

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
LISTE DES ILLUSTRATIONS	iii
LISTE DES ABBRÉVIATIONS	v
INTRODUCTION	6
CHAPITRE I : GENERALITES	8
I.1 Généralités sur le graphite	8
I.2 Ressources en graphite mondiale.....	11
I.3 Production mondiale de graphite	12
I.4 Prix et consommation du minerai	13
I.5 Contexte géographique	14
I.6 Contexte géologique	18
I.6.1 Concept géologique sur les socles cristallins de Madagascar	18
I.6.2 Géologie de la zone d'étude	20
CHAPITRE II : METHODOLOGIE	24
II.1 Cadre de l'étude.....	24
II.2 Travaux de prospection	25
II.3 Traitement sur Surfer 11.....	32
CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	33
III.1 Les résultats de prospection.....	33
III.1.1 Représentation des données du sondage sous forme de tableau	33
III.1.2 Représentation des données de sondage sous forme d'histogramme	37
III.1.3 Modélisation de la mine X	40
III.1.4 Estimation de réserve en graphite.....	43
III.2 Processus d'exploitation	44
III.3 Aperçu de la production de l'Établissement	46
CHAPITRE IV : DISCUSSION	50
CONCLUSION	52

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Liste des cartes :

Carte 1: Localisation de la zone d'étude (BD 500)	16
Carte 2: Carte tectono-métamorphique du socle cristallin de Madagascar (PGRM 2012).....	20
Carte 3: Carte de distribution des ressources et potentiels en graphite de Madagascar (PGRM 2012).....	22
Carte 4: Carte géologique de la zone d'étude (Source BD 500).....	23

Liste des figures :

Figure 1: Arrangement atomique du graphite	4
Figure 2: Schéma représentative de la genèse des trois types de graphite (USGS).....	6
Figure 3: Pays producteurs de graphite (USGS 2012).....	12
Figure 4: Production en graphite à Madagascar (2001 à 2011 : PGRM).....	13
Figure 5: Évolution du prix moyen des graphites naturels en Europe entre 2003 et 2012 (Industrial Minerals).....	14
Figure 6: Teneur en Carbone pour chaque trou de sondage	37
Figure 7: Teneur en graphite de chaque colline	39
Figure 8: Schéma de la future mine X	40
Figure 9: Teneur en graphite en 2D et 3D	41
Figure 10: Teneur en Carbone de la mine X.....	42
Figure 11: Flow-sheet de la laverie.....	45
Figure 12: Flow-sheet de l'usine de traitement	47

Liste des photos :

Photo 1: Boussole.....	26
Photo 2: GPS	27
Photo 3: marteau de géologue	27

Photo 4: Schéma d'une tarière	28
Photo 5: Broyeur	29
Photo 6: Flotteur.....	29
Photo 7: Rotap.....	30
Photo 8: Balance de précision avec nacelle	31
Photo 9: Four résistance Coudamy	32

Liste des tableaux

Tableau 1: Propriétés physico-chimiques du Carbone dans le graphite	8
Tableau 2: Pluviométrie mensuelle annuelle de la région de Vatomandry.....	13
Tableau 3: Tableau récapitulatif des résultats de prospection	34
Tableau 4: Tonnage à la mine IX.....	49

Liste des annexes

Annexe. 1: Généralité sur Gallois	57
Annexe. 2: quelques images durant le stage.....	60

LISTE DES ABBRÉVIATIONS

Ets :	Etablissement
RN :	Route National
U S G S :	United States Geological Survey
P G R M :	Programme de Gestion des Ressources Minérales
B R G M :	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BD :	Base de données
GPS :	Global Positioning System
ONE :	Office National pour l'Environnement
Ma :	millions d'années
NNW :	Nord Nord-Ouest
SSE :	Sud Sud-Est
G P :	Grosse Paillette
M P :	Moyenne Paillette
PP :	Petite Paillette
EFP :	Extra Fine Paillette
2D :	deux dimensions
3D :	trois dimensions
MECIE :	Mise en Compatibilité des Investissements avec l'Environnement

LISTE DES UNITES

\$/t :	unité en dollars par tonne
°C :	degré Celsius
m ² :	mètre carré
mt :	millions de tonnes
t :	tonne
kt :	kilotonne

INTRODUCTION

Les exploitations minières à Madagascar datent depuis l'époque coloniale. Vu que Madagascar est riche en ressources minérales, les investisseurs étrangers viennent ici pour chercher les matières premières nécessaires utilisés dans le secteur tertiaire surtout depuis le développement de la technologie de pointe.

Parmi eux, on peut citer l'exploitation du Nickel et Cobalt d'Ambatovy dans la province de Toamasina et l'exploitation de l'Ilménite dans l'extrémité Sud-Est de Madagascar dans la région de Fort-Dauphin. Sur ceux, l'Établissement Gallois qui exploite et exporte du graphite brut depuis la colonisation, est l'une des sociétés qui tire profit des ressources minières de l'Ile. Ainsi, l'Établissement est parmi le plus ancien et plus grand exportateur de ce minerai à Madagascar. Par contre, plusieurs difficultés sont rencontrées dans l'entreprise surtout dans l'exploitation du minerai car les mines en cours d'exploitation sont presque épuisées et la méthode d'exploitation ne s'adapte plus à ceux des concurrents. Or la révolution et le marché mondial exige beaucoup de critère sur la qualité du graphite à exporter. Ainsi, la société perd sa plus grande clientèle et cela engendre une diminution de sa production en plus de l'existence d'un concurrent international : la Chine.

Ainsi, l'Établissement Gallois devrait assurer la continuité de son exploitation et changer ses stratégies d'exploitation afin de pouvoir se resituer au rang du plus grand exportateur de graphite au niveau national qu'international, surtout que le graphite est un minerai avec un grand avenir et les grands gisements mondiaux sont en cours d'épuisement.

En dépit de tout cela, la qualité du graphite en paillette existant à Madagascar est reconnu meilleur et déjà mis en compétition avec ceux des autres pays. La partie orientale de l'Ile, où se situe notre zone d'étude est reconnu par l'abondance de ce type de graphite et plusieurs gisements sont encore mal évalués.

Cette étude dont le thème porte sur la : « PROSPECTION ET VALORISATION DU GISEMENT DE GRAPHITE D'AMBOAHANGIMASINA, VATOMANDRY » , se focalise dans cette problématique et a pour objectif de valoriser le gisement de graphite

par la recherche d'une nouvelle mine exploitable, afin d'assurer la pérennisation de l'exploitation.

Cette étude commence par la prospection, ensuite les traitements des données de sondage et se termine par un aperçu sur l'exploitation proprement dite. Pour ce faire, ce travail va se subdiviser en cinq grands chapitres bien définis : dans le premier chapitre, nous allons voir la généralité sur le graphite, ensuite dans le deuxième chapitre, le contexte général de la zone d'étude, puis se poursuit l'annonce des résultats et interprétation et s'ensuit par la discussion, enfin, l'étude s'achève par une conclusion.

CHAPITRE I : GENERALITE

I.1 Généralités su le graphite

I.1.1 Caractéristiques physico-chimiques

C'est à la fin du XVIIIe siècle que le chimiste suédois C.W. Scheele a démontré que la plombagine, ancien nom du graphite ne contenait pas du plomb mais en fait une forme cristalline particulière du carbone.

Ce n'est qu'en 1789 que le nom graphite fut donné par le minéralogiste A.G. Werner en référence du mot grec *graphein* (écrire).

Le graphite est l'une des formes allotropiques naturelle du Carbone, un élément chimique non-métallique, sixième élément du tableau de Mendeleiev. C'est un minéral solide noir, tendre, à éclat submétallique. Il est relativement léger, sa densité varie entre 2,1 et 2,3. Le tableau ci-dessous (tableau 1) récapitule les propriétés physico-chimiques du Carbone dans le graphite.

<i>Nom et symbole</i>	<i>Carbone graphite ; Cg (solide noir)</i>
Numéro atomique ; masse atomique (g)	Z = 6 ; A = 12
Rayon de covalence (pm)	77
Rayon atomique (pm)	(70 - 67)
Rayon de Van der Waals (pm)	170
Configuration électronique	1s ² 2s ² 2p ²
Etat d'oxydation	4 ; 2
Température de fusion (K)	3773
Température de vaporisation (K)	5100
Volume molaire (m ³ mol ⁻¹)	5,29 10 ⁻⁶
Masse volumique (kg m ⁻³)	2267
Conductivité électrique (S m ⁻¹)	61 10 ³
Conductivité thermique (W m ⁻¹ K ⁻¹)	129
Electronegativité (PAULING)	2,55

Tableau 1: Propriétés physico-chimiques du Carbone dans le graphite

Le graphite est gras au toucher et tache les doigts et le papier. Les atomes de Carbone sont en liaison fortes avec trois de leurs voisins formant un réseau hexagonal (en nid d'abeille) dans un système planaire. Les plans hexagonaux sont faiblement liés entre eux formant des feuillets dont les plans peuvent facilement glisser les uns par rapport aux autres. Les feuillets sont superposés avec un léger décalage. Autant les liaisons entre atomes de carbone sont fortes dans un même plan, autant elles sont faibles entre les plans. La figure 1 montre les arrangements atomiques du graphite.

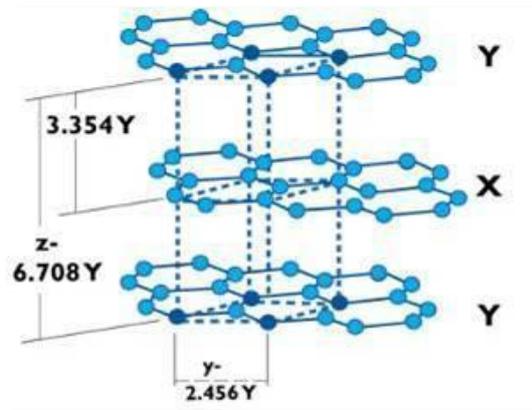


Figure 1 : Arrangements atomiques du graphite

I.1.2 Aperçu gîtologique

Le graphite est présent soit sous forme de fines disséminations dans la roche, sous forme de concentrations dans certains faciès du minéral.

Le graphite utilisé par l'industrie est soit naturel, et se rencontre dans les roches métamorphiques, soit synthétique et élaboré par graphitisation à haute température de coke de pétrole.

Le graphite est un minéral formé par métamorphisme des résidus organiques, bitumes et charbons contenus dans certaines formations sédimentaires. C'est donc un minéral des roches métamorphiques. Le métamorphisme transforme les composants carbonés d'abord en graphitoïde mal cristallisé, puis en graphite de mieux en mieux cristallisé au-dessus de 400°C. Sa cristallinité est directement liée à l'intensité du métamorphisme :

- un métamorphisme régional plus intense donnera du graphite en paillettes (« flakes »), le plus commun (Chine, Canada, Brésil, Madagascar), c'est le cas du gisement de la côte Est de Madagascar. Les roches-hôtes peuvent être des quartzites, des marbres, des micaschistes, des paragneiss, des quartzites. Ils sont souvent en relation avec des filons de quartz blanc. Les paillettes de graphite sont disséminées dans des roches sédimentaires riches en silice, métamorphisées (schistes, gneiss).

- le « lump graphite » (graphite en masse ou en veines) est beaucoup plus rare. Il proviendrait de pétrole métamorphisé (Jébrak et Marcoux, 2008). Il se trouve en veines (remplissage de fissures) d'une puissance de 1 cm à 1 m. C'est un graphite très pur (environ 90 % Carbone). Un tel graphite est exploité au Sri Lanka.

On peut décrire comme suit la gîtologie des trois variétés de graphite naturel :

✚ Le graphite « amorphe » (en réalité microcristallin) ou « graphitoïde » est formé par métamorphisme thermique de couches charbonneuses. Cette variété de graphite est la principale exploitée dans le monde, en gisements épais, profonds ou non, dont les teneurs en graphite peuvent aller de 50 % à 90 % (Delfau et Duhamel, 1983).

✚ Le graphite en paillettes (graphite « cristallin », en écailles, en feuillet, en « flakes ») se trouve habituellement sous forme disséminée dans des roches sédimentaires affectées par un métamorphisme régional (gneiss, micaschistes, schistes, marbres, etc.). Cette variété « cristalline » est également exploitée dans des gîtes secondaires (gisements éluviaux) à Madagascar, où le graphite a été libéré de la roche originelle altérée par latéritisation. La grande taille des écailles de graphite de ces gisements éluviaux augmente la valeur marchande du produit. Ces gisements présentent en général des teneurs assez faibles en graphite (5 % à Madagascar) et la dimension des paillettes peut varier de 1 mm ou moins à 5 cm exceptionnellement.

Ce type de graphite contient généralement une teneur en Carbone supérieure à 90%, c'est le plus demandé dans le marché puisque considéré comme de haute qualité, et utilisé comme mines de crayon. On les rencontre rarement dans les roches ignées mais dans les roches métamorphiques.

✚ Le graphite en veines se trouve à grande profondeur, en remplissage de fissures, sous forme de masses de grains microcristallins. (Graphite « amorphe ») et de lamelles et agrégats fibreux ou aciculaires (graphite cristallin). Le minerai peut contenir jusqu'à 70 % et plus de Carbone. On l'appelle également graphite de Ceylan (son pays d'origine). Ce graphite s'associe généralement, à d'autres minéraux hydrothermaux comblant les fissures. Le graphite filonien a également une haute teneur en carbone de 90 à 95 %. Voici un schéma qui résume la genèse de ces trois types de graphite (figure n°2).

