

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO

¶¶¶¶¶¶¶¶¶¶¶¶ OOO ¶¶¶¶¶¶¶¶¶¶¶



DEPARTEMENT MINES

**CONTRIBUTION A L'AMELIORATION
DU PROJET D'EXPLOITATION
DU GISEMENT ET DU TRAITEMENT
DE SAPHIR D'AMPASIMAMITAKA**

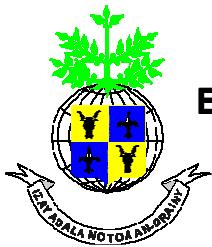


**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR DES MINES**

Présenté par : FARASOA Vololoniaina Jédidia

Date de soutenance : 06 Juin 2006

- PROMOTION 2005 -



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO

***** OOO *****



DEPARTEMENT MINES



CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DU PROJET D'EXPLOITATION DU GISEMENT ET DU TRAITEMENT DU SAPHIR D'AMPASIMAMITAKA

**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR DES MINES**

Présenté par : FARASOA Vololoniaina Jedia

Membres de jury :

Président : Professeur RANDRIANJA Roger, Chef de Département Mines à l'ESPA

Examinateurs : Mademoiselle RAKOTONOMENJANAHARY Vololona, Chef de Projet du PRISMM

Madame ARISOA Rivah Kathy, Enseignant-chercheur à l'ESPA

Monsieur RASAMOELINA Naina, Enseignant-chercheur à l'ESPA

Rapporteurs : Professeur RAKOTONINDRAINY, Enseignant-titulaire à l'ESPA

Date de soutenance : 06 Juin 2006

Année universitaire : 2004 - 2005

« Parce que tu as du prix à mes yeux, parce que tu es honoré et que je t'aime... »

Esaïe 43:4^b

REMERCIEMENTS

Nous rendons grâce à l'Eternel tout puissant qui, chaque jour, nous a donné la force et la joie de pouvoir poursuivre nos études et sans qui tout aurait été vain.

La réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'aide et la participation de nombreuses personnes et organismes, à qui nous adressons notre profonde gratitude :

- Monsieur **RAMANANTSIZEHENNA Pascal**, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA) de nous avoir autorisé à soutenir ce mémoire.
- Monsieur **RANDRIANJA Roger**, Chef de Département de la filière MINES, qui a bien voulu présider cette soutenance.
- Monsieur **RAKOTONINDRAINY**, notre directeur de mémoire, qui nous a orienté dans le choix de ce mémoire et qui n'a pas ménagé ses efforts malgré ses responsabilités.
- Monsieur **Jean MARC**, notre encadreur sur terrain, qui nous a permis d'effectuer ce travail de mémoire dans le cadre de sa société et pour ses aides inestimables et conseils avisés au cours de la réalisation de ce travail pendant le stage de 1 mois.
- Mademoiselle **RAKOTONOMENJAHARY Vololona**, Chef de Projet du PRISMM, s'intéressa aussitôt à mon travail, Elle a accepté de siéger parmi les membres de jury.
- Madame **ARISOA Rivah Kathy**, Enseignant-chercheur à l'ESPA, pour ces conseils et qui a bien voulu accepter de siéger parmi les membres de jury.
- Monsieur **RASAMOELINA Naina**, Enseignant Chercheur à l'ESPA, qui a bien voulu accepter d'examiner notre travail.

Nos sincères gratitude vont également :

- A tout les enseignants et personnels du département MINES, qui, sans répit, ont forgé nos esprits durant ces longues années d'études entreprises ici à Vontovorona.
- Nous sommes particulièrement reconnaissante envers nos familles et tous nos amis qui furent présents et loyaux en tout temps. Merci pour votre dévouement
- Et à tous ceux qui ont de près ou de loin contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Mes sincères remerciements.

SOMMAIRE

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures et des photos

Liste des cartes

Liste des abréviations

Liste des acronymes

INTRODUCTION

PARTIE I : PRESENTATION GENERALE

 CHAPITRE I- Le saphir

 CHAPITRE II- Le gisement de saphir

PARTIE II: ETUDE DU GISEMENT D'AMPASIMAMITAKA-SAKALAMA

 CHAPITRE I- Présentation générale

 CHAPITRE II- Description de la zone concernée

 CHAPITRE III- Analyse de l'état actuel du site

PARTIE III : OPTIMISATION DE L'EXPLOITATION DU GISEMENT DE SAPHIR

 CHAPITRE I- But de l'étude

 CHAPITRE II- Analyse des problèmes

 CHAPITRE III- Solutions proposées

PARTIE IV : ETUDE SOCIO- ECONOMIQUE ET FINANCIERE

 CHAPITRE I- Etude de marché

 CHAPITRE II- Etude technico-économique

 CHAPITRE III- Evaluation financière

CONCLUSION

Annexes

Bibliographie

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1 : Taille en brillant.....	12
Tableau 2 : Taille en degré.....	12
Tableau 3 : Taille mixte.....	12
Tableau 4 : Taille fantaisie.....	12
Tableau 5 : Les différentes formes de polissage.....	13
Tableau 6 : Quelques pays du monde ayant des gisements de saphir.....	18
Tableau 7 : Mesure du cycle de transport.....	45
Tableau 8 : Avantages et inconvénients du décapage en présence et en absence d'eau.....	59
Tableau 9 : Les principaux travaux d'entretien.....	67
Tableau 10 : Décomposition des tâches.....	70
Tableau 11 : Taille minimale des pierres gemmes commercialisables.....	78
Tableau 12 : Prix typique des saphirs bruts.....	81
Tableau 13 : Prix typique des saphirs taillées.....	82
Tableau 14 : Statistique d'exportation.....	86
Tableau 15 : Statistique de production.....	86
Tableau 16 : Tableau des calculs arithmétiques.....	88
Tableau 17 : Tableau des investissements pour la location des engins et matériels.....	94
Tableau 18 : Tableau des investissements pour l'achat des engins et matériels.....	95
Tableau 19 : Tableau de comparaison des investissements.....	96
Tableau 20 : Tableau des investissements avec charge locatif.....	98
Tableau 21 : Tableau des investissements pour l'achat.....	99
Tableau 22 : Tableau des amortissements des matériels roulants.....	101
Tableau 23 : Tableau des amortissements des immobilisations.....	102
Tableau 24 : Production journalière du saphir de la société	104
Tableau 25 : Séquence d'exploitation annuelle.....	105
Tableau 26 : Tableau coût d'exploitation.....	106
Tableau 27 : Tableau compte d'exploitation	107
Tableau 28 : Tableau récapitulation des comptes d'exploitation	108

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 : Bande d'absorption de l'infrarouge.....	7
Figure 2 : Organigramme de la carrière.....	25
Figure 3 : Coupe généralisée du gisement.....	35
Figure 4 : Plan de masse simplifiée du chantier.....	38
Figure 5 : Flow-sheet de laverie.....	45
Figure 6 : Schéma de fonctionnement du trommel.....	48
Figure 7 : Schéma de fonctionnement du jig.....	49
Figure 8 : Méthode d'exploitation par stripping.....	57
Figure 9 : Les différentes opérations de décapage et d'abatage.....	60
Figure 10 : Graphe d'utilisation des camions.....	62
Figure 11 : Graphe PERT de l'ordonnancement des travaux.....	70
Figure 12 : Diagramme de Gantt de l'ordonnancement des travaux.....	71
Figure 13 : Organigramme du personnel proposé.....	72
Figure 14 : Organigramme d'analyse personnelle.....	74
Figure 15 : Evolution de l'exportation du saphir de Madagascar.....	84
Figure 16 : Courbe de la tendance de la consommation du saphir.....	89
Figure 17 : Représentation du seuil de rentabilité.....	109
Figure 18 : Fenêtre de commande MATLAB.....	111
Figure 19 : Fenêtre d'accueil.....	112
Figure 20 : Fenêtre de calcul.....	112

LISTE DES PHOTOS

	Page
Photo 1 : Les pierres précieuses.....	3
Photo2 : Les tailles les plus couramment utilisées.....	13
Photo 3 : Quelques échantillons de production de Madagascar.....	21
Photo 4: Traitement des graviers gemmifères en rivière.....	22
Photo 5 : Gisement d' Ankaboka.....	23
Photo 6 : Gisement de Maromiaendry.....	23
Photo 7 : Gisement de Vohimena Vaovao.....	23
Photo 8 : Photo aérienne de la zone.....	34
Photo9 : Triage des gros blocs.....	42
Photo10 : Une pelle hydraulique à chenille en cours de chargement.....	42
Photo11 : Le trommel.....	48
Photo12 : Les systèmes du jiggeage.....	49

LISTE DES CARTES

	Page
Carte 1 : Carte des gîtes de saphir de Madagascar.....	20
Carte 2 : Croquis de localisation.....	28
Carte 3 : Schéma analytique du front minier d'Ilakaka.....	29
Carte 4 : Carte d'occupation du sol.....	30
Carte 5 : Carte géologique de la région 1966.....	33
Carte 6 : Carte topographique de la carrière.....	37

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 : Carte de localisation des corindons de Madagascar
- ANNEXE 2 : Les minérales et les pierres correspondantes
- ANNEXE 3 : L'authentification des pierres gemmes
- ANNEXE 4 : Tableau des résistances des pierres précieuses
- ANNEXE 5 : Saphir synthétique
- ANNEXE 6 : Les différentes propriétés physiques des pierres gemmes
- ANNEXE 7 : Echelle d'énergie
- ANNEXE 8 : Les différentes méthodes d'exploitation à ciel ouvert
- ANNEXE 9 : Clé de répartition
- ANNEXE 10 : Tableau coût d'investissement avec charge locatif
- ANNEXE 11 : Tableau coût d'investissement pour l'achat
- ANNEXE 12 : Le prix de vente d'un produit
- ANNEXE 13 : Prix de référence du saphir taillé

LISTE DES ABRÉVIATIONS

A : Ampère
AN : Application numérique
Ar : Malagasy Ariary
Ct(s) : Carat(s)
°C : degré Celsius
° : degré (angle)
' ou ft : pied, 1 pied = 0.3048 m
" ou in : pouce, 1 pouce = 2,54 cm
s : seconde
D : Devise
RN : Route Nationale
PK : Point Kilométrique
ha : hectare
m : mètre
mn : minute
mm : millimètre
ML : Monnaie locale
H : heure
V : Volt
Km : Kilomètre
KVA : kilo-volt Ampère
bat : battement
(K: Kilo-, c: centi-, m: milli-, μ: micro-, n: nano-)
g : gramme
t ou T : tonne
CV : cheval
l : litre
j : jour
€ : Euro
\$ (US) : Dollar aux Etats-Unis

LISTE DES ACRONYMES

BRGM	: Bureau de Recherche Géologique et Minière
CIBJO	: Conseil Inter fédéral de la Bijouterie Joaillerie Orfèvrerie
CNRS	: Centre National de la Recherche Scientifique
DMG	: Direction des Mines et de Géologie
ESPA	: Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
ESRI	: Environmental Systems Research Institute
FTM	: Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara
HIMO	: Haute Intensité de Main d'oeuvre
INST	: Institut de l'Information Scientifique et Technique
MEM	: Ministère de l'Energie et des Mines
SIG	: Système d'Information Géographique
US	: United States (of America)
UV	: Ultra Violet
PERT	: Program Evaluation and review technique
WBS	: Work Breakdown Structure

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'exploitation des ressources naturelles constitue l'une des axes de développement d'un pays. Le secteur minier est donc un domaine indéniablement porteur aussi bien dans le domaine économique que dans le domaine socio-économique.

Madagascar, un pays reconnu comme étant une des sources majeures sur le plan mondial des pierres fines et précieuses, présente des richesses à fort potentiel de valeur ajoutée. Ceci est illustré à travers les études menées par des experts nationaux et internationaux.

Toutefois, les exploitations minières ne sont pas des faits habituels à Madagascar. Il faut voir comment les gérer de manière à optimiser les différents paramètres d'exploitation et du traitement tant du point de vu technique qu'économique.

Dans cette perspective, la conduite rationnelle d'une exploitation minière consiste à la synchronisation des diverses opérations, à la recherche de la meilleure méthode technique ainsi qu'à la réduction des coûts d'exploitation tout en tenant compte d'une production optimale.

En d'autres termes, l'exploitation des ressources minières en particulier les pierres gemmes, nécessite l'harmonisation de toutes les activités du chantier qui permet d'assurer la sécurité de l'exploitation, la qualité et la quantité de production ainsi que la rentabilité économique.

La programmation sur ordinateur peut s'avérer aussi nécessaire vu la progression technologique galopante. Elle permet en outre de faciliter les différentes tâches de gestion d'un projet.

Nous avons considérer en particulier le gisement d'Ampasimamitaka-Sakalama (Ilakaka) d'une société anonyme spécialisée dans l'exploitation et la commercialisation du saphir afin de contribuer à la normalisation et à la rationalisation d'exploitation techniquement et économiquement en vue d'un meilleur rendement.

Ce mémoire de fin d'étude intitulé : "contribution à l'amélioration du projet d'exploitation du gisement et du traitement de saphir d'ampasimamitaka" est un apport pour la réalisation de ces objectifs.

L'ouvrage est subdivisé en quatre parties. La première partie sera consacrée à la présentation générale, offrant un aperçu sur le saphir et son gisement.

La deuxième partie sera orientée particulièrement à l'étude du gisement d'Ampasimamitaka-Sakalama.

La connaissance de l'état actuel du site nous conduit à optimiser les différents paramètres, ce que nous développerons à la troisième partie.

Enfin, la dernière partie relatera l'étude technico-économique du gisement étudié qui sera suivi d'une simulation sous MATLAB.

PARTIE I:

PRESENTATION GENERALE

Chapitre I. LE SAPHIR

I-1- Généralité [22]-[25]

Du point de vue géologique, les substances minières comprennent de différente gamme dont :

- des minéraux industriels par exemple : graphite, chromite, quartz, mica, charbon, fer, ilménite, nickel, etc.
- des pierres d'ornementation très recherchées dont granite, labradorite, rhodonite, cordiérite, marbre, beryl vitreux, célestite, quartz, etc.
- des pierres précieuses et fines telles que : rubis, saphir, émeraude, aigue-marine et autres beryls, etc.
- et de l'or.

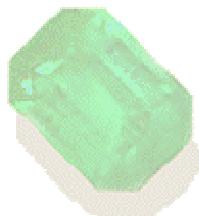
Ainsi, le saphir fait partie des pierres précieuses, terme qui s'applique à une matière organique, rocheuse ou minérale utilisée comme parure personnelle ou comme ornements, dont l'appellation est réservée aux quatre pierres ci-dessous :



Le saphir



Le diamant



L'émeraude



Le rubis

Photo n°01: Les pierres précieuses

On trouvera aussi communément le terme de « gemmes », mais il s'applique plutôt aux pierres taillées, bien que pour les anglophones, il s'emploie souvent comme le terme le plus générique, englobant pierres précieuses et semi-précieuses. Le saphir appartient donc à la pierre gemme, les plus importantes en plus du diamant se trouvant exclusivement ou presque dans les placers.

I-2- Définition et Appellation du saphir [2]-[9]-[21]

Etymologiquement, le terme « saphir » dont *sauriratna* (un amant de saturne) en sanskrit, *sampir* en chaldéen, *sappir* (objet de beauté) en hébreu, ont donné le grec *sappheiros*, transcrit *sapphirus* en latin et *saphir* en français. De l'Antiquité jusqu'au Moyen Âge (vers le XIII^e Siècle), ce terme désignait le lapis-lazuli.

Le saphir étant néanmoins connu dans l'Antiquité grecque sous le nom de *huakinthos*, nom donné à l'Iris bleu, et par extension à une gemme bleu violacée.

Le terme saphir désigne également des variétés de gemmes du groupe des corindons, hormis le rouge nommé le rubis. Le saphir et le rubis sont alors deux gemmes dérivant de la même structure cristalline (corindon).

Traditionnellement le saphir est bleu, la palette des bleus va du bleu ciel jusqu'au bleu gentiane intense, en passant par le bleu azur lumineux, mais depuis le XIX^{ème} Siècle le terme "saphir" s'applique à tous les corindons transparents ; il convient alors de préciser leur couleur lorsqu'ils ne sont pas bleus. Ainsi, leurs appellations sont tributaires de leurs couleurs.

Pour les différentes couleurs ils sont suivis des adjectifs de sa couleur sauf le rouge ; les saphirs jaune, orange, lavande et autres tons pastel sont les plus abordables.

D'autres appellations sont aussi attribuées à ces différentes variétés de saphir dont :

- *Saphir alexandrite ou saphir alexandrine* : Saphir bleu à la lumière du jour, changeant en violet, pourpre ou rougeâtre à la lumière incandescente.
- *Saphir étoilé* : Saphir avec étoile mouvante de six et parfois de douze branches provenant de la réflexion de la lumière sur des inclusions de rutile ou des canaux creux, lorsque la pierre est taillée en cabochon.
- *Saphir astérie* : Synonyme de saphir étoilé
- *Saphir blanc* : Appellation commerciale pour une pierre artificielle qualité courante imitant le diamant brillant, généralement c'est un spinelle synthétique incolore ou un corindon synthétique incolore, désigne également un saphir



naturel dont la couleur varie de l'incolore au bleuâtre, également appelé leucosaphir.

- *Saphir dore* : Saphir jaune à jaune verdâtre.
- *Saphir girasol* : Variété de saphir avec ligne lumineuse floue et large ;
- *Saphir oeil de chat* : Saphir avec une ligne lumineuse chatoyante lorsque la pierre est taillée en cabochon.
- *Padparadscha* : Saphir rose orangé.

A Madagascar, des noms sont aussi cédés à ces fameuses pierres comme:

- *Felapaiso* : saphir rose
- *Masopiso* : saphir oeil de chat
- *Vatomanga* : saphir bleu.

Quelques appellations populaires sont aussi à savoir dont :

- *Saphir almandin* : pour un saphir violet rougeâtre ;
- *Saphir améthyste* : un saphir violet, autrefois appelée améthyste orientale ;
- *Saphir chrysolite* : pour un saphir dont la couleur varie du jaune-verdâtre au jaune-vert ;

Il faut veiller aussi à quelques pierres nommées saphir mais à vraie dire ce ne sont que des pierres fines à citer:

- *Saphir de France* : pour un quartz bleu ;
- *Saphir d'eau ou saphir lux*: pour une cordiérite ;
- *Saphir lynx* : pour une cordiérite bleue pâle ombrée,
- *Saphir quartz* : pour un quartz coloré en bleu
- *Saphir spinelle* : un spinelle de couleur bleue, voir candite.
- *Saphir oriental* : pour une tourmaline.
- *Saphir brésilien* : pour une topaze bleue claire ou verdâtre, ou également pour une tourmaline bleue ;

I-3- Propriétés physico-chimiques: [17]

Les propriétés physico-chimiques sont composées par de nombreux critères et permettent d'authentifier une gemme et de les différencier parmi tant d'autres. Ces propriétés



sont obtenues grâce aux analyses effectuées aux laboratoires par l'intermédiaire des différents appareils¹ ou par un oeil expérimenté.

I-3-1- Propriété physique

Le saphir appartient au système rhomboédrique où les cristaux de ce système ont un axe de symétrie ternaire, ayant une cassure légèrement conchoïdale, inégale et esquilleuse et sans clivage.

De plus, le saphir a pour dureté 9 selon l'échelle de dureté inventée en 1812 par Friedrich Mohs, un minéralogiste autrichien, qui varie de 1 à 10 où chaque minéral raye celui qui précède tout en étant rayé par le suivant.

Aussi les indices de réfraction varient-ils de 1,76 à 1,77 et de 1,77 à 1,78 et la densité de 3,99 à 4,1. Les indices de réfraction et la densité augmentent légèrement avec la teneur en fer.

Enfin, quelques propriétés optiques permettent ainsi de le caractériser tel que:

- Biréfringence: -0,008
- Dispersion : 0,018
- Pléochroïsme : Net (bleu foncé, bleu vert)
- Luminescence : Variable
- Transparence: Transparent à opaque
- Eclat vitreux à légèrement adamantin.

Pour examiner les minéraux et les pierres précieuses, on utilise des microscopes gemmologiques. Ainsi, les saphirs se groupent en 4 selon leur qualité dont :

- Transparent
- Cabochon: saphir étoilé
- Polychrome: divers couleur selon la direction
- Opaque

I-3-2- Propriété chimique

Le centre chromogène du saphir résulte de la présence simultanée de fer et de titane où se substitue un peu d'aluminium dans la maille corindon. Ce sont donc le fer et le titane qui sont responsables de la coloration bleue du saphir. En effet les ions Fe^{2+} et Ti^{4+} peuvent venir se substituer aux ions Al^{3+} . Si les deux ions sont assez proches, la lumière peut très bien

¹ Cf. annexe 3



prendre un électron sur le fer pour le mettre sur le titane formant deux ions Fe^{3+} et Ti^{3+} (bande d'intervalence).

Ce mécanisme fonctionne également avec la paire Fe^{2+} - Fe^{3+} qui devient Fe^{3+} - Fe^{2+} après transfert de l'électron. Cette bande d'absorption est très large puisqu'elle s'étend très loin dans l'infrarouge:

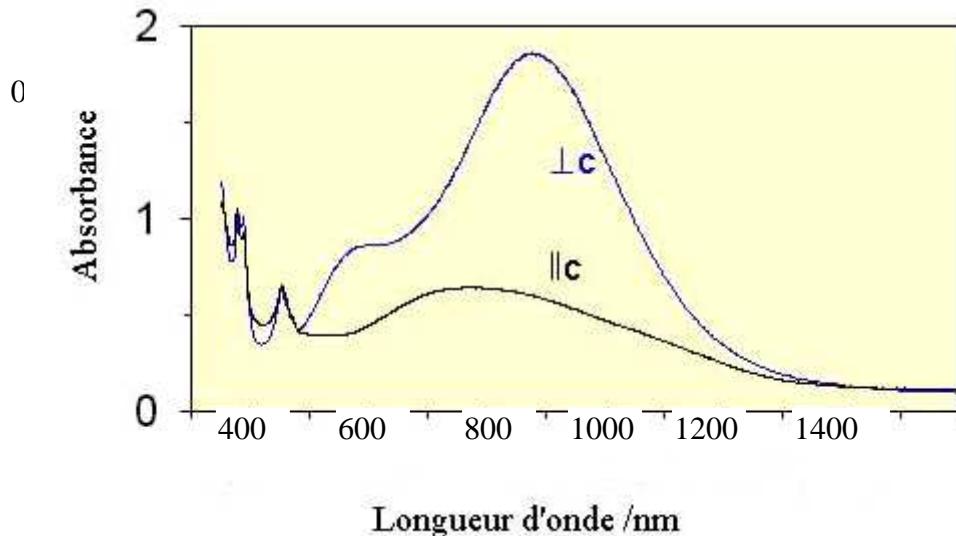


Figure n°01 Bande d'absorption de l'infrarouge

Les petites bandes pointues à gauche sont dues aux transitions interdites $^6\text{A}_{1g} \rightarrow ^4\text{T}_{2g}$ (indigo ~ 450 nm) et $^6\text{A}_{1g} \rightarrow ^4\text{A}_{1g}, ^4\text{E}_g$ (U.V. < 400 nm) caractéristiques d'un système à 5 électrons non appareillés comme on le trouve dans l'ion Fe^{3+} . En prenant la roue des couleurs, on constatera qu'avec le rouge, l'orange, le jaune et l'indigo arrêté, le violet et le vert vont se compenser, pour révéler la couleur bleue si caractéristique des saphirs.

S'il n'y pas d'ions Ti^{4+} dans le réseau corindon, la grande bande large et il ne reste que l'absorption due aux ions Fe^{3+} ($^6\text{A}_{1g} \rightarrow ^4\text{T}_{2g}$ et $^6\text{A}_{1g} \rightarrow ^4\text{A}_{1g}, ^4\text{E}_g$) qui mangent essentiellement le violet et l'indigo. La roue des couleurs tourne à nouveau: rouge compense bleu, orange compense vert, révélant un saphir de somptueuse couleur jaune.

Ainsi le rubis est rouge car il contient l'ion Cr^{3+} , tandis que les saphirs jaunes contiennent l'ion Fe^{3+} . Lorsque le corindon contient à la fois des ions Fe^{2+} - Ti^{4+} ou des ions Fe^{2+} - Fe^{3+} on obtient les magnifiques saphirs bleus. Enfin, les saphirs verts sont dus à l'excès de fer. Il est à noter que la couleur du saphir, due à l'oxyde de titane et de fer, donne son meilleur effet sous la lumière du jour. La lumière électrique le rend souvent foncé.



Enfin, le saphir est une pierre ayant des inclusions (liquide, cristaux, ...). Ainsi, les inclusions de rutile permettent aux saphirs taillés en cabochon des effets d'astérisme (saphir étoilé ou oeil de chat)

I-4- Utilisations [24]

L'utilisation du saphir est très diversifiée tant du point de vue cultuel que technique mais d'une manière générale, le saphir se présente comme une parure personnelle et une ornementation.

Richement colorés, les pierres fines et les pierres précieuses, dont le saphir fait parti, sont une source inépuisable d'inspiration dans le domaine des arts décoratifs. Ils nous offrent un matériau unique pour la réalisation d'objets tels que colliers, couronne, bague, sculptures ou pendules.

Le saphir est la pierre idéale pour une bague de fiançaille. Il s'offre non seulement à l'occasion des fiançailles mais aussi pour fêter 10 années de mariage, en général, se porte chez les femmes en réelle demande d'affection.

Bien avant l'invention de la monnaie certaines pierres précieuses ont servi de moyen d'échange mais c'est pour l'ornement qu'elles étaient la plus prisées. En effet, le saphir comme toute autre pierre précieuse est une graduation de la richesse d'une personne.

En période de guerre ou de trouble économique, beaucoup convertissent leurs richesses en pierres précieuses, qui sont transportables et vendues plus facilement. Il évoque alors immédiatement des trésors fabuleux.

A travers les âges, les hommes avides de superstitions, ont donné aux éléments naturels et notamment aux pierres précieuses des symboliques particulières. Associé à la notion d'espace, de pureté, de sagesse et d'apaisement, le saphir était tenu pour amulette et protégeait le voyageur du danger et du mauvais sort. Pierre curative, on lui accordait le pouvoir de guérir l'asthme et de prévenir les troubles mentaux.

Le saphir symbolise donc le calme des cieux, apportant la paix, favorisant la méditation.

Au VI^{ème} Siècle déjà un décret pontifical faisait du saphir la pierre que les cardinaux devaient porter à la main droite, celle qui bénit. Sa couleur bleue est déjà en elle-même une couleur sacrée. Associé aux demeures célestes, le saphir était porté par le clergé et ornait souvent les couronnes royales.



Ainsi, le saphir est la pierre qui nous sied à merveille. Qu'il soit bleu, rose, orangé ou tirant vers le vert, le saphir se décline sous plusieurs couleurs qui évoquent toujours cette soif de bonheur autour de nous. Choisi dans une couleur rose, le saphir évoque la douceur et la sincérité. Orangé, il implique un tantinet de frivolité dans notre vie, mais toujours montrée de manière raisonnable.

Du point de vue technique, les saphirs de mauvaises qualités ou de taille très petits sont utilisés comme abrasifs vu la dureté du saphir (corindon). Et que certains sont nécessaires pour des disques microsillons dont la pointe de la lecture est en saphir.

Les saphirs sont aussi employés, à l'égal des rubis, comme supports durs pour les montres et les appareils scientifiques.

En bref, différentes utilisations et croyances sont relatives à cette pierre gemme, et différentes destinations lui est attribué.

I-5- Les différentes appréciations

I-5-1- Couleur la plus prisée

D'après ce qui a été dit précédemment, cette pierre précieuse présente beaucoup de variétés. Alors, il se trouve intéressant de savoir lesquelles parmi ces dernières sont les plus prisées ou bien les plus recherchées notamment les plus précieux des saphirs.

Le plaisir que procure la couleur d'une gemme est bien différente d'une personne à une autre et très difficilement quantifiable et mesurable. Une personne préférera les pierres bleues, pour une autre se sera les roses, tout cela est du domaine de l'appréciation esthétique. Si le bleu et le rose orangé sont les plus recherchés et prisés par les autres, les uns préféreront des saphirs étoilés.

Cependant, les amateurs expérimentés trouvent que les plus fameux, et les plus précieux des saphirs, sont d'un bleu intense très riche appelé bleu Cachemire, la vraie couleur royale. Ainsi que les meilleures qualités, restent brillantes sous toutes les sortes de lumière ; les notes de noirs, gris ou verts mélangés aux bleus, ne réduisent pas la valeur de la pierre. Comme pour les autres pierres précieuses, les saphirs, qui ont le moins de petits défauts ou inclusions, sont les plus précieux.

Quoiqu'il en soit, les plus beaux saphirs, et notamment, les Cachemires, ont des textures veloutés qui rehausse la richesse du bleu.



En outre, le plus rare des saphirs est le Padparadscha de rose orangée. Force est de constater que plus une chose est rare plus elle est précieuse et très recherchée. Si bien que le Padparadscha est parmi les plus recherchés.

Toutes ces remarques s'additionnent à la règle générale qui s'énonce que : la clarté et la vivacité de la couleur rendent le saphir plus précieux. Les principaux critères pour déterminer sa valeur c'est davantage leur rareté, leur couleur, leur luminosité et leur provenance qui est déterminant.

I-5-2- Le saphir de mauvaise qualité

Vu la beauté de ces pierres, des saphirs de mauvaise qualité sont aussi à signaler, nommés "GEUDA" saphirs pâles et laiteux. Ils font l'objet de traitements thermiques et sont chauffés dans une substance colorante à des températures d'environ 1600°. Le but de ce traitement est de donner une couleur uniforme et veloutée au saphir. Par contre, ce traitement détruit la structure cristalline du saphir, et sa valeur en est largement affectée. Ce traitement peut être détecté par un gemmologue expérimenté.

Actuellement, presque la majorité des saphirs produits sur le marché sont traités thermiquement. Le traitement thermique des corindons est utilisé depuis des siècles et c'est pour cela qu'il est considéré comme une pratique courante et même un usage traditionnel.

Les saphirs verts, les saphirs violets et les saphirs blancs (incolores) sont généralement les moins recherchés.

I-5-3- Les saphirs célèbres [10]-[23]

Dans l'histoire de l'humanité, quelques types de saphir se sont considérés comme célèbre du fait de leur beauté et de leur grandeur à citer:

- Saphir étoilé "*Etoile de l'Inde*" à l'American Museum de New-York (563 cts)
- Saphir étoilé noir "*Etoile de Minuit*" à l'American Museum de New-York (116 cts)
- Saphir étoilé "*Etoile de l'Asie*" au Smithsonian Institut de New-York (330 cts)
- Saphir étoilé "*Etoile d 'Artaban* " à Washington (316 cts)
- Saphirs "*St Edward*" et "*Stuart*", joyaux royaux d'Angleterre
- Saphirs représentant les têtes de Washington, Lincoln et Eisenhower (2000 cts chacun)



Parmi les saphirs bleus les plus gros, on peut citer:

- Le « *Saphir Logan* », taillé en coussin au Smithsonian Institution à Washington ; un saphir de 258 carats, d'un bleu vif et lumineux qui appartient à la Couronne de Russie.
- En 1988, le « *Saphir Rockefeller* » de 62,02 cts, taille émeraude, fut vendu aux enchères chez Sotheby's pour 2 828 546 dollars, c'est actuellement le prix record par carat:
(45 607 US\$ environ de 99 538 190 Ariary).
- Ainsi, un saphir étoilé de 63 000 Cts (12,5 kg) aurait aussi été trouvé en Birmanie (Myamar) en octobre 1966.

I-6- Taille du saphir [22]

La plupart des pierres précieuses, lorsqu'elles sont à l'état brut ont des formes irrégulières et présentent peu d'éclat d'où la nécessité de tailler ces pierres.

Ainsi, jusqu'au XII^{ème} siècle, les pierres étaient polies selon leur forme naturelle. Puis, les Vénitiens commencent à tailler des diamants en formes géométriques. Jusqu'au début du siècle, les joailliers taillaient les pierres pour en obtenir le plus grand poids : c'est à cette période que la taille des pierres a été faite pour obtenir le meilleur éclat.

La taille est donc très importante, surtout pour les pierres claires afin de montrer leur belle couleur. Dans le cas où la pierre serait plus foncée, la taille n'est pas aussi importante, car la couleur crée son propre impact. Toutefois, comme la couleur est presque toujours irrégulièrement repartie, le lapidaire doit spécialement bien étudier le cristal afin de placer la couleur sur un côté de la culasse, d'où elle irradiera toute la pierre.

Plusieurs techniques sont utilisés (technique lapidaire) et différentes tailles sont représentées dont :



I-6-1- Taille à facettes :

Taille en brillant :

Rond	Ovale	Poire	Marquise

Tableau n° 01 Taille en brillant

Taille en degré :

Table	Carre	Baguette	Emeraude	Ovale

Tableau n° 02 Taille en degré

Taille mixte :

Coussin	Mixte	Ceylan

Tableau n° 03 Taille mixte

Taille fantaisie :



Tableau n° 04 Taille fantaisie

I-6-2- Polissage

Cabochon	Cabochon double	Perle

Tableau n° 05 Les différentes formes de polissage

Pour un saphir étoilé : existence d'un phénomène d'astérisme, le taille en cabochon est le plus propice de telle sorte que l'étoile soit centrée. Cette forme lui permet de mettre en avant cette particularité optique de la pierre.

En effet, les saphirs sont taillés suivant ces différentes formes dont les plus habituellement trouvés sont en forme de coussin et table. Ce dernier étant perpendiculaire à l'axe cristallin principal.



Coussin



Table

Photo n°02: les tailles les plus couramment utilisées

I-7- Remarques

Moins la pierre gemme est colorée et plus les inclusions seront visibles, cependant aucun cristal n'est parfaitement pur et ce n'est pas ce critère qui est recherché en premier dans l'achat d'une pierre de couleur. Une pierre précieuse de couleur pure à la loupe de grossissement 10 fois est très rare. Les inclusions ne sont pas « nuisibles » pour la pierre (si elles ne sont pas trop nombreuses), au contraire, elles permettent la diffusion de la lumière, adoucissent la couleur et lui donnent parfois un agréable côté « velouté ». Certaines stries d'origine naturelles ou bien des cavités allongées disposées parallèlement peuvent provoquer des effets particuliers et très recherchés : effet de chatoiement, d'astérisme (saphir et rubis étoilés, par exemple), de soies, etc.

En outre le saphir naturel présente quelques inclusions caractéristiques tel que: cristaux incolores ou orangés à noir, cavités liquides avec bulle de gaz bi ou triphasées, aiguilles de rutiles brunâtres en lumière transmise et argentées en lumière réfléchie, zone de couleurs en chevron ou droites, très rectilignes et contrastées, plans de cristaux négatifs alignés, félures, cristaux noirs à aspect métallique sous la lumière réfléchie, légères ailes d'insectes autour d'une inclusion de cristal, etc.

