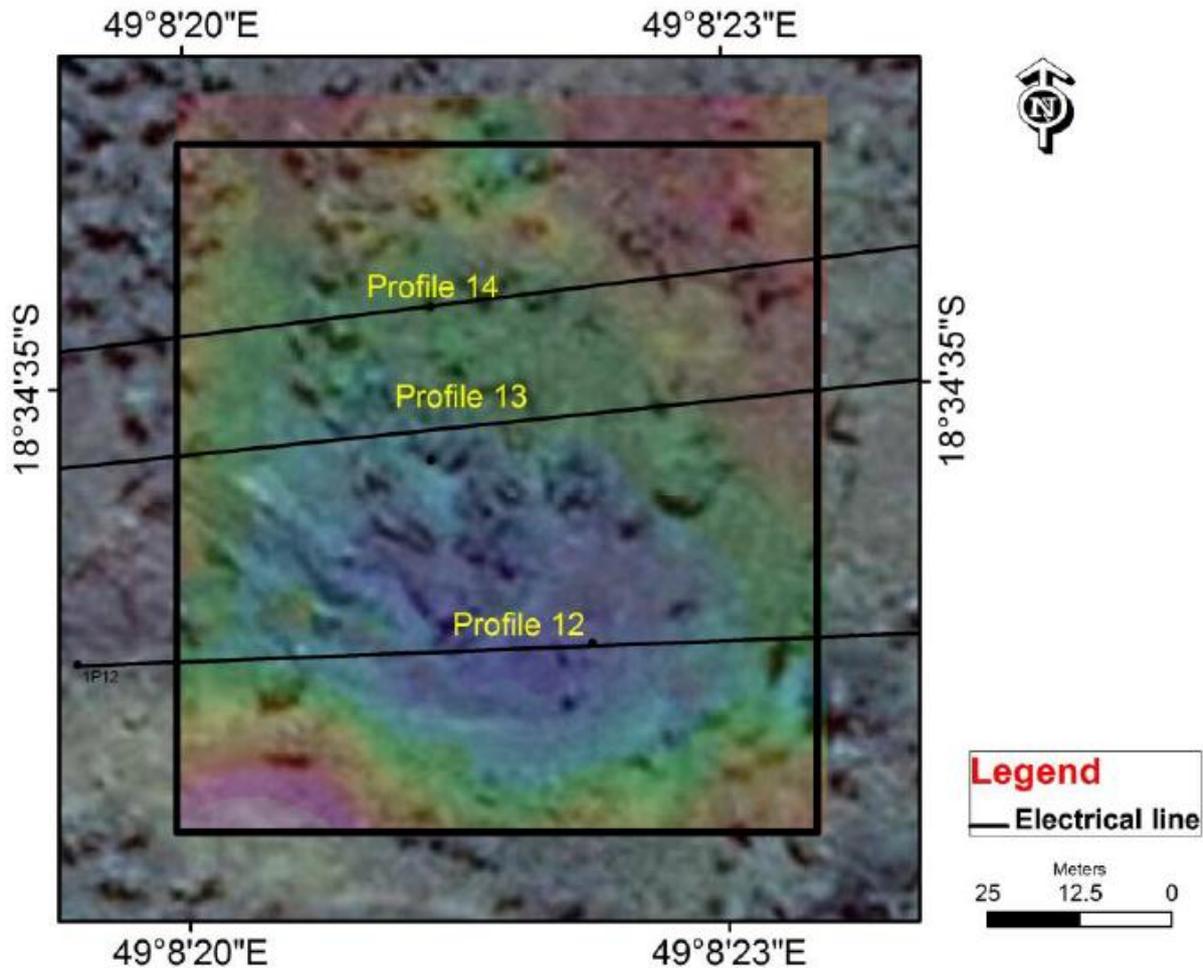


Figure 18: Localisation des panneaux électriques de la zone 02

*Interprétations :*

Prenons le cas du profil 12

La section de résistivité électrique montre deux formations:

- La formation d'une valeur de résistivité élevée qui occupe la partie peu profonde de la section
- La couche de conducteur électrique qui forme la base de la présente section.

La modification de la structure de résistivité est horizontale. Il présente probablement la surface de l'eau souterraine.

La section IP est dominée par la valeur élevée de chargeabilité. Cette formation a environ 10m d'épaisseur dans la partie Est et cette épaisseur augmente à l'ouest x = 50m point d'abscisse.

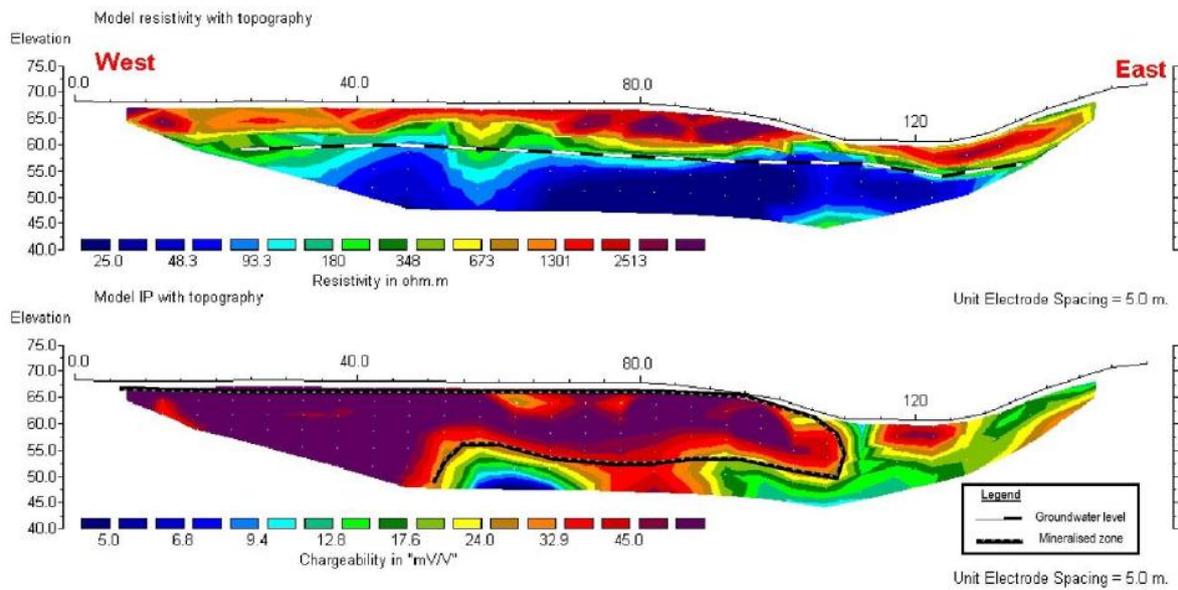


Figure 19: profil 12

**RESUME :** Le levé géophysique montre les anomalies PS et IP dans la zone 1 que dans la zone 2. Les anomalies enregistrées sur la zone 1 sont beaucoup plus bas que sur la zone 2, par exemple la valeur de PS est d'environ 400 mV sur la zone 1 et il est de 200 mV sur la zone 2. Ce changement de la valeur de PS est dû à plusieurs causes, comme la teneur en graphite de la couche, l'extension de la minéralisation, la profondeur de la source d'anomalie et etc. ...

## **III.2 EXTRACTION DU GISEMENT [3] [6] [16] [17] [20] [21] [22] [24]**

### **III.2.1 CHOIX DU MODE ET METHODE D'EXPLOITATION**

Le mode d'exploitation est défini comme le moyen d'accès au gisement, son choix est généralement évident, mais parfois une partie du gisement est exploitée à ciel ouvert et une autre, généralement située en grande profondeur exploitée en souterraine. Ici il est plus qu'évident d'opter à une exploitation à ciel ouvert parce que le gisement de graphite est situé juste à quelques mètres de la surface.

Géométriquement, on peut définir la méthode d'exploitation comme l'organisation de la progression dans le temps de l'ensemble des gradins à l'intérieur de la fosse ultime. Cette définition ne tient pas compte des facteurs échelle, minéralisation, matériel.

Il y a différentes types de méthode d'exploitation à ciel ouvert :

#### **III.2.1.1 Méthode par tranches horizontales simultanées**

Dans laquelle la progression de l'excavation se fait par tranches horizontales conduites simultanément pour enlever en un seul passage la totalité de l'épaisseur verticale à exploiter.

#### **III.2.1.2 Méthode par tranches horizontales successives en pleine largeur**

Dans laquelle la progression globalement verticale de l'excavation se fait par tranches horizontales conduites successivement jusqu'au contour final.

#### **III.2.1.3 Méthode par fosses emboîtées :**

Le terrassement est conduit de façon que l'excavation affecte à plusieurs époques successives la forme des fosses à peu près homothétiques de plus en plus profondes.

#### **III.2.1.4 Méthode mixte**

Une méthode combinant deux au moins des autres méthodes décrites précédemment.

Pour une exploitation à ciel ouvert, le choix de la méthode d'exploitation appropriée dépend des facteurs suivants :

- la rentabilité économique;
- la sécurité du personnel;
- la sécurité de l'exploitation;

- assurer la qualité de production;
- la préservation de l'environnement.

Pour l'exploitation du gisement de graphite, étant donnée la géométrie et la nature du gisement, la méthode proposée est celle par stripping qui consiste à grandir la fosse d'un côté tandis qu'on remblaye l'autre extrémité. Cette méthode est approprié ici car le couche est subhorizontal, étendue et peu profonde donc l'extraction se fait par tranches horizontales successives.

. Les techniques d'exploitation sont aussi nombreuses que variées. Ainsi l'exploitant d'un gisement exige un choix, non seulement parmi ces diverses techniques, mais aussi dans la façon dont elles sont mises en œuvre; car les chantiers d'exploitation sont caractérisés par leur forme «géométrique », leur orientation par rapport au gisement et la direction de leurs progression. Ces derniers caractères définissent la méthode d'exploitation. En effet, l'exploitation d'un gisement nécessite à la fois le choix d'une méthode et celui d'une technique nécessaire à sa mise en œuvre.

### **III.2.2 Modélisation DU GISEMENT**

Cette partie traite la modélisation et la forme du gisement en trois dimensions. En effet, la coupe géo électrique donne une configuration en deux dimensions de la formation minéralisée en graphite et que la polarisation spontanée procure une analyse qualitative de la région à étudier permettant une zonation de la surface minéralisée.

Les résultats de la coupe géo-électrique ont été exportés vers un logiciel de modélisation (Rockwork). C'est la puissance de la couche minéralisé qui est prise en compte pour obtenir une estimation du volume de minerais de graphite.

<b>ZONE 1A (M<sup>3</sup>)</b>	<b>ZONE 1B (M<sup>3</sup>)</b>	<b>ZONE 2(M<sup>3</sup>)</b>
8670	6400	8900