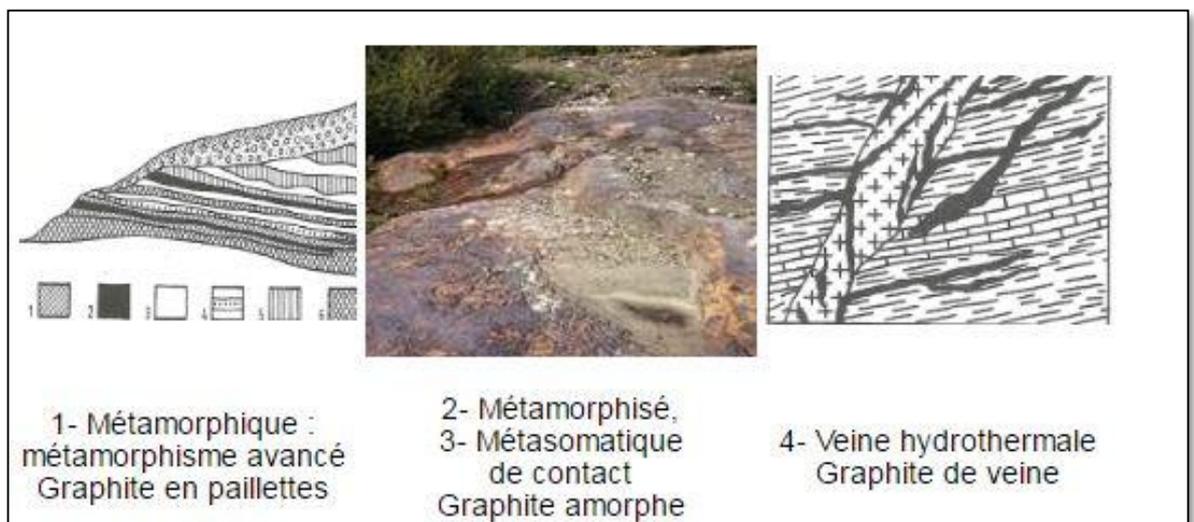


Figure 2 : Schéma représentative de la genèse des trois types de graphite
(USGS)

I.2 Ressources en graphite mondiale

Répartie entre les composés organiques, les hydrocarbures, les charbons et ses formes minérales (diamant, graphite, carbonates), l'abondance moyenne du Carbone dans la croûte terrestre est estimée à 0,02 %.

En réalité, il n'y a pas de chiffre exact de la réserve du graphite. Les ressources mondiales en ce metalloïde sont mal évaluées mais elles pourraient atteindre jusqu'à 800 mt (2011) dont 1 mt pour Madagascar.

Concernant celles de Madagascar, la première plombagine a été découverte en 1838 par le Reverant Ellis. Jean Laborde dans son usine à Mantasoa et ainsi a été utilisé pour la fabrication des creusets métallurgiques. Ainsi se poursuit l'étude faite par Léon Suberbie à Antananarivo qui remonte en 1904. Ce n'est qu'en 1911 que le graphite malgache se faisait une place sur le marché.

I.3 Production mondiale de graphite

La production de graphite naturel est dominée à 80 % par la Chine pour les deux formes les plus utilisées, paillettes (flakes) et « amorphe » (forme microcristalline), suivie du Brésil (8 %). Le reste de la production se répartit entre une quinzaine de pays (Inde, Canada, Corée du Nord, Sri Lanka, Autriche, Norvège, Madagascar, etc.).

Les autres pays producteurs sont, dans l'ordre : la Corée du Nord (130 kt), le Brésil (75 kt), le Canada (25 kt), l'Inde (15 kt), la Russie (12 kt), le Mexique (8 kt), l'Ukraine (8 kt) et la Norvège (8 kt).

Voici un schéma qui récapitule la production mondiale de graphite par les plus grands pays ayant les plus grandes réserves avec les types de graphite qui en sortent (figure n°3). Madagascar est parmi les pays les 7% qui produisent les autres paillettes.

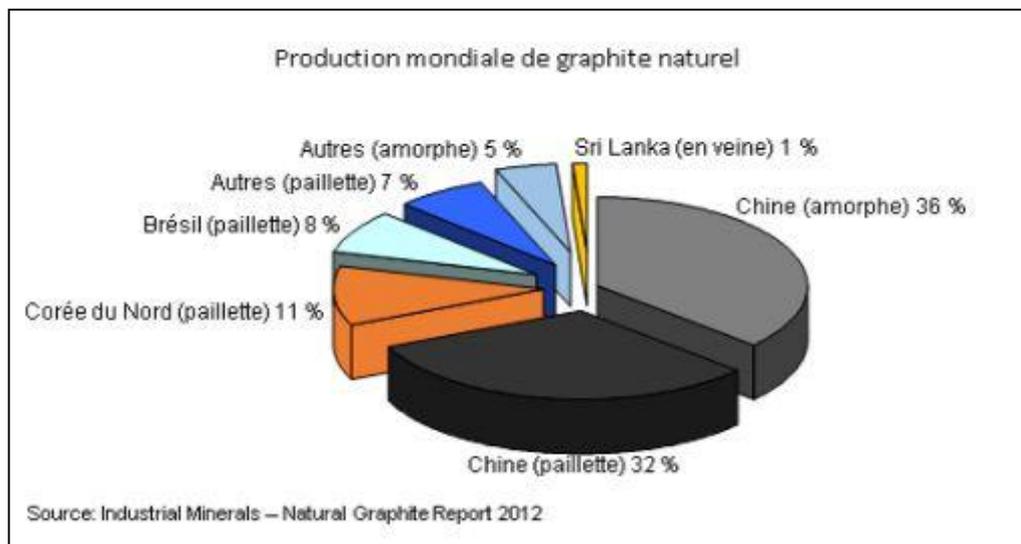


Figure 2: Pays producteurs de graphite (USGS 2012)

À Madagascar, il n'y a pas de chiffre exact concernant la production mais seulement des valeurs approximatives. On peut résumer en quelques sortes dans le diagramme ci-dessous (figure n°4) la totalité du graphite produite par Madagascar depuis 2001 à 2011, qui regroupe tous les exportateurs de l'Ile dont parmi eux l'Établissements Gallois qui produit presque la totalité de la production avec un tonnage de 5000 t par an suivi des autres sociétés comme Ets Rostaing (Tamatave), Graphmada (Brickaville) Izouard et Luoy's (Andasibe).

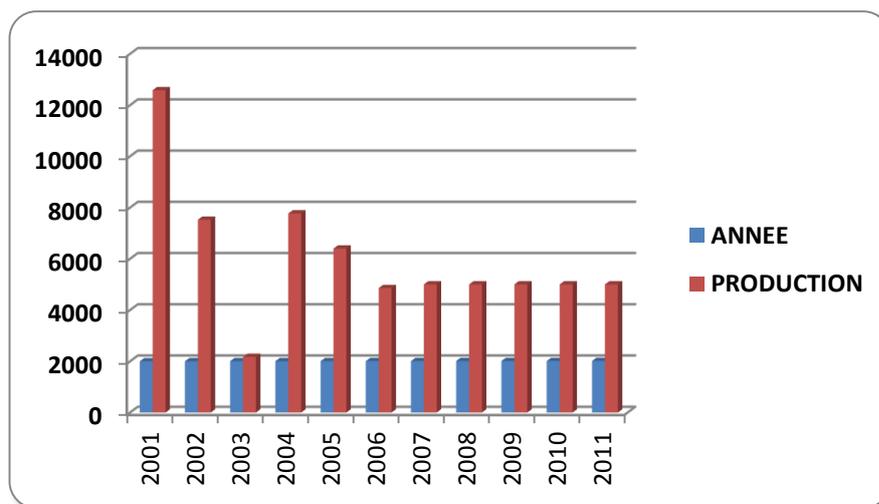


Figure 3: Production en graphite à Madagascar (2001 à 2011 : PGRM)

I.4 Prix et consommation du minerai

Les prix du graphite dépendent de sa nature (paillette ou « amorphe ») et de sa teneur en Carbone. Ils ont augmenté entre 2007 et 2008, en raison de l'augmentation de la demande et du relèvement par la Chine de ses taxes à l'export. Ils ont baissé début 2009 avec la crise financière, puis ont ensuite fortement augmenté jusqu'à fin 2011, où les prix s'échelonnaient entre 850 \$/t pour le graphite microcristallin à faible teneur en carbone et 2 500 \$/t pour la meilleure qualité de paillettes à forte teneur en Carbone (figure 5).

Pour sa consommation, c'est les États-Unis qui dominent le marché. Mais ce sont les pays européens les premiers importateurs du minerai venant de Madagascar, ils les utilisent pour divers domaines, les plus connus sont : fabrication des fours et des équipements industriels, Matière première pour la fabrication d'automobile et leurs

sous-traitants pour les garnitures de frein et embrayages, diverses pièces mécaniques, lubrifiants, construction de véhicules électriques à batteries lithium-ion à anodes en graphite, des encres résistives au graphite pour l'électronique.

En gros, la moitié de la production de graphite est destinée à la fabrication des creusets et objets réfractaires.

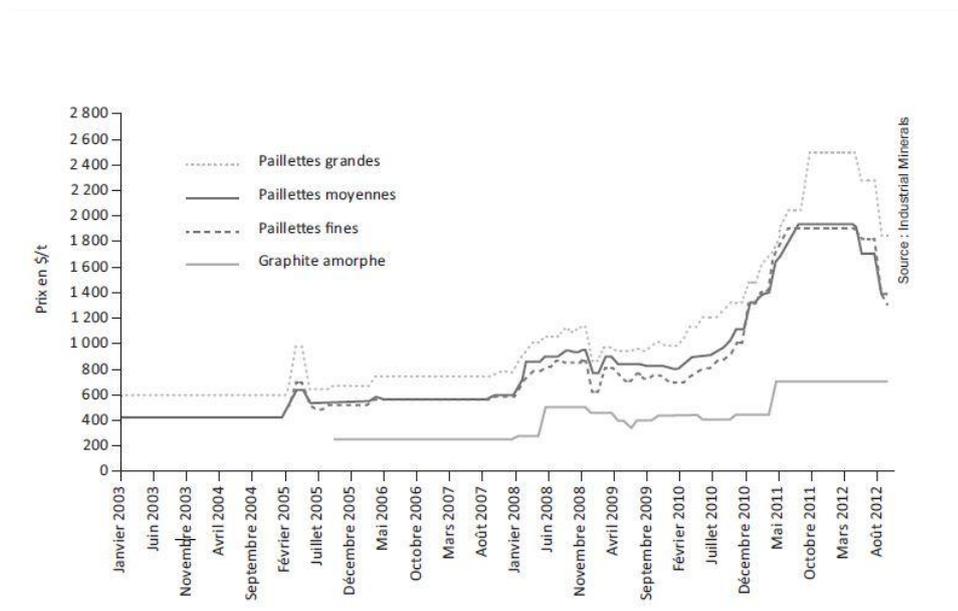


Figure 4: Évolution du prix moyen des graphites naturels en Europe entre 2003 et 2012 (Industrial Minerals)

I.5 Contexte géographique

I.5.1 Localisation de la zone d'étude

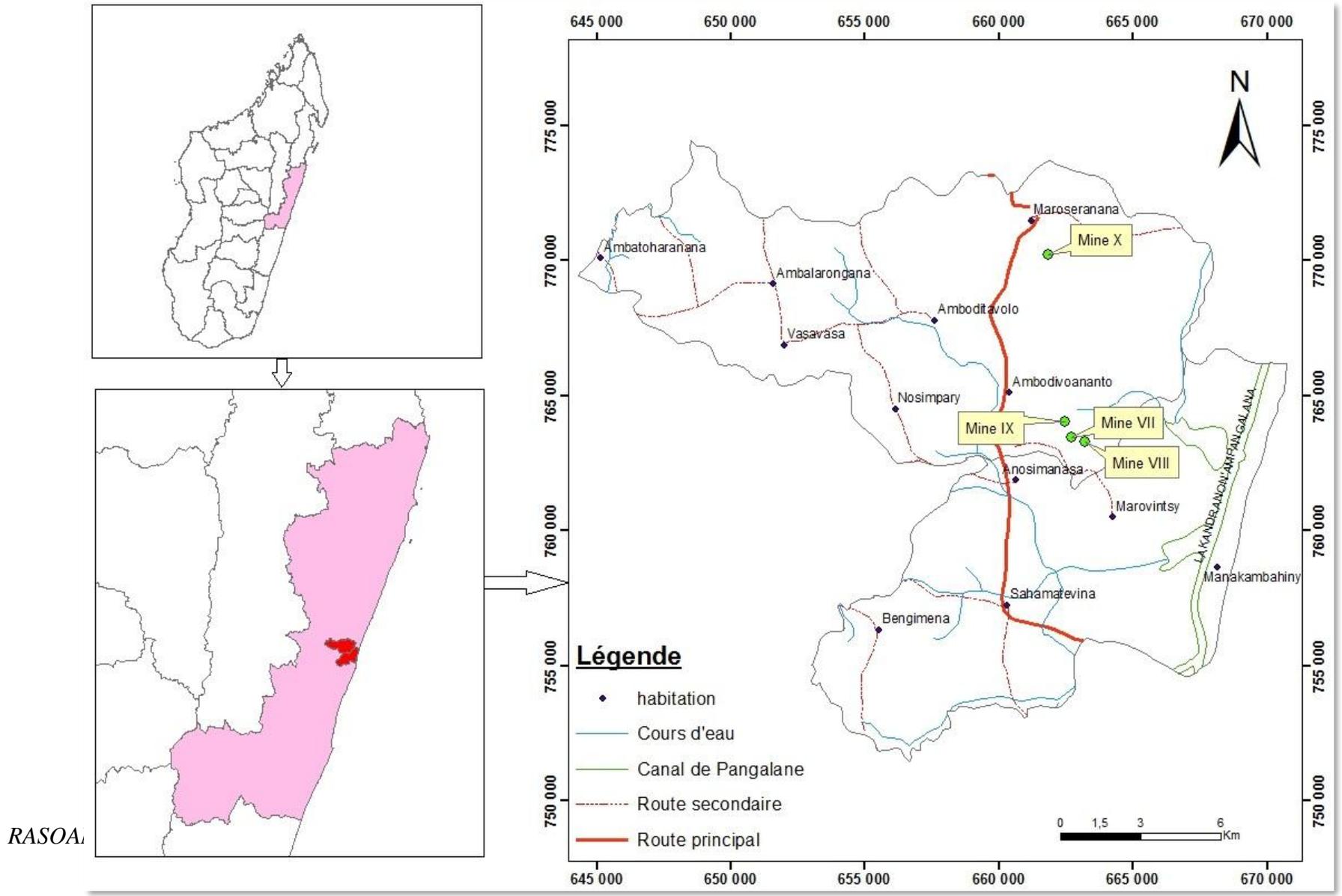
La zone à étudier se trouve dans le carré minier de Gallois à Marovintsy. Il faut noter que ce n'est pas le seul site d'exploitation de l'Établissement mais il y en a aussi deux à Antsirakambo au Nord du Brickaville et Ambalafotaka, ce dernier n'est pas encore exploité faute de l'enclavement de la zone par rapport aux deux autres. Le site d'exploitation de Marovintsy se situe sur la côte-Est de Madagascar entre le littoral de l'Océan Indien et la falaise de Betsimisaraka au Nord-Est de la ville de Vatomandry. Il est à 200 km au Sud de la ville de Toamasina, et à 300 km d'Antananarivo. Elle appartient à la province de Toamasina, à la sous-préfecture de Vatomandry. Arrivant à la RN11A, il y a une déviation vers le village sur une route secondaire, de 7km de

longueur. Le carré minier s'étend dans les trois communes de la région : commune Sahamatevina, Nierenana, Amboditavolo. L'usine de traitement ainsi que la base vie sont installés dans le fokontany de Marovintsy.