De plus quelques pierres ressemblantes sont aussi à remarquer dont : bénitoïte, cordiérite, cyanite, spinelle, tanzanite, topaze, tourmaline, zircon. Cependant, les propriétés physiques permettent de les différencier.

Enfin, il faut veiller à des imitations telles que : Verre bleu, doublet grenat-verre bleu, saphir synthétique. Ce dernier a été réussi par procédé Verneuil et commercialisé en quantité dès 1908.



II-1- Gîtologie [5]

Les saphirs peuvent être rencontrées dans deux grands types d'environnement :

- gisements « primaires » où le minéral recherché est un composant minéral d'une roche ou d'un filon recoupant cette roche ;

- gisements « secondaires » ou détritiques, le plus souvent appelé « placers », où le minéral, d'abord dégagé de sa gangue rocheuse par l'érosion, est parfois disséminé dans des éluvions ou colluvions, à l'aplomb ou sur les pentes du gisement primaire. Celle-ci peut être aussi transportée plus loin par le réseau hydrographique pour être ensuite déposé dans des alluvions où il pourra être concentré dans des sites préférentiels ou « pièges » de la partie aval du réseau hydrographique (paléo-drainages et drainages actuels).

II-2- Les différents types de gisement [5]-[7]

Ces deux grands types d'environnement comprennent encore plusieurs catégories pour

II-2-1- Les gisements primaires

Ils se répartissent en :

- Produits du métamorphisme de contact dans des roches sédimentaires ou magmatiques transformées (skarns, adinoles) par une intrusion magmatique postérieure (granite, diorite ou gabbro) ; les marbres, résultant de la transformation d'un calcaire ou d'une dolomie sont les hôtes privilégiés de nombreux minéraux de valeur, les minéraux accompagnateurs du saphir peuvent être grenat, péridot. De bons exemples sont les gisements afghans, pakistanais ou birmans.
- Produits du métamorphisme régional de séries sédimentaires de chimisme calcique ou alumineux transformées en micaschistes et gneiss. De bons exemples sont les gisements de rubis et saphir du Sri Lanka et de Madagascar.
- Pegmatites ou gneiss, derniers « jus » hydrothermaux générés lors de la mise en place d'intrusions granitiques ou granodioritiques, gisements très importants dans des pays comme le Brésil ou Madagascar pour des minéraux . La paragenèse minéralogique de la pegmatite peut être des béryls (aigue-marine,



morganite, heliodore), tourmalines et topazes. L'encaissant renfermera du saphir par métamorphisme de contact.

- Volcanites basiques (améthystes, agates).
- Filons quartzeux ou quartzo- carbonatés, de type mésothermal à épithermal, porteurs d'oxydes ou de silicates (citrine, améthyste).
- Zones d'altérations hydrothermales variées associées au métamorphisme, à la mise en place d'intrusions ou encore à la formation de gisements métalliques, par exemple les gisements d'émeraude de Colombie ou les gisements de turquoise d'Iran ou d'Afghanistan.

II-2-2- Les gisements secondaires

Les gisements secondaires ou placers comprennent les types suivants :

- placers proximaux, de type éluvial ou colluvial, au-dessus ou à côté des gisements primaires.
- placers distaux, loin des sources primaires.

Pour des raisons de facilité d'extraction, deux types de gisements sont particulièrement ciblés par les mineurs de saphir:

- les gisements primaires largement affectés par une altération météorique, généralement de type latéritique. En effet, cette altération transforme la trame de la roche en une altérite facile à creuser où pourront être foncés puits et/ou galeries permettant de dégager les minéraux d'intérêt qui auront été préservés : chantiers des pays tropicaux sont de bons exemples.
- les placers alluvionnaires, localisés dans les lits vifs du drainage actuel ou dans les terrasses du drainage ancien. Les chantiers du Sri Lanka (saphirs, rubis ...) en sont une bonne illustration.

II-3- Géologie du saphir

Le corindon peut être individualisé dans des conditions particulières de pression et de température dans un contexte géologique à excès d'alumine. La pigmentation est subordonnée d'abord à la présence puis à la possibilité de cations métalliques qui se substituent de manière isomorphique avec l'aluminium. Rappelons que la coloration du corindon autre que le rouge, donc de sa variété saphir, est subordonné à la présence du fer et du titane qui est en général



libéré d'une formation de nature basique-ultrabasique. La proportion de saphir des gisements primaires est trop infime pour être exploitée commercialement. Cependant, les gisements alluvionnaires fournissent une production bien plus importante.

De ce fait, le saphir se forme généralement dans des roches sédimentaires constituées de sables et d'argiles alluvionnaires. Il se présente à l'état brut sous l'aspect de petits cailloux plus ou moins arrondis, opaques, en forme de tonneau. En effet, saphirs et quelques minéraux gemmifères, provenant de la distillation des roches en fusion, se forment dans l'écorce terrestre sous l'action de température et de pression très élevées (à une profondeur variant de 25 à 50 Km et une température allant de 650 à 720°).

Ainsi, il existe deux grandes origines de Saphirs naturels dont :

- Saphirs naturels provenant de gîtes calcaires (les plus beaux) : Cachemire, Myanmar, Sri-Lanka, Tanzanie, Madagascar, certains gîtes du Montana.
- Saphirs naturels d'origine volcanique (les plus nombreux) Australie, Brésil, Cambodge, Chine, Colombie, Kenya, Thaïlande, Vietnam, et certains sites de Madagascar et du Montana. Les saphirs d'origines volcaniques se trouvent souvent dans les rivières, dans des trous.

II-4- Le saphir dans le monde [25]

Les pays cités précédemment marquent que les gisements de saphir s'éparpillent dans le monde. On remarque ainsi que les gisements les plus riches et les plus productifs se situent de nos jours en Australie, mais aussi en Birmanie, dans la région de Mogok, ceux de la vallée du Bokéo au Laos se montrent moins rentables.

La Thaïlande et le Sri Lanka sont d'ailleurs les principaux pays au monde quant au marché des saphirs au niveau international, un tiers des saphirs vendus sur le marché mondial proviennent des mines du Cambodge et de Thaïlande. Ce sont les saphirs les plus vendus dans le monde en raison de leur prix compétitif. Certains saphirs du Sri Lanka montrent des astérismes lorsqu'ils sont taillés en cabochon, ces saphirs étoilés sont de grande valeur.

En outre, les plus beaux saphirs sont ceux des anciennes mines du Cachemire et Birmanie. Aujourd'hui fermées, ces mines produisent de très petites quantités de Saphirs, mais qui sont d'une qualité et d'une finesse reconnue dans le monde entier, et donnent des saphirs d'un bleu velouté exceptionnel.



D'importants gisements ont été aussi redécouverts au XIX^{ème} Siècle et continuent à fournir environ le tiers de la production mondiale : saphirs et rubis confondus à Paï Lin et Chanthaburi.

De très grands champs d'alluvions, riches en saphirs, d'origine basaltique, se trouvent à Penglai et Wenchang dans l'île de Hainan, ainsi qu'à Mingxi au centre Ouest de la province de Fujian. Exploités et traité thermiquement, ces saphirs font de la Chine un important nouveau producteur.

D'autres gisements importants de saphirs existent aussi aux Etats-Unis, en Inde, en Afghanistan, dans l'Oural et dans d'autres régions de l'ancienne Union Soviétique, en Australie et bien évidemment à Madagascar.

Voici un tableau récapitulatif des quelques pays ayant des gisements :

Pays	Quantité	Qualité	Historique
Australie	Importante	Bonne qualité rare	
Birmanie	Importante	Bonne qualité rare	+ Gros saphir étoilé du monde : 63 000 cts
Thailande	Moyenne	Bonne qualité rare	
Sri Lanka	Moyenne	Bonne qualité rare	

Tableau n° 06 Quelques pays du monde ayant des gisements de saphir

II-5- Le saphir à Madagascar [19]

A Madagascar, les gemmes se trouvent généralement en alluvion, mais proviennent soit de scories basaltiques, soit de calcaires métamorphisés ou de roches feldspathiques endomorphes. L'origine primaire du saphir malgache provient essentiellement du socle précambrien d'une part, et est liée au phénomène volcanisme d'âge Tertiaire et Quaternaire d'autre part. On distingue, trois types de gisements: les gisements magmatiques, les gisements métasomatiques et les gisements métamorphiques.

Le saphir est également commun dans les pegmatites de différentes compositions telles que: les pegmatites granitiques désilicifiées situées dans des calcaires, des serpentinites et des roches basiques: c'est le cas du gisement d' Andranondambo et les pegmatites



syénitiques repérés dans le gisement de Beforona.

Le saphir est largement représenté dans les roches alumineuses et carbonatées en contact avec une activité volcanique basique (volcanisme Tertiaire et Quaternaire) par autométasomatose (gisement d'Ambondromifehy, Diégo et Ankaratra).

Les gisements de saphir formés dans les calcaires métamorphisés, dans les marnes ayant subi un métamorphisme ou dans les bauxites et les roches carbonatées sont liés aux processus de métamorphisme de contact.

II-5-1- Répartition des gisements

Les gisements de saphir se répartissent dans toutes les régions de Madagascar. Des données recueillies bibliographiquement ainsi que la situation actuelle du gisement sont mis à jour afin d'obtenir la carte n°1 ci-après. Les données recueillies sont ensuite traitées à l'aide de logiciels Mapinfo qui génèrent en deux dimensions des cartes colorées, selon la répartition des gisements de saphir à Madagascar.





Carte n° 01: Carte des gîtes de saphir de Madagascar



II-5-2 Quelques types de production de Madagascar : [17]



Saphir polychrome
(Origine: Iankaroka 1990)
Ce saphir provient d'un granite, sa forme est intacte.

Saphir bleu
(Origine Andranondambo 1992)
La pierre provient d'un calcaire métamorphique

Saphir bleu
+(Origine: Ilakaka 1999)
Trouvé dans les grès de l'Isalo en alluvion, la forme est amortie par

Photo n°03: Quelques types d'échantillon de production de Madagascar

II-6- Type d'exploitation : Cas de Madagascar

Les exploitations minières sont de tailles très variables, allant de l'exploitation industrielle à l'exploitation artisanale. A Madagascar, les exploitations artisanales sont les plus nombreuses mais les exploitations mécanisées sont les plus productives. Il arrive que certains mineurs artisanaux creusent pendant 7 mois sans rien trouver.

II-6-1- Exploitation mécanisée

Les saphirs sont exploités à l'aide de moyens mécaniques puissants et produisent des centaines de kilos à l'année. L'exploitation mécanisée comprend l'exploitation industrielle et semi-industrielle. C'est cette dernière qui est la plus pratique pour l'exploitation du saphir car ce type d'exploitation nécessite beaucoup des superviseurs et des ouvriers pour la bonne marche du travail vu que les saphirs sont des petites pierres s'enlevant dans des grandes masses (contrairement au granite, au labradorite,).

L'exploitation mécanisée utilise en effet des appareils mécaniques comme la pelle hydraulique, le camion, un système de lavage mécanique et divers appareils mécaniques avec des mains d'œuvre qualifiées et des superviseurs expérimentés. L'exploitation concernée par la présente étude appartient à ce type d'exploitation.



II-6-2- Exploitation artisanale

Les mineurs travaillent plutôt par équipe de trois : un qui creuse « digger », un qui extrait la terre, et le troisième qui lave la terre dans la rivière. L'organisation reste principalement de type familiale ou villageoise, une main d'œuvre paysanne et parfois enfantine est exploitée pour creuser de vastes trous au milieu des rizières. Les trous occupent des surfaces de 25m², le creusement s'effectue de manière très rudimentaire jusqu'à 20 m de profondeur pour atteindre la couche alluvionnaire où se concentrent les saphirs.

Le puits est prolongé par des galeries souterraines horizontales, souvent superposés dans des terrains très friables, sans aucun système d'étayage. Les effondrements dans les boyaux sont donc très fréquents (particulièrement en saison des pluies), provoquant le décès de mineurs ensevelis.

Les petits exploitants utilisent des matériels archaïques tels que la pelle, le tamis, les seaux et la pompe qui pare aux éventuelles noyades provoquées par l'eau provenant des rivières et des rizières et qui suinte en permanence des parois poreuses. Les plus jeunes doivent assurer les travaux à risques, ils creusent avec leur pelle du fond de l'excavation.



Photo n°04: Traitement des graviers gemmifères en rivière

Quelques exploitants avec qui nous avons eu un entretien à Ilakaka ont évoqué que l'exploitation du saphir devient actuellement de plus en plus compliquée et dangereuse. Il fallait creuser jusqu'à 40 m voire plus pour trouver une pièce de saphir. Il y a ceux qui devraient passer un mois à la carrière pour obtenir un gramme de saphir.



II-6-3- Présentation de quelques types d'exploitation artisanale du sud

Ankaboka, l'un des nombreux lieux gemmifères de la région. L'exploitation se fait très traditionnellement par un puits étroit, d'une vingtaine de mètres de profondeur débouchant sur un labyrinthe de galeries non étayées.

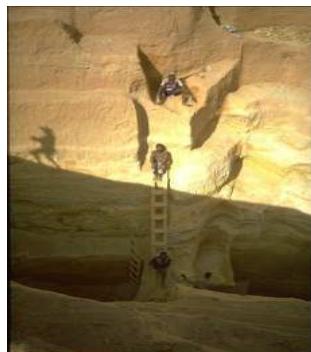


Photo n°05: Gisement d'Ankaboka

Maromiandry est situé à 40 km au nord de la route nationale entre Ilakaka et Sakaraha. Le « *sivany* » (tamisage des graviers) à Maromiandry est souvent pratiqué à sec comme dans ce lieu éloigné d'une rivière.



Photo n°06: Gisement de Maromiandry

Vohimena vaovao à 25 km Ilakaka est l'un des sites phare de la production des saphirs



Photo n°07: Gisement de Vohimena Vaovao

PARTIE II:

ETUDE DU GISEMENT

D'AMPASIMAMITAKA - SAKALAMA

I-1- Présentation générale de la société

UPM (Union Prospecting Mining) est une coopération de deux sociétés américaines et françaises, ayant une vaste expertise dans le développement des mines à ciel ouvert de grande envergure. Actuellement, elle travaille dans la commune de Sakalama pour l'exploitation du gisement du saphir.

Sans parler des autres activités que l'entreprise effectue tel que le lapidairerie, l'achat du produit in-situ, on trouve qu'elle est en pleine expansion pour le développement du secteur minier.

Ce sont donc les associés qui sont les gérants de l'exploitation. Le siège administratif se situe à Antananarivo. La structure de l'entreprise est représentée par l'organigramme ci-dessous:

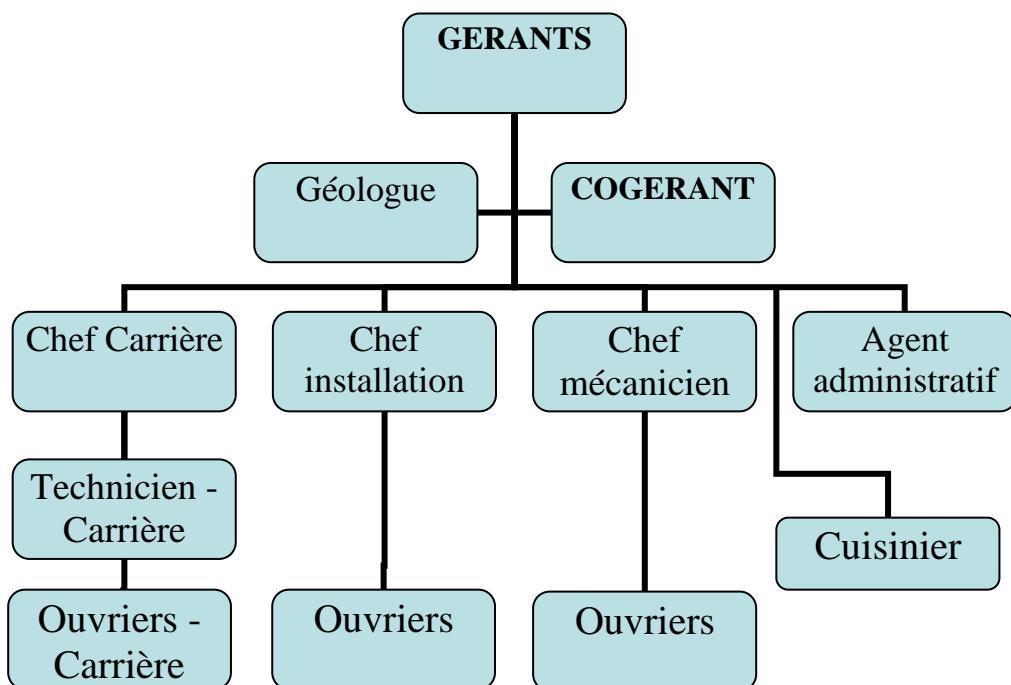


Figure n°02 Organigramme de l'entreprise



I-2- Historique de la découverte de saphir à Madagascar [4]

En 1658, Etienne de Flacourt, le gouverneur de Taolagnaro (ex: Fort-Dauphin) parle de saphir dans le sud de Madagascar.

En 1808, Barthélemy Hagon écrit que dans la vallée de l'Ambolo, il y a une pierre si belle et si rare que les lapidaires n'ont pu la reconnaître et ont dit qu'elle était au-dessus de tout ce qui n'est pas diamant.

En 1991, lors de la grande sécheresse dans le sud, des échantillons de saphirs sont remis au jour, plusieurs siècles après leur premier découvert. Ils proviennent d'Andranondambo près de Taolagnaro, au sud de Madagascar (à l'extrême sud du pays près d'Amboasary).

Et en 1996, les gisements d'Ambondromifehy localité proche d'Ambilobe au nord de la grande île sont mis en activité.

En 1998, les gisements de saphir d'Ilakaka ont été découverts. Actuellement, des ruées se produisent sur des nouveaux gisements découverts tels: ceux d'Iankoraka ou Iankora.



II-1- Cadre géographique [8]

Allongée sur près de 1.500 Km entre $11^{\circ} 57'$ et $25^{\circ} 32'$ de latitude Sud, Madagascar est une île constituée principalement par un socle cristallin d'âge Précambrien. La région étudiée fait partie de ce socle cristallin, plus précisément dans la partie sud ouest de Madagascar.

II-1-1- Localisation et appartenance administrative

Pour bien localiser la zone cible, on essaie d'abord de décrire brièvement les lieux où l'on doit accéder avant d'y arriver. A la sortie du massif ruiniforme de l'Isalo, simple halte sur RN7, deuxième artère routière du pays, on arrive à un village nommé: Ilakaka. Ce dernier se situe à 634 km au sud d'Antananarivo et à 216 km de Toliara. Au point kilométrique 709 de cette route nationale, qui est presque totalement bitumée, se trouve une bifurcation et c'est à 65 Km de cet embranchement que la carrière se situe.

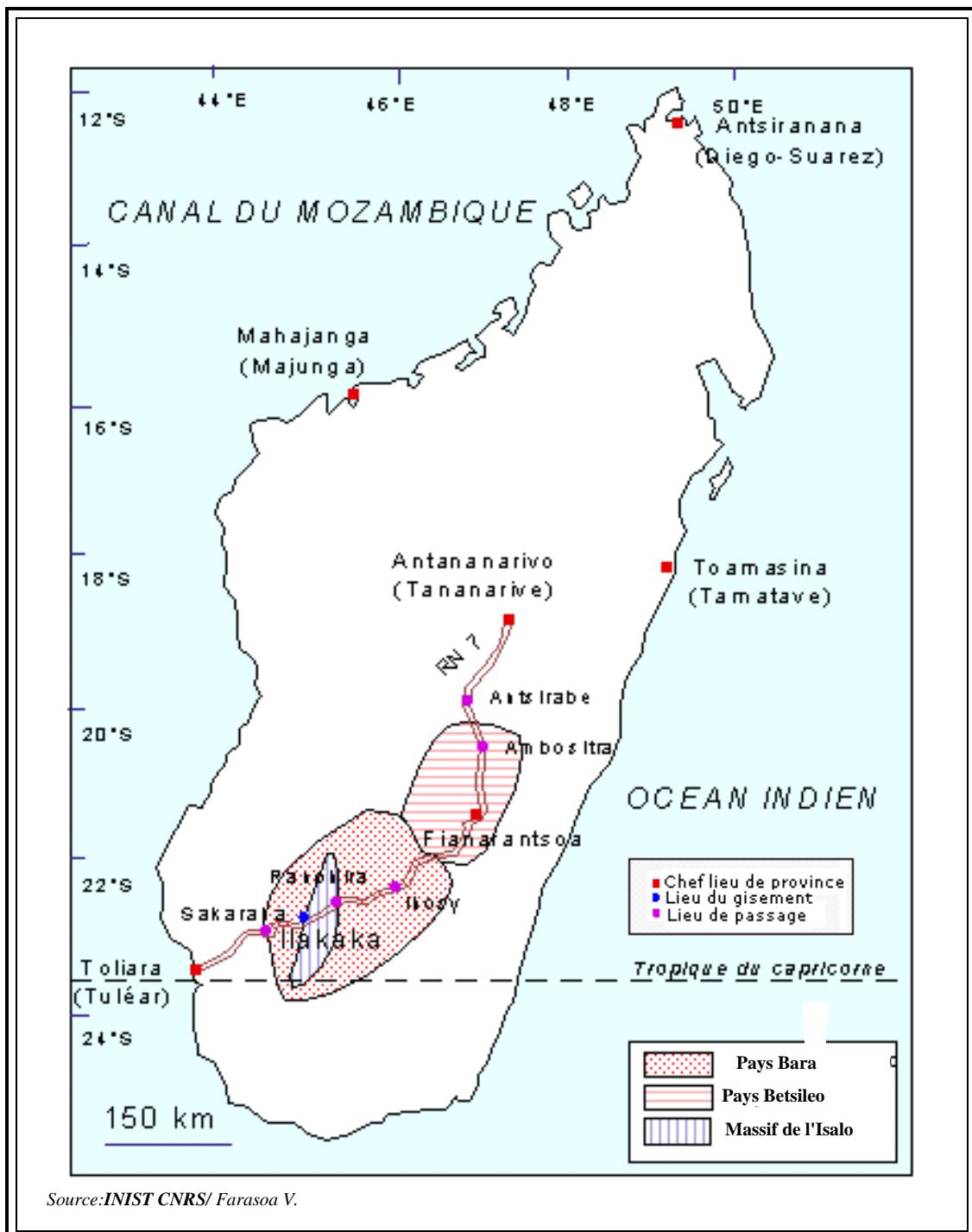
La localité s'appelle Ampasimamitaka, nom tiré de la présence de caïman dans la rivière, fokontany de Sakalama dans la commune rurale d'Ilakaka be, dans la Province Autonome de Fianarantsoa. En matière d'administration territoriale, Ampasimamitaka est, administrativement, du ressort de l'arrondissement de Ranohira, District d'Ihosy. Elle se situe à 517,4 km vol d'oiseau d'Antananarivo. Les coordonnées suivantes permettent de la localiser:

$$S = 23^{\circ} 07' 20.5''$$

$$E = 45^{\circ} 20' 47.1''$$

Ainsi, la carte n°2 ci-après est élaborée à l'aide du logiciel Arcview afin de bien localiser le gisement.



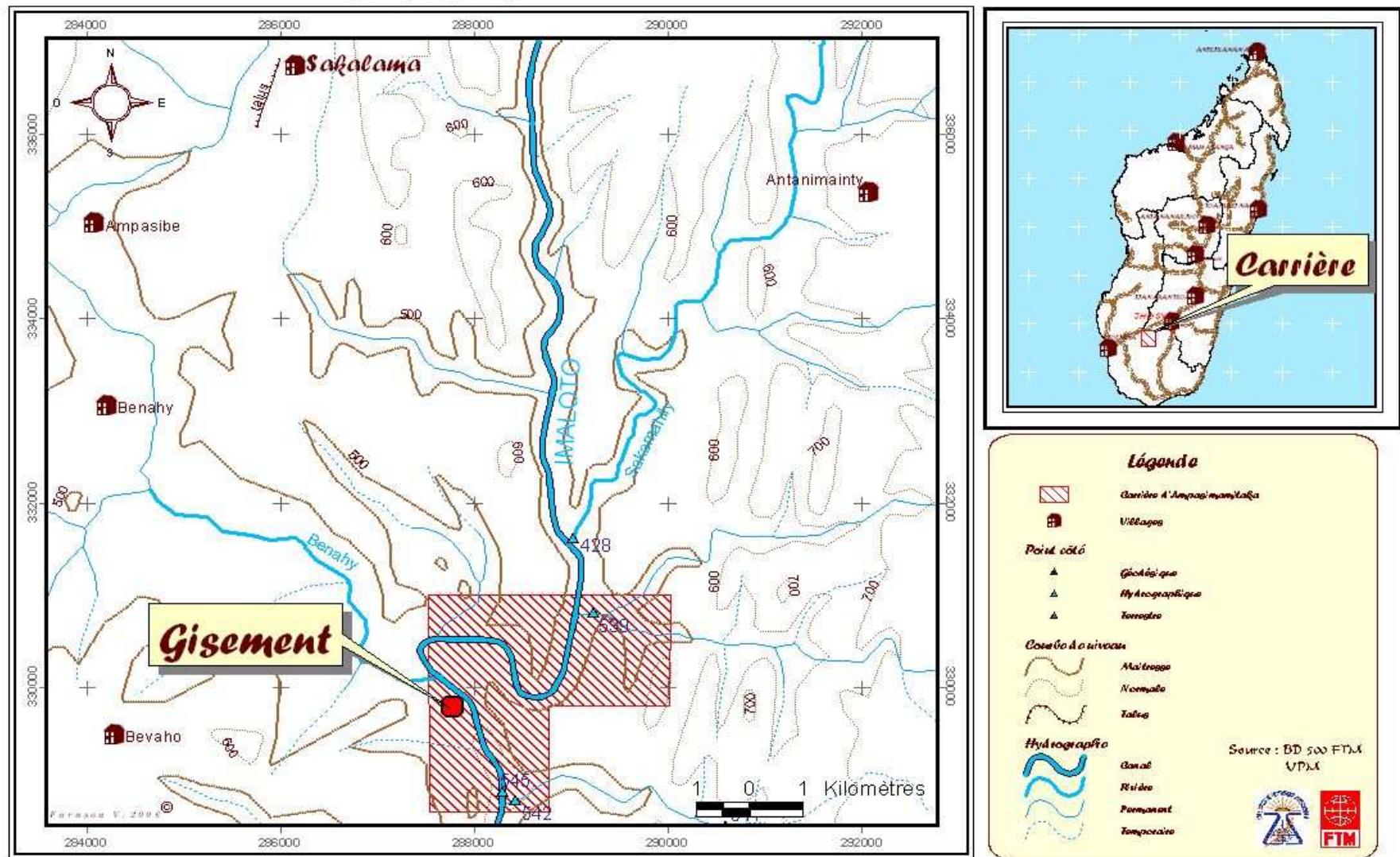


Carte n° 02 : Croquis de localisation

La carte topographique n°3 ci-dessus permet de mieux localiser la zone d'étude:



Carte Topographique de la carrière



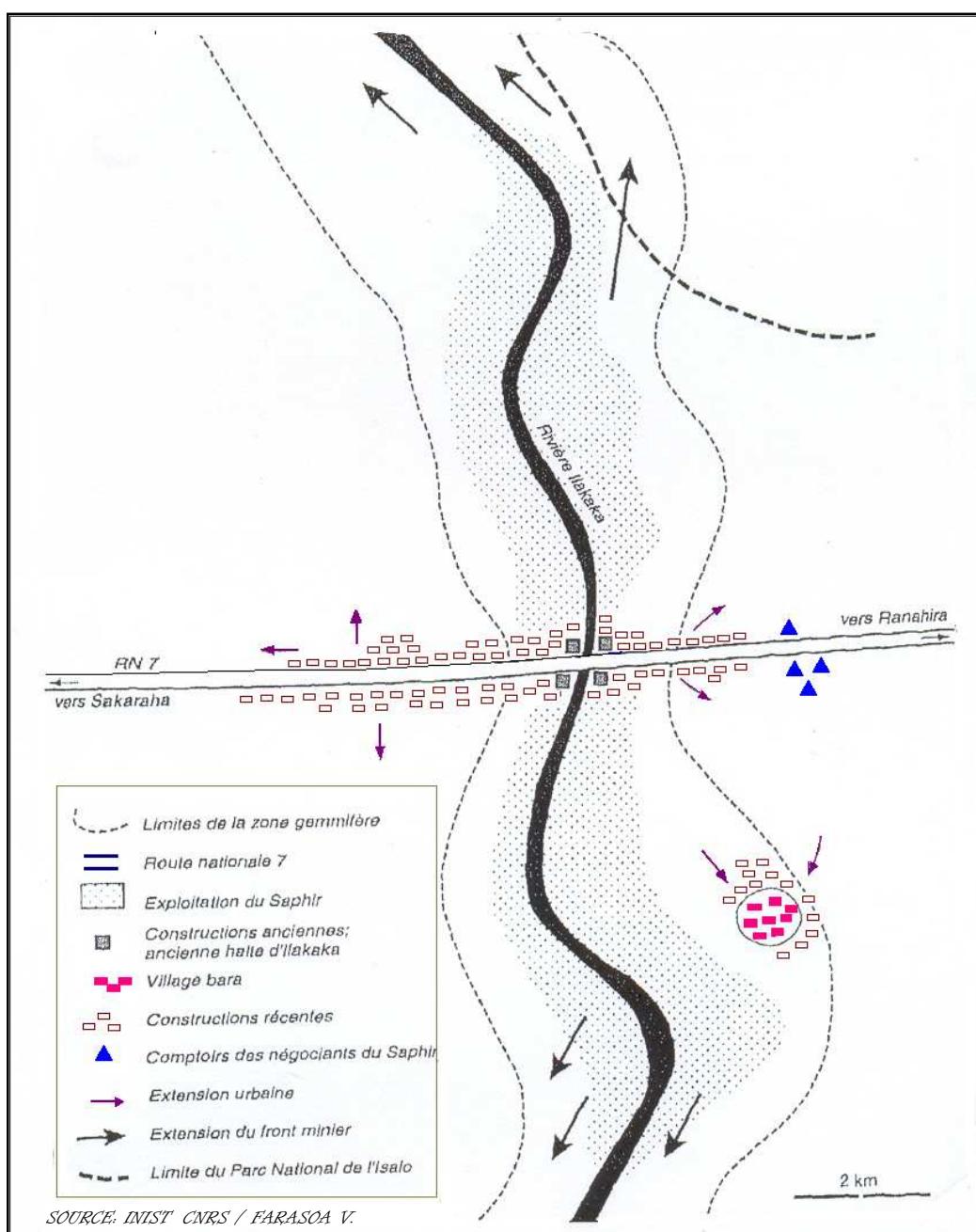
Carte n°03 Carte topographique de la carrière



II-1-2- Accès [4]

La route d'accès à partir de l'embranchement, en suivant la limite Nord-Est de l'Isalo, est une route secondaire carrossable qui est généralement saisonnière: moyennement facile en saison sèche et difficile en saison de pluie. La durée de trajet est environ de 3H et peut être aussi effectuée à pied mais d'une durée plus longue.

La route d'accès est perpendiculaire à la route principale en suivant l'extension du front minier. Ce dernier est illustré comme suit:



Carte n°04: Schéma analytique du Front minier d'Illakaka



II-2- Cadre physique

II-2-1- Population

La région est située dans le territoire des Bara, population de pasteurs dont le vol de zébu est une activité courante. Ils auraient constitué le premier peuplement versé dans l'élevage mais faute de pâturages, durent migrer ailleurs.

Après les Bara, ce sont les Antesaka qui sont en majorité. Actuellement, après la découverte du saphir, on constate une immigration galopante venant de toutes les régions de l'île, ainsi que des étrangers voulant tous s'enrichir dans l'extraction des ressources minières.

Métamorphosé par la ruée des mineurs puis des acheteurs depuis octobre 1998, Ilakaka est entrain de devenir une des premières localités malgaches de par sa population.

De même, l'origine des mineurs de la carrière étudiée se caractérise par une grande diversité.

II-2-2- Climatologie

Limité au sud par le Tropique du Capricorne, la région où se trouve la zone étudiée se rattache à la zone australe, et le climat qui y règne appartient donc au type tropical sec, avec une longue saison sèche (au moins 8 mois), elle reçoit néanmoins une moyenne annuelle de plus de 750 mm de précipitation et une température moyenne de 20 °C.

Les données météorologiques que nous possédons concernant le climat général de la région sont peu nombreuses. A l'intérieur même du territoire étudié, il n'existe pas de station météorologique; c'est seulement les stations d'Ankazoabo, de Sakaraha et de Ranohira qui existent aux alentours.

Cependant, on peut dire que les facteurs climatiques sont à l'origine du régime hydrologique des cours d'eau d'un régime simple avec une saison sèche marquée (Septembre à Octobre) et une saison de pluie (Janvier à Mars) caractérisée par des crues pouvant être très violentes et surtout très soudaines. Ces remarques se déduisent d'une simple constatation et grâce aux informations reçues. En général, la partie sud ouest de Madagascar est régie par le climat tropical subhumide, semi-aride et sub-aride.



II-2-3- Végétation

Le paysage est dominé par la savane à palmiers rachitiques, localement appelés *satrana*, issue de la dégradation de la forêt tropophile, avec comme formation végétale dominante des graminées à pâturage. En générale, la formation végétale se conjugue avec le milieu naturel de la région.

En effet, la zone concernée par la présente étude est caractérisée par l'environnement biologique de la région sud ouest dont la végétation, la faune et la pédologie sont du type des régions chaudes et sèches.

En outre, la région est affectée par des feux de brousse fréquents qui touchent surtout la savane herbeuse. Pour le pâturage et les palmiers, ils sont systématiquement coupés pour fournir du bois de chauffe ou des matériaux de construction, ce qui entraîne la dégradation de la couverture végétale et le lessivage du sol, qui sont déjà peu évolués.

L'image satellite ci-dessous permet d'interpréter les occupations du sol. L'image est traitée par le logiciel Idrisi.