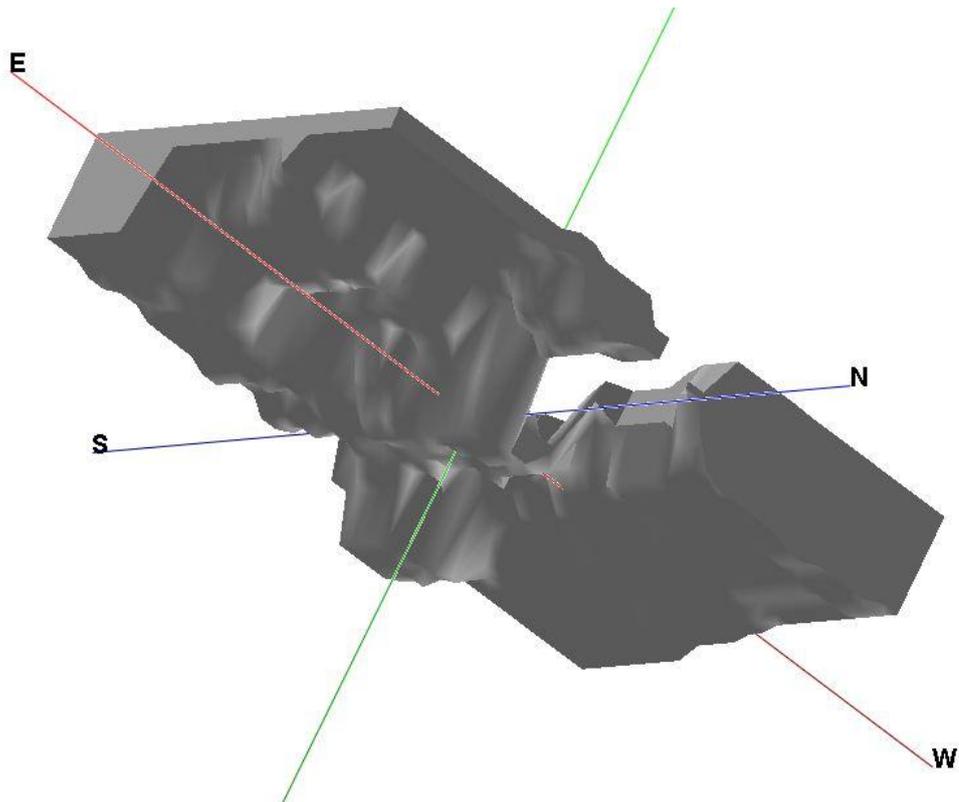


Figure 20: Modelisation du gisement de la zone 1A

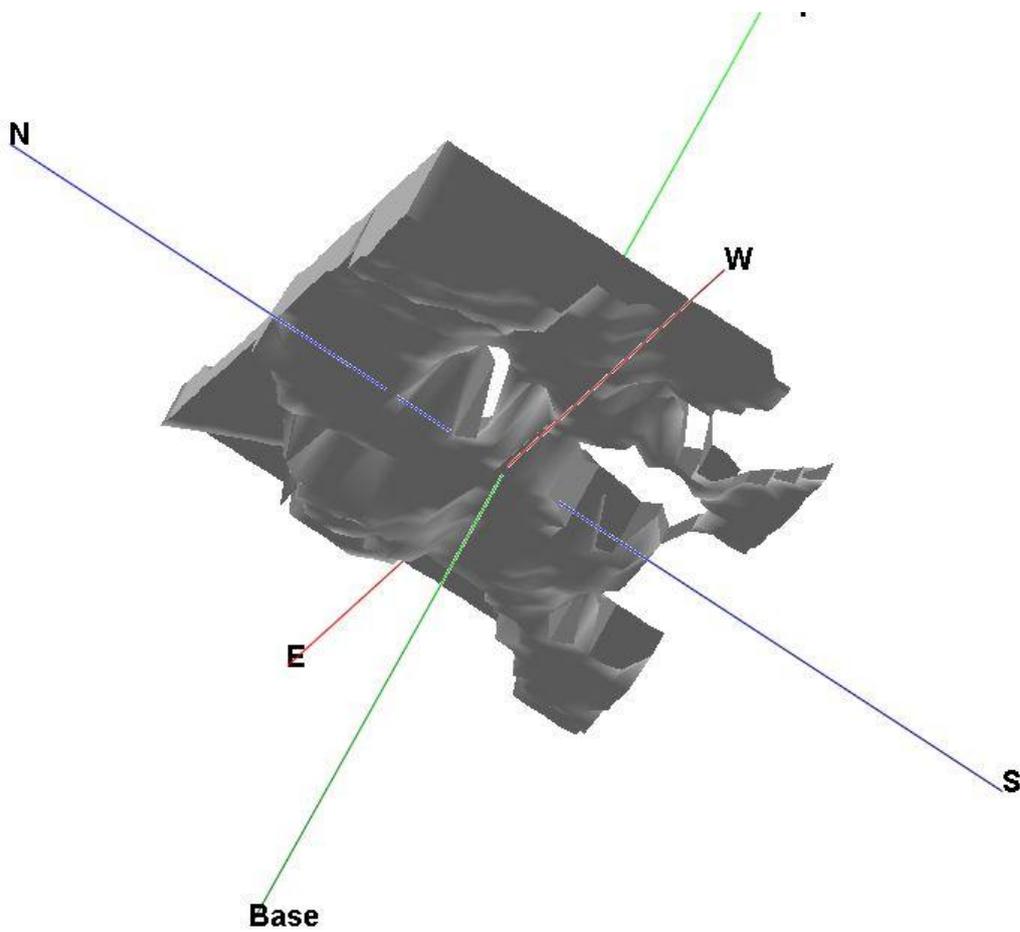


Figure 21: Modélisation du gisement de la zone 1B

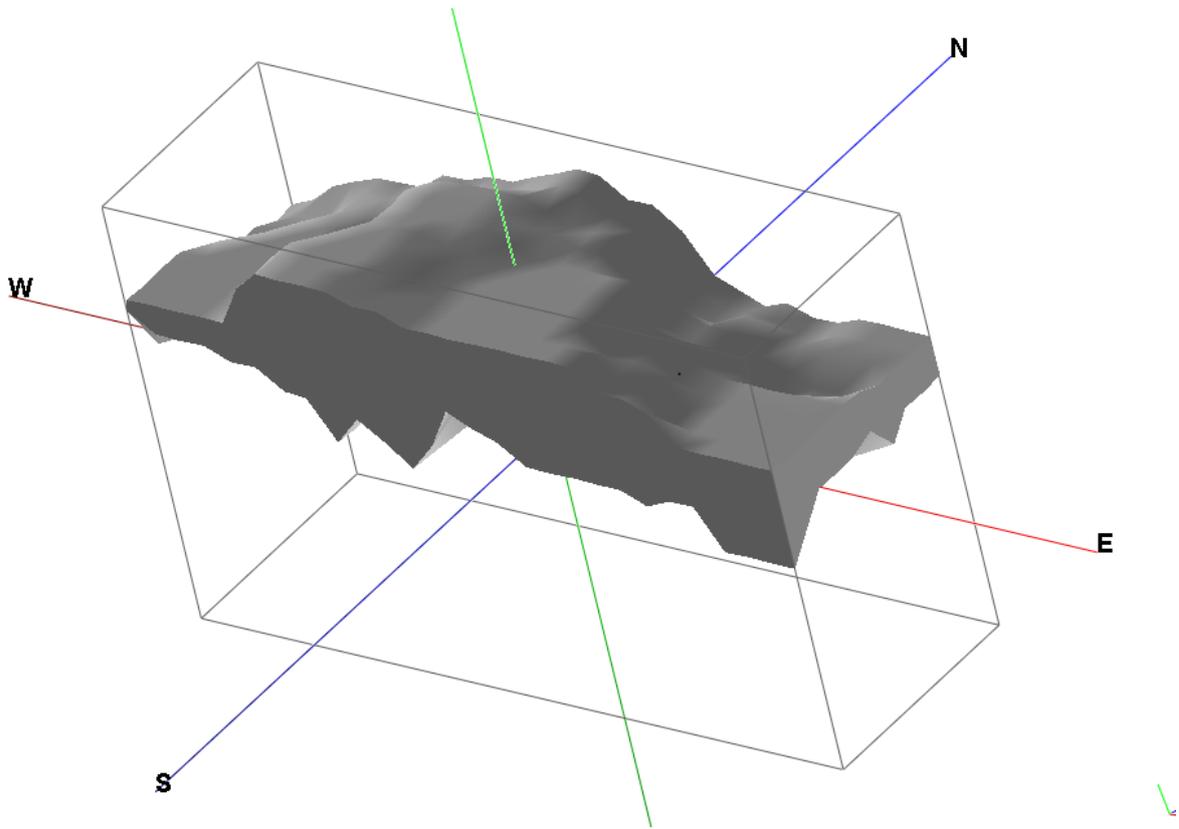


Figure 22: modélisation du gisement de graphite de la zone 2

### III.2.3 LES ENGINS UTILISES [8] [W6] [W7]

#### Engin de chargement :

Le chargement est une opération qui consiste à extraire et à mettre les produits sur ou dans un engin de transport. On distingue les chargeuses, les engins pour l'excavation,...

Pelle excavatrice sur chenille

#### Engin de roulage :

Roulage, c'est le transport des produits par un engin qui roule sur le sol ou sur des rails, et désigne tous types de transport de minerais entre la sortie du chantier et l'ouvrage d'extraction

Camion à benne

#### VIII.4.1 Calcul du nombre de camion

Le choix du nombre de camion est un paramètre très important parce qu'il a un impact majeur sur le coût. En effet, il doit être judicieusement déterminé car le prix d'un engin est trop onéreux pour être justifié par tâtonnement.

Le calcul du nombre de camion dépend de divers paramètres, à noter :

- La quantité à extraire
- La capacité de l'engin
- Heures de travailles
- La distance par rapport à l'usine
- La vitesse de camion
- La vitesse d'extraction

##### Procédé de calcul :

- ✓ Disponibilité mécanique  $D_m$ : 80%
- ✓ Utilisation de la disponibilité  $UD_m$ : 70 %

C'est-à-dire 70% de la disponibilité mécanique 80%

- ✓ Temps de cycle :

Du point de vue déplacement de l'engin, un cycle est généralement comme suit :

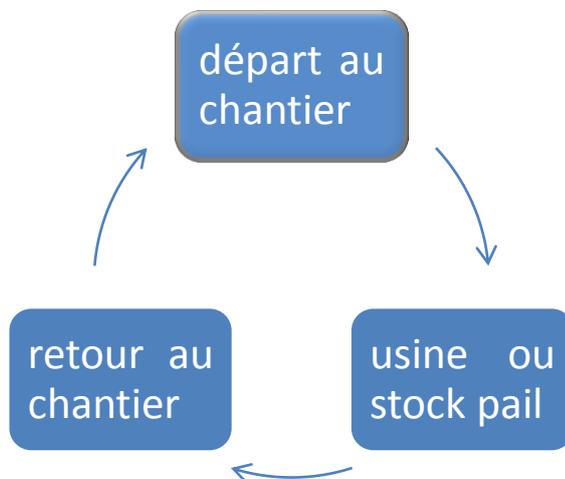


Figure 23: cycle d'un camion (source: auteur 2014)

Le temps de cycle contient :

- Temps de chargement
- Transport (minerais ou stérile)
- Temps de déchargement
- Retour

Temps de cycle est **tc : 10mn** implique que **nc** le nombre de cycle par heure = **6cycles/h**

- ✓ Temps disponible par an

La mine travaille 340 jours par an soit **2720 h/an/machine**

$$T_d = t_w \times D_m \times UD_m$$

Avec une disponibilité mécanique de **80 %** soit **2176 h/an/machine**

Utilisation de la disponibilité : **70%** ce qui fait **1523h/an/machine**

- ✓ Le temps utile  $T_u$

$$T_u = T_f \times T_d$$

$T_f$  Timing factor : 75%

Le temps utile par an par machine est donc **1142h/an/machine**

- ✓ Capacité de l'engin :

On utilise souvent la capacité inférieure à la capacité théorique indiqué par le constructeur de l'engin. ici la capacité du camion utilisé est  **$Q_e = 22$  tonnes**

- ✓ Quantité à extraire : **12000t/an**

Le but est d'atteindre en moyenne 12000 tonnes de graphite marchand par an, et pour une estimation du taux de décapage de stérile de  $1\text{m}^3$  (densité 1,8 à 2) par tonne de graphite, on a environ 900000 tonnes de minerais + stérile

La quantité à extraire  $T_a$  est donc de **900000 tonnes de minerais + stérile.**

✓ Tonnage par heure par engin :

$$T_{/h} = Q_e \times n_c$$

22 T x 6 = 132 tonnes par heure par engin

✓ Tonnage utile transporté par an

$$T_{u/a} = T_{/h} \times T_u$$

: 132T/h \* 1142 h = 68520 T/an

✓ Le nombre de camion est :

$$n = T_a \times (Q_e \times n_c \times T_f \times t_w \times D_m \times UD_m)^{-1}$$

$$\boxed{n = T_a \times (T_{u/a})^{-1}}$$

900000/ 68520= 5,49 camions soit 6 camions.

**Le nombre de camion minimum pour extraire 900000 tonnes de minerais + stérile est donc 6 pour assurer les 12000 tonnes de graphite marchand par an.**

#### **VIII.4.2 Nombre de pelles**

Les pelles hydrauliques sont munies de bras articulés et de godets permutables qui permettent l'excavation dans des sols de nature variée. Le plus souvent, les pelles hydrauliques réalisent des travaux d'excavation en mode « rétro » pour des excavations sous le niveau du dessous de la base de la pelle.

Il existe deux types de pelles hydrauliques, les pelles sur roues utilisées sur des sols ayant une bonne capacité portante. Pour les sols de faible capacité portante, le cas le plus courant, on utilisera la pelle hydraulique sur chenille.

Le calcul du nombre de pelles dépend de plusieurs facteurs comme la nature du sol à excaver, de l'engin en question ou même du conducteur.

- ✓ Capacité du godet :  $1 \text{ m}^3$
  
- ✓ Durée du cycle : **D= 0,40 min** En pratique, on utilise pour une pelle hydraulique sur chenille exécutant une rotation de  $90^\circ$ : 0,40 minute (sol ordinaire- terre organique)
- Volume utile par heure par machine :  
 $155 \times 0,6 = 93 \text{ m}^3 / \text{h}$
  
- ✓ le taux de travail est de **50 minutes par heure.**
  
- ✓ Nombre de cycle par heure =  $50 \text{ min} \div 0,4 \text{ min/cycle} = 125 \text{ cycles par heure}$
  
- ✓ Production horaire théorique =  $125 \text{ cycles} \times 0,6 \text{ m}^3 \times 95\% = 118,75 \text{ m}^3/\text{h}$
  
- ✓ capacité de chargement du camion  $Q_c = 5 \text{ m}^3$
  
- ✓ Coefficient de remplissage : **95%**
  
- ✓ Nombre de coups de godet  $n_g$  requis pour remplir une benne de camion

$$n_g = \frac{Q_c}{Q_g \times 95\%}$$

=  $10 \text{ m}^3 \div (1 \text{ m}^3 \times 0,95) = 10,53$  coups soit **10 coups de godet pour 9,5 m<sup>3</sup> de ben à remplir**

- ✓ Durée de chargement

$$\Delta_c = n_g \times \Delta$$

$$\Delta_c = 10 \text{ coups de godets} \times 0,4 \text{ mn} = 4 \text{ mn}$$

- ✓ Durée de la mise en place de la benne = **0, 35 minutes**
- ✓ Durée totale du chargement = **4mn + 0, 35 min = 4,35minutes**
- ✓ Nombre de chargement à l'heure =  $50 \text{ min} \div 4,35 \text{ min/chargement} = 11,4942$  chargements
- ✓ Production horaire réelle = **11,4942 charge. x 9,5m<sup>3</sup>. = 109,2 m<sup>3</sup>/h**

Or, le pelle doit assurer l'extraction de 900000 tonnes de minerais et de stérile, qui signifie 409090 m<sup>3</sup> en terme de volume.

Par jour une pelle effectuera donc une production de **873,56 m<sup>3</sup>**

Production en une année = **297011,49m<sup>3</sup>**

NOMBRE DE PELLE : **409090 m<sup>3</sup> /297011,49m<sup>3</sup> = 1,37 pelles= 2 pelles**

Le nombre de pelle requis pour desservir les camions et pour assurer la bonne marche de production de 12000 tonnes de graphite marchand par an est donc deux (2)

#### **Récapitulation :**

**Pour assurer la production annuelle de 12000 tonnes de graphite marchand, il faut donc engager 6 camions dont la capacité de la benne est de 10 tonnes et que ces bennes sont desservies par 2 pelles hydrauliques sur chenille dont la capacité du godet est de 1m<sup>3</sup>**

### **III.2.4 EXHAURE**

Cette partie traite le problème de venue d'eau dans les mines. En effet la présence de l'eau est souvent indésirable et gênant dans le site minier entraînant des travaux supplémentaires, donc des coûts supplémentaires.

La région orientale est particulièrement une région où il pleut presque toute l'année, donc l'eau est abondante ; le problème d'exhaure est donc à ne pas négliger

## Estimation de la réserve d'eau

Pour se faire, il faut calculer le volume de la nappe aquifère mais non le volume de l'eau souterraine.

Le volume d'aquifère moyen est évalué selon les paramètres suivants : longueur L, largeur l et épaisseur E de la nappe aquifère, données par l'interprétation des coupes géoélectriques des résistivités. On fait correspondre les deux coupes à une figure géométrique comme telle ;

Prenons le cas de la zone 2

### Volumes d'aquifère et d'eau

Le volume d'aquifère moyen est évalué selon les paramètres suivants : longueur L, largeur l et épaisseur E de la nappe aquifère, données par l'interprétation des coupes géoélectriques des résistivités. On fait correspondre les deux coupes à une figure géométrique comme telle :

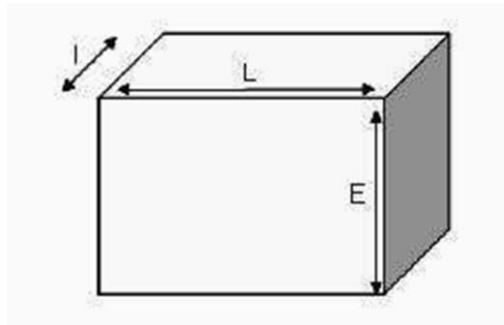
Ainsi on a

$$L=115\text{m}$$

$$l=50\text{m}$$

$$E=8$$

$$V= 46000 \text{ m}^3$$



Le volume d'aquifère moyen mais non le volume d'eau dans la nappe est donc  $46000 \text{ m}^3$

Pour calculer la quantité d'eau dans la nappe, il faut connaître les paramètres hydrodynamiques du sol tel la porosité efficace, le coefficient d'emmagasinement. En générale on utilise la porosité efficace

$$\text{Tel que } V_{\text{eau minimale}} = V * s$$

$$V_{\text{eau min}} = 46000 * 0,05$$

$$V_{\text{EAU MIN}} = 2300\text{M}^3$$

Connaissant approximativement la quantité d'eau dans la nappe, on peut prendre des mesures adéquates pour éviter le problème de venue d'eau durant le travail dans la mine. L'utilisation de motopompes en est la solution. L'appareil en question doit avoir les propriétés (puissance,

débit,...) pouvant assurer l'évacuation de la quantité d'eau pouvant survenir journalièrement dans la mine.

### **III.2.5 DESIGN ET VOIE DE ROULAGE [8] [21]**

Les pistes de roulages dans les mines ont des influences directes sur la productivité et ou les coûts de l'exploitation. Les designs des routes de roulage prennent en compte les différents facteurs tels que facteur géotechnique, topographique, géométrique, coût.

Les équipements utilisés dans les mines sont généralement des pelles hydrauliques et des camions de taille et de masse assez imposante, ainsi la géométrie des routes de roulages varie selon la taille des camions utilisés.

#### **III.2.6.1 LARGEUR :**

La largeur des routes sont généralement trois à quatre fois de la largeur de l'unité d'équipement le plus large utilisé pour le roulage.

Les courbures horizontales sont conçues pour que les conducteurs puissent négocier sécuritairement ces courbures à une vitesse donnée.

Les surélévations devraient être dessinées pour minimiser les forces centrifuges sur les tombereaux en attaquant les courbures. Les surélévations devraient être de 4% à 6% selon la vitesse de l'équipement.

Les pentes varient de -20 à 20%, la pente maximale les plus usées est de 8%.