La zone d'étude s'étend, sur une surface limitée par les quatre points de coordonnées Laborde suivantes (carte n°1) :

X= 650000 Y=760000

X= 670000 Y= 780000



Carte 1: Localisation de la zone d'étude (BD 500)

I.5.2 Climat

Le milieu d'étude est dans la zone climatique tropicale humide de l'Est de Madagascar, qui se caractérise des températures douces montrant peu de variation au cours de l'année (21 à 27° C de moyennes mensuelles et 24°C de moyenne annuelle) et une pluviométrie abondante (variant de 2500 à 3500 mm /an) mais qui décroît de l'Est vers l'intérieur (tableau n°2).

On distingue quatre types de climat tropical correspondant aux quatre zones de reboisements dans la côte d'Est de l'Ile :

Tableau 2 : Pluviométrie mensuelle annuelle de la région de Vatmandry
(Service de la Météorologie)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
P(mm)	382,7	392,2	470,2	291,8	213,9	246,5	215,2	183,5	106,6	84,7	135,4	243,3	2.966

I.5.3 Végétation

Les formations végétales présentent dans la région Antsinanana à une grande diversité en fonction des conditions climatiques et pédologiques (Ministère de l'énergie et des mines, 2002). Au Sud-Est de Toamasina, dans les districts de Mahanoro, Vatmandry et Brickaville, on rencontre les prairies côtières. Les principales formations constatées sont les suivantes :

- ✚ Des lambeaux forestiers
- ✚ Des peuplements de *Ravenala madagascariensis* ou Fontsy.
- ✚ La mosaïque de plantations de vivriers non rizicoles
- ✚ Les surfaces de tavy et jachères
- ✚ Les reboisements des bois d'essence d'*Eucalyptus spp* et de *Grevillea banksii* n'occupent que des surfaces réduites dans la zone. Les eucalyptus ne constituent pas en général des peuplements denses, tandis que *Grevillea banksii*, espèce exotique buissonnante et très envahissante, se retrouve parfois au bord des routes et dans les endroits près du littoral, cette plante permet d'identifier la présence du graphite dans le sous-sol.

I.5.4 Occupation du sol

Selon le rapport de l'ONE en 2005, 1% des surfaces seulement était voué à l'agriculture. Celles couvertes par les écosystèmes forestiers étaient de 22,79% (dont 0,2% de forêts artificielles), et 74,14% par les savanes. Il existe deux sortes de terrains géologiques généralement favorables aux activités économiques dans cette région

Les terrains sédimentaires s'étend de la côte de Mahanoro jusqu'à Toamasina, il s'agit du volcanisme d'âge néogène-quaternaire et du crétacé et est caractérisé par des alluvions, de sables, de dunes vives et de grès peu solidifiés. Il y a deux types de sol sédimentaire :

-Les sols alluvionnaires d'apport fluvial aussi appelé « *Baiboho* » situant en bordure des cours d'eau. Ce type de sol est favorable aux cultures pérennes comme la riziculture.

-Les sols hydromorphes des bas-fonds, elle est de couleur noirâtre aussi dénommé « *Horaka* » ce type de sol ne convient pas à la culture que s'il est bien drainé et non plus à la riziculture.

Les terrains cristallins largement dominé par des pegmatites aussi appelé type infra graphite.

I.6 Contexte géologique

I.6.1 Concept géologique sur les socles cristallins de Madagascar

D'après H. Besairie, géologiquement, Madagascar se subdivise en deux parties bien distinctes :

- Un substratum cristallin qui recouvre le 2/3 de l'Ile avec des diverses roches éruptives
- Une couverture sédimentaire occupant le 1/3 restant formant une étroite bande

Ce sont des formations métamorphiques d'âge Précambrien. Les évènements tectono-métamorphiques qui ont déformés ce socle est daté du Katarchéen au Néocambrien.

Le socle cristallin de Madagascar a été subdivisé en 13 unités bien distinctes (Carte n°2, PGRM 2012), qui sont regroupées dans 8 domaines, ce sont :

-domaine d'Antananarivo, avec le groupe de Manampotsy où se situe notre zone d'étude

-domaine Androyen,

-domaine Anosyen,

-domaine d'Antongil-Masora, Angavo,

-domaine d'Ikalamavony,

-domaine d'Itremo,

-domaine de Bemarivo,

-domaine du Vohibory.

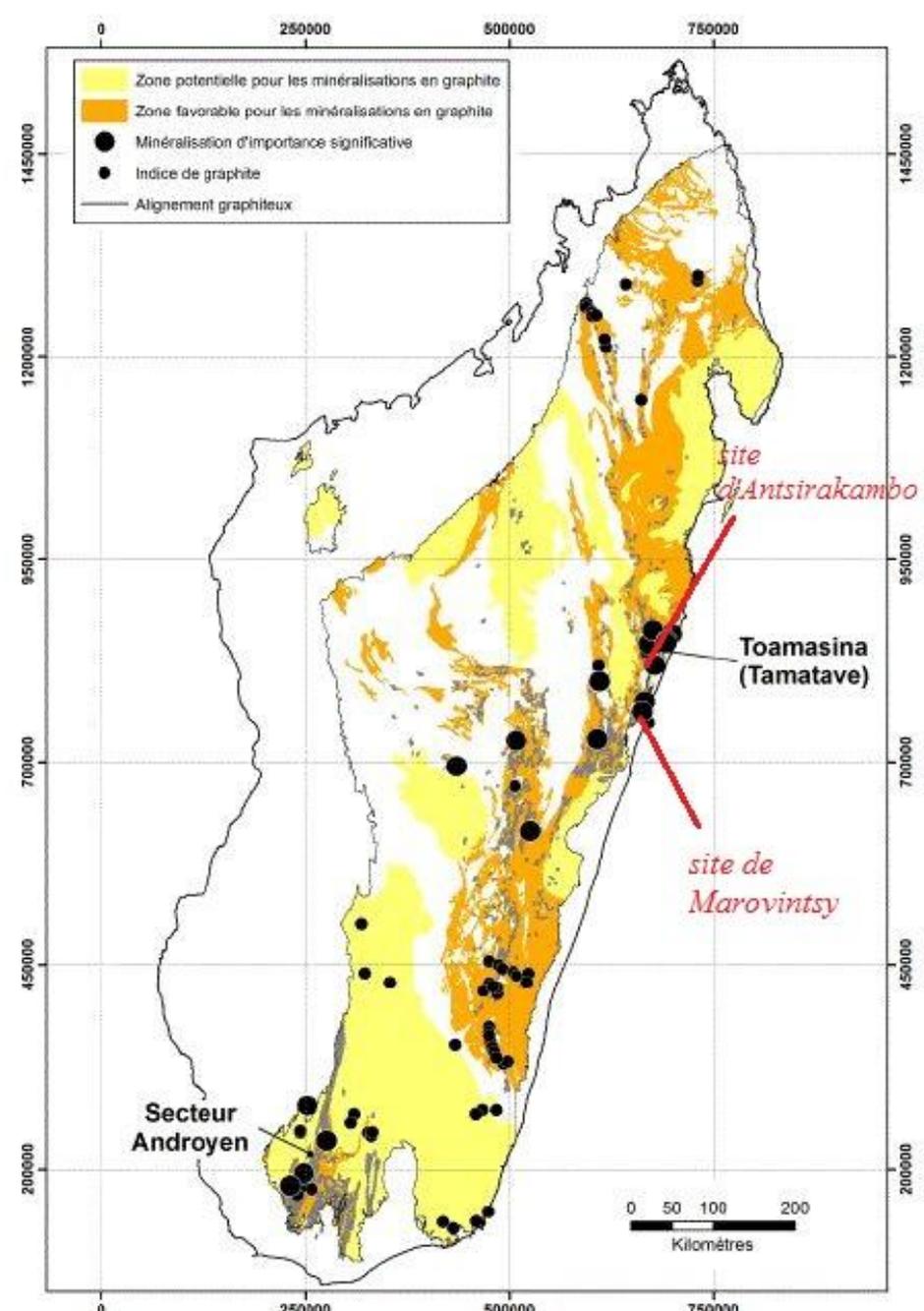
I.6.2 Géologie de la zone d'étude

La zone d'étude se situe donc dans le domaine d'Antananarivo, groupe de Manampotsy. La genèse de cette formation date depuis l'Archéen (-3000 Ma). L'orogénèse SHAMWAINNE accompagné d'un métamorphisme et du magmatisme a formé le groupe de Manampotsy. Il est caractérisé par l'abondance en graphite dans des formations migmatogneissique (J.GUIGUES 1950, 1952). Des formations micaschisteux se trouvent au sommet du groupe et à la base du gneiss et migmatites à grenat, graphite, amphibole et biotite et quelques minéralisations de magnétite et corindon (H. BESAIRIE 1946).

Les gisements de Marovintsy et ses alentours (Amboahangimasina) se trouvent dans ce groupe de Manampotsy caractérisé par la présence des formations graphiteuses appartenant à une seule formation gneissique migmatisé, à graphite abondant, de plus de 50 m de puissance, située stratigraphiquement au-dessous des gneiss et migmatites à graphite rare ou sans graphite. Tandis que les migmatites fortement altérés donnent des latérites rouges. Ils forment des couches graphiteuses épaisses de plusieurs dizaines de mètres de direction NNW, contenant plus de 5% de graphite récupérable, par la méthode de flottation.

Les gisements de cette région sont situés dans un rayon maximal de 2.5 km autour du mont Ambohitranala, à 32 Km au SSE 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. Ces gisements ont été exploités par les Établissements Gallois, entre 1909 et 1952 et ont été abandonnés depuis cette date.

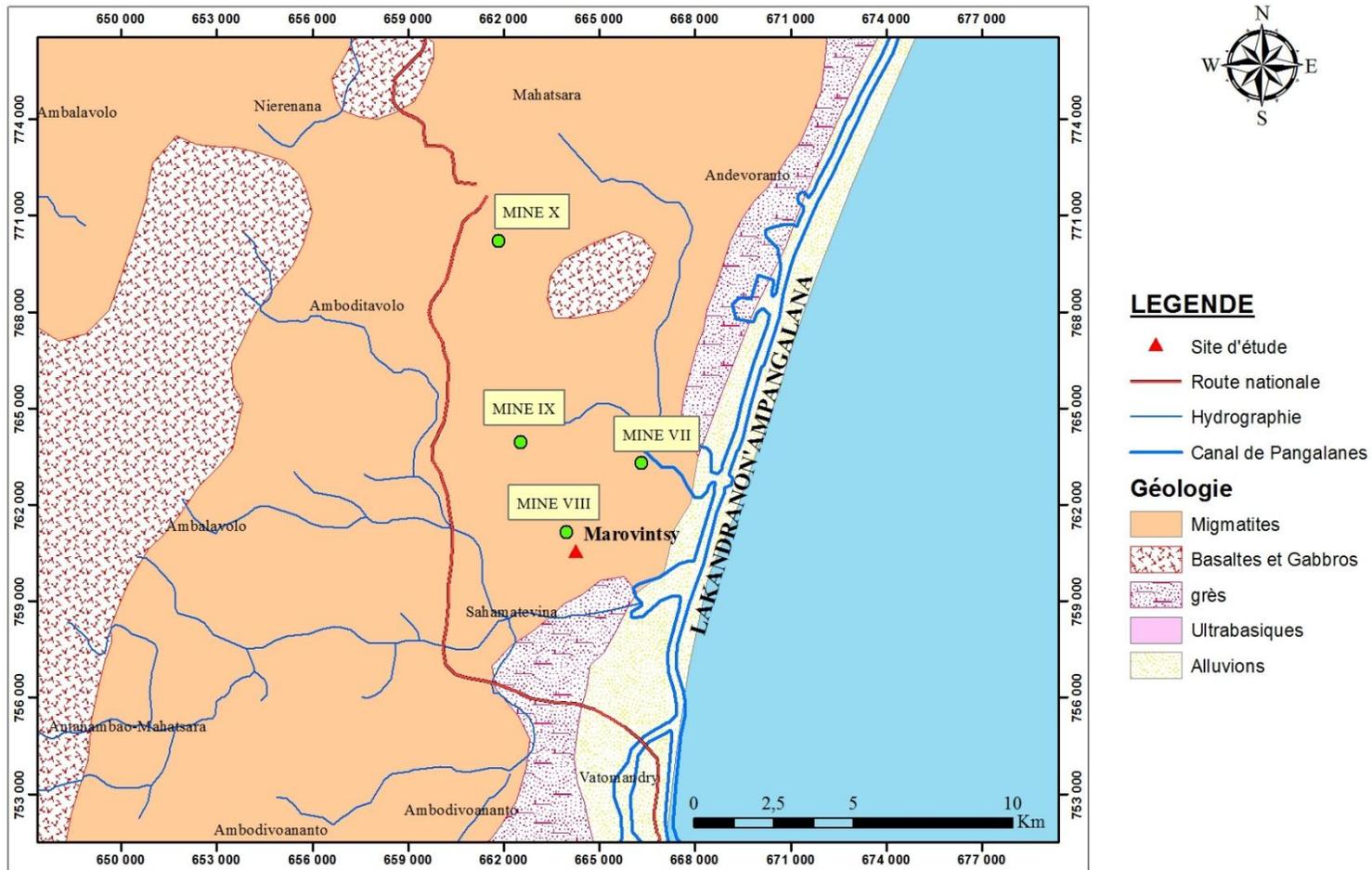
Actuellement l'Établissement Gallois restent encore dans cet axe de Vatomandry et de Marivolanitra, mais sur un autre site, comme Marovintsy et Antsirakambo. La carte représentée ci-dessous nous montre les potentiels en minerai de graphite dans l'Ile où il y a la zone d'exploitation de la société.