Carte d'Occupation du Sol

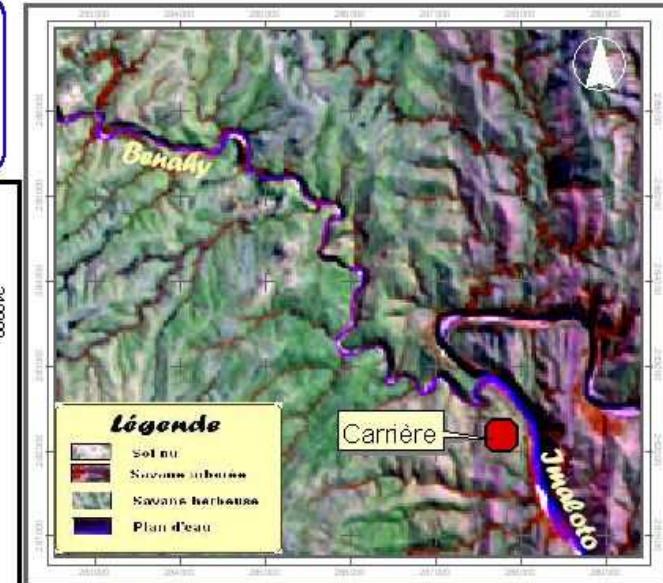
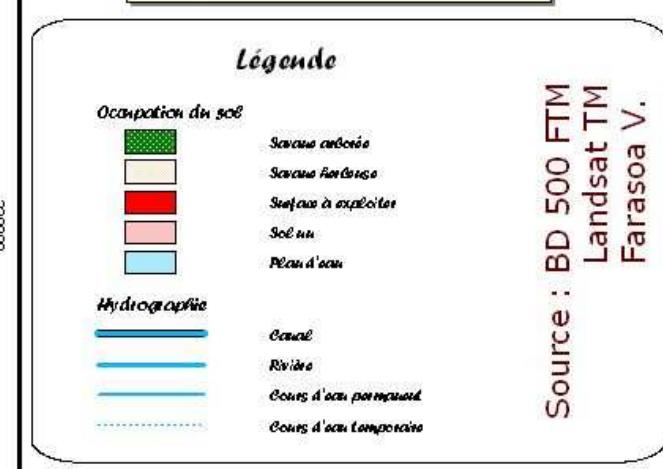


Image satellite traitée de la zone cible



Source : BD 500 FTM
Landsat TM
Faraso V.

Carte n° 05 : Carte d'occupation du sol



II-2-4- Orographie

La morphologie du site façonne un paysage typique avec des collines entourées de rivière, des vallées un peu large avec des flancs de coteau à forte pente qui sont couverts des forêts.

II-2-5- Hydrographie

L'hydrographie est tributaire du relief et du climat. Ainsi la zone d'étude dispose comme ressource en eau deux rivières, à écoulement permanent, dont Imaloto et Benahy qui se rencontrent du côté du site. La carrière étudiée est privilégiée par des réseaux hydrographiques, vu que la rivière organise le nouvel espace minier, qui s'étend le long du cours d'eau car l'eau courante est nécessaire pour laver les matériaux extraits et en dégager les saphirs. La photo ci-dessous représente les divers réseaux hydrographiques.

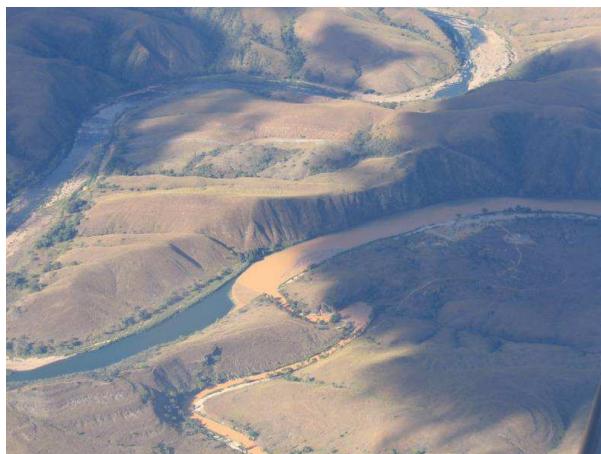


Photo n°08: Photo aérienne de la zone

II-3- Cadre géologique

II-3-1- Aspect géologique

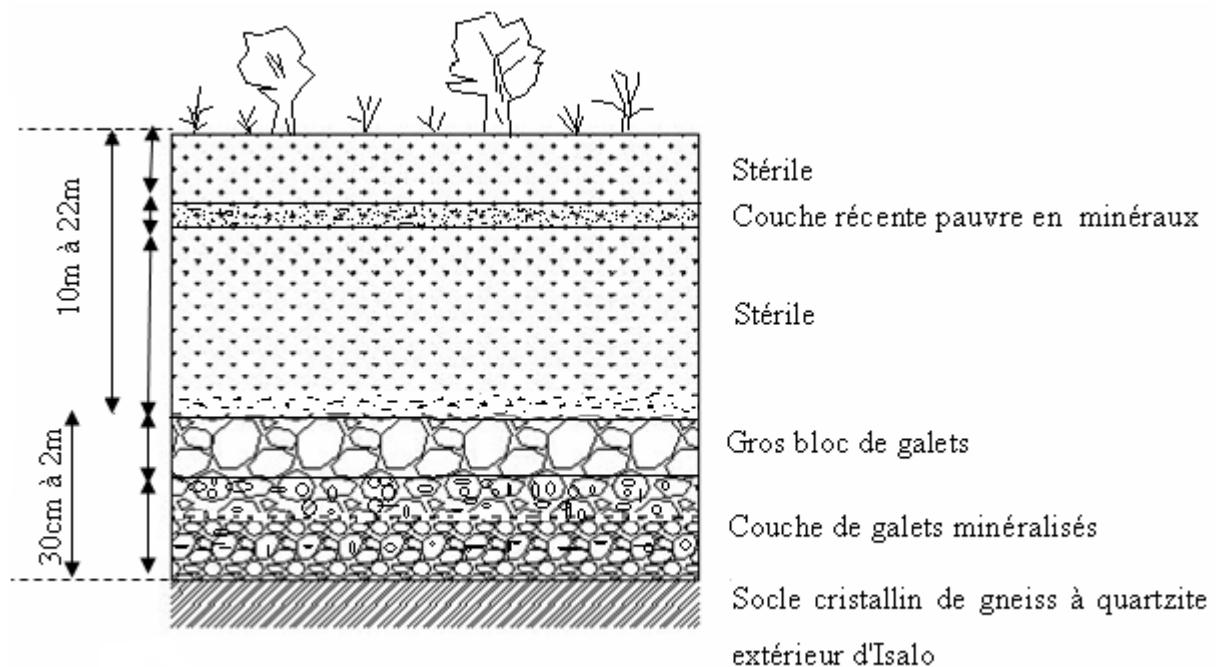
Du point de vue géologique, la terrasse d'Ampasimamitaka est de type alluvionnaire extérieur aux dépôts isaliens. Elle s'est formée dans des zones tectoniquement actives de soulèvement des croûtes terrestres, sous l'influence d'événement orogénique. Les minéralisations primaires sont entraînées par l'eau courante et les minéraux lourds dont le saphir fait partie se déposent au fond du lit de rivière, là où la vitesse de l'eau est réduite à



une valeur inférieure à la vitesse critique à laquelle les minéraux lourds sont maintenus en suspension.

Ces dépôts sont recouverts d'autres formations, on a donc une séquence sédimentaire dont la couche la plus récente se situe sous la couverture végétale. Cette dernière est suivie d'une couche épaisse de 10 à 22 m constituée par des grès argileux jaunâtres faiblement cimentés, dépourvus des gros blocs. Certaines parties montrent des colorations rouges teintées de blancs correspondant à l'argile kaolinique. Au-dessous de cette couche gréseuse se présente une couche d'épaisseur très variable allant de 30 cm à 2m composée : de boulders, de galets émoussés et du sable, où les minéraux lourds se concentrent. L'observation sur terrain ainsi que l'étude géologique effectuée auparavant nous permet d'en tirer ces résultats.

La coupe géologique ci-dessous nous illustre la description précédente :



**Figure n°03 Coupe généralisée du gisement
II-3-2- Pétrographie [6]**

Le gisement se situe dans la feuille Sakalama. L'encaissant est formé en majorité par des schistes cristallins et par des roches à faciès migmatitiques. Les schistes cristallins se rattachent à deux ensembles bien distincts qui sont:

- le Système Androyen
- et le Système du graphite



a) Le système Androyen:

Le Système Androyen occupe la 2/3 de la zone cristalline de la Sakalama. Pétrographiquement, les formations rencontrées se divisent en deux faciès: la série des leptynites et la série de gneiss qui se succèdent à peu près régulièrement. Elles sont intercalées par des pyroxénites, principalement, des leptynites, des quartzites, des amphibolites et des cipolins.

En matière de roches ignées, on rencontre: les granites, les pegmatites et les syénites. Le faciès charnockitique a été aussi noté en de rares endroits.

b) Le Système du Graphite:

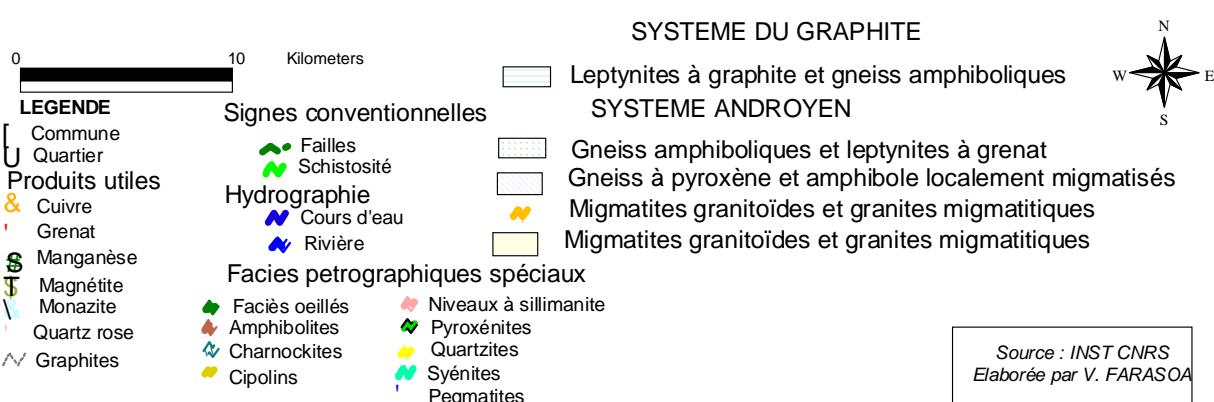
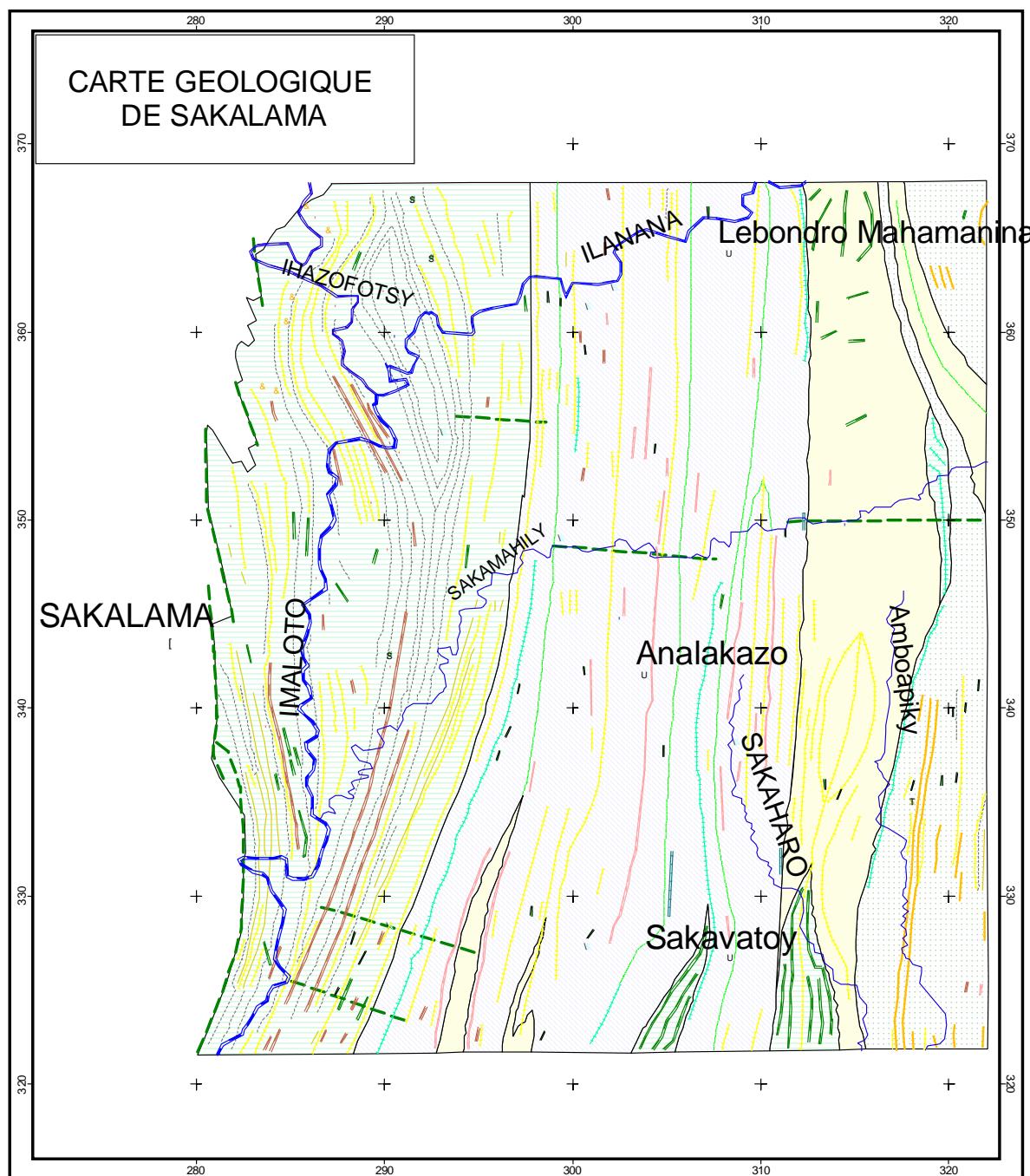
Il montre des roches caractérisées par la présence quasi-constante du graphite. Il s'agit des leptynites, des gneiss, des quartzites et des cipolins. Les amphibolites et les pyroxénites sont assez rares.

Les pegmatites complètent les formations dans ce système. Rappelons que la cordiérite, la sillimanite et également le grenat sont les minéraux fréquents ou abondants des schistes cristallins.

Plusieurs chercheurs ont publié leur interprétation de la géologie du socle cristallin malgache (Hottin et Vachette en 1976, Collins en 2000 puis Collins et Windley en 2002). D'autres travaux sont encours, mais toutes ces conceptions se sont en général, basées sur celles de Besairie, du moins sur le plan lithologique.

Ainsi, l'esquisse géologique de Sakalama élaboré par Rakotonanahary en 1966 nous permet de déterminer ces systèmes suscités.





Carte n°06: Carte géologique de la région 1966: I. 57



L'analyse de l'état actuel du site consiste à décrire brièvement l'organisation ainsi que les divers travaux se déroulant dans la carrière, examiné durant notre terrain. Ceci est dans le but d'analyser les différents paramètres du projet actuel, afin d'optimiser l'exploitation du saphir qui est l'objet du travail.

III-1- Caractéristique de la carrière

III-1-1- Aperçu global de la disposition du périmètre d'exploitation

Le gisement d'Ampasimamitaka a été exploité de façon artisanale puis fut repris par la société en 2002. Comme nous avons décrit précédemment la situation générale de la carrière; il est intéressant de représenter le schéma simplifié de notre zone d'étude, illustrée par la figure ci-dessous :

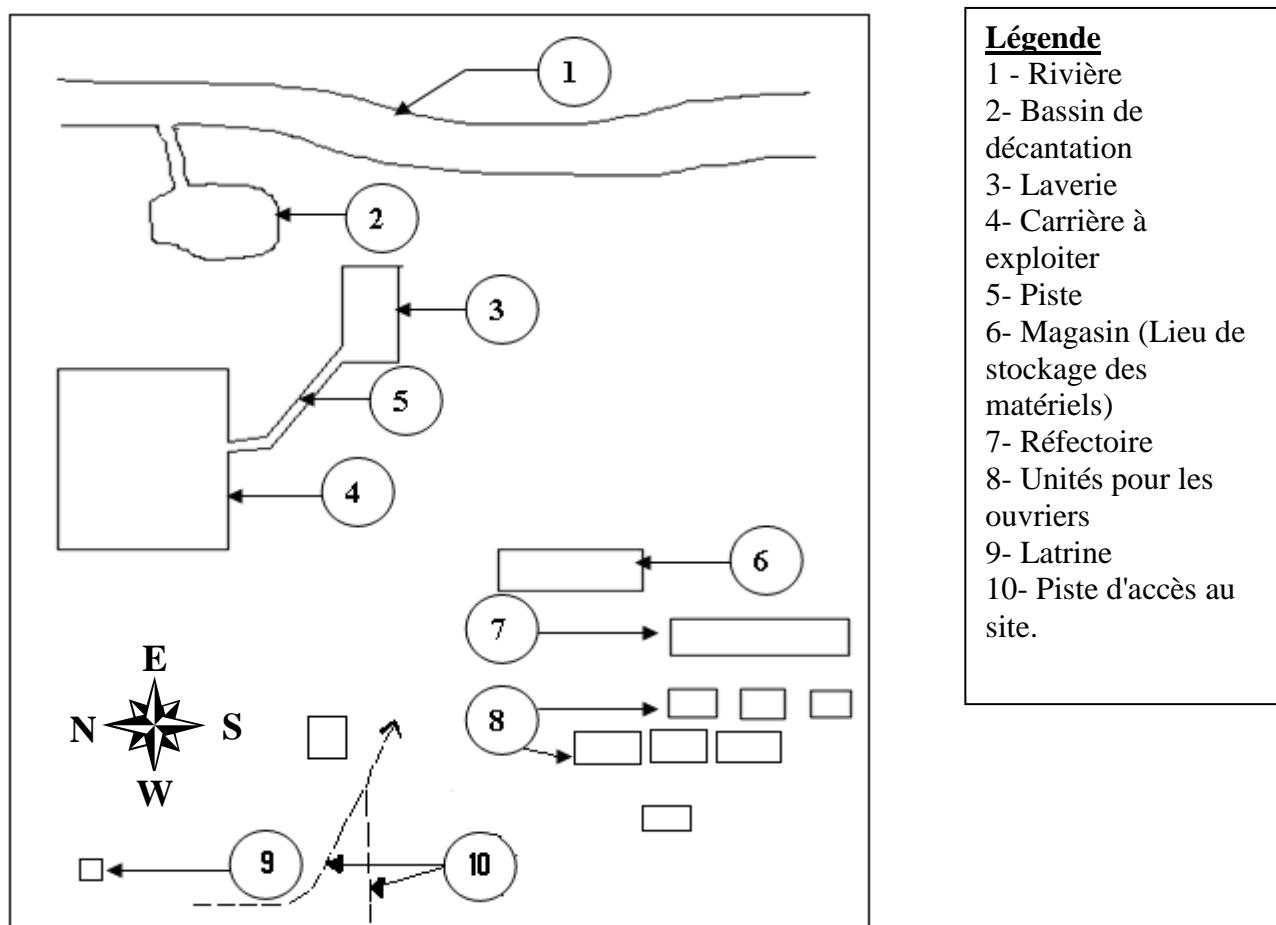


Figure n°04 Plan de masse simplifié du chantier



III-1-2- Mode d'exploitation

Deux modes d'exploitation minière existent, la mine à ciel ouvert et la mine souterraine. Une exploitation à ciel ouvert consiste à enlever les morts terrains couvrant les zones minéralisées et à extraire les roches contenant les substances utiles. Les minerais sont ensuite transportés vers la laverie ou le système de traitement.

L'exploitation se fait dans une mine souterraine lorsque le gisement est situé en profondeur. Un réseau de galeries très structuré est creusé de façon à atteindre le gisement. Ces réseaux mesurent souvent plusieurs dizaines de kilomètres de long. Cette exploitation est plus coûteuse que l'exploitation d'une mine à ciel ouvert et demande une gestion et une machinerie plus complexe.

Comme le cas le plus répandu à Madagascar l'exploitation minière se fait à ciel ouvert. Ainsi, l'exploitation du saphir dans la zone cible par la présente étude est une exploitation à ciel ouvert.

III-1-3- Méthode d'exploitation

La forme géométrique des chantiers d'abattage qui est l'élément principal pour définir les méthodes d'exploitation² : soit par tranches, soit par gradins droits ou renversés, soit par sous niveaux, soit par longs trous, etc.

D'une manière générale, d'après notre constatation la méthode appliquée à l'exploitation du gisement n'est pas bien définie. Cependant, on peut l'assimiler à la méthode d'exploitation par "stripping". Cette méthode consiste à tracer plusieurs carrés de 30m x 30m dans la zone vierge, puis les abattre une à une, les morts terrains remblaient ainsi les zones extraites.

III-1-4- Description des matériels utilisés sur le site

► Prospection systématique:

- Théodolite
- Niveau
- Boussole
- Marteau géologique

► Décapage :

- Motopompe, pour l'adduction d'eau

² Cf. annexe 8



- Bulldozers de type D7H et D6H pour le défrichement des couvertures végétales
- Pelle hydraulique de type CAT 320-128HP pour le décapage.
- Tuyau plastique de diamètre 8 pouces
- Canon de débourbage

► Abattage :

- Pelle hydraulique de type CAT 320-128HP pour l'abattage
- Grizzly

► Chargement :

- La même pelle hydraulique.

► Transport :

- Deux camions à benne basculante

► Traitement

- Matériels de laverie (grizzly, trémie, trommel, quatre jigs ,...)
- Groupes électrogènes 135 KVA
- Système de démarrage

► Accessoires

- Poste de soudure
- Groupes électrogènes
- Réservoirs d'eau et de gasoil
- Flotteur pour le moteur de la motopompe
- Motopompe pour adduction d'eau
- Tuyau plastique de diamètre 8" (longueur variable selon la distance de lieu du traitement et du bassin de rétention)

III-2- Déroulement des travaux de la mine

III-2-1- Décapage du stérile

Ce travail consiste à enlever la couverture de terrains sus-jacents appelés morts terrains par des terrassements découvertes jusqu'au mineraï.

Les morts terrains sont constitués essentiellement par des couvertures végétales ainsi que d'une formation tendre de 10 à 30 m d'épaisseur comme nous l'avons précédemment décrit. Quant aux matériaux tendres, le décapage est fait par une machine



telle que la pelle hydraulique à chenille suivie par arrosage d'eau, se déroulant de la façon suivante:

- on tranche un canal de 2m de large et de 1m de profondeur à l'aide de la pelle pour délimiter la zone à décaprer.
- Après défrichement, on arrose avec l'eau sous pression à l'aide du canon de débourbage. Les terres éboulées sont ensuite dégagées par la pelle et déposés à l'endroit destiné.
- Après le décapage du stérile, on obtient donc une plateforme, sur laquelle affleure la couche minéralisée.

III-2-2- Abattage du mineraï

Comme la terrasse se présente sous deux niveaux de formation bien distincte dont le niveau supérieur est constitué par des stériles qui varie de 10 à 22 m, et le niveau inférieur se présente sous forme d'une couche dont l'épaisseur varie entre 30 cm et 2 m. Ce dernier niveau est constitué par des boulders, des galets émuossés et du sable.

Après le décapage du niveau supérieur, on procède à l'abatage du niveau inférieur. L'abatage se fait par pelle hydraulique, on creuse directement cette couche par la pelle pour récupérer les minérais. Plus la couche à galet sera épaisse moins elle sera minéralisée. Cependant, le bed rock cristallin peut être un piège naturel en forme de riffle.

De plus cette zone minéralisée est inondée par l'eau de la nappe phréatique, or l'exploitation du saphir nécessite un nettoyage total du bed rock d'où la nécessité d'évacuer l'eau.

III-2-3- Exhaure

Pour évacuer les eaux stagnantes de la plateforme contaminés par la nappe en dessous, on creuse un petit caniveau qui déverse l'eau dans la rivière située à côté. C'est le système d'exhaure. Quand l'exploitation de la mine n'atteint pas un certain niveau, niveau du chenal d'exhaure, l'eau de mine s'évacue naturellement suivant ce chenal. Mais pour les travaux au-dessous de ce niveau le recours au pompage s'impose.

Le pompage consiste donc à aspirer l'eau au dessus du bed rock pour le nettoyage totale de ce dernier par une motopompe.



III-2-4- Triage des gros blocs

Les matériaux abattus sont composés de blocage de granulométrie très variée allant de la poussière jusqu'au gros bloc de 50 cm de diamètre. Il est donc nécessaire de trier ces gros blocs inutiles qui perturbent les opérations postérieures. Le triage se fait par l'intermédiaire d'un grizzly.

Directement après l'abattage, la pelle déverse les matériaux au niveau du grizzly qui sépare les gros blocs des petits galets minéralisés avant de transporter ce dernier vers l'unité de traitement.



Photo n°09: Triage des gros blocs

III-2-5- Chargement

Il est encore assuré par la pelle hydraulique avec un godet de 1 m³. Ce dernier récupère le mélange (couche de galets minéralisés) qu'on vient de trier sur le grizzly et les chargent dans l'engin de transport. On dispose deux pelles mais durant notre mission, l'une est encore en panne. En moyenne, on a 8 godets pour remplir le camion d'où 8 m³ de minerai transporté par voyage.



Photo n°10: Une pelle hydraulique à chenille en cours de chargement

III-2-6- Transport

La distance entre la carrière et le lieu de traitement est environ de 100 m en moyenne. Mais il est à noter que cette distance varie suivant l'emplacement de la surface à décapier.

Deux camions à bennes basculantes assurent la desserte du minerai vers la laverie. Le camion de carrière ou dumper est assez différent des camions routiers : roue de grand diamètre, châssis haut, benne très large. La charge utile atteinte est de 50 tonnes, on arrive actuellement à 100 tonnes avec une puissance de 200 à 500 cv. Le camion a une vitesse de déplacement de l'ordre de 60 km/H, mais il se déplace à 20 km/H pendant la durée de travail. La benne basculante avec porte arrière est fermée pour empêcher la chute des mélanges déversés par la pelle.

La capacité d'un camion est de 12 m^3 avec un coefficient de remplissage 0,85 d'où 10 m^3 de minerai transporté; celle-ci constitue la valeur maximale que peut porter ce camion, mais sa capacité dépend surtout du nombre de godets qui le remplissent. En effet, elle varie de 7 à 10 m^3 par voyage.

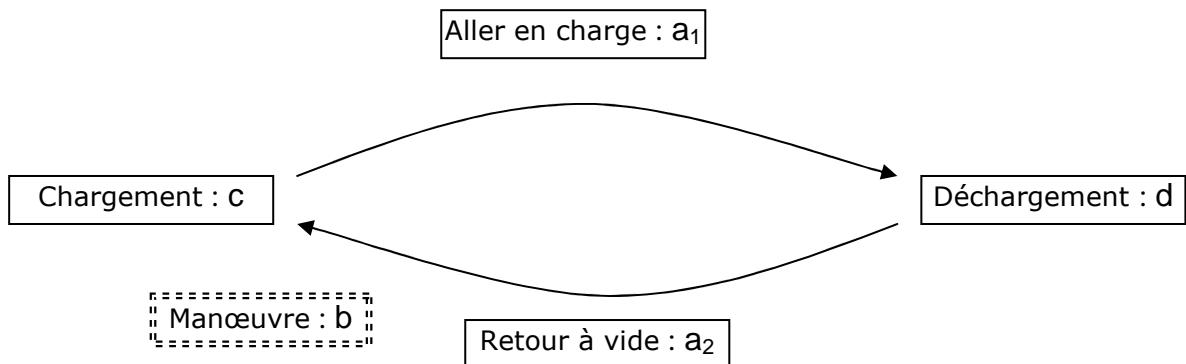
a) Cycle de transport :

Le cycle de transport est le tour effectué par un camion pendant un voyage, ce qui comprend : le chargement, aller en charge, manœuvre, vidage et retour en vide. Il n'est pas fixe, il varie selon :

- La longueur du parcours (la distance entre le lieu de lavage et le plateforme à exploiter qui n'est pas toujours fixe);
- La performance de la pelle qui assure les opérations de décapage, l'abattage, l'alimentation du grizzly et le chargement du camion;
- Le temps d'attente;
- Le fonctionnement des appareils à l'unité de traitement : leur débit et alimentation;
- L'existence des accidents et/ou pannes inopinées.

Dans notre cas, on devra faire une généralisation des valeurs obtenues sur terrain qui compte 15 à 32 voyages par jour en moyenne pour pouvoir déterminer le cycle du camion. Ainsi, ce dernier est représenté par l'allure suivant :





Notons :

- a_1 : le parcours aller en charge;
- a_2 : le trajet retour à vide (du point de déchargement au point de charge)
- b : le manœuvre. On remarque que le camion fait marche arrière pour aller vers le lieu de chargement.

Soit t_{a_1} : le temps nécessaire pour parcourir a_1 ;

t_{a_2} : le temps nécessaire pour parcourir a_2 ;

t_b : le temps de manœuvre;

t_c : le temps de chargement;

t_d : le temps de déchargement.

Avec

$$T = (t_{a_1} + t_{a_2}) + t_b + t_d + t_c$$

Où T : Durée d'un cycle

D'après les mesures et les chronométrages effectués sur terrain, on peut déterminer la durée d'un cycle. Puisque le front évolue toujours, on doit considérer une distance moyenne qui peut représenter tous les parcours possibles. Dans ce cas, les différents essais de chronométrage nous donne la moyenne suivante :



	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essaie	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai	5 ^{ème} essai	Moyenne
Chargement	3 min 10s	2 min 56s	3 min 48s	3 min 16s	3 min 12s	3 min 16 s
Parcours en charge	1 min 05s	50s	1 min 12s	1 min 11 s	1 min 01s	1 min 03 s
Manœuvre	1 min 04s	1 min 10s	52s	1 min 06s	1 min	1 min 02 s
Déchargement	7 min 39s	9 min 52s	10 min 01s	11 min 16 s	7 min 24s	9 min 14 s
Retour à vide	2 min 07s	1 min 50s	2 min 12s	1 min 57s	1 min 25 s	1 min 54 s
Cycle	15 min 05s	16 min 38s	18 min 05 s	18 min 46 s	14 min 02 s	16 min 29s

Tableau n° 07 Mesure du cycle de transport

La durée moyenne du cycle "t" est de 17 min. Le trajet moyen parcouru pour ce cycle est environ de 100 m.

De plus, on remarque que le temps mort du camion avant le chargement et le déchargement est très variable. Il varie de 6 à 30 min. Le temps mort est composé :

- de l'attente avant le chargement et le déchargement ;
- de l'attente pour accidents et/ou pannes inopinées qui ne sont pas grave sur les engins ou sur les appareils à l'unité de traitement ;
- de l'entretien courante des machines.

On le note "t'", Il a donc pour moyenne 18 min.

D'où la durée totale du cycle T vaut :

$$T = t + t'$$

AN : $T = 17 + 18 = 35 \text{ min}$

Comme la durée moyenne de travail est de 9 H/j, le nombre de cycle que peut effectuer un camion pendant une journée sera :

$$n = \frac{9 \times 60}{35} = 15,42 \text{ cycles / jour}$$

Arrondie à n = 15 cycles / jour

On a deux camions, d'où le nombre du cycle de transport N dans une journée vaut:

$$N = 15 \times 2 = 30 \text{ cycles / jour}$$

Au stade actuel d'exploitation, le cycle de camion par jour est estimé à 30 cycles. Le cycle représente le nombre de voyage effectué par le camion.



b) Cubature du camion :

En comptant le nombre de godet qui remplisse le camion, la valeur obtenue est de 8 m^3 de minerai transporté par voyage. Les deux camions feraient donc $30 \times 8 = 240 \text{ m}^3$ de production journalière de minerai.

c) Rendement :

D'après l'étude précédente, on peut déterminer le rendement "r" à l'aide de la formule ci-dessus :

$$r = \frac{Ps}{Qg} [\text{g / m}^3]$$

Dont Ps : production journalière de saphir (évaluation de production: en page 100)

Qg : Quantité journalière du minerai gemmifère

AN: $r = \frac{74}{240} = 0,3 \text{ [g / m}^3]$



III-2-7- Traitement du minerai

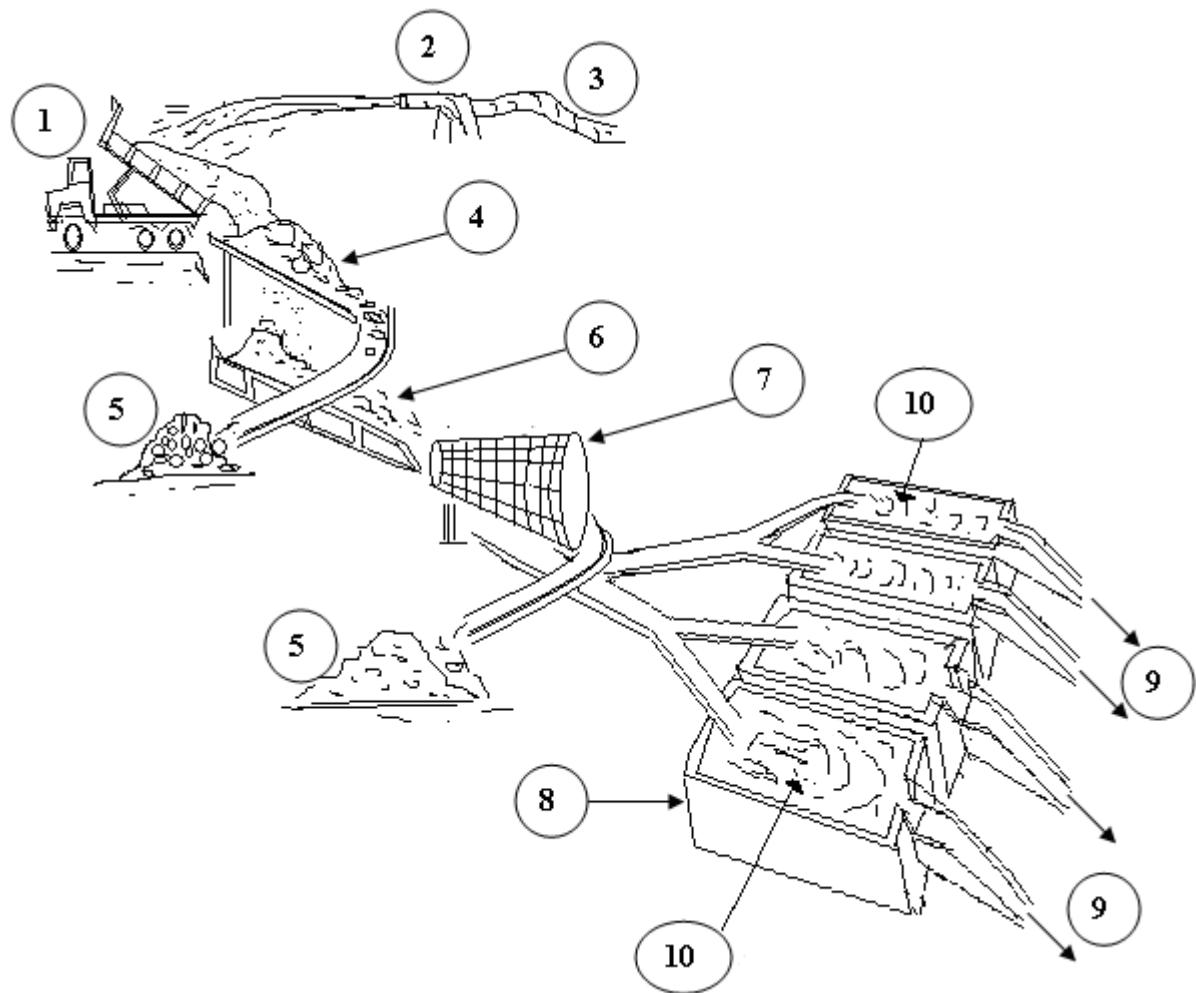


Figure n°05 Flow-sheet de laverie

Légende :

- | | |
|---------------------------|--|
| 1 : Déversement du camion | 6 : Trémie |
| 2 : Canon de débourbage | 7 : Trommel |
| 3 : Tuyau d'eau | 8 : Jigs |
| 4 : Grizzly | 9 : Sortie eau + boue |
| 5 : Blocage de stérile | 10 : Petit galet minéralisé à trier à la main. |

Arrivé au site de lavage, le camion déverse les matériaux gemmifères sur un autre type de grizzly, allongé horizontalement sur la trémie. Ce dernier empêche les gros blocs d'y pénétrer. Pour faire écouler facilement les matériaux dans le système, on arrose avec un jet d'eau à haute pression par l'intermédiaire d'un canon de débourbage dès qu'ils seront



déversés. Ensuite, le mélange s'écoule vers le trommel. Celui-ci est une sorte de séparateur cylindrique en tôle perforé, animé d'un mouvement circulaire suivant son axe de rotation horizontale et entraînée par un moteur électrique. Il sépare aussi les fragments de cailloux stériles laissés passer par le grizzly. En effet, les cailloux de diamètre supérieur aux trous sont rejetés à travers une sortie : ce sont les refus tandis que les passants seront récupérer dans un canal situé au-dessous du trommel.



