

# SOMMAIRE

<b>Remerciements</b>	<b>i</b>
<b>Sommaire</b>	<b>ii</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>iv</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>v</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>vi</b>
<b>Glossaires</b>	<b>vii</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>PREMIERE PARTIE : GENERALITES</b>	
<b>I.1 Principales composantes de l'étude</b>	<b>3</b>
I.1.1 MECIE	3
I.1.2 Office National pour l'Environnement	5
I.1.3 Société Madagascar Aluminium	7
<b>I.2 Localisation de la zone d'étude</b>	<b>9</b>
<b>I.3 Géologie</b>	<b>9</b>
I.3.1 Géologie de Madagascar	9
I.3.2 Géologie de la région de Bealanana	16
<b>I.4 Système environnemental</b>	<b>22</b>
I.4.1 Environnement biophysique	22
I.4.2 Environnement humain	24
<b>I.5 Bauxite</b>	<b>24</b>
I.5.1 Formation de la bauxite	25
I.5.2 Bauxite de la zone d'étude	26
<b>DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES</b>	
<b>II.1 Matériels</b>	<b>28</b>
<b>II.2 Méthodologie</b>	<b>28</b>
II.2.1 Objectifs et résultats escomptés	28
II.2.2 Approche méthodologique	29

## **TROISIEME PARTIE : RESULTATS**

<b>III.1 Analyse Géochimique de la Bauxite</b>	<b>32</b>
III.1.1 Résultats d'analyse dans le périmètre minier	32
III.1.2 Résultats des travaux antérieurs	34
<b>III.2 Activités de recherche de la Société Madagascar Aluminium</b>	<b>36</b>
III.2.1 Phase préparatoire et d'installation	36
III.2.2 Phase de recherche	41
III.2.3 Phase de fermeture	44
<b>III.3 Empreintes minières</b>	<b>45</b>
<b>III.4 Analyse des impacts</b>	<b>47</b>
III.4.1 Identification des impacts	47
III.4.2 Evaluation de l'importance des impacts	49
<b>III.5 Prescriptions environnementales</b>	<b>52</b>

## **QUATRIEME PARTIE : DISCUSSIONS**

<b>IV.1 Interprétation des analyses de la bauxite</b>	<b>58</b>
<b>IV.2. Analyse FFOM</b>	<b>60</b>
IV.2.1 Forces	60
IV.2.2 Faiblesses	60
IV.2.3 Opportunités	61
IV.2.4 Menaces	62

## **CONCLUSION**

### **Références bibliographiques**

### **Références webographiques**

## **ANNEXES**

Annexe I : Prescriptions diverses du CCE	I
Annexe II : Système MECIE	IV
Annexe III : Cadre juridique de l'étude	VII
Annexe IV : Répartition de la population par sexe et par âge	XI
Annexe V : Plan de gestion environnemental du projet	XII
Annexe VII : Illustrations diverses	XXII

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Le Processus MECIE	4
Tableau 2 : Coordonnées de la zone d'études	29
Tableau 3 : Liste des matériels	28
Tableau 4 : Pourcentage en $Al_2O_3$ et $Fe_2O_3$ contenu dans l'échantillon de bauxite	34
Tableau 5 : Résultats des analyses de bauxite dans la région d'Analavory par le service géologique en 1956	34
Tableau 6 : Analyse d'échantillons de bauxite dans le Sud d'Ampandrana	35
Tableau 7 : Coordonnées des nouvelles pistes	37
Tableau 8 : Coordonnées des puits (P), tranchées (T) et forages (F)	42
Tableau 9 : Impacts négatifs du projet de recherche minière	47
Tableau 10 : Code et valeur des critères d'impact	49
Tableau 11 : Matrice de l'importance des impacts négatifs	51
Tableau 12 : Evaluation de l'importance des impacts	51
Tableau 13 : Prescriptions environnementales	52

