



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO



ÉCOLE SUPÉRIEURE POLYTECHNIQUE

MENTION : INGÉNIERIE MINIÈRE

PARCOURS : SCIENCES ET TECHNIQUES MINIÈRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER
D'INGÉNIERIE

TITRE : INGÉNIEUR DES MINES

Intitulé :

**ÉTUDES DES GISEMENTS ROCHEUX POUR LE
PROJET DE REMISE EN ÉTAT DES PISTES PAR LA
MÉTHODE DE PAVAGE EN PIERRES NATURELLES**

Présenté par :

ANDRINIAINA Josoa

--- Promotion 2015 ---



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO



ÉCOLE SUPÉRIEURE POLYTECHNIQUE

MENTION : INGÉNIERIE MINIÈRE

PARCOURS : SCIENCES ET TECHNIQUES MINIÈRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER
D'INGÉNIERIE

TITRE : INGÉNIEUR DES MINES

Intitulé :

**ÉTUDES DES GISEMENTS ROCHEUX POUR LE PROJET DE
REMISE EN ÉTAT DES PISTES PAR LA MÉTHODE DE
PAVAGE EN PIERRES NATURELLES**

Présenté et soutenu publiquement le 12 novembre 2016 par :

ANDRINIAINA Joso

Devant le Jury composé de :

Président : Monsieur RANAIVOSON Léon Félix

Rapporteurs : Monsieur RAKOTOARIMANANA Pamphile Julien Andrianatoandro
Monsieur ANDRIAMIFIDY Onimilanto Bob

Examineurs : Monsieur ANDRIATSITOMANARIVOMANJAKA RASAMOELINA Naina
Monsieur RAFARALAHY

--- Promotion 2015 ---

*« Oui, la bonté et la gratuité me suivront tous les jours de ma vie, et mon habitation sera dans
la maison de l'Éternel pour de longs jours. Psaumes 23 :6 »*

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu Tout Puissant qui, chaque jour, m'a procuré la force et la joie de pouvoir poursuivre et accomplir mes études. Ce présent mémoire n'aurait pas pu se concrétiser sans l'aide, le soutien et la confiance de certaines personnes. Ainsi, je tiens à adresser mes vifs remerciements aux personnalités suivantes :

- Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon Dieudonné, Professeur Titulaire, Responsable du Domaine Sciences de l'Ingénieur de l'ESPA, de m'avoir accueilli pendant cinq années dans cet établissement.
- Monsieur RANAIVOSON Léon Félix, Responsable de la Mention Ingénierie Minière qui a bien voulu présider le jury de ce mémoire.
- Monsieur RAKOTOARIMANANA Pamphile Julien Andrianatoandro, Directeur Général de l'Observatoire Technique et des Opérations (DGOTO) du Ministère auprès de la Présidence chargé des Mines et du Pétrole (MPMP) qui, malgré ses multiples responsabilités, a bien voulu m'encadrer tout au long de la réalisation de ce travail.
- Monsieur RAKOTONDRAZAKA Romuald, PDG et Actionnaire majoritaire de la Société PROGRANIT appartenant au groupe AGRICO, pour son aide précieuse et ses conseils.
- Monsieur ANDRIAMIFIDY Onimilanto Bob, Directeur Général de la société PROGRANIT, pour son aide durant mon stage sur terrain, et qui a bien voulu m'encadrer professionnellement.
- Les membres du jury :
 - Monsieur ANDRIATSITOMANARIVOMANJAKA RASAMOELINA Naina
 - Monsieur RAFARALAHY

Enseignants Chercheurs au sein du Département Ingénierie Minière de l'ESPA, d'avoir pris le temps d'examiner ce travail.

- Tous les enseignants de l'ESPA qui m'ont transmis leurs connaissances et leurs savoir-faire ;
- Mes parents et toute ma famille pour leur précieux soutien moral et financier ainsi que mes amis pour leurs aides et encouragements ;
- Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Merci infiniment !

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

GLOSSAIRE

LISTE DES ABRÉVIATIONS

LISTE DES CARTES

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

Partie I : CADRE DU PROJET ET MÉTHODOLOGIE

Chapitre I : Généralités sur les matériaux de construction des routes et d'empierrement

Chapitre II : Analyse des situations techniques du projet de réhabilitation des pistes à Madagascar

Chapitre III : Méthodologie de la reconnaissance des gisements rocheux en construction routière

**Partie II : CAS DES PISTES RELIANT ANTANIFOTSY – TSARAHONENANA
SAHANIVOTRY ET ANTSIRABE – SOANINDRARINY**

Chapitre IV : Situation géographique et aspect géologique du projet

Chapitre V : Etude monographique des communes concernées et étude préliminaire des carrières existantes aux alentours de la piste à réhabiliter

Partie III : CADRE D'EXPLOITATION ET ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE

Chapitre VI : Evaluation de la réserve et développement des caractéristiques du gisement

Chapitre VII : Phases techniques de l'exploitation des carrières

Chapitre VIII : Gestion des risques et étude d'impact environnemental

Partie IV : CARACTÉRISTIQUE DU PAVAGE ET ÉVALUATION ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE

Chapitre IX : Caractéristiques de pavé et évaluation du coût de projet de pavage

Chapitre X : Evaluation économique et financière de l'exploitation

CONCLUSION GÉNÉRALE

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

ANNEXES

TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE

Abrasion : Erosion causée par le frottement des matériaux transportés par les eaux ou les glaces.

Déblai : Ouvrage résultant de l'action d'extraire et d'enlever des sols ou des matériaux rocheux pour abaisser ou niveler le terrain existant

Diaclases : Fractures produites par des contraintes tectoniques, sans déplacement tangentiel, donc sans cisaillement et de dimension plus réduite que les failles.

Fissures : Discontinuité apparaissant dans un matériau où surface de non-adhérence d'étendue limitée.

Remblai : Ouvrage résultant de l'action de mettre en place des matériaux pour rehausser ou niveler le terrain existant.

Texture : Agencement, granulométrie et forme géométrique des minéraux telles qu'on peut les observer à l'échelle microscopique.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

APD : Avant-Projet Détaillé

APS : Avant-Projet Sommaire

Ar: Ariary

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

CAO: Conception Assistée par Ordinateur

C.R. : Commune Rurale

CSB : Centre de Santé de Base

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur

ESPA : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

FTM : Foibe Taotsaritanin' Madagascar

GPRCIM : Guide de Protection Routière Contre l'Inondation à Madagascar

GPS: Global Position System

Ha: Hectare

Km: Kilomètre

LA : Los Angeles

LNTPB : Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment

LP : Lumière Polarisée

m: mètre

MDE : Micro-Deval à l'Eau

MNT: Modèle Numérique d'un Terrain

MPa : Méga Pascal

PCD : Plan Communal de Développement

PE : Projet d'Exécution

PK : Point Kilométrique

PPN : Produits de Premières Nécessités

RP : Reconnaissance Préliminaire

Rc : Résistance à la compression

Rt : Résistance à la traction

USA: United States of America

LISTE DES CARTES

Carte 4.01 : Carte de localisation de la zone d'étude	33
Carte 4.02 : Carte d'occupation de sol du district d'Antanifotsy et d'Antsirabe II	34
Carte 4.03 : Carte géologique du district d'Antanifotsy et d'Antsirabe II	38
Carte 6.04 : Carte topographique du district d'Antsirabe II et d'Antanifotsy	65

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 2.01 : Etat de la piste en saison pluvieuse après la réhabilitation en terre battue	15
Photo 5.02 : Accès à la carrière N°1 d'Andohabato.....	41
Photo 5.03 : Accès à la carrière N°2 d'Ambatondendahina	42
Photo 5.04 : Situation de la carrière N°1	45
Photo 5.05 : Situation de la carrière N°2	45
Photo 5.06 : Basalte.....	46

Photo 5.07 : Granite migmatitique	46
Photo 5.08 : Accès à la carrière N°3 d'Ambatomitsangana	47
Photo 5.09 : Accès à la carrière N°4 d'Ambatosoa.....	48
Photo 5.10 : Situation de la carrière N°3	50
Photo 5.11 : Situation de la carrière N°4	50
Photo 5.12 : Granite à magnétite.....	51
Photo 5.13 : Gneiss à biotite	51
Photo 5.14 : Accès à la carrière N°5 de Madera	52
Photo 5.15 : Accès à la carrière N°7 d'Ambatolampy	53
Photo 5.16 : Situation de la carrière N°5	56
Photo 5.17 : Situation de la carrière N°7	56
Photo 5.18 : Granite monzonitique.....	57
Photo 5.19 : Accès à la carrière N°6 de Soavinarivo	58
Photo 5.20 : Situation de la carrière N°6 de Soavinarivo	60
Photo 5.21 : Granite rose	61
Photo 9.22 : Etat de la route en pavé	95
Photo A.23 : Lame mince N°2, LPx25	XIII
Photo A.24 : Lame mince N°1, LP x25	XIV
Photo A.25 : Lame mince N°6, LPx25	XIV
Photo A.26 : Lame mince N°4, LPx25	XIV
Photo A.27 : Lame mince N°7, LPx25	XIV
Photo A.28 : Lame mince N°5, LPx25	XIV
Photo A.29 : Lame mince N°3, LPx25	XIV

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.01 : Récapitulation des travaux effectués dans la phase de RP	29
Tableau 3.02 : Récapitulation des travaux effectués dans la phase d'APS	30
Tableau 4.03 : Normale de températures et pluviométries recueillis en 2015 pour Antsirabe	36
Tableau 5.04 : Répartition de la population du C.R. Ambatolahy par âge et par sexe	42
Tableau 5.05 : Nombre d'établissement scolaire dans le C.R. d'Ambatolahy	43
Tableau 5.06 : Répartition du nombre de population par Fokontany, sexe et âge.....	48

Tableau 5.07 : Détail de la répartition géographique de populations dans la C.R. Soanindrariny	53
Tableau 5.08 : Voies de communication de la C.R. Soanindrariny	55
Tableau 5.9 : Données agricoles de la C.R. Tsarahonenana Sahanivotry	59
Tableau 5.10 : Données élevages de la C.R. Tsarahonenana Sahanivotry	59
Tableau 5.11 : Etablissements scolaires de la C.R. Tsarahonenana Sahanivotry	59
Tableau 5.12 : Infrastructures sociales	60
Tableau 6.13 : Tableau récapitulatif de l'évaluation de la réserve pour chaque carrière	72
Tableau 6.14 : Tableau récapitulatif des caractéristiques du gisement	77
Tableau 6.15 : Tableau récapitulatif des essais mécaniques	77
Tableau 6.16 : Tableau des coefficients de dureté	78
Tableau 6.17 : Spécification de la valeur de LA	78
Tableau 6.18 : Classification de la roche par rapport à sa résistance	79
Tableau 6.19 : Spécification d'utilisation de la roche par Rc	79
Tableau 8.20 : Etat initial du site	89
Tableau 8.21 : Matrice des impacts sur le milieu physique	90
Tableau 8.22 : Matrice des impacts sur le milieu biologique	91
Tableau 8.23 : Matrices des impacts sur le milieu socio-économique	92
Tableau 10.24 : Répartition des coûts d'investissement fixe en monnaie locale et en devise	98
Tableau 10.25 : Résultat de calcul du fonds de roulement	99
Tableau 10.26 : Tableau de provenance des investissements	100
Tableau 10.27 : Tableau des amortissements	102
Tableau 10.28 : Tableau des comptes d'exploitations prévisionnelles	104
Tableau A.29 : Vitesse sismique de quelques types de roches	IV
Tableau A.30 : Valeur type de résistivité apparente en fonction des matériaux	IV
Tableau 9.31 : Sous-détail des prix de fourniture et de pose pavés	V
Tableau A.32 : Clé de répartition des investissements	VI
Tableau A.33 : Investissement en équipement pour l'exploitation de la carrière	VI
Tableau A.34 : Investissement en équipements pour l'unité de concassage	VII
Tableau A.35 : Investissement des matériels roulants	VII
Tableau A.36 : Frais de montage et de transport	VII
Tableau A.37 : Investissement en constructions	VIII
Tableau A.38 : Frais du personnel	VIII
Tableau A.39 : Matériels consommables	IX
Tableau A.40 : Pièces de rechanges et fourniture d'entretien	X

Tableau A.41 : Utilités.....	XI
Tableau A.42 : Tableau d'emprunt local « El » (22 %)	XI
Tableau A.43 : Tableau d'emprunt extérieur « Ed » (15 %)	XI

LISTE DES FIGURES

Figure 1.01 : Cycle des roches	4
Figure 4.02 : Diagramme de variation de précipitation et de température durant l'année 2015 ..	36
Figure 6.03 : MNT du gisement de la carrière N°1	67
Figure 6.04 : Surface en 3D	67
Figure 6.05 : Surface en 3D	67
Figure 6.06 : MNT du gisement de la carrière N°2.....	67
Figure 6.07 : Surface en 3D	68
Figure 5.08 : MNT du gisement de la carrière N°3.....	68
Figure 6.09 : Surface en 3D	69
Figure 6.10 : MNT du gisement de la carrière N°4.....	69
Figure 6.11 : MNT du gisement de la carrière N°5.....	69
Figure 6.12 : Surface en 3D	69
Figure 6.13 : Surface en 3D	70
Figure 6.14 : MNT du gisement de la carrière N°6.....	70
Figure 6.15 : Surface en 3D	71
Figure 6.16 : MNT du gisement de la carrière N°7.....	71
Figure 7.17 : Méthode horizontale successive en pleine largeur	85
Figure 7.18 : Succession des tâches pour une exploitation minière	86
Figure 7.19 : Organisation du personnel.....	88

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : GRANULATS

Annexe 2 : SISMIQUE REFRACTION ET RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

Annexe 3 : SOUS DÉTAILS DES PRIX DE FOURNITURE ET DE POSE PAVÉS

Annexe 4 : DÉTAILS DU CALCUL DES INVESTISSEMENTS TOTAUX

Annexe 5 : ASPECT FINANCIER

Annexe 6 : ESSAIS LABORATOIRES

Annexe 7 : PHOTOGRAPHIES DES LAMES MINCES

INTRODUCTION

Madagascar dispose des ressources minières relativement abondantes. Il possède ainsi des ressources en roches naturelles importantes et variées qui se forment au cours des temps géologiques. La vraie mise en valeur de ces ressources laisse à désirer pour qu'elles puissent contribuer réellement au développement socio-économique du pays. Certaines de ces ressources peuvent être utilisées comme matériaux de construction des routes et sont disponibles à profusion dans tout Madagascar. On reconnaît actuellement que la connaissance des caractéristiques des roches joue un rôle très important dans le domaine des travaux publics. La reconnaissance préalable des gisements rocheux dont on envisage leurs exploitations nous permet d'apprécier et d'améliorer la qualité de production d'une carrière en vue de leur utilisation en construction routière.

La route joue un rôle primordial dans le développement rapide et durable d'un pays. En effet, elle permet le désenclavement d'un pays en assurant la circulation des personnes et l'acheminement des produits agricoles des zones rurales vers les zones urbaines consommatrices. Cependant, la plupart des pistes rurales de Madagascar desservant ces zones sont pratiquement inaccessibles pendant la saison des pluies à cause de leurs mauvais états. Il en est de même pour les pistes de dessertes sur les périphéries des grandes agglomérations. Par conséquent, toute coupure du réseau routier entraîne systématiquement l'enclavement de toute une partie du pays. Cette situation est commune dans tout Madagascar car au-delà des routes nationales, les routes de dessertes reliant la Route Nationale et les communes rurales ou Fokontany ou les communes périphériques sont à environ 90 % des routes en terres battues ou en revêtement macadam.

L'objectif est de désenclaver durablement ces zones à travers la mise en place d'une chaussée pavé en pierres naturelles. C'est dans ce contexte que nous avons élaboré ce présent travail de mémoire de fin d'études qui s'intitule « **ÉTUDES DES GISEMENTS ROCHEUX POUR LE PROJET DE REMISE EN ÉTAT DES PISTES PAR LA MÉTHODE DE PAVAGE EN PIERRES NATURELLES** ».

Ce travail commence par une compilation bibliographique qui se base sur la réinterprétation des données existantes et des cartes en relation avec le projet ; une campagne de terrain pour les levés GPS, l'étude morphologique et pédologique, l'échantillonnage ; puis des essais laboratoires suivi de l'exploitation des données jusqu'à la rédaction finale.

Pour mieux élaborer cette étude, l'ouvrage comprend dix chapitres répartis en quatre parties, mis à part l'introduction, la conclusion générale, les références bibliographiques et les annexes. La première partie concerne le cadre du projet dans lequel nous exposons les matériaux de construction des routes et d'empierrements, elle nous donne aussi la méthodologie de la reconnaissance des gisements rocheux. La deuxième est consacrée à l'étude de cas des pistes qui relie Antanifotsy – Tsarahonenana Sahanivotry et Antsirabe – Soanindrariny. La troisième est destinée au cadre d'exploitation et à l'étude d'impact environnemental dans laquelle nous exposons l'évaluation de la réserve et aussi les caractéristiques du gisement. La quatrième et dernière est axée sur les caractéristiques du pavage et l'évaluation économique et financière de l'exploitation.

PREMIÈRE PARTIE
CADRE DU PROJET ET MÉTHODOLOGIE

Chapitre I : GÉNÉRALITÉS SUR LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION DES ROUTES ET D'EMPIERREMENT

Le premier chapitre aborde la connaissance sur le déroulement d'un cycle des roches et les informations sur les éléments pétrographiques des roches à Madagascar. Il nous donne un aperçu général sur les ressources en granulats naturels.

I.1. Cycle des roches [21]

Dans le cycle des roches, le magma occupe une position centrale : il est le point de départ et le point d'arrivée du cycle. La première phase du cycle est constituée par la cristallisation du magma, un processus qui conduit à la formation des roches magmatiques. Le magma peut cristalliser en surface et les roches magmatiques ainsi formées sont dites volcaniques. Les roches volcaniques sont donc exposées à la surface de la terre. Si le magma cristallise en profondeur, il donnera des roches plutoniques. Les roches plutoniques sont amenées à la surface lors duquel l'érosion par les processus dynamiques de la tectonique des plaques. A la surface, les roches magmatiques subissent les processus associés à l'énergie solaire tels que le chauffage, le refroidissement, le vent, les pluies et la circulation d'eau météorique. Ces roches s'altèrent et se décomposent en grains individuels qui sont transportés par l'eau, glace et le vent pour former un dépôt meuble (graviers, sables, boues). Ce processus est appelé sédimentation. Les sédiments se transforment progressivement en roche sédimentaire selon un ensemble de processus appelé diagénèse.

Les roches sédimentaires sont les plus connues à la surface terrestre parce qu'elles forment une couche mince au-dessus de la croûte terrestre. L'enfouissement de ces roches entraîne des changements de la température et de la pression ambiante. Les roches sédimentaires se transforment alors en roches métamorphiques. Un métamorphisme est le processus de transformation d'une roche sous l'effet de la température et de la pression élevée. Les roches magmatiques peuvent être soumises au processus du métamorphisme et deviennent des roches métamorphiques. L'érosion des roches métamorphiques et des roches sédimentaires produit des sédiments et éventuellement des roches sédimentaires.

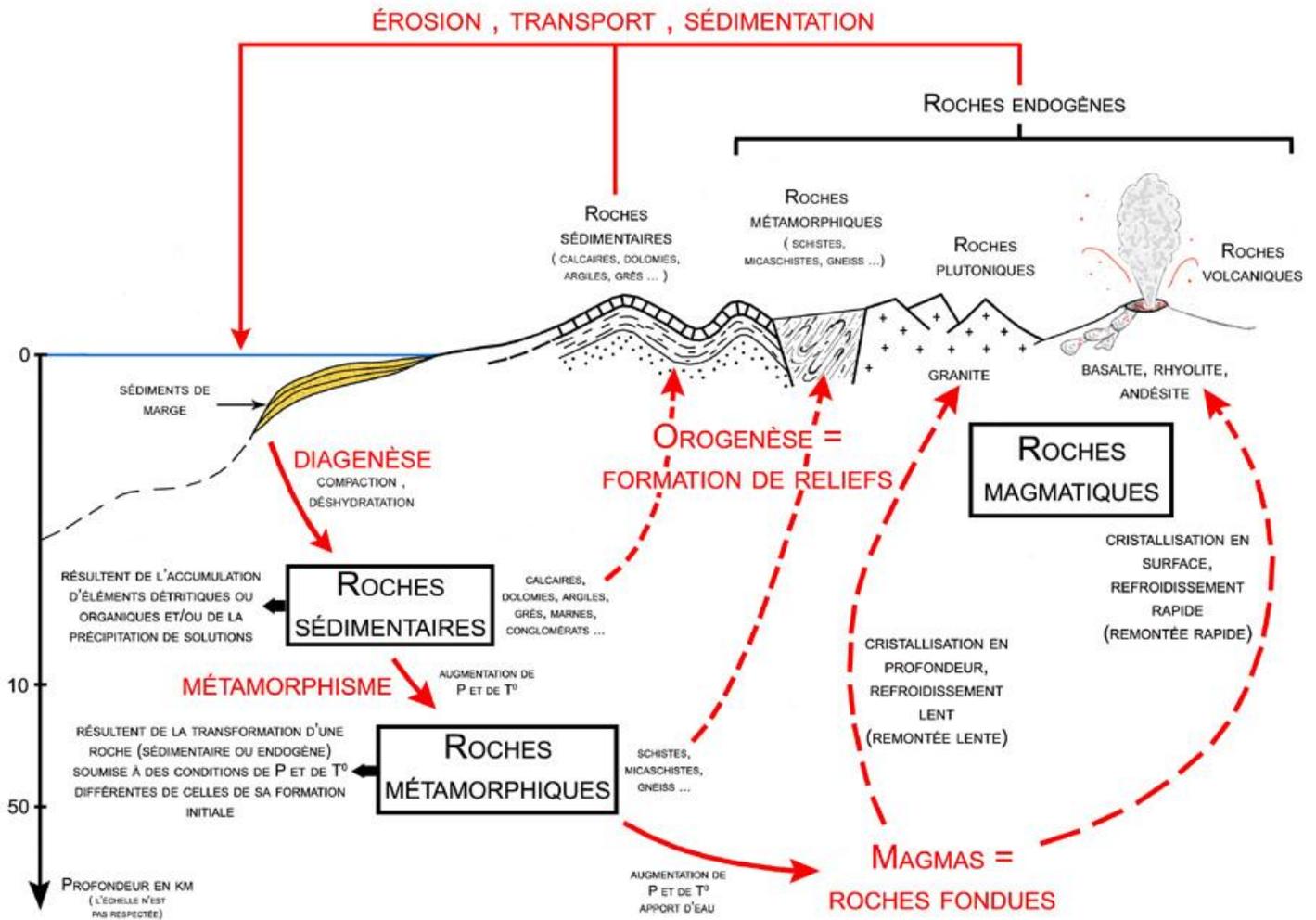


Figure 1.01 : Cycle des roches

I.2. Éléments pétrographiques des roches à Madagascar [12] [19] [22]

Il existe de nombreuses variétés de roches pouvant être utilisées en technique routière. Ainsi, pour une meilleure représentation, il sera préférable de les classer selon leur mode de formation. Les matériaux rocheux sont généralement des roches magmatiques et métamorphiques, mais, parfois des roches sédimentaires.

I.2.1. Roches magmatiques

I.2.1.1. Généralités

Les formations magmatiques ou éruptives sont réunies de très nombreuses roches qui ont pour caractéristique d'origine profonde. Elles résultent de la solidification d'un liquide silicaté naturel appelé magma. On distingue les roches plutoniques qui sont cristallisées en profondeur par

refroidissement lent du magma, et les roches volcaniques qui sont mises en place au cours d'éruption volcanique et sont parvenues jusqu'à la surface du sol. Les processus magmatiques constituent l'ensemble des actions mécaniques, chimiques et thermiques. Les roches éruptives résultent de la solidification des magmas qui ont pénétré dans l'écorce terrestre et se présentent avec des modes de gisement différents suivant les modalités de leur mise en place.

I.2.1.2. Caractères spécifiques

I.2.1.2.1. Position intrusive des corps magmatiques

Sur terrain, les roches magmatiques constituent des masses de formes et de tailles variées mais elles apparaissent comme « intruses » parmi les roches voisines encaissantes. La plupart des corps magmatiques montre des limites nettes avec les roches qui les contiennent. Toutefois, certains massifs granitiques présentent des contacts flous sous la forme d'un paysage progressif depuis des roches granitiques au centre jusqu'aux roches métamorphiques encaissantes. Cette zone de transition est formée de roches intermédiaires ou « migmatites » offrant des caractères mixtes, avec des parties d'origine magmatique et métamorphique. Ces massifs de granites migmatitiques se situent toujours dans des domaines ayant été affecté par un métamorphisme intense.

I.2.1.2.2. Gisements des roches magmatiques

À la surface du globe terrestre, le magma se répand en coulées minces et longues : magma de faible viscosité, de type basaltique ; ou en épaisses et courtes : magma à forte viscosité, de type rhyolitique, trachytique, etc. En profondeur, le magma occupe des espaces de géométrie et de taille variée :

- filons discordants ou dykes
- filons concordants ou filons-couches
- lentilles concordantes ou laccolites
- massifs enracinés en profondeur ou batholites

I.2.1.2.3. Structures

Les roches magmatiques se singularisent par une structure généralement massive. Elles ne présentent ni bancs ni lits comme les formations sédimentaires, ni plans de débit facile, ni couche de minéraux comme les roches métamorphiques.

Ce caractère très général souffre un certain nombre d'exceptions, se rapportant à divers cas particuliers, rares mais non exceptionnels :

- Dans les massifs granitiques, surtout lorsqu'ils sont encore liés à des domaines migmatitiques, il est très fréquent d'observer les lits de minéraux ferromagnésiens tels que biotite, amphibole, de forme irrégulière.
- Dans certains massifs de gabbros, une ségrégation gravitaire s'est exercée sur les minéraux ferromagnésiens formés précocement, entraînant l'apparition d'une véritable stratification : alternance de bancs riches en pyroxène et olivine avec les feldspaths.
- Les filons pegmatitiques montrent des cristaux de grande taille

Les roches volcaniques offrent des structures très variées. Dans le volcanisme aérien, les coulées montrent généralement une zonation verticale avec une partie superficielle scoriacée, bulleuse et une partie inférieure, plus importante et plus massive.

I.2.1.2.4. Textures

On distingue quatre types de textures :

- texture grenue : lorsque tous les cristaux sont grands (plurimillimétriques à pluricentimétriques) et presque également développés ;
- texture microgrenue : lorsque quelques grands cristaux apparaissent noyés dans une masse de cristaux plus petits ;
- texture microlitique montrant encore quelques gros cristaux noyés dans une masse homogène où le microscope permet de discerner de très petits cristaux souvent en bâtonnets, les microlithes, enveloppés dans une pâte vitreuse ;
- texture vitreuse ne montrant aucun cristal, elle correspond à un refroidissement très brutal

I.2.1.2.5. Minéralogie

Le passage à un état solide total est achevé à des températures élevées $> 650^{\circ}\text{C}$ pour le magma granitique, à 1000°C dans le magma basaltique. A ces températures, les seuls minéraux susceptibles de se cristalliser en équilibre avec la phase liquide sont des silicates, des aluminosilicates et des oxydes tels que : péridots, pyroxènes, amphiboles, micas, feldspaths, feldspathoïdes, silices, oxydes de fer et de titane.

I.2.1.2.6. Classification des roches magmatiques malgache utilisées en construction routière

Les roches magmatiques constituent environ 50 % des granulats utilisés comme couche de roulement et 12,5 % pour les couches de base et de fondation :

a. Effusives : phonolite, basanite, basalte, rhyolite

La phonolite est une roche magmatique volcanique à structure microlithique fluidale de couleur grise à verdâtre. Elle est composée de feldspath, de feldspathoïde et d'une pâte de verre peu abondante. La phonolite se débite en dalle.

Le basalte est une roche magmatique volcanique issue d'un magma refroidi rapidement. Le magma basaltique monte en surface et se repend. On dit que le basalte est une roche magmatique en épanchement. La solidification du magma se fait en 3 temps:

- Le magma se refroidi très lentement à l'intérieur de la terre, il se forme de gros cristaux de pyroxènes
- Le magma se repend à la surface et il y a formation de microlites
- Le reste de magma devient solide sous forme de pâte

La rhyolite est une roche magmatique volcanique de couleur assez claire : rosée ou grise et parfois bleue. C'est une roche à structure microlitique présentant des minéraux visibles à l'œil nu : quartz, feldspaths et amphibole. La rhyolite est l'équivalent volcanique du granite.

b. Intrusives : granite migmatitique, gabbro, granite de toutes sortes

Le gabbro est une roche grenue se formant par le refroidissement en profondeur, au niveau des dorsales océaniques, d'un magma produit dans le manteau supérieur à la suite de la fusion partielle de ses péridotites. C'est une roche magmatique de la croûte océanique ayant la même composition chimique que le basalte et contenant des cristaux de plagioclase et de pyroxène.

Le granite est une roche magmatique de formation et de texture cristalline visible à l'œil nu. Il est constitué essentiellement de feldspath (orthose ou plagioclase : silicate complexe d'alumine, de potasse, de soude et de chaux), et de quartz (silice pure cristallisée), avec une certaine quantité de mica (biotite ou muscovite : silicate complexe d'alumine, de magnésium et de potasse) et de minéraux accessoires mineurs, tels que le zircon, l'apatite, la magnétite, l'ilménite et le sphène. Le granite est une pierre de construction importante. Les meilleures qualités de granite étant très résistantes à la désagrégation. Le granite est habituellement blanchâtre ou gris, avec des taches dues à des cristaux plus foncés. Des vitesses de refroidissement exceptionnellement lentes donnent naissance à une variété de très gros grains appelée pegmatite. Le granite et d'autres roches cristallines, constituent le socle des masses continentales, et celui de la roche intrusive de surface la plus courante.

Les granites eux-mêmes comprennent différentes séries dont les deux principales sont les leucogranites à deux micas (biotite et muscovite) de couleur claire et les granites à biotite. Parmi ces derniers, suivant leur composition, certains sont très sombres, d'autres gris clair, quelques-uns colorés rouge à rose.

I.2.2. Roches métamorphiques

I.2.2.1. Généralités

Les roches métamorphiques sont appelées aussi roches cristallophylliennes ou schistes cristallins. La caractéristique fondamentale de ces roches est d'être à la fois cristallisées et litées ou schisteuses. Elles sont formées à partir des roches sédimentaires ou magmatiques subissant le métamorphisme, processus de recristallisation dû à des élévations de température et de pression. Elles proviennent de la transformation des roches sédimentaires (on les appelle paragneiss) ou des roches éruptives (orthogneiss) sous l'influence du métamorphisme. Les roches métamorphiques se présentent en gisements stratifiés plus ou moins plissés.

I.2.2.2. Caractères spécifiques

I.2.2.2.1. Structures

- Cristallophyllien : disposition en feuillet
- Gneissique : lorsque les minéraux de forme unidimensionnelle tels que le quartz, le feldspath, et le pyroxène manifestent une certaine élongation
- Cataclastique : lorsque certains minéraux, notamment le quartz, ont subi une déformation

I.2.2.2.2. Textures

- Cristalloblastique : la croissance des nouveaux cristaux est contrariée par les anciens
- Xenoblastique : forme cristalline propre non développée
- Idioblastique : minéraux bien développés

I.2.2.2.3. Matériaux routiers en roches métamorphiques Malgache

Les roches métamorphiques constituent 28 % de la couche de roulement et 14 % des couches de base et de fondation :

- a. Rubanées : charnockite, amphibolite, pyroxénite

Le terme charnockite est utilisé pour désigner un granite à orthopyroxène, roche magmatique composée de quartz, feldspath alcalin (microcline ou orthose perthitique),

feldspath plagioclase, et orthopyroxène (hypersthène).

Une amphibolite est une roche métamorphique contenant des amphiboles et des plagioclases caractéristique du métamorphisme général (mésosome à catazone).

La pyroxénite est une roche ultramafique composée majoritairement de pyroxènes.

b. Massive : migmatites de toutes sortes

Les migmatites sont des roches métamorphiques issues d'anatexie crustale partielle. On les trouve dans des zones de gradient métamorphique moyen. Elles sont formées de deux rubanements compositionnels que l'on identifie par une pétrographie.

c. Grenues: gneiss et leptynite

Le gneiss est une roche litée ou rubanée constituée de quartz, feldspaths et micas avec ou sans minéraux accessoires : amphibole, disthène, sillimanite, grenat, pyroxène

Une leptynite est une roche métamorphique de type gneissique à grain fin.

I.2.3. Roches sédimentaires

I.2.3.1. Généralités

Les roches sédimentaires ou exogènes sont engendrées par les forces géodynamiques externes (fleuve, mer, vent, glacier). Elles proviennent des roches magmatiques ou métamorphiques ayant subi des processus de désagrégation, d'altération, d'érosion, de transport et de sédimentation. Les roches sédimentaires sont des roches formées aux dépens de roches préexistantes, éruptives, métamorphiques ou sédimentaires désagrégées par l'érosion atmosphérique, transportées par les eaux courantes ou le vent, et déposées sur un milieu lacustre ou marin.

I.2.3.2. Caractères spécifiques

I.2.3.2.1. Structures

C'est l'allure des bancs qu'on peut interpréter : ondulée, straticulée, entrecroisée, craquelure de boue, coquillée, lenticulaire

I.2.3.2.2. Textures

- la texture quartzitique

Les grains sont jointifs, imbriqués les uns dans les autres, il n'y a pas de vide et ayant une résistance mécaniquement et chimiquement : « silice résistant ».

- La texture réticulée :

Les grains sont jointifs, mais il y a des vides entre les grains, et liés par le ciment (argile, fer).

I.2.3.2.3. Roches sédimentaires malgache utilisées en construction routière

Les roches sédimentaires constituent 22 % de la couche de roulement et 74 % des couches de base et de fondation :

- a. Détritiques cimentées : grès et arkose

Le grès est une roche détritique, issue de l'agrégation et la cimentation (ou diagenèse) de grains de sable. Le grès bitumineux, à l'état brut, est un solide noir, sans éclat, opaque et dur. Il est plus ou moins poreux.

L'arkose est une roche sédimentaire détritique terrigène composée de quartz (jusqu'à 60 %), de feldspath (au moins 25 %), souvent de quelques micas et d'un ciment composé d'argile (environ 15 %). Comme tous les grès, l'arkose est une roche détritique riche en quartz mais il a comme originalité d'être un grès grossier, feldspathique.

- b. Carbonatés : Calcaires de toutes sortes

Le calcaire est une roche sédimentaire tendre de couleur blanche, compact ou tendre, troisième par ordre d'abondance après le schiste et le grès, facilement soluble dans l'eau chargée de gaz carbonique, fait effervescent à froid sous l'action de l'acide dilué.