Photo n°11: Le trommel

a) Schéma de fonctionnement du trommel:

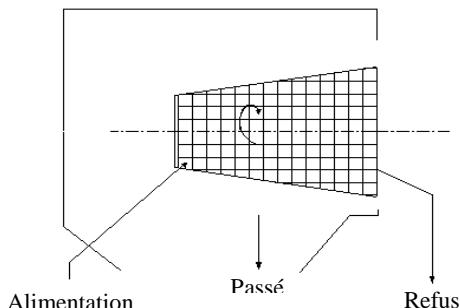


Figure n°06 Schéma de fonctionnement du trommel

Enfin, les passants du trommel subissent la séparation gravimétrique sur le jig. Le jig permet de séparer de façon gravimétrique deux particules solides de nature différente dans l'eau par la mise en suspension de l'une et la précipitation de l'autre. Il est constitué de :

- Un diaphragme en caoutchouc animé d'un mouvement circulaire excentrique : en pression et en succion entraîné par un moteur électrique. Il a pour pulsation environ de 218 bat / min.
- Un crible fixe qui permet une stratification de la couche des particules et aussi la classification volumétrique des minéraux lourds.



Le système est composé de deux jigs placés en parallèles et la pente d'inclinaison varie de 1 à 9 cm.

Les minéraux lourds sont déposés au fonds de l'appareil tandis que les particules légères vont être évacuées à la surverse. Les déchets sont constitués essentiellement par des boues et des sables fins mélangés avec l'eau ; tandis que les minéraux lourds sont piégés au fond du matériel.



Photo n°12: Le système du jiggeage

b) Schéma de fonctionnement d'un jig:

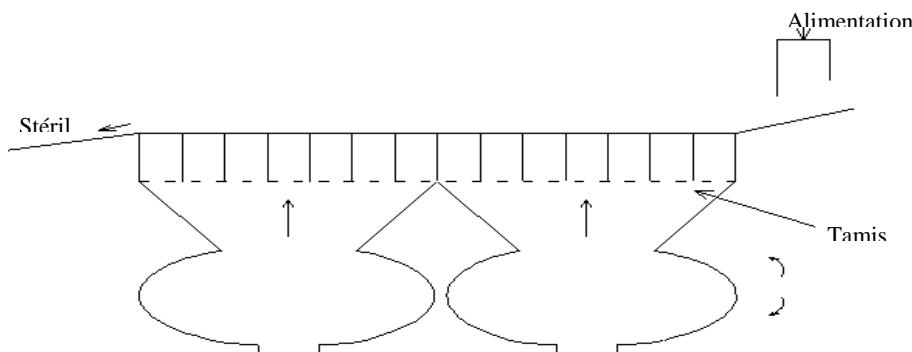


Figure n°07 Schéma d'un fonctionnement d'un jig

A noter que le système de traitement est assuré par une boîte de contrôle et de démarrage, alimenté par un groupe électrogène OLYMPIAN GEP 110 KVA à 380 V qui doit être chauffé 30 s avant le démarrage.

III-2-8- Triage et stockage

Une fois le lavage fini, le concentré (mélange « balatakatra »- saphir) se récupère dans les 6 premiers couloirs de la jig à la fin de la journée. Les saphirs sont triés immédiatement sur le jig, ensuite les mélanges se sont transportés dans des sacs pour pouvoir les séparer une seconde fois dans un lieu de triage se trouvant près du camp. Les ouvriers avec des superviseurs trient les pierres gemmes et les mettent dans un sachet afin de les peser et de les stocker dans la salle du superviseur.



PARTIE III:

AMELIORATION DE L'EXPLOITATION

DU GISEMENT ET DU TRAITEMENT

DE SAPHIR

I-1- Du point de vue économique

Le saphir est la première pierre précieuse la plus exploitée à Madagascar. Le pays se spécialise en exploitation qu'en transformation.

L'amélioration a donc pour objectif de bien planifier l'exploitation du gisement et les travaux de traitement afin de trouver les conditions optimales d'exploitation et du traitement pour maximiser la production et minimiser les coûts tout en tenant compte de la préservation de l'environnement.

I-2- Du point de vue géologique [5]

Du point de vue géologique, on exploite la gemme dans le gisement secondaire que ce soit éluvionnaire ou alluvionnaire, déposée dans les pièges du socle cristallin. Elle est donc facile à extraire.

A cet effet, de nombreux exploitants recourent à ce travail même si la plupart d'entre eux ne savent qu'avoir la pierre sans utiliser ni une méthode d'exploitation rationnelle ni de penser à la préservation de l'environnement.

Une méthode d'exploitation rationnelle contribue donc à la protection des reliefs terrestres et à la prévention des risques pouvant survenir durant l'exploitation (éboulement).

I-3- Du point de vue technique

Une fois qu'on pense à réaliser un projet d'exploitation, il est surtout indispensable d'avoir une meilleure organisation de travail et aussi une harmonisation des tâches sans oublier les études technico-économiques. A priori on choisira les techniques les moins chères, un coût de revient minimum afin d'augmenter la marge bénéficiaire.

Cette étude se présente alors comme un appui technique d'exploitation aux opérateurs miniers. Il contribue à l'élaboration d'un guide, d'un soutien et d'un encadrement technique direct ou indirect des opérateurs miniers; un apport d'orientation sur les méthodes et les

techniques appropriées et adaptées pour faciliter la réalisation de leurs travaux d'exploitation ainsi qu'une collaboration avec la société concernée.

L'amélioration vise donc à analyser les différents problèmes existants, à élaborer la meilleure technique d'exploitation du saphir, ainsi qu'au traitement.

En bref, l'objectif principal c'est d'avoir le maximum de rendement avec le minimum de dépense et du temps, ceci dans le respect des normes environnementaux. Par conséquent, la protection de l'environnement fait partie de l'optimisation de l'exploitation.

L'étude influe donc sur le coût d'exploitation annuel, le bénéfice annuel, soumis à des contraintes techniques ou économiques qui se sont imposées par la morphologie du gisement, suivi par les capacités des différentes installations mise en œuvre ainsi que les divers matériels et engins utilisées.

Chapitre II. ANALYSE DES PROBLEMES

L'exploitation de saphir à Ampasimamitaka est mécanisée et sophistiquée. Cependant, on y trouve des problèmes vis-à-vis de l'extraction, du traitement, et de l'organisation de travail. Ces problèmes minimisent le taux de rentabilité de l'exploitation et entraînent des impacts négatifs sur l'environnement.

De ce fait en tant que futur Ingénieur, spécialité Mines, nous avons apporté notre contribution à l'amélioration de la condition d'exploitation minière, tout en analysant les problèmes existants sur les diverses opérations et en apportant des solutions appropriées. Parmi ces problèmes, on peut citer entre autre:

- au décapage et à l'abattage ;
- sur l'unité de traitement ;
- au niveau des engins et matériels ;
- au niveau de l'organisation du personnel

II-1- Les problèmes rencontrés au décapage et à l'abattage

Durant notre visite, environ de 2 mois à Ampasimamitaka, on a constaté quelques problèmes au niveau du décapage et de l'abattage.

On remarque que le front d'attaque aux extractions n'est pas bien définie, on attaque de façon à atteindre les couches minéralisées à une hauteur de gradin de 22 m, ce qui entraîne effectivement la difficulté des travaux et le manque de sécurité.

En outre, l'étendue de la plateforme est insuffisante. Le mouvement de l'engin d'abattage est limité. Ainsi, la quantité des mélanges minéralisés est instable provoquant une influence directe sur la cubature du camion. Le triage n'est pas efficace, de gros blocs sont encore mélangés avec le mineraï lors du chargement sur le camion.

II-2- Les problèmes rencontrés sur l'unité de traitement

L'unité de traitement de saphir est représentée par le flow-sheet figurée en page 30, partie II. Les problèmes affrontés lors du lavage des couches minéralisées se trouvent en premier abord au niveau de la trémie. On remarque que la largeur de la trémie est assez

réduite provoquant un volume entassé des tout venants conduisant à l'engorgement des canaux d'évacuation vers le trommel.

Au niveau des Jigs, ils sont presque parfois bouchés, ce qui entraîne le déséquilibre du travail de lavage.

II-3- Les problèmes rencontrés sur les engins et matériels

Le vieillissement de certains matériels provoque des pannes et des arrêts fréquents du travail (motopompe occasion, pelle occasion), ce qui en résulte évidemment l'élévation du coût d'entretien et provoquant un taux d'utilisation des matériels moins bas.

II-4- Problèmes au niveau d'organisation du personnel

L'organigramme du personnel n'est pas respecté, la répartition des tâches est mal appliquée. En effet, quelques travaux sont délaissés et d'autres ne sont contrôlés que lors de la déclaration de la panne. Les personnels manquent de motivation et n'assurent plus le bon déroulement des travaux.

II-5- Etat de dégradation du site

Le sol est exposé à l'érosion provoquée par les eaux de pluies et déjà on assiste à un ensablement de la rivière. Ainsi, le niveau du fond de la rivière augmente et entraîne une élévation du niveau de l'eau en période de crue.

Le déversement en très grande quantité des sables et argiles par le lavage du minerai est la cause de la pollution de la rivière.

On constate aussi la perte de la valeur esthétique naturelle et récréative du chantier.

L'accumulation et la stagnation de l'eau de pluie dans le puits et les trous créés par les sondages antérieurs provoquent l'infiltration des eaux polluées dans la nappe phréatique.

Ces problèmes nécessitent des solutions efficaces. L'existence de nombreuses manières pour procéder à sa résolution nous efforce à trouver la solution optimale.

Dans ce chapitre on a opté dans la voie pratique de l'exploitation puisque les données théoriques ne tiennent pas compte de la réalité et les conditions réelles de travail.

La gestion des travaux d'exploitation, des matériels, du personnel, l'ordonnancement des travaux et la préservation de l'environnement constituent la base fondamentale de l'optimisation.

III-1- Amélioration sur les travaux d'exploitation

III-1-1- Prospection et étude géologique

La géologie stratigraphique est une méthode permettant d'analyser les dépôts successifs des sédiments et des vestiges qu'ils enserrent. Le but de l'exploitation de saphir est d'avoir un rendement de production maximal avec un minimum de temps. Une étude géologique permet donc de savoir où se trouvent les couches minéralisées.

La carrière d'Ampasimamitaka a été exploitée d'une façon artisanale, donc on ne fait plus des sondages d'exploration. Cependant, des échantillons de prélèvement restent utiles afin de visualiser l'épaisseur de la couche ainsi que la concentration des minéraux. Grâce aux études in situ, il en ressortira l'estimation de la réserve et on pourra formuler le planning de l'exploitation.

Pour ce faire, on procède à la prospection systématique en respectant les étapes suivantes :

- Elaboration des levées topographiques afin de tracer la carte et la planimétrie de la région.
- Forages et étude géostructurale permettant d'obtenir des échantillons qui donnent l'indice sur l'épaisseur du gisement notamment la profondeur exacte du niveau basse de la terrasse, son extension et la qualité du produit à exploiter afin de définir un modèle de gisement soigné.
- Etude monographique donnant la géologie structurale, les tectoniques et les formations géologiques de la région.



III-1-2- Choix du mode et méthode d'exploitation

La mine à ciel ouvert se présente comme un grand trou exploité par palier. On choisit ce type d'exploitation lorsque le gisement est très étendu, localisé près de la surface et recouvert d'une couche relativement mince de mort terrain ou des roches stériles.

Dans notre cas, on a une vaste étendue de périmètre, couche de minerais dans une formation tendre. En tenant compte des différentes caractéristiques géologiques, des objectifs et de la sécurité d'exploitation du gisement, nous adoptons le mode d'exploitation à ciel ouvert.

⇒ D'où l'exploitation en découverte. C'est la façon la plus économique d'exploiter un tel gisement.

Ainsi, pour améliorer la production, faciliter les tâches de remise en état du site et éviter ainsi les grands travaux d'aménagement, nous essayons de voir la méthode d'exploitation rationnelle. Elle dépend de la forme et la structure du gisement, la nature du minerai à extraire, les matériels et engins utilisés, la production annuelle, etc. L'absence d'une méthode d'exploitation bien définie ou rationnelle provoque l'augmentation des responsabilités à l'instar des travaux d'aménagement.

Le site d'exploitation se trouve sur une colline assez large de sommet arrondi presque aplati. Le gisement est sous forme d'une couche horizontale d'épaisseur variable moyennement mince, posée sur une formation dure "le bed-rock" qui est aussi horizontale. En raison de l'instabilité des dépôts de sable et de graviers, le front de taille ne doit jamais mesurer plus de 8 à 9 m de hauteur pour que l'exploitation puisse se faire en toute sécurité.

Quand les dépôts atteignent une profondeur de 20 à 30 m comme dans notre cas, on procède souvent à l'exploitation en gradins ou en escalier.

⇒ Pour ces raisons on choisit la méthode d'exploitation par tranches horizontales simultanées ou par stripping.

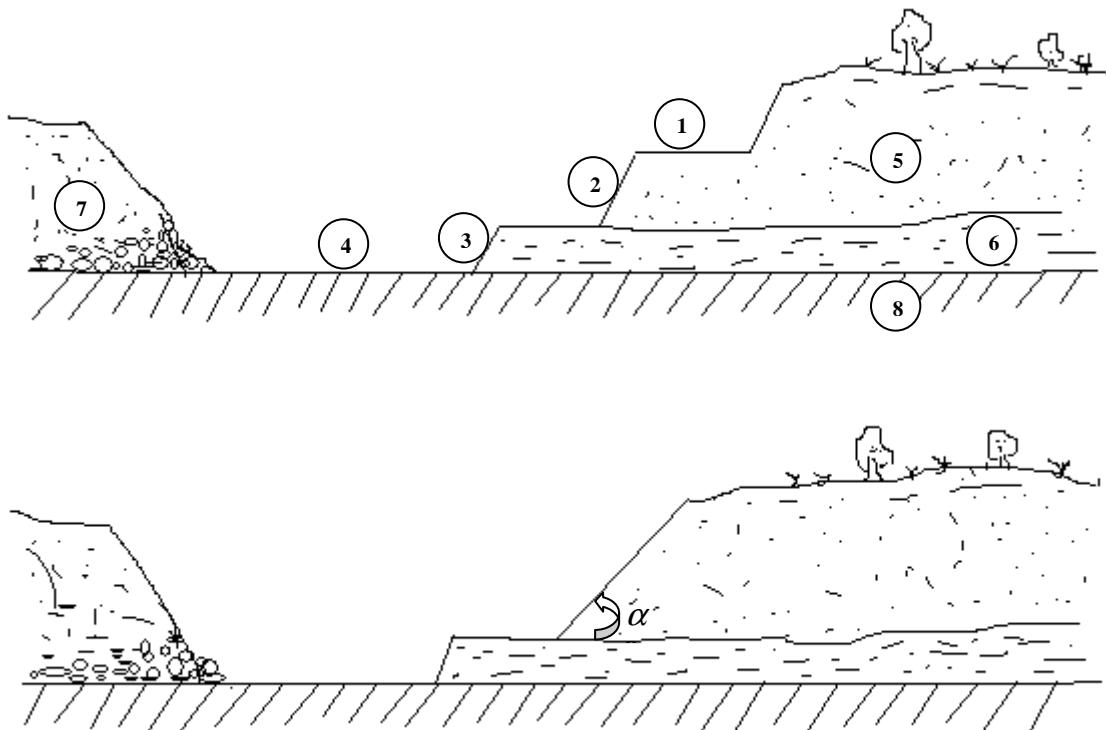
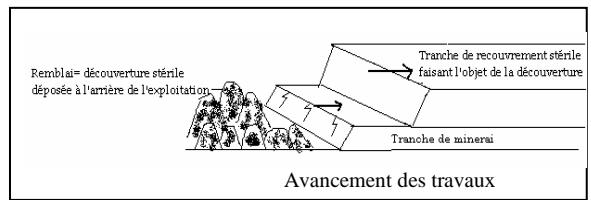


Figure n°08 Méthode d'exploitation par stripping

Légende :

- | | | |
|-----------------------|--------------------|---------------------------|
| (1) : Gradin | (4) : Plateforme | (7) : Dépôt de stérile |
| (2) : Front de taille | (5) : Mort-terrain | (8) : Bed rock |
| (3) : Front d'attaque | (6) : Minerais | α : Pente de talus |

a) Description de la méthode par stripping :

Cette méthode consiste à décapier le stérile en dessus, puis abattre les minerais et à remblayer les stériles dans les zones abattues. Dans ce cas, il faut bien définir les lignes de front et les gradins ainsi que la plateforme d'exploitation tout en respectant le gradin intercalaire et l'angle de talus.

La méthode d'exploitation par stripping nommée encore méthode par tranches horizontales simultanées se traduit par la progression de l'excavation, qui se fait par tranches horizontales, conduites simultanément pour enlever en un seul passage la totalité de l'épaisseur verticale à exploiter. Le remblayage se fait de façon continue à l'arrière de l'exploitation. Le schéma suivant représente la méthode:

b) Paramètre de la méthode :

La méthode par tranches horizontales consiste donc à faire un abattage suivant des tranchés. Elle est déterminée par les caractéristiques ci- après:

- Largeur de la banquette: 6m
- Hauteur du gradin: 8m à 10 m;
- Pente du talus: 60° vu que les mort terrains sont des latérites.

c) Avantage de la méthode :

Cette méthode d'exploitation permet une harmonisation des différentes tâches avec un taux de récupération élevée des minéraux gemmifères. Elle simplifie la restauration des lieux après la fermeture de l'exploitation et d'en réduire le coût. Ainsi, le fond d'une exploitation à ciel ouvert est relativement plat et sans trous.

III-1-3- Décapage

La création d'une plateforme débute les travaux. Pour ce faire, vu la forme de gisement et sa structure, on adopte le décapage hydraulique (à l'aide du canon de débourbage) tout en utilisant la pelle hydraulique car le sol est meuble et dépourvu de roche dure. L'arrosage d'eau est nécessaire pour mouiller le terrain afin de faciliter le travail de la pelle. Cependant, il faut bien tracer la ligne de front et préciser la pente du talus pour éviter l'éboulement.

Il est aussi préférable que la terre végétale soit séparée des stériles pour faciliter la tâche de la reconstitution.

Comme on a une carrière assez espacée, il est à conseiller que les travaux de décapage soient simultanés avec les travaux d'abattage en deux petits carrés différents dans le but d'assurer une charge de travail constante et une production constante. C'est la raison pour laquelle, on a proposé deux pelles.

En outre, on a deux types de décapage [5] : avec et sans eau dont en voici les inconvénients et avantages des deux cas :

Type de décapage	Décapage sans eau	Décapage avec de l'eau
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ▪ exploitation possible de petits gisements dans une zone, ▪ exploitation sélective possible 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ faible coût d'exploitation ▪ meilleures possibilités de contrôle du vol ▪ seule option viable pour les gisements contenant de grandes quantités d'eau
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ▪ coûts opérationnels élevés ▪ nécessité d'un terrain stable pour mettre en place l'équipement 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ taux de récupération faibles du décapage ▪ risques environnementaux plus élevés que dans une extraction sans eau ▪ grandes quantités d'eau nécessaires

Tableau n° 08 Avantages et inconvénients du décapage en présence et en absence d'eau.

- Ratio de décapage

Le ratio de décapage permet de définir la quantité moyenne de stérile à déplacer pour extraire une unité de minerai. Suivant l'exploitation, il pourra s'exprimer par la relation:

$$R = \frac{S}{M} [m^3 / m^3][t / t][m^3 / t]$$

S : Stérile
M : Minerai

Pour obtenir 2 m³ du minerai gemmifère, on doit extraire 10 m³ de stérile d'où:

$$R = \frac{10}{2} = 5 ; \quad R = 5$$

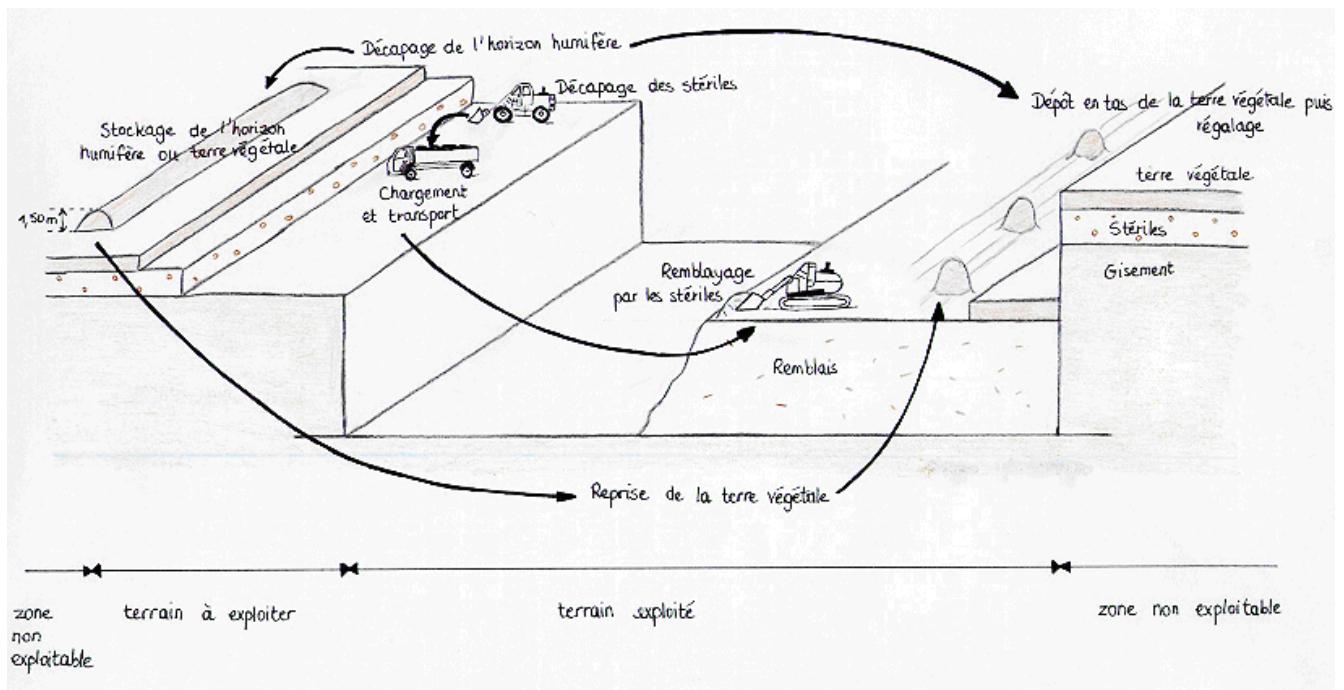


Figure n°09 Les différentes opérations de décapage et d'abattage

III-1-4- Abattage

L'abattage c'est l'opération qui consiste à extraire le mineraï d'un gisement. Comme chaque gisement est différent, plusieurs facteurs doivent être pris en considération dans le choix d'une méthode d'extraction. Les facteurs considérés sont la forme, la taille et la position (horizontale ou inclinée) du gisement, les types de roche qui l'entourent, de même que la teneur en métaux de valeur du mineraï. Choisir la bonne méthode peut engendrer une énorme différence en ce qui a trait aux profits.

Pour l'exploitation du saphir, les excavations suivent les dépôts de graviers que l'on appelle "lalam-bato" littéralement : le chemin des pierres. L'exploitation cesse habituellement lorsque le niveau phréatique est atteint, car en creusant au-delà, on risque de provoquer de graves problèmes de drainage. Une exploitation à ciel ouvert peut se transformer très rapidement en lac. D'où le système d'exhaure³.

³ Cf. Partie II; page 41

Ainsi, on prospecte la zone minéralisée constituée par une couche de galets moyennement mince qui est inondée par l'eau aquifère en dessous, d'où une formation tendre. Quant aux matériaux tendres, l'abattage est fait par une machine telle que:

- la pelle à godet
- l'excavateur à godet
- la dragline
- la roue -pelle

Dans notre cas, l'utilisation d'une pelle à godet est suffisante pour l'abattage. Seulement, il faut respecter les paramètres d'exploitation suivant la norme technique, à savoir:

- la largeur du gradin doit être accessible aux engins : 6 m
- l'étendue de la plateforme doit être suffisante pour leur manœuvre : ceci s'obtient en respectant la méthode d'exploitation proposée avec le carré de 30 m x 30 m pour chaque enlèvement.
- la limitation de la ligne de front qui facilite l'exécution du travail
- le respect de la pente ou angle du talus qui doit être proportionnelle à la hauteur du front pour assurer la sécurité de l'exploitation⁴.
- Amélioration de la maille du grizzly verticale en vue de la diminution des gros blocs à charger dans le camion.

En outre, pour une pelle les temps perdus sont de deux sortes :

- les attentes des camions
- l'entretien courant des machines.

On doit s'efforcer de supprimer les attentes des camions en versant directement le contenu de la benne dans ce dernier. L'entretien, par contre, doit être respecté sous peine de détérioration de la machine à plus ou moins longue échéance⁵.

III-1-5- Transport du mineraï

Le tracé de construction et l'entretien des pistes ont une influence directe sur le transport du mineraï. Plus la piste est étroite plus le temps du transport augmente. Vu que le souci prioritaire sur le chantier est de réduire la durée du cycle du camion. De ce fait, l'aménagement de la piste parallèlement au défrichement doit être effectué de façon qu'elle

⁴ Cf. Paramètre de l'exploitation, page 58.

⁵ Cf. Proposition des fiches d'entretien des engins, page 66.

ne soit pas boueuse pendant la période de crue, et poussiéreuse pendant la saison sèche tout en recouvrant des sables ou des matériaux calibrés deux fois par mois.

La largeur de la piste doit aussi être réglé à 6 m car un seul trajet est approprié pour le chantier pour le moment.

La pente moyenne est de 20%. Aussi avons-nous estimé la mise en place de la balise de sécurité au bord de la route qui favorise aussi la condition de travail.

Le transport des minerais influe donc sur la durée des travaux. Ce dernier est calculé à partir de la capacité et la performance des engins. De cette durée sortira le nombre d'heures de travaux qui donnera à son tour la consommation du carburant.

Il est aussi intéressant d'utiliser au moins deux nouveaux camions de transport pour qu'il n'y ait pas beaucoup de temps mort, du à l'attente de l'engin de chargement durant le voyage du camion déjà utilisé par la société. Mais d'une manière générale, la détermination du nombre de camion dépend de plusieurs facteurs, ce qu'on essaye de traiter dans le sous chapitre ultérieur⁶.

Ainsi, il faut aussi fixer le cycle de transport pour régulariser l'ordonnancement du travail. En utilisant deux camions, le cycle peut être représenté comme suit :

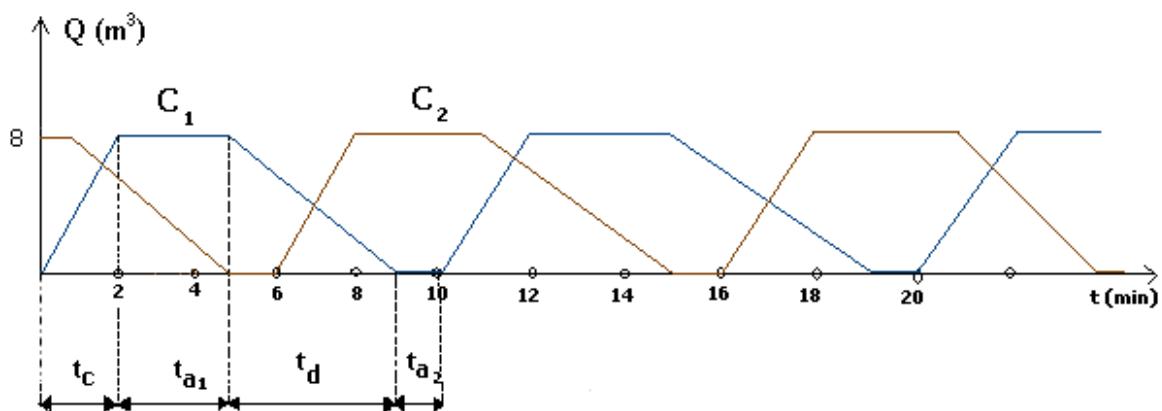


Figure n°10 Graphe d'utilisation des camions

Avec :

Q (t) : Quantités transportées

t_c : Durée de chargement

t (s) : Temps

t_{a1} : Durée d'aller en charge

C₁ : Le premier camion

t_d : Durée de déchargement

C₂ : Le second camion

t_{a2} : Durée du retour à vide

⁶ Cf. Amélioration sur les matériels, page 65.

Le cycle représenté ci-dessus nous permet de mieux organiser le travail effectué par le camion. La planification du transport du mineraï a une influence directe sur le cycle de transport. Ce dernier nécessite à son tour une amélioration.

•Amélioration du cycle de transport :

L'amélioration que l'on voudrait apporter se traduit par la diminution de la durée de cycle du camion. Mais celle-ci ne se traite pas à l'état d'isolement vu que les étapes d'exploitation sont liées entre eux.

En effet, d'après la constatation on arrive à remarquer que le temps de déchargement occupe une place importante pour un cycle de camion. Ce dernier varie de 7 à 10 min. voire plus. Cette durée s'explique par l'arrosage du camion tout en déchargeant, dans l'optique d'assurer un bon mélange du mineraï avec l'eau.

Cependant, ce dernier est assuré si on a un taux de récupération moins élevé, des gros blocs dans le tout venant tout en versant directement dans la trémie. Le temps de déchargement diminue évidemment de 3 à 5 min. Ce résultat peut être obtenu tout en améliorant le système de triage des gros blocs en aménageant le grizzly.

Le rythme de déchargement est aussi influencé par le fonctionnement du système de lavage. En effet, pour éviter le débouchement du système de lavage, il faut veiller sur le réglage de l'alimentation en eau, pente et longueur du jig, la pulsation du diaphragme ainsi que le contrôle permanent de l'ensemble de l'unité de traitement pour que le lavage soit équilibré. Ce qui va optimiser le résultat.

Ainsi, avec un temps de déchargement de 3 à 5 min., on a la durée moyenne du cycle t avec

$$t = (t_{a_1} + t_{a_2}) + t_b + t_c + t_d$$

où t_{a_1} : le temps nécessaire pour parcourir a_1 (a_1 le parcours aller en charge)

t_{a_2} : le temps nécessaire pour parcourir a_2 (a_2 le trajet retour à vide du point de déchargement au point de chargement)

t_b : le temps de manœuvre

t_c : le temps de chargement;

t_d : le temps de déchargement



devient:

$$t = 3 \text{ min } 16 \text{ s} + 1 \text{ min } 03 \text{ s} + 1 \text{ min } 02 \text{ s} + 1 \text{ min } 54 \text{ s} + 4 \text{ min} = 11 \text{ min } 15 \text{ s}$$

Après arrondissement, la durée moyenne du cycle "t" vaut de 12 min, avec une distance moyenne de 100 m, la durée totale du cycle T vaut :

$$T = t + t' = 12 + 18 = 30 \text{ min} \text{ (où } t' = 18 \text{ min).}$$

En bref, on a une amélioration de 5 min pour une cycle de camion, ce qui a une conséquence directe sur le nombre du cycle d'un camion n avec:

$$n = \frac{9 \times 60}{30} = 18 \text{ Cycles/jour}$$

Avec deux camions, le nombre du cycle de transport N devient:

$$N = 18 \times 2 = 36 \text{ Cycles / jour}$$

D'où $36 \times 7 = 252 \text{ m}^3$ de production journalière de mineraï.

III-1-6- Traitement

A ce stade, il consiste à laver les minérais pour pouvoir séparer les gros blocs stériles des matériaux gemmifères. Beaucoup de méthodes pourront être utilisées mais on choisit la plus rentable et la plus économique. Ainsi, on doit améliorer les matériels et techniques non efficace pour optimiser le rendement.

Vu le fonctionnement du système de lavage, on peut suggérer les idées suivantes :

- Régler le débit de la pompe afin que le système circule librement, pour assurer un bon mélange du mineraï.
- Elargir la capacité de la trémie pour éviter le blocage des matériaux.
- Après chaque travail, tout les soirs, on doit effectuer une visite périodique du matériel effectué par un agent qualifié pour la maintenance de tous les appareils ainsi que leur entretien. Ensuite de produire un calendrier de visite et une instruction de visite par appareil en mentionnant toute intervention ou réparation effectuée.
- Le triage des matériels gemmifères doit être effectué chaque soir quelles que soient les quantités des tous venants traités pour pouvoir curer les matériels de traitement périodiquement, ainsi on constate que plus la durée de lavage augmente, plus le taux de récupération des petites pierres diminuent.
- La surveillance du travail est aussi importante.

III-2- Amélioration sur les matériels

III-2-1- Choix des matériels

Pour bien entreprendre le bon fonctionnement de la société, il faut importer des matériels et équipements divers. Le choix des matériels est le pilier de l'exploitation car il assure l'avancement des travaux. Ainsi, l'importance de l'exploitation notamment la taille du gisement détermine les matériels à utiliser.

En outre, il ne faut jamais oublier que plus de la moitié des investissements seront destinés pour l'achat, la location et l'entretien des matériels. Donc le choix du matériel est une partie non négligeable dans l'optimisation de l'exploitation.