#### **III.2.6.2 SURFACE DE LA ROUTE :**

Les types de matériaux qui peuvent être utilisés à la surface des routes de roulages sont les suivants :

- Les graviers compactés
- Les pierres concassées
- L'asphalte
- La terre stabilisée

L'adhésion est importante du point de sécurité en gardant les engins de se glisser. Il faut aussi considérer les propriétés poussierantes des matériaux de surface, si le matériau est facilement

cassable par le trafic, alors des poussières peuvent apparaître, causant ainsi des problèmes de sécurité, environnementaux mais aussi de problème sanitaire. Ce problème est souvent traité en appliquant de l'eau à la surface ou quelque fois on asperge du chlorure de calcium pour réduire la poussière.

### III.2.6.3 LES PRINCIPAUX FACTEURS A CONSIDERER :

#### a. distance d'arrêt :

Elle doit être ajustée au véhicule ayant la plus longue distance d'arrêt.

$$SD = 1/2gt^2 \sin(\theta) + v^0t + \left[ \frac{(gt \sin \theta + v^0)}{(2g(U_{\min} - \sin \theta))} \right]$$

Tel que :

✚ SD [m]

✚

✚  $g = 9,81 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$

✚  $t = \text{[s]}$  temps passé entre la perception du conducteur de vouloir s'arrêter et le freinage réel

✚  $\theta =$  angle de descente

✚  $U_{\min} =$  coefficient de friction à la surface de contact entre le pneu et la route  $t^2$

✚  $v^0 =$  vitesse du véhicule au moment de la perception

cette formule a été établie par Kaufman Ault en 1977 et basée sur des formules empiriques étudiées par SAE

Le facteur  $t$  est en réalité composé de deux intervalles de temps  $t_1$  et  $t_2$  tel que :

- $t_1 =$  temps passé entre la réaction du conducteur et le temps où le véhicule s'arrête effectivement selon le mécanisme de freinage. ce temps est en général de l'ordre de 4,5[s]
- $t_2 =$  temps de réaction du conducteur, c'est-à-dire entre la perception et l'action du conducteur,  $t_2$  est de 1,5 [s] en général.

Le facteur  $U_{\min}$  est évalué à partir de l'expression suivante :

$$U_{min} = \frac{V^2}{(2 g S)}$$

- V : test de vitesse étudié par SAE : 8,94[ms<sup>-1</sup>]
- S : temps d'arrêt calculé en soustrayant 8,9t<sub>1</sub> de la distance d'arrêt recommandée par SAE
- U<sub>min</sub> : est en général 0,3

**b. distance de vision :**

La distance de vision doit être supérieure ou égale à la distance d'arrêt. Ce critère est valable aussi bien dans les courbures horizontales que dans les courbures verticales.

La longueur de courbure verticale devra être adéquate au confort du conducteur et doit fournir une distance de vision assez ample.

$$L = \frac{[2S - 200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2]}{A}$$

Avec

$$S \gg L$$

h<sub>1</sub> : [m] hauteur de l'œil du conducteur par rapport au sol.

h<sub>2</sub> : [m] hauteur de l'objet à la surface de la route.

A : différence algébrique entre les pentes en %.

S : [m] distance d'arrêt que le véhicule peut atteindre.

L : longueur de courbure vertical.

**c. largeur de la route :**

La largeur de la portion utilisable de la route est souvent calculée à partir de la largeur de véhicule la plus grande qui passe régulièrement sur cette route. En général cette largeur est de 3 à 4 fois la largeur du véhicule la plus large, dans les virages, cette largeur est augmentée.

**d. courbure et Switch back :**

Les courbures et «Switch back » sont tracés en prenant compte la sécurité, la performance des véhicules et l'aspect économique.

Le rayon de courbure est donné par la formule ci-après :

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)}$$

Cette formule est utilisée pour tracer les courbures

R : [m] rayon de courbure

V : [km /h] vitesse de véhicule

e : surélévation [m/m]

f : coefficient de friction.

### **III.3 TRAITEMENT DES TOUT VENANTS [26] [16]**

Ce procédé consiste à éliminer les minéraux inutiles, c'est-à-dire séparer les minéraux utiles des impuretés; le traitement se divise en deux parties :

- Le débouillage: qui consiste en un traitement préliminaire ou pré-concentration
- Le raffinage : qui consiste à l'enrichissement des pré-concentrés

La Flottation est la principale technique de séparation utilisée pour le traitement de graphite, ainsi les deux parties de traitement s'accompagnent toujours de la flottation

#### **III.3.1 LE DEBOILLAGE:**

Le débouillage est un procédé de traitement qui consiste à enlever essentiellement les boues et à préparer le minerai pour le raffinage. Dans certaines sociétés, le débouillage se fait à proximité de la mine et que seuls les débouillés sont amenés vers l'usine de traitement

Le minerai partant de la trémie est acheminé à l'aide d'un convoyeur à bande, passe par un trommel épierreur, puis un concasseur pour les gros blocs. Un premier broyeur à boulet pour la réduction de leur taille afin d'assurer la finesse des grains et de préparer le minerai pour le procédé de traitement par la flottation. Les produits de broyage passent par un tamis à pluie, les refus sont rebroyés pour la réduction de leur taille. Les passés passent par un malaxeur qui a pour rôle de malaxer les boues avec les réactifs de flottation (chaux, huile de pin, gazole). Le mélange est ensuite envoyé aux cellules de flottation, une cloison verticale sépare la cellule en deux afin d'éviter de forte agitation à l'arrivée des boues. Le graphite flotté suivant un canal de débordement est amené aux tamis à pluie. Les rejets définitifs sont considérés comme inutiles et sont rejetés.

Le principal produit de débouillage est stocké dans une trémie pour passer à la seconde étape d'enrichissement, le raffinage. La teneur du débouillé attendu est la plus riche possible, la teneur varie généralement de 60 à 80%

### **III.3.2 LE RAFFINAGE :**

Le raffinage commence par le traitement des débourbés, passant par la phase d'enrichissement proprement dite jusqu'à la mise en sac. La teneur en graphite demandé suit la demande des acheteurs, 98% environ et plus la teneur est élevée, plus la qualité est meilleure.

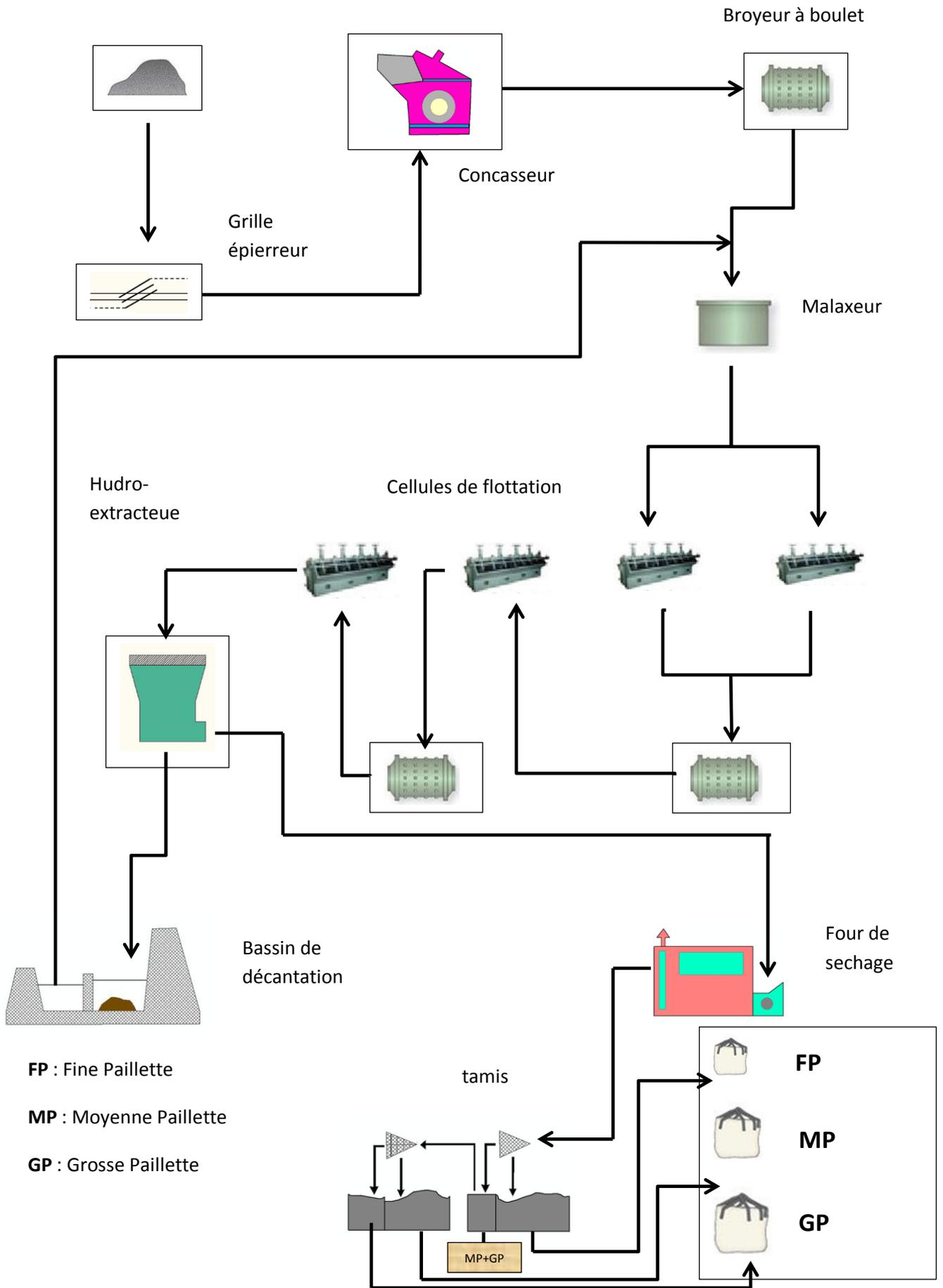
Le processus de traitement du pré concentré est comme suit :

Les débourbés subissent deux séries de broyages et de flottation afin de maximiser la teneur en graphite. Cette processus permet d'éliminer par exemple les hydroxydes de fer qui en principe dispersés à un pH voisin de 7 mais qui risquent d'absorber un peu de moussant. Le graphite est un minéral non polaire, hydrophobe, donc facile à flotter, cette caractère d'hydrophobie est accentuée par l'adjonction d'huile de pin (ou gazole, ou teepol,...) qui optimise la flottation. La nontronite qui au pH égale à 7 est dispersée à condition qu'elle soit suffisamment désagrégée, elle a un fort pouvoir d'échange et d'absorption. L'adjonction de chaux est une solution pour les éliminer, par conséquent, par augmentation de pH on a une meilleur dispersion des argiles donc forte diminution de son pouvoir absorbant.

Après cette série de broyage et de flottation, le graphite entre dans un machine à presse pour éliminer la major partie de la quantité d' eau (on passe de 60% à 15-20% H<sub>2</sub>O) puis passe dans un four à séchage pour éliminer complètement l'eau.

A la sortie de four de séchage, le graphite est refroidi et passe par un tamis qui assure la classification suivant le screen. Suivant les besoins de la commercialisation, le graphite est en général tamisé à 25-35-45-50-70 mesh (grandes paillettes, moyennes paillettes, fines paillettes et extrêmement fines paillettes)

L'ensachage et l'emballage s'opère avec de l'humidité résiduelle environ de 2,5% et chaque sac est classée selon leur poids et la taille des grains de graphite selon la demande



**PARTIE 4 : ETUDES D'IMPACT  
ENVIRONNEMENTALE &  
ETUDES TECHNICO-  
ECONOMIQUES**

## **IV.1 IDENTIFICATION, EVALUATION ET ANALYSE**

### **DES IMPACTS DU PROJET [7] [11][14] [17] [20]**

L'étude d'impact est un instrument de planification qui aide le promoteur à concevoir un projet plus respectueux du milieu récepteur, sans remettre en jeu sa faisabilité technique et économique. Elle prend en compte l'ensemble des composantes des milieux naturel et humain susceptibles d'être affectées, par le projet, en vue d'analyser et d'interpréter les relations et interactions entre les facteurs essentiels qui exercent une influence sur les écosystèmes, les ressources et la qualité de vie des individus et des collectivités. Pour ce faire, l'étude d'impact prend en considération les opinions, les réactions et les principales préoccupations des individus, des groupes et des collectivités. L'examen d'option et de variantes de réalisation est intrinsèque à toute démarche d'évaluation environnementale. L'étude d'impact fera donc ressortir clairement les objectifs et les critères de l'option ou des variantes privilégiées par le promoteur en relation avec les critères d'intégration régionale.

-  pour le milieu physique : le sol, l'eau, l'air et le paysage
-  pour le milieu biologique : la végétation, la faune;
-  pour le milieu humain : la population, l'emploi.

Pour leur appréciation, les impacts seront classés en impact fort, moyen et faible.

Un impact fort est généralement défini comme toute modification sur des composantes de l'environnement qui affecte :

- les espèces endémiques rencontrées ou,
- les aires de conservation régies par une reconnaissance juridique ou,
- des modifications pérennes irréversibles sur l'environnement.

On entend par impact moyen toute modification sur les composantes de l'environnement qui engendrent :

-  des effets d'entraînement ou,
-  des impacts à durée déterminée,
-  des impacts pouvant être atténués.

Enfin, un impact faible est défini comme une modification sur des composantes de l'environnement qui n'engendre pas des empiétements sur des aires ayant une reconnaissance juridique ou ancestrale, ou qui touchent des espèces banales.

Suivant ses effets sur l'environnement, un impact peut être positif ou négatif.

D'une manière générale, les impacts générés par le projet sont classés faibles ou moyens.

#### **IV.1.1. IDENTIFICATION**

##### ***IV.1.1.1. impacts sur le milieu physique :***

La composante physique est la plus touchée de tout le milieu récepteur du projet.

- Sur la topographie

L'exploitation minière modifiera le relief et changera son aspect, pourra faciliter l'érosion en augmentant la vitesse de ruissellement sur les pentes. Ainsi les travaux d'exploitation auront un impact négatif.

- Sur le paysage

Les exploitations détruiront la végétation par défrichage et décapage, laisseront des tranchées rectilignes par excavation, des monticules de déblais (terrils) aux alentours, qu'affectera l'intégrité du paysage.

- Sur le sol

Les travaux perturberont totalement le profil du sol et ses propriétés, ce qui portera atteinte à son utilisation ultérieure, et favorisera son érosion, surtout en période de fortes pluies (novembre à mars) où les eaux de ruissellement seront plus chargées en sables stockés.

- Sur l'eau

Le rejet des effluents liquides et les eaux de ruissellement fortement chargées augmenteront la turbidité et la pollution de l'eau du réseau hydrographique.

L'utilisation de l'eau de rivière perturbera son débit et pourra même entraîner ponctuellement l'épuisement de la ressource.

- Sur l'air

La propagation de poussières due à l'extraction et accentuée par le vent est le principal impact du projet sur l'atmosphère. L'émission de poussières peut avoir des impacts sur la santé des habitants autour de la zone d'exploitation, tels des problèmes respiratoires. De plus, le dépôt des poussières provoque l'altération de la flore. L'utilisation de plusieurs machines en même temps provoque des nuisances sonores aux employés et aux habitants environnants.

#### ***IV.1.1.2. impacts sur le milieu biologique (faune et la flore) :***

- Sur la flore

Le défrichage, le raclage et le décapage du top soil pour la mise en place des infrastructures entraîneront la diminution, la destruction ou la perte d'espèces floristiques, par conséquent, la perturbation de l'équilibre biologique de l'écosystème.

- Sur la faune

Les différentes activités dans la phase d'exploitation seront à l'origine de la perturbation et la disparition, voire la perte de certaines espèces faunistiques terrestres.