Les calcaires sont des matériaux qui peuvent répondre à un grand nombre d'utilisation spécifique. Ils sont utilisés sous des formes granulométriques diverses, en agrégats et en moellons, mais aussi broyés, moulus ou micronisés. Le calcaire cristallin est utilisé dans la fabrication du ciment. Il peut être utilisé également dans le revêtement routier.

I.2.4. Matériaux de construction des routes et d'empierrement [5], [14]

Les matériaux de construction et d'empierrement sont nombreux parmi les roches éruptives cristalphylliennes et sédimentaires. Les granites filoniens du type Ambatomiranty sont particulièrement appréciés par leur facilité de taille et de leur cohésion. Les roches les plus utilisées sont les granites, les charnockites, les migmatites granitoïdes sur les plateaux et les calcaires dans les régions côtières de l'ouest. D'une façon générale, les gisements de matériaux de construction sont recherchés le plus près possible du lieu d'utilisation dans le but de minimiser les coûts de transports des matériaux.

Les roches volcaniques acides ou basiques et dolérites sont les meilleurs. Les granites du type Ambatomiranty constituent un excellent matériau pour la confection en pavé, les charnockites sont de très bons matériaux de construction. Les quartzites sont généralement exécrables. Dans la région latéritique ou recouverte de carapace sableuse où les roches dures sont rares. On doit faire recours à d'autres matériaux supplémentaires. Les meilleurs sont ceux à granulométriques très étalés pisolites latéritiques, fréquentes sur les surfaces horizontales des plateaux à substratum granitogneissique ou basaltique ou encore les conglomérats sédimentaires et certains alluvions.

I.3. Généralités sur les ressources en granulats naturels [17]

I.3.1. Granulats pour routiers

Les granulats routiers sont des matériaux qui entrent dans la composition des bétons et enrobés bitumineux des chaussées routières et des ballasts de voie ferrée, provenant soit des matériaux naturels comme les alluvions ou les formations résiduelles, soit du concassage des roches massives.

Les pavés sont utilisés dans le domaine de la construction des infrastructures pour le revêtement de sols ou de chaussées. Ils sont caractérisés par ses propriétés physiques, mécaniques et chimiques: granularité, forme, état de surface, propriété, altérabilité, résistances mécaniques, affinité pour les liants, etc. La qualité des granulats est conditionnée par la nature pétrographique (composition minéralogique et texture) de la roche et le mode d'élaboration du granulats.

Les granulats routiers proviennent en majeure partie du concassage des roches basaltiques, des calcaires et des grès et de l'extraction des sables et des graveleux latéritiques.

I.3.2. Technique de production des granulats

La production des granulats nécessite deux principaux types d'opérations : l'extraction et le traitement.

- L'extraction s'effectue dans des carrières en utilisant des techniques différentes selon la nature des roches, soit à sec, soit en milieu hydraulique.
- Le traitement est réalisé dans des installations généralement situées sur le site de la carrière.

Parfois les installations peuvent se situer à un endroit différent du site d'extraction. En général, on y trouve cinq principales étapes de production :

- décapage ;
- extraction des matériaux ;
- transport sur le lieu de traitement ;

- traitement des roches pour obtenir les produits finis ;
- remise en état du site.

Pour les petites et moyennes exploitations, ayant une production inférieure à 500 000 tonnes par an, le matériel sera peu important et les installations du chantier seront réduites au minimum du besoin. Le choix des matériels est en fonction de l'importance du gisement, de la nature et de la dureté des terrains, des distances et des profils en long de transport, ainsi que le rythme de production.

L'étude d'impact environnemental a pour objet la prédiction et la réduction des nuisances occasionnées par cette activité. Elle doit aboutir à des mesures d'atténuation ou minimisation des effets de l'exploitation et à la réhabilitation de la carrière. La remise en état du site doit être conforme au plan de réaménagement indiqué par la loi ou l'arrêté ministériel.

I.3.3. Carrières

Tirant du code minier, on définit par :

- « *Carrière* » : tous gîtes de substances de carrière ;
- « *Substances de carrière* » : toutes substances minérales destinées à la production de granulats (moellons, pavés, pierres plates (dalles), graviers, gravillons et sables) et de produits d'amendement de terres locales pour la culture (y compris les tourbières, mais à l'exception des phosphates, nitrates et sels alcalins) ; les substances de carrière sont exploitées à ciel ouvert ou en souterrain.

Comme produits de carrière, on peut distinguer :

Les pierres de construction ou ornementales extraites du massif sous formes de gros blocs sans fissures ni cassures sont destinées à la fabrication de mobiliers et de plaquettes de revêtement. Ces roches peuvent être des marbres, de l'anorthosite, du cipolin, du grès, du granite, du calcaire ou du gypse, etc.

Les matériaux de construction destinés aux ouvrages du génie civil : les granulats utilisés pour la construction des routes et pour le terrassement, les gravillons de bitumes. Les roches utilisées peuvent être des calcaires ou des roches plutoniques.

Une carrière présente :

- une zone d'extraction dont la configuration dépend à la fois du gisement exploité et du relief des terrains concernés ;
- une zone dite de traitement où les matériaux extraits font l'objet d'un traitement physique par concassage et criblage de manière à obtenir les granulats ;
- des zones annexes de stockage (pour la découverte et les produits finis).

Chapitre II : ANALYSE DES SITUATIONS TECHNIQUES DU PROJET DE REHABILITATION DES PISTES A MADAGASCAR

Ce présent chapitre sera constitué par les informations relatives à l'état actuel des pistes, à l'analyse des problèmes du développement socio-économique en vue de la proposition des solutions adéquates. Il est destiné aussi à l'analyse des impacts et avantages du projet.

II.1. Etat actuel des pistes rurales et suburbaines de Madagascar

D'après une étude menée par le GPRCIM concernant l'état du réseau routier Malgache, on a les informations suivantes :

- Madagascar compte aujourd'hui à peu près 50 000 Km de réseau routier ;
- moins de 10 000 Km seulement sont bitumés ;
- environ 40 000 Km sont non bitumés ;
- environ 30 000 Km sont non praticables pendant la saison de pluies ;
- 23 000 Km sont classés parmi les Routes dites d'Intérêts Locaux (RIL) reliant les petites localités rurales et les agglomérations plus importantes où transite la plupart des produits agricoles ;
- environ 52 % des tonnages transportés sur Madagascar passent par les routes d'intérêts locaux.

Les pistes rurales sont des Routes d'Intérêts Communaux (RIC) et des diverses pistes connexes desservant les Fokontany et villages. Elles sont différents des Routes Nationales (RN) et des Routes d'Intérêt Provinciale (RIP). La plupart des pistes rurales de Madagascar desservant les zones de production agricole sont pratiquement inaccessibles pendant la saison des pluies à cause de leur mauvais état. Il en est de même pour les pistes de dessertes sur les périphéries des grandes agglomérations. En effet, fait en terre ou en macadam, ces pistes ne résistent pas au va-et-

vient des véhicules comme les camions de transport et des charrettes à bœufs avec des roues en acier. Ce problème est d'autant plus accentué que les barrières de pluies sont complètement inefficaces avec la corruption globale des gardes-barrières.

II.2. Analyse des problèmes de développement socio-économique de populations rurales et suburbaines

La plupart des pistes rurales et suburbaines de Madagascar sont inaccessibles pendant 4 à 5 mois de l'année. Les conséquences néfastes toucheraient 17 millions de personnes surtout en milieu rural. Les impacts négatifs du point de vue socio-économiques sont très importants et se chiffrent en milliards d'Ar (par exemple : le cas des pertes subies par les producteurs de pommes et de pêches d'Antsirabe II avoisinerait les 20 milliards d'Ar par an). Le blocage du développement rural est accentué par le problème d'évacuation des produits agricoles et aussi par la difficulté d'approvisionnement en Produits de Premières Nécessités (PPN) vendus à des prix exorbitants. L'état dépense beaucoup d'argent pour la réhabilitation de ces pistes, pas moins de 60 millions Ar par Km qui sont dépensés tous les 3 à 4 ans. La situation financière et économique actuelle du pays ne lui permettraient pas de financer un grand projet de réhabilitation de ces pistes.

En conséquence, les populations rurales enclavées dans ces zones se trouvent démunies et dans une situation précaire : impossibilité de vendre leur production, ventes à perte de leur production, perte physique due à des pourrissements, aucun moyen d'évacuation des malades, prix des PPN exorbitants. Il en est de même pour la population qui habite sur les périphéries d'Antananarivo dont la mobilité est rendue difficile en saison pluvieuse. Cette situation est commune dans tout Madagascar car au-delà des Routes Nationales, les routes de dessertes reliant la Route Nationale et les communes rurales ou Fokontany ou les communes périphériques sont à environ 90 % des routes en terre battue.

A titre d'exemple précis et évocateur : la portion Antanifotsy – Soanindrariny où transitent 300 000 tonnes de production de pomme et de pêche approvisionne Madagascar. Cette piste a été réhabilitée en chaussée de terre ou en macadam en 2001, en 2005, en 2009 (partiellement) et tout récemment en 2015. Les travaux ont été donc refaits 3 fois et demi en 14 ans seulement ; si on fait une extrapolation, nous pouvons imaginer l'ampleur des dépenses.



Photo 2.01 : Etat de la piste en saison pluvieuse après la réhabilitation en terre battue

II.3. Proposition des solutions pour résoudre le problème

II.3.1. Solutions envisageables

Les solutions envisageables pour résoudre le problème sont nombreuses telles que :

- le bitumage ;
- les chaussées en béton compacté roulé ;
- les chaussées en terre ou en macadam ;
- les chaussées en pavé de béton ;
- les chaussées en pavé des pierres naturelles.

II.3.2. Solutions durables et applicables dans le cas actuel du pays

Les solutions avantageuses et applicables doivent répondre à des impératifs suivants:

- économiques : la solution envisagée devrait être la moins coûteuse possible au Km,
- techniques : la solution avancée devrait être également le plus facile à mettre en œuvre,
- sociaux : en même temps que la solution résoudrait le problème d'accès, elle devrait être également créatrice d'emplois et d'autres valeurs ajoutées pour le pays et les localités objet du projet.

Le ticket d'entrée pour le bitumage étant très élevé, de l'ordre de 700 millions à 1 milliards d'Ar. Envisagé le projet de remise en état des pistes à l'échelle nationale paraîtrait très difficile d'autant plus que le Km de routes bitumées est de l'ordre de 700 millions Ar.

La solution chaussée en béton ayant déjà fait ses preuves dans divers pays d'Afrique n'est toutefois pas adaptée au cas de Madagascar, vu la complexité de la mise en œuvre technique :

- la logistique des principaux intrants comme le ciment qu'on devrait transporter d'un endroit jusqu'aux sites du projet localisé à travers Madagascar,
- l'identification et l'importance des gîtes d'emprunt nécessaires pour l'approvisionnement en matériaux tels que les sables de carrières, les sables de rivières, etc.

La solution de chaussée en terre et/ou en macadam, comme évoqué plus haut est une solution non pérenne qui ne dure pas plus de 3 à 4 ans.

Finalement, pour résoudre durablement et rapidement ce problème, on applique la solution la plus appropriée qui est le pavage en pierres naturelles des pistes rurales et suburbaines. Le projet de pavage pour la remise en état de la piste satisfait tous les besoins des populations et soulève le problème économique.

II.3.2.1. Facteurs de choix du pavage

- une solution facile à mettre en œuvre et moins coûteuse vu le montant des investissements nécessaires,
- une technique innovante permettant une production à l'échelle industrielle de pavés,
- un projet utilisant une Haute Intensité de Main d'Œuvre à l'échelle nationale,
- un projet permettant de remettre en état rapidement les routes,
- un coût moindre, moins de 120 millions Ar le Km, par rapport au bitume avec une durabilité trois fois supérieure.

II.4. Description et ordre hiérarchique du projet

II.4.1. Description technique du projet

Le premier objectif du projet est de remplacer les couches de roulement actuelles faites en terre ou en macadam par du pavé en pierres naturelles produit industriellement ou artisanalement. Le second est de réhabiliter les ouvrages d'assainissements correspondants de manière à ce que ces pistes résistent au passage répétitif des camions et des charrettes en saison pluvieuse, qui est la première cause de la dégradation. Des reprofilages lourds ou légers seront nécessaires en fonction du degré de nivelage nécessaire des portions à réhabiliter.

Le pavé sera posé après :

- un reprofilage léger ou lourd selon le profil du terrain,

- un compactage pour éviter les déformations des chaussées,
- une couche de caillasses et de gravillons qui servira de base et de fondation de la piste
- une couche de sable de carrière,
- une deuxième couche de compactage,
- une fine couche de sable grossier facilitant la pose de pavé de différentes dimensions de manière à niveler la surface.

Pour les ouvrages d'assainissements, le choix technique sera laissé à l'appréciation de l'entreprise de BTP qui se chargera de l'exécution des travaux, toutefois, pour une rapidité et une durabilité des ouvrages. L'utilisation de dalles sera proposée dans les endroits où les risques de dégradation de la maçonnerie en béton seront élevés.

Les pavés seront produits, selon une technique innovante permettant une production à l'échelle industrielle tout en privilégiant l'utilisation d'un maximum de main d'œuvre afin d'accélérer la production. Une partie de la production sera faite par des outils de production industrielle et la finition par le travail à Haute Intensité de Main d'œuvre.

Tous les matériaux de construction nécessaires pour le projet seront, à la limite du possible, fournis par la carrière ouverte. Les sables de carrière ainsi que les gravillons seront également produits à partir de la carrière où l'on prendra les pavés.

II.4.2. Ordre hiérarchique des zones ciblées

Pour obtenir un maximum d'impact socio-économique et pour toucher le maximum de population, le projet privilégiera par ordre hiérarchique d'importance :

- Les Routes Nationales (RN) non encore bitumées, en effet, 5 000 Km sur les 8 252 Km de routes nationales sont bitumées,
- Les Routes d'Intérêt Provincial RIP dont 475 Km sur 10 000 Km seulement sont bitumées seraient la priorité, en effet, ces routes relient entre elles les communes, et ces dernières aux chefs-lieux de provinces d'où son importance en terme de flux d'échanges de personnes et de tonnages de produits, la plupart des produits agricoles transitent également par cette catégorie,
- Les Routes d'Intérêt Local (RIL) pouvant permettre le désenclavement de grandes zones de production agricole seraient également considérées.

La population cible est surtout donc constituée par la population rurale et suburbaine qui vivent dans des zones d'habitation et de production agricole enclavées en saison pluvieuse. La

réhabilitation des infrastructures agricoles se trouve parmi les axes de développement prioritaires pour l'agro-business dans la région de Vakinankaratra. Le projet dont le montant a été annoncé prévoit de toucher durablement au moins 5 000 000 de personnes sur 2 ans pour 8 000 Km.

II.5. Evaluation des impacts et avantages du projet

II.5.1. Au niveau social

Conformément aux objectifs de la Nation, le projet va contribuer au développement socio-économique de la région concernée et à l'amélioration du niveau de vie de la population. De plus, il entraîne des impacts positifs sur le renforcement des relations diverses et des échanges économiques qu'il fait et qu'il entretient avec les autres régions de l'île. Le projet favorise également son ouverture sur le projet technique.

La réhabilitation des pistes rurales et suburbaines de Madagascar et l'amélioration des voies d'accès faciliteraient la vie quotidienne de plusieurs milliers d'individus c'est-à-dire :

- une meilleure mobilité ;
- une amélioration du niveau de vie par une meilleure évacuation des produits agricoles se traduisant par une hausse des revenus ;
- une amélioration de la qualité de vie car les produits de premières nécessités seront disponibles ;
- la création d'une école de formation technique au maniement, la taille et la pose de pavés améliorera la professionnalisation des ouvriers et paysans Malagasy.

II.5.2. Du point de vue économique

- Création d'emploi : le nombre estimatif des emplois est de 125 000 par mois pendant 2 ans sur 320 sites à raison de 25 Km par site et ce à travers toute l'île:
 - la main d'œuvre de pose des pavés qui feront appel à la population locale ;
 - la fourniture de matériaux (sable de carrière, caillasse, gravillons, buttage, pavé, etc.) qui fera l'objet d'un partenariat avec la population locale ;
 - chaque site au niveau industriel fera appel à des artisans formés aux travaux de finition du pavé.
- Les travaux relatifs aux gros œuvres (reprofilage, compactage, ouvrages d'assainissement, etc.) seront faits par les entreprises de travaux publics expérimentées qui embaucheront en conséquence les populations locales.

- PIB : le désenclavement des zones de production agricole encouragera les paysans à produire plus, l'écoulement de leur production n'étant plus bloqué, ce qui contribuera l'augmentation de la PIB.
- Valeur Ajoutée : l'amélioration de l'accès permettra aux producteurs d'avoir un meilleur accès au marché d'où une augmentation de leur valeur ajoutée.
- Diminution du coût de production : l'accès favorisera la concurrence entre les transporteurs et mettre sur le marché plus de choix quant aux intrants agricoles d'où une baisse des coûts des intrants et du coût de transport d'où une baisse considérable des coûts de productions.
- Balance Commerciale : l'impact sur la Balance Commerciale ne serait pas non plus négligeable vu la diminution de l'importation de bitumes.

II.5.3. Impact financier

- La réhabilitation d'une piste en terre battue ou en macadam coûterait 50 millions Ar au Km, avec une réhabilitation programmée tous les 3 ans, au bout de 30 ans, le coût avoisinerait les 500 millions Ar au Km. Or une piste en pavé coûterait entre 90 et 120 millions Ar/Km mais en une seule fois, il ne reste plus qu'à faire des simples entretiens pour les 30 prochaines années.
- Comparée aux routes en bitume dont le coût du kilomètre est de l'ordre de 700 millions Ar et dont la durée de vie n'est que de 15 ans à Madagascar, le projet est largement avantageux et coûte 5 à 7 fois moins.

II.5.4. Avantages techniques du projet

- Les routes pavées sont durables et leur entretien est aisé et peu coûteux : quelques outils et machines élémentaires, des matériaux peu coûteux et disponibles à proximité ainsi qu'un savoir-faire limité suffisent à assurer les petites réparations qui pourraient s'avérer nécessaire. Les communes concernées n'encourront donc pas trop de frais dans l'entretien des ouvrages et pourront exécuter les petits travaux y afférent sans recourir aux services, exorbitants, de prestataires extérieurs.

- Le pavage entraîne une amélioration de l'hygiène et de la santé des quartiers concernés, par l'installation et l'entretien d'un système performant de drainage des eaux de pluies. Sans drainage, ces eaux attaquent rapidement la couche de base et menacent la stabilité de l'ouvrage. Cette contrainte technique peut être aussi une source d'emploi pour la population locale. En effet, cette dernière peut drainer les eaux stagnantes.

- Le recours au pavage permet également d'accommoder l'extension progressive de services de base telle l'adduction d'eau potable ou l'assainissement liquide. En effet, contrairement au béton ou au bitume, les routes pavées peuvent être ouvertes et refermées sans difficulté particulière, pour l'installation de conduites par exemple. Si ce recours doit rester exceptionnel, il n'en présente pas moins un avantage de taille dans des localités où l'extension de ces services est entrevue mais pas encore programmée.

II.5.4.1. Durabilité

Sur le plan technique, le matériau utilisé serait de roche testée préalablement au LNTPB, de manière à ce que les ouvrages soient le plus durable possible et afin que les travaux ne soient pas refaits tous les ans et que les infrastructures durent plus de 50 ans moyennant un bon entretien. Il s'agira avant tout d'un programme et non d'un projet dont la réalisation s'étalera pendant 3 à 5 ans selon un Plan Triennal ou Quinquennal.

II.5.4.2. Evolutivité

Avec l'utilisation du pavé, les pistes deviendront des chaussées évolutives qui pourront passer au goudron plus tard économisant tous les travaux nécessaires pour une route goudronnée.

II.5.4.3. Rapidité

En deux ans, il sera possible de remettre en état 8 000 Km de pistes grâce à la technique innovante de production de pavé que PROGRANIT va utiliser.

II.5.4.4. Réalisabilité

Le projet a pour autres avantages de pouvoir être dupliqué à travers tout Madagascar, là où les matières premières seront disponibles et la main d'œuvre est abondante, et même au-delà de Madagascar.

Chapitre III : MÉTHODOLOGIE DE LA RECONNAISSANCE DES GISEMENTS ROCHEUX EN CONSTRUCTION ROUTIÈRE

L'étude géotechnique en construction routière s'effectue par une reconnaissance du gisement, des essais *in situ*, des prélèvements d'échantillons pour des essais au laboratoire. Cette reconnaissance se déroule en quatre étapes : la reconnaissance préliminaires, l'avant-projet sommaire, l'avant-projet détaillé et la recommandation pour l'exécution d'un projet d'exploitation. Elle définira la localisation des gisements répertoriés le long de l'axe, le volume du matériau

exploitable, le volume de la découverte, les difficultés éventuelles d'accès et d'exploitation, la distance de transport par rapport à l'axe du projet, la sélection des gisements et leur utilisation.

III.1. Méthodologie générale [10]

III.1.1. Objectifs

La reconnaissance a pour but de:

- localiser les indices rocheux intéressants ;
- définir les zones pouvant être exploitées ;
- estimer le volume et la qualité des matériaux ;
- étudier la nature pétrographique ;
- donner une première évaluation des distances de transport par rapport au tracé ;
- définir la méthode d'exploitation du gisement et la conception des installations de traitement, en vue d'obtenir les matériaux élaborés souhaités.

III.1.2. Eléments de choix

Les éléments de choix qui définissent la formation ou le site de carrière de matériaux rocheux préférentiels sont les suivants :

- qualité : dureté
- quantité : volume, tonnage
- distance de transport : moyenne

III.1.3. Recherches bibliographiques

Elles consistent à faire la bibliographie de la région au moyen d'un projet, des documents, des archives, des cartes topographiques, des cartes géologiques, des cartes pédologiques et des photographies aériennes.

III.1.4. Recherches sur le terrain

- vérifier les contours généraux des différents sites répertoriés en bureau en examinant l'aspect général du gisement, la topographie, la végétation et les possibilités d'accès
- inventorier les sites de carrières ;
- déterminer les sites retenus pendant l'étude préparatoire en bureau ;
- sélectionner les gisements ;
- sur chaque site répertorié, les activités suivantes doivent être faites :
 - situation géographique ;
 - situation initial et état du gisement ;

- nature visuelle du matériau ;
- géologie du gisement (géomorphologie, structure, tectonique) ;
- accès et schéma du gisement ;
- volume exploitable ;
- échantillonnage.

III.1.5. Essais au laboratoire

Après le concassage et le criblage, les granulats obtenus ont été soumis aux essais suivants :

- Los Angeles (LA) ;
- Fragmentation Dynamique (FD) ;
- Micro Deval en présence d'eau (MDE).

III.1.6. Rapport

Le rapport renferme les principales données obtenues lors du déroulement des reconnaissances, ainsi que les conclusions et les recommandations.

III.2. Etapes de la reconnaissance des gisements rocheux [1]

III.2.1. Reconnaissance Préliminaire (RP)

III.2.1.1. Objectifs

Au début du projet, des documents existants concernant les zones à étudier seront compilés en bureau en vue d'orienter la recherche des matériaux sur terrain. Le rôle de l'ingénieur responsable de l'étude sera de vérifier sur terrain l'exactitude des renseignements recueillis, de faire une analyse rapide des sites, et de relever éventuellement de nouveaux indices rocheux.

III.2.1.2. Méthodologie

III.2.1.2.1. Travail documentaire

On établira les contours des différentes formations et des divers indices intéressants à partir des documents existants disponibles. Ces limites pourront être dépassées puisqu'il s'agit de matériaux nobles pour lesquels l'on pourra accepter des distances de transport relativement importantes.

Les renseignements seront reportés sur une carte où devront figurer :

- les zones de morphologie caractéristique à une roche et définies à partir de la cartographie et de la photogéologie

- les escarpements rocheux décelés lors d'observations en stéréoscopie de photographies aériennes
- les anciennes carrières déjà inventoriées dans divers rapports

Cette carte constituera l'outil de base pour les prospections sur terrain.

III.2.1.2.2. Travaux sur terrain

La tâche essentielle sera de vérifier l'exactitude des informations recueillies en bibliographie.

L'investigation sur terrain se fera :

- par l'étude géologique rapide des indices répertoriés ou reconnus
- par des observations visuelles et l'examen à la loupe des roches prélevées sur les affleurements
- par des relevés topographiques ou GPS
- par des mesures à la boussole des traits majeurs des gisements : direction générale et pendages.

Les renseignements ainsi obtenus seront reportés sur un croquis du site. L'usage de photographies est recommandé. Des prélèvements de roche, si possible, représentatifs au massif seront effectués au marteau, leurs points d'extraction seront mentionnés sur le croquis.

III.2.1.2.3. Essais au laboratoire

La réalisation de lames minces pour analyse au microscope sera parfois nécessaire afin de lever des incertitudes sur la nature pétrographique et la structure de certains échantillons, et pour orienter les divers essais à réaliser. En premier lieu s'effectuera l'essai Los Angeles caractérisé par le coefficient « LA » de granulats obtenus par concassage permettant de déterminer la résistance aux chocs et la dureté d'un matériau par abrasion et par attrition. Toutefois d'autres essais de résistance aux chocs ou à l'écrasement pourront également être effectués, ce sont :

- l'essai de fragmentation statique ;
- l'essai de fragmentation dynamique ;
- l'essai d'écrasement par compression simple.

III.2.1.2.4. Rapport

Les renseignements concernant chaque site seront présentés sur une fiche des gisements rocheux où devront être mentionnées les caractéristiques géotechniques. Le rapport comprendra également :

- un plan au 1/50 000 ou au 1/25 000 avec localisation des sites ;
- un croquis orienté de chaque site à une échelle comprise entre 1/5 000 et 1/2 000 ;

- un croquis d'interprétation et d'orientation du programme futur pour la phase d'étude suivante.

Le rapport comportera une première appréciation sur la qualité des matériaux et une première estimation du volume de chaque site, établies à partir :

- des analyses cartographiques et topographiques
- des examens minéralogiques et pétrographiques et des essais de laboratoire

Il en sera déduit une première sélection des sites devant être étudiés à la phase d'avant-projet sommaire en tenant compte des besoins en qualité et en quantité.

III.2.2. Avant-Projet Sommaire (APS)

III.2.2.1. Objectifs

A cette phase, le responsable de l'étude s'efforcera, d'obtenir une meilleure connaissance des caractéristiques géométriques et géotechniques des massifs étudiés afin de juger si les gisements sélectionnés à la reconnaissance préliminaire, sont techniquement et économiquement valables et permettant une nouvelle sélection.

III.2.2.2. Méthodologie

III.2.2.2.1. Prospection des matériaux rocheux

La géologie du terrain, les méthodes géophysiques et les moyens mécaniques seront utilisés.

a- Etude géologique

Les conditions morphologiques et géologiques des gisements orienteront les travaux à entreprendre et fixeront leurs implantations et leurs densités.

- La cartographie

Le géologue établira un plan détaillé du gisement où seront reportés les affleurements rocheux et les limites de contact entre les différentes formations géologiques.

- L'étude structurale

On étudiera les discontinuités affectant le massif rocheux à partir des affleurements, des escarpements, des falaises et des fronts de taille. Les discontinuités comprennent : les contacts géologiques, les failles, les plans de stratification, les plans de litage et les plans de foliation. Pour obtenir les principales discontinuités, la méthode la plus utilisée est la représentation graphique à partir de canevas d'étude structurale. Ce mode de représentation permet d'analyser les rapports d'orientation des éléments tectoniques dans l'espace.

Dans le cas des massifs stratifiés, l'épaisseur des bancs sera également précisée.

b- Prospection géophysique en surface

Les deux méthodes utilisables sont la sismique réfraction et la résistivité électrique, par lesquelles l'on peut mesurer certaines caractéristiques physiques des roches. Suivant les problèmes à résoudre on les utilisera isolées ou combinées :

b-1. Sismique réfraction

Elle est basée sur le fait que les ondes sismiques provoquées à l'aide d'explosion et se propageant dans les couches constituant le sous-sol, pénètrent à une grande profondeur, se réfléchissent et se réfractent partiellement à des vitesses différentes suivant leur nature et leur degré de compacité. Les ondes réfléchies et certaines ondes réfractées retournent à la surface de la terre et peuvent être enregistrées à l'aide des stations sismiques.

Elle permet :

- de calculer l'épaisseur des différentes couches ayant des vitesses croissantes avec la profondeur ;
- d'apprécier l'inclinaison du toit du substratum ;
- de déterminer certaines particularités géologiques (failles, filons, etc.).

Principe :

La technique fondamentale utilisée en méthode sismique, c'est de produire des ondes sismiques et de mesurer le temps mis par ses ondes pour aller depuis les sources jusqu'à une série de géophones, habituellement disposée sur une droite passant par la source. Connaissant les temps de parcours jusqu'au géophone et la vitesse de propagation de ses ondes, on tente de reconstruire leurs trajets. Les informations structurales résultent surtout des trajets que l'on décompose en deux catégories principales : les trajets réfractés dont la partie principale s'effectue le long de l'interface séparant deux couches de terrain, à peu près horizontales et les trajets réfléchis pour lesquelles les ondes se propagent d'abord vers le bas et, en un point, sont réfléchies vers la surface ; les trajets sont alors à peu près verticaux. Dans les deux cas, les temps des trajets dépendent essentiellement des propriétés physiques des roches et de la disposition des couches.

Les ordres de grandeur des vitesses enregistrées en fonction de la nature des matériaux sont présentés dans l'annexe 2.

b-2. Résistivité électrique

Cette méthode basée sur l'étude des conductibilités électriques dans le sol, permet de calculer la résistivité du sous-sol à partir des mesures des différences de potentiel aux bornes d'un dispositif, constitué d'un résistivimètre, d'un générateur électrique et de quatre électrodes. Plus la résistivité est faible, plus le matériau est faible.

Principe :

La prospection électrique consiste à injecter un courant d'intensité I dans le sol par l'intermédiaire de deux électrodes. La réponse est recueillie par une paire d'électrodes qui mesure la différence de potentiel (dV) entre deux points distincts. A partir de la valeur du courant injecté, de la mesure de la différence de potentielle DV et de l'écartement entre les différentes électrodes, on peut déterminer la résistivité électrique en se basant sur la loi d'Ohm.

L'ordre de grandeur des résistivités en fonction de la nature des matériaux prospectés est mis en annexe 2.

III.2.2.2.2. Echantillonnage

On peut faire appel à un artificier afin d'effectuer les prélèvements à l'aide d'explosif. On pourra également utiliser les carottes prélevées au cours des opérations de sondages pour les essais ne nécessitant que de faibles quantités de matériaux.

Les éclats recueillis au cours des forages sont utilisables pour l'essai de fragmentation dynamique. Les prélèvements se font tous les mètres, ou plus fréquemment si nécessaire, en vue des examens et des essais au laboratoire.

III.2.2.2.3. Essais au laboratoire

- analyses minéralogiques et pétrographiques (lames minces)
- analyses chimiques avec dosage des sulfates et des sulfures
- essais de dureté :
 - à la fragmentation par l'essai Los Angeles ;
 - à la fragmentation par l'essai dynamique ou statique ;
 - par l'essai Micro-Deval à sec ou par voie humide.
 - Essais de résistance mécanique
 - essais de compression simple ;
 - essais de traction.

Ces essais seront complétés par la mesure de la masse volumique apparente.

III.2.2.3. Rapport

Le rapport comprendra un plan avec fond géologique à l'échelle du 1/50.000 positionnant les différents sites étudiés.

Les résultats d'études de chaque site comportent :

- le plan du gisement avec les points d'implantation des travaux et les renseignements géologiques et structuraux ;
- les fiches techniques des travaux de puits, des forages ou des sondages, de la géophysique et leur interprétation ;
- les résultats des essais de laboratoire.

Les caractéristiques de la roche, le volume exploitable et les utilisations possibles des matériaux.

A la fin de la reconnaissance en APS, les gisements rocheux, et ceux nécessitant des études complémentaires, devront être choisis en vue de la phase d'APD.

III.2.3. Avant-Projet Détaillé (APD)

III.2.3.1. Objectifs

Les gisements rocheux ont été choisis de façon définitive. Cette phase de l'APD ne sera entreprise que si une meilleure connaissance du massif est jugée nécessaire. La découverte, la hauteur exploitable, les variations de qualité, ainsi que tous les éléments qui conditionnent l'exploitation devront être connus en détail. Ces éléments devront permettre d'établir les recommandations en vue d'aboutir à une exploitation satisfaisante, et de conseiller certaines caractéristiques de l'installation d'élaboration des matériaux, afin d'obtenir des granulats de la qualité souhaitée.

III.2.3.2. Méthodologie

III.2.3.2.1. Travaux de prospection

Si certains détails nouveaux sont apparus, il pourra être nécessaire d'effectuer des compléments d'études géologiques, ou de reconnaissance par des moyennes géophysiques, ou par puits, pénétromètres, etc. Si ce n'est pas le cas, seuls des moyens mécaniques et les diagraphies seront utilisés.

a. Procédés mécaniques

- Les reconnaissances à l'aide d'engins de génie civil, (pelle mécanique, ripeur, etc.), permettant l'extraction de roches, grâce à un débit naturel favorable
- Les sondages carottés ou les forages destructifs permettant des prélèvements sous forme de carottes ou d'éclats

Dans ces derniers, les sondages carottés seront rarement utilisés, et leur implantation sera étudiée avec soin du fait qu'ils sont longs et onéreux. Tandis que les forages, de coût moins élevé, seront d'un emploi plus fréquent. Dans les deux cas, le but sera d'établir des coupes géologiques ou géotechniques à l'aide des coupes de sondages ou de forages des diagraphies et des prélèvements effectués.

b. Diagraphies

Elles seront exécutées si des nouveaux sondages ou forages ont été réalisés. Les sondes de diagraphies utilisées, permettant l'enregistrement des renseignements nouveaux, devront avoir des diamètres compatibles avec ceux des sondages ou forages.

III.2.3.2.2. Echantillonnage

Lors de la réalisation d'un sondage carotté, des échantillons intacts seront prélevés à des profondeurs différentes sous forme de carottes, pouvant servir à des essais physiques et mécaniques. Quant aux forages destructifs, ils permettront d'obtenir les éclats qui seront utilisables pour l'essai de fragmentation dynamique. Il est possible d'obtenir les différents éléments nécessaires à la connaissance des matériaux et de la masse rocheuse, par l'observation de la couleur et de l'aspect, et par leur examen macroscopique ou microscopique.

III.2.3.2.3. Essais au laboratoire

Les essais à pratiquer sur les matériaux porteront, essentiellement, sur l'aptitude à l'élaboration d'un produit de qualité. L'essai de concassage des roches au laboratoire est obligatoire. Les quantités de matériaux à traiter seront importantes, ce qui obligera à avoir recours à l'emploi d'explosifs pour l'échantillonnage.