Dans ce cas, on résume que le choix du matériel tient compte de :

- La dimension du gisement et la capacité de la réserve
- La durée de l'exploitation
- Le rythme de la production journalière
- Le type et la nature du minerai à extraire
- L'état et la performance de la machine à choisir.

III-2-2- Choix de l'engin de transport

L'engin de transport courant est le camion de carrière ou dumper, connu aussi sous le nom de tombereaux de chantier articulé que la société utilise actuellement.

Ainsi, le meilleur choix sur l'engin de transport implique un perfectionnement sur la durée du cycle de camion, la charge utile du camion et le rythme du système de lavage à l'unité de traitement.

Comme nous adoptons la politique de possession et non plus de location, nous avons donc proposé l'achat du camion de marque Renault, proportionnelle au type de gisement cible et ayant une caractéristique technique très intéressante, au prix de 898 560 000 Ariary.

Les caractéristiques du camion sont :

- Capacité : 12 m³
- Puissance du moteur : 32 CV fiscaux
- Nombre de pneus : 8
- Consommation de gasoil : 12 l/H

III-2-3- Choix de l'engin de chargement et d'aménagement

Pour les types d'engin de chargement et d'aménagement, la société cible utilise actuellement la marque CATERPILLAR. Et d'après les constatations, la marque choisie par la société elle-même est adéquate pour ce type d'exploitation ;

Pour le chargement : pelle hydraulique en retro, montée sur chenille CAT 320CL ayant les caractéristiques suivantes :

- Capacité godet : 1 m³
- Consommation gasoil : 15 l/H
- Longueur de la portée : 8m

Pour l'aménagement ou le terrassement : on propose le Bull D6RIII ayant pour consommation de gasoil à : 29 l/H

Si seulement on prend la décision d'acheter, il faudra bien veiller à la maintenance et à l'entretien périodique de ces engins.

III-2-4- Maintenance et entretien des matériels

Les travaux de maintenance et d'entretien assurent le bon fonctionnement des matériels afin de réduire les risques de désordre ou de panne.

D'une part, la maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état de fonctionnement et d'autre part, l'entretien est l'ensemble des travaux ayant pour but de maintenir dans leur état initial des ouvrages ou équipements existants sans changer leurs usages ou leur fonction. Malgré une opposition de sens entre les deux termes, ils sont inséparables.

Période	Entretien	Matériels
Journalière	<ul style="list-style-type: none">- Soufflage des filtres- Remplissage d'huile,- Adduction d'huile vérin- Graissage (godet)- Nettoyage des appareils et curage du canal d'évacuation des débris de tout venant	Camion, pelle, bull, matériels de traitement, motopompe.
Hebdomadaire	<ul style="list-style-type: none">- Graissage complet	Camion, pelle, bull, matériels de traitement,

Période	Entretien	Matériels
Hebdomadaire	<ul style="list-style-type: none"> - Le soufflage du radiateur - Réfrigérant d'huile. - Lavage 	motopompe.
toutes les 80 heures	<ul style="list-style-type: none"> - Graissage 	Matériels de traitement
toutes les 125 heures de marche de moteur	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien général: remplacement des pièces d'usure, vidange, vérification des moteurs, graissage. - Vidange du moteur et le remplissage d'huile. 	Pelle, camion, bull
toutes les 1000 heures de travail	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien général de l'ensemble du système de lavage. - Les mécaniciens font des entretiens généraux des engins : vidange du moteur, du boite de vitesse, du pont et du réservoir. Changement des filtres et des pièces d'usures. 	Matériels de traitement et tous les engins

Tableau n° 09 les principaux travaux d'entretien

Ainsi, l'entretien est effectué pendant la durée de vie des matériels alors que la maintenance est réalisée pour leur performance. Alors l'entretien doit s'effectuer périodiquement. Le tableau n°9 ci-dessus résume les principaux travaux d'entretien.

De plus, les engins doivent passer de la visite technique systématique. En effet, que le matériel soit loué ou acheté, il faut contrôler leur calendrier d'entretien périodique (journalière, hebdomadaire, mensuelle ou annuelle), travaux effectués par le chef technique⁷.

En bref, l'optimisation des matériels consiste à :

- Renouveler les matériels détériorés et de faible performance (faible coefficient d'utilisation) pour éviter les pannes et les arrêts fréquents du travail.
- Ajouter des autres matériels pour renforcer ceux qu'on trouve en nombre insuffisant tel que :

⁷ Cf. Organigramme du personnel, page 72.



- Deux motopompes dont l'une au décapage et l'autre au traitement pour que ces travaux soient effectués simultanément.
 - Deux pelles hydrauliques dont l'une assure le décapage et l'autre occupe l'abattage et le chargement
 - Deux nouveaux camions de transport
 - Le poste soudure doit être monté sur pneu pour assurer leur mobilité
 - Les quatre jigs doivent travailler parallèlement tout en réglant l'alimentation (existence de barrière)
- Faire des visites techniques suivant le calendrier donné par le responsable.

Toutes ces propositions amèneront aux résultats suivants :

- Amélioration des disponibilités des engins
- Utilisation au maximum de ces engins
- Production optimale et régulière.

III-3- Ordonnancement des travaux

III-3-1- Introduction

L'ordonnancement des travaux dans l'exploitation minière consiste à planifier les différentes opérations dans une mine. Planifier l'exploitation d'une mine demeure une tâche très complexe. Une tâche qui vise à assurer la sécurité, l'efficacité et la rentabilité de l'extraction du minéral.

Ces différentes tâches sont soumises à des nombreuses contraintes telle que caractérisation géologique d'un gisement, choix d'une méthode d'exploitation à ciel ouvert, stabilité des pentes, construction de rampes, lieu de décharge des stériles, fiabilité des systèmes de manutention, coûts et revenus miniers, qui peut s'élargir dans l'introduction aux techniques de conception informatisées etc. Ils mettent en jeu des capitaux, matériaux, matériels, des hommes de spécialités et de compétence très diversifiée.

En effet, la planification permet d'établir un emploi du temps bien organisé pour chaque tâche. C'est en vue de coordonner les différentes opérations et pour apercevoir en temps opportun les retards prévisibles. Deux contraintes principales pèsent sur la gestion d'une exploitation: la maîtrise des coûts et des délais. Les outils présentés ici permettent au chef d'exploitation de visualiser ces contraintes sur des graphiques adaptés.

III-3-2- Organisation du travail

En premier abord, nous proposons un emploi du temps pour le travail global de la carrière. En voici la répartition de la durée des tâches :

Durée de travail par jour: 2 poste de 6h/ j soit une durée de travail de 12 h/j de 6 h du matin à 18h dont de 6 h à 15 h pour le lavage, de 15 h à 18 h pour le nettoyage des matériels, le curage du chenal, l'entretien des engins ainsi que le triage des pierres gemmifères.

- Nombre de jours de travail: 6 jours par semaine, soit 288 j /an de travail

Ensuite, nous essayons de répartir la tâche effectuée hebdomadairement sous une forme mathématiquement exploitable; pour exposer le problème d'optimisation, dans une recherche de gains de temps de la réalisation des différentes opérations de l'exploitation du saphir. Ces objectifs nous conduisent à utiliser certaines méthodes pour les aborder.

III-3-3- La méthode utilisée

a) La technique PERT:

La technique PERT est une technique américaine de modélisation de projet. Elle vient de l'américain Program Evaluation and Review Technique, ou technique d'évaluation et de révision de Programme. Elle consiste à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches, en raison de leurs dépendances et de leur chronologie qui permettent d'avoir un produit fini.

En effet, la méthode PERT s'attache surtout à mettre en évidence les liaisons qui existent entre les différentes tâches d'une exploitation et à définir le chemin dit "critique". De ce fait, nous allons utiliser cette méthode dans le but de planifier les opérations de l'exploitation minière et de les réduire à un minimum de temps.

La planification commence par un recensement des tâches à réaliser. La décomposition structurée des activités (WBS) permet de recenser l'ensemble des activités de l'exploitation minière et de les décomposer. D'où la décomposition des tâches.

➤ Décomposition des tâches :

Soit à effectuer les tâches suivantes dont les opérations seront représentées par des lettres majuscules de l'alphabet et les étapes par des chiffres romains. L'étude sera limitée à l'exploitation proprement dite.

	Tâches	Antécédents	Durée (Heure)
A	DECAPAGE	—	10
B	EXHAURE	A	4
C	ABATTAGE	A, B	12

D	TRIAGE I	A, B, C	8
E	CHARGEMENT	A, B, E	8
F	TRANSPORT	A, B, E, F	6
G	DECHARGEMENT	A, B, E, F, G	9
H	LAVAGE	A, B, E, F, G, H	18
I	TRIAGE II	A, B, E, F, G, H, I	5

Tableau n° 10 Décomposition des tâches

➤ Exécution du programme :

En même temps que le défrichement, les travaux suivent des chronogrammes bien définis d'où : le graphe PERT. Ce dernier permet de visualiser la dépendance des tâches et de procéder à leur ordonnancement.

➤ Graphe PERT :

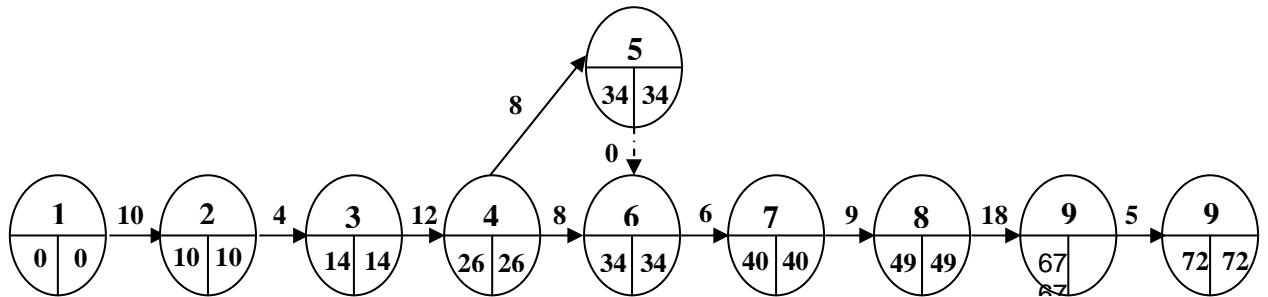


Figure n°11 Graphe PERT de l'ordonnancement des travaux

Ainsi, utiliser une base mathématique pour aborder les problèmes d'optimisation. A l'heure actuelle, dans la pratique, dans la plus part des situations réelles, nous sommes confrontés à des problèmes de calcul de coût minimal, de recherche des meilleurs chemins, etc.

En effet, cette méthode permet de gagner une proposition considérable des délais d'exécution en permettant de contrôler les délais, tout en indiquant le chemin critique qui conditionne la durée minimale du projet.

b) Le diagramme de GANTT:

Le diagramme de Gantt est un outil utilisé (souvent en complément d'un réseau PERT) en ordonnancement et en gestion de projet, permettant ainsi de visualiser dans le temps les diverses tâches composant un projet. C'est donc un outil permettant de modéliser la

planification de tâches nécessaires à la réalisation d'un projet. Ce concept a été développé par Henry L. Gantt, ingénieur américain, vers 1910.

Etant donné la facilité de la lecture des diagrammes de GANTT, il est un outil utilisé par la quasi-totalité des chefs de projet dans tous les secteurs notamment pour le secteur minier. Le diagramme de GANTT représente un outil performant pour le chef d'exploitation, permettant de représenter graphiquement l'avancement des travaux, et est également un bon moyen de communication entre les différents acteurs de l'exploitation tels que le chef d'exploitation et les ouvriers.

En bref, cet outil répond à deux objectifs : planification de façon optimale et communication du planning établi et des choix qui s'imposent.

➤ Diagramme de GANTT:

En ligne, on liste les tâches et en colonne les temps. Les tâches sont représentées par des barres dont la longueur est proportionnelle à la durée estimée. Les tâches peuvent se succéder ou se réaliser en parallèle entièrement ou partiellement.

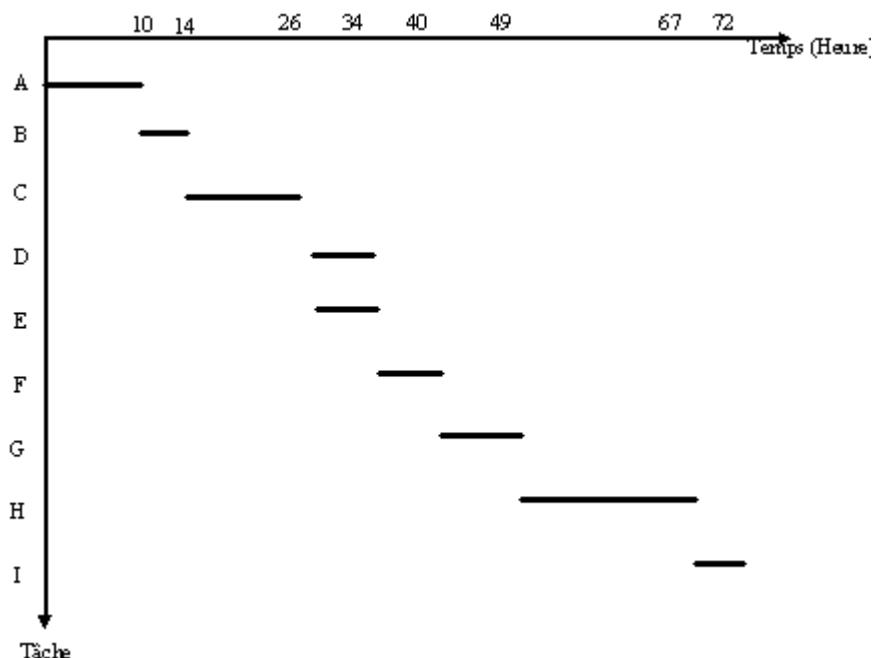


Figure n°12 Diagramme de Gantt de l'ordonnancement des travaux

III-4- Amélioration de l'organisation du personnel

III-4-1- Organigramme du personnel

La bonne répartition des tâches du personnel est l'un des facteurs qui favorise le bon déroulement des travaux. Le nombre total du personnel proposé est au nombre de 26, dont 2 postes de 6 H par jour. Le système HIMO est adopté mais dans la condition que chacun assure son travail. L'organigramme sera représenté comme suit :

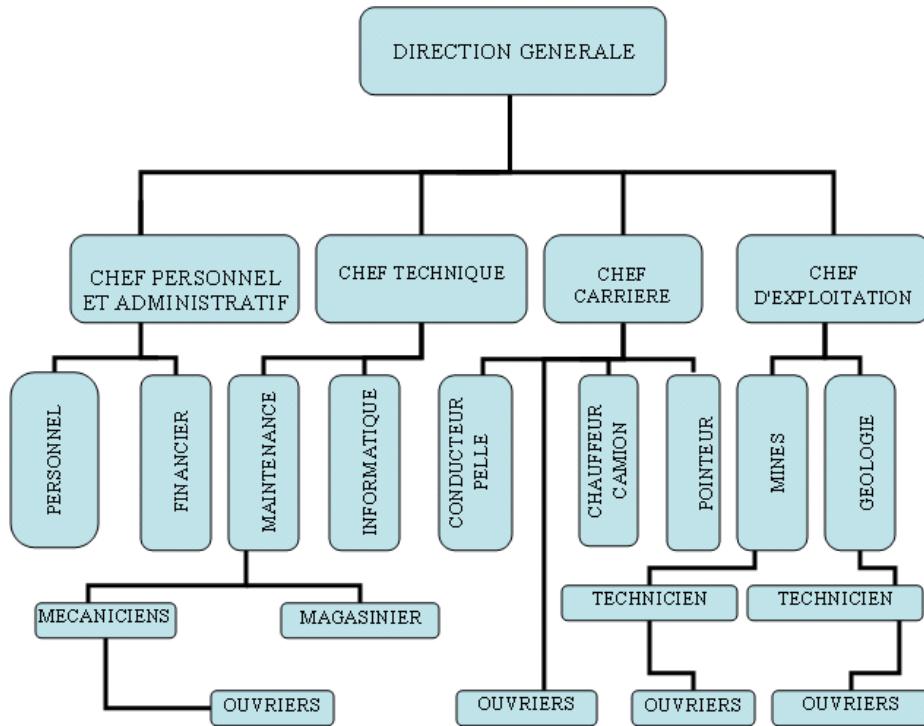


Figure n°13 Organigramme du personnel proposé

On peut remarquer que cet organigramme proposé est bien réparti et compose des diverses tâches bien définies. Il est beaucoup plus détaillé et permet donc à chacun d'assurer ses responsabilités.

Il constitue un développement de tâche contribuant à l'amélioration en introduisant l'informatique dans la gestion des projets. Par conséquent, chaque phase des travaux: du point de vu administratif, exploitation et traitement du minerai est assurée par des personnes bien spécifiées (Ingénieur, chef, techniciens et ouvriers).

III-4-2- Sécurité dans la mine

La sécurité du travail ainsi que celle du personnel constitue un grand souci d'une exploitation minière. L'optimisation de l'exploitation vise aussi à améliorer ces conditions.

D'une part, la sécurité de travail dépend généralement de la méthode d'exploitation. Cependant même si la méthode est respectée certains risques peuvent y arriver donc il vaut mieux prévenir.

Comme durant les travaux de prospection et d'échantillonnage, des tranchées profondes ou de larges trous peuvent provoquer des grands risques. Donc de tels ouvrages doivent être entourés d'une barrière de sécurité, des panneaux d'avertissement doivent être installés pour interdire les accès non autorisés et prévenir de chutes qui en résulteraient.

D'autre part, la sécurité du personnel se présente sous divers domaine du point de vu sanitaire, alimentaire et sécurité.

D'après la constatation, ces conditions sont toutes déjà respectées par la société, il reste à améliorer la motivation du personnel tout en fournissant des centres de loisir (en lui distribuant des maillots et ballon par exemple et en lui proposant une match contre une équipe venant d'un autre quartier).

D'une manière générale, la sécurité dans la mine est beaucoup plus détaillée et tout est englobée dans l'étude de remise en état du site et mesure d'atténuation des impacts environnementaux négatifs.

III-5- Mesure d'atténuation des impacts négatifs sur l'environnement

Quels que soit le type d'exploitation (carrière souterraine ou carrière à ciel ouvert) et la méthode employée, les carrières posent de graves problèmes: effondrements, bruit, ... Ceux ci peuvent avoir d'importantes conséquences sur l'environnement: instabilité des terrains, pollution de l'eau, nuisances de la vie biologique et de la vie végétale ... Actuellement, on sait limiter mais pas enrayer ces nuisances, la mesure d'atténuation le permet.

En premier abord, il faut veiller sur le terrassement. Le stockage des stériles est néfaste, il réduit le pouvoir de fertilité du sol.

Pour l'éviter au maximum, il faut planifier le chantier de telle façon que les terres décapées soient immédiatement mises en place sur les terrains déjà exploités (réhabilitation progressive).

Si le stockage est indispensable, il ne doit pas se faire n'importe comment :

- Constitution de dépôts de 1,50 m de haut environ, en "dos d'âne" (pour éviter l'infiltration des eaux de pluie)
- semer des graminées et légumineuse pour empêcher une érosion par le vent ou la pluie, enrichir en azote.
- limiter la durée du stockage.

Ainsi, la pente du terrain naturel étant toujours à respecter (15%) en vue d'une stabilité à long terme ainsi que l'état d'équilibre lui permettant de conserver l'état naturel.



De plus, on doit revégétaliser le sol après le remblayage ou le terrassement pour le protéger contre l'érosion provoqué par les eaux de pluie et aussi pour les besoins de vivre (bois de chauffe, matériaux de constructions, ...).

En outre, on peut établir un barrage aux environs de la rivière notamment sur sa largeur qui est réalisé par la mise en place de matériaux imperméables, comme de l'argile pour protéger contre la montée des eaux.

Elargir le bassin de décantation suivant la norme (minimum 10m x 5m x 2m) ainsi, le curer périodiquement pour éviter la pollution de la rivière s'avère aussi très important.

Notons toutefois qu'on ne peut pas réduire globalement le coût de l'exploitation après avoir fait cette étude au vu des différents facteurs qui varient au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Et les résultats obtenus dans cette étude ne peuvent être utilisés jusqu'à l'échéance du projet car le temps et l'exploitation ne s'épuisent pas en même temps. Mais elle essaie de repartir les dépenses pendant toute la durée de vie de la mine afin que le coût annuel soit minimal. D'où la nécessité de l'Ingénieur des Mines pour contrôler le déroulement des travaux et pour apporter l'amélioration technique utile durant l'exploitation.

En bref, l'amélioration de l'exploitation se base essentiellement sur les quatre piliers comme l'organigramme d'analyse personnel suivant la montre :

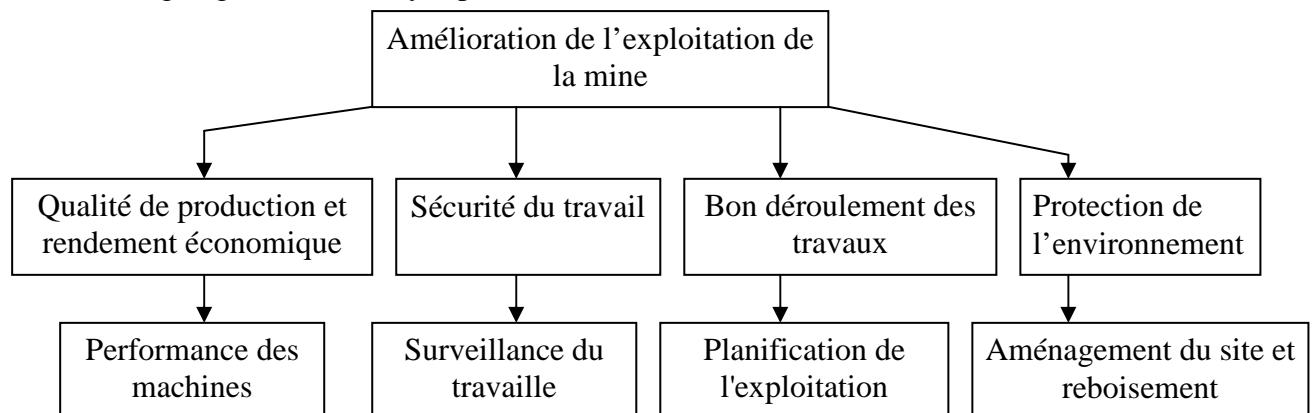


Figure n°14 : organigramme d'analyse personnelle

PARTIE IV:

ETUDE SOCIO- ECONOMIQUE

ET FINANCIERE

I-1- Généralité: [16]

On parle de marché pour désigner l'ensemble des données chiffrées relatives à un produit ou à un service, plus ou moins segmenté au sens premier. Par extension, on désigne aussi par marché l'ensemble des individus concernés de près ou de loin par le produit; consommateurs ou acteurs pouvant influencer les ventes d'un produit ou d'un service (acheteurs, leader d'opinion, distributeurs...).

L'étude de marché consiste donc à permettre de construire l'offre de son entreprise en validant ou ajustant certain points-clé de son projet. Pour cela, il lui faudra analyser les caractéristiques:

- de la demande, pour répondre au plus près aux exigences du marché,
- de l'offre, pour analyser l'évolution de la production.

En effet, cette étude fait partie des facteurs essentiels intervenant dans le projet Minier. Et comme notre sujet s'est axé sur l'optimisation de l'exploitation du saphir tant sur le domaine technique qu'économique, on a intérêt à analyser l'évolution du marché de ce produit; permettant ainsi à l'exploitant d'organiser et de planifier ses opérations d'exploitation et de production. De plus on peut évoquer aussi la statistique de la production mondiale et locale du saphir.

L'étude fait recours donc à l'utilisation d'enquêtes, de tests et d'études statistiques afin d'analyser les tendances de la consommation et de prévoir la quantité et le lieu d'un marché, celui favorable à la vente rentable des produits. Elle est alors réalisée par rapport à un problème donné ou à un potentiel à exploiter.

Généralement, une étude de marché sera réalisée par sondage d'une catégorie définie de la population à travers un échantillon. C'est une étude du lancement d'un produit existant sur un marché existant. Elle est donc nécessaire pour vérifier que le marché n'est pas saturé et répondre à la question : "Y a-t-il encore des opportunités pour exploiter le produit ?"

Ce qui vise à

- améliorer l'utilisation des équipements existants
- améliorer la gestion du personnel pour un meilleur rendement
- prévoir l'opportunité et les effets d'intégration des produits dans le marché
- segmenter l'offre existante.



D'où la nécessité de l'étude de marché dans le travail d'optimisation de l'exploitation du saphir.

I-2- Contexte marché

Le secteur minier joue un rôle économique modeste. Les gisements sont repartis dans toute l'île, la majorité de ces productions sont destinés à l'exportation. Ainsi, les échanges venant de Madagascar vers les autres pays concernent surtout les pierres précieuses, les semi-précieuses et l'or.

I-2-1- Commercialisations du saphir à Madagascar: [4]-[5]

D'une manière générale, les petits exploitants ne s'intéressent ni au prix à l'exportation des produits, ni au cours mondial des produits. Ils recourent seulement aux commerçants, transformateurs, exportateurs ou intermédiaires qui leur offrent les meilleurs prix. La fixation des prix apparaît donc comme figée, sans véritable référence à des circuits externes.

En effet, un indice des prix est publié par la Division d'Exportation Minière qui est chargée de la mise en œuvre du «Guichet Unique» inter-ministeriel instauré au sein de la DMG. Les indices pour les pierres précieuses, pour les pierres fines et les bijoux ainsi que les pierres industrielles sont occupées par la Direction Provinciale.

Les prix sont en Dollars américains et varient selon l'offre et la demande valables sur les différentes places et selon les bourses mondiales. Ces prix servent à contrôler le marché de saphir malgache à exporter vers l'extérieur. C'est donc le prix le plus bas où l'on se réfère pour la vente de ces substances minières⁸.

NB: le prix de préférence est sujet à des mises à jour deux fois par an pour l'exploitation minière.

En outre, suivant la valeur spécifique de chaque pierre gemme, il y a des tailles minimales de commercialisation des pierres. En prenant quelques exemples de tailles minimales pour différentes pierres, nous pouvons établir le tableau ci-après:

⁸ Cf. Annexe 13.



Pierre gemme	Taille minimale d'une pierre pour sa commercialisation
Emeraude	0,05 g
Rubis et saphir	0,1g à 0,4 g suivant la qualité
Tanzanite	0,2g
Aigue-marine	0,3g
Grenat	1g

Tableau n° 11 Tailles minimales des pierres gemmes commercialisables

I-2-2- Droits et taxes pour le marché des pierres précieuses

Certes, il est aujourd'hui très difficile de contrôler les circuits d'échange et d'exportation des produits miniers en général, des pierres précieuses en particulier.

Beaucoup d'exploitation artisanale exerce dans le secteur informel. Ce foisonnement de petites mines couvre les 85 % des permis institués mais n'assurent que 5% des recettes fiscales minières [Source: rapport inédit - Administration minière].

Cependant l'exportation des pierres précieuses, des pierres fines, des métaux précieux et des bijoux à Madagascar doit être passé au Guichet Unique. Le Guichet Unique regroupe des agents du MEM, du Ministère chargé des Douanes et du Ministère chargé de la Sécurité publique et de la Gendarmerie Nationale.

Les pièces exigées pour être exportateur de produit minier sont :

- Photocopie des statuts (si société)
- Photocopie de la carte professionnelle ou carte rouge
- Photocopie de la carte d'identité professionnelle pour les gérants étrangers
- Certificat de régularité fiscale
- Registre des entrées et sorties
- Registre à coter et parapher par les directions provinciales.

En outre, le laboratoire chargé des analyses minérales enregistre la déclaration d'exportation et effectue le contrôle de qualité et de conformité entre les déclarations des exportateurs et les produits qu'ils exportent, délivre une attestation d'analyse de qualité contre le paiement des frais d'analyse constituant l'acte administratif unique, requis pour la sortie du territoire National des pierres et des métaux précieux, ainsi que des pierres semi-précieux.



I-3- Aperçu sur le marché de saphir

Depuis les vingt dernières années, les saphirs sont devenus beaucoup plus accessibles. Suite aux découvertes des pierres bleues de la rivière, la ruée vers le saphir commençait à Ilakaka en 1998 et les rythmes de la consommation de ce produit ne cessent de croître. Mais la véritable exploitation de saphir a commencé en 1992 dans le pays juste après la grande famine dans le sud.

Par ailleurs, de nombreux gisements sont reconnus potentiellement exploitables par le monde

I-3-1- Marché mondial

Le saphir est un produit non courant qui satisfait aux besoins psychologiques, dont les principaux clients sont les pays développés tel que l'Europe, l'Asie, l'Inde, les Etats-Unis, le Sri Lanka.

Toutes ces pierres, aussi petites soient-elles, se trouvent finalement sur le marché de Chanthaburi, ville et province thaïlandaise, située non loin de la frontière Cambodgienne. Un tiers des saphirs vendus sur le marché mondial proviennent de ce dernier et celle des mines de Thaïlande.

En outre, le marché international des pierres précieuses (rubis et saphir) se trouve à Bangkok (Asie). La demande internationale est difficile car le marché des pierres d'entourage (petites pierres calibrées) et bien établi dans ce pays.

La difficulté d'approvisionnement du marché mondial en saphir bleu de bonne qualité, a provoqué l'élaboration et l'usage de nombreux traitements. En effet, certains modifient leur commercialisation qui posera probablement un problème déontologique dans un avenir assez proche.

I-3-2- Marché local

Tout dépend si l'on parle d'une exploitation artisanale ou industrielle. Mais on peut dire que le saphir, une fois sorti de la carrière passera dans de nombreuses mains : tailleur, bijoutier ou courtier, joaillier. Le saphir peut être échangé plusieurs fois entre les mains des intermédiaires auprès du lieu d'exploitation même, avant d'être vendu dans les comptoirs installés in-situ (comme à Ilakaka et Sakaraha) ou à un joaillier en ville. Ce qui fait grimper inévitablement son prix. Les produits malgaches sont vendus soit aux bijoutiers et lapidaires locaux soit aux acheteurs étrangers.



A Madagascar, en dehors de la principale organisation sectorielle, les acteurs des branches "pierres" et "or" sont en grande partie constitués par une multitude de petits exploitants du secteur informel. Heureusement, actuellement les projets d'appui au secteur minier malgache portent sur la réforme et l'organisation du secteur, la professionnalisation des acteurs et la commercialisation des produits.

I-3-3- Prix du saphir: [23]-[25]

Aujourd'hui, environ 90% des saphirs du marché, ont été traités, dans l'optique de leur donner la meilleure clarté et la plus belle couleur possible. Sachant que ce procédé est courant et le prix se différencie de 2/3 pour une pierre qui a été chauffée et 3/3 celle non traitée.

Comme toutes les pierres gemmes, le prix de saphir est toujours calculé en fonction de son poids spécifique. Par exemple : un saphir de 1,00 ct vaudra un tout petit moins cher qu'un saphir de même qualité de 1,10 ct. De plus le prix de cette pierre précieuse n'est pas directement proportionnel par rapport à son poids notamment : un saphir de 3 cts ne vaudra pas le triple d'un saphir de 1 ct, mais il vaudra beaucoup plus.

En général, le prix est calculé en fonction des critères suivantes : taille (pour les pierres taillées), poids, couleur et pureté/propreté. Pour les pierres taillées, on pourrait aussi parler d'un cinquième critère qui pourrait se nommer : la « cote d'amour ». Entre deux pierres taillées ayant les mêmes caractéristiques il y aura toujours une différence, ce qui fera que chacune d'elle est unique. Une personne pourra très bien avoir le « coup de foudre » pour la première et une autre personne pour la deuxième, les sentiments que l'on peut éprouver pour une pierre sont différents d'une personne à une autre.

En revanche, la valeur d'une pierre gemme est liée à sa rareté. Plus la pierre sera rare et plus son prix sera élevé. C'est une question d'équilibre entre l'offre et la demande. A noter que le saphir est la moins cher des pierres précieuses.

Comme nous l'avons dit précédemment, les prix de saphirs sont très variables, sans une échelle standardisée de classement, on sait qu'il est impossible d'harmoniser le prix de ces gemmes d'un pays à l'autre ou d'un négociant à l'autre. Chaque professionnel applique donc son propre tarif qui est très souvent « calculé » en fonction du prix auquel il a acheté ses pierres (auprès de l'exploitant), et en fonction de l'expérience d'achat qu'il possède dans ce domaine (un débutant paiera toujours plus cher ses premiers achats en pierres qu'un professionnel averti). Le prix d'achat auprès du fournisseur déterminera donc en partie le prix de vente au détail.



Malgré cette variation, le prix de saphir varie entre 100 000 Ariary à 6 millions d'Ariary la pièce. Des prix typiques de saphir sont sous mentionnés à titre indicatif [23].

a) Saphir brut:

Saphir	Type	Prix Ariary (pièce)	Remarques
	Saphir bleu brut	5 000 à 150 000	Saphir de type un peu foncé donc de valeur assez bas (la clarté joue un rôle important pour une pierre précieuse)
	Saphir bleu brut	100 000 à 500 000	Varie suivant la qualité et la grandeur

Tableau n° 12 prix typiques des saphirs bruts



b) Saphir taillée:

Type du saphir: provenance	Poids: carat(s)	Dimensions: mm	Prix: Ariary (pièce)
saphir Ceylan 	0.15 ct	-----	2 600
Saphir Sri Lanka 	0.50 ct	4.25 x 5.70	96 150
Saphir Madagascar 	0.74 carats	5.12 x 5.12	54 680
Tanzanie du Sud. 	0,71 ct	6,1 x 5,3	194 770
Saphir Inde 	27,87ct	23 x 17	279 339
Saphir Madagascar 	6.69ct	7.62 x 10.51	2 434 603
Saphir SRI LANKA 	8.06ct	13.10 x 9.55 x 7.25	21 341 858
Saphir SRI LANKA 	17.50ct	17.50 x 13 x 7.95	32 290 524

Tableau n° 13 prix typiques des saphirs taillés



I-3-4- Destination du produit

Plusieurs de ces saphirs achetés quittent directement Madagascar à destination de Bangkok essentiellement, où se situent des ateliers de taille et de chauffage des pierres, et qui représente la principale plaque tournante du marché mondial du saphir.

I-4- Analyse du marché: [16]

Le commerce du saphir a fait entrer Madagascar de plein pied dans la mondialisation. Toutefois, cette intégration au commerce international se fait dans un climat d'anarchie. Les transactions s'effectuent en l'absence de réglementation, de planification et d'acteurs économiques institutionnalisés.

Cependant depuis ces derniers temps, on constate que les opportunités du secteur minier se situent essentiellement dans la mondialisation croissante de l'économie avec les perspectives d'installation des grandes firmes internationales; venant de l'exploitation des mines stratégiques telles l'ilmenite, le chromite ainsi que ceux des pierres précieuses telles que le Saphir d'Illeraka et de Sakaraha ainsi que la rationalisation du secteur en général. Les grandes compagnies minières internationales se tiennent pour l'instant à l'exploitation même du gisement. Ce qui ne laisse pas surprendre dans un contexte économique aussi prometteur.