Carte 3: Carte de distribution des ressources et potentiels en graphite de Madagascar (PGRM 2012)

Du sondage par ceinturage des collines pour la découverte du gisement a été effectué, il y a des années avant notre descente sur la future mine (cf. Annexe 2). Mais l'enclavement de la zone par rapport aux autres gisements (mine I jusqu'à IX), n'a pas permis l'exploitation de celle-ci jusqu'à maintenant. La géologie de la zone est illustrée dans la figure ci-dessous (carte n°4) avec l'emplacement des mines en cours d'exploitation et la future mine

CARTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

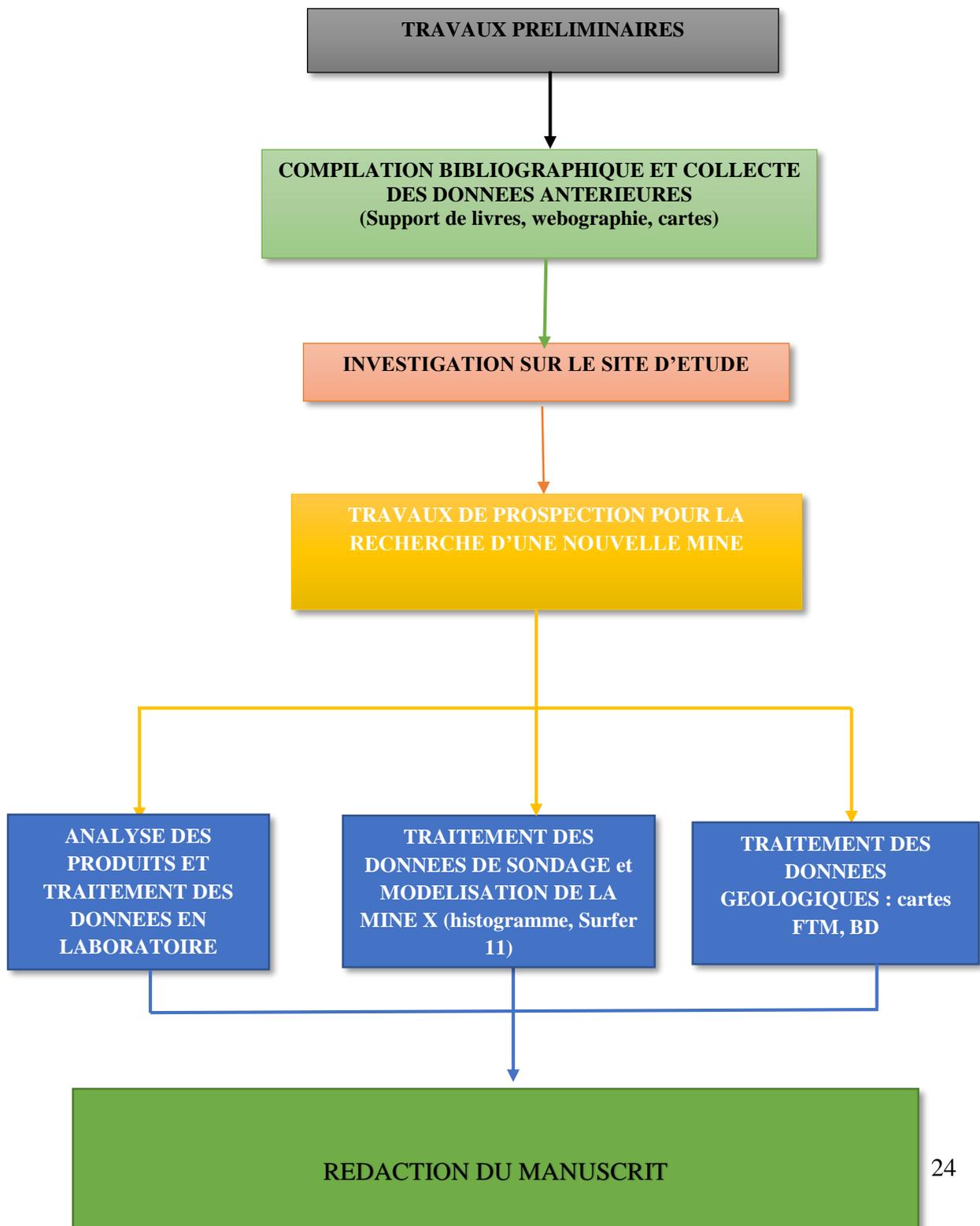


Carte 4: Carte géologique de la zone d'étude (Source BD 500)

CHAPITRE II : METHODOLOGIE

II.1 Cadre de l'étude

Plusieurs étapes ont été faites afin de réaliser ce présent travail. D'abord, la descente sur terrain afin de recueillir les données de la zone à étudier, puis analyse en laboratoire de ces échantillons , enfin la rédaction du manuscrit :Voici un organigramme montrant la méthodologie effectuée afin d'obtenir les résultats attendus.



II.2 Travaux de prospection

La prospection est l'une des premières étapes indispensable à l'exploitation minière. C'est l'ensemble des opérations qui consistent à procéder à des investigations superficielles en vue de la découverte des indices de substances minérales.

Elle détermine si la découverte du gisement est rentable pour continuer toutes les procédures d'exploitation de la mine. Elle nous révèle aussi tous les données concernant le gîte proprement dite.

Il y a deux phases qui ont été faite pour cette étude préliminaire :

❖ Une reconnaissance générale ou régionale :

Avant une descente sur terrain, on a exploité tous les documents nécessaires concernant le terrain à explorer afin de faciliter notre étude. Des documentations nous a permis de savoir que la future mine X est une carrière déjà prospecté de mais qui a été laissé faute d'enclavement de la zone. Notre zone d'étude se trouve dans une formation migmatitique avec un pendage quasiment horizontal qui facilite l'extraction. Ainsi, le sondage à la tarière suffit pour connaître la profondeur du gisement. Quelques indices nous a permis d'identifier la présence de graphite : la diminution de la végétation sur une partie de la colline ou la colline entière.

❖ La prospection stratégique :

C'est une prospection systématique qui, à la fin du travail, nous révèle une information constante au large de la surface prospectée. Son objectif est de mettre en évidence une région déterminée des zones anormales en relation avec la minéralisation. Puisque cette étude concerne plus particulièrement sur la détermination de la colline exploitable ou indice du graphite, il faut en déduire aussi le pourcentage en graphite pour chaque colline ainsi que sa teneur en Carbone. Pour ce faire, nous avons effectué des sondages à la tarière et à maille large avec une distance des trous de 20 m suivant la direction des couches.

Ainsi, on a pu avoir les résultats suivants après traitement des échantillons en laboratoire (cf. tableau n°3). On peut en tirer les concentrations en graphite et la teneur en Carbone. Ces données sont ensuite traitées en plusieurs façons par exemple en histogramme comme celui des figures montrées ci-dessous (figure n°4 et 5) et sur le logiciel Surfer 11(cf. figure n°7, 8,9).

Les matériels utilisés

Pour avoir les résultats nécessaires à cette étude, plusieurs matériaux sont utilisées que ce soit sur terrain ou au laboratoire ou même après l'obtention des données lors du traitement des échantillons.

II.2.1.1 sur terrain

Notons qu'il s'agit de travaux de prospection, on a utilisé plus particulièrement des outils adapté à cette étude :

➤ Boussole

Pour s'orienter et pour mesurer les formations (direction, pendage,..), la boussole est indispensable sur terrain.



Photo 1: Boussole

➤ GPS

Le GPS sert à prendre les coordonnées géographiques et aussi à les enregistrer afin de pouvoir pointer chaque trou de sondage.



Photo 2:GPS

➤ Marteau

Le marteau de géologue est utilisé pour avoir une cassure bien fraîche de roche et aussi sert comme échelle lors de la prise de photo.



Photo 3:marteau de géologue

➤ La tarière

La tarière est un matériel de sondage, faite à partir du matériau inoxydable, elle est composée de trois parties bien distinctes :

- ✓ Le Té, une tige orientée horizontalement, il sert à tourner la tarière pour pouvoir percer la terre de plus en plus profonde. Elle se prolonge perpendiculairement par
- ✓ La Tige, une tige a une longueur de 3 mètres, celle-ci peut être rallongé par un ou plusieurs tige par l'intermédiaire d'un vis compte tenu de la profondeur à forée.
- ✓ Dans sa partie basale se trouve le Gaudet, c'est dans celui-ci que les échantillons vont se placer après que le té soit pivoter horizontalement.

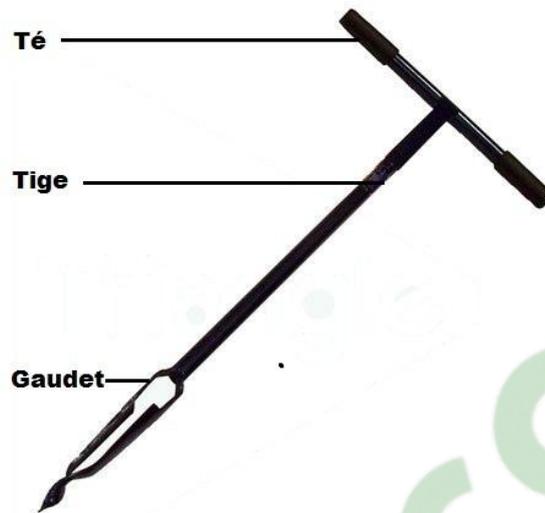


Photo 4: Schéma d'une tarière

Les avantages pour ce matériel de sondage sont :

À part son coût moins cher par rapport autres matériels, il est beaucoup plus rapide pour un gain de temps mais aussi l'échantillonnage est direct c'est-à-dire observable à l'œil nu.

Limite : Ce matériel de sondage présente aussi des inconvénients tels qu'une faible profondeur du trou, il est réservé pour les matériaux meubles et enfin il a un grand risque de contamination des échantillons.

Au laboratoire

Une analyse des échantillons obtenues est indispensable afin pouvoir déterminer la nature, le taux du graphite ainsi que ses caractéristiques.

Préparation : Comme il s'agit d'identifier le minerai, il faut le dissocier de la gangue, ainsi, plusieurs étapes sont à considérer et des matériels adéquats durant les procédures de séparation :

Broyeur : c'est une machine de broyage semblable à celle de l'usine mais de petite taille, mais leur fonctionnement est le même. Il écrase les sédiments par l'intermédiaire des boulets en métal et de l'eau qui se trouve à l'intérieur. Les produits qui en sortent sont des fines sédiments faciles à flotter.

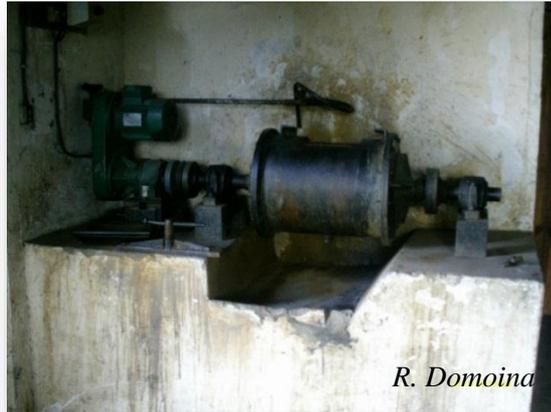


Photo 5: Broyeur

Flotteur : les sédiments qui ont été concassé vont passer en flottation avec l'ajout d'un réactif appelé le Montanol 800. Le Montanol est utilisé surtout pour séparer le graphite du sédiment et de la faire flotter pour pouvoir le récupérer.



Photo 6: Flotteur

ROTAP : appareil à type chauvin de réf. 331 STEIN ROUBAIX

C'est un tamisage du graphite après séchage au four, afin pouvoir identifier le poids de chaque type de graphite (GP, MP, PP, EFP). Il y a plusieurs tamis qui se caractérisent par ses mailles (20,30, 40, 50, 60 80, 100). On fait tamiser 100 g de graphite pendant 15 minutes pour connaître le pourcentage par tamis. Les produits obtenus sont classés par tamis

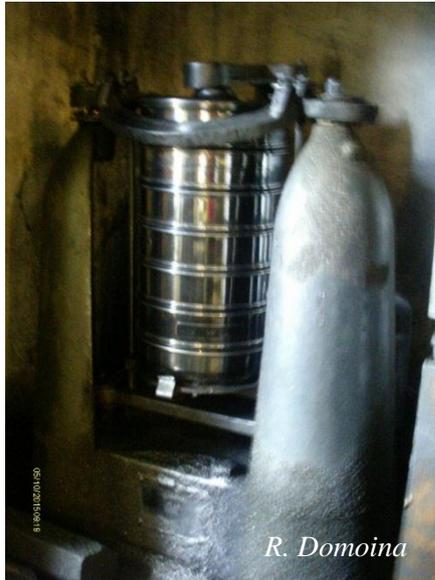


Photo 7: Rotap

Balance industriel : type 43 W GASTINEAU

Peser le graphite venant du rotap cumulé à fin de connaître le pourcentage (%) en graphite d chaque tamis (caractéristique : EFP, PP, MP, GP).

Balance de précision réf. SAUTER RE 1614

La balance de précision sert au pesage du minerai de graphite et de son récipient la nacelle (100mg par nacelle).