On n'omettra pas de faire les essais suivants : densité, porosité, forme après concassage, propreté par l'essai au bleu de méthylène ou par mesure de l'équivalent de sable. Les granulats seront également soumis aux essais d'adhésivité aux liants hydrocarbonés avec ou sans dope.

III.2.3.2.4. Rapport

Il comprendra, pour chaque gisement :

- un compte-rendu regroupant les reconnaissances et essais réalisés, avec coupes des sondages ou forages, résultats d'essais de laboratoire, de géophysique et graphiques de diagraphies ;
- l'interprétation des résultats ;
- un ou plusieurs plans et coupes du gisement à l'échelle comprise entre 1/2 000 et 1/500, avec report des reconnaissances réalisées ;
- des recommandations pour l'exploitation et pour l'élaboration des granulats.

III.2.4. Résumé et Conclusion

III.2.4.1. Sélection des gisements

Le choix des différents gisements doit tenir compte des différents facteurs suivants :

- les premières estimations des mouvements des terres (déblai-remblai) ;
- le prédimensionnement de la chaussée en fonction de l'étude de la plateforme ;
- la qualité des matériaux ;
- les volumes exploitables disponibles ;
- la distance des gisements par rapport aux types de travaux prévus à réaliser ;
- la distance moyenne de transport.

La distance de transport reste un élément important du prix de revient de l'ouvrage :

- remblai : < 0,5 km ;
- couche de forme, de roulement, de fondation et des accotements : < 2 km ;
- couche de base traitée ou non : < 5 km ;
- matériaux devant être traités en centrale fixe : < 10 km.

III.2.4.2. Reconnaissance Préliminaire (RP)

Tableau 3.01 : Récapitulation des travaux effectués dans la phase de RP

Objectifs	Choix de fuseau présentant les moindres contraintes (géologiques, topographiques, géotechniques, économiques) Evaluation des volumes des travaux pour l'estimation du coût de la construction
Préparation en bureau	Choix des points de franchissement et des sites possibles de gisement Sélection d'un ou des fuseaux
Terrain	Reconnaissance géologique Définition des solutions aux problèmes géologiques et géotechniques Quelques sondages éventuels (puits et/ou tarières)

Laboratoire	Essais d'indentification
Rapport	Définition du programme des études de l'APS et de l'APD
Délai	Entre 11 semaines et 17 semaines pour l'étude d'un fuseau (sur base de 100 Km)

III.2.4.3. Avant-Projet Sommaire (APS)

Tableau 3.02 : Récapitulation des travaux effectués dans la phase d'APS

Objectif	Donner les éléments géologiques, géotechniques, et définir les ressources en matériaux
Terrain	Opérations courantes pour les sols de plateforme et les matériaux meubles Opérations spécifiques pour les produits de carrière
Laboratoire	Essais d'indentification Essais de compactage et de portance Essais physiques et mécaniques
Rapport	Rapport géologiques et géotechniques détaillé
Délai	Entre 24 semaines et 30 semaines sur la base de 100 km

III.2.4.4. Avant-Projet Détaillé (APD)

- L'APD a pour but d'effectuer l'étude de détail et des solutions géotechniques du tracé, des gisements de matériaux meubles et rocheux en vue de l'établissement d'un document d'appel d'offre
- Les opérations de cette phase doivent résoudre les problèmes soulevés à l'APS
- Sur la base de 100 km, le délai est compris entre 25 et 31 semaines

III.2.4.5. Projet d'Exécution (PE)

C'est le suivi des études mentionnées en APD

➤ Opérations courantes (*gisements meubles*)

Il s'agira donc d'avoir le plus de renseignements qui influenceront sur l'exploitation, à savoir : la structure du gisement, la découverte et son épaisseur, l'épaisseur des matériaux exploitables, l'hétérogénéité de ceux-ci, la présence ou non d'une nappe, la présence de blocs rendant difficile l'exploitation. On respectera l'environnement naturel et humain (village, cimetière, terrain de jeux, pollution des cours d'eau, etc.).

➤ Opérations spécifiques (*gisements rocheux*)

On définira, par puits ou tarières, éventuellement par pénétration dynamique ou géophysique l'épaisseur de la découverte.

Conclusion partielle

Dans cette première partie, nous avons vu la classification des roches utilisées en technique routière selon leur mode de formation et leurs caractéristiques spécifiques. La plupart des pistes rurales de Madagascar desservant les zones de production agricoles sont pratiquement inaccessibles pendant la saison des pluies. Le projet de pavage en pierres naturelles s'avère être très important pour une meilleure contribution au développement socio-économique de Madagascar. Ce projet est à moindre coût, mais durable par rapport au bitumage. C'est pourquoi, nous avons étalé les étapes de la reconnaissance des gisements rocheux en construction routière. Ce qui nous mène à entrer dans la partie suivante, qui est l'étude de cas concret.

DEUXIÈME PARTIE
CAS DES PISTES RELIANT ANTANIFOTSY –
TSARAHONENANA SAHANIVOTRY ET
ANTSIRABE - SOANINDRARINY

Chapitre IV : SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET ASPECT GÉOLOGIQUE DU PROJET

L'objectif de ce présent chapitre sera constitué par les informations relatives à la situation technique et géographique du projet, au cadre physique de la région, et aussi à la géologie régionale.

IV.1. Situation technique du projet

Le projet de mise en état des infrastructures routières consiste principalement au pavage en pierres naturelles des chaussées. Ici, dans notre cas, ce projet concerne sur les pistes qui relient Antanifotsy à Tsarahonenana Sahanivotry soit 52 Km de longueur, et Antsirabe II à Soanindrariny (28 Km). Ces pistes ont été faites en terre battue ou en revêtement macadam. Cependant, elles sont fréquemment traversées par des dizaines de camions et des charrettes avec des roues en acier pour l'évacuation des produits agricoles. Afin de réussir leur mise en état, on applique le travail mixte qui est l'ensemble d'HIMO et de mécanisé. L'approche HIMO au sens large est celle d'une utilisation rationnelle des ressources locales telles que les mains d'œuvres, les matériaux, les petits outillages, et des autorités municipales ou communales. Cette approche a pour but de produire à un coût minimum des infrastructures de bonne qualité.

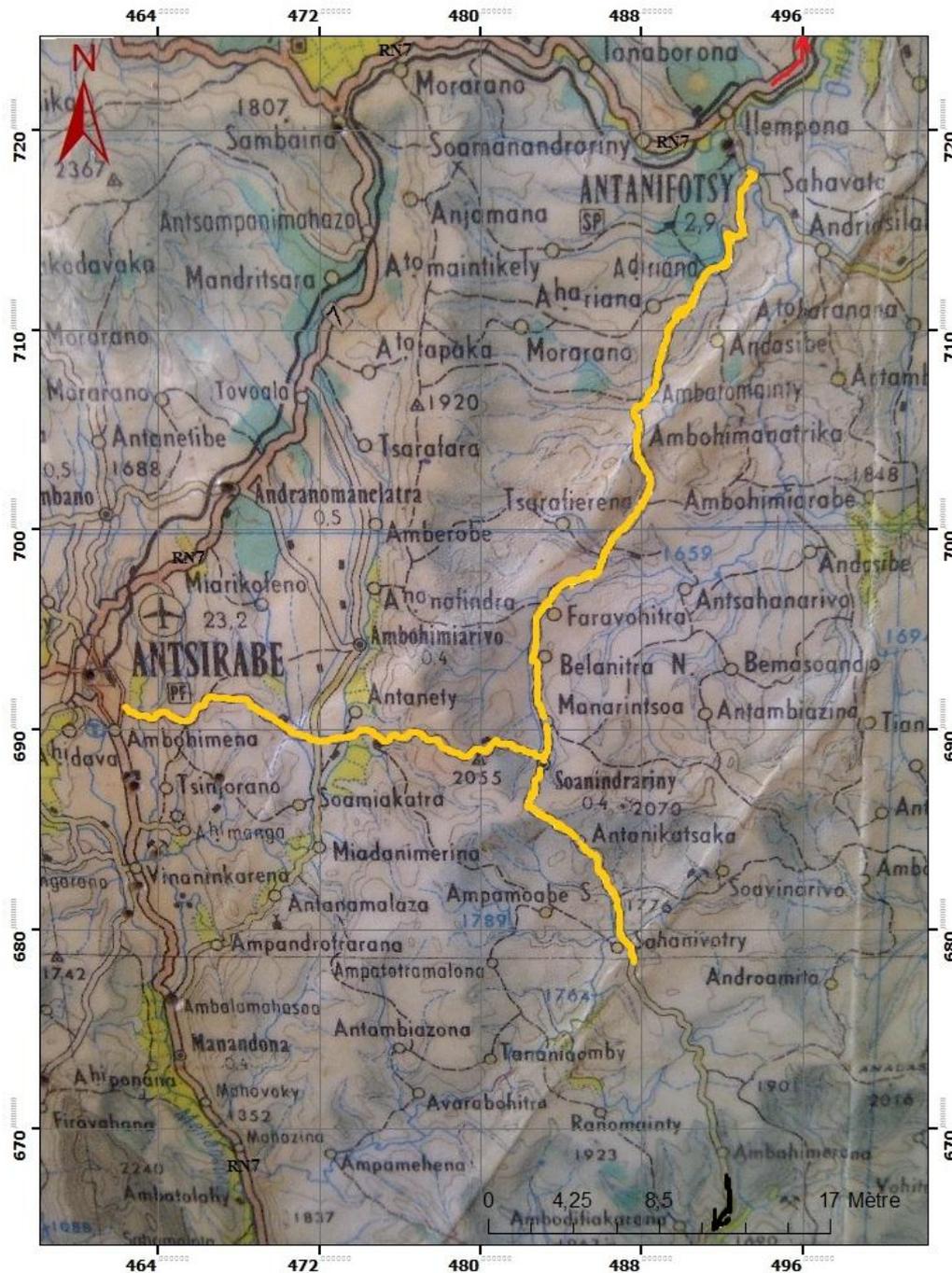
La route du Sahanivotry Antsinanana serait une route touristique de par son accès au corridor forestier et de réserve d'eau unique à Madagascar. Elle est aussi la continuité de Soanindrariny en termes de produits agricoles et d'élevages. De plus, cette route va désenclaver Fandriana de la région Amoron'i Mania, Marolambo et Antanambao Manampotsy de la région Atsinanana, ainsi qu'elle favorisera les échanges commerciales et culturelles entre trois régions limitrophes. Cette route de l'amitié équivaldrait à la fois aussi à une route de désenclavement économique.

IV.2. Situation géographique du projet

Les communes touchées par le projet se trouvent dans les sous-préfectures d'Antanifotsy et d'Antsirabe II, région Vakinankaratra, dans la province d'Antananarivo. Afin d'arriver dans ces communes, par voie routière en partant d'Antananarivo, il faut prendre la Route Nationale (RN7) reliant Antananarivo – Tuléar jusqu'à Ilempona au P.K.108. De là, une bifurcation à gauche vers le district d'Antanifotsy nous mène à la C.R. de Soanindrariny. Par ailleurs, on a un autre itinéraire pour arriver à Soanindrariny. Pour s'y rendre, par voie routière en partant d'Antananarivo aussi, il

faut prendre la RN7 jusqu'à Antsirabe au P.K.170 (Portail COTONA). De là, une autre bifurcation à gauche vers le pont de Sahatsiho nous conduit jusqu'à Soanindrariny. Ces deux itinéraires pourront nous mener vers la C.R. Tsarahonenana Sahanivotry.

Cette figure nous montre le plan de situation générale du projet :



Carte 4.01 : Carte de localisation de la zone d'étude

Source : Service de la Géologie Ampandrianomby, amélioration : A. Josoa

- Légende :
- vers Antananarivo
 - vers Fandriana
 - piste à réhabiliter

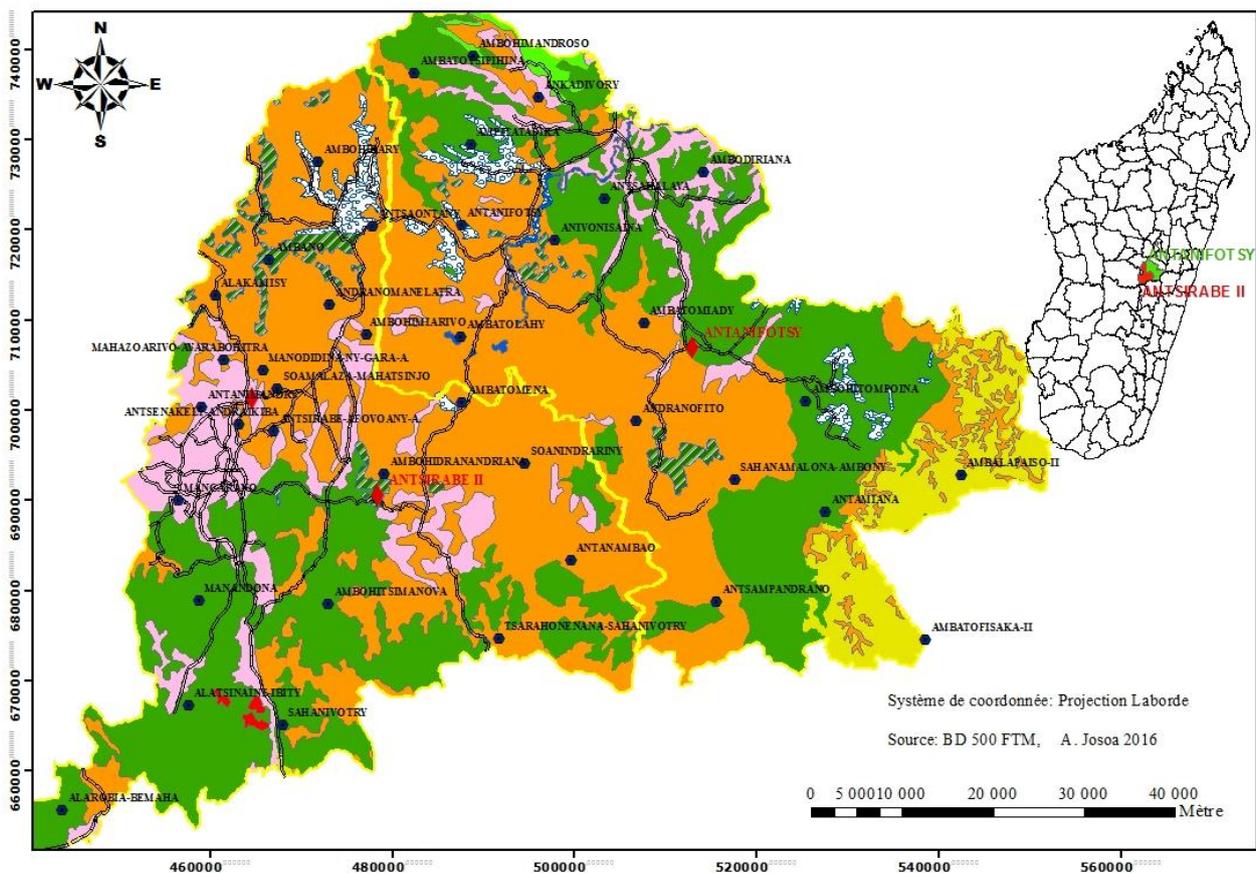
IV.3. Cadre physique [30]

IV.3.1. Pédologie

La Région de Vakinankaratra est marquée par la dominance de deux types de sols :

- Les sols ferrallitiques couvrant une grande partie de la région. Ils sont d'évolutions très diverses, pouvant être cultivés par du maïs, du manioc, et peuvent se prêter à la culture de pommes de terre et à l'arboriculture
- Les sols alluvionnaires, constituant les bas-fonds sont occupés par la riziculture et quelques cultures vivrières.

Il faut d'ores et déjà faire attention, car l'exploitation du sol, de par sa potentialité, doit s'accompagner d'une lutte incessante pour la conservation et la restauration des sols, ce qui suppose l'interdiction, voire l'éradication des feux de brousse, la promotion, la mise au point de procédés destinés à freiner le rythme d'érosion, le développement des pratiques culturelles non érosives (cultures en courbes de niveau), les amendements et la fertilisation doivent également intervenir massivement.



Carte 4.02 : Carte d'occupation de sol du district d'Antanifotsy et d'Antsirabe II

Source : BD 500 FTM

Legende

	District		Forêt dégradée
	Commune		Forêt dense
	Réseau hydrographique		Grande culture
	Route		Mosaïque de culture
	Limite du District		Rizière
			Savane arborée
			Savane herbeuse
			Zone reboisée
			plan d'eau

Les abondantes projections de cendres volcaniques ont donné des sols fertiles très cultivés, qui heureusement, contrastent avec la maigre prairie des collines latéritisées du socle cristallin. Le bassin d'Antsirabe est limité au Sud par les hauts sommets déchiquetés des quartzites de la montagne d'Ibity.

IV.3.2. Hydrographie et climatologie

Le réseau hydrographique est dense et assez hiérarchisé. De nombreux torrents aux vallées très encaissées prennent leur source dans les plateaux gneissiques de l'Est. Ils sont tributaires de la Manandona avec un sens d'écoulement d'Est à l'Ouest.

La région de Vakinankaratra est caractérisée par de trois (3) saisons climatiques distinctes :

- une saison pluvieuse et moyennement chaude : à fortes pluies orageuses entre le mois de novembre et le mois de mars ;
- une saison fraîche et relativement sèche pendant les mois d'avril et octobre ;
- une saison fraîche et relativement froide à crachins persistants durant le mois de mai jusqu'au mois de septembre.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 130,317 mm.

La température moyenne annuelle est de 14,2°C, avec un maximum de 20,5°C en février et un minimum de 0°C en juin.

La précipitation et la température ont des impacts sur les conditions de travail, notamment pour une exploitation à ciel ouvert où les travaux subiront directement les effets des intempéries provoquant les variations de rendement. En effet, plus la température augmente plus le rendement

des ouvriers diminue du fait de la forte chaleur. Aussi, durant la saison humide, le temps de travail se réduit à cause de la pluie.

Tableau 4.03 : Normales de températures et pluviométries recueillies en 2015 pour Antsirabe

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Pluies	362,7	354	283,7	21,5	26,6	0,3	0	0	24	1	113,7	376,3
Nombre de jours	19	22	16	2	3	1	0	0	1	1	9	22
T° maximale	24,9	24,7	26,8	26,5	23,7	0	9,9	12,2	0	18,9	26,5	23,6
T° minimale	15,8	16,3	13,9	12,3	9,5	0	6,7	5,6	6,5	9	11,4	16,1
T° moyenne	20,35	20,5	20,35	19,4	16,6	0	8,3	8,9	3,25	13,95	18,95	19,85

Pluies [mm], température [°C]

Source : Direction de la météorologie et de l'hydrologie Ampandrianomby (année 2015)

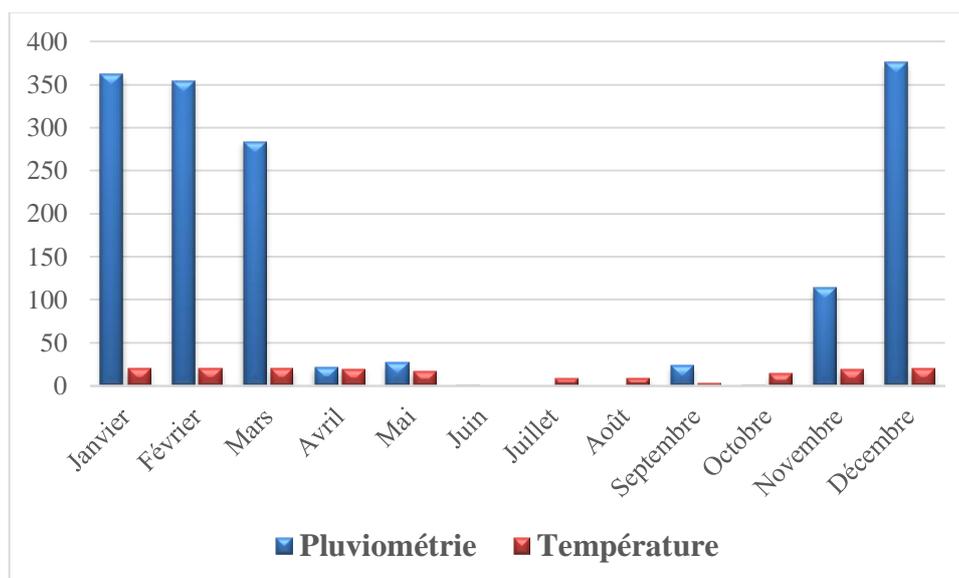


Figure 4.02 : Diagramme de variation de précipitation et de température durant l'année 2015

IV.4. Contexte géologique [8] [12] [16]

IV.4.1. Phénomène de métamorphisme

Le métamorphisme joue un rôle extrêmement important. Les phénomènes d'écrasement et des passages au gneiss ont été observés tout le long des massifs granitiques. Les paragneiss aussi existent dans la région notamment entre les chaînes du Mandray et du Vontovorona dans le prolongement de la haute vallée du Manandona où du granite a été trouvé (à l'Est d'Ambaravarambato). Des phénomènes d'imbibition et d'injection feldspathiques sur l'origine

desquelles ont été observés dans le massif. De nombreux filons pegmatitiques souvent composés de feldspaths presque purs recourent la roche. Les massifs quartziques qui sont les roches sédimentaires ayant subi une métamorphisation.

IV.4.2. Tectonique

La tectonique est l'étude de déformation de terrain sous l'effet des forces internes à la terre et postérieure à la mise en place des déformations affectées. Elle a trois composantes essentielles : le cisaillement, les accidents tectoniques et les déformations résultantes. La direction générale des couches est Nord-Sud avec un pendage orienté vers l'Ouest. Localement, les couches s'orientent vers Nord-Est comme au Nord du massif de Soamiakatra et dans les gneiss ocellés de la haute Sahainotry l'existence possible d'une fracture Nord-Sud le long du flanc Ouest de la Manandona est à signaler. Cette fracture a eu un rejet d'environ 100 m relevant ainsi les formations sédimentaires de l'Est par rapport à celles d'Antsirabe.

IV.4.3. Géologie régionale [19]

IV.4.3.1. Généralités

La région comprise dans la feuille NO. 49 d'Antsirabe est une des plus élevées de Madagascar. Le massif traverse cette feuille en diagonale du NNE au SW. On peut distinguer les unités géographiques et géologiques suivantes :

- le massif d'Ankaratra avec ses laves basaltiques et trachytiques ;
- les plateaux gneissiques toujours très latéritiques du Sud-Est surmontés du petit massif volcanique de Soanindrariny;
- la région gneissique du Nord-Est partiellement recouverte des coulées basaltiques ;
- le massif granitique de Vavavato en bordure Ouest ;
- les plaines d'Antsirabe et la haute plaine d'alluvions lacustres de Manandona ;
- les massifs de quartzites de la limite SSW d'Antsirabe.

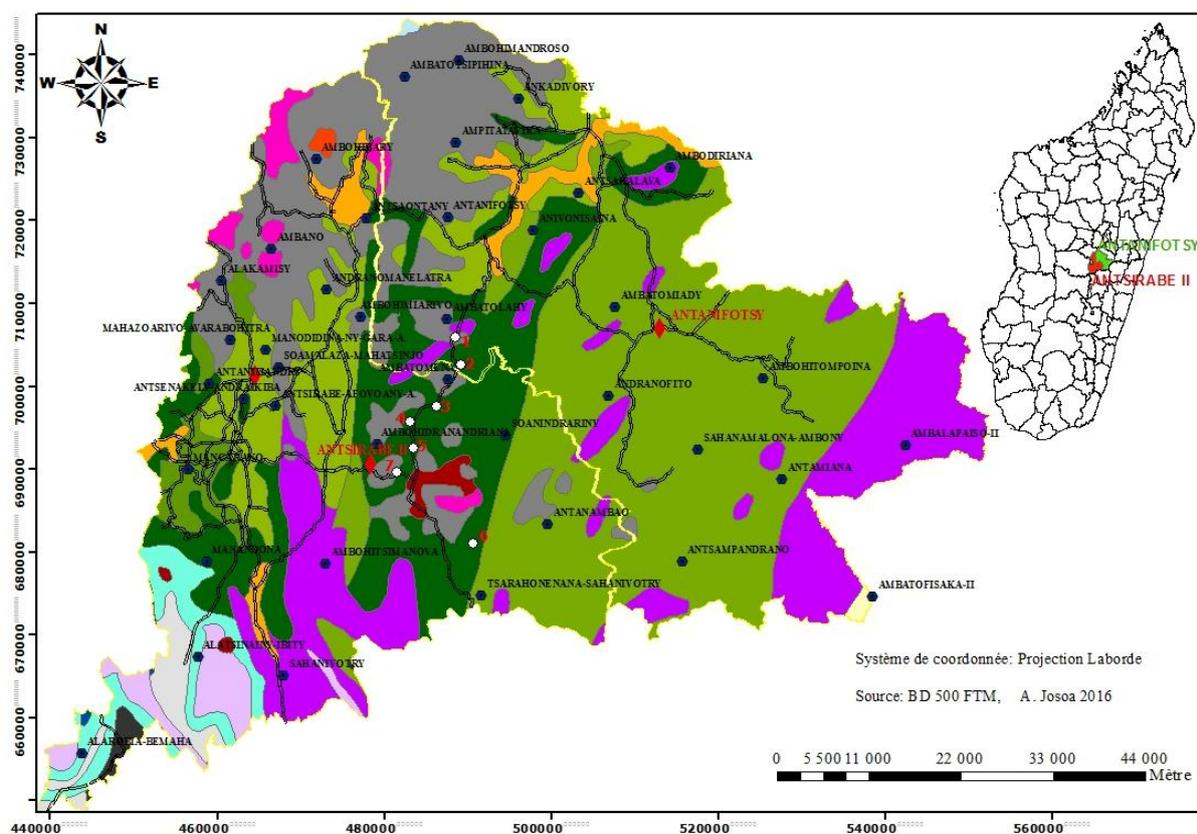
La région d'Antsirabe comporte les formations suivantes :

- un vieux socle migmatisé appartenant au système du graphite avec des intercalations granitiques. La monazite alluviale du Sud-Est d'Antsirabe, par datation aux isotopes du plomb, date de 2600 millions d'années
- les granites de Vavavato résultant en partie de la granitisation d'une ancienne formation basique et renfermant des zircons qui datent de 1060 millions d'années ;
- les pegmatites uranifères à béryl datées par isotopes du plomb de 915 millions d'années ;
- les granites intrusifs de l'Ibity datés de 559 millions d'années par leurs zircons ;

- les pegmatites sodolitiques à gemmes dont l'âge s'échelonne entre 650 et 500 millions d'années ;
- le système lacustre volcanique Néogène et Quaternaire.

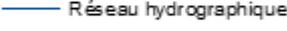
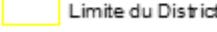
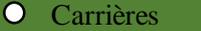
Le socle est constitué de migmatite lit-par-lit renfermant par endroit des bancs graphiteux avec des bancs de granite stratoïde. On en verra de bons affleurements sur la montée du Mandray (route de Soanindrarinny) et sur la route Betafo-Tririva. Les trachytes et les phonolites sont facilement accessibles à l'Est d'Antsirabe, le long de la route de Soanindrarinny. À 24 Km à l'Est d'Antsirabe se dresse le beau piton trachyphonolitique du Vontovorona avec des affleurements déroctés au bord de la route. Il est entouré des coulées basaltiques. Entre le Vontovorona et Soanindrarinny, la route contourne un petit dôme de trachytes qui prennent de l'extension avec plusieurs petits pitons phonolitiques émergeant des coulées basaltiques. Une coulée de basalte traverse la route Tananarive-Antsirabe au PK.157. Une belle cheminée basaltique avec prismes, exploitée en carrière se trouve sur le plateau à quelques centaines de mètres du sommet de la côte de la route du Vontovorona (7 Km à l'Est Antsirabe).

IV.4.3.2. Carte géologique du District d'Antanifotsy et d'Antsirabe II



Carte 4.03 : Carte géologique du district d'Antanifotsy et d'Antsirabe II

Source : BD 500 FTM

Legende	LITHOLOGIE	
 District	 Alluvions, Sables	 Granites intrusifs
 Commune	 Ankeratrites	 Granites migmatitiques, Migmatites granitoïdes
 Réseau hydrographique	 Basaltes, Andésites	 Granites type Ikala
 Route	 Basanites, Basanitoïdes	 Grès, Argiles kaoliniques
 Limite du District	 Cipolins	 Lac
 Carrières	 Gabbros de l'Isindro	 Migmatites
	 Gabbros, Orthoamphibolites (Tana, Anta, Dieg)	 Migmatites, Quartzites à magnétite
	 Gneiss, Micaschistes, Migmatites à graphite	 Phonolites
	 Granites	 Quartzites
	 Granites des Vavavato	 Schistes, Gneiss, Micaschistes
		 Trachytes

IV.4.3.3. Socle ancien d'Antsirabe [16]

Le socle ancien est essentiellement constitué par des gneiss d'origine paragneissique qui présentent tous une structure granoblastique.

Orthogneiss : sous ce terme ont été distingués dans la feuille d'Antsirabe des gneiss à structure résiduelle, c'est-à-dire ayant partiellement conservé des éléments et surtout la structure de la roche éruptive aux dépens de laquelle ils se sont formés. Ce sont toujours des roches leucocrates et parfois très leucocrates, où le seul élément coloré est la biotite rarement accompagnée d'amphibole. Ces gneiss sont surtout bien représentés dans le Sud-Est d'Antsirabe ; une partie du massif des Vavavato devrait rentrer dans cette catégorie de roches.

Gneiss : sous ce nom sont compris aussi bien des paragneiss que des orthogneiss dont la recristallisation est totale et qui ne peuvent plus alors être différenciés. Certaines de ces roches sont indubitablement des paragneiss comme les gneiss à graphite (Tongarivo et Est d'Antanifotsy). Le type le plus fréquent est un gneiss leucocrate à biotite et parfois à deux micas.

IV.4.3.4. Roches éruptives

Les roches volcaniques occupent une surface importante. On trouve les témoins des éruptions à peu près sur toute la région notamment des deux côtés de la chaîne du Mandray et aussi sur la pente de la chaîne du Vontovorona. Ces roches sont, soit des andésites, soit des basaltes.

Le granite monzonitique du massif de Vavavato est en effet très déformé et parfois gneissifié alors que celui qui forme les filons traversant les gneiss et la série des schistes et quartzites ne présentent aucune déformation. Ce dernier est d'ailleurs généralement à grains plus fins et presque hololeucocrates. Les granites monzonitiques d'Antsirabe sont des roches généralement très quartziques, à microcline et oligoclase, avec biotite et hornblende ; les éléments colorés étant

toujours en proportion très faible : le zircon, l'apatite, la magnétite, l'allanite en sont les minéraux accessoires. Les granites sont du type monozonitique, roches à biotites et un peu de hornblende. Les roches éruptives sont fortement des massifs importants comme ceux du Soamiakatra à l'Est de Manandona ou du Mahitody dans la chaîne du Mandray. On trouve quelques petits massifs de gabbros qui ont été distingués sur la région près d'Ankavodiamaro, au Nord de Sahanivotry, ainsi que des filons de microgabbros, mais les roches éruptives basiques sont rares.

IV.4.3.5. Roches métamorphiques

Les gneiss granitoïdes sont très étendus dans la chaîne du Mandray et de celle de l'Est. Les gneiss ocellés se présentent rarement dans la région, on les trouve à l'Est du Sahanivotry et dans la région d'Andohorano au Nord du Soamiakatra. Ce sont alors des gneiss clairs à grains fins et à biotite. Les phénomènes sont fréquents et on observe aussi des passages très nets aux orthogneiss à la bordure et même localement à l'intérieur des massifs.

Chapitre V: ÉTUDE MONOGRAPHIQUE DES COMMUNES CONCERNÉES ET ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES CARRIÈRES EXISTANTES AUX ALENTOURS DE LA PISTE A RÉHABILITER

Le but de ce présent chapitre sera constitué par les informations relatives à l'étude monographique de chaque commune touchée par le projet, à la situation géographique et au contexte géologique des carrières existantes aux alentours de la route.

Pour faciliter les mesures au niveau des Points Kilométriques sur la route d'Antanifotsy jusqu'à Tsarahonenana Sahanivotry, nous allons prendre comme origine le P.K.0+108 à Antanifotsy. Et de même pour la route qui relie Antsirabe-Soanindrariny, on désigne par P.K.0+170 à Antsirabe.

V.1. COMMUNE RURALE AMBATOLAHY

V.1.1. Historique

L'origine du nom « Ambatolahy » vient d'une stèle de 1,5 m de haut érigé vers la fin de l'année 1926 par les Razambe, dans le but de sceller leur amitié. Cette année-là, il n'y avait que des forêts de mimosas ainsi que l'unique maison occupée par Randriamarohafona et Rakotovao qui ornait les lieux, puisque le chef-lieu de la commune était encore à Ambatomainty, une localité située à 3 Km d'Ambatolahy.

V.1.2. Situations des deux carrières

V.1.2.1. Situation administrative

La C.R. d'Ambatolahy est délimitée au Nord par la C.R. d'Antanifotsy, à l'Est par Andranofito, au Sud par Ambohimiarivo et Ambatomena, et à l'Ouest par Antsoantany. Ces deux premières appartenant au district d'Antanifotsy sont séparées par le fleuve de l'Onive et les trois restantes sont dans le district d'Antsirabe II. Elle s'étend sur une superficie de 78,98 km². Elle est composée de 8 Fokontany dont : Ambatolahy, Maromena, Ambatomalaza, Morarano Est, Ambolavola, Amboatavo, Mahatsinjo et Ambohimanatrika. Dans cette commune, il existe deux carrières intéressantes. L'une (carrière N°1) fait partie du Fokontany Ambatolahy et l'autre (carrière N°2) se localise dans le Fokontany Ambohimanatrika.

V.1.2.2. Situation géographique

La carrière N°1 se trouve à 2,4 Km au Sud du Fokontany Ambatolahy et à 3,4 Km au Nord du Fokontany Ambohimanatrika. Elle est située géographiquement aux coordonnées Laborde: X= 488 537,379 m et Y= 705 981,767 m

La carrière N°2 se situe à 990 m à l'Est du Fokontany Ambohimanatrika et se trouve au point des coordonnées Laborde : X= 489 185,973 m et Y= 702 473,542 m

V.1.2.3. Accès aux carrières

La carrière N°1 se trouve à Andohabato, à 90 m à gauche de la Route Inter Communale (RIC) entre P.K.12+108 et P.K.13+108 qui relie Antanifotsy - Soanindrariny.