En raison de sa plus grande accessibilité, le saphir est de plus en plus prisé par le marché. Ceci veut dire, en d'autres termes, que le marché du saphir n'est pas encore restreint à l'avenir.

I-4-1- Tendance de la demande

La majorité des produits miniers malgaches sont destinés à l'exportation mais les valeurs déclarées ne représentent que 10 à 20% des exportations réelles des produits. Ainsi la statistique d'exportation traduit les quantités requises par les consommateurs. De ce fait, nous avons tracé les courbes de l'exportation de 1999 à 2004 déclarées auprès de l'Administration minière.

La quantité des exportations est portée à l'axe des ordonnées et les années sont portées à l'axe des abscisses.



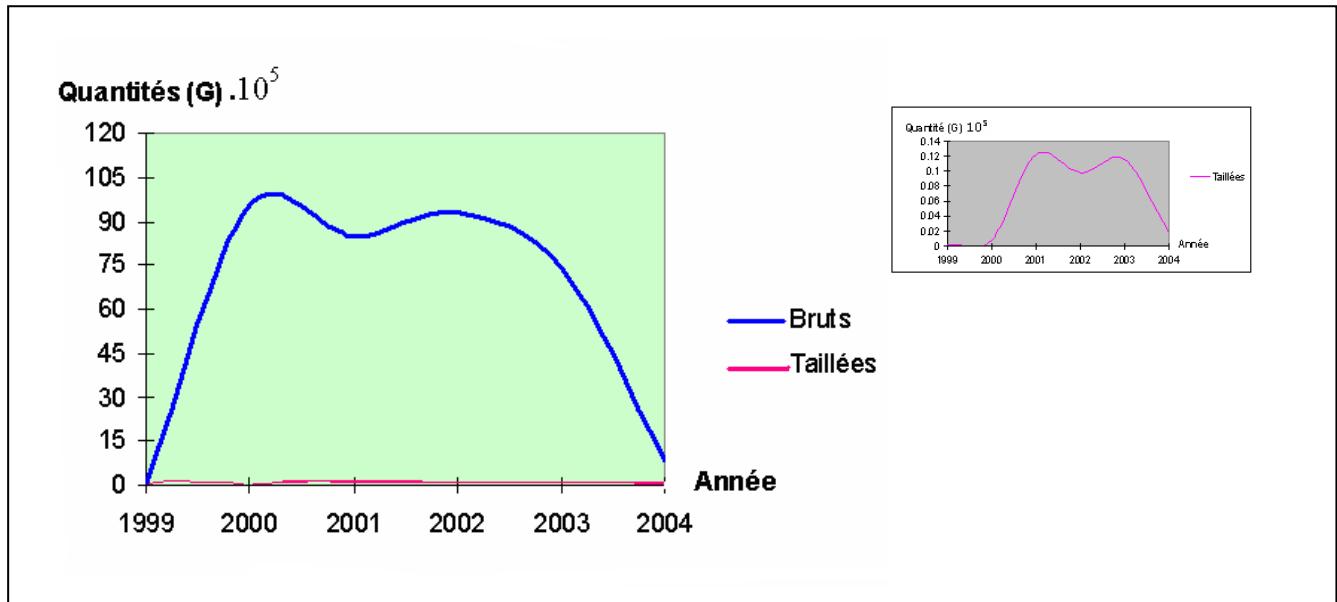


Figure n°15 Evolution d'exportation du saphir de Madagascar

D'après ces courbes, nous constatons que le saphir brut se présente en grande quantité à celle des pierres taillées. Cela se traduit par l'abondance de traitement thermique des ces brutes à l'étranger ainsi qu'au métier de lapidaire moins développé à Madagascar.

Néanmoins, la courbe de tendance de la demande montre une fluctuation rapide entre 1999 et 2001. Cette tendance va se diminuer pour remonter ensuite jusqu'en 2002 pour le saphir brut et en 2003 celle du saphir taillé.

Vers l'année 2004, la consommation du saphir taillé représente une récession, par contre celle du brut augmente petit à petit pour atteindre une valeur de 8 595, 028 Kg.

De ces constatations, il peut être pronostiqué que, dans l'année actuelle la demande de ces produits va encore augmenter malgré le fait que la consommation accuse une récession, en vu de la croissance significative du secteur minier d'aujourd'hui ainsi que la découverte de la nouvelle ruée.

I-4-2- Evolution de l'offre

A partir de 1996, la production de saphir n'a pas cessé d'augmenter suite à la découverte de nouveau gisement dans le Sud et le Nord. On constate même que la production de pierre industrielle depuis cet événement a diminué progressivement jusqu'en 1998 à cause de l'attraction des gens vers l'exploitation des pierres précieuses, et en particulier le saphir.



Le phénomène saphir, la concurrence sur le marché international et les quantités disponibles sur le marché sont les points saillants du contexte socio-économique actuel. L'accessibilité facile d'achat de ce produit dans la carrière pour les petits exploitants (cas d'Ilakaka) a beaucoup stimulé cette tendance.

La production officielle des saphirs a augmenté de 3,808 Kg en 1999 à 12 Kg en 2004 (à noter que ces statistiques sont suivant les rapports d'activités des permissionnaires parvenus aux Directions Inter-Régionales du MEM seulement à titre indicatif, vu que la production est difficile à estimer, compte tenu des aléas des ventes illicites non chiffrables, mais qui sont incontestablement très nombreuses).

Cependant cette tendance de l'offre risque d'être bouleversée par la mise sur le marché d'un produit de substitution tel que le saphir synthétique. Malgré tout, le saphir naturel n'a jamais perdu sa réputation.

I-4-3- Statistiques de production et d'exportation

Le tableau ci-après nous montre l'évolution de la production et de l'exportation de saphir à Madagascar.



EXPORTATION 2000-2004

P.P BRUTES

ANNEE	1999		2000		2001		2002		2003		2004	
	Substances	Quantité (G)	Valeur (Fmg)	Quantité (G)	Valeur (Fmg)	Quantité (G)	Valeur (Fmg)	Quantité (G)	Valeur (Fmg)	Quantité (G)	Valeur (Fmg)	
Saphir	3 809.770	72.199.517. 452	9.536.205,9 5	82.344.612.264	8.469.766,4	30.833.299.160	9.325.994,9 3	36.498.707.013	7 391 360,77	37 479 425 825	8 595 28,92	22 953 636 961,20

P.P TAILLEES

ANNEE	1999		2000		2001		2002		2003		2004	
	Substances	Quantité (G)	Valeur (Fmg)	Quantité (G)	Valeur (Fmg)	Quantité (G)	Valeur (Fmg)	Quantité en (carat)	Valeur (Fmg)	Quantité (G)	Valeur (Fmg)	
Saphir	181,102	59.748.569	809,238	353.606.45 1	12.249	1.059.305.623	9.772,85	1.061.218.312	11 475,79	501 960 227	1 931,42	604 072 288,48

Tableau n° 14 Statistique d'exportation

PRODUCTION 1993-1998

ANNEE	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Saphir (Production Kg)	17 167	206 654.000	99 307.000	109.700	3957.026	2 873, 690

SOURCES : Données Exportations DMG + données DIR parvenues à la DMG

Tableau n° 15 Statistique de production



I-4-4- Etude de la prévision

a) But de l'étude

L'étude de prévision a pour but de d'évaluer la tendance de la consommation du saphir à Madagascar, elle permet donc d'évaluer la consommation en 2010.

La courbe a de la forme structurelle suivante:

$$C = a \cdot t + b + \varepsilon$$

Où C : la quantité du granulat à consommer ;

t : année de consommation ;

a, b : sont des coefficients à estimer ;

ε : variation aléatoire Gaussienne d'espérance mathématique nulle.

Le modèle ajusté est exprimé par :

$$\hat{C} = \hat{a} \cdot t + \hat{b}$$

où $\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}$ sont les estimateurs respectifs sans biais convergents de a, b et c

Calcul de \hat{a} et \hat{b}

Les estimateurs \hat{a} et \hat{b} , sont calculés par la méthode des moindres carrées, exprimé par les formules suivantes :

$$\hat{a} = \frac{\sum (c_i - \bar{c}) \times (t_i - \bar{t})}{\sum (t_i - \bar{t})^2}$$

Et d'après l'équation $\hat{c} = \hat{a} \cdot \bar{t} + \hat{b}$; on peut tirer \hat{b} égal à :

$$\hat{b} = -\hat{a} \cdot \bar{t} + \bar{c}$$

Où \bar{c}, \bar{t} sont les moyennes arithmétiques respectives de c_i et t_i .

AN: $\bar{c} = 7\,854\,687.83$ $\bar{t} = 2001.5$

Soit le tableau suivant :



t_i	C_i		$(C_i - \bar{C})$	$(\bar{C} - \bar{t})^2$		
1999	3 809 770.00	-2.5	-1	-4 044 917.83	6.25	16 361 360 551 451.90
2000	9 536 205.95	-1.5	1	1 681 518.12	2.25	2 827 503 187 888.33
2001	8 469 766.40	-0.5	615 078.57	0.25	378 321 647 273.25	- 307 539.29
2002	9 325 994.93	0.5	1 471 307.10	0.25	2 164 744 582 510.41	735 653.55
2003	7 391 360.77	1.5	-463 327.06	2.25	214 671 964 528.24	- 694 990.59
2004	8 595 028.92	2.5	740 341.09	6.25	548 104 929 542.39	1 850 852.73
Total				17.50	22 494 706 563 194.50	9 173 993.80

Tableau n° 16 Tableau des calculs arithmétiques

$$\hat{a} = \frac{9 173 993.80}{17.5} = 524 228.22$$

$$\hat{b} = 7 854 687.83 - 2001.5 \times 524 228.22 = -1 041 388 094.5$$

$$\hat{c} = 524 228.22 \times t - 1 041 388 094.5$$

Avec $t = 2010$

D'où $\hat{c} = 12 310 627.7 \approx 12 300 000$ G



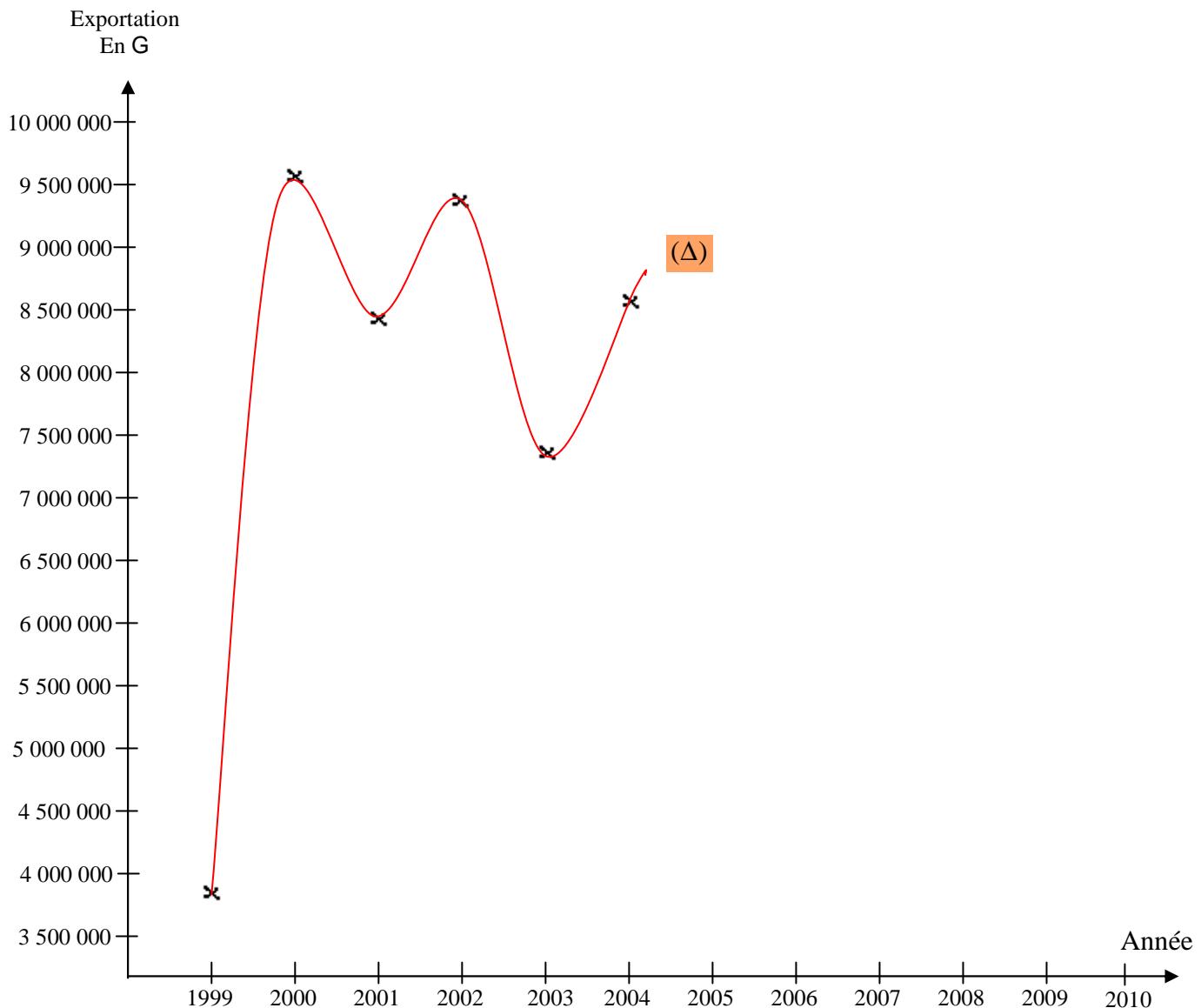


Figure n°16 courbe de la tendance de la consommation du saphir de Madagascar

b) Calcul du coefficient de corrélation : ρ_o

La qualité d'ajustement nécessite de ce coefficient. Pour que l'ajustement soit acceptable il faut que ρ_o soit voisin de 1. Mais dans la pratique on juge l'ajustement correct lorsque

$$|\rho_o| \geq 0,85.$$

ρ_o est linéaire entre les deux variables c_i et t_i , avec:

$$\rho_o = \frac{\text{Covariance } (c_i, t_i)}{\sqrt{\text{Var } c_i} \cdot \sqrt{\text{Var } t_i}} \Leftrightarrow \rho_o = \frac{\frac{1}{n} \sum (c_i - \bar{c}) \cdot (t_i - \bar{t})}{\sqrt{\frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{n}} \cdot \sqrt{\frac{\sum (t_i - \bar{t})^2}{n}}}.$$



On peut exprimer ρ_0 en fonction de :

$$\rho_0 = \frac{\sum (c_i - \bar{c}) \cdot (t_i - \bar{t})}{\sqrt{\sum (c_i - \bar{c})^2 \cdot \sum (t_i - \bar{t})^2}} \Leftrightarrow \rho_0 = \hat{a} \cdot \frac{\sqrt{\sum (t_i - \bar{t})^2}}{\sqrt{\sum (c_i - \bar{c})^2}}$$

AN:

$$\rho_0 = 33\ 932,81 \cdot \frac{\sqrt{110}}{\sqrt{161\ 707\ 869\ 231}} = 0,89$$

$\rho_0 = 0,89$, donc on peut dire que l'ajustement est acceptable

c) Test de coefficient de corrélation

Le test du model fait à partir du test de l'estimateur \hat{a} . La région critique est alors définie par l'inégalité : $\hat{a} > t \cdot \sqrt{Var \hat{a}}$ aboutit au test de coefficient de corrélation de ρ_0 .

Ainsi on a l'inégalité : $\hat{a} > t \cdot \sqrt{Var \hat{a}}$ (1)

Avec $t_\alpha = \frac{\hat{a} - E(\hat{a})}{\sqrt{Var \hat{a}}}$ est une variable qui suit la loi normale centrée réduite, t_α est dans la table de **Gauss**

$$et \quad Var \hat{a} = \frac{Var(\varepsilon)}{\sum (t_i - \bar{t})^2}$$

$$\text{Tel que } Var(\varepsilon) = \frac{1-\xi^2}{T-5} \cdot \sum (c_i - \bar{t})^2$$

$$\text{d'où } Var \hat{a} = \frac{1-\xi^2}{T-5} \cdot \frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{\sum (t_i - \bar{t})^2}$$

$$\text{or } \rho_0 = \hat{a} \cdot \frac{\sqrt{\sum (c_i - \bar{c})^2}}{\sqrt{\sum (t_i - \bar{t})^2}}$$

L'inégalité (1) devient:

$$\rho_0^2 > \frac{t_\alpha^2}{(T-5) + t_\alpha^2} \quad (\text{en remplaçant } \hat{a} \text{ et } Var \hat{a} \text{ par leurs valeurs})$$

Ce dernier constitue la région critique pour le test de coefficient de corrélation.

En posant $\rho_\alpha^2 = \frac{t_\alpha^2}{(T-5) + t_\alpha^2}$: cette variable suit la loi de **Student-Ficher**. La valeur de t_α est obtenu à partir de la table de **Student-Ficher** à T-6 degré de liberté.



ρ_0^2 : est appelé coefficient de détermination, mesure la réduction relative de la variation de consommation c_i par l'effet de régression.

$\rho_0^2 = 0,7921$ signifie que **79,21%** de la variation de c_i sont imputables à celle du temps t_i dont c_i dépend linéairement.

$$\rho_\alpha^2 = \frac{t_\alpha^2}{(T-5) + t_\alpha^2} \text{ au seuil } \alpha = 0,05 .$$

On a : $t_\alpha(T-5) = t_{0,05}(6) = 2,447$

$$\rho_\alpha^2 = \frac{2,447^2}{5 + (2,447)^2} = 0,545 \text{ d'où } \rho_\alpha = 0,74$$

$$\text{or } \rho_0 = 0,89$$

d) Règle de décision

- Si $|\rho_0| < \rho_\alpha$: le test est insignifiant c'est-à-dire il n'y a pas de corrélation linéaire entre c_i et t_i
- Si $|\rho_0| > \rho_\alpha$: la corrélation est significative.

Dans notre cas où $\rho_0 = 0,89 > \rho_\alpha = 0,74$ on peut dire qu'il y a corrélation entre c_i et t_i . Elle est significative au seuil $\alpha = 0,05$.



II-1- Introduction:

En exploitation minière, les considérations économiques sont aussi importantes que les aspects géologiques. Avant de commencer l'exploitation proprement dite, il est indispensable d'estimer l'intérêt économique du minerai ainsi que les coûts d'exploitation du gisement. On y intègre les nombreuses variables associées aux coûts des matériels d'exploitation, aux frais d'approvisionnement en électricité, en passant par la dépréciation éventuelle des investissements. Les experts appellent cette étape «miner la mine sur papier».

On a pris ce principe dans le but d'évaluer les dépenses et recettes de l'exploitation afin de visualiser le chemin où on aboutit à un coût minimum dans une condition favorable, d'où l'optimisation.

Grâce aux informations et documents obtenus à Madagascar et recueillis dans des divers sites Internet nous avons des données pour l'achat des engins et des matériels de carrière.

En effet, nous décidons d'adopter la politique de possession et non plus de la location de ces matériels. Ce choix résulte des calculs effectués ainsi que de l'expérience vécue pendant l'élaboration de ce travail.

Ce qui permet alors d'optimiser l'exploitation du point de vue technique qu'économique, puisque nous gagnerions non seulement la réduction du coût d'exploitation mais aussi le meilleur rendement dans les travaux d'exploitation en travaillant avec des matériels tout neufs d'où l'étude technico-économique.

II-2- Evaluation des investissements [16]

Sous l'aspect financier, un projet d'investissement représente l'acquisition d'un ensemble d'immobilisations, permettant de réaliser ou de développer une activité (ou un objectif) donnée.

Dans son aspect commun, il correspond à une dépense immédiate dont on attend des avantages futurs. L'établissement de ce projet est primordial dans tous les travaux d'exploitation minière. De plus il permet d'assurer à la fois le démarrage ainsi que l'avancement des travaux d'exploitation, il n'est donc qu'une création de richesse.

Cette étude nous permet donc d'estimer les investissements fixes tel que terrain, construction, équipement et matériels, capital ou actif circulant constituant le fonds de roulement de l'entreprise.



Cette estimation correspond à celle du mois de janvier et a été effectuée à prix constants sans considération des effets d'inflation. Elle nous fournit une documentation et nous permet d'élargir des relations interpersonnelles tant sur le domaine administratif que sur le domaine juridique.

On parle d'estimation car force est de constater que l'obtention des valeurs exactes des investissements est très délicate. De plus ces valeurs restent une confidentialité pour la société exploitante. Mais en tant que spécialiste dans l'exploitation minière, l'Ingénieur des Mines peut participer à la réalisation des projets d'aménagement d'une mine du point de vue technique qu'économique.

Parmi la grande diversité que l'investissement représente, seul les investissements en matériel se sont représentés ci-dessous, les autres sont mises en annexe⁹.

Les tableaux des investissements en matériel se repartissent en:

- Investissement avec location et
- Investissement dans le cas où on achèterait ces matériels.

En outre, les calculs sont généralisés sur une durée d'un an, et le calcul d'équipement pour l'unité de traitement est mis à part vu que ces matériels sont évidemment à acheter.

⁹ Cf. Annexe 10 et 11.



II-2-1- Investissements avec location*

[Source: ETEMAD, COLAS, HENRI FRAISE, LANDIS]

Investissement en matériel						
RUBRIQUES		Coût unitaire (Ariary)	Nombre	Coût total (Ariary)	Monnaie locale (Ariary)	Devise (Ariary)
Matériels roulants				247 200 000	98 880 000	148 320 000
	Camions à benne basculante à 15 t *	200 000/jour	2	28 800 000 / 3 mois	115 200 000/ an	46 080 000
	Voiture terrain type: ranger	66 000 000	2		132 000 000	52 800 000
Equipement pour la carrière				2 477 905 760.00	619 476 440.00	1 858 429 320.00
	Pelle Hydraulique 320L CAT *	1 028 956/128 horses/h	1	864 323 040	216 080 760	648 242 280
	Bull D6H*	727 808/ 140 horses/h	1	611 358 720	152 839 680	458 519 040
	Bull D7H*	1 040 000/ 200 horses/h	1	873 600 000	218 400 000	655 200 000
	Tracto-pelle	110 000 000	1	110 000 000	27 500 000	82 500 000
	Transport	4 656 000	4	18 624 000	4 656 000	13 968 000
TOTAL				2 725 105 760.00	718 356 440.00	2 006 749 320.00
TOTAL à l'année de croisière				8 175 317 280	2 155 069 320	6 020 247 960

Tableau n° 17 Tableau des investissements pour la location des engins et matériels



II-2-2- Investissements pour l'achat

Investissement en matériel						
RUBRIQUES		Coût unitaire (Ariary)	Nombre	Coût total (Ariary)	Monnaie locale (Ariary)	Devise (Ariary)
Matériels roulants				1 929 120 000	771 648 000	1 157 472 000
	Camions à benne basculante à 15 t	898 560 000	2	1 797 120 000	718 848 000	1 078 272 000
	Voiture terrain type: ranger	66 000 000	2	132 000 000	52 800 000	79 200 000
Equipement pour la carrière				2 194 155 969	548 538 992	1 645 616 977
	Pelle Hydraulique 320L CAT	621 208 176	2	1 242 416 352	310 604 088	931 812 264
	Bull D6RIII	737 256 000	1	737 256 000	184 314 000	552 942 000
	Tracto-pelle	110 000 000	1	110 000 000	27 500 000	82 500 000
	Transport+ entretien: 5% de ces équipements			104 483 617	26 120 904	78 362 713
TOTAL				4 123 275 970	1 320 186 992	2 803 088 977

Tableau n° 18 Tableau des investissements des matériels roulants pour l'achat

[Source: ETEMAD, COLAS, HENRI FRAISE, LANDIS]



D'après ces tableaux, on en déduit le tableau de récapitulation suivant:

Rubriques	Investissement avec location (Ariary)	Investissement pour l'achat (Ariary)
Matériels roulants	2 155 069 320	1 929 120 000
Equipement pour la carrière	6 020 247 960	2 194 155 970
Sous total	8 175 317 280	4 123 275 970

Tableau n° 19 Tableau de comparaison des investissements

II-2-3- Interprétation des résultats

On remarque que à l'année de croisière (à la troisième année), les dépenses en investissement en matériel pour la location sont doublés à celle de l'achat. Il est alors intéressant d'acheter ces engins vu le taux d'amortissement qu'on pourrait espérer.

De plus, vu les travaux et l'organisation qu'on décide à appliquer, l'utilisation de deux pelles et un bulldozer au lieu d'une pelle et deux bulldozers est intéressant, les deux pelles assurent en même temps les travaux de décapage et d'abattage ainsi que le chargement d'une part et le bulldozer pour le remblayage et l'aménagement du site d'autre part. Ces choix conduisent à la réduction du coût d'investissement ainsi qu'à la meilleure organisation et déroulement des travaux.

En bref, l'étude a porté les résultats suivants:

- réduction des dépenses
- utilisation des matériaux neufs qui entraînera l'augmentation du rendement et la diminution de la durée d'exploitation
- Amélioration des disponibilités des engins.



Chapitre III. EVALUATION FINANCIERE

III-1- Généralités

L'évaluation financière des projets est une matière frontière entre l'économie et la gestion. Sa finalité est d'étudier les conditions de viabilité des projets d'investissement et d'améliorer leur taux de réussite, en prenant mieux en considération leur environnement. L'évaluation fait ainsi reposer le financier sur les études techniques, commerciales et sociales, c'est-à-dire sur l'élaboration du projet. Il entre dans le cadre de l'enseignement, particulièrement en ingénierat.

L'évaluation financière est donc la phase de l'étude d'un projet qui permet d'analyser si ce projet est viable, compte tenu des normes et des contraintes qui lui sont imposées à partir des études techniques déjà réalisées.

Dans cette étude, nous allons visualiser les incidences des paramètres économiques sur les différents investissements et charges, nous conduisons à une condition optimale.

III-2- Récapitulation des investissements

Les tableaux ci-après représentent la récapitulation des investissements. Ces derniers sont constitués de coût en monnaie locale d'une part et de coût en devise d'autre part selon la clé de répartition qu'on adopte¹⁰.

Nous avons deux tableaux d'investissement dont l'une avec la charge locative et l'autre pour l'achat.

¹⁰ Cf. Annexe 9.

III-2-1- Tableau d'investissement avec location

DESIGNATION	COUT TOTAL (Ariary)	MONNAIE LOCALE (Ariary)	COUT EN DEVISE
- Ingénierie et étude	10 000 000	10 000 000	
- Investissement en construction	21 400 000	21 400 000	
- Investissement en matériels et équipements	3 371 305 760	879 906 440	2 491 399 320
-Frais de montage et de transports des matériels	320 655 011.2	320 655 011.2	
-Investissements divers	86 422 080	77 779 872	8 642 208
-Fonds de roulement	1 237 873 145.73	1 020 925 515.78	216 947 629.95
Sous total	5 047 655 996.93	2 330 666 838.98	2 716 989 157.95
Total investissement TTC	6 057 187 196.32	2 796 800 206.78	3 260 386 989.54

Tableau n° 20 Tableau des investissements avec charge locatif

Après arrondissement, le montant d'investissement avec charge locatif total s'évalue à 6 253 835 793 Ariary dont le 1 986 112 458 Ariary sera en monnaie locale et le 4 267 723 335 Ariary sera en Devise.



III-2-2- Tableau d'investissement pour l'achat

DESIGNATION	COUT TOTAL (Ariary)	MONNAIE LOCALE (Ariary)	COUT EN DEVISE
- Ingénierie et étude	10 000 000	10 000 000	
- Investissement en construction	21 400 000	21 400 000	
- Investissement en matériels et équipements	4 769 475 969	1 481 736 992	3 287 738 977
-Frais de montage et de transports des matériels	142 017 798,5	142 017 798,5	
-Investissements divers			
-Fonds de roulement	78 600 000	70 740 000	7 860 000
	901 868 766.46	676 986 437.19	224 882 329.27
Sous total	5 931 184 613.96	2 409 921 099.69	3 521 263 514.27
Total investissement TTC	7 108 035 040.75	2 883 457 473.23	4 224 577 567.52

Tableau n° 21 Tableau des investissements pour l'achat

Après arrondissement, le montant d'investissement total est de : 7 108 035 040 Ariary dont le 2 883 457 473.23 Ariary sera en monnaie locale et le 4 224 577 567.52 Ariary sera en Devise.

III-3- Les amortissements [15]

III-3-1- Domaine d'application et définition

L'amortissement s'applique dans divers domaines tel qu'en mécanique (atténuation des oscillations ou les vibrations) qu'en finance (emprunt : la partie du capital qui est remboursée à chaque échéance périodique, par exemple chaque mois) et qu'en comptabilité (la constatation à la



fois au bilan et au compte de résultat de la dépréciation normale et irréversible d'un élément d'actif)

L'« amortissement » est donc un moyen de représenter, à des fins comptables et fiscales, la façon dont la valeur des immobilisations diminue au fil du temps, à cause de leur usure et de leur désuétude.

Les biens durables, comme les matériels roulants et équipements de la carrière, se déprécient au cours du temps et doivent éventuellement être remplacés.

Une société peut déduire de son revenu imposable l'amortissement sur la durée de vie utile estimative du bien. De cette façon, le coût des biens d'équipement de la société permet de mieux exprimer le coût unitaire des biens produits par cet équipement.

Les immobilisations amortissables comprennent :

- les immobilisations susceptibles d'amortissement pour usure et
- les immobilisations susceptibles d'amortissement pour diminution de substance.

Pour notre cas, ce sont les matériels roulants qui se sont amortis. L'amortissement est ainsi la somme mise de côté par l'entreprise sur ses bénéfices (Excédent brut d'exploitation) pour compenser l'obsolescence et l'usure de ses biens d'équipement.

III-3-2- Méthode de calcul de l'amortissement

Deux méthodes sont couramment utilisées :

- L'amortissement linéaire est calculé en répartissant, de façon égale, le coût du bien sur chaque année de sa durée de vie utile.

- L'amortissement accéléré repose sur le même principe, mais il consiste à appliquer un taux d'amortissement plus élevé pendant les premières années de la durée de vie du bien qu'au cours des années ultérieures. L'amortissement accéléré présente l'avantage de faire des déductions d'impôt plus importantes que les premières années.

L'amortissement est soit constant d'année en année, soit selon l'utilisation du bien ou soit dégressif (plus fort les premières années, où la perte de valeur est plus rapide)

L'investissement calculé dans la phase précédente nous amène donc à amortir les matériels roulants et équipements pour la carrière, les amortissements des autres immobilisations sont mis en annexes. Les amortissements sont donc effectués sur la base de 5 ans pour les matériels roulants, celles des équipements de carrière seront pour 10 ans. D'où un taux d'amortissement de 20 % pour le premier et de 10% pour le dernier.



III-3-3- Tableau des amortissements

Après avoir rappelé le principe de l'amortissement, nous essayons de repartir dans le tableau ci-dessous les amortissements des matériels roulants:

Désignation	Valeur d'acquisition	Taux	Amortissement	Valeur résiduelle
Matériels roulants: - Camions à benne basculante à 15 t. - Voiture terrain type: ranger	1 797 120 000 132 000 000 1 929 120 000	5		
Sous total			385 824 000	1 543 296 000
Equipement pour la carrière: - Pelle Hydraulique 320L CAT - Bull D6RIII - Tracto-pelle - Transport+ entretien	1 309 150 101 1 242 416 352 737 256 000 110 000 000 104 483 617 2 194 155 969	10	219 415 597	194 740 372
Sous total				

Tableau n° 22 Tableau des amortissements des matériels roulants

Toutefois, si pendant la durée d'utilisation de l'immobilisation, une grosse dépense de réparation intervient, cette dépense ultérieure s'analysera comme un composant avec la constatation en immobilisation et la sortie de la valeur nette comptable du composant d'origine.

Tableau d'amortissement des immobilisations											
Désignation	Valeur d'acquisition	Durée	Annuité								
			ans	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingénierie et études	10 000 000	10		1 000 000					1000000		
Construction	21 400 000	5		4 280 000					856000		
Matériel roulant	1 929 120 000	5		385 824 000							
Matériel de traitement	646 200 000	5		129 240 000							
Matériel d'exploitation	2 194 155 969	10		219 415 596,9					219415596,9		
Frais d'installation et de transport	142 017 798,50	5		28 403 559,7							
Divers	86 422 080	10		8 642 208							
TOTAL	5 021 493 768.50				776 805 364.60					221 271 596,9	

Tableau n° 23 Tableau des amortissements des immobilisations



III-4- Compte d'exploitation : (en Ariary)

Le compte d'exploitation est un compte qui estime les coûts de production et prévoit le bénéfice net annuel perçu par le projet durant une période donnée. Il permet donc de déterminer l'excédent d'exploitation, qui est l'excédent (ou le déficit) résultant de l'activité de production, avant prise en compte des intérêts, loyers ou charges que l'unité productrice doit :

- payer sur les actifs financiers ou les actifs corporels non produits qu'elle a emprunté ou loué;
- recevoir sur les actifs financiers ou les actifs corporels non produits dont elle est propriétaire.

De ce fait, par la suite du travail, on va entamer la prévision de la production journalière de l'exploitation afin de déterminer le bénéfice brut et net annuel de la société.

III-4-1- Evaluation de la production et séquence d'exploitation

Afin de déterminer la séquence d'exploitation de la société, Il nous paraît utile de déterminer les productions journalières de l'exploitation.

Pour ce faire, nous allons considérer les résultats durant notre terrain en mois d'octobre. La quantité de saphir obtenue varie d'un jour à l'autre selon la quantité du tout venant traité et la concentration du minerai contenant dans la couche. Cependant le tableau ci-dessous nous permet d'avoir une idée sur la production annuelle du saphir:



Date	Saphir obtenu	Nombre de pièce	Poids des pièces	Poids total (g)
10-oct.	au premier triage	56	32.9	88.8
	au second triage	94	55.9	
11-oct	au premier triage	53	25.7	76.9
	au second triage	81	51.2	
12-oct	au premier triage	62	34.3	64.2
	au second triage	74	29.9	
13-oct	au premier triage	56	31.8	80.9
	au second triage	96	49.1	
14-oct	au premier triage	31	16.3	56.4
	au second triage	77	40.1	
15-oct	au premier triage	41	22.3	78.5
	au second triage	104	56.2	
		Total	445.7	

Tableau n° 24 Production journalière du saphir de la société

A la fin de la journée, on procède au triage du minerai gemmifère, en particulier le saphir. Ce dernier est de taille très variable et ayant des différentes couleurs. Les saphirs de grande taille sont obtenus au premier triage, ceux de petite au second triage.

En effet, la production n'est pas constante, mais en faisant la moyenne de la quantité journalière obtenue durant le terrain, on prévoit la production à 74g par jour. Et comme la société travaille 22 jours pendant un mois, la production moyenne mensuelle s'évalue à 1628 g. D'après



ce résultat, on remarque que l'exploitation dans cette région est très productive. Et en optimisant certains points techniques (présenter dans le chapitre précédent), il devient encore beaucoup plus rentable.