Clicours.COM

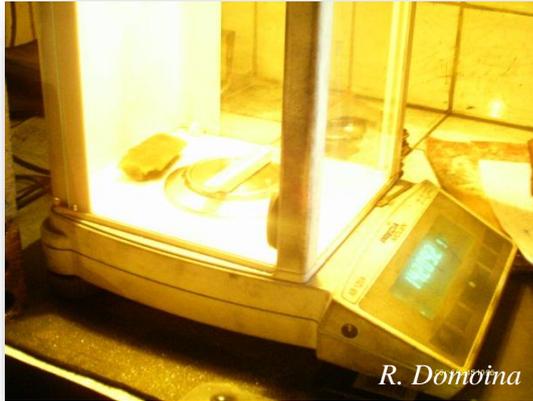


Photo 8: Balance de précision avec nacelle

Refroidissement après cuisson :

%C : différence entre graphite brut et cendre

Calcul humidité= différence entre » graphite humide (sortie presse) et graphite sec

FOUR résistance COUDAMY

Capacité de 1 étagère contenue de 20 nacelles

Temps de puissance : 12h/jr en température 80*100°C

Mode d'emploi : chauffée pendant une heure à 40*100°C au maximum avant d'augmenter à la température exigée à l'analyse de 80*100°C. Durée du four + 6 heures de temps par analyse.

.



Photo 9: Four résistance Coudamy

II.3 Traitement sur Surfer 11

Le logiciel Surfer, conçu par Golden Software, nous a permis de réaliser des cartes à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT). Ce logiciel permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points x , y , z afin de les ordonner. Par l'utilisation de cet outil, on a pu créer des base map, contour map, surface 3D de la future mine X. afin d'obtenir les résultats attendus, plusieurs démarches ont été faites :

- ✓ mise en forme des données de sondage sur Excel
- ✓ transformation des données Excel sous Surfer
- ✓ modélisation en 2D et 3D de la future mine X
- ✓ estimation de la réserve en minerai de graphite

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 Les résultats de prospection

Après les analyses en laboratoire, les résultats obtenus pendant la prospection de la mine X sont représentés sous forme de tableau (cf. Tableau n°3). Dans ce tableau, on a mentionné les coordonnées géographiques ainsi que les caractéristiques des échantillons. Ces données sont ensuite traitées sous différentes formes afin de tirer le maximum d'information sur la nouvelle mine :

- ✚ Sous forme d'histogramme pour identifier les caractéristiques de chaque colline (teneur en Carbone, pourcentage en graphite, mètre minéralisée)
- ✚ Modélisation en 2D et 3D afin de voir un aperçu général de la zone pour des études beaucoup plus approfondies

III.1.1 Représentation des données du sondage sous forme de tableau

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des résultats de prospection

COLLINES	N° TROU	METRAGE(m)	MASSE (kg)	MASSE APRES FLOTTATION(g)	TAUX DE GRAPHITE	DENSITE	CARBONE %	X	Y
55	TN 17 C	3	1	6,1	0,72	42	66,33	1909146	4855372
		4		8,3					
	TN 18 C	3	1	16,5	1,32		72,70	1909149	4855384
		4		9,9					
	TN 20 C	3	1	10,7	1,03		79,35	1909151	4855390
	4			9,7					
57	TN 8 B	2	1	17,7	2,69	43,3	87,55	1909106	4855307
		3		28,6					
		4		34,5					
	TN9 B	4	1	25,9	3,51		81,85	1909105	4855303
		5		13,7					
	TN 32 E	3		1	3,8				
		4	3,5						
		5	3,8						
	TN 33 E	3	1	6,2	0,47		64,11	1909227	4855358
		4		2,8					
	5	5,2							
61	TN 34 E	3	1	28,9	2,61	43,4	66,30	1909208	4855358
		4		30					
		5		19,4					
	TN 35 E	3	1	11,8	1,61		71,28	1909229	4855341
		4		16,6					
		5		20,1					
	TN 36 E	3	1	21,3	2,02		69,79	1909232	4855362
	4	19,1							

COLLINES	N° TROU	METRAGE(m)	MASSE (kg)	MASSE APRES FLOTTATION(g)	TAUX DE GRAPHITE	DENSITE	CARBONE %	X	Y	Z
72	TN 3 A	3	1	12,9	1,23	42,5	61,32	1909132	4855294	61
		4		10,9						
		5		13,2						
	TN 6 A	2	1	27,5	3,23		84,16	1909132	4855288	58
		3		35,7						
		4		33,7						
	TN 25 D	3	1	7,7	0,71	39,8	78,23	1909184	4855276	43
		4		6,5						
		5		7,1						
	TN 26 E	4	1	24	1,76		74,87	1909188	4855266	46
		5		11,3						
	TN 28 E	3	1	8,3	1,05		77,80	1909206	4855263	49
		4		12,8						
	TN 29 E	3	1	14,3	0,9	73,58	1909241	4855280	45	
4		3,7								
68	TN 2	3	1	6,1	0,59	36,6	75,75	1909200	4855391	55
		4		5,8						
	TN 4	3	1	11,6	1,05		77,72	1909211	4855398	52
		4		8,5						
		5		11,5						
	TN 5	3	1	4,7	0,64		80,40	1909220	4855401	48
		4		8,2						
	TN 8	3	1	5,7	0,52	83,62	1909210	4855418	58	
		4		4,8						
	TN 12	3	1	11	1,10	83,97	1909198	4855443	68	

COLLINES	N° TROU	METRAGE(m)	MASSE (kg)	MASSE APRES FLOTTATION(g)	TAUX DE GRAPHITE	DENSITE	CARBONE %	X	Y	Z
74	TN 1	4	1	13,4	2,18	39,9	84,04	1909294	4855434	40
		5		30,2						
	TN 3	4	1	17,6	2,41		86,79	1909299	4855436	46
		5		19,6						
		6		35,3						
	TN 4	4	1	29,1	2,15		85,08	1909304	4855439	51
		5		11						
		6		24,4						
	TN 5	3	1	14,3	2,08		87,91	1909308	4855441	59
		4		22,4						
		5		27,6						
		6		19,2						
	TN 7	3	1	24,1	2,29		82,97	1909323	4855446	69
		5		21,7						
	TN 8	3	1	25,4	3,34		75,96	1909323	4855444	67
		4		15,4						
		5		59,6						
	TN 9	4	1	22	1,32		80,36	1909328	4855450	74
		5		6,8						
		6		10,8						
	TN 10	4	1	12,3	2,93		72,6	1909334	4855447	70
		5		39,2						
		6		36,5						
	TN 12	4	1	23,4	3,27		69,11	1909339	4855448	58
5		39,2								
6		35,6								

III.1.2 Représentation des données de sondage sous forme d'histogramme

Taux en Carbone :

Le taux en Carbone est représenté en histogramme où les valeurs très élevées sont marquées en rouge afin de déterminer les collines qui sont exploitables. Ces valeurs sont définies grâce à la valeur minimum acceptée par la société durant l'exploitation.

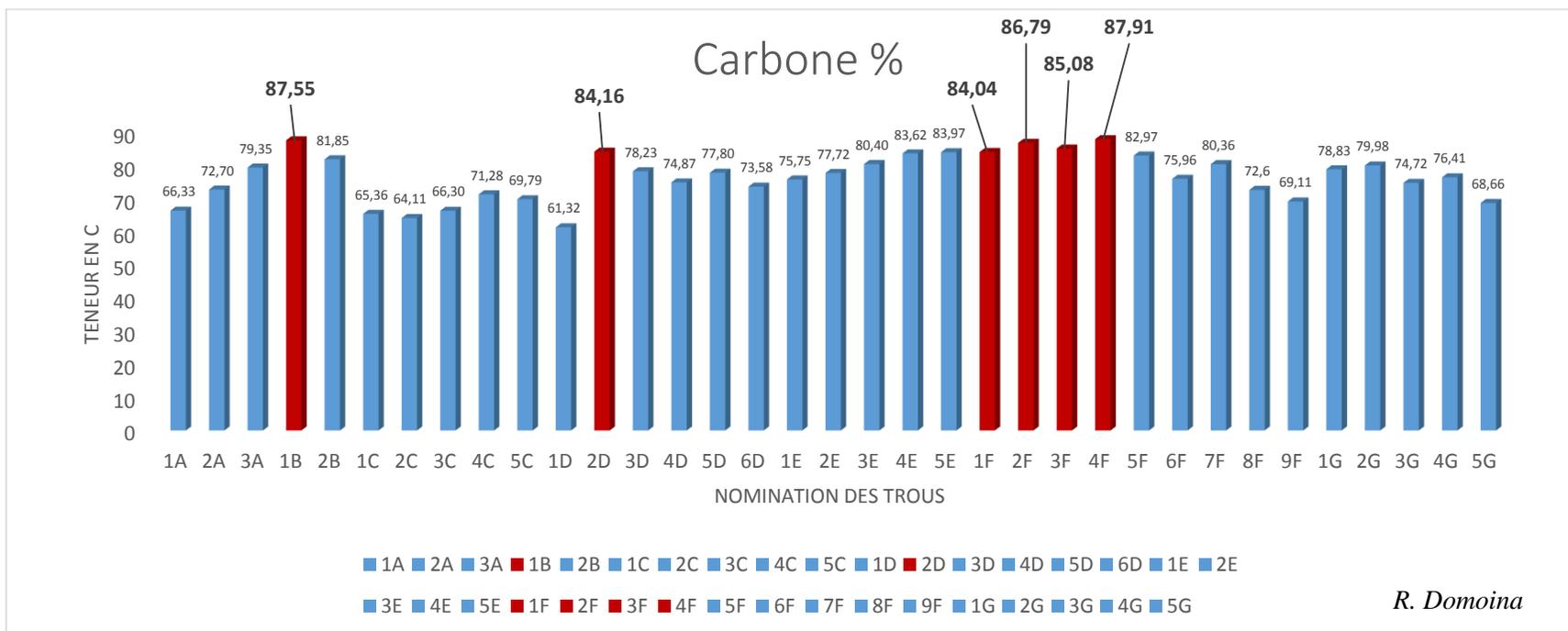


Figure 5: Teneur en Carbone pour chaque trou de sondage

Légende:

Trou 1A-2A-3A: colline **55**

Trou 1C-2C-3C-4C-5C: colline **61**

Trou 1E-2E-3E-4E-5E: colline **68**

Trou 1G-2G-3G-4G-5G: colline **70**

Trou 1B 2B: colline **57**

Trou 1D-2D-3D-4D-5D-6D: colline **72**

Trou 1F-2F-3F-4F-5F-6F-7F-8F-9F: colline **74**

D'après cet histogramme, on peut en définir les caractéristiques de chaque colline que l'on a prospectée selon le pourcentage en Carbone comme suit :

En premier lieu, les valeurs du teneur de chaque colline se rapprochent entre 61 et 87 %. Cela veut dire qu'il y a une continuité du teneur en Carbone : la concentration du minerai dans les couches est semblable ainsi que la teneur en Carbone. Cela peut s'expliquer aussi par la géologie du graphite, en forme de dissémination dans la couche de latérite, donc se répartissent d'une façon uniforme dans la couche minéralisée, contrairement au gisement filonien.

Les mines I jusqu'à IX sont les mines déjà exploitées, d'après les données utilisées par la société depuis des années, les estimations pour que l'exploitation soit rentable est de 85% et plus pour la teneur en Carbone. Ce qui nous amène à déterminer les collines déjà exploitable suite à la première vue des résultats du sondage, ce sont les collines 57,72 et 74 avec un taux de Carbone entre 84,04 et 87,91.

On peut en déduire aussi que la future mine X est très prometteur en considérant la qualité du graphite (% en Carbone) qui en sort. En effet, la teneur en Carbone recherché mondialement pour le graphite en paillette est de 95%, alors que la teneur moyenne en Carbone pour cette mine est de 76%. Vu que le type de sondage ne nous révèle pas une valeur bien précise, faute de matériel de sondage et un risque de contamination des échantillons, on peut envisager un taux beaucoup plus important durant l'exploitation.