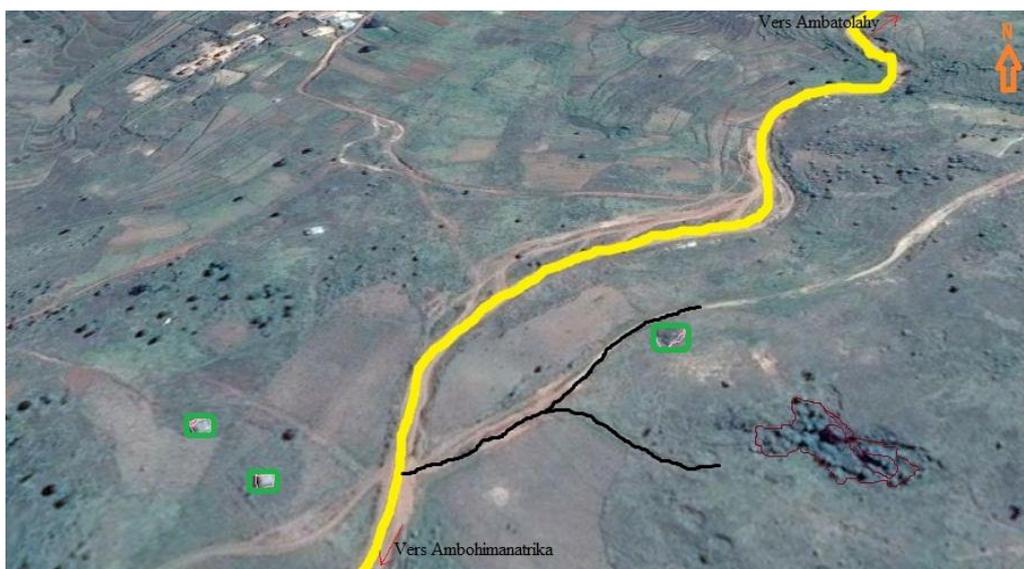


Photo 5.02 : Accès à la carrière N°1 d'Andohabato

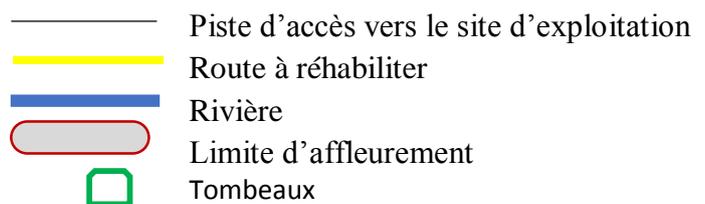
Source : Image satellite juillet 2016

La carrière N°2 se trouve à 800 m à gauche de cette même route mais entre P.K. 16+108 et P.K. 17+108 sous le nom du quartier Ambatonendahina.



Photo 5.03 : Accès à la carrière N°2 d'Ambatondendahina

Source : Image satellite juillet 2016



Ces deux sites sont accessibles par des camions à bennes puisqu'il existe une piste entre la route à réhabiliter et chaque site d'exploitation.

V.1.3. Aspect socio-économique

V.1.3.1. Données démographiques

Le nombre de population dans la C.R. d'Ambatolahy augmente toujours jusqu'à 18 530 habitants en 2014, soit une densité moyenne de 242,27 habitants/Km².

Tableau 5.04 : Répartition de la population du C.R. Ambatolahy par âge et par sexe

Sexe	0 à 5 ans	6 à 18 ans	19 à 60 ans	61 ans et plus	total	pourcentage
Masculin	1398	4562	2899	298	9175	47,85 %
Féminin	1434	5230	3013	301	9978	52,14 %
Total	2832	9792	5912	599	19135	100 %

Source : C.R. Ambatolahy 2014

V.1.3.2. Activités de la population

La majorité de la population dans cette commune sont des paysans. L'agriculture et l'élevage sont leurs principales activités. Les paysans exercent le métier artisanal en l'occurrence comme : la ferronnerie pour les activités de production, la soie, la vannerie, la fabrication de charrettes et petits outillages et le travail du bois.

- Elevage et agriculture

Dans la C.R d'Ambatolahy, comme partout ailleurs, l'élevage et l'agriculture sont juxtaposés. Et pourtant, faute de revenus, d'intrants vétérinaires et d'encadrement, l'élevage dans cette région est de type familial. Les élevages bovins, porcins et de volailles sont les plus pratiqués dans la commune. On a aussi la pêche, la pisciculture et l'apiculture. La caractéristique de l'agriculture dans cette région reste encore de type extensif à cause de l'impossibilité à appliquer les technologies améliorées.

- Commerce

Le tissu commercial de la C.R. d'Ambatolahy n'est pas assez dense. Il existe 3 marchés hebdomadaires (samedi à Ambatolahy, mercredi à Ambohimanatrika et dimanche à Mahatsinjo), lieux d'échanges et de tractations où prolifèrent les marchands informels.

- Transport

Le parc automobile de la commune est limité à 3 voitures : 2 pour le transport des personnes et 1 camion pour les marchandises. Toutes fois, ces véhicules ne sont pas les seuls à circuler sur la route d'intercommunale. La C.R. d'Ambatolahy est le seul accès pour tous ceux qui veulent se rendre à Antanifotsy et à Ambatomena. Quelques taxis brousses utilisent cet axe, tout comme les camions qui transportent les produits pendant la collecte de la grenadille de la région.

V.1.3.3. Education et Santé

❖ Education

Tableau 5.05 : Nombre d'établissement scolaire dans le C.R. d'Ambatolahy

Ecole Primaire		Ecole Secondaire	
Publique	Privée	Publique	privée
6	6	1	1

❖ Santé

CSB II : 01

Médecine traditionnelle :

- nombre de guérisseur : 1
- nombre de « renin-jaza » : 9

V.1.3.4. Infrastructures sociales

La C.R. d'Ambatolahy est desservie par une seule route d'intérêt provincial N°111 en carrossable, qui part d'Ilepona sur la RN7 jusqu'à Fandriana. Les parties qui débouchent à Antanifotsy au Nord (10 Km) et Ambatomena au Sud (16 Km) sont difficiles à traverser durant la saison des pluies en raison de l'existence de nombreux points noirs. Sur cette route, les 3 ponts en béton existants sont tous en bon état.

V.1.4. Contexte géologique

V.1.4.1. Morphologie de la roche

❖ Carrière N°1

Les roches qui affleurent en surface sont fissurées. Celles-ci sont découpées par des diaclases verticales comme un tuyau d'orgue. Deux affleurements différenciés par leur hauteur et leur extension ont été délimités. Le front de l'un s'ouvre au Sud-Ouest avec une hauteur de 4,5 m; l'autre est sensiblement horizontal avec une hauteur de 1 m. Ils s'étendent de 182 m de périmètre qui est obtenu par la mesure sur Google earth. Une partie de ces roches a déjà été exploitée pour des fins de construction (tombeaux ancestraux et ponts).

Aux alentours de ces affleurements, il n'existe plus des champs de culture, mais on trouve des savanes, de pin et des mimosas ainsi qu'un tombeau à 90 m au Nord-Est. La rivière la plus proche se trouve à 1 Km au Sud du site.



Photo 5.04 : Situation de la carrière N°1

❖ Carrière N°2

Superficiellement, des savanes recouvrent certains affleurements de la roche. A l'Ouest, il y a une petite forêt de pin, et à 15 m au Sud-Est de celle-ci se trouvent des rizières et un canal d'irrigation. Son affleurement est un peu horizontal d'1 m de hauteur et se dirige vers le Nord. Une roche gris blanc s'affleure environ 297 m de périmètre. Le besoin de la population locale a conduit à une exploitation artisanale d'une partie de cette roche. Le site est implanté dans une zone vierge (aucune construction ni des champs de cultures). Ce qui rend facile son exploitation.



Photo 5.05 : Situation de la carrière N°2

V.1.4.2. Structure géologique

La structure d'une roche désigne l'aspect ou la forme que prend la roche telle qu'on peut observer à l'œil nu sur un affleurement rocheux.

❖ Carrière N°1 : Basalte

C'est une roche volcanique constituée de petit cristaux car le refroidissement du magma est rapide (remontée rapide en surface). Le massif présente des intrusions basaltiques. Le basalte a une texture microlithique de couleur sombre, d'aspect compact et dur, et difficile à casser. Les principaux minéraux rencontrés dans le basalte sont : les plagioclases, les pyroxènes, les amphiboles et les microlites.



Photo 5.06 : Basalte

❖ Carrière N°2 : Granite migmatitique

Le granite migmatitique est une roche leucocrate pauvre en biotite et hornblende, très peu foliée, constituée de quartz, microcline et oligoclase. L'orthite entourée d'une auréole rouge est fréquente. Des veines pegmatitiques à hornblende et un filon gabbroïque post-tectonique recoupent le granite. Les migmatites granitoïdes, caractérisées par une foliation irrégulière sont associées au granite auxquels ils passent en continuité. Les pegmatites montrent souvent de gros feldspaths oligoclases très finement maclés.



Photo 5.07 : Granite migmatitique

V.2. COMMUNE RURALE AMBATOMENA

V.2.1. Situations des deux carrières

V.2.1.1. Situation administrative

La C.R. d'Ambatomena se situe géographiquement aux coordonnées Laborde : X= 484 195 m et Y= 694 871m. Elle se trouve dans la région de Vakinankaratra, district d'Antsirabe II. Elle s'étend

sur une superficie de 120 Km². On peut y accéder en prenant la bifurcation d'Ilempona sur l'axe Antanifotsy Ambohimanatrika avec une distance de 30 Km. Cette commune est délimitée au Nord par la C.R. d'Ambatolahy, au Sud par Soanindrariny, à l'Est par Andranofito et à l'Ouest par Ambohinarivo. Elle s'étend sur une superficie de 167 Km² composée de 12 Fokontany. Dans la C.R. d'Ambatomena et aux alentours de la route qui relie Ambatomena – Soanindrariny, on trouve deux carrières distantes de 4 Km. L'une (carrière N°3) fait partie du Fokontany Anosy, et l'autre (carrière N°4) se trouve dans le Fokontany Fenoarivo.

V.2.1.2. Situation géographique

L'emplacement de la carrière N°3 se trouve à 2,8 Km au Nord de la C.R. d'Ambatomena. Son site d'exploitation est situé géographiquement aux coordonnées Laborde : X= 486 164 m et Y= 697 480 m.

La carrière N°4 se situe à 1,2 Km au Sud de cette commune en question, elle est localisée aux coordonnées Laborde : X= 483 087,51 m et Y= 695 627,72 m

V.2.1.2. Accès aux carrières

La carrière N°3 se trouve dans le quartier d'Ambatomitsangana, mais à 300 m à gauche de la route qui relie Ambatomena – Soanindrariny entre P.K.23+108 et P.K.24+108. Les constructions aux proximités ne poseront aucun problème à la mise en exploitation de cette carrière.



Photo 5.08 : Accès à la carrière N°3 d'Ambatomitsangana

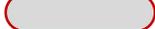
Source : Image satellite juillet 2016

La carrière N°4 se place à Ambatosoa, mais à 90 m à droite de la route à réhabiliter, mais entre P.K.27+108 et P.K.28+108.



Photo 5.09 : Accès à la carrière N°4 d'Ambatosoa

Source : Image satellite juillet 2016

-  Piste d'accès vers le site d'exploitation
-  Route à réhabiliter
-  Rivière vers le Nord
-  Limite d'affleurement
-  Maisons

V.2.2. Aspect socio-économique

V.2.2.1. Population

La population est majoritairement autochtone de la région. Sa densité est variable avec une forte concentration aux alentours du chef-lieu de la commune. Le recensement en 2013 révèle une densité de 143,47 habitants au Km².

Tableau 5.06 : Répartition du nombre de population par Fokontany, sexe et âge

FOKONTANY	0 à 5 ans		6 à 17 ans		18 à 60 ans		60 ans et +		Total	
	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F
Mahazoarivo	320	450	720	760	430	450	180	90	1650	1850
Ambatomena	131	143	379	384	266	298	27	21	803	843
Ambolavola	238	240	374	401	356	378	40	43	1008	1062
Anosy	202	184	364	388	379	354	33	47	978	973
Antsahanarivo	145	135	229	205	280	258	24	28	678	666
Ampanataovana	252	287	383	414	488	526	46	37	1164	1269
Fenoarivo I	204	213	845	1107	407	431	102	117	1558	1868

Manarintsoa Est	284	162	239	203	402	374	97	110	1012	849
Betampona	89	101	655	636	199	155	8	7	961	889
Tsarahonenana	185	179	297	346	329	305	39	28	850	854
Ambodivato	94	100	262	280	145	155	35	30	535	565
Ambatomainty	125	120	190	200	205	220	5	7	525	547
Sous Total									11722	12238
TOTAL									23960	

G : Garçons, F : Filles

Source : Monographie C.R. Ambatomena année 2013

V.2.2.2. Activités économiques

Les activités agricoles dominent largement à la préoccupation des paysans, mais cela n'exclue pas les autres activités non agricoles telles la pratique de commerce, et les différentes activités sociales. L'agriculture s'oriente surtout vers la culture de riz pluvial et irrigué, viennent ensuite la culture de pomme de terre pratiqué en contre saison, ainsi que les autres cultures de rente pratiquée durant la saison des pluies telles la culture de maïs et de haricot.

La condition pédoclimatique de la région offre une grande potentialité de production végétale.

V.2.2.3. Infrastructures sanitaires et sociales

Dans la commune en question, on y trouve :

CSB II (1) Ambatomena; CSB I (1) Ampanataovana

Ecoles primaires publiques : 14

Ecoles privées :

CEG : 01

Collège : 02

V.2.3. Contexte géologique

V.2.3.1. Morphologie de la roche

❖ Carrière N°3

A 60 m au Sud de cette carrière, il existe une petite rivière qui assure l'humidité des rizières et des champs de pin. Un champ de culture du manioc et des maïs avec une épaisseur d'environ 1 m existe sur la partie Nord-Est de son affleurement. Ce dernier est presque horizontal avec 2,5 m de hauteur. En général, son affleurement est entouré par des savanes, de pins et des mimosas. On

voit que la partie supérieure de la roche a été déjà exploitée en faible volume. L'affleurement a un périmètre de 705 m.



Photo 5.10 : Situation de la carrière N°3

❖ Carrière N°4

En général, l'affleurement présente des fractures orientées vers le Nord avec une variation de 0,5 à 4,5 m de hauteur de l'Est vers l'Ouest. Des champs de cultures vivrières abondent sur la partie Est. D'une manière générale, sa couverture est composée de savane et de sol latéritique obtenue par l'altération sur place des roches originelles et par action de ruissellement. Une rivière se trouve à 15 m au Nord. Le périmètre de l'affleurement est de 640 m.



Photo 5.11 : Situation de la carrière N°4

V.2.3.2. Structure géologique

❖ Carrière N°3 : Granite à magnétite

Le granite à magnétite toujours à gros grains, souvent chargés d'hématite ou de magnétite, forme des bancs irréguliers mais parfois puissants, interstratifiés dans les micaschistes. Ils sont parfois feldspathiques renferment quelques inclusions de minéraux métalliques noirs (magnétite).



Photo 5.12 : Granite à magnétite

❖ Carrière N°4 : Gneiss à biotite

C'est une roche métamorphique issue de la transformation métamorphique dans la structure du granite (roche préexistante). On trouve une orientation des minéraux et apparition d'un nouveau minéral (grenat) en rouge. Il présente des diaclases qui sont des fractures de la roche, issues d'une rupture par compression, traction ou cisaillement liée aux mouvements tectoniques. Les deux parties de la roche qui se sont constituées n'ont cependant pas bougé.



Photo 5.13 : Gneiss à biotite

V.3. COMMUNE RURALE SOANINDRARINY

V.3.1. Situation des carrières

V.3.1.1. Situation administrative

Localisé à proximité d'Antsirabe, capitale de la région Vakinankaratra à laquelle elle appartient, la C.R. de Soanindrariny est rattachée au district d'Antsirabe II et jouit du statut de C.R. de 2^{ème} catégorie. Administrativement, elle est entourée par 05 communes :

- au Nord par la C.R. d'Ambatomena ;
- au Nord-Nord-Est par la C.R. d'Andranofito (district d'Antanifotsy) ;
- au Sud-Est par la C.R. d'Antanambao ;
- au Sud par la C.R. de Tsarahonenana- Sahanivotry ;
- à l'Ouest, par la C.R. d'Ambohidranandriana

La superficie de son territoire est de 250 Km². Elle est constituée par 14 Fokontany qui sont : Soanindrariny, Manarintsoa-Sud, Antanimasaka, Tsaramody, Fianarana, Soanafindra, Est-Tendro, Antambiazina, Bemasoandro, Ambodiala, Fierenantsoa, Antanikatsaka, Ambatolampy. Le site d'exploitation des deux carrières existantes dans cette commune fait partie dans le Fokontany Manarintsoa et Ambatolampy.

V.3.1.2. Situation géographique

La carrière N°5 se trouve à 4,4 Km au Nord de la commune en question. Elle est située géographiquement aux coordonnées Laborde X= 483 377,494 m et Y= 692 344,533 m dans le Fokontany Manarintsoa.

La carrière N°7 se trouve dans le Fokontany Ambatolampy qui est à l'Ouest de la C.R. Soanindrariny. Elle est située à 2 191 m à l'Ouest de la C.R. Soanindrariny, aux coordonnées Laborde X= 481 547,354 m et Y= 689 678,230 m.

V.3.1.2. Accès aux carrières

La carrière N°5 s'implante dans le quartier de Madera. Elle se situe à 15 m, à gauche de la route à réhabiliter, mais entre P.K.30+108 et P.K.31+108



Photo 5.14 : Accès à la carrière N°5 de Madera

Source : Image satellite juillet 2016

La carrière N°7 s'implante dans le quartier d'Ambatolampykely. Elle se trouve à 375 m à gauche de la route à réhabiliter, mais entre P.K. 25+170 et P.K.26+170



Photo 5.15 : Accès à la carrière N°7 d'Ambatolampy

Source : Image satellite Août 2016

	Piste d'accès vers le site d'exploitation
	Route à réhabiliter
	Rivière vers le Nord
	Limite d'affleurement
	Maisons

V.3.2. Aspect socio-économique

V.3.2.1. Aspect démographique et sociaux

En 2015, les responsables communaux ont dénombré 31 268 habitants dans la commune. La densité moyenne est de 166 habitants au km².

Tableau 5.07 : Détail de la répartition géographique des populations dans la C.R. Soanindrariny

Fokontany	Population 2006	Population 2015	Taux de croissance annuel (en %)
Bemasoandro	3523	3724	5,7
Est-Tendro	2664	2897	8,7
Soanindrariny	2179	2789	27,9
Antanikatsaka	2113	4700	122,4
Manarintsoa Sud	1986	2173	9,4
Antambiazina	1961	2115	7,8
Ambatolampy	1710	2189	28,0
Fianarana	1683	1900	12,8
Fianarantsoa	1378	1800	30,06
Sanafindra	1265	1619	27,9
Antanimasaka	1259	2850	126,3
Ambodiala	1197	1329	11,0
Tsaramody	886	1183	33,5
TOTAL	23 804	31 268	

Source : PCD 2015 C.R. Soanindrariny

L'équipe technique a évalué le nombre d'enfant scolarisables en 2015 à 11 382 enfants soit les 36,40 % de l'ensemble de la population. La population active est estimée pour la même année à 13 351 soit les 42,74 %. Ces chiffres ont été corroborés avec les statistiques disponibles au niveau communal. La répartition par sexe est de 53,53 % pour les femmes et 46,47 % pour les hommes.

V.3.2.2. Education

L'alphabétisation a fait, depuis un certain temps, l'objet d'effort particulier. Le taux d'alphabétisation est de 65 %, dont 35 % pour les hommes et 30% pour les femmes.

La C.R. de Soanindrariny dispose de 28 établissements scolaires tous types et niveaux confondus. Pour le niveau primaire, la commune dispose de 12 établissements dont 7 EPP et 5 privés. Pour le niveau secondaire, 9 établissements subsistent au sein de la commune dont 6 publics et 3 privés. 5 lycées sont présents au sein de la commune dont 2 publiques et 3 privées. 2 Fokontany, Soanindrariny et Bemasoandro disposent de lycées publics et 3 Fokontany de lycée privée.

V.3.2.3. Accès à la santé publique

Selon les informations recueillies auprès des responsables de la santé, les maladies respiratoires et pulmonaires (toux, grippe, pneumonie, etc.) sont les plus fréquentes, liées d'une part à la rugosité du froid de la saison sèche et d'autres part à la malnutrition.

Le CSB II de Soanindrariny et le dispensaire de l'ECAR, en attribuant la distance de plus de 10 Km desservent seulement les Fokontany de Soanindrariny. Au-delà de cette distance, leur accès est difficile pour les Fokontany d'Est-Tendro et d'Antanimasaka et d'Antambiazina, peuplés et qui connaissent un taux de croissance démographique de 126,3 % par an.

Le CSB I de Bemasoandro, où leur piste d'accès est difficile, ne peut desservir que son Fokontany et une partie du Fokontany d'Ambodiala et de Tsaramody. Le Fokontany de Fianarana, excentré à l'extrême Nord-Est connaît des problèmes quant à l'accès aux soins de santé.

V.3.2.4. Activité agricoles

Structurellement, l'économie de la commune est marquée par la prédominance du secteur rural c'est-à-dire les activités agricoles. Ces dernières occupent plus de 85 % de la population active.

Les fruits, la pomme de terre et le bois constituent la renommée de la commune et assurent ses principales exportations vers Antanifotsy et le marché hebdomadaire de Sahanivotry.

- riziculture : Selon le PCD de la commune, en 2005, la production rizicole représente 34,44 % de l'ensemble de la production vivrière et se trouve en tête de tous les autres produits.

- cultures sèches : En termes de superficie cultivée, selon le PCD, le maïs occupe la deuxième position (864 Ha) après le riz. La pomme de terre occupe une superficie de 845 ha. Le pommier constitue la renommée de la commune. Son essor est lié à la proximité de la ville d'Antsirabe. La majorité des ventes concerne également celles destinées à Antananarivo. Les exploitations sont de petites tailles. Les Fokontany gros producteurs sont Soanindrariny, Manarintsoa et de Fierenana.

- pin et eucalyptus : La superficie de la forêt régresse face à l'inexistence de stratégies locales réelles. Le rythme du déboisement atteint autour de 12 Ha par an. Selon le PCD, seule une pépinière produisant de jeunes plants d'eucalyptus et de géranium fonctionne à Manarintsoa-Sud.

Pour l'élevage, on a trois activités prédominantes : celles relatives à l'élevage bovin et celles inhérentes à l'élevage des volailles et celles concernant l'élevage porcin.

V.3.2.5. Infrastructures sociales

Le réseau routier de la commune fait 63 km de long dont 41 km de Route d'Intérêt Provincial (RIP) et 22 km de Route d'Intérêt Communal (RIC).

Tableau 5.08 : Voies de communication de la C.R. Soanindrariny

Axes routières	Catégorie	Longueur (Km)	Etat
Soanindrariny-Antsirabe	RIP	29	Moyen
Soanindrariny-Ambatomena	RIP	6	Moyen
Soanindrariny-Tsarahonenana	RIC	6	Mauvais
Soanindrariny-Bemasoandro	RIC	15	Mauvais
Soanindrariny-Est Tendro	RIC	7	Mauvais

Les axes sont en terre dans la plus part des cas et qui sont dans un état dégradé. Cette situation entraîne l'enclavement saisonnier des Fokontany d'Antambiazina, d'Ambodiala, de Bemasoandro, d'Antanimasaka, de Tsaramody et d'Antsapanimahazo-Fianarana.

V.3.3. Contexte géologique

V.3.3.1. Morphologie de la roche

❖ Carrière N°5

La hauteur de l'affleurement varie de 1 à 5 m avec une pente de 20° vers l'Est. Dans sa partie Sud, à 20 m de la roche, on trouve des quelques rizières. La partie Est de l'affleurement est revêtue par des savanes, de pin et des mimosas. La roche s'affleure avec des fissures orientée vers le Nord. A l'Ouest de la roche, des rizières existent, et à 150 m, on a une rivière. La carrière a un périmètre de 320 m (mesuré à partir du google earth).



Photo 5.16 : Situation de la carrière N°5

❖ Carrière N°7

A l'Ouest de la carrière, on a des rizières, des rivières justes à 5 m de son affleurement. Des forêts des pins, savanes et des mimosas s'étendent dans sa partie Est. Son périmètre est de 350 m.



Photo 5.17 : Situation de la carrière N°7

V.3.3.2. Structure géologique

❖ Carrière N°5 : Granite monzonitique folié

La roche est essentiellement constituée de quartz, de microcline et en moindre quantité de plagioclase. C'est une roche leucocrate pauvre en biotite et hornblende, mais il y a de quelques grains d'orthite à éclat gras, entourés d'une auréole rouge d'altération.



Photo 5.18 : Granite monzonitique

❖ Carrière N°7 : Granite peu altéré

La roche présente d'une altération kaolinique. La première éruption trachytiques et phonolitiques est dû à la première phase du système volcanique de l'Ankaratra. Ces roches sont facilement accessibles à l'Est d'Antsirabe, le long de la route de Soanindrariny. A 24 km d'Antsirabe se dresse le beau piton trachyphonolitique du Vontovorona avec des affleurements déroctés au bord de la route. Entre Vontovorona et Soanindrariny la route contourne un petit dôme trachytique. C'est surtout à l'Est de Soanindrariny que les trachytes prennent de l'extension avec plusieurs petits pitons phonolitiques émergeant des coulées basaltiques.

V.4. COMMUNE RURALE TSARAHONENANA SAHANIVOTRY

V.4.1. Situation de la carrière

V.4.1.1. Situation administrative

On rappelle d'abord un petit historique. La C.R. Tsarahonenana Sahanivotry est devenue Firaisampokontany depuis 1972 dans l'ex-canton de Soanindrariny. Tsarahonenana signifie littéralement « bon-lieu » ; c'est à dire là où il fait bon-vivre. La C.R. de Tsarahonenana Sahanivotry se situe à 42 Km dans son district d'Antsirabe II, région Vakinankaratra et province autonome d'Antananarivo. Ce territoire couvre une superficie de 332 Km² avec une altitude de 1850 m et est constitué par 11 Fokontany qui sont : Ambohitsoa, Soafianatra, Maromandraisoa, Miarintsoa, Morarano, Tsarafierana, Belanitra, Tsarondrafitra, Sahanivotry, Soavinarivo. Elle est délimitée au Nord par la C.R. Soanindrariny, à l'Est par Antanambao, à l'Ouest par Ambohidranandriana et Ambohitsimanova et au Sud par Manandona et Tsarazaza. La carrière où se situe le gisement fait partie du Fokontany Soavinarivo.

V.4.1.2. Situation géographique

La carrière est implantée sur la partie Sud-Ouest du Fokontany Soavinarivo et au Sud de l'église catholique de Tsarahonenana. La carrière est situé géographiquement aux coordonnées

Laborde : X= 490 668,641 m et Y= 680 901,697 m. Une plaine alluvionnaire et des rizières s'étendent sur la partie Sud-Est de la carrière.

V.4.1.3. Accès à la carrière

L'accès à la carrière N°6 se fait en prenant la route qui relie Soanindrarinny à Tsarahonenana Sahanivotry, la carrière se trouve environ à 200 m à droite de cette route en terre battue entre P.K.52+108 et P.K.53+108. Le site est accessible par des camions à bennes avec une trace laissée par des charrettes.

On voit qu'il n'existe plus des tombeaux, des fils électriques, habitats ou des choses qui empêchent le projet d'exploitation aux alentours du site.



Photo 5.19 : Accès à la carrière N°6 de Soanindrarinny

Source : Image satellite juillet 2016

- Piste d'accès vers le site d'exploitation
- Route à réhabiliter
- Rivière vers Sud-Ouest
- Limite d'affleurement

V.4.2. Aspect socio-économique

V.4.2.1. Constat démographique

La population dans la C.R. Tsarahonenana Sahanivotry s'élève actuellement à 23 782 habitants, soit une densité moyenne de 71,63 habitants au Km². Le taux de natalité est de 3,15 % tandis que le taux de mortalité est de 0,51 %. Ainsi, on constate que la population augmente rapidement. On remarque que 80 % des gens habitent très loin du chef-lieu de la commune (3 à 16 Km).

V.4.2.2. Donnée économique

➤ Agricoles

Tableau 5.9 : Données agricoles de la C.R. Tsarahonenana Sahanivotry

Type	superficie cultivable (en ha)	superficie cultivée (en ha)	rendements annuels (en tonne)	ménages exploitants
POMMES ET PECHES	7500	3500	24500	920
SAPIN	9000	6200	223200	630

Source : Plan Communal de Développement du Tsarahonenana Sahanivotry 2015

➤ Elevages

Tableau 5.10 : Données élevages de la C.R. Tsarahonenana Sahanivotry

Type	rendements annuels	producteurs	observations
LAITS	540000	1570	en litre
PORCINS	384	1050	en tonne
BOVINS	589	1141	en tonne

Source : Plan Communal de Développement du Tsarahonenana Sahanivotry 2015

V.4.2.3. Education

Tableau 5.11 : Etablissements scolaires de la C.R. Tsarahonenana Sahanivotry

	TYPES	Nombres des écoles	Nombres des élèves			Nombres des enseignants
			garçon	fille	total	
PUBLIQUES	Ecoles primaires	12	2053	997	3050	44
	Ecoles secondaires	2	924	878	1802	18
PRIVEES	Ecoles primaires	17	861	886	1747	25
	Ecoles secondaires	2	258	112	370	12

Source : Plan Communal de Développement du Tsarahonenana Sahanivotry 2015

Ainsi, le taux de scolarisation est de: 2,1 % pour le niveau 1

5,29 % pour le niveau 2

V.4.2.4. Santé publique

On a deux CSB : CSB I et CSB II. Le taux de vaccination infantile (complète) est 98 %, taux de mortalité infantile est 2 %.

Comme dans d'autres régions, on trouve également des maladies fréquentes tels que : infection respiratoire aiguë (IRA), diarrhées, gastrites, caries dentaires, parasites, carence en calcium, mal nutrition.

V.4.2.5. Infrastructures sociales

Tableau 5.12 : Infrastructures sociales

Type	Nombre	Etat	Longueur	Superficie irriguée (Ha)	Nombre des ménages bénéficiaires
barrages bétonnés	13	moyen	-	603	753
barrages archaïques	9	moyen	-	146	183
canaux d'irrigation	24	moyen	77 Km	749	936
routes communales	9	très mauvaises	52 Km		23782
ponts bétonnés	7	utilisables			11 Fokontany
ponts archaïque	17	utilisables			11 Fokontany

Source : Plan Communal de Développement du Tsarahonenana Sahanivotry 2015

V.4.4. Contexte géologique

V.4.4.1. Morphologie de la carrière N°6

Le gisement se présente sous forme d'un massif rocheux dont la direction est sensiblement Nord-Est. L'affleurement de la roche de couleur gris noirâtre et rose blanchâtre est varié de 0,5 m jusqu'à 3,5 m de hauteur suivant sa direction avec un pendage sensiblement faible. Le front est ouvert au Sud. D'une manière générale, on y trouve des steppes et des pins autour de son affleurement. Il existe des rizières et de petite rivière à 50 m au Sud-Est du site. L'affleurement s'étend à un périmètre de 273 m.

On remarque que cette roche est déjà exploitée artisanalement en vue de la construction des tombeaux et des ponts.



Photo 5.20 : Situation de la carrière N°6 de Soavinarivo

V.4.4.2. Structure géologique du gisement

❖ Carrière N°6 : Granite rose

C'est une roche plutonique cristallisée en profondeur au sein de la lithosphère, elle est formée de gros cristaux translucides (quartz) et rosés (feldspath). C'est du magma qui s'est refroidi très lentement en profondeur et qui constitue l'essentiel de la croûte terrestre. Le massif est constitué généralement de roche hololeucocrate, de texture grenue.



Photo 5.21 : Granite rose

Conclusion partielle

Dans cette partie, nous avons vu la situation géographique du projet ainsi que la monographie des communes concernées dans le district d'Antanifotsy et d'Antsirabe II. L'approche géologique de la région et l'étude préliminaire des carrières aux alentours de la piste à réhabiliter y ont été faites. Ceci nous amène à la troisième partie pour l'évaluation de la réserve, l'étude des caractéristiques du gisement, la technique d'exploitation et l'étude environnementale.

TROISIÈME PARTIE
CADRE D'EXPLOITATION ET ÉTUDE
ENVIRONNEMENTALE

Chapitre VI : ÉVALUATION DE LA RÉSERVE ET DÉVELOPPEMENT DES CARACTÉRISTIQUES DU GISEMENT

VI.1. Estimation volumétrique de roches massives pour chaque carrière [18]

On appelle réserve d'un gisement la masse, le tonnage, la teneur en minerai, la dimension, les limites et les autres caractéristiques pertinentes connues. Le niveau de connaissance est explicite et il doit être approprié pour établir la rentabilité de l'exploitation. Cette étude requiert des connaissances quantitatives suffisantes pour justifier les investissements nécessaires à l'exploitation d'une part, et pour assurer la faisabilité du projet de pavage en pierres naturelles d'autre part.

VI.1.1. Présentation du Logiciel Covadis

Le logiciel Covadis est un logiciel accompagné et adapté à la version du logiciel Autocad. Ces deux logiciels sont fournis par la société Géo Média. On utilise le logiciel Covadis pour le traitement des données topographiques ou données GPS. Il peut faire sortir des présentations en plan et en profil des levés GPS. Figurant parmi les logiciels utilisés en DAO et CAO, Covadis est un logiciel multifonction et performant pour la géocodification de levés, la modélisation en 3D, la carte topographique, le calcul volumétrique et la création de plateforme.

Voici quelques exemples indiquant ce qu'on peut faire avec le logiciel Covadis :

VI.1.1.1. Modélisation du terrain en 3D

Il trace le modèle du terrain en forme 3D à partir du modèle numérique du terrain (MNT) qui est appelé aussi triangulation. MNT est une représentation approchée du terrain qui permet de créer un maillage surfacique triangulaire à partir d'éléments ponctuels 3D, des lignes de rupture comme le bas talus ou le haut talus par exemple. Il sert de base aux calculs de courbes de niveau, de cubature et de projet. Il est constitué de face 3D triangulaire. Covadis dessine le MNT et calcule automatiquement les cubatures dans le menu Cov3D par la méthode de DELAUNAY. Il essaie de créer des triangles les plus équilatéraux possibles pour estimer les valeurs des points connus.

VI.1.1.2. Traçage des courbes de niveaux

Covadis dessine les courbes de niveaux qui permettent souvent de mieux appréhender le relief du terrain et aussi de détecter l'erreur de la MNT. On trouve toutes les commandes de courbe de niveaux dans le sous menu « courbe de niveau ». Pour mettre la cotation des courbes, on clique sur la commande cotation des courbes.

VI.1.1.3. Calcul des cubatures

Le calcul des cubatures peut être réalisé dans le menu Cov3D selon deux méthodes :

➤ par prisme

C'est-à-dire par décomposition et cumulation de volume simple. Si vous calculez le volume d'un gisement ou le volume d'une nappe aquifère, vous pouvez utiliser cette méthode.