Pour une année de travail qui se compte à 7 mois (à cause du période de crue), la production annuelle oscille alors autour de la valeur de 11 396 g, soit de 11 Kg à 12 Kg qui est une valeur très remarquable pour l'exploitation du saphir.

Le volume annuel V_m du minerai transporté vers la laverie est de:

$$V_m = 240 \times 154 = 36\,960 \text{ m}^3$$

La durée d'exploitation qui s'évalue à une durée de 5ans avec une production moyenne annuelle de 11 396 g pour une quantité de 36 960 m³ de minerai extrait, nous donne la séquence d'exploitation suivante:

<i>Année</i>	<i>Capacité de production</i>	<i>Quantité minerai extrait (m³)</i>	<i>Quantité de saphir brut (g)</i>
1	80	29568	9116.81
2	90	33264	10256.4
3	100	36960	11396
4	100	36960	11396
5	100	36960	11396

Tableau n° 25 Séquence d'exploitation annuelle

Le saphir obtenu est vendu sur le marché mondial. La société possède une lapidairerie, alors la majorité des saphirs à exporter sont des saphirs taillés.

Le prix du saphir taillé varie de 200 à 1200 € le gramme.

Soit : au 1^{er} triage (bonne qualité) : 36% au prix de 1 200 000Ar le gramme

au 2^è triage : 64% au prix de 700 000 Ar le gramme.

En taillant le saphir, son poids brut diminue de 15 % environ. Soit le poids du saphir taillé devient: 9686,6 g par an. Alors le prix de vente s'évalue à:

Prix de vente = 9686,6 (1 200 000x 0.36 + 700000 x 0.64) = 8 524 208 000 Ar

En tenant compte du frais de taille et les différents frais généraux de marketing de ces produits (20%); le produit d'exploitation devient:

Produit d'exploitation = 8 524 208 000 - 1 831 382 784 = 6 692 825 216Ar



III-4-2- Fonds de roulement

Le fonds de roulement est constitué par le coût d'exploitation. Il se compose par les coûts des matières consommables et divers, le frais de personnel, utilités, pièces de rechange. Dans notre cas, on a deux types de coût d'exploitation selon le cas:

1^{ère} cas: location

2^{ème} cas: achat des matériels.

De plus, pour le premier cas, on a deux bulls et une pelle hydraulique. Celle du second cas, on a décidé d'avoir deux pelles et un seul bull. Donc, ces paramètres ont une influence directe sur le coût d'exploitation.

Les tableaux suivants résument ces différents coûts:

Rubriques	Location	Achat
1- Location engins	2 464 461 760	0
2- Frais personnel		
- Administratif et cadre	37 477 188	37 477 188
- Opérationnel	8 665 118 .40	8 665 118 .40
- Vivres	7 628 877.60	7 628 877.60
3- Utilités		
- carburant et lubrifiant	693 158 766 .72	644 814 839.10
- Divers déplacements	7 822 080	11 174 400
4- Frais généraux	60 000 000	60 000 000
5- Pièces de rechange	0	142 017 798.50
6- Matières consommables diverses	9 600 000	9 600 000
7- Fourniture de bureau	9 000 000	9 000 000
8- Sous total	3 297 833 790.72	930 378 221.60
9- Imprévu 10% du sous total	329 783 379.07	93 037 822.16
TOTAL	3 627 617 169.79	1 023 416 043.76

Tableau n° 26 Tableau coût d'exploitation

III-4-3- Bénéfice comptable: [15]

Divers bénéfices entrent dans le calcul de l'évaluation financière et commerciale dont:

➤ Bénéfice brut avec

$$\text{Bénéfice brut} = \text{produit d'exploitation} - \text{coût d'exploitation}$$

➤ Bénéfice net avec

$$\text{Bénéfice net} = \text{bénéfice brut} - \text{amortissement}$$



De cette manière, on a les tableaux des comptes d'exploitation ci-après:

	Location	Achat
1- Capacité de production	100	100
2-Production par an (g)	11396	11396
3-Vente	6 692 825 216.00	6 692 825 216.00
4- Charges fixes	2 578 252 944.00	113 771 184.00
5- Charges variables	719 580 846.72	816 607 037.60
6-Coût d'exploitation	3 627 617 169.79	1 023 416 043.76
4-Amortissement	237 565 767.70	776 805 364.60
5-Bénéfice brut (BE):	3 065 208 046	5 669 409 172
7- Bénéfice net: 5-4	2 827 642 278.51	4 892 603 807.64
8- Charges financières	0	0
9-Bénéfice imposable	2 827 642 278.51	4 892 603 807.64
10-Impôt et taxe 35 % de 7	989 674 797.48	1 712 411 332.67
11-Résultat net: 9-10	1 837 967 481.03	3 180 192 474.97
12-Cash flow brut:4+5	3 302 773 813.91	6 446 214 536.84
13-Cash flow net:4+11	237 565 778.70	776 805 375.60

Tableau n° 27 Tableau compte d'exploitation

NB: L'Excel facilite le calcul du tableau précédent.

III-5- Critère de rentabilité économique

La rentabilité économique est le rapport entre les recettes et les dépenses. Ceux qui entrent dans les recettes (qui sont essentiellement le résultat d'exploitation ou encore le résultat net) sont:

- le chiffre d'affaires lié à l'activité
- les subventions
- résultats d'investissements,

Les dépenses sont:

- la main d'oeuvre et les salaires,
- les coûts liés au maintien de l'activité (maintenances de l'outil de travail,...)
- les charges.

Ce critère de rentabilité économique est un bon indicateur pour mesurer l'efficacité d'une entreprise. En effet, le but d'une entreprise étant de créer de la valeur: si la rentabilité est positive c'est que l'entreprise crée.

Le critère simple de rentabilité se présente comme suit:



III-5-1- Taux de marge brut : T_{mb}

$$\text{Taux de marge brut} = \frac{\text{Bénéfice brut}}{\text{Chiffres d'affaires}}$$

III-5-2- Taux de marge net : T_{mn}

$$\text{Taux de marge net} = \frac{\text{Bénéfice net}}{\text{Chiffres d'affaires}}$$

III-5-3- Taux de rentabilité: T_r

On a ainsi:

- Taux de rentabilité de l'investissement total: T_{ri} avec

$$T_{ri} = \frac{\text{Bénéfice brut}}{\text{Investissement total}}$$

- Taux de rentabilité du capital par rapport au bénéfice net: T_{rc} avec

$$T_{rc} = \frac{\text{Bénéfice net}}{\text{Investissement total}}$$

Nous avons programmé ces calculs sur MATLAB et on obtient les tableaux de récapitulations suivantes:

	T_{mb}	T_{mn}	T_{ri}	T_{rc}
Location	0.4579	0.4224	0.5060	0.4668
Achat	0.8470	0.7310	0.7976	0.6883

Tableau n° 28 Tableau récapitulation des comptes d'exploitation

III-5-4- Interprétations des résultats

On peut dire que 45% des recettes sont constitués de bénéfice brut et 42% de bénéfice net. Ainsi 100 ar dégage 0,50 de bénéfice brut et 0,46 de bénéfice net (cas location des engins). Ces

paramètres sont améliorés afin d'aboutir à une TRI optimale pouvant atteindre la valeur de 100 Ar dégage 0,79 de bénéfice brut et 0,68 de bénéfice net.

III-5-5- Calcul du point mort : Pm

Le calcul du seuil de rentabilité d'une entreprise est appelé aussi le « point mort » ou « break even point ». Il sert à analyser la rentabilité en indiquant le niveau de production qui permettra à l'entreprise de faire ni de perte ni de profit.

Le seuil ou le taux de rentabilité est donc le niveau où l'entreprise réussi à couvrir toutes ses charges. Dépasser ce niveau, signifie le début d'une rentabilité. Il est donc important pour l'entreprise de connaître ce point limite pour le surpasser. Il est représenté par le graphique ci-dessous:

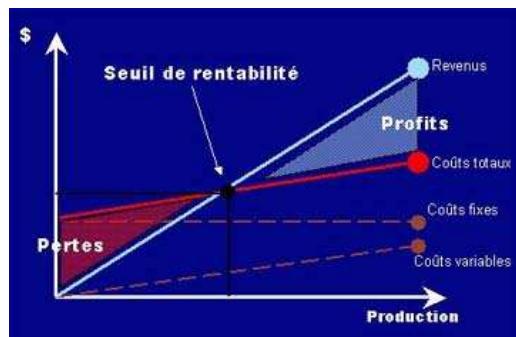


Figure n°17 Représentation du seuil de rentabilité

Le calcul du seuil de rentabilité est donné par les formules de base suivantes :

$$P_m = \frac{\text{Charges fixes totales}}{\text{Chiffres d'affaires} - \text{charges variables totales}}$$

- Exprimé en pourcentage de capacité :

1^{er} cas:

$$P_m = \frac{2\ 578\ 252\ 944.0}{6\ 692\ 825\ 216.00} = 0,43$$

$P_m = 43\% < 70\%$ alors ce projet est jugé économique.

Mais il devient beaucoup plus rentable et très intéressant pour le second cas:

$$P_m = \frac{113\ 771\ 184.00}{6\ 692\ 825\ 216.00 - 816\ 607\ 037.60} = 0,019$$

2^{ème} cas:

- Exprimé en volume monétaire :

1^{er} cas:

$$V_o = \frac{113\ 771\ 184.00}{0.8470}$$

$$V_o = 5\ 630\ 602\ 629 \text{ Ariary}$$

$$2^{\text{ème}} \text{ cas: } V_o = \frac{2\ 578\ 252\ 944.0}{0,4579}$$

$$V_o = 3\ 043\ 982\ 224 \text{ Ariary}$$

III-5-6- Délais de récupération : Dr

Le délai de récupération est le temps nécessaire pour que les dépenses initiales d'investissement effectuées par l'entreprise seront récupérées. Les recettes et les dépenses seront ainsi équilibrées avec:

1^{er} cas:

$$\text{AN: } D_r = \frac{\text{Investissement total}}{\text{Bénéfice brut}} = \frac{6\ 057\ 187\ 196.32}{3\ 065\ 208\ 046} = 1,97$$

$$D_r = 1,97$$

$$D_r = 1 \text{ an 11 mois}$$

2^{ème} cas:

$$D_r = \frac{7\ 108\ 035\ 040.75}{5\ 669\ 409\ 172} = 1,25$$



$$D_f = 1,25$$

$$D_f = 1 \text{ an } 3 \text{ mois}$$

NB: 1^{er} cas: pour la location

2^{ème} cas: pour l'achat

III-6- Simulation sur MATLAB

Pour faciliter le calcul, on utilise le logiciel MATLAB. MATLAB est un logiciel de calcul matriciel à syntaxe simple. Avec ses fonctions spécialisées, MATLAB peut être aussi considéré comme un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifiques et divers calculs économiques.

L'objectif de l'utilisation du logiciel MATLAB dans la présente étude est double : la connaissance de ce logiciel est en soi indispensable parce qu'il est de plus en plus utilisée dans l'industrie et divers sociétés. Ensuite, il facilite les calculs de rentabilité économique en utilisant son langage de programmation.

III-6-1- La session de travail sur MATLAB

a) Démarrer MATLAB



Fenêtre de commande

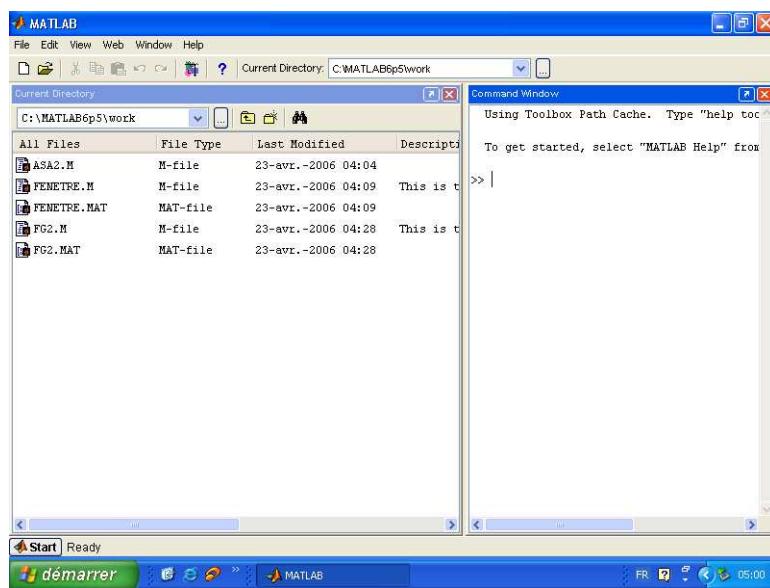


Figure n°18 Fenêtre de commande MATLAB

- Dans cette fenêtre Commande, on tape les instructions une ligne à la fois.
- Pour notre cas, on tape le nom "fenêtre"



- Chaque ligne est exécutée immédiatement après la touche "Return".
- Une ligne peut contenir plusieurs instructions séparées par des virgules (,).

b) Espace de travail (Workspace)

Les variables sont définies au fur et à mesure que l'on donne leurs noms et leurs valeurs numériques ou leurs expressions mathématiques.

Les variables ainsi définies sont stockées dans *l'espace de travail* et peuvent être utilisées dans les calculs subséquents. Dans le fichier "work".

- Ouverture de la fenêtre d'accueil:

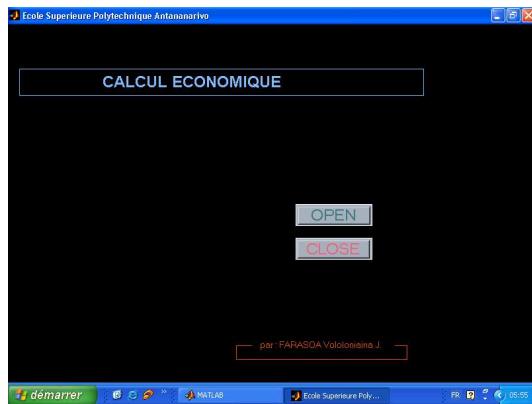


Figure n°19 Fenêtre d'accueil

- Utiliser la commande "open", on a la fenêtre de calcul ;

Dans la première colonne, on introduit les valeurs des différents coûts.

- En cliquant sur le commande CALCUL: on obtient les différentes valeurs du critère de rentabilité sur la deuxième colonne.



Figure n°20 Fenêtre de calcul

- Fin pour terminer le calcul.

Cette programmation permet en effet de calculer rapidement les différents critères de rentabilité. En effet, en possédant plusieurs paramètres et afin de choisir rapidement parmi ces différents paramètres les résultats qui nous conduisent en TRI optimale, on peut utiliser cette programmation.

CONCLUSION

CONCLUSION

Dans ce travail, grâce aux études durant notre formation ainsi que l'observation directe sur terrain, on a pu collaborer avec la société exploitante à optimiser les différentes paramètres de l'exploitation. L'étude couvre ainsi les aspects techniques d'exploitation d'un gisement du saphir allant du méthode d'exploitation jusqu'au traitement de ce mineraï le tout en relation avec les aspects économiques.

Dans cette optique, nous avons effectué en premier abord la présentation générale sur le saphir et son gisement pour pouvoir se prononcer sur la valeur de ce saphir et présenter ces différents types de gisements. La documentation montre que le saphir de Madagascar se trouve en état prometteur pour l'économie nationale. Ensuite, vient les travaux de terrain pour étudier l'état actuel du site et analyser les problèmes sur un gisement de saphir.

Puis nous avons mené notre contribution à optimiser les différentes opérations de l'exploitation en vue d'une production optimale dans un temps réduite. Le choix des matériels influe directement sur les diverses opérations. La politique de possession des engins est adoptée dans le but des réductions du coût vu la durée de l'exploitation et le projet d'une autre exploitation voisinant par la société exploitante. Ainsi, nous avons pu mettre en valeur les calculs des critères de rentabilité économique, faciliter par le logiciel MATLAB.

En bref, il faut souligner les points suivants :

- *Il est surtout indispensable d'avoir une meilleure organisation permettant aux engins de la carrière de déployer tout leur capacité ainsi qu'une harmonie et cohérence de l'ensemble de dispositif mis en jeu en vue d'exécution des travaux d'exploitation;*
- *L'organisation et la qualification du personnel ne sont pas aussi à négliger;*
- *L'entretien et la maintenance des matériels et outils soigner pourront conduire à la diminution de la panne provoquée ainsi la minimisation de la durée d'exploitation;*

- *Enfin, les règles de sécurité à ne pas négliger tout en rendant compte à la protection de l'environnement.*

Au terme de cette étude, nous pouvons affirmer que les paramètres de l'exploitation ne seront jamais constants. Elles varient au fur et à mesure de l'avancement des travaux. En effet, la présente étude ne prétend pas avoir cerné tous les problèmes inhérents à l'exploitation du saphir, mais elle apporte sa contribution dans le cadre de la requête des chemins critiques.

En conséquence, certains points méritent encore de l'amélioration et des approfondissements. La conduite des travaux sur terrain par des Ingénieurs s'avère alors importante. L'art de l'Ingénieur des Mines consiste à trouver les meilleures techniques, la plus économique dans tous les domaines en général, exploitation minière en particulier, dans un éternel compromis entre coût et qualité.

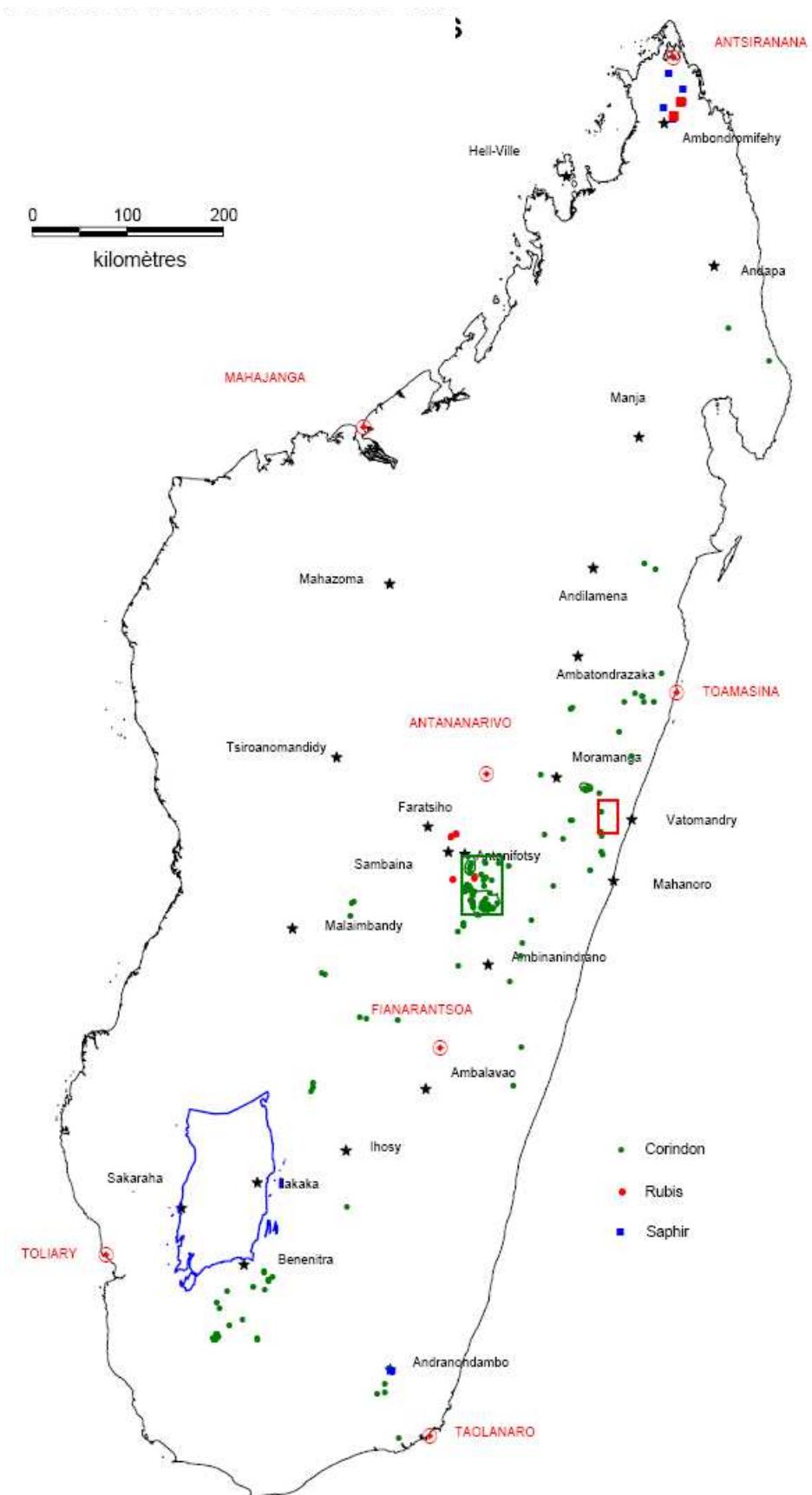
BIBLIOGRAPHIE

- [1]. CASTANO N. -Edition 1995 - "Le réaménagement des carrières" - Mémoire de DESS, Université de Dijon.
- [2]. "Dictionnaire Français " – 1998 - Edition Hachette (CD-ROM).
- [3]. FLEURISSON J.A. - juin 1997 - "Influence des structures géologiques sur les problèmes liés à l'exploitation des mines à ciel ouvert" - Les Techniques - pp17-24.
- [4]. GUERIN - juillet, septembre 2000 - " La ruée vers le saphir"- Les cahiers d'outre mer - pp 253-272, vol: 53
- [5]. HAGEN D., PRIESTER M-ATPEM, Edition 200- "Les placers d'or et de pierres gemmes"- cahier N°11.
- [6]. HENRI BESAIRIE – 1966 – "Gîtes minéraux de Madagascar" – Annales géologiques de Madagascar, Fascicule XXXIV. Service géologique Antananarivo.
- [7]. Microsoft ENCARTA-2004- (CD-ROM).
- [8]. PHILIPE MORAT- "Géographie régionale du Sud-Ouest de Madagascar"- Mémoire O. R. S. T. O. M (Office de la recherche scientifique et technique outre mer), bibliothèque AUF Tsimbazaza.
- [9]. PIERRE BARIAND J.P- Edition 2004 - "La rousse des pierres précieuses", CCAC.
- [10]. RANDRIANJA Roger- cours 5^{ème} année 2005 - "Recherche opérationnel"
- [11]. RAJOELISON Henri/ ANDRIAMIHAMINTSOA Rasamoely – Mai 2000 – "Etude descriptive de la filière lapidaire à Madagascar"- CITE / PAEPEM- pp 42-43
- [12]. RAZAFINIPARANY.A - Décembre 1966 – "Rapport Annuel du service géologique", service géologique Ampandrianomby.
- [13]. RAKOTOARISON Simon- cours 5^{ème} année 2005- "Environnement minier"
- [14]. RAKOTONINDRAINY - cours 3^{ème} année 2003- "Etude technico-économique"
- [15]. WALT SCHUMANN- Edition Originale : 1999 - "Guide des pierres précieuses" (pierres fines et ornementales).

- [16]. "Les études de marché"- Document disponible sur le site: www.etudesdemarche.net- consulté en Décembre 2005.
- [17]. "Le corindon: saphir"- Document disponible sur le site <http://semisci.u-strasbg.fr/corindon.htm> - consulté le mois de Novembre 2005.
- [18]. "La saphir"- Document disponible sur le site: <http://www.gemstone.org>- consulté en mois de décembre 2005.
- [19]. "Ruée vers le saphir, Ilakaka: le dernier far-west malgache" Document disponible sur le site <http://membres.lycos.fr/pairain/saphir.htm>- consulté en mois de décembre 2005.
- [20]. "groupe électrogène"- Document disponible sur le site:
www.hondapowerequipment.com- Décembre 2006.
- [21]. "appellation interdite"- Document disponible sur le site www.gemmology.org - Janvier 2006
- [22]. "rechercher: saphir" - Document disponible sur le site www.gemfrance.com- Février 2006
- [23]. "pierre précieuse" (avec code d'accès) - Document disponible sur le site www.quid.fr - Avril 2006
- [24]. "pierres précieuses"- Document disponible sur le site www.thecanadianencyclopedia.com- Avril 2006.
- [25]. "les pierres précieuses du monde: saphir"- Document disponible sur le site www.bijoux-lespierresdumonde.com- mai 2006
- [26]. RAHAJASON Andriambololona- Mémoire de fin d'étude 1990-"Optimisation de la carrière d'Ankazotaolana sous divers hypothèses économiques"-ESPA.

ANNEXES

ANNEXE 1 : CARTE DE LOCALISATION DES CORINDONS DE MADAGASCAR



ANNEXE 2 : LES MINÉRALES ET LES PIERRES CORRESPONDANTES

MINÉRAL	PIERRES
<i>Béryl</i>	Émeraude, aigue-marine, beryl doré
<i>Calcédoine</i>	Hématite, héliotrope, calcédoine, agate, onyx
<i>Chrysobéryl</i>	Alexandrite, œil-de-chat, chrysobéryl jaune
<i>Corindon</i>	Rubis, saphir
<i>Diamant</i>	Diamant
<i>Grenat</i>	Almandin, pyrope, démantoïde, essonite
<i>Jadeïte</i>	Jade
<i>Néphrite</i>	Jade
<i>Opale</i>	Opale noire, opale de feu, opale blanche
<i>Péridot</i>	Péridot, chrysolite
<i>Quartz</i>	Améthyste, citrine, œil-de-tigre, œil-de-chat, jaspe
<i>Spinelle</i>	Rubis spinelle, spinelle bleue, spinelle de feu
<i>Topaze</i>	Topaze
<i>Tourmaline</i>	Tourmaline rouge, tourmaline verte
<i>Turquoise</i>	Turquoise
<i>Zircon</i>	Hyacinthe

ANNEXE 3 : L'AUTHENTIFICATION DES PIERRES GEMMES

Lorsqu'on authentifie une pierre gemme taillée, on détermine grâce à ses propriétés physiques son espèce minéralogique et l'on démontre en fonction de ses particularités de cristallisation ou de texture son origine naturelle, ou bien dans le cas de pierres synthétiques on détermine sa fabrication artificielle (ou des modifications que la gemme aurait pu subir de la part de l'homme lors de traitements thermiques ou autres).

Un oeil expérimenté pourra dans certains cas déterminer l'espèce minéralogique d'une gemme qui a des particularités propres à cette espèce. Mais l'oeil seul ne peut pénétrer suffisamment en profondeur dans la gemme pour déterminer précisément son origine naturelle ou synthétique si elle a subi des modifications de sa structure cristalline par des traitements ou si la pierre est une pierre assemblée (doublet, triplet).

L'emploi et l'aide de certains instruments s'avèrent donc indispensables si l'on veut authentifier très précisément une pierre gemme. A noter tout de même que l'emploi seul des instruments que l'on va décrire ci-dessous n'est pas suffisant pour déceler certaines pierres synthétiques. Seuls les laboratoires de gemmologie possèdent les instruments adéquats pour ce type d'analyse, tels que des spectrographes de diffraction X, des microscopes électroniques à balayage, etc...

Voici une liste d'outillage et d'instruments servant à l'authentification des pierres gemmes :



► **La loupe 10 X** : l'indispensable loupe de grossissement dix fois. Elle permettra de détecter rapidement les pierres assemblées (doublets, triplets, agglomérats), les pierres synthétiques fabriquées selon le procédé Verneuil, certains verres, et permettra de pénétrer à l'intérieur de la gemme afin d'examiner sa propreté.



► **Le polariscope** : il suffit d'examiner la pierre, placée au-dessus d'une source lumineuse entre les deux filtres polarisants afin de séparer les pierres isotropes des anisotropes (et parfois de déceler parmi cette dernière famille les cristaux uniaxes). L'emploi du polariscope est très utilisé lors de la taille des pierres, surtout pour le diamant, car il permet de déceler les tensions internes.



► **Le dichroscope** : il permet d'observer les couleurs du pléochroïsme, et de discerner la couleur sous-jacente d'un minéral coloré anisotrope.



► **Le réfractomètre** : cet instrument permet de déterminer l'indice de réfraction d'une pierre ayant au moins une face polie. On fait pivoter la face polie de la pierre qui a été posée sur le prisme de l'appareil dont on a au préalable mis un liquide (qui s'appelle : liquide de contact). Il suffira d'éclairer le prisme à l'aide d'une lumière monochromatique pour voir apparaître sur l'échelle du réfractomètre une ou deux ombres dont les mouvements permettront de discerner les diverses caractéristiques optiques de la pierre.



► **Le palmer ou calibre** : cet instrument permettra de mesurer très précisément les dimensions de la pierre, ce qui nous permettra à l'aide de tables de conversion de déterminer la masse de la pierre et de ce fait de connaître sa densité approximative en la comparant à sa masse réelle.



► **La balance portable** : cet instrument nous permettra de peser très précisément la pierre. Elle peut être électronique ou manuelle (trébuchet). Leur capacité et leur précision est variable selon les modèles.



► **La lampe à ultraviolet** : cet instrument nous permettra de déterminer la luminescence/fluorescence de la pierre qui est provoquée par le rayonnement de la lumière noire.



► **Le spectroscope à main** : cet instrument nous permettra de déterminer et de mettre en évidence les lignes et bandes d'absorption dans la lumière visible. Il permettra par exemple de distinguer facilement les rubis

(chrome) des saphirs rouges (fer).



► **Liquides denses** : ces liqueurs permettent de déterminer la densité d'une pierre et cela quelles que soient ses dimensions. La densité des liqueurs varie de 2,57 à 3,52. Le principe est simple : un minéral coule dans un liquide dont la densité est moindre, par contre il restera en suspension si les densités sont égales, et flottera

si le liquide a une densité plus forte. Pour déterminer la densité d'une pierre, il faudra donc trouver le liquide dense dans lequel la gemme restera en suspension.



► **La brucelle :** cet instrument permet de tenir fermement les pierres gemmes sans les abîmer et sans gêner la pénétration de la lumière dans la gemme. La manipulation des gemmes s'effectue plus facilement.



► **Le laboratoire portable :** présenté dans une malette, le laboratoire portable contient tous les instruments cités ci-dessus avec en plus un microscope stéréoscopique grossissant de 10 à 40 fois. Elle s'avère très pratique lors des déplacements sur le terrain et facilitera grandement le travail en offrant toute la panoplie d'instruments nécessaires à l'authentification des pierres gemmes.

ANNEXE 4: TABLEAU DES RÉSISTANCES DES PIERRES PRÉCIEUSES

Nous parlons souvent de caractéristiques chimiques, physiques et optiques des pierres précieuses.

Mais qu'en est-il de leurs résistances aux différentes agressions tant lors de leur port que lors de leur travail en atelier.

N'oublions pas que les pierres précieuses ne sont pas grande chose si elles ne sont pas mises en valeur dans un bijou.

Nom de la pierre et sa nature	Couleur de la pierre	Résistances					Remarques, conseils, détection
		à la chaleur	aux chocs	aux acides	à l'ultrason	Polissage.	
<i>Agate (Quartz)</i>	Blanc nuancé, vert, orangé,	Mauvaise	Moyenne	Moyen avec modération	Bonne si pas de fissure		Microcristallin. Variété agate mousse, paysagée, typique
<i>Aigue-marine</i>	Bleu pâle, bleu-vert	Mauvaise	Moyenne	Moyenne	Bonne		filtre Chelsea
<i>Ambre</i>	Jaune clair à orange-noir	Très mauvaise, s'enflamme	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Oui	Inclusion d'insectes. Inclusions nénuphars trop présentes
<i>Améthyste</i>	Violet foncé à parme	Mauvaise, change de couleur à 470°C (devient jaunâtre)	Mauvaise	Bonne	Bonne		
<i>Camée</i>	Fond rose à brun + motif blanc	Mauvaise	Très mauvaise	Très mauvaise	Très mauvaise	Oui	
<i>Chrysoprase</i>	Verte	Très mauvaise	Très mauvaise	Bonne	Bonne		Souvent teintée en vert => filtre chelsea
<i>Citrine</i>	Nuances de jaune	Mauvaise, devient laiteuse à 470°C (devient laiteuse)	Mauvaise	Bonne	Bonne		
<i>Corail</i>	Rose à rouge, noir	Mauvaise	Très mauvaise	Très mauvaise	Très mauvaise	Oui	Traitemet à l'huile
<i>Cornaline (Quartz)</i>	Rosée à brun-rouge	Très mauvaise	Moyenne	Mauvaise	Mauvaise		Microcristallin
<i>Cubic</i>	Toutes les	Mauvaise	Moyenne	Bonne	Bonne		

<i>Zirconium</i>	couleurs	(jauni à 700°C)					
<i>Cubic Zirconium</i>	Transparent incolore	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne		Jaune-orange sous UVC, testeur thermique, feu
<i>Diamant</i>	Toutes les couleurs	Bonne si borax, Courant d'air	Bonne	Bonne	Bonne		Liqueur 3,32 (>< Moissanite)
<i>Emeraude</i>	Toutes les nuances de vert profond	Très mauvaise	Très mauvaise	Mauvaise	Très mauvaise		Traitement à l'huile ou résine
<i>Grenat</i>	Toutes les couleurs et incolore	Mauvaise	Bonne	Bonne	Bonne		Monoréf. avec biréf. anormale
<i>Hématite</i>	Noir à rouge brun. Eclat métallique	Mauvaise	Moyenne	Mauvaise	Moyenne		Synthèse de l'hématite. Attirée par l'aimant
<i>Hématite</i>	Noir à rouge brun. Eclat métallique	Mauvaise	Moyenne	Mauvaise	Moyenne		Pas attiré par l'aimant >< synthèse hématine
<i>Iolite</i>	Mauve-bleue	Très mauvaise	Très mauvaise	Bonne	Moyenne		
<i>Lapis-lazuli</i>	Bleu avec inclusions dorées	Mauvaise	Moyenne	Mauvaise ! Inclusions et fissures	Mauvaise		
<i>Malachite</i>	Vert clair à profond en lignes	Mauvaise	Très mauvaise	Très mauvaise	Mauvaise	Oui	Traitement à l'huile
<i>Nicolo</i>	Base noir et partie sup. blanc-bleu	Très mauvaise	Moyenne	Mauvaise	Mauvaise		
<i>Obsidienne</i>	Verte à brun, noir	Moyenne	Moyenne	Bonne	Bonne		
<i>Oeil de Tigre (Quartz)</i>	Brun mordoré	Mauvaise	Moyenne	Moyen avec modération	Moyenne, avec modération		Microcristallin
<i>Onyx (Quartz)</i>	Noir	Très mauvaise	Moyenne	Mauvaise	Mauvaise		Microcristallin
<i>Opale commune</i>	Blanc, bris, bleuté, laiteuse	Très mauvaise	Très mauvaise	Très mauvaise (Jamais dans dérochage)	Mauvaise		Mettre dans eau chaude pour enlever le borax.
<i>Opale de feu</i>	Orangée	Très mauvaise	Très mauvaise	Très mauvaise (Jamais dans dérochage)	Mauvaise		Mettre dans eau chaude pour enlever le borax.
<i>Opale noble</i>	Blanc bleuté avec	Très mauvaise	Très mauvaise	Très mauvaise	Mauvaise		Mettre dans eau chaude pour enlever le borax.

	opalescence			(Jamais dans dérochage)			
Péridot = divine	Vert olive à vert jaune	Moyenne, s'éclaircit si pas protégée	Mauvaise	Très mauvaise, jamais dans sulfurique	Moyenne		
Perle de culture	Beaucoup de couleurs et nuances	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Moyenne		Traitements : teinture, nitrate d'argent, irradiation
Perle d'eau douce	Blanc à grisâtre, rosée à rose	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Moyenne		Traitements : teinture, nitrate d'argent, irradiation
Pierre de lune	Incolore laiteuse à reflets bleutés	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Bonne		
Quartz rose	Nuances de rose	Mauvaise	Moyenne	Moyen avec modération	Bonne		Souvent laiteuse
Rhodacrosite	Rougeâtre avec veines blanches	Mauvaise	Bonne	Moyen avec modération	Bonne		
Rubis naturel	Nuances de rouge	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne		
Rubis synthétique	Nuances de rouge	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne		
Saphir naturel	Toutes les couleurs	Bonne sauf padparasha ! Courant d'air	Bonne	Bonne	Bonne		
Saphir synthétique	Toutes les couleurs	Bonne	Bonne	Bonne à froid	Bonne		
Spinelle naturel	Toutes les couleurs	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne		Pour les bleues : bleues à travers le filtre Chelsea
Spinelle synthétique	Toutes les couleurs	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne		Pour les bleues : rouges à travers le filtre Chelsea
Topaze	Toutes les couleurs	Mauvaise, s'éclairci vers 500°C	Bonne	Très mauvaise, jamais dans sulfurique	Bonne		Filtre Chelsea pour les bleues, souvent irradiées
Tourmaline	Toutes les couleurs	Mauvaise, devient incolore	Très mauvaise	Moyenne ! Inclusions, fissures risque éclater	Mauvaise ! Inclusions, fissures risque éclater		Convient comme substitut à bcp de pierres, pléochroïsme fort
Turquoise matrix	Bleu-vert veinée de noir	Mauvaise (devient verte à la chaleur)	Très mauvaise	Mauvaise	Mauvaise (devient verte)		Traitements : à l'huile, teinture, vernissage, cirage + turquoise reconstituée

<i>Turquoise naturelle</i>	Bleu-vert à brun jusque noir	Mauvaise (devient verte à la chaleur)	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise (devient verte)		Si changement de couleur, la tramer dans paraffine. Traitements : à l'huile, teinture, vernissage, cirage + turquoise reconstituée
<i>Turquoise plastifiée</i>	Bleu-vert à brun jusque noir	Très mauvaise, le plastique fond	Mauvaise	Très mauvaise selon plastique	Moyenne		Test de l'aiguille chauffée
<i>Verre</i>	Toutes les couleurs	Mauvaise	Mauvaise	Bonne	Bonne		

ANNEXE 5 : SAPHIR SYNTHÉTIQUE

Saphir diffusés: Inclusions caractéristiques

Concentration de la couleur sur le feuilletis et sur les arêtes. Le contrôle se fait en immersion dans le diiodométhane dont l'indice de réfraction est proche de celui du saphir. On vérifie la concentration de couleur sur les arêtes.