#### ***IV.1.1.3. impacts sur le milieu humain :***

- Litige foncier

Des litiges fonciers peuvent se produire dans le cas où les lieux d'exploitation, emplacement des infrastructures se trouvent dans des terrains privés.

- Création d'emploi :

Au niveau de la population, les impacts sont globalement positifs. Il s'agit de la création d'emplois.

- Du point de vue ressources humaines, le Promoteur envisage recruter des employés locaux ou nationaux,

Par ailleurs, il existe aussi les emplois indirects générés par le projet : achat de fournitures et de matériels divers (consommables, riz,...).

- Stabilité du milieu social local :

Le nombre d'emplois créés au début du projet n'entraînera pas ainsi une transformation radicale ou une déstabilisation du milieu social local. De plus, tout le personnel expatrié et les techniciens venant d'autres régions seront logés dans l'enceinte de la base vie qui prendra toutes les mesures nécessaires en vue de préserver la qualité de l'environnement : installations sanitaires adéquates (douche et fosses septiques), incinération des ordures domestiques dans des fosses. Les employés recrutés sur place rejoindront leur domicile respectif à la fin des travaux.

#### ***IV.1.1.4. Impacts socio-économiques :***

- Contribution aux recettes fiscales :

En plus de la création d'emploi, l'amélioration du niveau de vie des employés, l'activité minière entreprise par le Promoteur rapporte ; de frais d'administration minière annuels par carré au profit du bureau de Cadastre Minier, du Budget général et des Régions et commune, de redevance minière et les ristournes des diverses taxes selon le Code Général des Impôts (IBS, INRS, TVA...).

- Participation aux actions sociales du Fokontany et Commune :

Le Promoteur participera aux actions sociales demandées par la population de la zone d'influence du projet, telles que la réhabilitation et l'entretien des pistes desservant les Fokontany situés dans le périmètre minier qui serviront à la majorité de la population de se communiquer et d'évacuer leurs produits locaux vers les marchés. Ayant pris connaissance du manque d'infrastructure et de l'insuffisance d'équipement dans la Commune Rurale d'Ambinaninony le Promoteur ne refuse pas d'apporter sa contribution, sous forme d'aide sociale à la demande du Fokontany ou de Communes selon ses possibilités.

## **IV.1.2. EVALUATION DES IMPACTS**

L'évaluation sert à prioriser les impacts identifiés. Il s'agit de déterminer lesquels de ces impacts positifs et négatifs sont majeurs.

### **IV.1.2.1 Portée**

Cet indicateur montre l'ensemble de la zone ou étendue affecté et touché par le projet, que ce soit direct ou indirecte.

- La portée est dite régionale si la source d'impact modifie la totalité ou une portion importante de la composante et que cet impact est ressenti par l'ensemble de la population de la zone d'étude;

-Elle est locale si la source d'impact modifie seulement la composante située dans la zone d'intervention et que cet impact n'est ressenti que par la population environnante;

- Elle est dite ponctuelle si l'impact est très localisé au niveau d'une composante et cela est ressenti dans un espace réduit et affecte une petite portion de la population.

### **IV.1.2.2 Durée**

Elle présente l'aspect temporel de l'impact, elle peut être qualifiée temporaire ou permanente

1- occasionnelle : si l'impact est très localisé au niveau d'une composante et cela est ressenti dans un espace réduit et affecte une petite portion de la population ;

2- temporaire si le changement se fait de manière continue ou intermittente mais régulière pendant une période de projet ;

3- permanent si l'impact a un critère d'irréversibilité et est observé de manière définitive ou à très long terme. L'impact existe pendant une période de projet et persiste après le projet.

### **IV.1.2.3 Intensité**

L'intensité de l'impact est fonction de l'ampleur des modifications sur la composante du milieu touchée par une activité du projet ou encore des perturbations qui en découlent. Elle peut être évaluée comme suit :

· Faible intensité est associée à un impact ne provoquant que des faibles modifications à la composante visée, ne remettant en cause son utilisation, les caractéristiques ni sa qualité ;

- Un impact de moyenne intensité engendre des perturbations de la composante du milieu touché qui modifient modérément son utilisation, ses caractéristiques ou sa qualité ;
- L'impact est dit fort si le changement est irréversible ou très importante pour la composante touchée, et se traduit par une modification importante de son intégrité et du niveau de la qualité de son utilisation.

#### ***IV.1.2.4      Importance***

C'est la somme arithmétique des indicateurs catégorisés plus hauts. L'importance détermine la valeur attribuée au phénomène par les évaluateurs (3 à 4)= impact mineur ; les répercussions sur le milieu sont significatives mais réduites et exigent ou non l'application des mesures d'atténuation 5= impact moyen : les répercussions sur le milieu sont appréciables mais peuvent être atténuées par des mesures spécifiques (7 à 8)= impact majeur ; les répercussions sur le milieu sont très fortes et peuvent difficilement être atténuées.

### **IV.1.3. MESURES D'ATTENUATION**

#### ***IV.1.3.1.      milieu physique***

##### **a.      sur l'eau**

- Mise en place des canaux anti érosifs en aval des tas de déblais ;
- Mise en place d'un canal de drainage avec un regard équipé d'un déshuileur sur le pourtour de la base vie, l'unité de traitement.
- Plantation du vétiver ou d'autres plantes capable d'assurer le rôle de Fixation biologique ou mécanique des remblais
- Traitement des déchets et des eaux usées de la base vie ;
- Stockage des huiles usées dans des fûts bien fermés ;
- Entretien des matériels roulants sur une aire imperméabilisée pour éviter l'infiltration d'huile dans le sol, contaminant ainsi l'eau souterraine ;
- Approvisionnement en carburants des matériels roulants sur une espace imperméabilisée.

##### **b.      Atmosphère**

Les travaux utilisant des matériels roulant et l'abattage à l'explosif peuvent engendrer des émanations de poussière qui polluent l'atmosphère, la minimisation d'émission des gaz polluant des engins par l'emploi d'engin neuf, Entretien adéquat et régulier des matériels

motorisés ,l'arrosage des pistes en cas de besoin, l'utilisation des microretards lors de la mise à feu, la limitation des vitesses des véhicules, la schistification du piste sont parmi les mesures à prendre.

### **c. Topographie**

Comme il est déjà mentionné ci-dessus, la modification de la topographie est inévitable dans l'exploitation minière donc le promoteur envisage de mettre en place des mesures d'atténuation dont :

- Minimisation de la surface à défricher,
- Réhabilitation progressive des aires de stockage des stériles (morts terrains, minerais non utiles...).

### **d. Sol**

Comme dans toute exploitation minière, le sol subit des impacts sans des mesures adéquates:

- Minimisation des zones à défricher,
- Mise en place des canaux antiérosifs pour piéger les sols transportés par les ruissellements,
- Drainage des eaux de ruissellement de la base vie et l'unité de traitement.
- 

#### ***IV.1.3.2. Milieu biologique***

##### **a. Végétation**

- Minimisation des surfaces à défricher
- Limitation de la vitesse des camions pour minimiser l'émanation des poussières ;
- Révégétalisation des sites aires de stockages des stériles au fur et à mesure de l'avancement des travaux en collaboration avec le Service forestier de la région ;
- Contourner les pistes passant dans des zones boisées

Ainsi après le remblayage des excavations et reprofilage du terrain, on passe enfin aux phases de révégétalisation qu'on peut étaler sur trois étapes.

· Révégétalisation à court terme : on procèdera à une première révégétalisation ensemencé des graines des espèces à croissance rapide et adaptée aux conditions locales, comme *Heteropogon contortus* et *Vetiver zizanoides*.

· La phase de révégétalisation à moyen terme : reboisement de plantes à taille plus ou moins développée (arbuste) et à croissance rapide à moyenne, cette phase sera effectuée après quelques mois de la précédente c'est-à-dire après le temps que les graminées seront bien développés.

· Révégétalisation à long terme : c'est la phase de mise en place de politique de protection pérennisée du sol : c'est le reboisement proprement dit ; on pense aux espèces qui s'adaptent au milieu tout en ayant un caractère économique.

## **b. Faune**

Le nombre des espèces faunistique du périmètre minier est assez faible, ainsi les impacts sont très minimes néanmoins, les mesures suivantes devront être prises :

- Limitation des bruits des moteurs,
- Limitation de la vitesse des véhicules,
- Interdiction aux employés la chasse des animaux sauvages,
- Sensibilisation du personnel sur la protection des animaux sauvages ;
- 

### **IV.1.3.3. Milieu humain**

#### **a. Population**

La vie de la population riveraine peut être perturbée par la présence du projet, ainsi les mesures suivantes devront être prises :

- Minimisation des surfaces occupées par les travaux.
- Limitation des niveaux des bruits par la limitation des vitesses des camions pour minimiser l'émanation des poussières.
- Minimisation de la vibration par l'utilisation des microretards lors des travaux de tir.
- Entretien régulier des véhicules motorisés pour limiter le dégagement des fumées d'échappement.
- 

#### **b. Culturel et culturel**

- Respect des us et coutumes de la région,
- Respect de la limite de 80 m des travaux de tout site culturel et culturel,
- Information et sensibilisation des personnels expatriés sur ces sites par des réunions avec les autorités locales.

### **c. Occupation du sol**

Pour éviter tout conflit d'usage du sol, il faut envisager les mesures suivantes :

- Créer tout au long du projet une relation de bon voisinage
  - Identification des ayants droits au sol dans le périmètre minier en collaboration des autorités locales avant le début des travaux ;
  - Indemnisation de ces ayants droits dans le cas où des parcelles de terrain seront touchées par les travaux
- 
- Mesures d'atténuation des impacts dus aux bruits et poussières :
  
  - Mesures d'hygiène et respect de l'environnement :
    - Les déchets et autres ordures ménagères seront mis dans un large fossé pour être transformés en composte.
    - Les déchets non biodégradables seront stockés dans des bacs à ordures selon leur type.
    - Des installations sanitaires adéquates (WC et douches munis de fosses septiques et de puisard) seront mises à disposition du personnel.
    - Les déchets d'huile de vidange sont mis dans des fûts puis transportés par camions pour être vendus ou remis à des utilisateurs potentiels (scieries, garage, station, autres) localisées à l'extérieur du périmètre plus précisément à Brickaville ou à Toamaisna.

#### **IV.1.4. PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALE**

##### **IV.1.4.1 Révégétalisation :**

Les actions de revégétalisation concernent :

- les sites d'excavation reconstitués.
- le site du bassin de décantation détruit;

##### **IV.1.4.2 Gestion de l'eau**

Pour mesurer la disponibilité, la qualité ainsi que la quantité de l'eau durant toute l'année, le Promoteur devra effectuer des mesures périodiques de débit.

Ces mesures se feront à chaque début et fin de la saison de pluie, début et fin saison sèche, ou étiage.

Les eaux usées récupérées dans les canaux de drainage de la base vie, l'unité de traitement seront analysées avant leur rejet dans le milieu récepteur.

#### ***IV.1.4.3 Gestion des déchets***

Le promoteur prendra les mesures comme suit ; les déchets seront triés à la source ; ainsi les déchets biodégradables sont traités sur place par transformation en compost et les déchets non biodégradables seront mis dans trois des bacs différents selon leur nature dont (pour les déchets en plastique, pour les déchets métalliques, pour les vitres,..).

#### ***IV.1.4.4 Gestion des déblais***

Les déblais composés des morts terrains, les refus du traitement et les boues de curage seront déposés sur une surface plus ou moins plane et stabilisés par une fixation biologique ou mécanique.

#### ***IV.1.4.5 Gestion des conflits sociaux***

Le promoteur mettra en œuvre des séances d'information publique, concertation avec les différents intervenants, identification des propriétaires fonciers des zones probablement touchées par les activités, réalisation des accords, indemnisation et par le recrutement des ouvriers locaux.

### **IV.1.5. ANALYSE DES RISQUE ET DANGERS**

Cette section présente une vue d'ensemble des déficiences potentielles et des événements accidentels qui peuvent se produire pendant le projet en mettant en exergue les événements qui auront probablement des effets sur l'environnement. Le promoteur prévoit une méthode d'exploitation par abattage à l'explosif. Les dangers probables identifiés à la réalisation de ce projet sont ceux d'origine externe et inhérente aux activités.

Ainsi les tableaux suivants donnent les dangers identifiés, avec les lieux où les dangers peuvent produire, types de dangers et les mesures de préventions proposées :

Le périmètre minier est couvert par des savanes dans sa majeure partie notamment autour de du lieu d'emplacement de la base vie ce qui engendre un risque d'incendie. Ce risque existe soit à partir des activités du projet soit à partir de propagation de feu venant de l'extérieur (défrichage, feu de brousse, défaillance des équipements et matériels...). Un plan de prévention et de lutte contre devra être mis en place par le promoteur (mise en place des paras feux, installation des extincteurs au nombre suffisant, formation des employés...).

Les hydrocarbures ou les carburants seront stockés dans des réservoirs. Ces substances sont inflammables et les phases vapeur peuvent exploser. La perte de confinement peut se produire et provoquer des incendies ou d'explosion. Dans ce cas aucune conséquence directe n'est à craindre au niveau de la population locale étant donné que le village le plus proche et la base vie se sont éloignés.

Les accidents des matériels roulants au niveau du campement et le site d'exploitation qui peuvent se produire consistent à la collision. Les conducteurs seront alors formés et sensibilisés. Les vitesses des matériels roulants seront aussi limitées suivant leur type. Des entretiens périodiques seront effectués pour tous ces matériels.

La méthode d'exploitation peut provoquer des glissements de terrain ; mais par le respect de la dimension géométrique notamment l'angle des fronts, ce risque sera minime.

Par la mise en œuvre de ces mesures, les risques et dangers pour la réalisation de ce projet sont minimales. Toutefois, le promoteur mettra en place un service d'intervention d'urgence et des plans d'intervention.

## IV.2 EVALUATION ECONOMIQUE [1] [12] [18] [19]

L'évaluation financière est la phase de l'étude d'un projet qui permet d'analyser si ce projet est rentable, compte tenu des normes et des contraintes qui lui sont imposées, et à partir des études techniques et commerciales déjà réalisées. Le calcul de coût permet ainsi à déterminer l'issue de l'exploitation en question, de minimiser les risques et d'optimiser les profits. L'étude financière est donc primordiale, voire même plus important que la nature géologique de la formation en question.

### IV.2.1 INVESTISSEMENTS

Les investissements au début de l'activité englobent l'acquisition des immobilisations indispensables pour le démarrage et le fonds de roulement initial. Les immobilisations incorporelles se définissent comme les droits destinés à être utilisés de façon durable par l'entreprise (frais d'établissement, licences). Celles corporelles concernent les biens destinés à l'utilisation durable par l'entreprise (construction, véhicule, mobiliers de bureau).