L'inconvénient c'est qu'elle produit un résultat volumique sans possibilité de visualisation. Avec cette méthode, il est possible de faire le calcul entre : MNT et plan horizontal, MNT et plan incliné et 2 MNT.

➤ par profil

Cette méthode est principalement utilisée pour contrôler le calcul de cubature déjà fait par prisme et aussi pour calculer les volumes de déblai et remblai. Il y a deux possibilités pour faire le calcul, soit par profil entre deux MNT, soit par profil entre polyligne 3D. Ce dernier est un peu plus long, mais il présente l'avantage de pouvoir placer l'endroit exact de chaque profil.

VI.1.2. Présentation du logiciel Surfer

Le logiciel surfer, conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des modèles numériques de terrain (MNT) issus des données que nous aurons récoltés sur terrain via GPS. Le principe consiste à créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos point X, Y et Z afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes (base map, contour map, 3D surface, ...) et aussi les superposer. Le surfer utilise le programme basé sur la méthode d'intégration numérique. Il s'ouvre sous les fichiers d'extension: .dat, .xls, .txt etc. Il a trois modes opératoires: grid, map et le «plot».

- le menu *grid* fait les calculs statistiques concernant la répartition des données à traiter sur les nœuds de grille et enregistre les résultats obtenus sous fichier d'extension «.grd»
- le menu *map* permet de tracer soit une carte de contour ou une carte d'image ou face 3D. Ces cartes sont enregistrées sous le fichier d'extension «.srf»

- le menu *plot* permet de visualiser les résultats selon le choix ou l'objectif de l'interpréteur.

Le traitement des données prises pendant les descentes sur terrain par le logiciel SURFER 11 a permis d'avoir un modèle 3D surface et un contour map (courbe de niveau) du gisement de roches massives.

VI.1.3. Méthode d'évaluation de la réserve

Plusieurs tâches doivent être effectuées pour aboutir à l'évaluation de la réserve et aussi pour avoir du résultat le plus proche de la réalité. La mission sur terrain a été précédée par une compilation bibliographique des ouvrages antérieurs pour le guide de notre travail. Une compilation de carte topographique d'Antsirabe et d'Antanifotsy (feuille N0.49 au 100.000^{ème}) est aussi nécessaire afin d'élaborer un modèle topographique préliminaire, celle-ci fera l'objet d'une vérification des données recueillies sur terrain.

- Carte topographique feuille N0.49 à l'échelle de 1/100 000

Légende :



Carrière N°1 d'Andohabato



Carrière N°2 d'Ambatonendahina



Carrière N°3 d'Ambatomitsangana



Carrière N°4 d'Ambatosoa



Carrière N°5 de Madera



Carrière N°6 de Soavinarivo



Carrière N°7 d'Ambatolampy



Carte 6.04 : Carte topographique du district d'Antsirabe II et d'Antanifotsy

Source : FTM feuille NO.49

Après l'acquisition des données sur terrain par des levés GPS, la suite du travail sera faite sur ordinateur. En fait, on prendra les coordonnées x, y et z en se référant par rapport à un point connu qui est le point géodésique, pour se faire, on fait le calage en utilisant ce point. Les données sont ainsi traitées et analysées par le logiciel COVADIS-2007 associé avec le logiciel AutoCAD 2007. Du fait que la base de données produite par Covadis est au format AutoCAD (fichier DWG et DXF), il nécessite le logiciel AutoCAD adapté à chaque version.

Le calcul du volume de remblai sera fait entre deux MNT. L'un est le MNT du gisement et l'autre est le MNT du socle de même altitude prise comme référence de calcul.

Afin de réussir le calcul de cubatures, il faut suivre les procédures suivantes :

- Transformer les données recueillies sur le carnet du terrain en Géobase (fichier texte contenant des différents levés et de codification dans une extension propre à Covadis) ;
- Faire le chargement de semis en important le fichier géobase (transformation des points en 3D) ;
- Dessiner les courbes de niveaux et le MNT dans le menu Cov3D ;
- Dessiner un autre MNT de même altitude (plan horizontal) mais de coordonnées différentes. Pour ce faire, prenons une altitude minimum qui est une altitude constante parmi les altitudes figurant, sur l'affleurement du gisement et aussi aux alentours de ces affleurements ;
- Faire le calcul de cubatures par prismes entre deux MNT.

Remarque :

Le choix d'une altitude minimale a été réalisé dans le but de faciliter l'extraction et le transport des matériaux, d'optimiser les contraintes technico-économique de l'exploitation et aussi d'éviter tous les risques liés à la méthode d'exploitation. Donc, on tient compte des gisements ayant une altitude supérieure à celle du niveau statique de l'eau, on ne devra pas exploiter en dessous de ce niveau. En fin du calcul, le logiciel Covadis affiche automatiquement les résultats du calcul de cubatures qui sont : Surface 2D et surface 3D, Volume à partir de l'altitude prise comme soubassement.

VI.1.4. Présentation des résultats obtenus pour chaque carrière

VI.1.4.1. Carrière N°1 d'Andohabato

➤ 3D surface et MNT du gisement

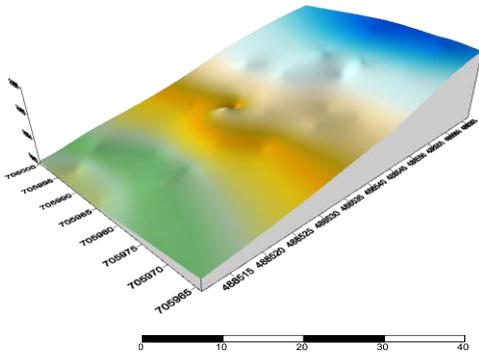


Figure 6.04 : Surface en 3D

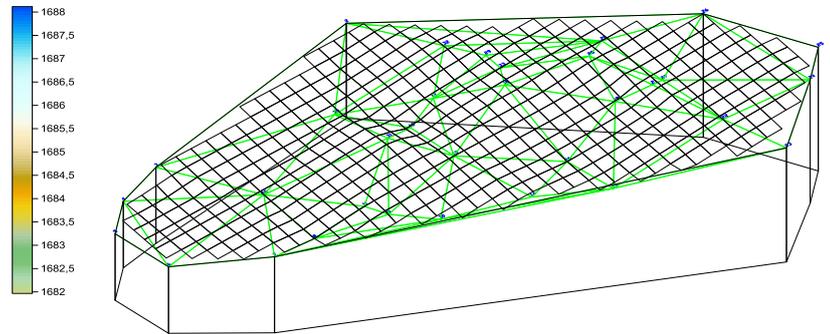


Figure 6.03 : MNT du gisement de la carrière N°1

➤ Résultat du calcul de cubatures

En appliquant cette méthode, on arrivera ainsi à trouver une quantité équivalent à 6 219,933 m³ comme réserve probable. Après la reconnaissance sur terrain, les matériaux sains sont estimés à 80% du gisement. De ce fait, la réserve prouvée du gisement est de l'ordre de **4 975,946 m³**.

- Altitude minimum prise comme soubassement = 1679 m ;
- Surface 2D = 1 024,25 m²
- Surface 3D = 1 042,41 m²

VI.1.4.2. Carrière N°2 d'Ambatonendahina

➤ 3D surface et MNT du gisement

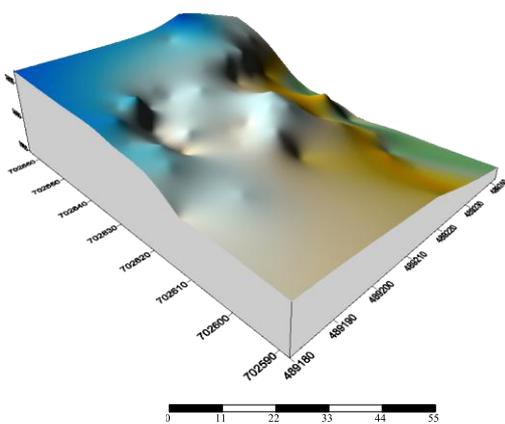


Figure 6.05 : Surface en 3D

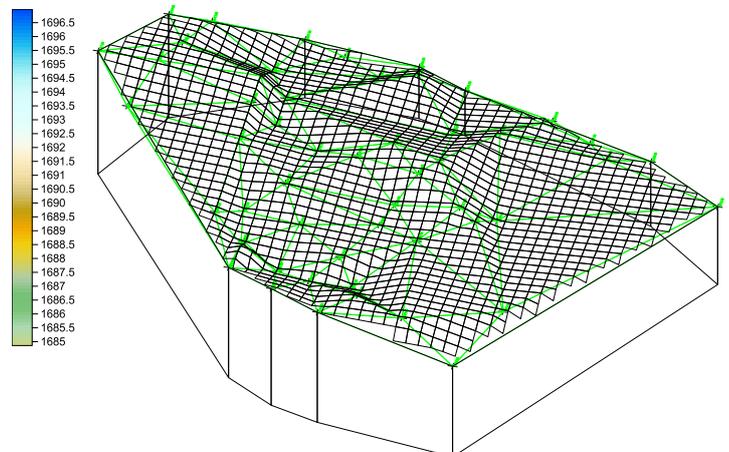


Figure 6.06 : MNT du gisement de la carrière N°2

- Résultat du calcul de cubatures
- Réserve probable = 27 904,231 m³
- Matériaux sains = 85 % du gisement

Donc, la réserve prouvée du gisement est de l'ordre de **23 718,596 m³**

- Altitude minimum prise comme soubassement = 1682 m
- Surface 2D = 2 854,63 m²
- Surface 3D = 3 051,86 m²

VI.1.4.3. Carrière N°3 d'Ambatomitsangana

- 3D surface et MNT du gisement

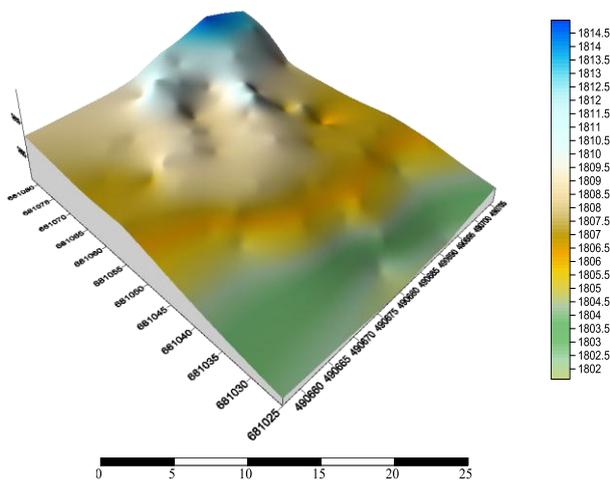


Figure 6.07 : Surface en 3D

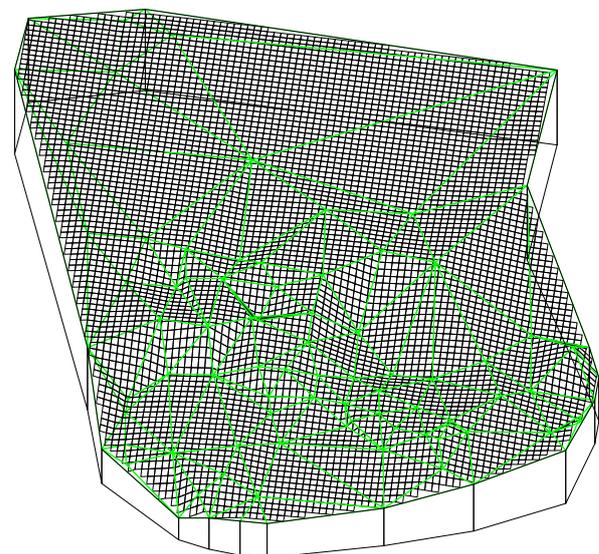


Figure 5.08 : MNT du gisement de la carrière N°3

- Résultat du calcul de cubatures
- Réserve probable = 257 800,021 m³
- Matériaux sains = 85 % du gisement

Donc, la réserve prouvée du gisement est de l'ordre de **219 130,017 m³**

- Altitude minimum prise comme soubassement = 1682 m
- Surface 2D = 14 126,79 m²
- Surface 3D = 14 703,76 m²

VI.1.4.4. Carrière N°4 d'Ambatosoa

➤ 3D surface et MNT du gisement

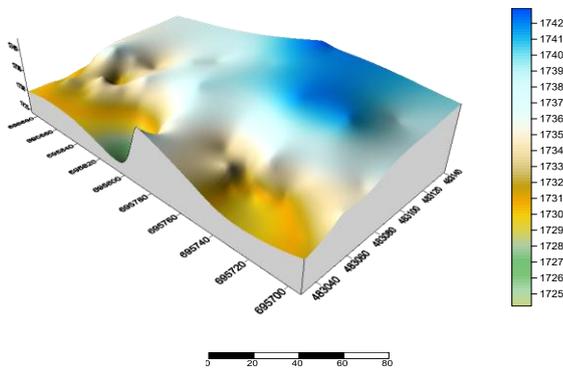


Figure 6.09 : Surface en 3D

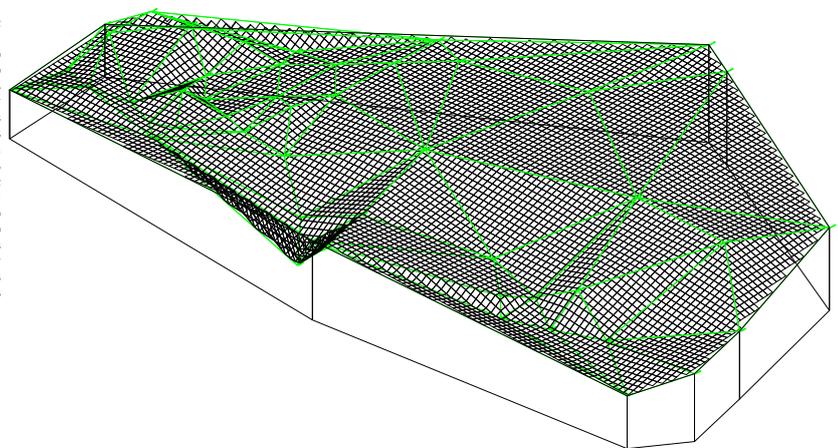


Figure 6.10 : MNT du gisement de la carrière N°4

➤ Résultat du calcul de cubatures

- Réserve probable = 173 462,664 m³
- Matériaux sains = 75 % du gisement

Donc, la réserve prouvée du gisement est de l'ordre de **130 096,998 m³**

- Altitude minimum prise comme soubassement = 1724 m
- Surface 2D = 12 076,65 m²
- Surface 3D = 13 088,55 m²

VI.1.4.5. Carrière N°5 de Madera

➤ 3D surface et MNT du gisement

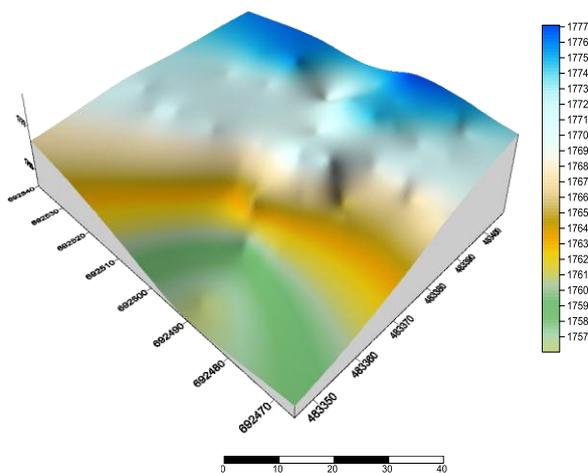


Figure 6.12 : Surface en 3D

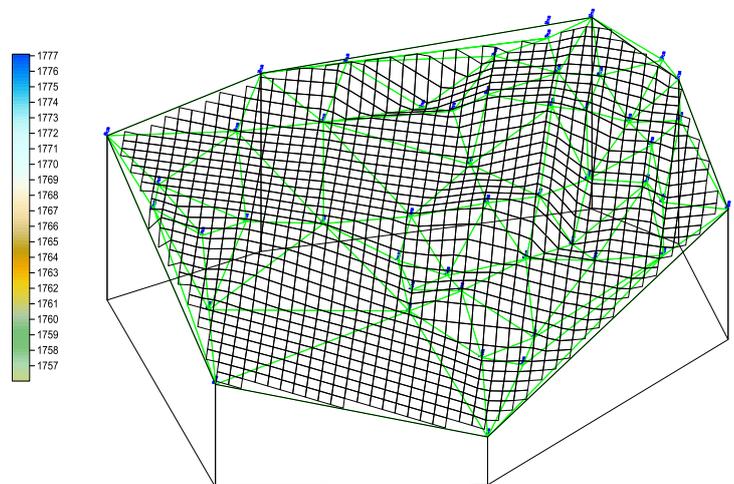


Figure 6.11 : MNT du gisement de la carrière N°5

- Résultat du calcul de cubatures
- Réserve probable = 39 195,286 m³
- Matériaux sains = 80 % du gisement

Donc, la réserve prouvée du gisement est de l'ordre de **31 356,228 m³**

- Altitude minimum prise comme soubassement = 1755 m
- Surface 2D = 2 891,45 m²
- Surface 3D = 3 226,71 m²

VI.1.4.6. Carrière N°6 de Soavinarivo

- 3D surface et MNT du gisement

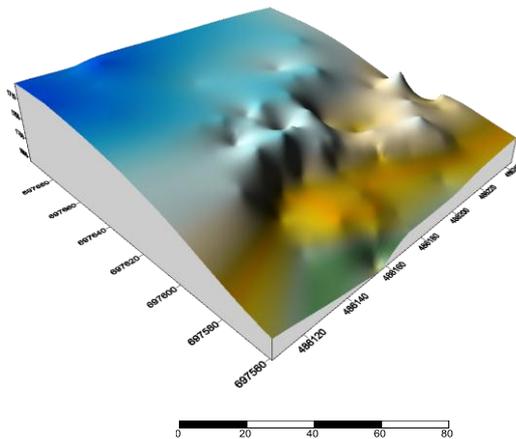


Figure 6.13 : Surface en 3D

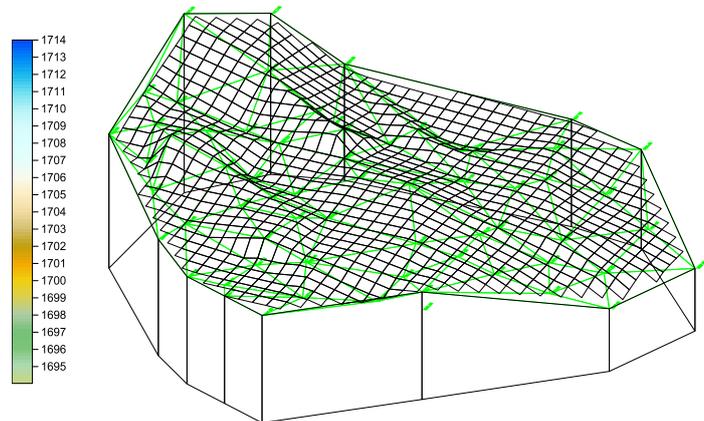


Figure 6.14 : MNT du gisement de la carrière N°6

- Résultat du calcul de cubatures
- Réserve probable = 20 703,847 m³
- Matériaux sains = 90 % du gisement

Donc, la réserve prouvée du gisement est de l'ordre de **18 633,462 m³**

- Altitude minimum prise comme soubassement = 1797 m
- Surface 2D = 1 883,90 m²
- Surface 3D = 2 005,26 m²

VI.1.4.7. Carrière N°7 d'Ambatolampy

➤ 3D surface et MNT du gisement

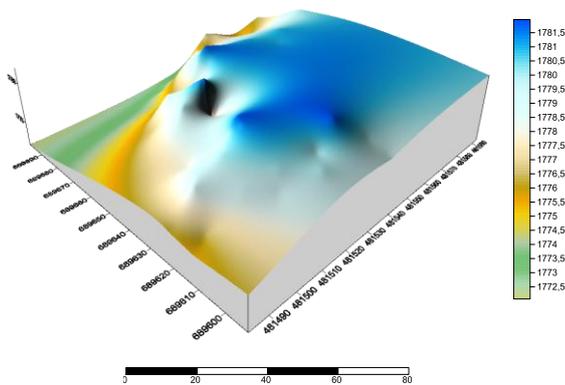


Figure 6.15 : Surface en 3D

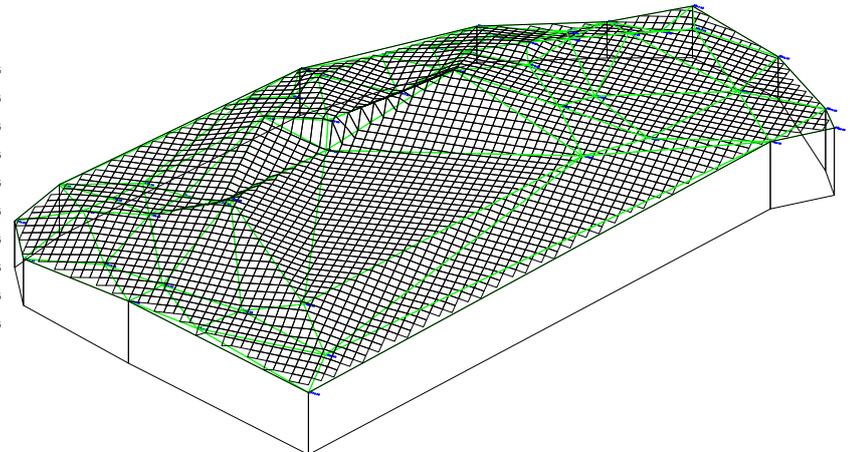


Figure 6.16 : MNT du gisement de la carrière N°7

➤ Résultat du calcul de cubatures

- Réserve probable = 44 639,687 m³
- Matériaux sains = 75 % du gisement

Donc, la réserve prouvée du gisement est de l'ordre de **33 479,765 m³**

- Altitude minimum prise comme soubassement = 1772 m
- Surface 2D = 6 057,61 m²
- Surface 3D = 6 334,42 m²

VI.1.5. Tableau récapitulatif

Voici le tableau récapitulatif du résultat de calcul pour chaque carrière aux alentours des pistes qui relie Antanifotsy -Tarahonenana Sahanivotry et Antsirabe - Soanidrariny.

Fkt : Fokontany

P = Périmètre

P.K. = Point Kilométrique

Tableau 6.13 : Tableau récapitulatif de l'évaluation de la réserve pour chaque carrière

AXE ANTANIFOTSY - TSARAHONENANA SAHANIVOTRY							
Numéro de la carrière	Repérage administratif	Situation entre deux P.K.	Côté d'existence par rapport à la piste	P [m] calculé par google earth	Surface 3D [m ²]	Volume exploitable [m ³]	Nature de la roche
N°1	Andohabato Fkt Ambatolahy	(12+108) et (13+108)	90 m à gauche	182	1 042,41	4 975,946	Basalte
N°2	Ambatonendahina Fkt Ambohimanatrika	(16+108) et (17+108)	800 m à gauche	297	3 051,86	23 718,596	Granite migmatitique
N°3	Ambatomitsangana Fkt Anosy	(23+108) et (24+108)	300 m à gauche	705	14 703,76	219 130,017	Granite à magnétite
N°4	Ambatosoa Fkt Fenoarivo	(27+108) et (28+108)	90 m à droite	640	13 088,55	130 096,998	Gneiss à biotite
N°5	Madera Fkt Manarintsoa	(30+108) et (31+108)	15 m à gauche	320	3 226,71	31 356,228	Granite monzonitique
N°6	Ambato Fkt Soavinarivo	(52+108) et (53+108)	200 m à gauche	273	2 005,26	18 633,462	Granite rose
AXE ANTSIRABE - SOANINDRARINY							
N°7	Ambatolampykely Fkt Ambatolampy	(25+170) et (26+170)	375 m à gauche	350	6 334,42	33 479,765	Granite peu altéré

VI.2. Caractéristiques du gisement [2] [25]

Avant d'aborder la phase d'exploitation et le traitement des matériaux de la carrière, il est indispensable en premier lieu de connaître les caractéristiques de la roche. Ceci est dans le but de déterminer les choix convenables de la méthode d'exploitation et des matériels à utiliser. Les données suivantes résultent des études bibliographiques, des mesures et calculs effectués en laboratoire.

VI.2.1. Essais laboratoires

Pour connaître les propriétés physico-chimiques de la roche, des essais laboratoires ont été effectués au Laboratoire du génie chimique de Vontovorona. Une roche est constituée par un assemblage d'une ou plusieurs espèces minérales (quartz, mica, feldspath, graphite, olivine, biotite, amphibole, pyroxène, etc.). En fonction des minéraux qui la composent, les propriétés physico-chimiques des roches peuvent être totalement différentes en termes de couleur, de dureté, de plasticité, de forme, etc.

VI.2.1.1. Masse volumique apparente

C'est la masse de l'unité de volume absolu du corps c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides.

VI.2.1.2. Porosité

On appelle porosité d'une roche le volume de l'ensemble des vides contenus dans l'unité de volume de la roche. La porosité entraîne souvent gélivité (défaut de certains matériaux qui se détériorent sous l'effet du gel). Une roche non poreuse est forcément imperméable mais une roche poreuse n'est pas forcément perméable.

VI.2.1.3. Densité apparente

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

VI.2.1.4. Compacité C du matériau

La valeur de la densité apparente donne une indication sur le degré de compacité d'une pierre et permet d'évaluer sa masse pour un volume connu.

VI.2.1.5. Degré de fissuration

Il exprime le pourcentage en volume des vides correspondants aux seules fissures

VI.2.2. Confection de 7 lames minces [15] [31] [22]

VI.2.2.1. Détermination pétrographique

Un échantillon de roche se présente comme un assemblage des grains minéraux solides, cristallisés ou non, et de discontinuités, et de vides situés entre eux. Il est déterminé visuellement afin de connaître la nature des minéraux, l'arrangement spatial respectif des grains appelé texture. Après cette description, on essaie de tirer le nom, la famille ainsi que le groupe de la roche. Après l'observation à l'œil nu, on fera les lames minces de l'échantillon.

L'observation au microscope de lames minces permet de déterminer la texture et la composition minéralogique des différents minéraux rencontrés dans le gisement, l'état d'altération, et la structure des roches.

La confection de 7 lames minces a été réalisée au Laboratoire National des Mines à Ampandrianomby. Voici les étapes successives pour la confection de lames minces :

- préparation du sucre : coupure de la roche par une machine avec fil diamanté
- prépolissage
- séchage à 80°C pendant 4 heures
- collage
- pause de l'échantillon collée sous la température 60°C durant 24 heures
- sciage
- polissage sur une vitre pour avoir la lame mince
- observation au microscope électronique

VI.2.2.2. Détermination des compositions minéralogiques des lames minces

Vous trouvez en Annexe 7, les photos des lames minces en lumière polarisée (LP x 25)

a. lame mince de la carrière N°1 : Basalte

Localité de l'échantillon : X = 488 523 m et Y = 705 981 m

Compositions minéralogiques :

- Microlite de plagioclase : 10 %
- Granule de minéraux opaque : magnétite : 35 %

Cette lame présente une structure microlithique

b. lame mince de la carrière N°2 : Granite migmatitique

Localité de l'échantillon : X = 489 196 m et Y = 702 629 m

Compositions minéralogiques :

- Feldspath : plagioclase : 35 %
- Quartz : 45 %
- Minéraux opaque : magnétite : rare 1 %
- Biotite : 2 %

Texture : grenue

c. Lame mince de la carrière N°3 : Granite à magnétite

Localité de l'échantillon : X = 486 219 m et Y = 697 586 m

Compositions minéralogiques :

- Feldspath : plagioclase : 30 %
- Quartz : 47 %
- Minéraux opaque : magnétite : 20 %

Texture : grenue

d. Lame mince de la carrière N°4 : Gneiss à biotite

Localité de l'échantillon : X = 483 082 m et Y = 695 855 m

Compositions minéralogiques :

- Feldspath : plagioclase : 20 %
- Quartz : 30 %
- Grains d'orthite : 5 %
- Biotite : 10 %

Structure peu foliée et texture grenue

e. Lame mince de la carrière N°5 : Granite monzonitique folié

Localité de l'échantillon : X = 483 392 m et Y = 692 488 m

Compositions minéralogiques :

- Feldspath : plagioclase : 5 %
- Microcline à moindre quantité : 1 %
- Quartz : 30 %
- Minéraux opaque entouré par biotite et orthite: rare 1 %

Texture : microgrenue

f. Lame mince de la carrière N°6 : Granite rose

Localité de l'échantillon : X = 490 686 m et Y = 681 078 m

Compositions minéralogiques :

- Feldspath : plagioclase : 5 %
- Quartz : 25 %
- Orthose : à grains fins 20 %

Texture : grenue

g. lame mince de la carrière N°7 : Granite peu altéré

Localité de l'échantillon : X = 481 523 m et Y = 689 606 m

Compositions minéralogiques :

- Feldspath : plagioclase : 10 %
- Quartz : 15 %

VI.2.3. Essais mécaniques [30]

Les essais mécaniques ont été effectués au Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment à Alarobia. LNTPB dispose des données (valeurs des essais et nature de la roche correspondante) pour chaque type d'essais. En consultant des données antérieures et en exposant les échantillons au responsable du LNTPB, nous avons pris, par identification, la valeur de Rc, Rt, LA et MDE à partir des résultats obtenus de la confection de lames minces.

VI.2.3.1. Résistance à la compression

Elle indique la pression à laquelle aucune cassure ne se produit. La mesure permet de choisir, en fonction des sollicitations auxquelles le matériau sera soumis dans l'ouvrage et du coefficient de sécurité correspondant.

VI.2.3.2. Résistance à la traction par flexion

Elle permet de déterminer le niveau de sollicitation admissible en flexion pour une pierre dans un ouvrage, compte tenu de coefficients de sécurité adaptés (caractéristique indispensable pour le dimensionnement des revêtements en pierre attachée et des revêtements de sols notamment). Elle indique la charge maximale que le matériau peut supporter pour ce type spécifique de contrainte.

VI.2.3.3. Essai Los Angeles

Le coefficient Los-Angeles est la proportion exprimée en pourcentage d'éléments inférieurs à 1,6 mm produits sous les chocs des boulets dans un broyeur. Il représente aussi une caractéristique intrinsèque des matériaux. L'essai Los-Angeles permet de juger la résistance à la fragmentation de la matrice de la roche. Elle consiste à vérifier la qualité des pierres, et matériaux au point de vue sa fragilité (résistance à la fragmentation par choc). Cet essai est dans le but de déterminer la résistance aux chocs des éléments d'un échantillon.

VI.2.3.4. Essais d'usure Micro-Deval humide

Cet essai mesure la résistance à l'usure par frottement des pierres naturelles et leur sensibilité à l'eau. Les produits résultant de l'usure sont généralement très fins, et leur proportion passant au

tamis de 1,6 mm représente le coefficient Micro-Deval. Cet essai est fait dans le cadre de mesure de la résistance à l'usure des roches. Cette résistance à l'usure pour certaines roches n'est pas la même à sec ou en présence de l'eau.

VI.2.4. Tableaux résumant les caractéristiques du gisement

VI.2.4.1. Résultats des essais laboratoires

D'après les calculs effectués suites aux résultats d'essais, nous obtenons les valeurs sur le tableau suivant :

Tableau 6.14 : Tableau récapitulatif des caractéristiques du gisement

N° Carrière	Masse volumique apparente α [g/cm ³]	Porosité n [%]	Densité apparente ρ [g/cm ³]	Compacité C [%]	Degré de fissuration D_f [%]
1	2,03	0,8	2,01	99,2	39,32
2	2,07	2,5	2,02	97,5	37,82
3	2,36	2	2,31	98	38,27
4	2,65	3,75	2,55	96,2	36,67
5	2,33	2,22	2,28	97,7	38,07
6	3,01	1,38	2,97	98,6	38,81
7	2,41	1,37	2,38	97,2	37,68

VI.2.4.2. Résultats des essais mécaniques

Tableau 6.15 : Tableau récapitulatif des essais mécaniques

N° Carrière	Résistance à la compression R_c [Mpa]	Résistance à la traction R_t [Mpa]	Los Angeles LA	Micro-Deval humide MDE
1	90	8,5	18,02	13,2
2	63	5,8	34,7	23,8
3	67	6	34,2	23,6
4	58	4,9	37,02	26
5	66	5,6	36,1	24,6
6	65	5,5	35,4	24
7	57	4,7	38,8	27

Les principes des essais et les formules correspondantes sont développés dans l'Annexe 6

VI.2.5. Evaluation de la performance des roches [26] [29] [4]

VI.2.5.1. Dureté

Les roches sont des compositions de différents matériaux. Pour calculer la dureté d'un matériau, on prend la moyenne des duretés des minéraux qui s'y trouvent (sans tenir compte de la quantité qu'ils représentent). Cette dureté ne donne pas toujours une image fidèle de la dureté de chaque élément, chaque carreau, chaque tranche, etc., mais elle donne une bonne idée de l'aptitude au rayage ou non d'une roche définie.

Contrairement à l'échelle de Mohs, le coefficient de Protodiakonov « f » ou coefficient de dureté peut atteindre plus de 20 suivant la dureté de la roche.

Tableau 6.16 : Tableau des coefficients de dureté

Nature de la roche	Coefficient de dureté « f »	Degré de résistance
Basalte	> 20	degré de résistance plus élevé, très dur
Granite	15 à 20	très résistant
Quartzite	10 à 15	résistant, dur
Calcaire	8 à 10	résistant, moins dur
Marbre	6 à 8	moins résistant, dureté moyenne
Grès	4 à 6	résistance moyenne, tendre
Schiste	2 à 4	résistance moyenne, tendre

VI.2.5.2. Los Angeles

La spécification de la valeur du coefficient Los Angeles d'après la norme NF P 18-573 est le suivant :

Tableau 6.17 : Spécification de la valeur de LA

Valeur Los Angeles	Qualité
LA < 20	très bonne à bonne
20 < LA < 40	bonne à moyenne
40 < LA < 50	moyenne à faible
50 < LA	médiocre et non recommandée

VI.2.5.3. Résistance à la fragmentation

La résistance mécanique doit être déterminée par des essais au laboratoire sur des équipements appropriés, conçus pour déterminer la résistance à la compression, à la traction d'un matériau façonné en forme d'éprouvette, soumise à la compression ou traction suivant les cas. La caractéristique mécanique la plus utilisée pour les roches est la résistance à la compression simple R_c . C'est le paramètre de base de la plupart des classifications proposées en mécanique des roches.

Tableau 6.18 : Classification de roche par rapport à sa résistance

	Tendre ou de faible résistance	Résistance moyenne	Résistante	Très résistante
Résistance à la compression R_c [MPa]	6	20	60	>90
Résistance à la traction R_t [MPa]	$1 < R_t < 4$	$4 < R_t < 8$	$8 < R_t < 25$	$25 < R_t$

On dit que la roche est tendre, de résistance moyenne, résistante, très résistante si les valeurs des mesures sont comme ci-dessus.