Saphir traité thermiquement: Inclusions caractéristiques

Modification des inclusions du saphir naturel. Fonte des cristaux entraînant des halos blanchâtre, des ailes d'insectes aux contours plus blancs et plus épais. Fonte des aiguilles de rutile donnant un effet de pointillisme bleuté. Assèchement des givres liquides les rendants blanchâtres comme des résidus de fondants de saphirs synthétiques, etc.

Saphir synthétiques Verneuil: Inclusions caractéristiques

Zones courbes parallèles entr'elles, bulles rondes, allongées et télescopées perpendiculaires aux zones courbes, zones de couleurs courbes, irrégularité de couleur, etc.

Saphir synthétiques anhydre: Inclusions caractéristiques

Voile blanchâtre de résidus de fondant, empreintes digitales, à ne pas confondre avec les saphirs naturels traités thermiquement. Compte tenu du coût de fabrication, il y a une très faible production de saphir anhydre sur le marché

Doubles

Attention aux doubles composés d'une couche de saphir naturel en surface, et une couche de pierre naturelle, de synthèse, ou de verre en dessous. Toujours vérifier les caractéristiques sur et sous la pierre. Bien observer les inclusions. Technique très ancienne.

Verre

Dureté variable, Densité variable. Présence de bulles et traces de fusion

ANNEXE 6 : LES DIFFÉRENTES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES PIERRES GEMMES

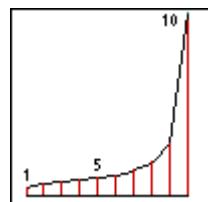
Dureté :

L'une des premières qualités d'une pierre est sa dureté. Toute pierre est classifiée suivant l'échelle de Mohs qui attribue aux minéraux un indice variant de 1 à 10. Dix minéraux sont classés par ordre de résistance à la rayure (chacun raye les précédents et est rayé par les suivants) :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Talc	Gypse	Calcite	Fluorine	Apatite	Orthose	Quartz	Topaze	Corindon	Diamant

A partie de l'indice 7, tous les minéraux rayent le verre. Par contre, tous ceux dont l'indice est inférieur ou égal à 2 sont rayables par un ongle

L'échelle de Knoop montre la force à appliquer dans les dix minéraux de Mohs pour y creuser une entaille avec un pointe diamantée. Ce diagramme nous montre ainsi que la progression est non linéaire dans la dureté :



Poids spécifique :

Il permet de connaître la densité d'un minéral. Ce calcul s'opère en comparant le poids d'un minéral à celui d'un volume égal d'eau. Ainsi, pour une taille identique, un diamant ($PS=3.52$) pèse plus lourd qu'une émeraude ($PS=2.71$).

Clivage et Cassure :

Il existe deux manières de briser des pierres : le clivage et la cassure. Si la brisure se fait en suivant une surface sans relation avec la structure atomique, on parle de cassure, sinon, on parle de clivage.

Interférence :

Elle est due à la réflexion de la lumière par les structures internes de la pierre. Certaines pierres produisent ainsi toutes les couleurs du spectre comme pour l'Opale (iridescence) ou des effets de miroitements comme pour la Pierre de Lune (adularescence).

Chatoyance et Astérisme :

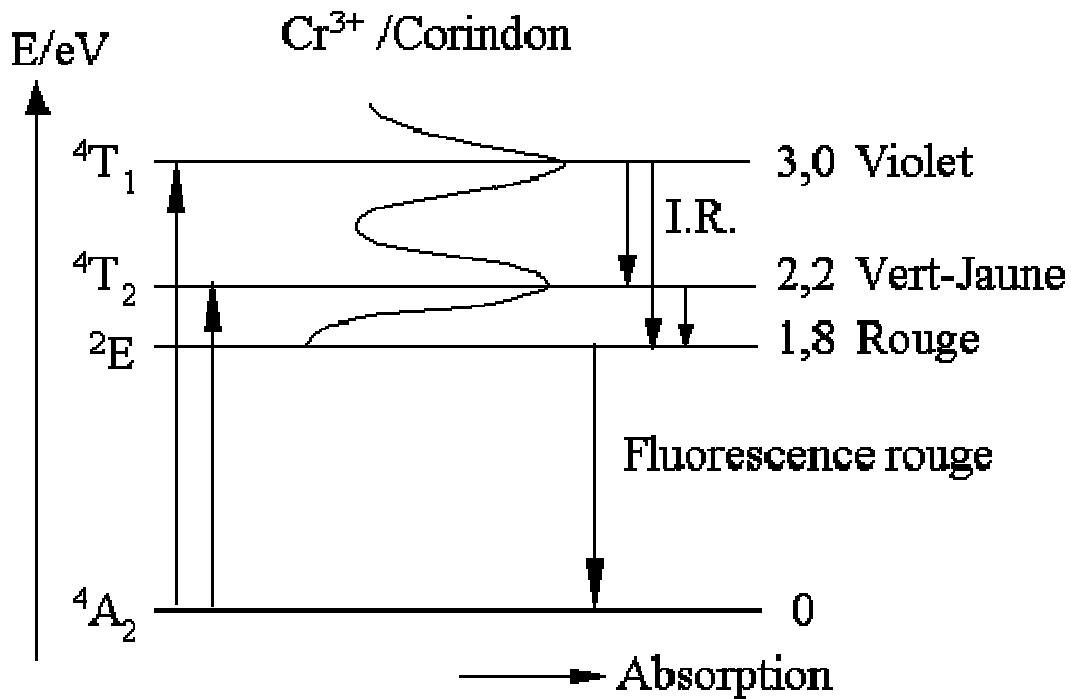
Pour les pierres taillées en cabochon, la lumière réfléchie par les structures internes (cavités, inclusions) peut produire un effet d'oeil-de-chat (chatoyance) ou d'étoile (astérisme).

Pierre présentant une chatoyance : Chrysobéryl Oeil-de-chat.

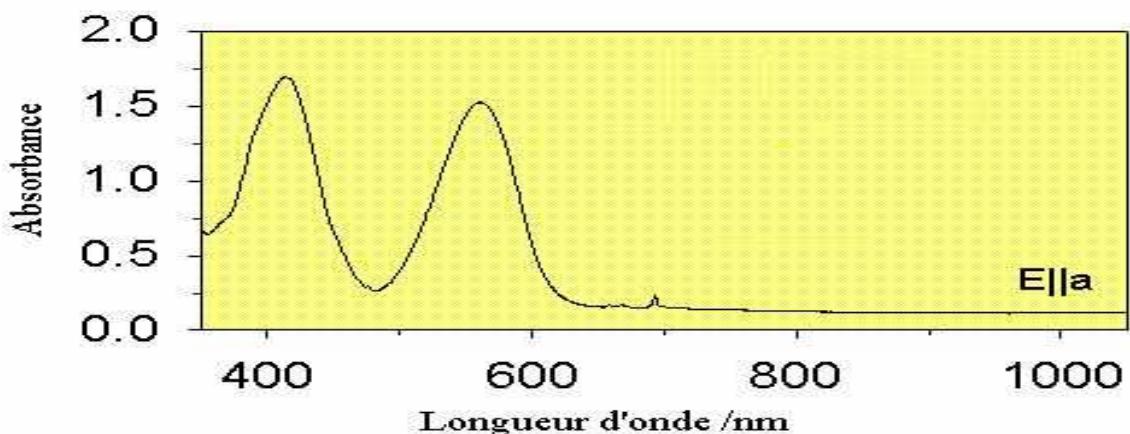
Pierre présentant un astérisme : Saphir Etoilé.

- «synthétique» pour les pierres qui sont des produits cristallisés ou recristallisés dont la fabrication provoquée totalement ou partiellement par l'homme a été obtenue par divers procédés, quels qu'ils soient, et dont les propriétés physiques, chimiques et la structure cristalline correspondent pour l'essentiel à celles des pierres naturelles qu'elles copient;
- «artificiel» pour les produits cristallisés sans équivalent naturel connu;
- «d'imitation» pour les produits artificiels qui imitent l'effet, la couleur et l'apparence des pierres naturelles ou des matières organiques, ou d'autres produits artificiels, sans en posséder les propriétés chimiques ou les propriétés physiques ou la structure cristalline.

ANNEXE 7 : ECHELLE D'ENERGIE



Chaque niveau d'énergie reçoit une étiquette (symboles de gauche) qui décrit de manière précise ses symétries spatio-temporelles. Le nombre en haut à gauche est extrêmement important car il donne le nombre d'électrons n qui ne sont pas groupés par paires et donc susceptibles d'être excités par la lumière visible. Ce nombre est toujours égal à $n + 1$. Dans le cas de l'ion Cr³⁺, $n = 3$ (3 électrons non appareillés) ou 1 (2 électrons appareillés et 1 célibataire) et l'exposant peut donc prendre les valeurs 4 ou 2. Comme on le sait, la lumière de par sa nature électromagnétique préfère laisser cet exposant invariant lors de toute excitation. En conséquence, le rouge ne sera pas absorbé (4 2) tandis que le vert-jaune et le violet le seront fortement (4 4) comme le montre le spectre suivant:



Le petit pic à 695 nm est justement dû à la transition $^4A_2 \rightarrow ^2E$. Sa très faible intensité par rapport aux deux autres témoigne la préférence qu'à la lumière de ne pas changer la valeur du spin.

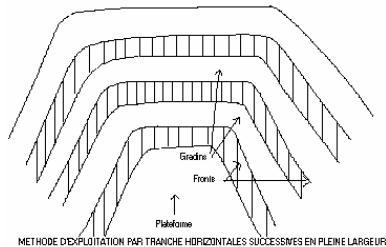
Maintenant prends ta roue des couleurs :

Jaune et vert étant absorbés (première transition : $^4A_2 \rightarrow ^4T_2$), les couleurs adjacentes orange et bleu se compensent. Comme le violet est aussi absorbé par la deuxième excitation ($^4A_2 \rightarrow ^4T_1$, ne passent que le rouge et l'indigo.)

Ce phénomène appelé astérisme est lié à la présence de fibres (souvent du rutile TiO₂) à l'intérieur du cristal. Lorsque la lumière blanche tombe sur de telles inclusions, elle est fortement déviée dans certaines directions.

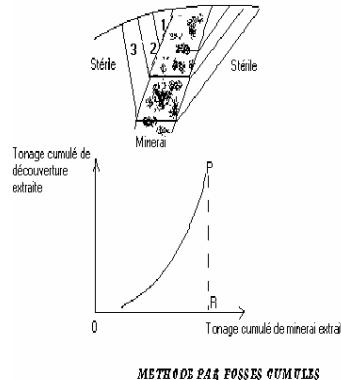
ANNEXE 8 : LES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'EXPLOITATION À CIEL OUVERT

- **Méthode par tranches horizontales simultanées:** 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.

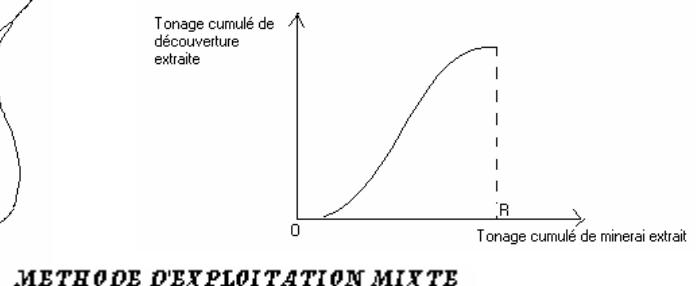
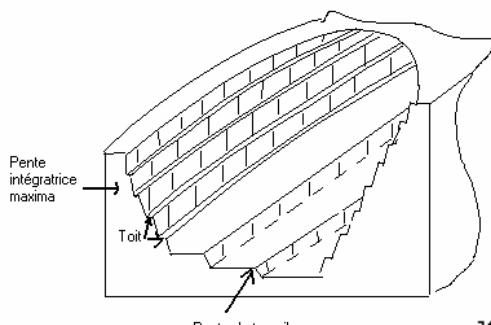


- **Méthode par tranches horizontales successives en pleine largeur:** la progression globalement verticale de l'excavation se fait par tranches horizontales conduites successivement jusqu'au contour final, la tranche inférieure ne démarrant qu'avant la fin de la tranche précédente. Le contour final dessine une fosse ou un entonnoir.

Méthode par fosse emboîtée: le terrassement est conduit de façon que l'excavation affecte à plusieurs époques successives la forme de fosse à peu près homothétique de plus en plus profondes. Le point le plus bas du gisement n'est atteint, en principe, qu'à la fin de l'exploitation, c'est qui interdit toute mise en place de remblai dans l'emprise de la fosse finale.



- **Méthode mixte:** elle combine deux au moins des méthodes précédentes.



ANNEXE 9: CLÉ DE RÉPARTITION

Désignation	Monnaie locale	Devise
-Terrain domanial	100%	
-Bâtiment et construction	100%	
-Matériels roulants	40%	60%
-Equipements pour la carrière	25%	75%
-Equipement pour l'unité de traitement	25%	75%
-Frais de montage et de transport	100%	
-Frais du personnel	100%	
-Divers matières consommables	40%	60%
-Pièces de rechanges et fournitures d'entretien	40%	60%
-Consommables	80%	20%
-Divers	90%	10%

ANNEXE 10 : TABLEAU COÛT D'INVESTISSEMENT AVEC CHARGE LOCATIF

Tableau coût d'investissement							
RUBRIQUES			Coût unitaire (Ariary)	Nombre	Coût total (Ariary)	Monnaie locale (Ariary)	Devise (Ariary)
Ingénierie et études					10 000 000	10 000 000	0
Investissement en construction					21 400 000	21 400 000	0
Matériel de camping		200 000	10	2 000 000	2 000 000	0	0
Atelier mécanique		10 000 000	1	10 000 000	10 000 000	0	0
Magasin de stockage		9 400 000	1	9 400 000	9 400 000	0	0
Investissement en matériel							
Matériels roulants					247 200 000	98 880 000	148 320 000
Camions à benne basculante	200 000/jour	2	115 200 000	46 080 000	69 120 000		
Voiture terrain type: ranger	66 000 000	2	132 000 000	52 800 000	79 200 000		
Equipement pour la carrière					2 477 905 760.00	619 476 440.00	1 858 429 320.00
Pelle Hydraulique 320L CAT	1 028 956/ 128 horses/h	1	864 323 040.00	216 080 760.00	648 242 280.00		
Bull D6H	727 808/ 140 horses/ h	1	611 358 720.00	152 839 680.00	458 519 040.00		
Bull D7H	1 040 000/ 200 horses/ h	1	873 600 000.00	218 400 000.00	655 200 000.00		
Tracto-pelle	110 000 000	1	110 000 000	27 500 000	82 500 000		
Transport+ entretien	4 656 000	4	18 624 000	4 656 000	13 968 000		
Equipement pour l'unité de traitement					646 200 000	161 550 000	484 650 000
Groupe Electrogène 110 KVA	7 400 000	1	7 400 000	1 850 000	5 550 000		
Unité de traitement	621 800 000	1	621 800 000	155 450 000	466 350 000		
Motopompe	10 000 000	1	10 000 000	2 500 000	7 500 000		
Matériels accessoires	7 000 000	1	7 000 000	1 750 000	5 250 000		
Frais d'installation et de transport	(5% F15, F23)				320 655 011.2	320 655 011.2	0
Investissements divers					86 422 080	77 779 872	8 642 208
Equipements de bureau		9 000 000		9 000 000	8 100 000	900 000	
Frais de démarrage		60 000 000		60 000 000	54 000 000	6 000 000	
ratio personnel	800 000/ mois	12	9 600 000	8 640 000	960 000		
Les divers déplacements					7 822 080	7 039 872	782 208
Investissement en fonds déroulement					1 237 873 145.73	1 020 925 515.78	216 947 629.95
Frais du personnel	6 007 449.76/mois	12	72 089 997.12	72 089 997.12			0
Pièces de rechanges et fournitures d'entretien					0	0	0
Utilités	57 763 230.56	12	693 158 766.70	554 527 013.40	138 631 753.30		
Frais généraux					60 000 000	54 000 000	6 000 000
sous total					825 248 764	680 617 011	144 631 753
Divers et imprévus (5%)					412 624 382	340 308 505	72 315 877
TOTAL DES INVESTISSEMENTS					5 047 655 996.93	2 330 666 838.98	2 716 989 157.95
TOTAL TAXE 20%					1009531199	466133367.8	543397831.6
Total investissement TTC					6 057 187 196.32	2 796 800 206.78	3 260 386 989.54

ANNEXE 11 : TABLEAU COÛT D'INVESTISSEMENT POUR L'ACHAT

Tableau coût d'investissement							
RUBRIQUES			Coût unitaire (Ariary)	Nombre	Coût total (Ariary)	Monnaie locale (Ariary)	Devise (Ariary)
Ingénierie et études					10 000 000	10 000 000	0
Investissement en construction					21 400 000	21 400 000	0
Matériel de camping		200 000	10		2 000 000	2 000 000	0
Atelier mécanique		10 000 000	1		10 000 000	10 000 000	0
Magasin de stockage		9 400 000	1		9 400 000	9 400 000	0
Investissement en matériel							
Matériels roulants					1 929 120 000	771 648 000	1 157 472 000
Camions à benne basculante		898 560 000	2		1 797 120 000	718 848 000	1 078 272 000
Voiture terrain type: ranger		66 000 000	2		132 000 000	52 800 000	79 200 000
Equipement pour la carrière					2 194 155 969	548 538 992	1 645 616 977
Pelle Hydraulique 320L CAT		621 208 176	2		1 242 416 352	310 604 088	931 812 264
Bull D6RIII		737 256 000	1		737 256 000	184 314 000	552 942 000
Tracto-pelle		110 000 000	1		110 000 000	27 500 000	82 500 000
Transport+ entretien					104 483 617	26 120 904	78 362 713
Equipement pour l'unité de traitement					646 200 000	161 550 000	484 650 000
Groupe Electrogène 110 KVA		7 400 000	1		7 400 000	1 850 000	5 550 000
Unité de traitement		621 800 000	1		621 800 000	155 450 000	466 350 000
Motopompe		10 000 000	1		10 000 000	2 500 000	7 500 000
Matériels accessoires		7 000 000	1		7 000 000	1 750 000	5 250 000
Frais d'installation et de transport	(5% F15, F23)				142 017 798.50	142 017 798.50	0
Investissements divers					86 422 080	77 779 872	8 642 208
Equipements de bureau		9 000 000			9 000 000	8 100 000	900 000
Frais de démarrage		60 000 000			60 000 000	54 000 000	6 000 000
ratio personnel		800 000/ mois	12		9 600 000	8 640 000	960 000
Les divers déplacements					7 822 080	7 039 872	782 208
Investissement en fonds déroulement					901 868 766.46	676 986 437.19	224 882 329.27
Frais du personnel		6 007 449.76/mois			72 089 997.12	72 089 997.12	0
Pièces de rechanges et fournitures d'entretien (5% F15, F23)					142 017 798.50	56 807 119.40	85 210 679.10
Utilités				12	644 814 839.10	515 851 871.28	128 962 967.82
sous total					858 922 634.72	644 748 987.80	214 173 646.92
Divers et imprévus (5%)					42 946 131.74	32 237 449.39	10 708 682.35
TOTAL DES INVESTISSEMENTS					5 931 184 613.96	2 409 921 099.69	3 521 263 514.27
TOTAL TAXE 20%					1186236923	481984219.9	704252702.9
Total investissement TTC					7 117 421 536.75	2 891 905 319.63	4 225 516 217.12

ANNEXE 12 : LE PRIX DE VENTE D'UN PRODUIT

Le prix de vente d'un produit peut se présenter sous différentes manières:

- EXW (Ex- Works ou Sortie usine): le vendeur met à la disposition de son acheteur dans un lieu choisi par lui les marchandises emballées.
- FOB (Free on Board ou à quai/ à l'aéroport): le vendeur met à la disposition de son acheteur les produits au port ou à l'aéroport la marchandise une fois qu'il ait fini toutes les formalités douanières. L'acheteur se charge d'assurer la marchandise et son expédition jusqu'au pays d'importation et son dédouanement à l'arrivée.
- CIF/CAF (Cost Insurance Freight ou Coût Assurance Frêt): le vendeur supporte tous les coûts afférents à l'exportation jusqu'à destination finale demandée par l'acheteur. Ce dernier ne s'occupera que son dédouanement.

Annexe 13: Prix de référence du saphir taillé (en USD/ Carat)

TYPE DU SAPHIR	PRIX
Saphir autre couleur que le bleu	4
Entourage saphir	0,8
Saphir bleu: -1 carat	16
Saphir bleu: +1 carat	40
Saphir cabochon: -1 carat	0,8
Saphir cabochon: +1 carat	3

Les prix de références des saphirs se sont présentés à titre indicatif.

Source : Direction de la géologie de l'Energie et des Mines.

TABLES DES MATIÈRES

Partie I: PRESENTATION GENERALE.....	2
Chapitre I LE SAPHIR.....	3
I-1- Généralité [22]-[25].....	3
I-2- Définition et Appellation du saphir [2]-[9]-[21]	4
I-3- Propriétés physico-chimiques: [17].....	5
I-3-1- Propriété physique	6
I-3-2- Propriété chimique	6
I-4- Utilisations [24].....	8
I-5- Les différentes appréciations.....	9
I-5-1- Couleur la plus prisée.....	9
I-5-2- Le saphir de mauvaise qualité.....	10
I-5-3- Les saphirs célèbres [10]-[23].....	10
I-6- Taille du saphir [22]	11
I-6-1- Taille à facettes :	12
I-6-2- Polissage	13
I-7- Remarques	13
Chapitre II LE GISEMENT DU SAPHIR.....	15
II-1- Gîtologie [5].....	15
II-2- Les différents types de gisement [5]-[7]	15
II-2-1- Les gisements primaires	15
II-2-2- Les gisements secondaires.....	16
II-3- Géologie du saphir	16
II-4- Le saphir dans le monde [25].....	17
II-5- Le saphir à Madagascar [19].....	18
II-5-1- Répartition des gisements	19
II-6- Type d'exploitation : Cas de Madagascar.....	21
II-6-1- Exploitation mécanisée	21
II-6-2- Exploitation artisanale	22
II-6-3- Présentation de quelques types d'exploitation artisanale du sud	23
Partie II: ETUDE DU GISEMENT D'AMPASIMAMITAKA.....	25
Chapitre I PRESENTATION GENERALE.....	25
I-1- Présentation générale de la société.....	25
I-2- Historique de la découverte de saphir à Madagascar [4]	26
Chapitre II. DESCRIPTION DE LA ZONE CONCERNÉE.....	27
II-1- Cadre géographique [8].....	27
II-1-1- Localisation et appartenance administrative.....	27
II-1-2- Accès [4].....	30
II-2- Cadre physique.....	31
II-2-1- Population.....	31
II-2-2- Climatologie	31
II-2-3- Végétation.....	32
II-2-4- Orographie	34
II-2-5- Hydrographie	34
II-3- Cadre géologique	34
II-3-1- Aspect géologique	34
II-3-2- Pétrographie [6]	35

a) Le système Androyen:.....	36
b) Le Système du Graphite:.....	36
Chapitre III. ANALYSE DE L'ETAT ACTUEL DU SITE.....	38
III-1- Caractéristique de la carrière	38
III-1-1- Aperçu global de la disposition du périmètre d'exploitation.....	38
III-1-2- Mode d'exploitation.....	39
III-1-3- Méthode d'exploitation.....	39
III-1-4- Description des matériels utilisés sur le site.....	39
III-2- Déroulement des travaux de la mine	40
III-2-1- Décapage du stérile	40
III-2-2- Abattage du minerai	41
III-2-3- Exhaure.....	41
III-2-4- Triage des gros blocs.....	42
III-2-5- Chargement	42
III-2-6- Transport	43
a) Cycle de transport :	43
b) Cubature du camion :	46
c) Rendement :	46
III-2-7- Traitement du minerai	47
a) Schéma de fonctionnement du trommel:.....	48
b) Schéma de fonctionnement d'un jig:	49
III-2-8- Triage et stockage.....	49
Partie III: AMELIORATION DE L'EXPLOITATION DU GISEMENT ET DU TRAITEMENT DE SAPHIR.....	51
Chapitre I. BUT DE L'ETUDE	51
I-1- Du point de vue économique.....	51
I-2- Du point de vue géologique [5].....	51
I-3- Du point de vue technique.....	51
Chapitre II. ANALYSE DES PROBLEMES.....	53
II-1- Les problèmes rencontrés au décapage et à l'abattage	53
II-2- Les problèmes rencontrés sur l'unité de traitement.....	53
II-3- Les problèmes rencontrés sur les engins et matériels	54
II-4- Problèmes au niveau d'organisation du personnel	54
II-5- Etat de dégradation du site	54
Chapitre III. SOLUTIONS PROPOSEES.....	55
III-1- Amélioration sur les travaux d'exploitation.....	55
III-1-1- Prospection et étude géologique.....	55
III-1-2- Choix du mode et méthode d'exploitation.....	56
a) Description de la méthode par stripping :	57
b) Paramètre de la méthode :	58
c) Avantage de la méthode :	58
III-1-3- Décapage	58
III-1-4- Abattage	60
III-1-5- Transport du minerai	61
III-1-6- Traitement	64
III-2- Amélioration sur les matériels	65
III-2-1- Choix des matériels	65
III-2-2- Choix de l'engin de transport.....	65
III-2-3- Choix de l'engin de chargement et d'aménagement	66
III-2-4- Maintenance et entretien des matériels	66

III-3- Ordonnancement des travaux	68
III-3-1- Introduction	68
III-3-2- Organisation du travail	69
III-3-3- La méthode utilisée	69
a) La technique PERT:	69
b) Le diagramme de GANTT:	70
III-4- Amélioration de l'organisation du personnel	71
III-4-1- Organigramme du personnel	71
III-4-2- Sécurité dans la mine.....	72
III-5- Mesure d'atténuation des impacts négatifs sur l'environnement.....	73
Partie IV: ETUDE SOCIO- ECONOMIQUE ET FINANCIERE.....	76
Chapitre I. ETUDE DE MARCHE	76
I-1- Généralité: [16]	76
I-2- Contexte marché.....	77
I-2-1- Commercialisations du saphir à Madagascar: [4]-[5]	77
I-2-2- Droits et taxes pour le marché des pierres précieuses.....	78
I-3- Aperçu sur le marché de saphir	79
I-3-1- Marché mondial	79
I-3-2- Marché local.....	79
I-3-3- Prix du saphir: [23]-[25]	80
a) Saphir brut:.....	81
I-3-4- Destination du produit.....	83
I-4- Analyse du marché: [16]	83
I-4-1- Tendance de la demande	83
I-4-2- Evolution de l'offre	84
I-4-3- Statistiques de production et d'exportation.....	85
I-4-4- Etude de la prévision.....	87
a) But de l'étude.....	87
b) Calcul du coefficient de corrélation : ρ_o	89
c) Test de coefficient de corrélation	90
d) Règle de décision	91
Chapitre II. ETUDE TECHNICO- ECONOMIQUE	92
II-1- Introduction:.....	92
II-2- Evaluation des investissements [16]	92
II-2-1- Investissements avec location*.....	94
II-2-2- Investissements pour l'achat.....	95
II-2-3- Interprétation des résultats.....	96
Chapitre III. EVALUATION FINANCIERE	97
III-1- Généralités	97
III-2- Récapitulation des investissements	97
III-2-1- Tableau d'investissement avec location	98
III-2-2- Tableau d'investissement pour l'achat	99
III-3- Les amortissements [15]	99
III-3-1- Domaine d'application et définition	99
III-3-2- Méthode de calcul de l'amortissement	100
III-3-3- Tableau des amortissements.....	101
III-4- Compte d'exploitation : (en Ariary)	103
III-4-1- Evaluation de la production et séquence d'exploitation	103
III-4-2- Fonds de roulement	106
III-4-3- Bénéfice comptable: [15]	106

III-5- Critère de rentabilité économique.....	107
III-5-1- Taux de marge brut : T_{mb}	108
III-5-2- Taux de marge net : T_{mn}	108
III-5-3- Taux de rentabilité: T_r	108
III-5-4- Interprétations des résultats	108
III-5-5- Calcul du point mort : P_m	109
III-5-6- Délais de récupération : D_r	110
III-6- Simulation sur MATLAB	111
III-6-1- La session de travail sur MATLAB	111
a) Démarrer MATLAB.....	111
b) Espace de travail (Workspace).....	112

RÉSUMÉ

L'exploitation minière étant un ensemble d'art et de science, l'ingénieur pourra apporter toute sa conception pour le rendre optimale. Ce mémoire est consacré à optimiser les différents paramètres techniques et économiques sur l'exploitation du saphir. Avec l'aide du logiciel MATLAB, on arrive à faciliter le calcul de la rentabilité économique d'une exploitation. A part, l'élaboration proprement dite des paramètres d'exploitation, le présent ouvrage donne également quelques notions utiles sur le saphir et son gisement. Elle contribue aussi à l'élaboration des cartes des gîtes de saphir de Madagascar, permettant un indice profitable à tous ceux qui s'y intéressent.

Mots-clés : Saphir, gisement, traitement, exploitation, rentabilité.

ABSTRACT

The mining exploitation being a set of art and science, the engineer will be able to bring all his conception to make it optimal. This memory is dedicated to optimize the different technical and economic parameters on the exploitation of the sapphire. With the help of the software MATLAB, we can make ease the calculation of mine's criterion profitability.

About, the actual development of the exploitation parameters, The present work draw up the actual factor's mine and give equally some useful knowledge of sapphire deposit in Madagascar: working out a map of deposit in order to give a profitable sign to which who are interested in.

Key words: Sapphire, layer, treatment, exploitation, profitability.

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO
DEPARTEMENT MINES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR DES MINES
« CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DU PROJET D'EXPLOITATION
DU GISEMENT ET DU TRAITEMENT DE SAPHIR D'AMPASIMAMITAKA”

RÉSUMÉ

L'exploitation minière étant un ensemble d'art et de science, l'ingénieur pourra apporter toute sa conception pour le rendre optimale. Ce mémoire est consacré à optimiser les différents paramètres techniques et économiques sur l'exploitation du saphir. Avec l'aide du logiciel MATLAB, on arrive à faciliter le calcul de la rentabilité économique d'une exploitation. A part, l'élaboration proprement dite des paramètres d'exploitation, le présent ouvrage donne également quelques notions utiles sur le saphir et son gisement. Elle contribue aussi à l'élaboration des cartes des gîtes de saphir de Madagascar, permettant un indice profitable à tous ceux qui s'y intéressent.

Mots-clés : Saphir, gisement, traitement, exploitation, rentabilité.

ABSTRACT

The mining exploitation being a set of art and science, the engineer will be able to bring all his conception to make it optimal. This memory is dedicated to optimize the different technical and economic parameters on the exploitation of the sapphire. With the help of the software MATLAB, we can make ease the calculation of mine's criterion profitability.

About, the actual development of the exploitation parameters, The present work draw up the actual factor's mine and give equally some useful knowledge of sapphire deposit in Madagascar: working out a map of deposit in order to give a profitable sign to which who are interested in.

Key words: Sapphire, layer, treatment, exploitation, profitability.

Nombre de pages : 113
Nombre de tableaux : 28
Nombre de figures : 20
Nombre de cartes : 6
Nombre de photos : 12
Rapporteur : Professeur RAKOTONINDRAINY

FARASOA Vololoniaina Jedia
Lot IIO 74 ter Anjanahary, ANTANANARIVO 101
Tél. : 033 14 151 74
farasoa@yahoo.fr