#### IV.2.1.1 Immobilisations

Tableau 2: Compte immobilisation

immobilisation	
	ariary
frais d'établissement	4 274 416,00
investigation	2 488 880 000,00
valeur d' acquisition terrain	255 521 800,00
construction	1 631 890 000,00
matériels personnel	16 192 800,00
matériels d'exploitation	577 200 000,00
matériels de traitement	422 500 000,00
matériels pour energie et divers	99 840 000,00
mobiliers et fournitures de bureau	12 100 000,00
vehicule	402 000 000,00
<b>total</b>	<b>5 910 399 016,00</b>

Tableau 3: Liste des matériels personnels

	nombre	prix en ariary
chaussures de sécurité	90	8 190 000,00
Casques de chantier	90	2 106 000,00
Lunettes de protection	90	468 000,00
Masques anti-poussière	90	46 800,00
Gants de chantier	90	936 000,00
Combinaisons à fermeture	90	4 446 000,00
<b>total</b>		<b>16 192 800,00</b>

Tableau 4: Liste des matériels d'exploitation

	nombre	ariary
pelle hydraulique 1m3	2	286000000
bulldozer	1	57200000
dumper	6	234000000
<b>total</b>		<b>577200000</b>

Tableau 5: Liste des matériels de traitement

materiel de traitement	nombre	ariary
concasseur	1	52 000 000,00
broyeur	4	78 000 000,00
machine de flottation		32 500 000,00
four de sechage	1 lot	104 000 000,00
hydro-extracteur	1 lot	78 000 000,00
convoyeur	1 lot	78 000 000,00
<b>total</b>		<b>422 500 000,00</b>

Tableau 6: Engin et divers

energie et divers	nombre	ariary
groupes electrogènes	2	93 600 000,00
accessoires		2 400 000,00
pompes	1 lot	3 840 000,00
<b>total</b>		<b>99 840 000,00</b>

Tableau 7: Coûts de construction

<b>construction</b>	<b>ariary</b>
voie d' accès	877 500 000,00
central groupe electrogène	16 250 000,00
Cité des cadres	260 000 000,00
Cité des travailleurs	161 200 000,00
Bureau administratif	16 250 000,00
Magasin de stockages des matériels	16 250 000,00
Usine de traitement	213 200 000,00
Ateliers diesel et électrique	10 400 000,00
Garage	2 340 000,00
<b>total</b>	<b>1 573 390 000,00</b>

Tableau 8: Véhicule

<b>mlat de transport</b>			<b>ariary</b>
voiture 4*4	3	40000	312 000 000,00
transport ouvrier	1		90 000 000,00
<b>total</b>			<b>402 000 000,00</b>

#### IV.2.1.2 Fonds de roulement initial

Le fonds de roulement initial est l'ensemble de fonds nécessaires pour couvrir les frais généraux ainsi que les coûts de production jusqu'à ce que les recettes puissent les couvrir. Il sert au démarrage de l'exploitation.

Tableau 9: Salaire des personnels

	<b>nombre de personnels</b>	<b>par unité</b>	<b>ariary</b>
cadre	15	500	19500000
technicien	40	350	36400000
ouvrier	40	250	26000000
<b>total</b>	<b>95</b>		<b>81900000</b>

Tableau 10: Dépenses initiale (source: auteur)

	mars	avril/mai	juin	juillet	août	septembre	octobre/novembre	décembre	janvier/fevrier	
<b>DECAISSEMENT</b>										
salaire	98280000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000
fourniture administratif	906000	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500
assurance globale	20000000	5000000		5000000			5000000		5000000	
impot foncier	14000000	14000000								
carburant + lubrifiant	6030336000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000
communication	27000000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000
reactif	99840000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000
entretient et maintenance	2000000	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667
emballage et ensachage	250000000	20833333,33	20833333,33	20833333,33	20833333,33	20833333,33	20833333,33	20833333,33	20833333,33	20833333,33
loyer bureau	7200000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000
vivre	156037500	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125
CRE*						13500000				
sanitaire	2280000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000
infirmerie	2000000	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667	166666,6667
entretient piste	2000000	1000000					1000000			
<b>total</b>	<b>7596399500</b>	<b>650033291,7</b>	<b>630033291,7</b>	<b>635033291,7</b>	<b>630033291,7</b>	<b>643533291,7</b>	<b>636033291,7</b>	<b>630033291,7</b>	<b>635033291,7</b>	<b>630033291,7</b>

\*CRE : coût de réhabilitation environnementale

Tableau 11: Détermination du fond de roulement pour l'année 1 (source: auteur)

	DEBUT ANNEE 1					
	mars	avril	mai	juin	juillet	août
<b>CHARGE</b>	650033291,7	630033291,7	630033291,7	635033291,7	630033291,7	636783291,7
vente	0	0	0	0	0	0
encaissement	0	0	0	0	0	0
solde	-650033291,7	-630033291,7	-630033291,7	-635033291,7	-630033291,7	-636783291,7
solde cumulé	-650033291,7	-1280066583	-1910099875	-2545133167	-3175166458	-3811949750

	FIN ANNEE 1					
	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février
<b>CHARGE</b>	636033291,7	630033291,7	630033291,7	635033291,7	630033291,7	636783291,7
vente	0	0	0	0	0	0
encaissement	0	0	0	0	0	0
solde	-636033291,7	-630033291,7	-630033291,7	-635033291,7	-630033291,7	-636783291,7
solde cumulé	-4447983042	-5078016333	-5708049625	-6343082917	-6973116208	-7609899500

Tableau 12: Détermination du fond de roulement initiale

	DEBUT ANNEE 2					
	mars	avril	mai	juin	juillet	août
<b>CHARGE</b>	650033291,7	630033291,7	630033291,7	635033291,7	630033291,7	636783291,7
vente	1440000000	1440000000	1440000000	1440000000	1440000000	1440000000
encaissement (payement)		1440000000	1440000000	1440000000	1440000000	1440000000
solde	803966708,3	809966708,3	809966708,3	804966708,3	809966708,3	803216708,3
soldes cumulés	-6805932792	-5995966083	-5185999375	-4381032667	-3571065958	-2767849250

	FIN ANNEE 2					
	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février
<b>CHARGE</b>	636033291,7	630033291,7	630033291,7	635033291,7	630033291,7	636783291,7
vente	1440000000	1440000000	1440000000	1440000000	1440000000	1440000000
encaissement (payement)	1440000000	1440000000	1440000000	1440000000	1440000000	1440000000
solde	803966708,3	809966708,3	809966708,3	804966708,3	809966708,3	803216708,3
soldes cumulés	-1963882542	-1153915833	-343949125	461017583,3	1270984292	2074201000

### IV.2.1.3 Amortissement

Toute immobilisation se déprécie à l'usage. Elle subit des diminutions de leurs valeurs d'origine. Elle se caractérise d'une part par son utilisation et d'autre part par l'évolution technologique exigée par la modernisation. Ce processus est appelé amortissement.

Tableau 13: Amortissement annuelle (source: auteur)

	montant Vo	durée de vie (année) Dv	amortissement A (Ar)
<b>matériel d'exploitation</b>			
pelle 1CUMT	286 000 000,0	10,0	28 600 000,0
dumper 10T	57 200 000,0	10,0	5 720 000,0
bulldozer	234 000 000,0	10,0	23 400 000,0
<b>matériels de traitement de minerais</b>			
concasseur	52 000 000,0	6,0	8 666 666,7
broyeur	78 000 000,0	6,0	13 000 000,0
machine de flottation	32 500 000,0	6,0	5 416 666,7
four	104 000 000,0	6,0	17 333 333,3
presseur	78 000 000,0	6,0	13 000 000,0
convoyeur	78 000 000,0	4,0	19 500 000,0
<b>energie et divers</b>			
groupe	93 600 000,0	10,0	9 360 000,0
accessoire	2 400 000,0	10,0	240 000,0
pompe	3 840 000,0	10,0	384 000,0
<b>matériels de transport</b>			
voiture 4*4	312 000 000,0	10,0	31 200 000,0
transport ouvrier	90 000 000,0	10,0	9 000 000,0
<b>matériels personnel</b>			
chaussures de sécurité	8 190 000,0	2,0	4 095 000,0
casque de chantier	2 106 000,0	2,0	1 053 000,0
Lunette de protection	468 000,0	2,0	234 000,0
Masque anti-poussière	46 800,0	2,0	23 400,0
gant de chantier	936 000,0	2,0	468 000,0
Combinaison à fermeture	4 446 000,0	2,0	2 223 000,0
<b>construction</b>			
central groupe électrogène	16 250 000,0	20,0	812 500,0
cité des cadres	260 000 000,0	20,0	13 000 000,0
Cité des travailleurs	161 200 000,0	20,0	8 060 000,0
magasin de stockage des matériels	16 250 000,0	20,0	812 500,0
usine de traitement	213 200 000,0	20,0	10 660 000,0
Ateliers diesel et électrique	10 400 000,0	20,0	520 000,0
Garage	2 340 000,0	20,0	117 000,0
<b>total:</b>			<b>226 899 066,7</b>

L'annuité d'amortissement est donnée par le rapport de la valeur d'achat de l'immobilisation à la valeur de la durée de vie correspondante.

$$A = \frac{V_0}{D_v}$$

Où **A** désigne l'amortissement, **V<sub>0</sub>** la valeur d'acquisition et **D<sub>v</sub>** la durée de vie.

## IV.2.2 MODE DE FINANCEMENT

Le mode de financement consiste à déterminer le montant ainsi que l'origine des ressources et capitaux nécessaires pour couvrir les besoins en financement à court terme, constitués par les investissements et le besoin en fonds de roulement.

### IV.2.2.1 Plan de financement

Tableau 14: Plan de financement en Ariary (source: auteur)

emploies	montant	capital	emprunt
immobilisation	10 099 279 016,00	1 710 000 000	15 999 178 516,00
fond de roulement	7 609 899 500,00		
total	17 709 178 516,00	9,66%	90,34%

Le total des investissements s'élevant à **17 709 178 516 Ariary** sera financé par un apport de **1 710 000 000 Ariary (9,66%** de l'investissement) et d'un emprunt de **15 999 178 516 Ariary (90,34%** de l'investissement).

### IV.2.2.2 remboursement

L'annuité de remboursement **a** est la somme globale versée chaque année par l'emprunteur. La définition de **a** est régie par la formule ci-après :

$$a = K \times \left( \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \right)$$

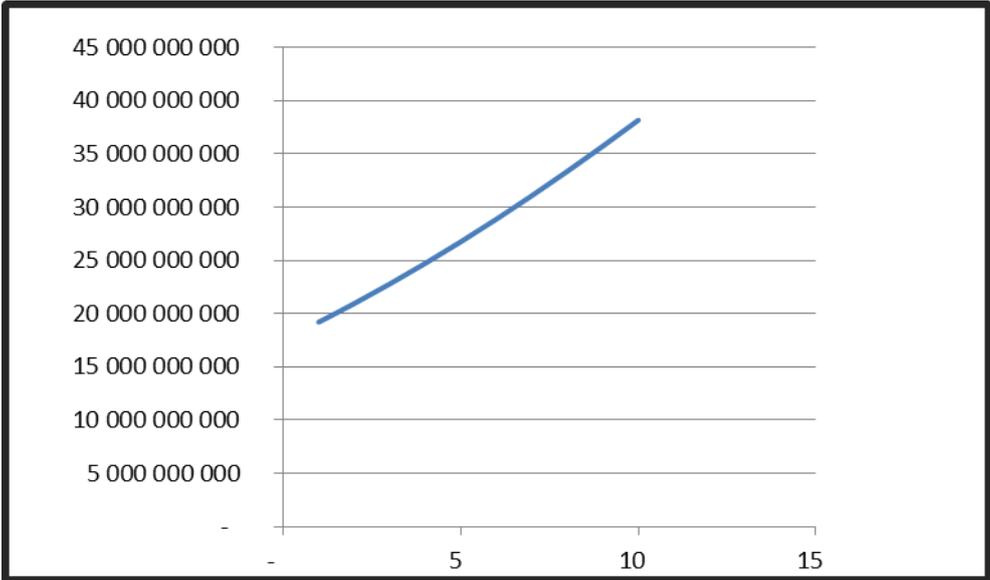
Avec :

- ❖ a : Annuité
- ❖ i : intérêt bancaire
- ❖ K : capital emprunté
- ❖ n : échéance de remboursement

Le tableau suivant montre l’annuité selon l’échéance de remboursement qui s’étalonne sur 10 ans.

**Tableau 15: Remboursement des dettes par annuités constantes**

interêt bancaire	capital emprunté	echeance de remboursement	annuité	
20%	15 999 178 516	1	19 199 014 219	19 199 014 219
20%	15 999 178 516	2	10 472 189 574	20 944 379 148
20%	15 999 178 516	3	7 595 214 416	22 785 643 249
20%	15 999 178 516	4	6 180 308 601	24 721 234 404
20%	15 999 178 516	5	5 349 800 565	26 749 002 825
20%	15 999 178 516	6	4 811 044 909	28 866 269 453
20%	15 999 178 516	7	4 438 554 922	31 069 884 456
20%	15 999 178 516	8	4 169 536 672	33 356 293 377
20%	15 999 178 516	9	3 969 067 593	35 721 608 341
20%	15 999 178 516	10	3 816 168 167	38 161 681 675



**Figure 24: Echéance de remboursement par annuité constante (source: auteur)**

On voit sur le tableau que plus l'échéance de remboursement augmente, plus le montant à rembourser augmente. Il s'agit donc de faire un jugement sur l'échéance de remboursement tout en considérant tous les facteurs limitatifs.

Ici l'échéance de remboursement est plus juste allant de 5 à 7, car inférieur à 5 la charge à payer en une année pèse beaucoup trop lourd, et au-delà de 7 le montant total à rembourser risque de compromettre le bénéfice.

**Tableau 16: Remboursement des dettes pour une annuité 5**

	capital restant dû à la date t	frais financier=intérêt	remboursement	annuité
0	15 999 178 516			
1	13 849 213 654	3 199 835 703	2 149 964 862	5 349 800 565
2	11 269 255 820	2 769 842 731	2 579 957 834	5 349 800 565
3	8 173 306 419	2 253 851 164	3 095 949 401	5 349 800 565
4	4 458 167 138	1 634 661 284	3 715 139 281	5 349 800 565
5		891 633 428	4 458 167 138	5 349 800 565

#### **IV.2.3 COÛTS D'EXPLOITATION**

Il s'agit de toutes les dépenses de l'année 1 à l'année 10. On remarque que la dépense de la première année est supérieure par rapport aux dépenses des années qui la suivent.

#### **IV.2.4 RECETTES D'EXPLOITATION**

Les recettes annuelles d'exploitation comptabilisées à la fin de chaque année (Année 2 à Année 10) s'élèvent à **Ar 17280000000** représenté par le tableau 17. Ces recettes proviennent de la vente des paillettes de graphite déjà traités et emballés. Pendant l'année 1, on ne procède à aucune vente, la recette est donc 0.

**Tableau 17: Recettes d'exploitation**

	total	mars/avril/mai/juin	juillet/août/septembre/octobre	novembre/décembre/janvier/fevrier
vente	17 280 000 000	1 440 000 000	1 440 000 000	1 440 000 000
encaissement	17 280 000 000	1 440 000 000	1 440 000 000	1 440 000 000

#### IV.2.5 RESULTAT BRUT D'EXPLOITATION ( RBE)

Le R.B.E s'obtient par soustraction des dépenses annuelles aux recettes annuelles.