VI.2.5.4. Spécification d'utilisation de la roche par R_c

La résistance à la compression permet de déterminer le niveau de sollicitation admissible en compression pour une pierre dans un ouvrage, compte tenu du coefficient de sécurité adapté (caractéristique indispensable pour les applications structurales). Les pierres naturelles sont classées en trois catégories selon leurs résistances à la compression (R_c).

Tableau 6.19 : Spécification d'utilisation de la roche par R_c

Pierre tendres	Pierres fermes	Pierres dures
$R_c < 20$ MPa	$20 < R_c < 40$ MPa	$R_c > 60$ MPa
utilisées principalement en maçonnerie et ouvrages de taille	utilisées principalement en revêtements de façades	utilisées principalement en revêtements de sols

Pour le projet de pavage, la résistance à la compression doit être supérieure à **60 MPa**. Certaines roches métamorphiques présentent un groupement et une orientation de minéraux en bandes ou en lignes parallèles, que l'on appelle foliation. En fonction d'une pression parallèle ou perpendiculaire par rapport aux couches, on obtient une résistance à la compression différente.

Chapitre VII : PHASES TECHNIQUES DE L'EXPLOITATION DES CARRIÈRES

VII.1. Aspect général de l'exploitation [11] [13]

VII.1.1. Généralités

Pour bien mener rationnellement l'exploitation, un planning tient compte tous les aspects technico-économiques de l'exploitation, qui doit être élaboré au préalable. Ce plan nécessite la connaissance des différents paramètres et conditions suivants :

- le choix de la méthode d'exploitation ;
- l'importance des matériels utilisés ;
- les sources d'énergie ;
- le nombre de personnel ;
- le rythme de production ;
- le prix de revient ;
- la remise en état du site.

Dans les mines à ciel ouvert, notamment les carrières des roches massives, diverses techniques et méthodes peuvent être utilisées pour mener l'exploitation.

Le choix des matériels est en fonction de l'importance du gisement, de la nature et de la dureté des roches, des distances et des profils en long de transport, ainsi que le rythme de production. L'évaluation du prix de revient fait l'objet de l'étude des aspects techniques et économiques de l'exploitation, sans oublier l'étude de marché. Le premier a conduit de déterminer l'importance du matériel à mettre en œuvre, du personnel d'accompagnement, afin d'évaluer les dépenses correspondantes. Le second a pour but de faciliter la liquidation des produits au débouché. Ici, dans cet ouvrage, l'exploitation est destinée à la production des pavés en vue de la réhabilitation des routes au pavage. Tous les travaux doivent être réalisés dans le cadre du respect de l'environnement. Le but c'est de minimiser l'impact négatif sur le milieu humain et celle du milieu naturel.

VII.1.2. Enjeux sur la réglementation liée à l'exploitation des carrières

Légiférer sur l'exploitation des carrières doit obéir aux impératifs suivants :

- Promouvoir l'investissement productif, compétitif et rentable, et le sécuriser contre toute procédure compliquée et favorable aux abus ;
- Sécuriser la chaîne d'approvisionnement en matériaux de construction à la fois en quantité et en qualité ;
- Assurer le passage d'un système de privilège à un système économique rationnel, légitime et transparent, à travers des procédures de décision et de contrôle juste et transparent ;
- Favoriser une filière socialement responsable et équitable, s'intégrant dans les écosystèmes locaux ;
- Protéger le territoire national du pillage des ressources naturelles, notamment celles du littoral ;
- Préserver les milieux naturels, la biodiversité et le cadre de vie des populations riveraines, si ce n'est l'améliorer par le désenclavement, l'électrification, la création de richesses locale ;
- Encourager les techniques les plus respectueuses de l'environnement et des ressources naturelles.

VII.1.3. Fonctionnement des carrières

On exploite toujours le gisement des carrières de roche massive de façon presque identique :

- forage ou foration : percement de trous verticaux d'environ 10 cm de diamètre dans la roche selon une maille bien déterminée ;
- minage: les trous de foration sont remplis d'explosifs. L'explosion successive des trous fragmente grossièrement (< 800 mm) la roche et l'abat ;
- reprise : une pelle hydraulique ou un chargeur à pneu récupère la roche abattue et la charge dans un engin de transport ;
- roulage : un engin, plus rarement un convoyeur à bande, achemine les matériaux grossiers jusqu'à l'installation de traitement ;

VII.1.4. Critères d'exploitabilité du gisement

Pour trouver un meilleur gisement à exploiter, il faut avoir un bon choix des zones à exploiter. Son objectif est de localiser le gisement le plus près possible du lieu d'utilisation, ici dans ce travail,

qui est la route à réhabiliter. Il faut s'assurer aussi qu'on n'est pas dans une zone interdite, c'est-à-dire une zone protégée, par exemple un parc national ou zone des tombeaux ancestraux.

- Le premier critère d'exploitabilité d'un gisement c'est le ratio de décapage noté τ qui est défini par :

$$\tau = \frac{V_m}{V_s} \quad \text{Avec : } V_m = \text{volume unitaire du minerai abattu}$$

$V_s = \text{volume du stérile correspondant}$

- Pour un gisement de roche meuble : $\tau \geq 0,33$ avec une épaisseur minimale de couche exploitable de 2 m
 - Pour un gisement de roche massive $\tau \geq 0,2$ avec une épaisseur minimale de couche exploitable de 10 m
- Le second critère c'est la nature de la roche à exploiter. Pour cela, le gisement doit constituer d'une zone saine supérieure ou égale à 75 %. Si cette zone est comprise entre 50 et 80 %, le gisement est exploitable mais avec diverses conditions.
 - Enfin, on doit tenir compte également de la réserve. Pour une exploitation de durée moyenne (de 10 à 50 ans), il faut au moins une réserve supérieure à 5 000 000 tonnes.

Remarquons que l'accès à la carrière est très important dans l'exploitation, plus l'accès est difficile plus le coût sera élevé, car il faut réaménager la piste d'accès.

VII.1.5. Méthodes et outils d'exploitation artisanale [24]

Les artisans mineurs exploitent toute forme d'occurrence rentable et techniquement accessible, donc relativement peu profonde. Les outillages utilisés dans les carrières sont tous manuels et peuvent être confectionnés localement sauf les dynamites de carrière avec détonateur électrique, activés avec une batterie ou des piles par l'intermédiaire de fils de rallonge de 100 à 150 m pour raison de sécurité.

Ces outillages sont généralement les suivants : Brouettes, Pelles, Massettes, Masses de 2 kg, 5 kg, 8 kg, Barre à mines, Burin, Tamis, Corde de sécurité, Demi-fût ainsi que les Fleurets manuels de (80 cm ; 1 m ; 1,70 m ; 2 m) pour le perçage de bloc de pierre avant le dynamitage.

Les postes mécanisés restent très limités (rares pour les concasseurs et les broyeurs). La méthode ne va pas dans le sens d'une meilleure productivité, et sûrement pas dans le sens d'une augmentation de revenus pour le mineur; cela pour deux types de raisons :

- raisons organisationnelles : il n'y a pas de plan de production et le matériel mis à la disposition des artisans n'est pas souvent adapté aux rendements exigés. L'utilisation de ce matériel est souvent trop individualiste, peu rationnelle et rarement optimisée;
- raisons économiques : avec sa faible recette journalière, l'artisan n'a pas évidemment de moyens d'investir dans l'équipement lourd. Il doit pour cela s'adresser aux collecteurs ou commerçants qui se font très grassement payer le service.

Les carences techniques sont dues à la fois au manque d'ouverture culturelle, à la forte incapacité à surmonter les problèmes et à innover pour aller vers plus de productivité, de rentabilité et surtout de sécurité.

VII.2. Programme d'exploitation [11]

VII.2.1. Mode d'exploitation

Le mode d'exploitation est défini comme le moyen d'accès au gisement. Son choix dépend généralement de la situation technique et du rendement économique de l'exploitation. Ici, dans notre cas, on applique un mode d'exploitation à ciel ouvert puisque dans toutes les carrières, il existe des affleurements du gisement. La superficie de l'opération en surface est plus grande que les opérations souterraines, le coût de production à la tonne est très bas. Il y a une possibilité d'extraire des gisements à faible teneur en compensant par un volume plus élevé. Cette mode consiste à enlever les stériles au-dessus du gisement et à extraire les roches.

VII.2.2. Méthode d'exploitation

Le secteur d'exploitation à ciel ouvert englobe toutes les formes d'extraction de matières premières minérales à partir de gisement affleurant. Le gisement est mis à nu par enlèvement des aires de recouvrement ou mort-terrains (déblais) pour permettre la récupération du minerai. Cette activité correspond à des propriétés du matériau brut et des contraintes imposées par la nature du site. Nous définissons la méthode d'exploitation comme l'organisation de la progression dans le temps de l'ensemble des gradins à l'intérieur de la fosse ultime.

Les différents types de méthode d'exploitation en découverte sont :

- méthode par tranches horizontales simultanées ;
- méthode par tranches horizontales successives en pleine largeur ;
- méthode par fosses emboîtées ;
- méthode mixte.

VII.2.2.1. Méthode par tranches horizontales simultanées (stripping)

L'excavation se fait progressivement par tranches horizontales simultanées pour enlever en un seul passage la totalité de l'épaisseur verticale à exploiter. Cette méthode permet d'avoir un remblayage continu de l'excavation à l'arrière de l'exploitation. Elle est appliquée dans les gisements des roches tendres, subhorizontaux de grande extension ou dans les gisements alluvionnaires. Lorsque le front de remblayage suit de très près le front d'abattage du minerai, on parle d'une exploitation en tranchée.

Les caractères communs des gisements pour cette méthode sont :

- formation sédimentaire subhorizontale à faible recouvrement ;
- minéralisation massive ou à haute teneur ;
- taux de recouvrement faible.

On peut classer les matériels d'extractions de cette méthode en trois catégories : extraction par pelles et camions, extractions par draglines, et extractions axés sur le transport par convoyeurs (par exemple, pelles mécaniques sur roues et concasseur en fosse).

VII.2.2.2. Méthode par tranches horizontales successives en pleine largeur

L'évolution globalement verticale de l'excavation se fait par tranche horizontale, conduite successivement jusqu'au contour final, et la tranche inférieure ne démarre que peu avant la fin de la tranche précédente. L'enlèvement d'une tranche qui peut comporter plusieurs gradins est assimilable à l'exploitation par tranches simultanées, mais le remblayage est interdit jusqu'à la fin de l'exploitation.

Cette méthode est fréquemment utilisée pour les gisements à flanc de coteau. Les mortsterrains sont généralement très épais (du fait qu'une forte inclinaison du minerai). La chaîne d'extraction peut être réalisée par des tirs à l'explosif.

VII.2.2.3. Méthode par fosses emboîtées

C'est une méthode dans laquelle, le terrassement est conduit de façon que l'évolution affecte à plusieurs époques successives ; la forme de la fosse est à peu près homothétique de plus en plus profonde. Elle est typique des couches puissantes, filons redressés et amas lorsque le fond de fosse peut évoluer par rapport au point initial ou lorsqu'on ne veut pas réaliser une trop forte avance au décapage en début d'exploitation.

L'extraction se fait normalement par câble ou pelles hydrauliques associées à des camions pour le minerai et pour le stérile. Les tirs de mines et l'abattage à l'explosif sont ainsi souvent

utilisés. Notons que les gradins sont normalement excavés de 2 à 15 m de hauteur dans un empilement de 3 à 4, auxquelles on place une voie de desserte au milieu du sommet et du pied de gradin.

VII.2.3. Critère du choix de la méthode d'exploitation

Avant d'entamer à la réalisation du projet d'exploitation, il est nécessaire de connaître sa forme géométrique, son orientation et la direction de son extension afin de définir la méthode d'exploitation à utiliser. Autre que les conditions citées ci-dessus, le choix de la méthode sera basé sur les critères suivants :

- sécurité de l'exploitation ;
- conditions de travail des personnels ;
- rentabilité économique;
- qualité de production assurée ;
- importance des morts terrains recouvrant le gisement ;
- protection de l'environnement.

VII.2.3.1. Méthode choisie

Pour l'exploitation du gisement d'Andohabato, d'Ambatonendahina, d'Ambatomitsangana, d'Ambatsoa, de Madera, d'Ambatolampy et de Soavinarivo, la méthode proposée est celle par tranches horizontales successives en pleine largeur. Elle s'applique dans le cas des gisements horizontaux disposés en bancs parallèles superposés et à flanc de coteau.

Du point de vue morphologie, ces gisements sont en formes d'amas : c'est un gîte dont les dimensions sont approximativement de même ordre de grandeur. En découverte, l'exploitation des tranches horizontales de minerais se fait verticalement.

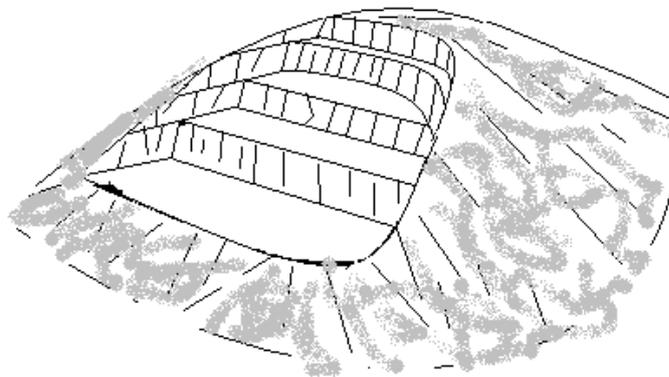


Figure 7.17 : Méthode horizontale successive en pleine largeur

VII.2.3.2. Justification du choix

Dans notre cas, en tenant compte des conditions précédemment, nous adoptons le mode d'exploitation à ciel ouvert en utilisant la méthode par tranche horizontale successive en pleine largeur. Le gisement est sous forme d'amas allongé avec une légère pente d'inclinaison vers l'ouverture qui convient bien à cette méthode. L'abattage se fait par explosif. L'enlèvement d'une tranche qui peut comporter plusieurs gradins est assimilable à l'exploitation par tranches horizontales, mais le remblayage est interdit jusqu'à la fin de l'exploitation.

VII.2.4. Procédé d'exploitation minière

Le procédé d'exploitation est une succession de tâches ou d'activités qu'il faut exécuter dans un ordre plus ou moins défini. De ce fait, la succession des tâches est comme suit : découverte, abattage, transport, concassage, stockage et enfin vente.

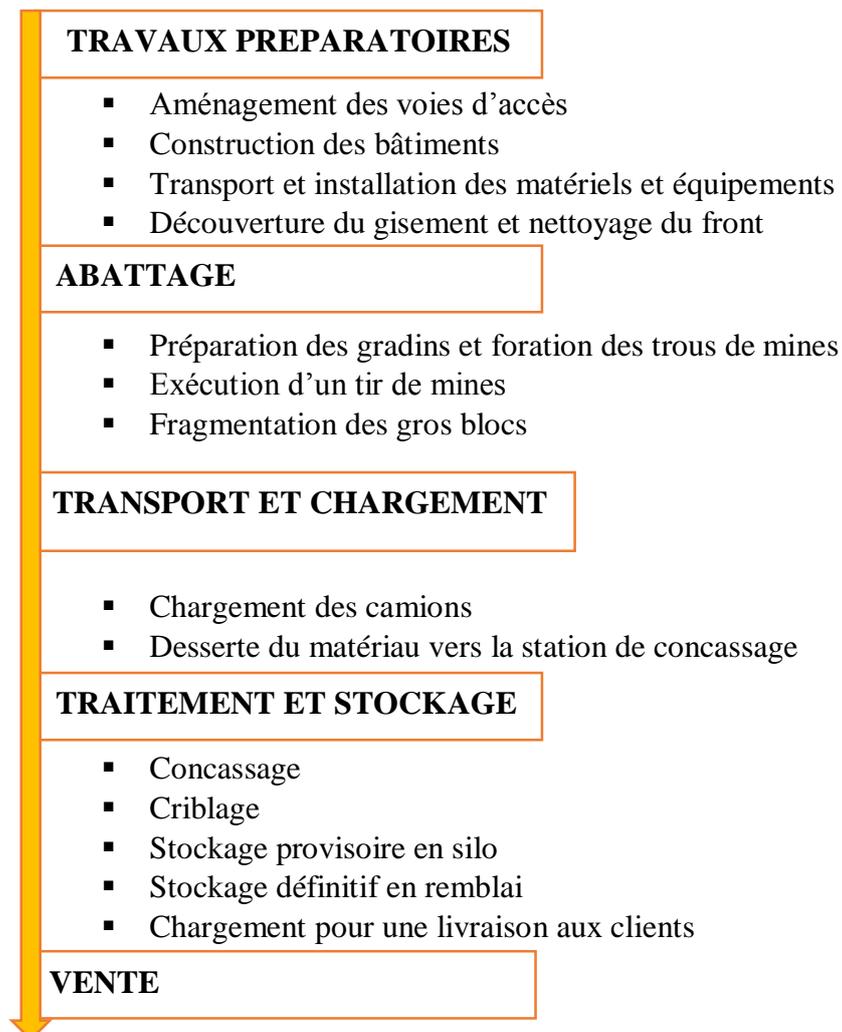


Figure 7.18 : Succession des tâches pour une exploitation minière

VII.2.5. Fin de l'exploitation et remise en état

Au cours de la phase d'exploitation, du point de vue du développement durable, les carrières constituent une occupation temporaire du territoire sur lequel elle est implantée, et l'usage ultérieur de ce dernier doit être prévu et intégré dès les premières démarches du projet. En effet, la remise en état du site est réfléchi de façon très précise avant l'exploitation car ces détails doivent être précisés dans l'étude d'impact. La remise en état du site comporte au minimum les dispositions suivantes :

- La mise en sécurité des fronts de taille : élimination des blocs instables, aménagement du pied du front de taille
- Le nettoyage de l'ensemble des terrains, notamment l'évacuation de tous les produits polluants et déchets.
- L'insertion satisfaisante de l'espace affecté par l'exploitation dans le paysage, compte tenu de la vocation ultérieure du site

Au moins 6 mois avant la date d'expiration de l'autorisation, l'exploitant doit déposer en préfecture une déclaration de fin de travaux, accompagnée d'un dossier comprenant un plan et un mémoire sur la remise en état. Le ministère désigne alors un inspecteur de carrière qui procédera à une visite du site et qui, si la situation est jugée convenable, dressera un procès-verbal de recollement.

VII.2.6. Rythme de production

Le rythme de production dépend des facteurs suivants :

- la quantité de la réserve possible ;
- le débouché des produits finis c'est-à-dire l'étude de marché ;
- la capacité et la performance des matériels utilisés ;
- le nombre des ouvriers.

Dans le choix que nous adoptons ci-dessus, un poste de travail de 8h permet de rassurer une durée minimum de production de 7 h par jour et de 5,5 jours par semaine ; soit 300 jours arrondis par an. En prenant une production moyenne de 1 500 unités du pavé de dimension 20x14x14 cm par jour compte tenu de la performance des matériels choisis et de nombre des mains d'œuvres, la production annuelle prévue est de 1 764 m³, soit 450 000 unités. Tout le gisement exploitable ne sera pas transformé en pavé commercéables, on a toujours des restes qui deviendront des déchets d'exploitation (15 %). Ainsi, en faisant le calcul 1 764 x (100/85), le volume annuel de roche abattue sera estimé à 2 075,3 m³/an.

VII.2.7. Organisation du personnel

Et en tenant compte que l'origine même de ce projet, qui est un investissement, sera élaborée dans le cadre du 3P (Partenariat Public Privé), de ce fait, l'organisation du personnel se présente comme suit :

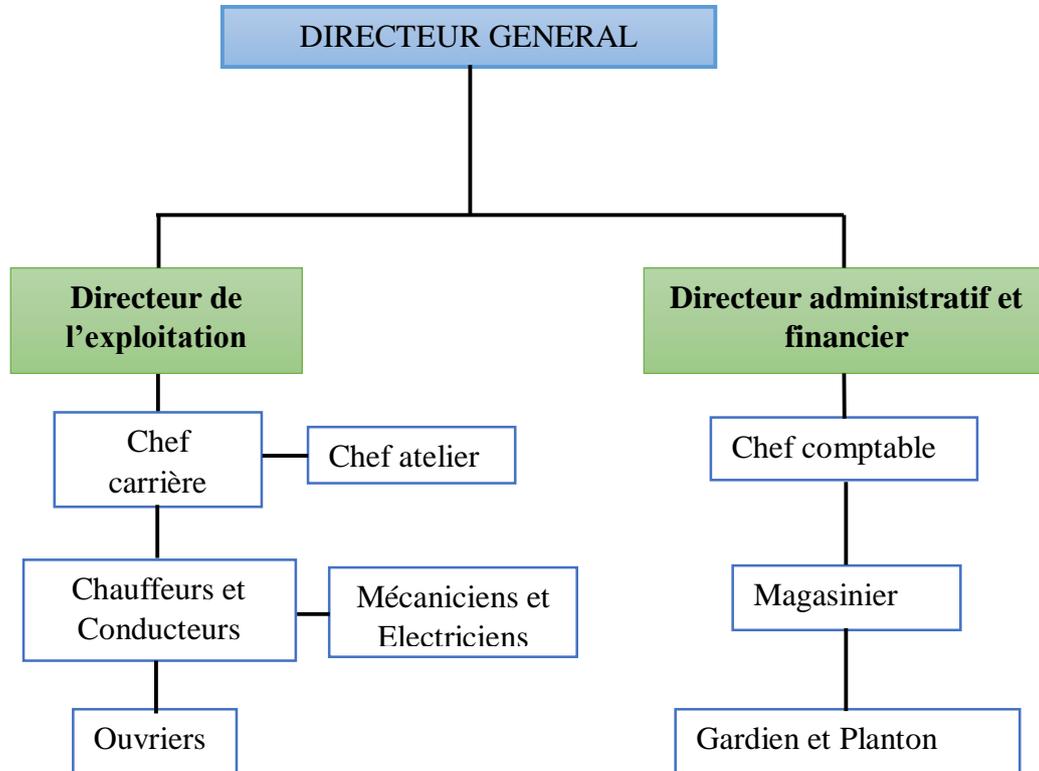


Figure 7.19 : Organisation du personnel

Chapitre VIII : ÉTUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

VIII.1. Généralités sur l'étude d'impact [21], [27]

L'étude d'impact environnemental de ce projet nous est primordiale et également une obligation réglementaire. Le but est d'identifier, puis de limiter au maximum voire même enrayer ces nuisances.

Toute demande d'autorisation au titre des installations classées pour la protection de l'environnement doit être accompagnée d'une étude d'impact. Elle vise à identifier les conséquences futures d'un projet, ainsi que les moyens mis en œuvre pour limiter ou atténuer les impacts. Ainsi, une évaluation des impacts préliminaires du projet sur l'environnement de la région doit être réalisée en prélude à une étude sommaire ou plus détaillée.

L'étude d'impact présente successivement :

- l'analyse de l'état initial du site et son environnement ;
- l'analyse des effets directs ou indirects, temporaires ou permanents de l'installation sur le site ;
- les mesures envisagées pour prévenir et/ou atténuer les conséquences dommageables et si possible compenser les inconvénients de l'installation ;
- les mesures pour la remise en état du site.

VIII.2. Etat initial des sites

L'identification des impacts potentiels se fait par confrontation des composantes du milieu récepteur aux éléments de chaque phase du projet. L'état initial du site est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 8.20 : Etat initial du site

Milieu	Identification	Etat initial
Physique et biologique	Faune et flore	La région à étudier est dépourvue des espèces animales et végétales protégées. Sur les sites, on trouve des eucalyptus, des savanes, des mimosas, de pin, et des animales sauvages
	Hydrologie et hydrogéologie	Le massif est considéré comme un massif riche en hydrogéologie par une existence d'une rivière au plus proche du site. Celle-ci montre l'existence d'une source de l'eau
	Géomorphologie et paysage	Les affleurements sont plus ou moins horizontaux. On a des champs cultivables accentués par des sols latéritiques qui s'implantent aux alentours du site.
Socio-économique	Infrastructures	Le site est accessible par des camions qui vont de la piste à réhabiliter vers le site d'exploitation.
	Activités humaines et utilisation du sol	Les sols sont utilisés pour les cultures vivrières et aussi les rizières. Les habitants sont principalement des agriculteurs, et des éleveurs

VIII.3. Matrice des impacts environnementaux

Cette matrice résume l'identification des impacts potentiels et leurs sources, afin de prendre des mesures d'atténuation pour les prévenir, les réduire ou les supprimer.

a- Sur le milieu physique

Tableau 8.21 : Matrice des impacts sur le milieu physique

Composantes	Source de nuisance	Impacts possibles	Mesures d'atténuation
Paysage	<ul style="list-style-type: none"> • Installation de l'usine de traitement • Décapage et défrichage • Remblayage des stériles • Fosses et excavation 	<ul style="list-style-type: none"> • Changement du paysage • Erosion en amont et en aval de la carrière • Perturbation visuelle • Diminution des terres cultivables 	<ul style="list-style-type: none"> • Les espèces végétales en dehors du périmètre seront entretenues pour servir d'écran naturel • Les opérations de décapage doivent être limitées aux stricts besoins de l'exploitation • Eviter la dégradation du sol • Choisir autant que possible des endroits ne nécessitant pas de défrichage
Eau de surface et hydrologie	<ul style="list-style-type: none"> ○ Transport des éléments physicochimiques et substances polluantes ○ Entretien des machines de traitement par des hydrocarbures liquides 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Perturbation et pollution des aquifères ○ Ecoulement et infiltration des eaux usées ○ Contamination des produits nocifs envers les eaux ○ Acidification du milieu risquant d'arrêter les activités biologiques 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Eviter la perturbation de la rivière pendant le captage d'eau ○ Les eaux usées et les liquides accidentellement répandus doivent être récupérer et collecter vers un bassin de décantation ○ Faire une imperméabilisation du fond de la surface de lavage et d'entretien des matériels
Air	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Construction des pistes et aménagement ✓ Foration des trous et tir de mine ✓ Procédé et traitement du bloc abattu 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Perte de la biodiversité ✓ Dispersion des poussières et des particules chimiques dans l'air ✓ Emanation des gaz nocifs 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Arroser régulièrement les pistes d'accès et l'ensemble des zones d'activités minières ✓ Pulvériser l'eau à la sortie des concasseurs ✓ Utiliser de carburants moins polluants ✓ Utiliser des marteaux perforateurs équipés d'eau ou d'aspirateurs pour bien gérer les poussières

Bruit et vibration	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fonctionnement des engins ▪ Manutention des matériaux 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nuisances sonores provoqués par les machines ▪ Perturbation de la vie des animaux environnants ▪ Déstabilisation de l'équilibre du sol 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utiliser des détonateurs électriques à microretards dans le tir ▪ Insonorisation à la source des moteurs ▪ Capotage des machines ou mis en place des dispositifs élastique antichocs sur eux ▪ Faire l'entretien des engins notamment au niveau des silencieux d'échappement
--------------------	--	--	---

b- Sur le milieu biologique

Tableau 8.22 : Matrice des impacts sur le milieu biologique

Composantes	Source de nuisance	Impacts possibles	Mesures d'atténuation
Faune et flore	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fragmentation des gros blocs ➤ Traitement ➤ Rejets des polluants et déchets chimiques dans la surface 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Perturbation d'équilibre de l'écosystème ➤ Diminution de la photosynthèse ➤ Mortalité ou blessure des animaux piégés par des excavations 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reboisement énergétique en dehors de la concession ➤ Clôturer le chantier pour éviter la pénétration des animaux domestiques ➤ Limiter les émissions des poussières

c- Sur le milieu socio-économique

Tableau 8.23 : Matrices des impacts sur le milieu socio-économique

Composantes	Source de nuisance	Impacts possibles	Mesures d'atténuation
Milieu humain	<ul style="list-style-type: none"> - Emprise foncière - Utilisation des matériels à moteurs d'exploitation - Tir de mine 	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de zone de pâturage - Inflation - Prolifération des maladies - Emission des bruits et de vibration qui détériore la qualité de vie habitants - Création d'emploi et source de revenue - Conflits personnels avec les habitants locaux - Evolution du marché local en matériaux de construction 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier au préalable les modes d'occupation du sol - Limiter le recrutement des personnels en dehors de la zone - Prendre en compte les mesures de réduction ou limitation des bruits - Faire une science d'information et de formation - Avoir un respect des coutumes locaux et compréhension mutuelle
Infrastructures	<ul style="list-style-type: none"> • Contamination du sol par le déversement d'hydrocarbures • Vibration des infrastructures évoquées par le tir 	<ul style="list-style-type: none"> • Encombrement de la circulation publique • Dégradation précoce des routes, des ponts et des chemins publics qui ne sont pas adaptés à l'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> • Faire instantanément l'entretien des routes et la limitation des charges de camions • Eviter le déversement des produits dans la piste • Construire des pistes autonomes pour la vocation de l'exploitation

VIII.4. Justification du choix du projet

Malgré les divers effets négatifs du projet sur l'environnement tant aux milieux physiques qu'aux milieux biologiques et humains, il aura des impacts positifs importants sur le cadre socio-économique au niveau régional et national. En effet, plusieurs facteurs interviennent dans le choix du projet tels que :

➤ Les facteurs géologiques

Le gisement présente une réserve exploitable suffisante. L'ouverture du gisement est facile par l'extension de son affleurement. Le gisement possède des caractéristiques requises aux normes voulues.

➤ Les facteurs environnementaux

Le site est dépourvu d'espèces faunistiques ou floristiques en péril, et même le décapage et le défrichage pendant la phase de construction est faible. Même si on ne peut remettre le site à son état initial, il y aura des moyens pour l'aménager à fins des reboisements ou des vocations économiques ou même des habitations.

➤ Les facteurs techniques

Un bon emplacement du gisement facilite le mode d'attaque. La situation du site d'exploitation au plus proche de la piste à réhabiliter favorise l'opportunité du projet. Le moyen d'approvisionnement en eau est facile à cause d'une rivière peu loin du site.

➤ Les facteurs sociaux

L'embauche des mains d'œuvres locaux de bon marché est facile. L'absence des conflits entre le promoteur et la population locale évite la source des conflits qui peut être : l'appropriation du terrain, la violation des tabous, la profanation des tombeaux.

➤ Les facteurs économiques

L'exploitation contribue à la promotion du développement socio-économique de la région par la création des emplois, le renforcement des voies d'accès, la contribution des impôts. La possibilité d'acquérir la maîtrise foncière des terrains d'exploitation est facile à avoir avec des conditions convenables. Du point de vue de la rentabilité, le projet est jugé rentable.

VIII.5. Remise en état du site

La remise en état du site consiste à réintégrer les surfaces exploitées dans l'environnement de façon à leur donner l'aspect d'un paysage naturel. Pour la remise en état du site, nous avons envisagé de procéder suivant deux aspects qui sont la restauration de la zone d'exploitation et l'intégration du site dans son environnement.

Afin d'arriver à ces deux aspects, les opérations suivantes devront être réalisées.

- Contrôler la stabilité de talus en vérifiant la pente de talus correspondant aux conditions nécessaires pour leur réutilisation ;
- Protection des talus contre l'érosion : gazonnement, reboisement ;
- Les fosses et les excavations seront remblayées et remodelées ;
- Recouvrir tous les terrains rebouchés par des plantations d'espèces végétales (eucalyptus, pins, etc.) correspondantes pour protéger les berges ;
- Faire une intégration du site dans leur environnement par la plantation d'une végétation pérenne et des arbres les mieux adaptés aux conditions climatiques de la région durant la saison de pluie ;
- Dégager les gros blocs qui peuvent perturber le régime d'écoulement de la rivière ;
- Débarrasser toutes les matériels et les installations sur le site ;
- Aérer les sols dénudés et tassés (chemins, routes et zones d'activités) ;
- Toutes les ordures et déchets de carrières doivent être retirés du site d'exploitation.

Conclusion partielle

Cette partie nous a donné le volume exploitable et les différentes caractéristiques du gisement de chaque carrière. Le choix de la méthode d'exploitation et l'étude environnementale y ont également été étudiés. La mise en exploitation des carrières ne présentent pas des difficultés techniques et environnementales. Les impacts positifs sont plus nombreux que les impacts négatifs. Remarquons que l'affleurement de la carrière N°3 présente une vaste surface plus ou moins horizontale avec un volume plus grand par rapport aux autres. Les caractéristiques du gisement de cette carrière ont satisfait toutes les conditions géotechniques pour le revêtement de sols. Ce qui nous amène donc à entrer dans la partie suivante, qui va nous exposer les caractéristiques du pavage et évaluation économique et financière du projet d'exploitation.

QUATRIÈME PARTIE
CARACTÉRISTIQUES DU PAVAGE ET
ÉVALUATION ÉCONOMIQUE ET
FINANCIÈRE

Chapitre IX : CARACTÉRISTIQUES DES PAVÉS ET ÉVALUATION DU COÛT DE PROJET DE PAVAGE

IX.1. Caractéristiques du pavé en roche naturelle

On appelle pavé tout élément utilisé comme matériau de pavage dont les dimensions nominales sont comprises entre 5 cm et 30 cm et dont aucune dimension en plan ne dépasse généralement deux fois l'épaisseur. Il s'agit de recouvrir totalement avec du pavé en pierres naturelles la couche de roulement.

Les pavés en pierres naturelles sont de natures et de tailles diverses suivant les traditions locales, la nature des roches utilisées, la position du gisement des roches environnant et aussi la vocation de la zone de pavé, c'est-à-dire leur fonction si c'est pour le cheminement des piétons ou autres fonctions. Ils sont généralement de forme prismatique. Du côté de dimensionnement, ils peuvent avoir de différente dimension, mais d'une manière générale, sa dimension est de 10x10x10 cm ou 20x14x14 cm selon le cas.

Pour la réalisation de pavage, on a besoin des sables pour la couche de fondation, ou mortier pour la réalisation des joins, et aussi des bordures ou butée de blocage de dimension (50x50x10cm). Cette dernière est fabriquée par PROGRANIT sur place de façon à éviter les transports onéreux des matériaux de construction.

Dans le cas, où l'étude de faisabilité exige la mise en place de trottoirs, ces derniers seront fournis localement à partir de la production de PROGRANIT.



Photo 9.22 : Etat de la route en pavé

IX.2. Détermination du volume des pavés en fonction de longueur de la couche de roulement

La construction routière est l'une des travaux primordiaux effectués par le régime actuel. Nous constatons que la plupart des granulats et des produits de carrières sont destinés en BTP et en génie civil. Dans ce présent mémoire, ils sont utilisés pour le pavage des pistes rurales et suburbaines à Madagascar.

Pour le calcul, on va prendre le dimensionnement d'un pavé soit de 20x14x14 cm. Pour calculer la surface de la route recouverte de 18 pavés en rang à la largeur, il faut tenir compte de l'espace qui existe entre deux pavés consécutifs distants de 1 cm (joints). Sa valeur est de 0,57 m² qui est obtenue par la formule 3,8 m x 0,15 m ; dont 3,8 m est la largeur de la route et 0,15 m est la largeur d'un pavé avec joints.