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Etablissement de l'ONE	6
Figure 2 : Carte de localisation de la zone d'étude et du périmètre minier	10
Figure 3 : Les grandes unités tectoniques de Madagascar	12
Figure 4 : Les domaines et sous domaines géologiques de Madagascar	13
Figure 5 : Groupes, Complexes et Suites du Domaine d'Antananarivo	15
Figure 6 : Carte géologique de la zone d'étude après la numérisation des feuilles S36, TU36, ST37	17
Figure 7 : Carte Géologique de la Région de Bealanana	21
Figure 8 : Relief caractéristique de la région de Bealanana	23
Figure 9 et 10 : Géomorphologie de la région d'Andranovato-Bevalala	23
Figure 11 : Paysage d'Andranovato-Bevalala avec des pieds d'Anjavidy	25
Figure 12 : Localisation des indices de bauxite à Analavory, Bealanana	27
Figure 14 : Organigramme de la méthodologie de l'étude sur la bauxite	29
Figure 15 : Organigramme de la méthodologie de gestion des empreintes minières	31
Figure 16 et 17 : Echantillon avant concassage (10) ; Echantillon à 80 $\mu$ (11)	32
Figure 18 : Sol bauxitique (recouvrant la majorité de l'aire d'étude de la Société Madagascar Aluminium	35
Figure 19 : Base vie de la Société Madagascar Aluminium à Andranovato-Bevalala	38
Figure 20 : Plan de masse de la base vie	38
Figure 21 : Carte des empreintes minières	46
Figure 22 : Zone proposée pour la recherche de bauxite	59

## LISTE DES ABREVIATIONS

**CCE** : Cahier de Charges Environnementales

**CR** : Commune Rurale

**CSE** : Comité de Suivi Environnemental

**CTE** : Comité Technique d’Evaluation

**DBO** : Demande Biochimique en Oxygène

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**DEE** : Direction Evaluation Environnementale

**DREEF** : Direction Régionale de l’Environnement, de l’Ecologie et des Forêts

**EIE** : Etude d’Impact Environnemental

**EM** : Empreinte Minière

**EPIC** : Etablissements Publics Industriel et Commercial

**FFOM** : Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces

**FTM** : Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara

**MEC** : Mise en conformité

**MECIE** : Mise En Compatibilité des Investissements avec l’Environnement

**MES** : Matière en suspension

**OMH** : Office Malgache des Hydrocarbures

**ONE** : Office National pour l’Environnement

**PAPs** : Populations affectées par le Projet

**PEE-RIM** : plan d'engagement environnemental pour les opérations en vertu d'un permis R d'impact minimal

**PR** : Permis de Recherche

**PREE** : Programme d’Engagement Environnemental

**RN** : Route Nationale

**SG** : Service Géologique

**SQD** : Shisto-Quartzo-Dolomie

**TdR** : Termes de référence

**TBE** : Tableau de Bord Environnemental

**UEIE** : Unité d’Etude d’Impact Environnemental

## GLOSSAIRE

**Cahier de Charges Environnementales :** Document à portée juridique (composé d'articles), annexé à l'acte administratif (Permis Environnemental ou Certificat de Conformité), qui définit les engagements du promoteur dans le cadre des dispositions à prendre pour le suivi environnemental de ses activités.

**Comité Technique d'Evaluation :** Comité chargé de l'évaluation des dossiers d'EIE ou de MEC/EIE, et d'évaluation des dossiers d'audit environnemental prévu par le décret MECIE.

**Etude d'Impact Environnemental :** Une forme de la MECIE qui consiste en l'analyse scientifique et au préalable des impacts potentiels prévisibles d'une activité donnée sur l'environnement, et en l'examen de l'acceptabilité de leur niveau et des mesures permettant d'assurer l'intégrité de l'environnement biophysique et humain.

**Permis Environnemental :** Acte administratif délivré par l'ONE au promoteur après évaluation favorable de son dossier d'Etude d'Impact Environnemental par le Comité Technique d'Evaluation. Le démarrage proprement dit d'un projet est conditionné par l'acquisition de cet acte administratif.