Tableau 18: R.B.E

année	1	2	3	4	5
recette	-	17 280 000 000	17 280 000 000	17 280 000 000	17 280 000 000
charge	7 609 899 500	7 609 899 500	7 609 899 500	7 609 899 500	7 767 934 060
RBE	- <b>7 609 899 500</b>	<b>9 670 100 500</b>	<b>9 670 100 500</b>	<b>9 670 100 500</b>	<b>9 512 065 940</b>
année	6	7	8	9	10
recette	17 280 000 000	17 280 000 000	17 280 000 000	17 280 000 000	17 280 000 000
charge	7 767 934 060	7 767 934 060	7 767 934 060	7 767 934 060	7 846 300 439
RBE	<b>9 512 065 940</b>	<b>9 512 065 940</b>	<b>9 512 065 940</b>	<b>9 512 065 940</b>	<b>9 433 699 561</b>

Tableau 19: Charge de l'année 1 (source: auteur)

tâches	charges	mars	avril/ mai	juin	juillet	août	septembre	obre/novem	décembre	janvier	février
salaire	982800000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000	81900000
fournitures administratives	906000	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500
assurances globales	20000000	5000000	0	5000000	0	0	5000000	0	5000000	0	0
impots (fonciers)	14000000	14000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carburant+lubrifiant	6030336000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000
communication	27000000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000
entretien et maintenance	2000000	166667	166667	166667	166667	166667	166667	166667	166667	166667	166667
emballage et ensachage	250000000	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333
loyer bureau	7200000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000
vivre	156037500	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125
réactifs	99840000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000
réhabilitation terrain	13500000	0	0	0	0	6750000	0	0	0	0	6750000
sanitaire	2280000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000
infirmerie	2000000	166666,667	166666,667	166666,667	166666,667	166666,667	166666,667	166666,667	166666,667	166666,667	166666,667
entretien piste	2000000	1000000	0	0	0	0	1000000	0	0	0	0
total	7609899500	650033292	630033292	635033292	630033292	636783292	636033292	630033292	635033292	630033292	636783292

Tableau 20: Charge pendant l'année 6 à 10

tâches		mars	avril/mai	juin	juillet	aout	septembre	octobre/novembre	décembre	janvier	février
salaire	1139334560	94944546,69	94944546,69	94944546,69	94944547	94944546,69	94944546,69	94944546,69	94944546,69	94944546,69	94944546,69
fournitures administratives	906000	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500	75500
assurances globales	20000000	5000000	0	5000000	0	0	5000000	0	5000000	0	0
impots (fonciers)	14000000	14000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
carburant+lubrifiant	6030336000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000	502528000
communication	27000000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000	2250000
entretien et maintenance	3500000	291667	291667	291667	291667	291667	291667	291667	291667	291667	291667
emballage et ensachage	250000000	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333	20833333
loyer bureau	7200000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000	600000
vivre	156037500	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125	13003125
réactifs	99840000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000	8320000
réhabilitation terrain	13500000	0	0	0	0	6750000	0	0	0	0	6750000
sanitaire	2280000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000	190000
infirmerie	2000000	166667	166667	166667	166667	166667	166667	166667	166667	166667	166667
entretien piste	2000000	1000000	0	0	0	0	1000000	0	0	0	0
total	7767934060	650033291,7	630033291,7	635033291,7	630033292	636783291,7	636033291,7	630033291,7	635033291,7	630033291,7	636783291,7

#### IV.2.6 ETUDE DE RENTABILITE

Toutes les études suivantes nous montrent si le projet est rentable, bancable ou non afin de décider si on le rejette ou non.

##### IV.2.6.1 Compte d'exploitation prévisionnel

L'objectif c'est de déterminer le cash-flow. Le Cash-Flow est la marge de liquidité réalisée à partir du chiffre d'affaires.

= Financement interne de l'entreprise = L'autofinancement = La somme du bénéfice net après impôts augmentée des amortissements.

**BE (Bénéfice d'exploitation) = RBE (résultat brut d'exploitation) – FF(frais financiers) – DA(Dotation aux amortissements)**

**BNAI (Bénéfice Net Après Impôts) = BE (Bénéfice d'exploitation) – IR (Impôts sur les Revenus)**

Tableau 21: Compte d'exploitation prévisionnel (source: auteur 2014)

année	1	2	3	4	5
recettes	-	17 280 000 000	17 280 000 000	17 280 000 000	17 280 000 000
dépenses	7 609 899 500	7 609 899 500	7 609 899 500	7 609 899 500	7 767 934 060
RBE	- 7 609 899 500	9 670 100 500	9 670 100 500	9 670 100 500	9 512 065 940
frais financiers	2 362 059 703	2 044 646 821	1 663 751 363	1 206 676 812	658 187 352
dotation aux amortissements	226 899 067	226 899 067	226 899 067	226 899 067	226 899 067
benefice d'exploitation	- 10 198 858 270	7 398 554 612	7 779 450 071	8 236 524 621	8 626 979 521
impôts sur les revenus	-	1 479 710 922	1 555 890 014	1 647 304 924	1 725 395 904
benefice net après impôts	- 10 198 858 270	5 918 843 690	6 223 560 057	6 589 219 697	6 901 583 617
cash flow	- 9 971 959 203	6 145 742 756	6 450 459 123	6 816 118 763	7 128 482 683
année	6	7	8	9	10
recettes	17 280 000 000	17 280 000 000	17 280 000 000	17 280 000 000	17 280 000 000
dépenses	7 767 934 060	7 767 934 060	7 767 934 060	7 767 934 060	7 846 300 439
RBE	9 512 065 940	9 512 065 940	9 512 065 940	9 512 065 940	9 433 699 561
frais financiers	-	-	-	-	-
dotation aux amortissements	226 899 067	226 899 067	226 899 067	226 899 067	226 899 067
benefice d'exploitation	9 285 166 873	9 285 166 873	9 285 166 873	9 285 166 873	9 206 800 494
impôts sur les revenus	1 857 033 375	1 857 033 375	1 857 033 375	1 857 033 375	1 841 360 099
benefice net après impôts	7 428 133 498	7 428 133 498	7 428 133 498	7 428 133 498	7 365 440 395
cash flow	7 655 032 565	7 655 032 565	7 655 032 565	7 655 032 565	7 592 339 462

#### IV.2.6.2 Rentabilité

##### Notion de VAN (Valeur Actuelle Nette)

La Valeur actuelle nette est la somme des valeurs actuelles des flux financiers provenant des investissements, de laquelle, on déduit le montant de ces derniers. Cette méthode consiste à comparer, à une date précise, le montant de l'investissement initial à la valeur actuelle des recettes nettes attendues sur une période bien définie, qui est généralement égale à la durée de vie de l'investissement.

#### IV.2.6.3 Rentabilité des capitaux

Avant de calculer, il faut établir le tableau d'emplois et ressources du fonds.

- Coefficient d'actualisation  $Cf$

$$Cf = (1 + r)^k$$

- Le Cash-flow actualisé  $CF_a$  est la valeur du cash-flow par la valeur du coefficient d'actualisation

$$CF_a = \frac{CF}{(1 + r)^k}$$

$$CF_a = \frac{CF}{Cf}$$

- VAN

$$VAN = -I_o + \sum_{k=1}^N \left( \frac{CF}{(1 + r)^k} \right)$$

$$VAN = -I_o + \sum_{k=1}^N CF_a$$

Tableau 22: Emploi et ressources

année	0	1	2	3	4	5
capitaux propres	1 710 000 000					
emprunts	15 999 178 516,00					
cash flow		7 655 032 565,16	7 592 339 461,86	6 450 459 123,21	7 655 032 565,16	7 655 032 565,16
ressources	17 709 178 516,00	7 655 032 565,16	7 592 339 461,86	6 450 459 123,21	7 655 032 565,16	7 655 032 565,16
Taux d'actualisation à 7%						
Cf	1,00	1,07	1,14	1,23	1,31	1,40
Cfa	-	7 154 236 042,20	6 631 443 324,19	5 265 496 087,25	5 839 987 692,03	5 457 932 422,45
Cf cumulé		30 349 095 568,12				
VAN	<b>12 639 917 052,12</b>					

D'après le tableau précédent, VAN (7%)= **12 639 917 052, 12 Ariary**.

VAN>0 ce qui signifie que le projet est rentable.

#### IV.2.6.4 Taux de rentabilité interne (TRI)

Le TRI est le taux qui annule la VAN.

VAN (7%) = 16 828 797 052, 12 Ar

VAN (35%) = -1 239 290 406,97 Ar

Soit x=TRI telle que VAN(x%)=0 Ar

Par interpolation, à peu près on trouve **TRI=31,0342611024222%**

- ❖ **TRI= 31,03426% > 7%** : investir dans le projet est plus rentable que le placement bancaire.
- ❖ **TRI= 31,03426%** : L'entreprise gagnera **366,66 Ariary** par an pour chaque Ariary investi dans le projet.
- ❖ **TRI=31,03426% > 18%**, il y a une marge de sécurité de 13,0346%. Le projet est donc rentable et bancable

#### **IV.2.6.5**      *Délai de récupération des capitaux investis (DR)*

Le délai de récupération du capital investi est le nombre de mois, d'années jusqu'à ce que le cumul des capacités d'autofinancement actualisées atteigne le capital investi. Cette méthode est fondée sur le critère de liquidité. C'est la difficulté d'appréhender le futur lointain qui conduit à tout mettre en œuvre pour raccourcir le cycle financier. L'investissement le plus rentable est donc celui dont la période de récupération des capitaux investis est le plus bref.

En d'autre terme, le DR représente le temps nécessaire aux revenus procurés par le projet pour atteindre le montant des dépenses initiales.

## CONCLUSION

Tirupati Madagascar Ventures Sarl est une société sœur de Tirupati Carbons-Chemicals possédant une grande expertise dans le domaine d'exploitation et de traitement de graphite en Inde.

TMVS a entrepris les travaux de prospection et d'échantillonnage qui ont permis de cadrer le périmètre minier en trois zones potentiellement graphitiques. Une d'entre elles, celle qui est au Nord Est a fait l'objet d'une étude avancée de géoélectrique et géologique sur une échelle réduite couplé avec une investigation topographique. Ces investigations ont permis de localiser trois zones, zone A, zone B et le troisième sur l'ancien mines françaises, de profondeur allant jusqu'à 60 mètres.

L'évaluation économique révèle que le projet est parfaitement rentable, pour un TRI de **31,03426%**, l'entreprise gagnera 366,66 ariary par an pour chaque ariary investi dans le projet. L'étude environnementale révèle que nombreux sont les impacts positifs du projet d'exploitation dans la région en question, si on ne cite que le développement économique. Parmi les impacts négatifs, il est noté la sensibilité à l'érosion du milieu lié à la mine, la sédimentation de matières solides dans les bas-fonds, le changement de l'aspect du paysage, la pollution des eaux de surface et la perte de la biodiversité. Le Plan de Gestion Environnementale du projet (PGE) proposé vise à atténuer les impacts négatifs engendrés par le projet et à maximiser les impacts positifs.

L'exploitation du gisement se fait à ciel ouvert par tranche horizontale successive répondant parfaitement aux normes environnementales. Le problème soulevé par H.Besairie qui dit que « le gisement de Vatomaina ne présente aucune possibilité de reprise d'exploitation du fait de la présence de nombreux blocs de migmatite granitoïde qui s'étant accumulé sur la mines » peut, actuellement, être résolu par l'avancée technologique et le déploiement des engins lourds et performants par TMVS.

Comme suite de travail, il est à recommander d'exécuter des forages pour la validation des données électriques et pour plus de précisions sur le gisement. Il est aussi intéressant d'étendre encore plus la zone d'investigation vers le Nord de l'ancienne mine qui pourrait se révéler intéressant justifié par la présence du puits de sondage coréen. Une installation d'un barrage hydroélectrique diminue les charges sur la consommation des carburants, donne un rendement plus satisfaisant et rejette moins des gaz à effet de serre.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] AGENCE NATIONALE DU DEVELOPPEMENT DES INVESTISSEMENTS (ANDI), Principales étapes pour lancer un projet d'investissement
- [2] ANDRIANARIMANANA Jaobelison, Cours didactique : gîtes minéraux, Département Mines, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
- [3] BERROUIGE, rapport finale : « Informatisation de l'estimation des ressources minières et la conception mines », 2005.
- [4] BONI Gautier, cours didactique : géophysique, Département Mines, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.
- [5] BRGM, Rapport public : « panorama 2011 du marché du graphite naturel », 2012.
- [6] DAMY J C, Cours : Exploitation à ciel ouvert, Département Mines, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
- [7] Décret MECIE n0 99-554 du décembre 1999, relatif à la Mise En compatibilité de l'Investissement avec l'Environnement à Madagascar , 155p
- [8] LETOCHA ROMAN et al. , Équipement et méthodes de construction, Edition Modulo, 2011, 31p.
- [9] MARQUIS GUY, « Prospection électrique », east Strasbourg, Avril 2005, 11p.
- [10] MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE et DE LA PECHE, monographie de la Région de Toamasina, juin 2003.
- [11] MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, DES EAUX ET FORETS, Guide sectoriel d'Etude d'Impact Environnemental du projet d'exploitation minière à ciel ouvert, 2005, 67p.
- [12] MINISTERE DES FINANCES ET DU BUDGET MADAGASCAR, prospectus : procedures de création de société a l'EDBM, 2012
- [13] MINISTRY OF NATURAL RESOURCES IN COLLABORATION WITH THE MINISTRY OF ENVIRONMENT, Guidelines for preparing a mining site rehabilitation plan and general mining site rehabilitation requirements, 1997.
- [14] ONE, cahier de charges environnementales : « projet d'exploitation et traitement du graphite par la société graphite exploration company madagascar sarl suivant le permis d'exploitation minière pe n°15120 »,
- [15] PIERROT R et al, Inventaire minéralogique de la France, Hautes-Alpes. Editions BRGM, 1972.

- [16] PROCESS RESEARCH ASSOCIATES LTD, rapport finale: “Graphite Recovery from Composite Samples Lac Guéret Deposit”, February 2005.
- [17] QSE NIAMEY SIFEE, colloque : « Deux outils de réductions d’émission de GES à SOMAÏR : L’autorembayage et l’optimisation des pentes de roulage », mai 2009
- [18] RAKOTONINDRAINNY, Cours didactique : gestion de projet, Département Mines, Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo
- [19] RAKOTONINDRAINNY, Cours didactique : technique économétrique , Département Mines, Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo
- [20] RASOLOMANANA H, Mise En Conformité, guide général, Office National pour l’Environnement, Direction de l’Evaluation Environnementale, 85p.
- [21] ROBILLARD MARIO, cours : travaux de génie civil TCH-025, Université du Québec (UQ), École supérieure de technologie, 2011
- [22] SGS MINERAL SERVICES, rapport final: An Investigation into the Flowsheet Development for a Sample from the Lac Guéret Deposit prepared for Mason Graphite Project 13838-001, May 2013.
- [23] SZNOPEK et al, natural graphite statistics, u.s. geological survey, 2002
- [24] TSIMANIRY EURIGENE NODIER, mémoire d’ingénieur : « guide de l’exploitation à ciel ouvert en vue de minimiser les impacts environnementaux », Département Mines, Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo, 03 Mars 2000, 93p.
- [25] U.S. BUREAU OF MINES, Minerals Yearbook, 2002.
- [26] ZARAMPIRENENA, cours didactique : flottation, Département Mines, Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo.

## REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

- [W1] <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/>.
- [W2] <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k145363n>
- [W3] <http://minerals.usgs.gov/minerals>
- [W4] <https://www.google.mg/search?q=carte+g%C3%A9ologique+de+la+r%C3%A9gion+EST+de+madagascar>
- [W5] <http://www.mapsofworld.com/minerals/world-graphite-producers.html>
- [W6] [www.CAT.com](http://www.CAT.com)
- [W7] [www.hitachiconstruction.com](http://www.hitachiconstruction.com)

# TABLES DES MATIERES

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>PARTIE I : GENERALITES</b> .....	<b>1</b>
<b>I.1. ETUDES DESCRIPTIVES DU GRAPHITE [15] [W1] [W2] [W3]</b> .....	<b>3</b>
<b>I.1.1 MINERALOGIE DESCRIPTIVE</b> .....	<b>3</b>
<b>I.1.2 CRISTALLOGRAPHIE</b> .....	<b>4</b>
<b>I.1.3 METALLOGENIE DU GRAPHITE</b> .....	<b>4</b>
<b>I.1.4 CLASSIFICATION DU GRAPHITE</b> .....	<b>5</b>
<b>I.1.4.1 Graphite amorphe</b> .....	<b>5</b>
<b>I.1.4.2 Le graphite en paillette</b> .....	<b>5</b>
<b>I.1.4.3 Le graphite en bloc ou graphite filonien</b> .....	<b>5</b>
<b>I.2. UTILISATION ET LE MARCHE MONDIAL DU GRAPHITE [5] [13] [25]</b> .....	<b>6</b>
<b>I.2.1 UTILISATION</b> .....	<b>6</b>
<b>I.2.1.1 Réfractaires et creusets</b> .....	<b>6</b>
<b>I.2.1.2 Métallurgie des poudres</b> .....	<b>6</b>
<b>I.2.1.3 Matériaux de friction :garnitures de freins et embrayages</b> .....	<b>7</b>
<b>I.2.1.4 lubrifiants</b> .....	<b>7</b>
<b>I.2.1.5 Crayons</b> .....	<b>7</b>
<b>I.2.1.6 Autres utilisations du graphite</b> .....	<b>7</b>
<b>a. Forages</b> .....	<b>7</b>
<b>b. Peintures</b> .....	<b>7</b>
<b>c. Nucléaire</b> .....	<b>7</b>
<b>d. Industrie du verre</b> .....	<b>7</b>
<b>I.2.2 RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION</b> .....	<b>8</b>
<b>I.2.3 MARCHE MONDIAL DU GRAPHITE</b> .....	<b>8</b>
<b>I.2.4 PRODUCTION</b> .....	<b>9</b>
<b>I.2.5 LES PRIX RÉCENTS</b> .....	<b>9</b>
<b>I.3. GRAPHITE A MADAGASCAR [2] [5] [25]</b> .....	<b>10</b>
<b>I.3.1 INDICES GRAPHITEUX DE MADAGASCAR</b> .....	<b>11</b>
<b>I.3.1.1 faisceau de Moramanga</b> .....	<b>11</b>
<b>I.3.1.2 Secteur d'Anosibe</b> .....	<b>11</b>

I.3.1.3	<i>Secteur Nord Perinet à Ihofa</i> .....	11
I.3.1.4	<i>Secteur Nord Ihofa à Rabaona</i> .....	11
I.3.1.5	<i>Axe de Vatmandry et la région de Marivolanitra</i> .....	12
I.3.1.6	<i>Axe d'Ampasinambo</i> .....	12
I.3.1.7	<i>Faisceau d'Antsirabe- Ambatolampy</i> .....	14
I.3.1.8	<i>Faisceau d'Ampanihy-Bekily</i> .....	14
I.3.2	<b>PRODUCTION ET EXPORTATION :</b> .....	15
<b>PARTIE 2 : CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDES.....</b>		<b>3</b>
II.1	<b>LOCALISATION de la ZONE D'ETUDE</b> .....	4
II.2	<b>GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDES</b> .....	18
II.2.1	<b>CONCEPTS ACTUELS SUR LE PRECAMBRIEN MALAGASY</b> .....	18
II.2.1.1.	<i>Domaine d'Antongil-Masora :</i> .....	18
II.2.1.2.	<i>Domaine d'Antananarivo</i> .....	18
II.2.1.3.	<i>Domaine d'Itremo-Ikalamavony-Taolagnaro :</i> .....	18
II.2.1.4.	<i>Domaine de Bemarivo :</i> .....	19
II.2.1.5.	<i>- Domaine de Vohibory (550Ma-500Ma) :</i> .....	19
II.2.2	<b>GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE [2] [3]</b> .....	19
II.3	<b>DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE et BIOLOGIQUE [10]</b> .....	19
II.3.1.	<b>RELIEF ET PAYSAGE`</b> .....	19
II.3.2.	<b>CLIMAT</b> .....	19
II.3.3.	<b>CONTEXTE PEDOLOGIQUE</b> .....	22
II.3.3.1.	<i>Les sols ferrallitiques</i> .....	22
II.3.3.2.	<i>Les sols hydromorphes</i> .....	22
II.3.4.	<b>CONTEXTE HYDROLOGIQUE</b> .....	22
II.3.5.	<b>DESCRIPTION DU MILIEU BIOLOGIQUE :</b> .....	22
II.3.5.1.	<i>La formation secondaire ou savoka en ravinala</i> .....	22
II.3.5.2.	<i>La formation savanicole</i> .....	22
II.3.5.3.	<i>La formation humide</i> .....	22
II.3.5.4.	<i>La zone de culture</i> .....	22
<b>PARTIE 3 : CONTRIBUTION A L'EXPLOITATION DU GISEMENT DE VATOMAINA.....</b>		<b>22</b>
III.1	<b>TRAVAUX DE PROSPECTION</b> .....	25
III.1.1.	<b>EXPLORATION ET PROSPECTION GEOLOGIQUE</b> .....	25
III.1.1.1	<i>Exploration :</i> .....	25

III.1.1.2	<i>Téledétection</i> :	28
III.1.1.3	<i>Prospection électrique</i> [4] [9]	29
Levée		30
III.2	<b>EXTRACTION DU GISEMENT</b> [3] [6] [16] [17] [20] [21] [22] [24]	39
III.2.1	<b>CHOIX DU MODE ET METHODE D'EXPLOITATION</b>	39
III.2.2	<b>Modélisation DU GISEMENT</b>	40
III.2.3	<b>LES ENGINS UTILISES</b> [8] [W6] [W7]	42
III.2.4	<b>EXHAURE</b>	47
III.2.5	<b>DESIGN ET VOIE DE ROULAGE</b> [8] [21]	49
III.2.6.1	<b>LARGEUR</b> :	49
III.2.6.2	<b>SURFACE DE LA ROUTE</b> :	49
III.2.6.3	<b>LES PRINCIPAUX FACTEURS A CONSIDERER</b> :	50
III.3	<b>TRAITEMENT DES TOUT VENANTS</b> [26] [16]	53
III.3.1	<b>LE DEBOURBAGE</b> :	53
III.3.2	<b>LE RAFFINAGE</b> :	54
<b>PARTIE 4 : ETUDES D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE &amp; ETUDES</b>		
<b>TECHNICO- ECONOMIQUES</b>		<b>56</b>
IV.1	<b>IDENTIFICATION, EVALUATION ET ANALYSE DES IMPACTS DU PROJET</b> [7] [11] [14] [17] [20]	57
IV.1.1.	<b>IDENTIFICATION</b>	58
IV.1.1.1.	<i>impacts sur le milieu physique</i> :	58
IV.1.1.2.	<i>impacts sur le milieu biologique (faune et la flore)</i> :	59
IV.1.1.3.	<i>impacts sur le milieu humain</i> :	59
IV.1.1.4.	<i>Impacts socio-économiques</i> :	60
IV.1.2.	<b>EVALUATION DES IMPACTS</b>	61
IV.1.2.1	<i>Portée</i>	61
IV.1.2.2	<i>Durée</i>	61
IV.1.2.3	<i>Intensité</i>	61
IV.1.2.4	<i>Importance</i>	62
IV.1.3.	<b>MESURES D'ATTENUATION</b>	62
IV.1.3.1.	<i>milieu physique</i>	62
a.	<i>sur l'eau</i>	62
b.	<i>Atmosphère</i>	62
c.	<i>Topographie</i>	63

d. Sol.....	63
IV.1.3.2. <i>Milieu biologique</i> .....	63
a. <i>Végétation</i> .....	63
b. <i>Faune</i> .....	64
IV.1.3.3. <i>Milieu humain</i> .....	64
a. <i>Population</i> .....	64
b. <i>Culturel et culturel</i> .....	64
c. <i>Occupation du sol</i> .....	65
IV.1.4. <b>PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALE</b> .....	65
IV.1.4.1 <i>Révégétalisation</i> : .....	65
IV.1.4.2 <i>Gestion de l'eau</i> .....	65
IV.1.4.3 <i>Gestion des déchets</i> .....	66
IV.1.4.4 <i>Gestion des déblais</i> .....	66
IV.1.4.5 <i>Gestion des conflits sociaux</i> .....	66
IV.1.5. <b>ANALYSE DES RISQUE ET DANGERS</b> .....	66
IV.2 <b>EVALUATION ECONOMIQUE [1] [12] [18] [19]</b> .....	68
IV.2.1 <b>INVESTISSEMENTS</b> .....	68
IV.2.1.1 <i>Immobilisations</i> .....	68
IV.2.1.2 <i>Fonds de roulement initial</i> .....	70
IV.2.1.3 <i>Amortissement</i> .....	74
IV.2.2 <b>MODE DE FINANCEMENT</b> .....	75
IV.2.2.1 <i>Plan de financement</i> .....	75
IV.2.2.2 <i>remboursement</i> .....	75
IV.2.3 <b>COUTS D'EXPLOITATION</b> .....	77
IV.2.4 <b>RECETTES D'EXPLOITATION</b> .....	77
IV.2.5 <b>RESULTAT BRUT D'EXPLOITATION ( RBE)</b> .....	78
IV.2.6 <b>ETUDE DE RENTABILITE</b> .....	81
IV.2.6.1 <i>Compte d'exploitation prévisionnel</i> .....	81
IV.2.6.2 <i>Rentabilité</i> .....	82
Notion de VAN (Valeur Actuelle Nette).....	82
IV.2.6.3 <i>Rentabilité des capitaux</i> .....	82
IV.2.6.4 <i>Taux de rentabilité interne (TRI)</i> .....	83
IV.2.6.5 <i>Délai de récupération des capitaux investis (DR)</i> .....	84
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>85</b>

<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	I
<b>REFERENCES WEBOGRAPHIQUES</b> .....	III
<b>TABLES DES MATIERES</b> .....	IV
<b>ANNEXE 1 : PROSPECTION ELECTRIQUE</b> .....	IX
<b>ANNEXE 2 : Le Précambrien malgache et les différents évènements géologiques (Razafinimparany, 1978)</b> .....	XII
<b>ANNEXE 3 : PRODUCTION MONDIALE DE GRAPHITE 1900 à 2012</b> .....	XIII
<b>ANNEXE 4 :</b> .....	XIV
<b>ANNEXE 6 : CARTE TOPO + PS +PANNEAUX ELECTRIQUES</b> .....	XVI
<b>ANNEXE 7 :</b> .....	XVII

# ANNEXES

## ANNEXE 1 : PROSPECTION ELECTRIQUE

### BASE METHODOLOGIQUE

Afin de caractériser et délimiter la zone minéralisée, l'aide des méthodes géophysiques appropriées est très important. Dans notre cas, la polarisation spontanée (PS) et tomographie de résistivité électrique (ERT) sont utilisés pour évaluer le graphite à l'intérieur de la formation aux intempéries.

La méthode SP conduit sur la délimitation de la zone minéralisée tandis que la méthode de l'ERT en utilisant les sections de résistivité et chargeabilité nous donnent la modification de la structure avec la profondeur.

#### 1) **Polarisation spontanée**

. On utilise également cette expression pour designer la méthode de prospection basée sur la mesure du phénomène à savoir la génération de potentiels électriques dans les sols sans influence humaine. La polarisation spontanée est causée par l'activité électrochimique ou mécanique soient altération des sulfures ; variation de la composition des roches aux contacts géologiques ; activité bioélectrique du matériel organique ; corrosion ; et gradients thermiques et pression dans les fluides souterrains.

- **Source**

Potentiel électrocinétique

Ce potentiel est observé lorsqu'une solution de résistivité et de viscosité traverse un matériau poreux. Ce phénomène a une origine mécanique ; il se produit généralement sous l'influence de la gravité.

- ✓ **Potentiel de diffusion**

Ce potentiel est dû à la différence de mobilité des ions dans une solution de concentration variable.

- ✓ **Potentiel de Nernst (shale potentiel)**

Lorsque deux électrodes métalliques sont immergées dans une solution dont la concentration est différente pour les deux électrodes, il y a un dV de crée. Il s'agit d'un phénomène chimique.

- ✓ **Potentiel de contact électrolytique**

On observe le potentiel de contact lorsque deux électrodes de métaux différents sont introduites dans une solution électrolytique.

Lorsque les conditions sont rencontrées, la combinaison des trois derniers potentiels (diffusion, Nernst et contact regroupés sous l'appellation potentiels de minéralisation) permet de générer des anomalies

souvent bien distinctes du bruit de fond et associées à des métaux. On peut alors détecter la présence de gisements métallifères dans le sous-sol, par la seule mesure de V à la surface.

✓ **Le potentiel de minéralisation**

Le potentiel de minéralisation est associé avec les sulfures métalliques, le graphite et certains oxydes métalliques tels que la magnétite. L'anomalie se produisant le plus souvent au-dessus des sulfures métalliques (pyrite, chalcopryrite, pyrrotite, sphalérite, galène, graphite) et présente une anomalie variant de quelques mV à 1 V, 200 mV étant considéré comme une bonne anomalie. Les potentiels observés sont toujours (ou presque) négatifs. Ces potentiels sont relativement stables dans le temps (à part les telluriques).

On doit bien distinguer le potentiel de minéralisation des bruits de fond dus à toutes les autres causes. L'amplitude de V de chacune de ces causes varie beaucoup mais reste en général inférieure à 100 mV. Puisqu'ils peuvent être aussi bien positifs que négatifs, ils ont tendance s'annuler sur de grandes distances mais à une échelle plus grande, il va exister une régionale. Le bruit le plus inquiétant est dû au phénomène bioélectrique qui peut atteindre 100 mV, qui est reconnaissable si on fait attention.

• **Prise des mesures**

On distingue deux façons principales de prendre des mesures : la configuration du gradient et la configuration à base fixe. Pour la configuration du gradient, la paire d'électrodes se déplace simultanément, d'un point de mesure à l'autre. On fait en général des mesures le long d'une ligne pour ainsi obtenir un profil. Plusieurs profils parallèles les uns aux autres permettront de couvrir une surface donnée. Cette méthode présente l'avantage d'être rapide. Les désavantages sont qu'il faut additionner toutes les valeurs pour obtenir V, les erreurs de zéro s'additionnent et il faut veiller à garder toujours la même polarité des électrodes. La configuration à base fixe consiste à ne déplacer qu'une électrode tout en gardant l'autre fixe. L'électrode mobile est déplacée de façon à couvrir la surface d'investigation. Les avantages sont que la lecture est directe puisque les mesures sont faites avec une même référence, et les erreurs de zéro entre les deux électrodes ne s'accumulent pas. Le désavantage principal est qu'on doit manipuler des fils pouvant être très longs. Actuellement, les systèmes d'acquisition modernes permettent de relier un réseau d'électrodes à l'instrument et d'effectuer rapidement nos mesures.

• **Désavantages de la méthode**

La méthode P.S. présente les désavantages suivants. S'il n'y pas de réaction de P.S., on ne détecte rien. L'investigation est limitée en profondeur à moins de 60 m (200'). L'interprétation quantitative est difficile à réaliser

## 2) Méthodes électriques

### • Les principes de base

Généralement, elle consiste à injecter dans le sol un courant  $I$  via l'électrode et ensuite à mesurer la chute de tension résultant ( $V$ ).

Le potentiel généré en un point  $M$  est donné par l'équation suivante:

### • Electrical Resistivity Tomography (ERT)

Récemment, l'ERT a été effectuée, cette technique permet d'étudier latéralement et verticalement de la sous-surface et permet donc de produire un modèle de résistivité de la couche et l'épaisseur réelle de géo-électriques. Généralement, les 32 électrodes sont disposées en deux chaînes de 16, avec des électrodes reliées par un câble multi-nœuds à un boîtier de commutation et résistivimètre. Distance entre les électrodes adjacentes est choisi et défini en fonction à la fois des caractéristiques de la cible (dimension ...) et l'espace disponible de la mesure.

### • Méthodes de polarisation provoquée

#### ✓ Principe de base

En situation géologique, le courant est conduit à travers la masse de roche par le mouvement des ions, à l'intérieur de la nappe, passant à travers les pores interconnectés minéral à travers la fracture et la microstructure à l'intérieur de la roche. Quand un des blocs de grains conducteurs chargé électriquement dans un canal d'écoulement, s'accumule comme dans la cellule électrochimique; ceci s'oppose à la circulation du courant et le grain devient polarisée, créant ainsi une différence de potentiel à travers les grains. Par coupure de la tension appliquée, la diffusion des ions à travers le milieu électrolytique et la différence de potentiel à travers les grains sont réduits à zéro en un temps fini, ce qui donne la décroissance de la surtension caractéristique mesurée dans le système dans le domaine temporel.