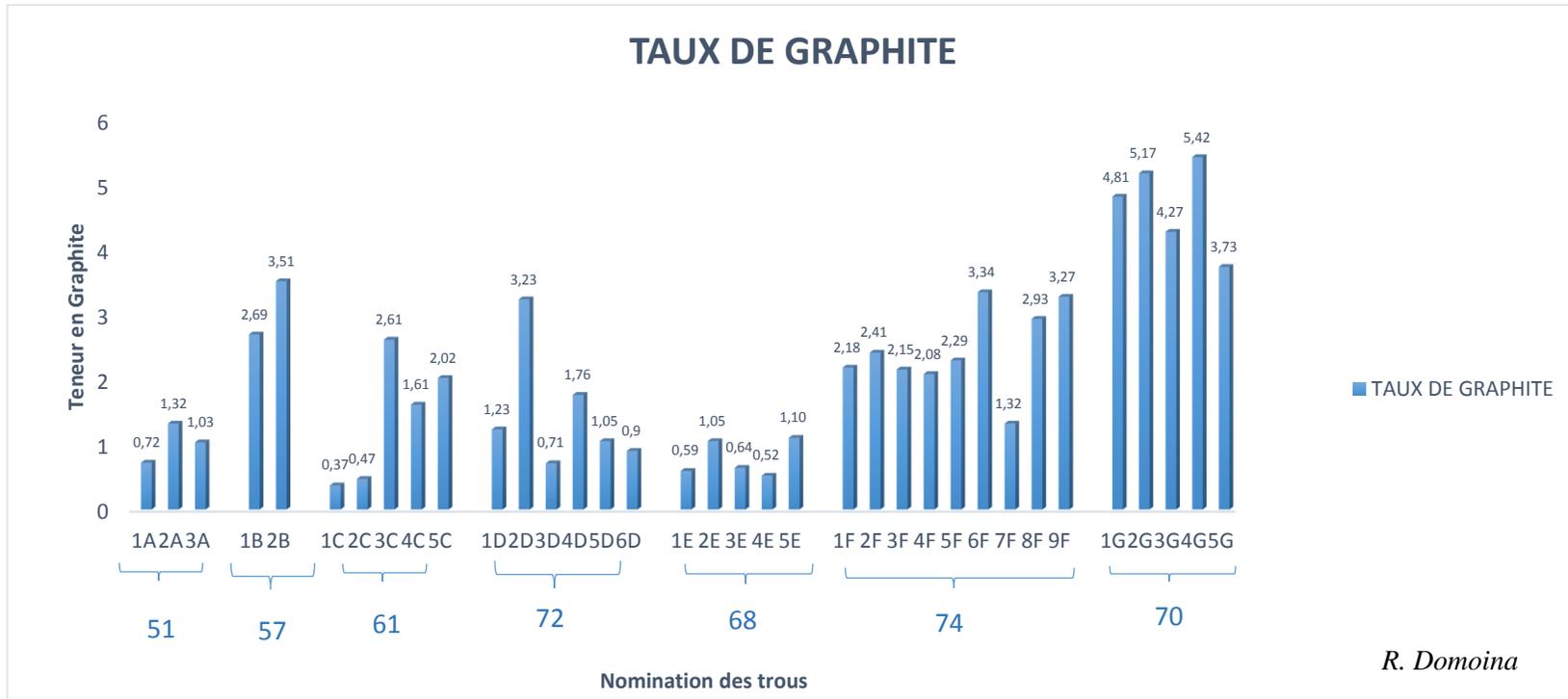


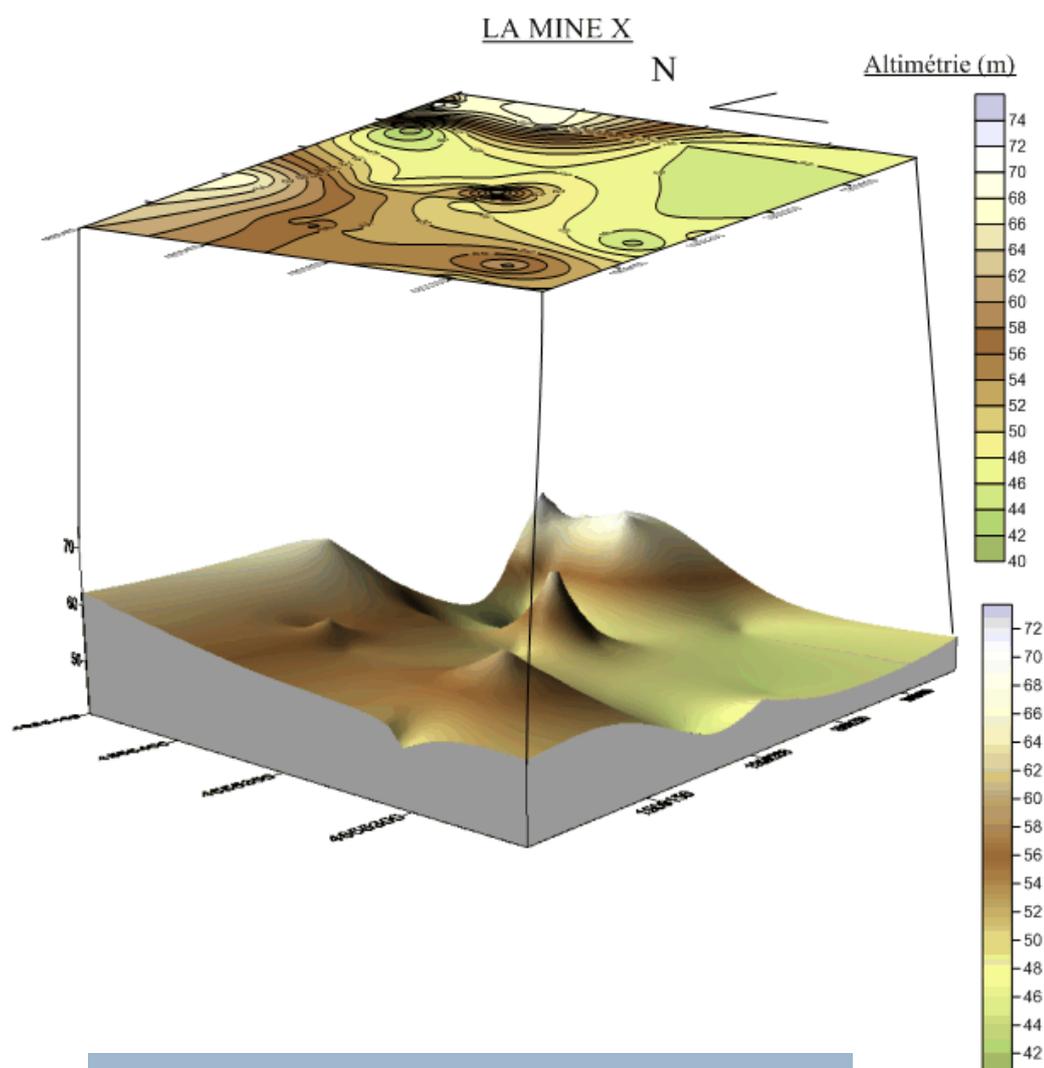
Figure 6: Teneur en graphite de chaque colline

En analysant cet histogramme, on peut en déduire les hypothèses suivant :

-La teneur en minerai de graphite varie aussi de la même façon que l'élément Carbone à l'intérieur. Cela nous mène à envisager la répartition égale du graphite pour chaque colline, donc l'extraction peut être envisagé beaucoup plus facile. En évaluant l'histogramme ci-dessus la différence entre le taux minimal et maximal est de 2,5. C'est la teneur moyenne en graphite dans le gisement, considéré comme déjà exploitable.

III.1.3 Modélisation de la mine X

III.1.3.1 Vue d'ensemble de la mine X



Clicours.COM
Figure 7: Schéma de la future mine X

III.1.3.2 Teneur en Graphite

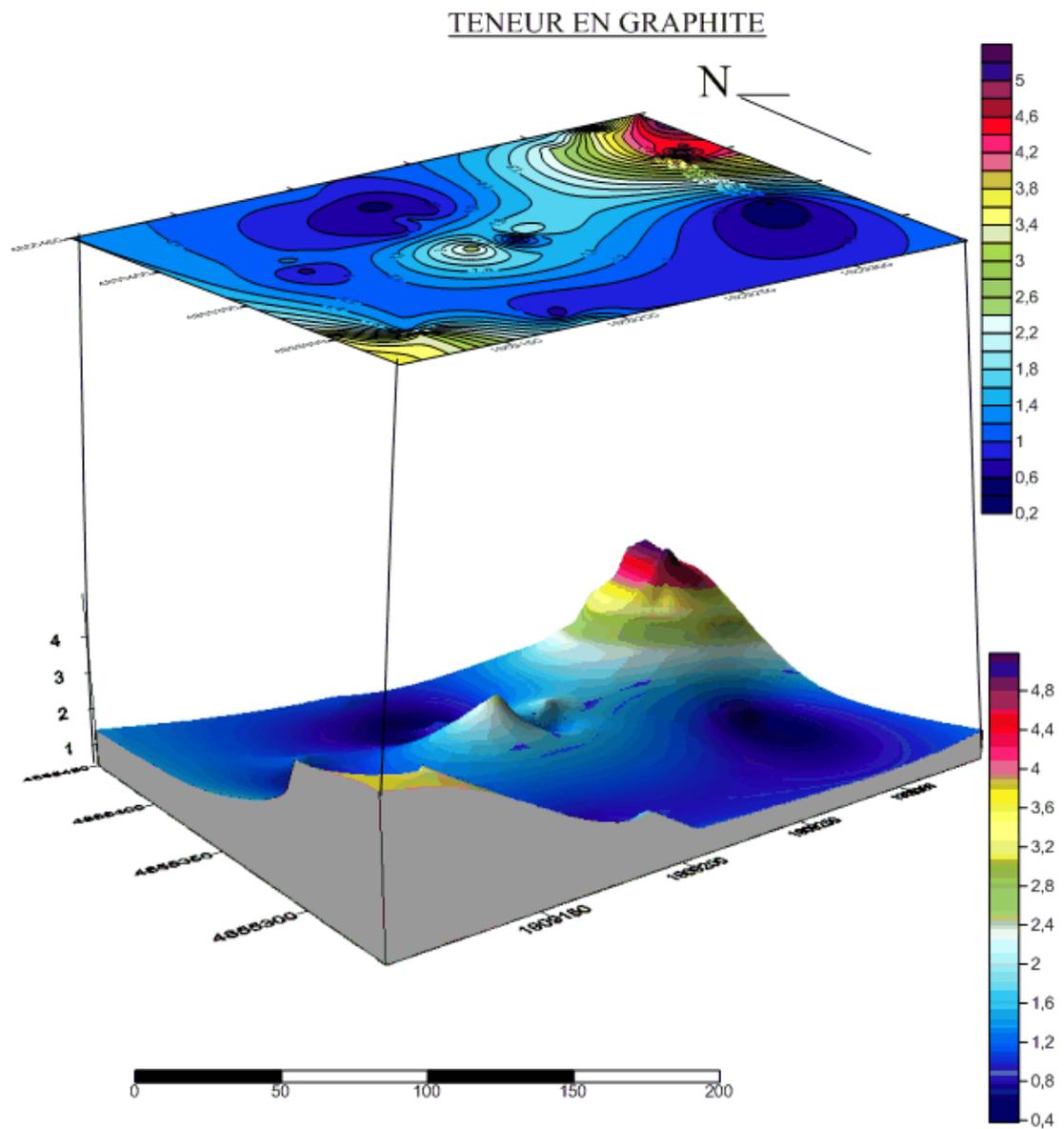


Figure 8: Teneur en graphite en 2D et 3D

III.1.3.3 Teneur en Carbone

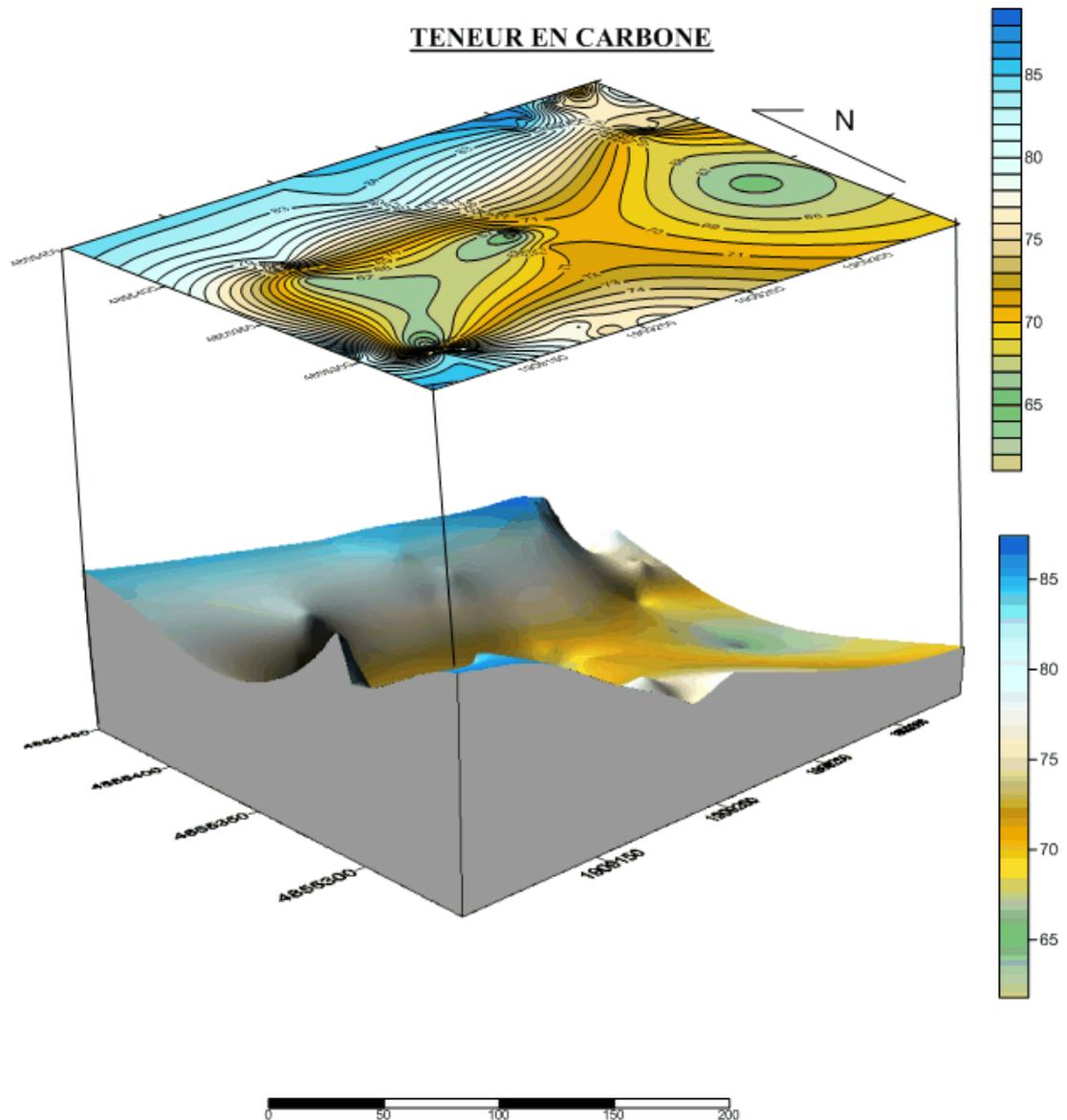


Figure 9: Teneur en Carbone de la mine X

D'après les résultats de l'histogramme, la mine X est une association de plusieurs collines à concentration de graphite considérable. L'utilisation du logiciel Surfer nous permet de visualiser le terrain étudié et d'aider toute étude approfondie ultérieure afin de faciliter les processus de reconnaissance du gisement. Par cette configuration en 2D et 3D de la mine, on peut restreindre la zone d'étude et diminuer ainsi le coût de la prospection. En examinant et en comparant les figures, il y a une légère différence entre la zone à concentration de graphite et à Carbone. En effet même si une colline a une forte teneur en minerai, la concentration de Carbone dans celui-ci n'est pas aussi considérable. Cela veut dire aussi que la qualité du Carbone dans un gisement n'est pas vraisemblablement proportionnelle à la concentration du graphite.