Le volume d'un pavé de dimension 20x14x14 cm est de 0,003920 m³, alors, pour 18 pavés, on a 0,070560 m³.

On en déduit que la réhabilitation de la route consomme en moyenne 120 pavés par mètre linéaire d'une route de 3,8 m de largeur. On aura donc besoin de 120 000 pavés pour pouvoir recouvrir totalement une route d'1 Km de longueur ; soit 470,4 m³ de pavés au minimum. Avec le taux de récupération 85 %, on a besoin de 553,41 m³ qui est le volume de la roche abattue pour recouvrir 1 Km de route. Dans ce travail, les pistes à réhabiliter ont une longueur de 80 Km. Ainsi, le volume de la roche nécessaire est de 44 272,8 m³.

IX.3. Estimation budgétaire du coût de pavage

Vous trouverez en Annexe 3, le sous-détail des prix de fourniture et de pose pavés.

Le prix de fourniture et de pose pavés est évalué suivant un rendement (surface de la chaussée revêtue par des pavés en roches naturelles) de 100 m² par jour. Ainsi, on arrive à accomplir 100 m de longueur par jour pour la réhabilitation de la route. On utilise donc la formule ci-dessous pour le calcul de ce prix hors taxe.

$$P = \frac{K \times DS}{R}$$

P : prix de fourniture et de pose pavés hors taxe

DS : total des déboursés secs

K= 1,35

R : rendement

Après calcul, on trouve $P = 95\,242,5$ Ar qui est le prix pour une surface de 1 m^2 de la chaussée pavé. Ainsi, le kilomètre d'une route en pavé coûterait 95 242 500 Ar, soit 29 652,085 USD/Km

Remarque :

Ce coût est variable en fonction des divers travaux tels que :

- installation et repli de chantier
- terrassements
- travaux de chaussée
- assainissements
- difficultés rencontrés au transport des matériaux

IX.4. Comparaison économique des coûts entre pavage et bitumage

En général, le kilomètre d'une route en bitume coûterait entre 600 à 700 millions Ar pour une durée de vie d'environ 15 ans seulement. Le ticket d'entrées pour le bitumage étant très élevé, de l'ordre de 700 millions à 1 milliards d'Ar, envisager un projet de remise en état de ces pistes à l'échelle nationale paraîtrait très difficile.

Le kilomètre d'une route en pavé de 3,8 m de largeur coûterait 95 242 500 Ar (soit 29 652,08 USD/Km). Le prix de la réalisation d'un chemin d'accès en pavé sur le long terme s'avère être un très bon investissement. Une chaussée pavée en pierre naturelle durera des décennies, sans bouger. Cet investissement sera fait une fois pour toute, sans avoir à envisager des travaux de réfection de chaussée comme dans tous les autres matériaux que vous pourriez faire poser.

Chapitre X : ÉVALUATION ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE DE L'EXPLOITATION

Ici, prenons le cas de la carrière N°3, vu par son grand volume et aussi par ses meilleurs caractéristiques pour le projet pavage. Cette partie nous permet d'évaluer les divers paramètres technico-économique du projet d'exploitation et de comparer les différents coûts afin de choisir le procédé optimal dans sa réalisation. L'estimation de la production annuelle et les techniques appropriées pour l'exploitation nous permettent d'analyser les coûts pour l'analyse du projet.

Ainsi, les principaux coûts retenus dans cette estimation découlent des informations ou documents recueillis localement et dans les sites internet. En effet, le choix d'acquérir les matériels neufs au lieu d'utiliser des matériels d'occasions ou d'en louer découle, non seulement pour l'amélioration du rendement de travail, mais surtout pour la réutilisation en vue d'un autre projet. Pour faciliter l'étude, on va évaluer les investissements totaux et l'aspect financière de l'entreprise. Tous deux nous permettent de connaître le critère de rentabilité économique du projet.

X.1. Les investissements totaux [20]

Cette section sera axée d'une façon générale, sur les études économiques prévisionnelles correspondantes aux différentes phases d'avancement du projet. Pour pouvoir évaluer économiquement l'ensemble du projet, nous allons déterminer les dépenses d'investissement nécessaires à la réalisation du projet.

Les investissements totaux comprennent :

- les investissements fixes : terrain, construction, travail de génie civil, équipements et matériels
- le capital ou l'actif circulant constitué par le fonds de roulement

Les investissements sont constitués de coût en monnaie locale d'une part et de coût en devise d'autre part. Pour cela, nous tenons compte du cours des devises en date du 15/07/2016: 1€= 3715,00 Ar et 1\$USD=3312,00 Ar. Ainsi pour l'évaluation des matériels et des charges diverses nécessaires à la réalisation de ce projet, nous adopterons la répartition dont la clé est donnée par le tableau de répartition des investissements en monnaie locale et/ou en devise :

X.1.1. Investissements fixes

Les dépenses en investissements fixes sont constituées par l'immobilisation incorporelle (ingénierie, étude, etc.) ; les coûts des matériels techniques, les matériels de campement ; les frais d'aménagement, réhabilitation et de construction ; les frais de remise en états du site (protection de l'environnement) et les mobiliers de bureau.

Tableau 10.24 : Répartition des coûts d'investissement fixe en monnaie locale et en devise

Rubriques	Monnaie locale (Ar)	Devise (Ar)	Coût total (Ar)
Terrain domanial	10 000 000		10 000 000
Equipements et engins d'exploitations	85 553 000	256 659 000	342 212 000
Equipement de concassage	198 061 000	594 183 000	792 244 000

Matériels roulants	157 300 000	235 950 000	393 250 000
Frais de montage et de transport	152 770 600		152 770 600
Investissement en constructions	141 730 000		141 730 000
Sous total	745 414 600	1 086 792 000	1 832 206 600
Imprévus (3%)	22 362 438	32 603 760	54 966 198
TOTAL	767 777 038	1 119 395 760	1 887 172 798
Pourcentage (%)	40,68	59,31	100

L'investissement fixe sera estimé à **1 887 172 798 Ar**. Il se répartit comme suit: 767 777 038 Ar en monnaie locale et 1 119 395 760 Ar en devise.

X.1.2. Investissements en fonds de roulements

Tableau 10.25 : Résultat de calcul du fonds de roulement

Désignation	Coût total (Ar)	Monnaie locale (Ar)	Devise (Ar)
Frais du personnel	116 276 000	116 276 000	
Coût de fabrication de pavés	40 500 000	40 500 000	
Pièces de rechange	76 385 300	30 554 120	45 831 180
Matières consommables	172 222 047	68 888 819	103 333 229
utilités	1 881 763 800	1 693 587 420	188 176 380
Sous total	2 287 147 147	1 949 806 359	337 340 789
Imprévus 5%	114 357 357	97 490 318	16 867 039
TOTAL	2 401 504 504	2 047 296 677	354 207 827

Le fonds de roulement sera estimé de **2 401 504 504 Ar**. Il se répartit comme suit : 2 047 296 677 Ar en monnaie locale et 354 207 827 Ar en devise.

Le calcul des investissements totaux sont détaillés dans l'Annexe 4.

X.2. Aspect financier

L'évaluation financière est utile et fondamentale pour les promoteurs du projet et pour les bailleurs de fonds qui financeront le projet. Le financement des investissements du projet va se faire d'une part, par des fonds propres et d'autre part, par des fonds apportés par les différents bailleurs de fonds locaux ou internationaux.

X.2.1. Identification du promoteur de projet

Le promoteur du projet est la société PROGRANIT qui est une Société Industrielle, la plus grande usine de production de granite de Madagascar, appartenant au groupe AGRICO (créé en 1987). Son siège social est à 9 rue Indira Gandhi Tsaralalàna -Tana 101 – Madagascar. Cette société est dirigée par RAKOTONDRAZAKA Romuald, PDG & Actionnaire majoritaire avec un capital investi de 10 millions €. Son chiffre d'affaire du groupe est 8 milliards Ar. L'objet social de l'entreprise est accentué sur :

- la transformation du granite en divers matériaux de construction (Escalier, Plan de travail, Carrelage mural, Carrelage Sol, Autobloquant, ...) et de voirie urbaine ou suburbaine (revêtements de chaussées (Pavé), Bordure de trottoir, Trottoir, cunette, Dalles, Murettes de Caniveaux, Gabions,...) ;
- la vente locale et l'exportation de produits finis faits en granite.

Le financement du projet se fera à travers le FER, le PROJER, le FOCAC, les Fonds Pétroliers de l'OPEP et la collectivité concernée dont certains se sont prononcés et prêt à s'impliquer dans le projet.

X.2.2. Tableau de provenance des investissements

L'investissement total est la somme de l'investissement fixe et du fonds de roulement.

Tableau 10.26 : Tableau de provenance des investissements

Rubriques	Monnaie locale (Ar)	Devise (Ar)	Coût total (Ar)
Investissements fixes	767 777 038	1 119 395 760	1 887 172 798
Fonds de roulement	2 047 296 677	354 207 827	2 401 504 504
TOTAL	2 815 073 715	1 473 603 587	4 288 677 302
Pourcentage (%)	65,64	34,36	100

Après arrondissement, les investissements nécessaires sont :

- En monnaie locale : L = 2 815 073 715 Ar
- En devise : D = 1 473 603 587 Ar
- Investissement total : I = 4 288 677 302 Ar

X.2.3. Source de financement

Le plan de financement sert à évaluer l'ordre de grandeur des besoins globaux. Il englobe les investissements fixes et le fonds de roulement.

Les emprunts bancaires peuvent être contractés auprès d'une banque. Dans ces emprunts bancaires, il existe des dettes à long terme et à moyen terme.

- Les dettes à moyen terme sont contractées auprès d'une banque locale. Ces dettes seront remboursées annuellement pendant 5 ans à échéances constantes avec de taux d'intérêt de 22 % et 3 années moratoires.
- Les dettes à long terme sont contractées auprès d'une banque extérieure. Le remboursement se fait annuellement pendant 10 ans avec un taux d'intérêt de 15 %, à échéances constantes avec 3 années moratoires.

Le schéma classique adopté à Madagascar pour le financement d'un projet d'investissement est le suivant :

- 1/3 des investissements en monnaie locale est apporté par l'entrepreneur. Il constitue alors les capitaux propres de l'entreprise ;
- 2/3 des investissements est emprunté auprès des institutions financières soit locales, soit étrangères et soit mixtes.

Ces prêts doivent inclure les frais intercalaires.

a. Capital propre : C_p

$$C_p = 1/3 L$$

$$C_p = 938\,357\,905 \text{ Ar}$$

b. Emprunt local : E_l

$$E_l = 2/3 L + 85\% D$$

Echéance : 5 ans ; Taux d'intérêt : 22% ; différé : 3 ans

$$E_l = 3\,129\,278\,859 \text{ Ar}$$

c. Emprunt extérieur : E_d

$$E_d = 15\% D$$

Taux d'intérêt : 15% ; Echéance : 10 ans ; Différé : 3 ans

$$E_d = 221\,040\,538 \text{ Ar}$$

X.2.4. Tableau de remboursement des emprunts

Le tableau de remboursements des emprunts est mis en Annexe 5.

X.2.5. Intérêts intercalaires

Les intérêts intercalaires sont des remboursements que devrait effectuer l'entreprise avant qu'elle ne produise.

Rappelons que la notion d'intérêts intercalaires a été introduite pour définir les intérêts rapportés par les emprunts bancaires que l'entreprise prendra en charge avant qu'elle ne produise. Ces intérêts intercalaires seront capitalisés et considérés comme des valeurs immobilisées.

- Intérêts intercalaires sur l'emprunt local

$$688\,441\,349 \times 3 = 2\,065\,324\,047 \text{ Ar}$$

- Intérêts intercalaires sur l'emprunt extérieur

$$33\,156\,080,7 \times 3 = 99\,468\,242,1 \text{ Ar}$$

Après arrondissements, l'intérêt intercalaire est égal à 2 164 792 289 Ar

X.2.6. Tableau des amortissements

Tableau 10.27 : Tableau des amortissements

Désignation	Durée (ans)	Coût total (Ar)	Remboursement par an	
			1 2 3 4 5	6 7 8 9 10
Matériel et équipements	10	1 527 706 000	152 770 600	152 770 600
Construction des bâtiments	5	141 730 000	28 346 000	
Utilités	5	1 881 763 800	376 352 760	
Frais de montage et de transport des matériels	5	152 770 600	30 554 120	
Intérêts intercalaires	10	2 164 792 289	216 479 229	216 479 229
Total			804 502 709	369 249 829

X.2.7. Détermination du prix de vente prévisionnel

Lors de l'élaboration de projet, on calcule le prix de vente de production de pavé qui est composé de toutes les dépenses de l'exploitation et de l'extraction au jour, y compris le chargement au transport extérieur. On détermine le prix de vente de production selon les éléments suivants : le

salaires avec toute sorte de majoration, les matériaux, l'énergie, l'amortissement, les dépenses de tous les produits.

Pour calculer le prix de vente, on détermine la somme annuelle de toutes les dépenses et on divise par la productivité annuelle de la mine. Le prix de revient se calculera en prenant comme référence, l'année de croisière (c'est-à-dire la troisième année où l'on atteindra la production prévue).

$$PR = A + F_{fo} + F_{fi}$$

PR : prix de revient [Ar/m³]

La production totale est estimée à 1 764 m³ par an

- A = amortissement par m³ de production à l'année considérée

$$A = \frac{804\,502\,709}{1\,764} = 456\,067 \text{ Ar/m}^3$$

- F_{fo} = frais de fonctionnement

$$Ffo = \frac{\text{fonds de roulement}}{\text{production annuelle}} = 1\,361\,397 \text{ Ar/m}^3$$

- F_{fi} = frais financiers

$$Ffi = \frac{\text{intérêts intercalaire} + \text{intérêts des El} + \text{intérêts des Ed}}{\text{production annuelle}}$$

$$Ffi = \frac{2\,164\,792\,289 + 4\,130\,648\,09 + 265\,248\,65}{1\,764} = 1\,476\,407 \text{ Ar/m}^3 \quad \text{D'où :}$$

$$PR = 3\,293\,871 \text{ Ar/m}^3$$

Avec une marge bénéficiaire de 25 %, le prix de vente par mètre cube de production sera :

$$PR = 4\,117\,338,75 \text{ Ar/m}^3, \text{ soit } 4\,118\,000 \text{ Ar/m}^3 \text{ après arrondissement}$$

X.2.8. Comptes d'exploitations prévisionnelles

Tableau 10.28 : Tableau des comptes d'exploitations prévisionnelles

Designation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Production [m ³ /ans]	1411	1588	1764	1764	1764	1764	1764	1764	1764	1764
Vente hors taxe [4117339 Ar/m ³]	58095655329	6538334332	7262986000	7262986000	7262986000	7262986000	7262986000	7262986000	7262986000	7262986000
C.I. [Ar]	2279414704	2279414704	2279414704	2279414704	2279414704	2279414704	2279414704	2279414704	2279414704	2279414704
F.P. [Ar]	116276000	116276000	116276000	116276000	116276000	116276000	116276000	116276000	116276000	116276000
C.E. [Ar]	2395690704	2395690704	2395690704	2395690704	2395690704	2395690704	2395690704	2395690704	2395690704	2395690704
Amortissement [Ar]	804502709	804502709	804502709	804502709	804502709	369249829	369249829	369249829	369249829	369249829
C.P. [Ar]	3200193413	3200193413	3200193413	3200193413	3200193413	2764940533	2764940533	2764940533	2764940533	2764940533
R.B. E. [Ar]	55699964625	4142643628	4867295296	4867295296	4867295296	4867295296	4867295296	4867295296	4867295296	4867295296
Intérêts emprunt Loc. Intérêt em. Ext. Intérêts intercalaire Total frais financier	688441349 33156081 2164792289 2886389719	550753079 29840473 2164792289 2745385841	413064809 26 524 865 2164792289 2577857089	275376539 23 209 256 2164792289 2440168828	137688270 19893648 2164792289 2322374207	16578040 2164792289 2181370329	13262432 2164792289 2178054721	9946 824 2164792289 2174739113	6631216 2164792289 2171423505	3315608 2164792289 2168107897
R.N.A. impôts [Ar]	52813574906	1397257787	2289438198	2427126468	2544921089	2685924967	2689240575	2702503007	2695871791	2699187399
Impôts 35% [Ar]	18484751217	489040225,5	801303369,3	849494263,8	890722381,2	940073738,5	941234201,3	945876052,5	943555126,9	944715589,7
Résultat net [Ar]	34328823689	908217561,6	1488134829	1577632204	1654198708	1745851229	1748006374	1756626955	1752316664	1754471809
R.N. cumulé [Ar]	34328823689	35237041251	36725176079	38302808283	39957006991	41702858220	43450864594	45207491548	46959808212	48714280022
Cash flow brut [Ar]	56504467334	4947146337	5671798005	5671798005	5671798005	5236545125	5236545125	5236545125	5236545125	5236545125
Cash flow net [Ar]	35133326398	1712720271	2292637538	2382134913	2458701417	2115101058	2117256203	2125876784	2121566493	2123721638
C.F.N. cumulé [Ar]	35133326398	36846046669	39138684206	41520819119	43979520536	46094621594	48211877797	50337754580	52459321073	54583042712

Le compte d'exploitation prévisionnelle a été établi sur une période de 10 ans. Les calculs ont été détaillés dans l'Annexe 5.

X.3. Critères de rentabilités

Les critères de rentabilité prévisionnelle sont aussi déterminés sur la base des données relatives à l'année de croisière (troisième année).

X.3.1. Taux de marge

a. Taux de marge brut

$$Tb = \frac{\text{bénéfice brut}}{\text{chiffre d'affaire}} = \frac{4867295296}{7262986000} = 0,6701$$

Ainsi, environ 67 % des recettes sont constituées par du bénéfice brut

b. Taux de marge net

$$Tn = \frac{\text{bénéfice net}}{\text{chiffre d'affaire}} = \frac{1488134829}{7262986000} = 0,204$$

Ainsi, 20,4% des recettes sont constituées par du bénéfice net

X.3.2. Taux de rentabilité

a. Taux de rentabilité brut

$$Tb = \frac{\text{bénéfice brut}}{\text{investissement total}} = \frac{4867295296}{4\ 288\ 677\ 302} = 1,135$$

Ce qui veut dire que 100 Ar d'investissement total dégagent 113 Ar de bénéfice brut

b. Taux de rentabilité net

$$Tb = \frac{\text{bénéfice net}}{\text{investissement total}} = \frac{1488134829}{4\ 288\ 677\ 302} = 0,35$$

Ce qui veut dire que 100 Ar d'investissement total dégagent 35 Ar de bénéfice net.

X.3.3. Délai de récupération

Le délai de récupération Dr se définit comme le temps au bout duquel les dépenses initiales d'investissement déboursées par l'entreprise lui seront retournées, c'est-à-dire au bout de ce temps la somme des recettes est égale à la somme des dépenses.

Par définition, il est donné par :

$$Dr = \frac{\text{investissement total} - (\text{fond de roulement} + \text{prix de terrain})}{\text{cash flow net}}$$

$$Dr = \frac{4\,288\,677\,302 - (2\,401\,504\,504 + 10\,000\,000)}{2292637538} = 0,82$$

Dr = 8 mois et 2 semaines

X.3.4. Autonomie financière

$$Af = \frac{\text{capital propre}}{\text{total des dettes}} = \frac{Cp}{El+Ed} = \frac{938\,357\,905}{3\,129\,278\,859 + 221\,040\,538} = 0,28$$

Ce qui signifie que le capital propre représente environ 28 % des dettes.

X.3.5. Calcul du point mort ou seuil de rentabilité

a- Définition

Le point mort « Pm » ou seuil de rentabilité correspond à la capacité minimale selon laquelle l'entreprise couvre son frais sans bénéfice ni perte. Il peut être exprimé, soit en volume monétaire, soit en pourcentage de la capacité. Le point mort exprimé en % constitue un paramètre de gestion.

Ainsi, sa détermination nécessite la distinction entre les charges fixes et les charges variables.

- Charges fixes Cf : Ce sont les charges que l'entreprise doit supporter même si elle ne produit pas

$$Cf = \text{Amortissement} + \text{Autre (5\% CI)} = 804502709 + 108\,543\,557$$

$$Cf = 913\,046\,266 \text{ Ar}$$

- Charges variables Cv : Ce sont des charges liées directement à la production. Elles dépendent de degré d'utilisation de l'intensité et du rendement, de l'emploi, de capacité de moyens disponible

Cv = FP + Utilités + Matières consommables diverses + Coût de fabrication de pavés + Pièces de rechange

$$Cv = 116276000 + 1881763800 + 172222047 + 405000000 + 76385300$$

$$Cv = 2\,287\,147\,147 \text{ Ar}$$

b- Exprimé en pourcentage de capacité

$$Pm = \frac{\text{charges fixes totales}}{\text{chiffres d'affaires} - \text{charges variables totales}} = \frac{913\,046\,266}{7262986000 - 2\,287\,147\,147} = 0,18$$

Pm = 18 % < 70 %, alors le projet est jugé rentable

c- Exprimé en volume monétaire

$$Vo = \frac{\text{charges fixes totales}}{\text{taux de marge brute}} = \frac{913\,046\,266}{0,67}$$

$$Vo = 1\,362\,755\,621 \text{ Ar}$$

Conclusion partielle

Cette partie nous a permis de déterminer le volume de la roche abattue pour recouvrir totalement la couche de roulement ; et de comparer le coût entre pavage et bitumage. L'évaluation économique et financière de l'exploitation a été également étudiée afin de connaître la rentabilité du projet. Enfin, on trouve que la mise en exploitation de toutes les carrières est jugée rentable. Dans ce travail, les pistes à réhabiliter ont une longueur totale de 80 Km. On a trouvé que 44 272,8 m³ de la roche est nécessaire pour recouvrir totalement les pistes en question. On constate que cette valeur est largement inférieure au volume total de la réserve prouvée (297 814,249 m³) de toutes les roches adéquates au projet.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de ce travail, on constate que le projet de remise en état des pistes rurales et suburbaines au pavage est faisable. Cette faisabilité est causée par une grande quantité de la réserve exploitable par rapport au besoin pour le recouvrement total des couches de roulements. Les caractéristiques du gisement de chaque carrière se différencient l'un de l'autre par leurs colorations, leurs compositions minéralogiques et leurs propriétés physico-mécaniques. D'après les caractéristiques du gisement, on a vu que les carrières N°1, N°2, N°3, et N°6 sont de très bonne qualité en matériaux de construction routière.

La réalisation de ce projet facilite l'évacuation des produits locaux et entraîne une création de divers emplois. On a pu stipuler que la mise en valeur de ces ressources, notamment la roche massive dont fait partie des matériaux de construction routière, contribue au développement socio-économique du pays. Ceci est accentué par la durabilité et la rapidité du projet de pavage. Mais ce dernier est à moindre coût par rapport au bitumage.

Cependant, l'élaboration d'un tel projet est un travail qui requiert beaucoup plus de connaissances sur les gisements en construction routière. En effet, l'identification des carrières aux alentours des pistes à réhabiliter, l'étude des caractéristiques et l'estimation de volume du gisement, l'étude technique de l'exploitation, l'étude d'impact environnemental, ainsi que l'évaluation économique et financière sont développés dans cet ouvrage.

Ainsi, nous déduisons dans ce présent mémoire que la carrière N°3 satisfait le projet de pavage des chaussées en termes de qualité et quantité. De plus, elle se trouve au plus proche (300 m) de la piste à réhabiliter et est facile à accéder. La mise en exploitation de cette carrière est rentable économiquement. Les actions envisagées dans le domaine minier devraient viser l'adoption d'une technique d'exploitation étroitement liée à la diminution des impacts environnementaux négatifs.

Pour les ouvrages d'assainissements, la méthode technique de pose pavé sera laissée à l'appréciation de l'entreprise BTP qui se chargera à l'exécution des travaux. Enfin, nous pourrions recommander aux spécialistes des travaux publics de s'intéresser aux pistes traversant les zones à fortes potentielles économiques, afin de développer rapidement notre pays.

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES
ET WEBOGRAPHIQUES**

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Association des Ingénieurs au LNTPB, « méthodologies générales de reconnaissance et des essais », Antananarivo, 1983 - 1985.
- [2] : ATLAN Y., bureau de recherches géologiques et minières, « catalogue des essais géotechniques exécutés au laboratoire géotechnique d'Orléans », mars 1978.
- [3] : BAGARRE Edmond, « les matériaux volcaniques : utilisation en technique routière », ISTE, 1987.
- [4] : BESAIRIE H., documents pour l'étude géotechnique à Madagascar, 1958.
- [5] : BESAIRIE H., « Gîtes minéraux de Madagascar, matériaux de construction routières », 1976.
- [6] : BESAIRIE H., DELBOS L., Carrières et matériaux de Madagascar, « Trav. Bur. Géo. Mad. », n°48.
- [7] : BESAIRIE H., plan directeur d'actions pour la mise en valeur des ressources du sol et du sous-sol de Madagascar, B.R.G.M, 1985.
- [8] : BESAIRIE H., Itinéraires géologiques le long des principales routes de Madagascar.
- [9] : BERNAD B., DUBOIS R., Le métamorphisme et la formation des granites, 1997.
- [10] : BERTON Y., LE BERRE P., ORLEANS, « Guides de prospection des matériaux de carrière », BRGM, 1995.
- [11] : BOUSSAGEON B., Exploitation de la carrière, édition 1996.
- [12] : BRGM, Notice explicative des cartes géologique et métallogénies de la république de Madagascar à 1/1 000 000, juin 2012.
- [13] : DAMY Joachin Clotaire, cours 3^{ème} année Mines, « Exploitation à ciel ouvert », ESPA, 2013.
- [14] : DIOULDE M., « matériaux de construction », 1995.
- [15] : KORNPORST J., Les Roches métamorphiques et leur signification géodynamique, Précis de pétrologies, 2^{ème} édition, 1996.
- [16] : LENOBLE A., « Notice explicative sur la feuille Antsirabe NO. 48-49 », 1938
- [17] : Mémento des mines et carrières, Nouvelle édition de 1993 – 1997.
- [18] : NOARIJAONA Zafindrianony Théophile, mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de maîtrise des sciences et techniques en géophysique appliquée, « Estimation par combinaison de la méthode électrique et du MNT du volume de calcaire de la carrière d'Ankena », mars 2010.
- [19] : RAKOTOMANANA Dominique, cours 4^{ème} année Mines, « Géologie de Madagascar », ESPA, 2014.

[20] : RAKOTONINDRAINNY, cours 3^{ième} année Mines, « Technique économétrique », ESPA, 2013.

[21] : RAKOTOSOA Harimalala Herivola, cours 5^{ième} année Mines, « Environnement minier », ESPA, 2015.

[22] : RAKOTOVAO Soatsitohaina, cours 4^{ième} année Mines, « Métallogénie et Pétrographie », ESPA, 2014.

[23] : RANDRIANARIMANANA Jaobelson, cours 4^{ième} année Mines, « Gîtes minéraux », ESPA, 2014.

[24] : RANDRIAMORA Marius Thierry, mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur matériaux, « Contribution à l'étude de normalisation et de valorisation des granulats de fabrication artisanale », décembre 2014.

[25] : RANCHON, DESFORGES, cours de laboratoire : granulats, bétons, sols, 1993.

RÉFÉRENCES WEBOGRAPHIES

[26] : Liste des minéraux par dureté. <http://www.geowiki.fr/index.php>. Page consultée le 28 août 2016.

[27] : MARTAUD Thomas, thèse doctorale, « Evaluation environnementale de la production de granulats naturels en exploitation de carrière », octobre 2008.

[28] : Evaluation environnementale d'une exploitation de la carrière. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00412080>. Page consultée le 24 juillet 2016.

[29] : Contrôle qualité en construction routière. <http://www.coursgeniecivil.com>. Page consultée le 29 septembre 2016.

[30] : Tableau de bord environnemental, région Vakinankaratra. Edition 2005, www.pnae.mg/index.php. Page consultée le 13 juillet 2016.

[31] : Précis de pétrographie. <https://www.amazon.fr/Jean-Jung-Précis-pétrographie>. Page consultée le 10 août 2016.

ANNEXES

Annexe 1 : GRANULATS

1. Définition du granulat

On désigne en général par granulats (moellons, pavés, pierres plates, graviers, gravillons et sables) l'ensemble des matériaux inertes-naturels ou artificiels-qui sont solidarités par le ciment. Ce mélange qui se compose de diverses classes granulaires, constitue le squelette granulaire du béton et doit comporter le moins de vides possibles. Par rapport à la pâte de ciment qui les enrobe, des granulats de bonne qualité offrent les avantages suivants:

- résistance généralement plus élevée
- meilleure durabilité
- stabilité volumique en présence d'humidité, d'où un effet favorable sur le retrait du béton (réduction)
- absorption d'une partie de la chaleur d'hydratation, d'où un effet régulateur sur le processus de prise.

2. Les différentes natures des granulats naturels

On distingue traditionnellement trois grandes catégories de granulats en fonction de leur origine géologique.

- ❖ La première est celle des granulats alluvionnaires qui tapissent normalement le fond des vallées. Cette ressource présente un caractère meuble, donc facile à extraire, en fait, c'est la ressource la plus couramment exploitée.
- ❖ La seconde famille est celle des roches massives siliceuses ou silicatées, l'origine de ces roches peut être liée au refroidissement de magmas issus des couches internes du globe (granites, diorites, basaltes, etc.), ou de la transformation dans les profondeurs de la croûte terrestre de roches d'origines plus superficielles (gneiss, quartzites, etc.). Dans la plupart des cas, il s'agit de roches dures profondément enracinées sous le sol et d'aspect massif.
- ❖ La troisième famille de granulats est issue des roches massives calcaires. Ces roches se distinguent des précédentes par leurs conditions de gisement qui sont formées dans des mers, lacs ou lagunes. Elles sont généralement incluses dans des séries sédimentaires épaisses, et localisées dans des bassins bien définis. Il s'agit donc aussi d'une ressource moins répandue que les granulats alluvionnaires.

A ces trois catégories de roches naturelles peut en être ajoutée une quatrième, celle des granulats recyclés et des sous-produits industriels. Issus de la démolition d'ouvrages antérieures ou de processus d'élaboration de l'industrie lourde. Leurs gisements sont par définition localisés soit à proximité de zones urbanisées où ont lieu la majorité des démolitions, soit dans les gros pôles industriels.

Au-delà de l'aspect géologique qui pilote la répartition géographique des gisements, la notion de ressource est aussi subordonnée à des aspects économiques. En effet, pour qu'un massif rocheux soit potentiellement exploitable, il est nécessaire que la production correspondante réponde à un besoin, et qu'elle puisse satisfaire ce besoin à des coûts compétitifs. En d'autres termes, les caractéristiques d'une carrière dépendent de celles des marchés qu'elle dessert.

Annexe 2 : SISMIQUE REFRACTION ET RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

Tableau A.29 : Vitesse sismique de quelques types de roches

MATERIAUX	VITESSES SISMIQUES (m/s)
Air	330
Eau douce	1450
Vases	200 à 600
Terre végétale	200 à 500
Alluvions	200 à 1200
Recouvrement arénacé	500 à 850
Argiles	700 à 2200
Marnes	800 à 3000
Sables fins propres	350 à 1000
Calcaire crayeux	800 à 2000
Calcaire	1250 à 3000
Dolomie	3000 à 5000
Schistes	3000 à 4500
Gneiss	3500 à 5000
Arène granitique	1000 à 1650
Granite plus ou moins fissuré	2500 à 2800
Granite	4000 à 6000
Laves (Basalte)	2500 à 4000

(Extrait du livre *Géophysique de Gisement et de Génie Civil*, MARI J. L., ARENS G., CHAPPELLIER D., GAUDIANI P., 1998)

Tableau A.30 : Valeur type de résistivité apparente en fonction des matériaux

MATERIAUX	RESISTIVITES (ohms)
Eau de mer	0,2
Eau de nappe alluviale	10 à 30
Eau de source	50 à 100
Limon	30 à 100
Sables et graviers secs	100 à 1000
Graves sèches	200 à 1000
Sables et graviers imbibés d'eau douce	30 à 500
Graves noyés	100 à 2000
Sables et graviers imbibés d'eau salée	0,5 à 5
Argiles	2 à 20
Argiles caillouteuses	10 à 50
Marnes	5 à 50
Calcaires	100 à 5000
Grès argileux	50 à 300
Grès et quartzites	300 à 10000

Schistes graphiteux	0,5 à 5
Schistes altérés	100 à 300
Schistes sains	300 à 5000
Gneiss et granites altérés	100 à 1000
Gneiss et granites sains	1000 à 10000
Laves (basaltes)	800 à 10000

Source : GIROUX B., 1999

Annexe 3 : SOUS DÉTAILS DES PRIX DE FOURNITURE ET DE POSE PAVÉS

Tableau 9.31 : Sous-détail des prix de fourniture et de pose pavés

Composants des prix			Coûts directs			Dépenses directes			TOTAL (en Ar)
Désignation	Unité	Q	Unité	Q	PU (Ar)	Main d'œuvre	Matériaux	Matériels	
1-Main d'œuvre									
Conducteur de travaux	Hj	1	H	4	5 000	20 000			
Chef de chantier	Hj	1	H	1	4 000	4 000			
Chef d'équipe	Hj	1	H	8	3 000	24 000			
Ouvrier Spécialisé	Hj	3	H	6	2 500	45 000			
Chauffeurs (engin et camion)	Hj	4	H	8	2 000	64 000			
Conducteur niveleuse	Hj	1	H	5	1 000	5 000			
Mancœuvre	Hj	10	H	8	1 250	100 000			
Total Main d'œuvre									262 000
2-Matériaux									
Pavé en pierre naturel	U	120	U	12000	350		4 200 000		
Sable de pose	m ³	0,05	m ³	5	25 000		125 000		
Caillasse 40/70	m ³	1	m ³	3	40 000		120 000		
Ciment CEM1(42,5)	kg	17	Kg	510	600		306 000		
Total Matériaux									4 751 000
3-Matériels									
Outillage	Fft	1	Fft	1	30 000			30 000	
Camion benne (15 tonnes)	U	4	H	4	45 000			720 000	
Niveleuse	U	1	H	5	150 000			750 000	
Compacteur mixte (12 tonnes)	U	1	H	4	90 000			360 000	
Camion-citerne (8000 Litre)	U	1	H	4	45 000			180 000	
Motopompe	h	1	H	1	2 000			2 000	
Total Matériels									2 042 000
Total des déboursés secs (DS)									7 055 000

Annexe 4 : DÉTAILS DU CALCUL DES INVESTISSEMENTS TOTAUX

Tableau A.32 : Clé de répartition des investissements

Désignation	Monnaie locale (en Ar)	Devise (en Ar)
Terrain domanial	100 %	
Equipements et matériels de carrière	25 %	75 %
Equipements et concassage	25 %	75 %
Matériels roulant	40 %	60 %
Frais de montage et de transport	100 %	
Bâtiments et construction	100 %	
Frais du personnel	100 %	
Matières consommables	40 %	60 %
Pièces de rechanges	40 %	60 %
Ouvriers	100 %	
Utilités	90 %	10 %

I. Investissements fixes**I.1. Terrain domanial**

Ici, on prend le cas de la carrière N°3 d'Ambatomitsangana. Le terrain domanial est évalué à 1 Ha et en monnaies locales 10 000 000 Ar.