Grain polarisation est essentiellement un phénomène de surface et c'est pourquoi les minerais disséminés produisent une réponse IP significative.

**ANNEXE 2 : Le Précambrien malgache et les différents évènements géologiques (Razafinimparany, 1978)**

Chronologie absolue	Echelle stratigraphique	Formations mises en place	Evènements géologiques principaux
550MA-100 550MA	CAMBRIEN		Orogenèse Mozambicaine panafricaine : réactivation locales des migmatites, mise en place des granites, pegmatites ( U,Th,Nb,Ta) ; rajeunissement des biotites
550MA+100 1200MA+100	PROTEROZOIQUE SUPERIEUR	Pas de dépôts connus	Orogenèse kibarienne : Métamorphisme des séries précédentes et réactivation des plus anciennes, mise en place des migmatites, granites et charnockites Formation des leptynites
1200MA 1200MA+200	PROTEROZOIQUE MOYEN (S.Q.C : schistes-quartzites-cipolins	Dépôts des séries Amborompotsy, Ikalamavony, Ihosy, Horombe, Bevinda, S.Q.C, Daraina-Milanoa, Vohibory, Ambohipato-Vohémar	Episode thermique éburnéenne
2000MA 2300MA	PROTEROZOÏQUE INFÉRIEURE	Volcanisme et sédimentation dans le Sud ; formations des séries de Fort-Dauphin, Tranomaro, Ranotsara, Tsitondroina	Orogenèse Shamvaïenne : plissement et métamorphisme des séries : Beforona, Alaotra, Maevatanana-Manampotsy-Ambatolampy
2600MA	ARCHEEN	Dépôts des séries silico-alumineuses et calco-ferromagnésiennes et leurs équivalents migmatitiques	
2600MA+200			
3000MA-200			
3000MA	KATARCHEEN	Massif ou dôme de granite et de migmatites, leptynites (Antongil, Angavo, Behara) et des métabasites	Orogenèse de 3000+ou-200 : élaborations des formations qui vont constituer les ossatures et noyaux sur lesquels vont se mouler les formations plus récentes.

## ANNEXE 3 : PRODUCTION MONDIALE DE GRAPHITE 1900 à 2012

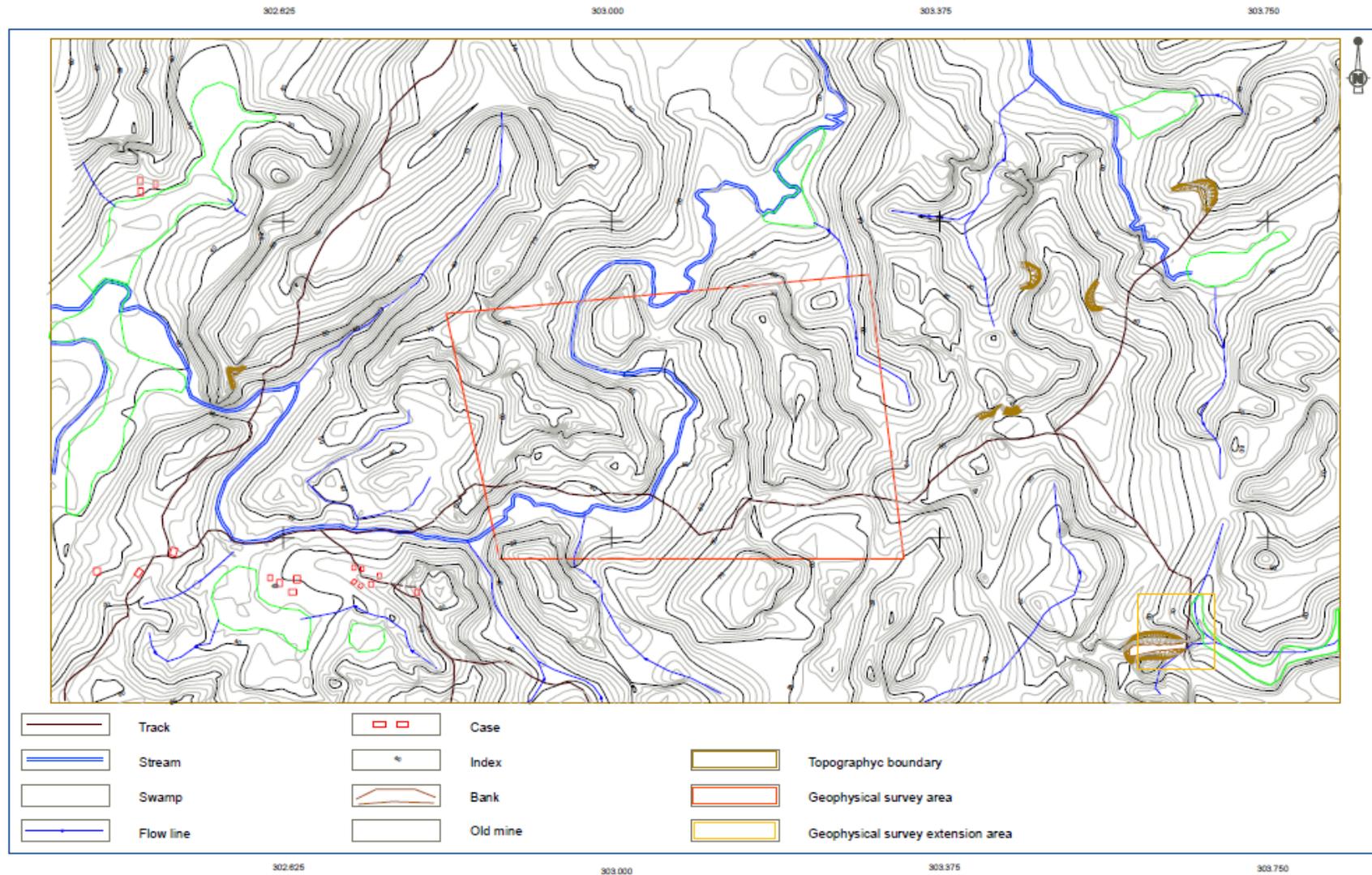
Année	prix(\$/tonne)	Production mondiale*	Année	prix(\$/tonne)	Production mondiale*
1 900	95	81 600	1 956	60	263 000
1 901	62	77 100	1 957	56	372 000
1 902	63	81 600	1 958	49	318 000
1 903	74	77 100	1 959	46	372 000
1 904	70	77 100	1 960	40	435 000
1 905	62	90 700	1 961	50	413 000
1 906	67	104 000	1 962	56	535 000
1 907	85	109 000	1 963	43	679 000
1 908	73	95 300	1 964	45	620 000
1 909	96	95 300	1 965	45	607 000
1 910	82	95 300	1 966	50	484 000
1 911	80	109 000	1 967	46	358 000
1 912	74	118 000	1 968	41	437 000
1 913	81	136 000	1 969	46	376 000
1 914	70	104 000	1 970	50	393 000
1 915	107	113 000	1 971	52	394 000
1 916	187	172 000	1 972	61	361 000
1 917	232	209 000	1 973	59	395 000
1 918	175	181 000	1 974	73	497 000
1 919	123	122 000	1 975	93	451 000
1 920	89	118 000	1 976	91	449 000
1 921	61	90 700	1 977	101	493 000
1 922	42	104 000	1 978	129	534 000
1 923	35	95 300	1 979	169	626 000
1 924	27	95 300	1 980	294	597 000
1 925	51	122 000	1 981	321	589 000
1 926	63	136 000	1 982	325	562 000
1 927	46	154 000	1 983	302	604 000
1 928	50	150 000	1 984	276	625 000
1 929	49	150 000	1 985	338	584 000
1 930	41	118 000	1 986	406	625 000
1 931	35	77 100	1 987	407	643 000
1 932	26	72 600	1 988	431	575 000
1 933	32	86 200	1 989	541	1 010 000
1 934	40	109 000	1 990	701	946 000
1 935	35	145 000	1 991	648	771 000
1 936	28	150 000	1 992	513	670 000
1 937	29	159 000	1 993	573	648 000
1 938	25	177 000	1 994	507	517 000
1 939	22	222 000	1 995	496	584 000
1 940	32	254 000	1 996	536	555 000
1 941	54	231 000	1 997	558	685 000
1 942	63	272 000	1 998	565	651 000
1 943	36	277 000	1 999	624	692 000
1 944	54	263 000	2 000	535	846 000
1 945	43	136 000	2 001	447	816 000
1 946	44	95 300	2 002	495	932 000
1 947	38	122 000	2 003	467	999 000
1 948	43	163 000	2 004	469	1 010 000
1 949	44	168 000	2 005	537	1 030 000
1 950	53	159 000	2 006	553	1 020 000
1 951	61	195 000	2 007	636	1 120 000
1 952	74	177 000	2 008	826	1 050 000
1 953	61	168 000	2 009	897	794 000
1 954	62	168 000	2 010	797	1 070 000
1 955	54	272 000	2 011	1 130	1 160 000
			2 012	1 210	1 170 000

\* : production mondiale en métrique tonne

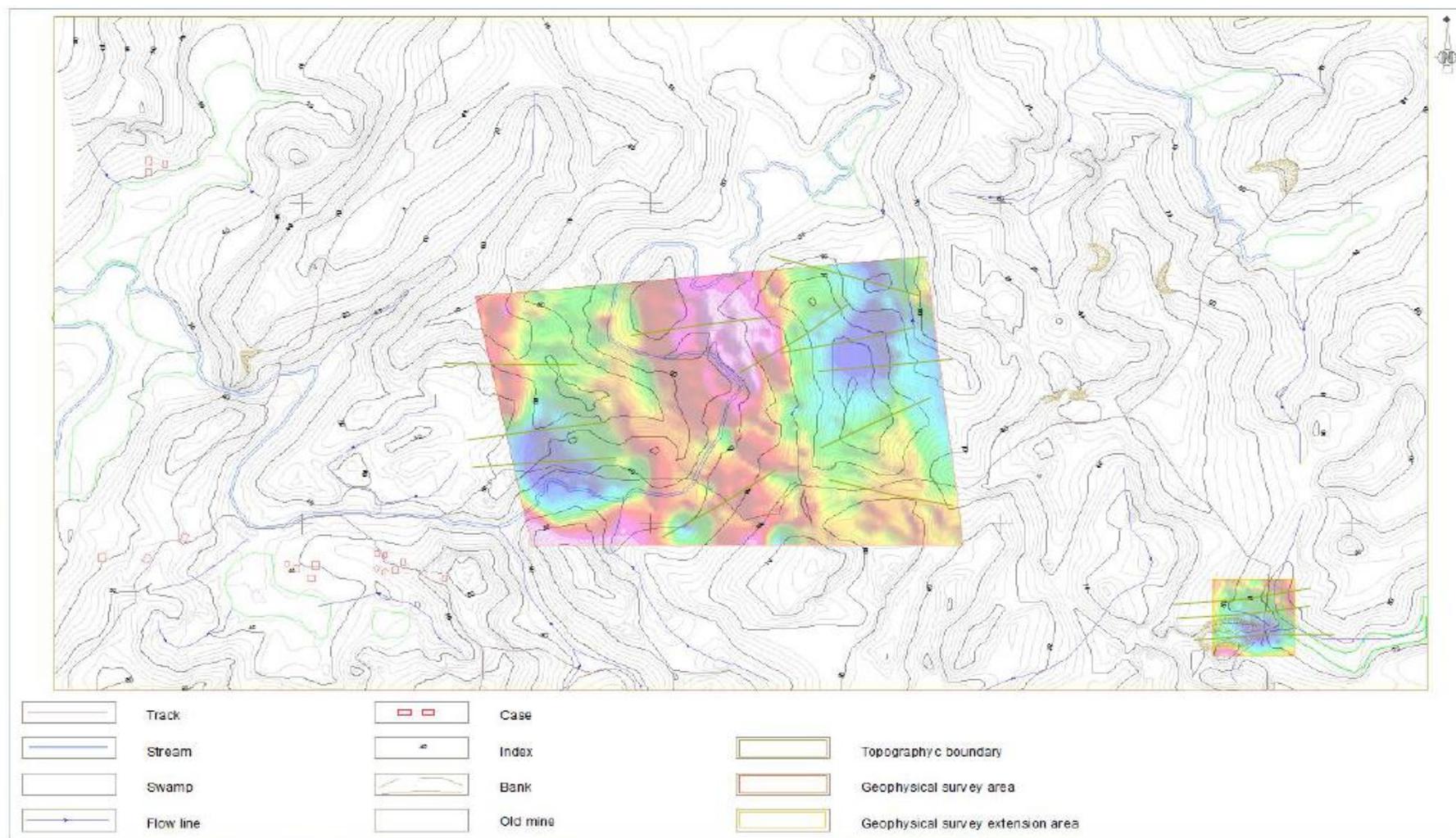
**ANNEXE 4 :**

CONDITIONS GÉNÉRALES AU CHANTIER	DURÉE DES TEMPS FIXES (MIN.) NOTE : 20 À 30% DE CE TEMPS FIXE EST ATTRIBUABLE À LA MISE EN PLACE DU CAMION SOUS L'ÉQUIPEMENT DE CHARGEMENT		
	 Camions 10 roues	 Camions remorque	 Camions hors route
Favorables	0,45	1,2	2,2
Moyennes	0,9	1,8	4,5
Défavorables	2,0	2,5	8,4

## ANNEXE 5 : CARTE TOPOGRAPHIQUE



## ANNEXE 6 : CARTE TOPO + PS + PANNEAUX ELECTRIQUES



## Annexe 7 :

Milieu	Impacts identifiés	Nature	Etendue	Durée	Intensité	Importance
PHYSIQUE	Dégradation ou changement de l'esthétique du paysage	-	2	2	2	7 (majeur)
	Risque d'ensablement des zones en aval	-	2	2	2	6 (moyen)
	Pollution de l'air	-	1	2	1	4 (mineur)
	Bruits et nuisances sonores dans les zones environnantes	-	1	2	1	4 (mineur)
	Tarissement des ressources en eau	-	1	1	1	3 (mineur)
	Risque d'érosion des sols	-	2	2	2	6 (moyen)
	Compactage du sol et diminution de fertilité	-	1	2	2	5 (moyen)
	Contamination	-	2	2	2	6 (moyen)

BIOLOGIQUE	Destruction ou disparition d'un habitat	-	2	2	1	5 (moyen)
	Diminution quantitative d'une espèce	-	1	2	1	4 (mineur)
	Déplacement ou migration de la population faunistique	-	1	2	1	4 (mineur)
	Contamination sur les feuilles par des poussières	-	1	2	2	5 (moyen)
	Perturbation de la vie quotidienne des animaux	-	1	2	1	4 (mineur)

HUMAIN	Création d'emploi	+	2	2	2	6 (moyen)
	Risque d'accident et de maladies des employés et habitants locaux	-	2	2	1	5 (moyen)
	Nuisance sonore	-	2	2	1	5 (moyen)
	Litige foncier	-	2	2	1	5 (moyen)
	Insécurité rurale	-	2	2	1	5 (moyen)
	Afflux de la population	-	2	2	2	6 (moyen)
	Utilisation conflictuelle des ressources locales	-	2	2	1	5 (moyen)
	Réhabilitation des routes : désenclavement de certains endroits et à la circulation de la population	+	2	3	2	7 (majeur)
	Développement socio-économique local	+	2	3	2	7 (majeur)