Ainsi, même si un gisement contient un tonnage de graphite très promoteur, la qualité est aussi à considérer, à noter que la teneur en Carbone recherché au marché international est de plus 95%.

III.1.4 Estimation de réserve en graphite

Après un aperçu général de la mine, la connaissance du tonnage dans la future mine est la prochaine étape à faire. En faisant un simple calcul à partir des données obtenues, on peut avoir le tonnage estimatif avec la formule suivante :

$$\text{Teneur en Graphite} = \frac{\text{poids du graphite obtenu pour 1 kg d'échantillon}}{\text{poids total de l'échantillon}} \times 100$$

Poids du graphite : poids pour 1 kg d'échantillon

Poids de l'échantillon : 1 kg

$$\text{Cubage} = \text{volume du filon} \times \text{teneur moyenne en Graphite}$$

Cubage = volume du graphite présent dans le filon

Teneur moyenne : valeur moyenne du teneur pour chaque trou = 2,12

Avec un volume de :

$$\text{Volume du filon} = \text{Longueur du filon} \times \text{largeur} \times \text{hauteur}$$

Avec la longueur du filon qui est égal à la différence entre le point de sondage minéralisé de l'extrémité Nord et celui de l'extrémité Sud : 500 m

La largeur est l'épaisseur de la couche minéralisée : 25 m

La hauteur est la valeur moyenne de la profondeur des trous minéralisés : 6 m

Donc après utilisation de ces formules ci-dessus, le volume de la couche graphitique est de 75 000 m³

Le cubage est donc de 159 000 m³

La valeur estimative du tonnage de graphite est de :

$$\text{Tonnage} = \text{Cubage} \times \text{densité}$$

La densité moyenne du graphite est de 2,1

D'où la réserve en graphite à la future mine X est estimée à 333 900 t.

Alors que la valeur moyenne en tonnage de graphite pour qu'une colline soit exploitable est de 2700 t. Ainsi, on peut en déduire que la future mine X est potentiellement exploitable.

III.2 Processus d'exploitation

D'après les études faites par l'ONE (2015), le mode d'exploitation exécutée par l'Établissement est à ciel ouvert, par tranches horizontales simultanées dont les paramètres sont :

- Hauteur du gradininférieur à 6m
- Inclinaison du front.....30 à 45° par rapport à l'horizontal
- Largeur du gradin.....6m
- Nombre du gradin.....1 à 3 selon le cas

III.2.1. Présentation générale d'une mine (exemple de la mine IX)

Le schéma ci-dessous (figure n°6) montre le déroulement du débouage depuis la laverie. La gangue est amenée vers un canal avec l'eau puisée depuis la source. Ce canal emmène la boue vers une entrée dans la laverie et subit plusieurs traitements et transporté à l'usine de traitement final. Dans la laverie, le traitement est basé surtout à la séparation de la gangue au minerai proprement dite.

Une répétition d'opération est à observer :

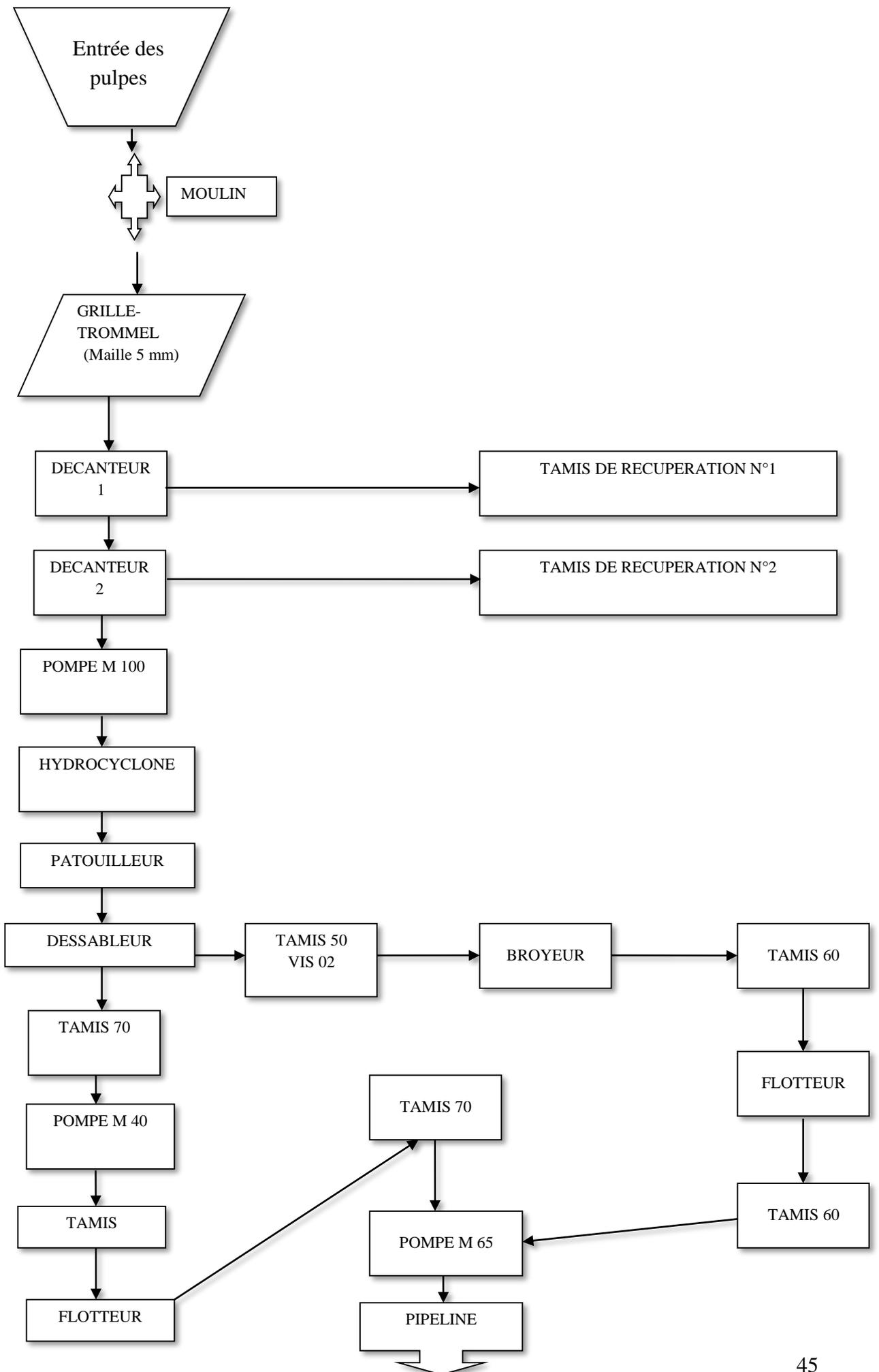


Figure 10: Flow-sheet de la laverie

Moulin : toujours accompagné de la pompe, c'est le moteur qui fait tourner la laverie. Elle est branchée avec un groupe électrogène, source d'alimentation de la laverie.

Grille trommel : tamis de séparation de la pulpe de graphite par le tamis et seul les petites particules qui vont être récupérer et traite vers le prochain processus. La grille est divisée en 2 parties : la surverse et la sous-verse.

Décanteur : bac de décantation de la pulpe

Pompe : machine de refoulement de la boue minéralisée pour le passage vers un autre processus de traitement

Hydrocyclone : un récipient de décantation de la boue venant du décanteur. Là aussi débute déjà la flottation parce qu'on y ajoute du gasoil pour faciliter la flottation après.

Dessableur : enlèvement des sables de la boue et qui vont être rejeté comme déchet que l'on nomme « rejet sable »

Tamis : séparation de la boue à graphite avec les gangues.

Broyeur : machine de broyage de la pulpe venant du Schabaver

Flotteur : avec l'ajout du Montanol 800 qui est un produit de séparation du graphite, cet engin permet de faire flotter le minerai avec le reste de la gangue.

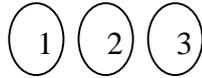
Pipeline : moyen de transport du minerai du Schabaver (une petite unité de laverie de séparation) vers la laverie et/ou de la laverie vers l'usine avec l'aide de la pompe motrice.

III.3 Aperçu de la production de l'Établissement

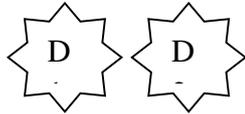
Après les processus de traitement du minerai, la phase finale où on obtient des graphites près à exporter est localisée à l'usine puis au site de Tamatave où on mélange le graphite de chaque caractéristique selon le besoin de chaque client. Ainsi, le séchage et le raffinage vont se dérouler à l'usine (chaque site de l'Établissements doit avoir un chacune). La représentation de l'usine est récapitulée dans le schéma ci-dessous avec les processus de traitement.

T 70 : tamis 70

BR : broyeur



: Pompe M 65 avec ses numéros



: Délaminage

Dimension des grains :

GP : grosse paillette avec maille de tamis 20 à 30 PAN

MP : moyenne paillette obtenu avec une maille de tamis 30 à 50 PAN

PP : petite paillette dont la maille est 50 à 60 PAN

FP : fine paillette à maille allant de 60 à 80 PAN

EFP : extra fine paillette sous trommel de 80 à 100 PAN

III.3.2 Mécanisme de traitement du minerai depuis la mine jusqu'à l'usine

Après les processus de traitement des minerais à la laverie, le débouqué va être conduit dans l'usine de traitement afin de renforcer la séparation du graphite et gangue et de raffiner le minerai par délaminage, enfin le séchage.

Broyage : le boulet dans le broyeur aide à forger le graphite et le frottement entre le broyeur et le boulet retient le fer de la boue et il en sort que de la boue avec seulement du graphite.

Mécanisme du broyeur : dans un premier temps les grandes particules seront broyées et il en résulte des plus petites particules avec du graphite traité pendant le processus.

Tamissage : par l'utilisation de plusieurs tamis, les gros grains vont être séparés avec les petits après avoir passé par le broyeur, ce processus se répète tout au long de traitement du minerai, et les grandes particules vont rester sur le tamis alors que les plus fines vont passer à d'autres processus de traitement ou simplement ils vont être conduit au rejet.

Flottation : le Montanol 800 est un produit chimique de séparation du graphite, elle est composée d'huile et gasoil dont la densité est inférieure à celle de l'eau. En effet la

pulpe qui vient du Schabaver va être éjecté dans le bassin de flottation et ensuite par l'effet du Montanol, les fins minerais de graphite se remonte en suspension et va être balayé vers un autre récipient.

Délaminage : les pellets sont des produits de traitement du minerai spécial au graphite, il améliore la qualité du graphite en les frottant et augmentera sa brillance, selon la commande des clients, ceci est pour renforcer la caractéristique en paillette du minerai. Il permet aussi d'obtenir une certaine affinité du minerai (par réglage du PAN).

III.3.3 Tableaux récapitulatifs des tonnages produits à l'usine

Le tableau ci-dessous (tableau n°4) nous montre un exemple de réserve d'une mine d'extraction de l'Établissement. Ces valeurs sont approximatives mais pas concrètes vues que les méthodes de sondage utilisées sont très anciennes. La numérotation des collines c'est en fait l'altitude de son sommet.

Tableau 4 : Tonnage à la mine IX

COLLINE (m)	ZONE	CONCENTRATION %	TENEUR % C	TONNAGE
35	IX	1.06	90.30	157 t
38	IX	1.22	76.03	267 t
42	IX	0.84	76.82	168 t
47	IX	1.14	86.37	322 t
54	IX	1.12	78.98	170 t
55	IX	3.11	89.20	86.09 t
56	IX	1.24	78.98	170 t
58	IX	1.31	80.82	1395 t
60	IX	2.08	84.16	711 t
69	IX	2.18	83.40	746 t

CHAPITRE IV : DISCUSSION

Les données obtenues et traitées durant la prospection de la mine X nous a informé les caractéristiques du futur gisement a exploité. Les démarches depuis le sondage jusqu'au traitement de ces données géologiques, nous a permis de déterminer approximativement la réserve en graphite dans le gisement. Les collines exploitables aussi ont été déterminées, ce sont : 52, 72 et 74.

La modélisation de la mine X, nous révèle la potentialité ainsi que les caractéristiques de chaque colline par rapport à la teneur en graphite et pourcentage en Carbone. Ces données sont ensuite utilisée pour des études postérieures afin d'affiner les différents travaux à faire. Elle permet aussi de déterminer des maintenant l'emplacement de chaque installation de la future mine: Schabaver, laverie,...

Un aperçu de la production nous a permis d'identifier tous les mécanismes de traitement du minerai depuis la mine (Schabaver) jusqu'à l'usine. La Schabaver est destinée surtout pour la séparation de la gangue et du minerai proprement dite. La boue minéralisée est ensuite conduite vers la laverie, première étape de raffinage par flottation, puis dirigé vers l'usine de traitement par pipeline ou bien par débouillage. Il y a donc deux types de conduit du minerai vers l'usine de traitement final, suivant la distance et les circonstances durant le traitement : coupure du courant (groupe électrogène) oblige l'utilisation des camions de débouillage et l'embrouillage de la circulation nécessite l'utilisation du pipeline (cf. Annexe).

L'usine de traitement final est destinée surtout au raffinage du minerai de graphite. C'est dans cette phase que les différents types de graphite seront séparés : GP, MP, FP, EFP.

Pour la suite des études sur la future mine X, des suggestions sont à observer :

Une prospection plus approfondie par de maille serrée permet de calculer plus précisément le tonnage pour chaque colline, la direction des couches minéralisées.

Après la prospection, des études paraminières sont indispensable aussi : l'emplacement des infrastructures lors de l'exploitation, le transport des minerais de la mine vers l'usine de traitement (mise à disposition d'une route).

La gestion des résidus miniers reste un problème à résoudre dans les mines et à l'usine de traitement.

D'abord au décapage du terrain, les morts terrains lors de l'extraction : ils doivent être regroupés dans un endroit bien défini afin de maintenir la stabilité de celui-ci. En effet, plusieurs facteurs peuvent engendrer les déplacements des morts terrains comme le climat à forte pluie les tempêtes. Ces morts terrains peuvent glisser en aval et détruisent les sources d'eau et les barrages.