I.2. Equipements et engins d'exploitations

Tableau A.33 : Investissement en équipement pour l'exploitation de la carrière

Désignation	Quantité	Coût unitaire (Ar)	Coût total (Ar)	Monnaie locale (Ar)	Devise (Ar)
Machine à forer (ATLAS COPCO type ROC 203 PC)	01	140 000 000	140 000 000	35 000 000	105 000 000
Compresseur mobile de chantier (ATLAS COPCO type XAHS236)	01	105 000 000	105 000 000	26 250 000	78 750 000
Marteaux brise-roches H 100S	01	65 142 000	65 142 000	16 285 500	48 856 500
Motopompe	01	11 000 000	11 000 000	2 750 000	8 250 000
Exploseur	01	14 520 000	14 520 000	3 630 000	10 890 000
Ohmmètre	01	6 050 000	6 050 000	1 512 500	4 537 500
Ligne de tir (rouleau de 200 m)	02	250 000	500 000	125 000	375 000
Sous total 1			342 212 000	85 553 000	256 659 000

Source : Société Henri Fraise et Madécasse

I.3. Equipement de concassage

Tableau A.34 : Investissement en équipements pour l'unité de concassage

Désignation	Quantité	Coût total (Ar)	Monnaie locale (Ar)	Devise (Ar)
Unité de concassage	01	437 254 000	109 313 500	327 940 500
Groupe électrogène 500 KVA	01	143 100 000	35 775 000	107 325 000
Chargeuses 950 H	01	211 890 000	52 972 500	158 917 500
Sous total 2		792 244 000	198 061 000	594 183 000

Source : Société Henri Fraise et Madécasse

I.4. Matériels roulants

Tableau A.35 : Investissement des matériels roulants

Désignation	Quantité	Coût unitaire (Ar)	Coût total (Ar)	Monnaie locale (Ar)	Devise (Ar)
Camion benne 15T	02	159 720 000	319 440 000	127 776 000	191 664 000
Voiture 4x4	01	73 810 000	73 810 000	29 524 000	44 286 000
Sous total 3			393 250 000	157 300 000	235 950 000

Source : Entreprise MATERAUTO

I.5. Frais de montage et de transport

Ce frais est estimé à 10% de la somme du coût total des trois sous total précédemment

Tableau A.36 : Frais de montage et de transport

Rubriques	Coût total (Ar)
Sous total 1	342 212 000
Sous total 2	792 244 000
Sous total 3	393 250 000
Total	1 527 706 000
10% Total	152 770 600

I.6. Investissement en constructions

- Bâtiment administratif (en maçonnerie) :

Bureau du directeur général 64,5 m²

Bureau du chef comptable, responsable de vente et secrétaire de direction 30 m²

Bureau de l'ingénieur, direction commercial et administratif, directeur d'exploitation 30 m²

Le coût d'un m² habitable est de 122 500 Ar, le bâtiment coûte alors 15 260 000 Ar

- Logement :

Surface d'un logement 81,63 m², le coût s'élevé à 10 000 000 Ar

- Dépôt d'explosif et ses accessoires : (en béton armé)

4,26 m² x 2 000 000 = 8 520 000 Ar

5- Atelier mécanique et garage :

56,5 m² x 450 000 = 25 450 000 Ar

- Magasin de stockage :

33,3 m² x 450 000 = 15 000 000 Ar

- Réservoir d'eau et de gasoil :

11,25 m³ x 400 000 = 4 500 000 Ar

- Silos :

28,5 m³ x 4 x 105 000 = 12 000 000 Ar

Tableau A.37 : Investissement en constructions

Désignation	Quantité	Coût unitaire (Ar)	Coût total (Ar)
Bureau	01	15 260 000	15 260 000
Logement (directeur, ingénieur, gardien)	03	10 000 000	30 000 000
Dépôts d'explosif et ses accessoires	01	8 520 000	8 520 000
Atelier mécanique et garage pour les engins	01	25 450 000	25 450 000
Silos avec quatre compartiments	01	12 000 000	12 000 000
Magasin de stockage	01	15 000 000	15 000 000
Réservoirs (eau et gasoil)	01	4 500 000	4 500 000
Bassin de décantation des eaux usées	01	6 000 000	6 000 000
Réhabilitation d'accès et aménagement	Lot 1	25 000 000	25 000 000
Total			141 730 000

II. Investissements en fonds de roulements

II.1. Frais du personnel

a- Salaire

- Secteur non agricole
- Point d'indice du salaire = 0,6200
- Volume horaire mensuel total= 195h

Tableau A.38 : Frais du personnel

Responsabilités	Catégorie professionnelle	Nombre	Indice	Salaire mensuel total	Salaire annuel total
Directeur général	HC	1		1 500 000	18000000
Directeur administratif et financière	HC	1		980 000	11760000
Directeur d'exploitation	HC	1		800 000	9600000
Ingénieur des Mines	HC	1		790 250	9483000
Chef personnel et comptable	OP3	1	2370	210 384	2524608
Chef concasseur	OP3	1	2370	210 384	2524608
Responsable maintenance	OP3	1	2370	210 384	2524608
Conducteurs d'engins	OP2B	5	2105	934 470	11213640
Secrétaire informaticienne	OP2A	1	1780	158 004	1896048
Facturier	OP1B	1	1570	139 374	1672488
Mécanicien	OP1B	1	1570	139 374	1672488
Chauffeurs (arroseur et 4x4)	OP1A	2	1430	253 908	3046896
Mineurs/foreur	OP1A	4	1430	507 816	6093792
Magasinier	OS3	1	1310	116 316	1395792
Pointeurs	OS2	2	1220	216 648	2599776
Ouvriers	OS1	2	1145	203 256	2439072
Manœuvres	M2	5	1080	479 520	5754240

Gardiens	M2	2	1080	191 808	2301696
Planton	M1	1	1020	90 558	1086696
Sous totaux		34		8 132 454	97 589 448

Source: Ministère de la fonction publique, du travail et des lois sociales décret n°2016-232 applicable à compter du 17 février 2016

b- Charges sociales

On a considéré dans les charges sociales, les salaires annuels pour évaluer les frais de l'OSTIE et du CNAPS tels que :

C.N.A.P.S : $97\,589\,448 \times 13\% = 12\,686\,628,2$ Ar

O.S.T.I.E : $97\,589\,448 \times 5\% = 4\,879\,472,4$ Ar

Total du charges sociales Cs= 17 566 100,6 Ar

c- Frais du personnel FP

FP= $97\,589\,448 + 17\,566\,100,6 + 1\,120\,000 = 116\,275\,548,6$

Le frais du personnel est estimé à 116 276 000 Ar

II.2. Coût de fabrication de pavés

Le coût de fabrication d'un pavé de dimension 20x14x14 cm est évalué à 90 Ar. Ainsi, pour une production annuelle de 1 764 m³ de pavés de l'ordre 450 000 unités, on estime leur valeur à 40 500 000 Ar.

II.3. Matériels consommables de la carrière

➤ Calcul de la consommation du taillant et du tube : Ctb

Lt : durée de vie moyenne d'un taillant = 1200 m

Lb : durée de vie moyenne d'un tube = 600 m

Pt : prix d'un taillant = 1 912 500 Ar

Pb : prix d'un tube = 1 173 000 Ar

L : longueur total du trou foré pour une année = 9 308 m

$$Ctb = \frac{L}{Lt} \cdot Pt + \frac{L}{Lb} \cdot Pb$$

Application numérique

$$Ctb = 33\,033\,495 \text{ Ar}$$

➤ Calcul de la consommation d'explosif Cex :

PNF : poids de Nitrate fuel consommé pour une année = 11833,5 kg

PE : poids d'Emulstar consommé pour une année = 3210,6 kg

$$Cex = \frac{11000 \cdot 11833,5 + 88000 \cdot 3210,6}{5} = 82\,540\,920 \text{ Ar}$$

➤ Calcul du coût des accessoires au tir : CA

LC : Longueur du cordeau 12g consommé pour une année = 14000 m

ND : Nombre de détonateurs consommés pour une année = 2547

$$CA = \frac{10400 \cdot 14000 + 47000 \cdot 2547}{5} = 53\,069\,632 \text{ Ar Ar}$$

Tableau A.39 : Matériels consommables

Désignation	Coût total (Ar)	Monnaie locale (Ar)	Devise (Ar)
Taillant et tige	33 033 495	13 213 398	19 820 097
Outils pour la fabrication de pavé	3 578 000	1 431 200	2 146 800
Explosifs	82 540 920	33 016 368	49 524 552

Détonateur et cordaux détonnant	53 069 632	21 227 853	31 841 780
TOTAL	172 222 047	68 888 819	103 333 229

Source : sociétés Henri Fraise et Madécasse)

II.4. Pièces de rechanges et fourniture d'entretien

On estime qu'elles représentent 5% des investissements en équipements et matériels 5% [342 212 000+792 244 000+393 250 000] = 76 385 300 Ar

Tableau A.40 : Pièces de rechanges et fourniture d'entretien

Désignation	Coût total (Ar)	Monnaie locale (Ar)	Devise (Ar)
Pièces de rechanges et fourniture d'entretien	76 385 300	30 554 120	45 831 180

II.5. Utilités

➤ Carburant

Soient :

CC : la consommation annuelle du carburant :

CM1 = Consommation moyenne par heure de gasoil pour les engins.

CM1 = 15 litre/h

CM2 = Consommation moyenne par heure de gasoil pour les véhicules et tous les appareils motorisés

CM2 = 5 litre/h

NA1: nombre d'engins = 4 (2 camions benne de 15 tonnes, 1 voiture de terrain 4x4, 1 camion-citerne)

NA1 : Le nombre d'appareil motorisé = 6 (1 motopompe, 1 compresseur mobile de chantier, 1 groupe électrogène, 1 machine à forer, 1 explosif, 1 chargeuse)

NH = nombre d'heure de fonctionnement des appareils pour une année :

NH = 8 x 300 = 2 400 heures

CU = coefficient d'utilisation moyenne estimé à 70 %

Application numérique :

CC = [(15 x 4) + (5 x 6)] x 2 400 x 0,7 = 151 200 litres

➤ Energie électrique

Selon les tarifs non résidentiels de la JIRAMA, on considère le tarif 22 avec :

– PU de la consommation ----- : 180 Ar / kWh

– Redevance ----- 6 000 Ar x 12 : 72 000 Ar

– PU de la puissance souscrite ----- : 2 300 Ar / kW

Soit :

Ce : la consommation annuelle d'électricité :

CT : Consommation moyenne par heure dans l'unité de concassage qui est égale à 135,5 kW d'après les caractéristiques des appareils de concassage

Cg : Consommation par heure pour l'éclairage, estimé à 5 kW

Cr : Consommation moyenne par heure pour la poste de soudure et l'entretien des machines, estimé à 7,5 kW

NH = nombre d'heure de fonctionnement des appareils pour une année

NH = 8 x 300 = 2 400 heures

CU = coefficient d'utilisation moyenne estimé à 80 %

Application numérique :

$$C_e = (135,5 + 5 + 7,5) \times 2400 \times 0,80 = 284\,160 \text{ kW}$$

Ainsi, la puissance souscrite P_s est donnée par la formule

$$U : \text{Tension} : 380 \text{ V}$$

$$I : \text{Intensité prescrit} : 500 \text{ A}$$

$$PS = 380 \times 500 = 190\,000 \text{ VA} \approx 190 \text{ kW}$$

D'où, la consommation annuelle totale en électricité est :

$$CE = (284\,160 \times 180) + (190 \times 2\,300) + 72\,000 = 51\,657\,800 \text{ Ar}$$

Tableau A.41 : Utilités

Désignation	unité	quantité	Coût unitaire (Ar)	Coût total (Ar)	Monnaie locale (Ar)	Devise (Ar)
Carburant	litre	151 200	2 000	302 400 000	272 160 000	30 240 000
Lubrifiant 3% [St1+St2+St3]				1 527 706 000	1 374 935 400	152 770 600
Energie électrique	kW	278 500	180	51 657 800	46 492 020	5 165 780
Total				1 881 763 800	1 693 587 420	188 176 380

Annexe 5 : ASPECT FINANCIER

I. Tableaux de remboursements des emprunts

Tableau A.42 : Tableau d'emprunt local « El » (22 %)

Année	Capital au début en Ar	Remboursement en Ar		
		Capital	Intérêt	Total
-2	3 129 278 859		688 441 349	688 441 349
-1	3 129 278 859		688 441 349	688 441 349
0	3 129 278 859		688 441 349	688 441 349
1	3 129 278 859	625 855 772	688 441 349	1 314 297 121
2	2 503 423 087	625 855 772	550 753 079	1 176 608 851
3	1 877 567 315	625 855 772	413 064 809	1 038 920 581
4	1 251 711 543	625 855 772	275 376 539	901 232 311
5	625 855 772	625 855 772	137 688 270	763 544 042
Total		3 129 278 859	4 130 648 093	7 259 926 953

Tableau A.43 : Tableau d'emprunt extérieur « Ed » (15 %)

Année	Capital au début en Ar	Remboursement en Ar		
		Capital	Intérêt	Total
-2	221 040 538		33 156 081	33 156 081
-1	221 040 538		33 156 081	33 156 081
0	221 040 538		33 156 081	33 156 081
1	221 040 538	22 104 054	33 156 081	55 260 135
2	198 936 484	22 104 054	29 840 473	51 944 527
3	176 832 430	22 104 054	26 524 865	48 628 919
4	154 728 376	22 104 054	23 209 256	45 313 310
5	132 624 322	22 104 054	19 893 648	41 997 702

6	110 520 268	22 104 054	16 578 040	38 682 094
7	88 416 214	22 104 054	13 262 432	35 366 486
8	66 312 160	22 104 054	9 946 824	32 050 878
9	44 208 106	22 104 054	6 631 216	28 735 270
10	22 104 052	22 104 054	3 315 608	25 419 662
Total		221 040 540	281 826 686	502 867 226

II. Détails du calcul de compte d'exploitation prévisionnelle

• Production :

- première année=80 %
- deuxième année=90 %
- à partir de la troisième année=100 %

• ventes (hors taxe) à 4 117 339 Ar/m³

• consommation intermédiaire (CI)

- pièces de recharge = 76 385 300 Ar
- matières consommables = 172 222 047 Ar
- utilités = 1 881 763 800 Ar
- coût de fabrication de pavés = 40 500 000 Ar

• autres (travaux, fourniture et services extérieurs : assurance, entretien et réparation, frais divers de gestion) considéré à 5 % du CI soit 108 543 557 Ar

On a alors CI = 2 279 414 704 Ar

• Frais du personnel FP= 116 276 000 Ar

• Coût d'exploitation CE=CI+FP= 2 395 690 704 Ar

• Coût de production CP=CE+A

• Résultat brut d'exploitation RBE =Ventes – CE

• Frais financiers Ffi = *intérêts intercalaire + intérêts des El + intérêts des Ed*

• Résultat net avant impôts RNAI = RBE – Ffi

• Impôts = 35 % du RNAI

• Résultat net RN =RNAI – impôts

• Cash flow brut =RBE + A

• Cash flow net =RN + A

Annexe 6 : ESSAIS LABORATOIRES

1. Masse volumique apparente

✓ Mode opératoire

- laver l'échantillon puis le sécher à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$;
- le laisser refroidir et le peser, soit Ms sa masse sèche ;
- prendre une éprouvette contenant d'un certain volume d'eau bien précisé, soit Vi son volume ;
- immerger l'échantillon dans cette éprouvette, agiter légèrement l'échantillon pour éliminer les bulles d'air ;

- lire le volume de l'eau dans cette éprouvette contenant d'échantillon, soit V_f son volume

La masse volumique de l'échantillon se calcule par la formule suivante :

$$a = \frac{M_s}{V_f - V_i}$$

- Plus a est élevé, plus la pierre est compacte et moins elle est poreuse

2. Porosité

✓ Mode opératoire

- laver l'échantillon sur puis le sécher à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$
- le laisser refroidir et le peser, soit M_s sa masse sèche
- avec une trompe à eau, faire une désorption sous vide pendant 30 minutes, suivie d'une immersion d'échantillon dans l'eau pendant 27 heures à 20°C à la pression atmosphérique
- peser l'échantillon après l'avoir épongé, soit M_f sa masse qui est constituée à la fois de roches et de l'eau ;

La différence entre M_f et M_s nous donne la masse de l'eau dans les pores (air) de la roche. En connaissant la masse volumique de l'eau qui est 1000 g/dm^3 , on peut en déduire le volume V_p des pores dans l'échantillon.

Le pourcentage de la porosité se calcule d'après la formule suivante :

$$n = \frac{V_p}{V_r} * 100$$

Où V_r = volume de l'échantillon

Le pourcentage de pores donne des indications plus précises sur le caractère ouvert ou fermé de la structure. Ces différences dépendent, par exemple, de la profondeur d'extraction et du degré de métamorphose subi par la roche.

Remarque : Une roche non poreuse est forcément imperméable mais une roche poreuse n'est pas forcément perméable.

3. Densité apparente

Elle reflète le degré de compacité du matériau et permet d'évaluer la masse pour un volume donné.

$$\rho = \frac{a}{1 + n}$$

4. Compacité C du matériau

$$C = 1 - n$$

5. Degré de fissuration

$$Df = \frac{100 - Ic - 1,4n}{100 - 1,4n}$$

Annexe 7 : PHOTOGRAPHIES DES LAMES MINCES

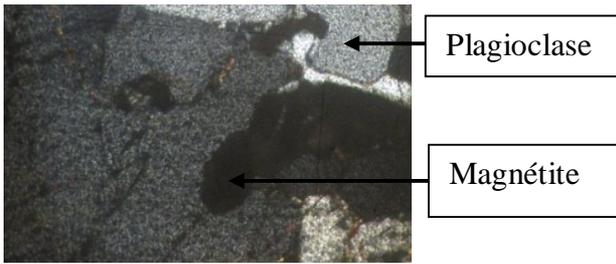


Photo A.23 : Lame mince N°1, LP x25

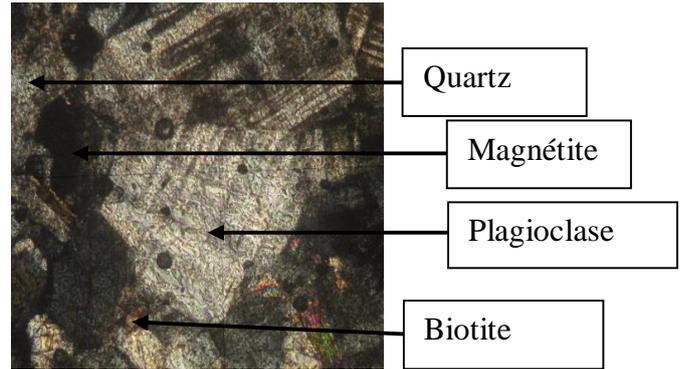


Photo A.24 : Lame mince N°2, LP x25

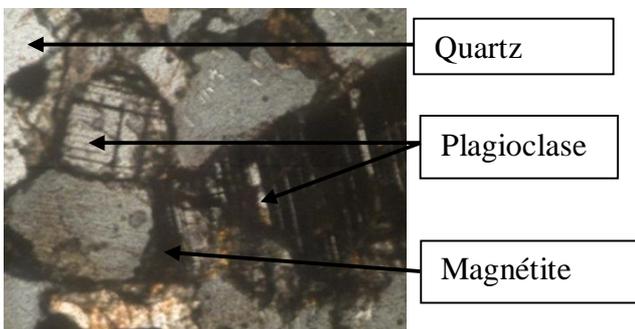


Photo A.29 : Lame mince N°3, LPx25

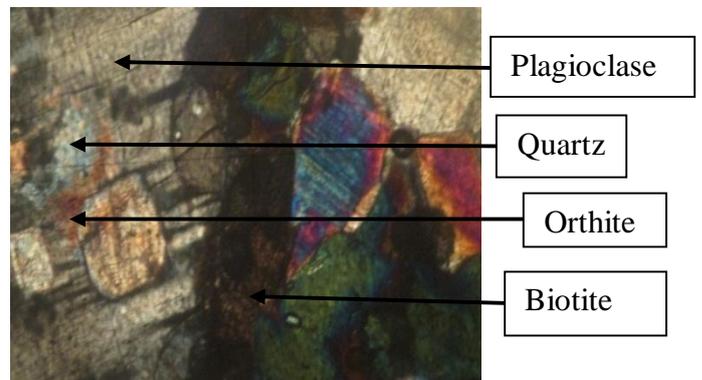


Photo A.26 : Lame mince N°4, LPx25

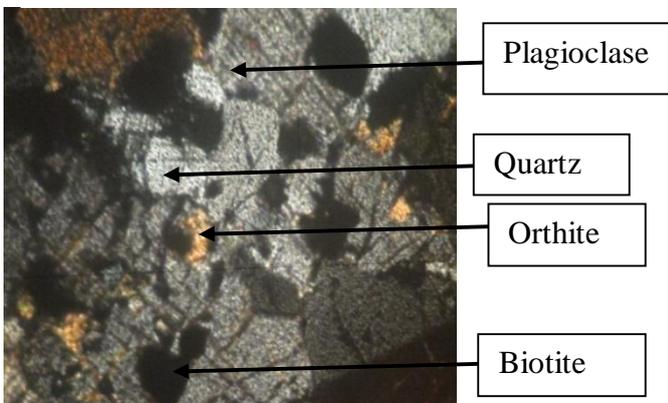


Photo A.28 : Lame mince N°5, LPx25

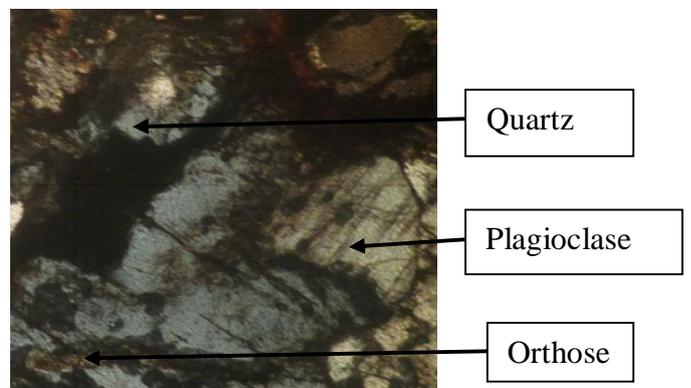


Photo A.25 : Lame mince N°6, LPx25

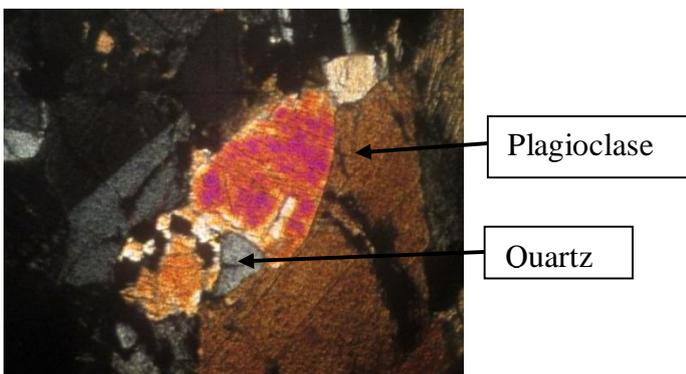


Photo A.27 : Lame mince N°7, LPx25

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
GLOSSAIRE.....	iii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	iii
LISTE DES CARTES	iv
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES ANNEXES	viii
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : CADRE DU PROJET ET MÉTHODOLOGIE	
Chapitre I : GÉNÉRALITÉS SUR LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION DES ROUTES ET D'EMPIERREMENT	3
I.1. Cycle des roches	3
I.2. Eléments pétrographiques des roches à Madagascar	4
I.2.1. Roches magmatiques	4
I.2.2. Roches métamorphiques	8
I.2.3. Roches sédimentaires	9
I.2.4. Matériaux de construction des routes et d'empierrement	10
I.3. Généralités sur les ressources en granulats naturels	11
I.3.1. Granulats pour routiers	11
I.3.2. Techniques de production des granulats	11
I.3.3. Carrières.....	12
Chapitre II : ANALYSE DES SITUATIONS TECHNIQUES DU PROJET DE RÉHABILITATION DES PISTES A MADAGASCAR.....	13
II.1. Etat actuel des pistes rurales et suburbaines de Madagascar.....	13
II.2. Analyse des problèmes de développement socio-économique de populations rurales et suburbaines	14
II.3. Proposition des solutions pour résoudre le problème	15
II.3.1. Solutions envisageables.....	15
II.3.2. Solutions durables et applicables dans le cas actuel du pays.....	15
II.4. Description et ordre hiérarchique du projet.....	16
II.4.1. Description technique du projet	16
II.4.2. Ordre hiérarchique des zones ciblées	17

II.5. Evaluation des impacts et avantages du projet	18
II.5.1. Au niveau social.....	18
II.5.2. Du point de vue économique	18
II.5.3. Impact financier	19
II.5.4. Avantages techniques du projet	19
Chapitre III : MÉTHODOLOGIE DE LA RECONNAISSANCE DES GISEMENTS ROCHEUX EN CONSTRUCTION ROUTIÈRE.....	20
III.1. Méthodologie générale	21
III.1.1. Objectifs	21
III.1.2. Eléments de choix.....	21
III.1.3. Recherches bibliographiques.....	21
III.1.4. Recherches sur le terrain	21
III.1.5. Essais au laboratoire	22
III.1.6. Rapport.....	22
III.2. Etapes de la reconnaissance des gisements rocheux	22
III.2.1. Reconnaissance Préliminaire.....	22
III.2.2. Avant-Projet Sommaire.....	24
III.2.3. Avant-Projet Détaillé	27
III.2.4. Résumé et Conclusion.....	29
DEUXIEME PARTIE : CAS DES PISTES RELIANT ANTANIFOTSY – TSARAHONENANA SAHANIVOTRY ET ANTSIRABE – SOANINDRARINY	
Chapitre IV : SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET ASPECT GÉOLOGIQUE DU PROJET	32
IV.1. Situation technique du projet	32
IV.2. Situation géographique du projet	32
IV.3. Cadre physique	34
IV.3.1. Pédologie.....	34
IV.3.2. Hydrographie et climatologie.....	35
IV.4. Contexte géologique.....	36
IV.4.1. Phénomène de métamorphisme	36
IV.4.2. Tectonique.....	37
IV.4.3. Géologie régionale.....	37
Chapitre V : ÉTUDE MONOGRAPHIQUE DES COMMUNES CONCERNÉES ET ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES CARRIÈRES EXISTANTES AUX ALENTOURS DE LA PISTE A REHABILITER.....	40
V.1. COMMUNE RURALE AMBATOLAHY	40
V.1.1. Historique.....	40
V.1.2. Situation des deux carrières.....	41

V.1.3. Aspect socio-économique.....	42
V.1.4. Contexte géologique	44
V.2. COMMUNE RURALE AMBATOMENA.....	46
V.2.1. Situation des deux carrières.....	46
V.2.2. Aspect socio-économique.....	48
V.2.3. Contexte géologique	49
V.3. COMMUNE RURALE SOANINDRARINY.....	51
V.3.1. Situation des carrières	51
V.3.2. Aspect socio-économique.....	53
V.3.3. Contexte géologique	55
V.4. COMMUNE RURALE TSARAHONENANA SAHANIVOTRY	57
V.4.1. Situation de la carrière	57
V.4.2. Aspect socio-économique.....	58
TROISIEME PARTIE : CADRE D’EXPLOITATION ET ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE	
Chapitre VI : ÉVALUATION DE LA RÉSERVE ET DÉVELOPPEMENT DES CARACTERISTIQUES DU GISEMENT	62
VI.1. Estimation volumétrique de roches massives pour chaque carrière	62
VI.1.1. Présentation du Logiciel Covadis	62
VI.1.2. Présentation du logiciel Surfer	63
VI.1.3. Méthode d’évaluation de la réserve	64
VI.1.4. Présentation des résultats obtenus pour chaque carrière	67
VI.1.5. Tableau récapitulatif	71
VI.2. Caractéristiques du gisement	73
VI.2.1. Essais laboratoires	73
VI.2.2. Confection de 7 lames minces	74
VI.2.3. Essais mécaniques	76
VI.2.4. Tableaux résumant les caractéristiques du gisement	77
VI.2.5. Evaluation de la performance des roches	78
Chapitre VII : PHASES TECHNIQUES DE L’EXPLOITATION DES CARRIÈRES.....	80
VII.1. Aspect général de l’exploitation	80
VII.1.1. Généralités	80
VII.1.2. Enjeux sur la réglementation liée à l’exploitation des carrières.....	81
VII.1.3. Fonctionnement des carrières.....	81
VII.1.4. Critères d’exploitabilité du gisement.....	81
VII.1.5. Méthodes et outils d’exploitation artisanale	82
VII.2. Programme d’exploitation.....	83

VII.2.1. Mode d'exploitation	83
VII.2.2. Méthode d'exploitation.....	83
VII.2.3. Critère du choix de la méthode d'exploitation	85
VII.2.4. Procédé d'exploitation minière	86
VII.2.5. Fin de l'exploitation et remise en état	87
VII.2.6. Rythme de production	87
VII.2.7. Organisation du personnel	88
Chapitre VIII : ÉTUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	88
VIII.1. Généralités sur l'étude d'impact.....	88
VIII.2. Etat initial des sites	89
VIII.3. Matrice des impacts environnementaux.....	89
VIII.4. Justification du choix du projet	93
VIII.5. Remise en état du site	94
QUATRIEME PARTIE : CARACTERISTIQUES DU PAVAGE ET ÉVALUATION ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE	
Chapitre IX : CARACTERISTIQUES DES PAVÉS ET ÉVALUATION DU COÛT DE PROJET DE PAVAGE	95
IX.1. Caractéristiques du pavé en roche naturelle	95
IX.2. Détermination du volume des pavés en fonction de longueur de la couche de roulement	96
IX.3. Estimation budgétaire du coût de pavage	96
IX.4. Comparaison économique des coûts entre pavage et bitumage	97
Chapitre X : ÉVALUATION ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE DE L'EXPLOITATION	97
X.1. Les investissements totaux.....	98
X.1.1. Investissements fixes.....	98
X.1.2. Investissements en fonds de roulements	99
X.2. Aspect financier	99
X.2.1. Identification du promoteur de projet	100
X.2.2. Tableau de provenance des investissements.....	100
X.2.3. Source de financement	101
X.2.4. Tableau de remboursement des emprunts	102
X.2.5. Intérêts intercalaires	102
X.2.6. Tableau des amortissements	102
X.2.7. Détermination du prix de vente prévisionnel.....	102
X.2.8. Comptes d'exploitations prévisionnelles.....	104
X.3. Critères de rentabilités	105
X.3.1. Taux de marge	105
X.3.2. Taux de rentabilité	105

X.3.3. Délai de récupération	105
X.3.4. Autonomie financière.....	106
X.3.5. Calcul du point mort ou seuil de rentabilité	106
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	108
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES	
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	I
RÉFÉRENCES WEBOGRAPHIQUES.....	II
ANNEXES	
Annexe 1 : GRANULATS	III
Annexe 2 : SISMIQUE REFRACTION ET RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE.....	IV
Annexe 3 : SOUS DÉTAILS DES PRIX DE FOURNITURE ET DE POSE PAVÉS	V
Annexe 4 : DÉTAILS DU CALCUL DES INVESTISSEMENTS TOTAUX.....	VI
Annexe 5 : ASPECT FINANCIER.....	XI
Annexe 6 : ESSAIS LABORATOIRES.....	XII
Annexe 7 : PHOTOGRAPHIES DES LAMES MINCES.....	XIII

Auteur : ANDRINIAINA Josoa

Contact : +261 33 06 105 00

Email : josoa.andri@gmail.com

Adresse : Lot IPE 12 Soavinimerina Ambohimanga Rova



RESUMÉ

Ce présent mémoire essaye de mettre en valeur les pierres naturelles en tant que matériaux indispensables pour le projet de remise en état des pistes rurales et suburbaines par la méthode de pavage. L'objectif est à la fois de désenclaver rapidement ces zones et de contribuer au développement socio-économique de Madagascar. Afin d'avoir plus d'idées sur un gisement rocheux existant aux alentours des pistes à réhabiliter, cet ouvrage nous permet de situer le gisement, de déterminer les caractéristiques et qualités géotechniques et d'estimer les quantités du gisement. On utilise le logiciel Covadis pour l'estimation de volume des roches massives de chaque carrière. Pour se faire, il faut d'abord élaborer un modèle numérique du terrain à partir des levés GPS. Ce dernier a été fait en se référant par des points connus. Suite aux travaux effectués sur les 7 carrières, on a vu que la carrière N°3 a un volume exploitable de 219 130,017 m³, qui étant plus adéquate que les autres. Du côté environnemental, les impacts négatifs du projet d'exploitation sont mineurs par rapport aux attendus bénéfiques. L'évaluation économique et financière du projet a montré que le projet est jugé rentable.

Mots-clés : carrières, volume, développement, pistes, pierres, essais, désenclavement, pavage

ABSTRACT

This dissertation tries to enhance the natural stones as indispensable materials for the farming and suburban tracks restoration project by paving method. The purpose is to open these areas for a long time and to contribute to the socioeconomic development of Madagascar. In order to get more ideas on a rocky deposit nearby the tracks to be rehabilitated, this work allows us to situate the deposit, to determine the features and geotechnics qualities and to estimate deposit's quantities. The volume estimation of the solid rocks for each career was made gotten by using Covadis software. To do this, it's necessary to elaborate a numeric model of the land from the GPS survey. That was done by referring to known points. Following the works done on the 7 quarry, we noted that the quarry N°3 has 219 130,017 m³ exploitable volume which is appropriate than the others. In the environmental side, the negative impacts of the exploitation project are minor in related to beneficial waits. The project's economic and financial assessment showed that it was judged profitable.

Key words: quarry, quantity, development, tracks, stone, tests, opening up, paving

Titre : « ÉTUDES DES GISEMENTS ROCHEUX POUR LE PROJET DE REMISE EN ÉTAT DES PISTES PAR LA MÉTHODE DE PAVAGE EN PIERRES NATURELLES »

Rapporteurs : RAKOTOARIMANANA Pamphile Julien Andrianatoandro
ANDRIAMIFIDY Onimilanto Bob

Nombre de pages : 108

Nombre de chapitres : 10

Nombre de tableaux : 41

Nombre de figures : 19

Nombre de cartes : 04

Nombre de photographiques : 29