Ensuite, le rejet venant du Schabaver, de la laverie et de l'usine de traitement est conduite en aval. Ces rejets sont constitués par de la boue accompagnée des réactifs de flottation du graphite pour le cas de la laverie et à l'usine de raffinage et par des gravillons au Schabaver.

Ainsi des reprofilages de ces résidus sont indispensables afin de freiner l'action de l'érosion. On peut aussi utiliser ces refus afin de reboucher les excavations dues par l'extraction, mais aussi dans la construction des routes, une méthode utilisée par l'Établissement.

Vu la méthode d'exploitation utilisée par l'Établissement, une suggestion d'amélioration de la production peut être réalisée dans certain domaine :

- Commenant par la prospection, une actualisation des méthodes de sondage est indispensable afin d'avoir une indice bien précise. En effet, l'utilisation de la tarière ne permet pas d'avoir tous les données requises comme : la structure géologique (cassure, fracture) et tectonique, la succession des couches. On peut envisager l'utilisation des matériaux de sondage à couronne diamantée par exemple avec tous les équipements qui en suit même si actuellement, la plupart des roches à prospectées est déjà altérées. Ce matériel permet d'obtenir plusieurs données géologiques citées ci-dessus grâce au non contamination des échantillons ainsi que la conservation des structures originelles. Ainsi cela facilitera encore plus l'extraction du minerai et diminuera les pertes de temps, ainsi que les dépenses comme le gasoil suite à l'utilisation des grands engins.
- Il faut effectuer aussi d'autres études comme des études géophysiques afin de compléter et d'améliorer le tonnage exact de la future mine si l'Établissement veut approfondir la prospection.
- À l'extraction, quelques modifications des méthodes d'extraction est aussi à envisagée. Durant des années, l'Établissement ne traite que les roches meubles pour en extraire le graphite, cela s'explique par le coût d'extraction moins élevé mais qui

augmente les résidus miniers. Or les roches dures qui accompagnent les latérites graphitiques contiennent aussi le minerai et cela peut augmenter le taux de production alors qu'elles se situent dans les résidus miniers.

➤ Puis pour le traitement des minerais, dans la laverie, c'est-à-dire à partir de la laverie jusqu'à l'usine de traitement, plusieurs étapes sont à considérer afin de promouvoir la production. En effet, une perte considérable des minerais est observée faute de non récupération des fines particules de minerais. Cela est dû à des matériels très rudimentaires qui datent depuis la coloniale mais aussi on observe une légère fixation du minerai suite à la présence de l'argile ou plus précisément la Nontronite à la pulpe, et qui rend la séparation plus difficile. Le renouvellement des appareils de flottation est donc à considérer afin de promouvoir la quantité de graphite à récupérer.

Et enfin dans le système d'exploitation tout entier, la dépendance à une seule source d'énergie est très risquée. À savoir que le prix du gasoil sur le marché international est très relatif, une montée ou une baisse de celui-ci peut s'avérer fatale pour la société, comme le cas de l'année 2011 pendant laquelle la société a enduré une crise.

CONCLUSION

Au terme de ce travail, portant sur la prospection et valorisation économique du gisement de graphite d'Amboahangimasina, plusieurs idées ont été obtenues afin d'optimiser l'exploitation. D'abord dans la prospection de nouvelle mine X, la

prospection effectuée et la modélisation 3D nous a révélé le tonnage global de la mine de 333 900 t pour un volume de 75 000 m³, ainsi qu'un pourcentage en Carbone très prometteur de 76,5%, et un teneur moyenne en graphite de 2,12%.

La méthodologie ainsi que les matériaux utilisés n'ont pas permis d'obtenir des données plus concrètes même si la formation est constituée surtout par des latérites. Des études plus approfondies s'avèrent donc nécessaire comme la géophysique par exemple, et l'utilisation de matériel de sondage plus performant, afin d'obtenir des résultats plus concrètes.

Dans l'extraction, la gestion des déblais après l'abattage des collines reste des problèmes à résoudre en plus des déchets de raffinage du minerai proprement dite, qui sont souvent accompagner par particules de minerai encore récupérable. Des mesures d'atténuation de ses résidus miniers sont donc à considérer. Nos contraintes temporelles et matérielles ne nous autorisent pas de mettre en pratique ces recommandations.

Enfin dans le traitement des minerais, une amélioration des appareils de flottation peut réduire la quantité du minerai rejeté dans le rejet sable venant de la laverie et à l'usine de traitement, par la séparation de la Nontronite dans le minerai et facilite la flottation du graphite.

Ce présent travail est donc une approche des études ultérieures afin d'améliorer le plus possible l'état actuel de l'Etablissement. Ainsi des études plus approfondies est à considérer si l'Etablissement envisage de mettre sur le rang du plus grand exportateur au niveau international et de valoriser le minerai de l'Ile pour que le pays tire profit de ses richesses minières.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Barthelemy F., Labbé J.F. et al, 2012. Panorama 2011 du marché de graphite naturel, Rapport BRGM p.15

Besairie, H., Itinéraires géologiques le long des principales routes de Madagascar

Besairie, H., 1946. La géologie de Madagascar, Paris, Annales géologiques du service des mines, fascicules n° , pp 12-21

British Geological Survey 2011 - Risk list 2011, 9 pages

Carlin J.F Jr (USGS, 2011), 2010 Minerals Yearbook: Graphite, 2011, 9 pages

Chauris L et Gignes J. (1969) - Gîtes minéraux de la France, Volume 1, Massif Armoricaïn. Mémoires du BRGM n° 74. 100 p., 15 fig., 4 tab, 8

CREAM. 2013. Monographie de la Région Antsinanana

Delfau M. et Duhamel M., 1983. Ressources minières françaises, Tome 14.

Feys R., 1953. Bassin houiller briançonnais. Gisement de graphite du Chardonnet (Hautes Alpes) Rapport BRGG A287.

Harben P.W., 2006. The Industrial Minerals Handybook, a guide to markets, specifications and prices, 4th edition, 408 p.

Jébrak M. et Marcoux E., 2008. « Géologie des ressources minérales. Société de l'Industrie Minérale ». 667 p.

Ministère de l'énergie et des mines, 2002. Étude d'impact stratégique de l'exploitation minière dans la Zone d'Activités Économiques Spéciales (ZAES) de Vatondry

Moore S., May 2012. The natural graphite industry in 2012. Reshaping for a hi-tech revolution. Industrial. Minerals presentation to the Graphite Express Conference, Toronto.

Office National pour l'Environnement, 2005. Guide sectoriel d'Étude d'Impact Environnemental du projet d'exploitation minière à ciel ouvert

Office National pour l'Environnement, 2008. Rapport de synthèse sur l'état de l'environnement, Région Atsinanana

Office National pour l'Environnement, 2015. Rapport de suivi environnemental d'Établissements Gallois

Office National pour l'Environnement. 2006. Environnemental de la Région Atsinanana

Olson D.W. USGS 2009 Minerals Yearbook, Graphite.

Olson D.W., 2012 USGS 2011. Minerals Commodity Summary, Graphite (Natural). PRGM, 2012. Panorama 2011 du marché du graphite naturel

RAGOSINERA Andriamparany, 2015. Estimation des réserves de gisement de graphite dans le site de Marovintsy par approche géostatistique

RALIDERA Tsiry Antenaina, 2005. Méthodologie de gestion des résidus miniers - cas de l'exploitation de graphite de Tsaravoniana Andasibe

RASOAMALALA Léonie Francine, 2004. Etude d'optimalisation de valorisation de graphite de la société Gallois par conception d'un appareil de flottation adapté

Raw Material Group (2011). Raw Material Data (base de données)

Région Atsinanana. 2005. Plan régional de développement

Roberts J., March 2012. Graphite Special 2012, in Industrial Minerals, p. 35-51.

Roskill Information Services, 2009. The Economics of Natural Graphite, 234 p.

Unité de Politique pour le Développement Rural (UPDR). Monographie de la région de Toamasina »

Zajec O., Anquez M., Hocq J. et de Gliniasty M., 2011. Rapport de la CEIS, 79 p

Zimmermann Maurice. 1920 « La production du graphite dans le monde ». In: Annales de Géographie, t. 29, n°160, 1920. pp. 304-306

WEBOGRAPHIE

Antsinana cadre physique et administratif : <http://www.economie.gov.mg/atsinanana/>
(07/10/2016)

Climat Vatomandry : <http://fr.climate-data.org/location/717581/> (07/10/2016)

Graphite gallois : <http://ets.gallois.pagesperso-orange.fr/> (28/10/2016)

Vatomandry : <http://ets.gallois.pagesperso-orange.fr/> (5/10/2016)

La production de graphite dans le monde : <http://www.persee.fr/doc/geo>
(14/06/2016)

Annexe. 1: Généralité sur Gallois

Présentation générale de l'Établissements gallois :

L'Établissement Gallois est une société familiale depuis quatre générations datée de l'époque coloniale. Elle a été fondée par Auguste Gallois, mais aujourd'hui c'est son descendant Félix Gallois qui est actionnaire majoritaire de toutes les actions de l'entreprise.

1900 : création de l'Établissements Gallois avec un titre d'artisan. Elle a commencé avec l'exploitation de graphites collectée auprès des petits villageois dans les alentours de Brickaville. Au fil du temps, elle a acquis une concession à Ambalarondra.

1935 : elle a pris de l'ampleur d'où le changement de son statut en SARL suite à l'augmentation du capital et à l'acquisition d'une autre concession à Antsirakambo un peu plus tard, favorisant les exportations.

1945 : début de la production d'une autre matière en parallèle avec le graphite, étant le sisal.

1951 : l'acquis d'une autre concession à Marovintsy, lui a valu le statut de Société Anonyme.

2016 : Vente de la société à des nouveaux propriétaire chinois

La société anonyme est régie par la loi n°2003-36 du janvier 2004 et du décret n°2004-453 fixant les modalités de son application à Madagascar et à l'étranger. En effet, l'Établissements est une société anonyme qui a pour objet toutes opérations industrielles, minières, agricoles et commerciales avec un capital social fixé à 2.000.000.000 Ariary. Voici ci-après les coordonnées de l'entreprise :

Siège social : 15 Rue Benyowsky à Antananarivo Madagascar

BP : 159 Antananarivo 101

Numéro d'identification Fiscal (NIF) : 4000 056 935

Registre de commerce Antananarivo : n°2002 B000004

Numéro Statistique : 51441-11-1930-0-10002

Téléphone: (261)3314 825 66/ 32 40 603 81

E-mail: galloismg@ets-gallois.com

Site internet: www.ets-gallois.com

Structure fonctionnelle de l'Établissements

GALLFRAN est l'agence responsable de l'ensemble des actes commerciaux d'achats ou de ventes à l'étranger telle que les contrats de vente, l'achat des matériels de rechange des usines ou de fournitures pour le conditionnement des graphites et les recherches de débouché. Quant à tous les sites GALLOIS à Madagascar, ils sont sous la surveillance et coordination de la direction générale à Antananarivo. Cette direction en question gère tous les mouvements de l'établissement GALLOIS en général, car les services comptabilité, finance et ressources humaines y sont. Elle joue aussi le rôle d'intermédiaire entre GALLFRAN et les sites d'exploitations, puis les bureaux de transit.

Les sites d'exploitation assurent uniquement l'extraction des graphites par tous les moyens, tandis que le bureau de transit lui est structuré par : une usine qui stocke et conditionne les graphites avant de pouvoir les mélanger selon les commandes reçues ; un laboratoire qui élabore une analyse des échantillons de graphites ramenées des sites, afin de les classés par qualité pour que le chef de transit puisse prévoir les mélanges puis obtenir celles attendues par le client ; ensuite d'un service achat pour les demandes de matériels ; un service financier pour divers paiements et enregistrer les flux monétaire dans le transit ; un magasinier pour stocker les matériaux et outils ; un service import chargé dédouanement dès l'expédition des marchandises (graphites).

Annexe. 2: quelques images durant le stage



Sondage par ceinturage

Sondage à la tarière



Transport du minerai par pipeline

Débouage du graphite

R. Domoina





Colline 72 d'Amboahangimasina



Décapage d'une colline à la mine IX



Minerai de graphite après flottation



graphite MP après tamisage

Auteur : RASOANDRAINY Domoina

Adresse : Lot II B 265 Mahalavolona Andoharanofotsy

Email : domoina.rasoandrainy@gmail.com

TITRE : « PROSPECTION ET VALORISATION DU GISEMENT DE GRAPHITE D'AMBOAHANGIMASINA, VATOMANDRY »

Nombre de pages : 56 Nombre de figures : 12 Nombre de cartes : 4

Nombre de tableau : 4 Nombre de photos : 9 Nombre des annexes : 2

RESUME

La prospection d'une mine assure la pérennisation d'une exploitation. Le gisement d'Amboahangimasina, un espoir pour l'extension du gisement de graphite a été exploré. Elle se situe dans la partie orientale de l'île présentant des formations gneissiques altérées. Des études approfondies de ce gisement est donc nécessaires afin de pouvoir identifier les collines exploitables. Le but est donc d'obtenir le maximum d'information concernant ce gisement par la prospection et traitement des échantillonnages au laboratoire. Une modélisation du gisement est aussi à considérer afin d'avoir un aperçu général du site. Par ces différents étapes, les différentes suggestions d'amélioration de l'exploitation ont été citées pour optimiser le l'exploitation du graphite.

Mots clés : prospection, valorisation, modélisation, graphite

ABSTRACT

The prospecting of a mine ensures the perpetuation of a working. The deposit of Amboahangimasina, a hope for the extension of the graphite deposit was explored. It is located in the eastern part of the Island with altered gneiss formations. A thorough study of this deposit is therefore necessary in order to identify the exploitable hills. The aim is to obtain as much information as possible about this layer through the prospecting and processing of samples in the laboratory. A modeling of the deposit is also to be considered in order to have a general overview of the site. Through these various steps, the various suggestions for improvement of the exploitation were cited to optimize the exploitation of the graphite.

Keyword: Prospecting, valuation, modelization, graphite

Encadreur : Madame RAMIANDRISOA Njararivelo, Maître de Conférences