# INTRODUCTION

Conscient de la dégradation accentuée de l'environnement à Madagascar, la préservation de celui-ci devient une des priorités majeures de l'Etat Malagasy. Cette dégradation est d'origines diverses notamment les projets d'investissement minier.

Compte tenu de l'article 13 de la loi n°2015-003 portant Charte de l'Environnement Malagasy actualisée, « les projets d'investissements publics ou privés, qu'ils soient soumis ou non à autorisation ou à approbation d'une autorité administrative, ou qu'ils soient susceptibles de porter atteinte à l'environnement doivent faire l'objet d'une étude d'impact ». Le décret n°99-954 du 15 décembre 1999 relatif à la Mise en Compatibilité des Investissements avec l'Environnement (MECIE) modifié par le décret n°2004-167 du 03 février 2004, qui est un texte d'application de ladite Charte, fixe les règles et procédures à suivre par les investisseurs en vue de la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement, qui est un préalable à l'investissement.

Le décret MECIE mentionné supra et la loi n°99-022 du 19 août 1999 modifié par la loi n°2005-021 du 17 octobre 2005 portant code minier stipulent entre autres que les activités minières de type mécanisé et/ou affectant des sites sensibles sont soumises préalablement à des Etudes d'Impact Environnemental ou EIE. Par définition, l'Etude d'Impact Environnemental est une étude qui consiste en l'analyse scientifique et au préalable des impacts potentiels prévisibles d'une activité donnée sur l'environnement, et en l'examen de l'acceptabilité de leur niveau et des mesures permettant d'assurer l'intégrité de l'environnement. C'est un instrument de gestion dans le cadre des projets et des prises de décision.

Dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master au sein de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Mention Génie Géologique, parcours Géologie de l'Environnement et de l'Aménagement nous avons effectué un stage de trois mois au sein de l'Office National pour l'Environnement (ONE) concernant l'Etude d'Impact Environnemental de la Société Madagascar Aluminium. Le thème est intitulé « Gestion des empreintes minières de l'exploration de Bauxite par la Société Madagascar Aluminium dans la zone Andranovato-Bevalala ».

Cependant, comment identifier et localiser les empreintes minières dans la limite du périmètre minier, et aussi comment les gérer rationnellement afin d'asseoir un projet minier en accord avec l'environnement ?

Notre objectif à travers ce mémoire est l'élaboration d'un mode de gestion des empreintes minières des activités de recherche de la bauxite. La méthodologie utilisée est l'identification des

impacts physiques engendrés par les travaux, et proposer la gestion de ces derniers dans le but de préserver un équilibre entre les activités minières et le respect de l'environnement. Nous inclurons aussi dans ce mémoire une étude sur la bauxite de la région Andranovato-Bevalala.

Pour ce faire, ce mémoire se constituera en quatre parties. Nous entamons en premier lieu les généralités sur le cadre de l'étude, suivi de la méthodologie adoptée pour les empreintes minières et l'étude de la bauxite. En troisième point, nous présenterons les résultats et dernière partie la discussion.



# PREMIERE PARTIE : GENERALITES

## **I.1 PRINCIPALES COMPOSANTES DE L'ETUDE**

### **I.1.1 « MECIE »**

Faisant suite à la prise de conscience mondiale à la dégradation planétaire de l'environnement (émission de GES, pollution, réchauffement climatique, hausse du niveau de la mer, inondations, ...), les pays du monde entier se sont mis en accord de se réunir en haut sommet pour faire face à ces fléaux. La réunion s'est effectuée à Rio de Janeiro (Brésil) en 1992 où Madagascar était représenté par une forte délégation dirigée par son Président de la République.

Le haut sommet s'est achevé par l'établissement d'une convention appelée « Convention de RIO ». Madagascar a ratifié cette convention qui nous oblige par la suite à concevoir et mettre en œuvre un « système » de préservation de l'environnement face aux impacts des projets d'investissement : système MECIE.

Afin de fixer les règles et procédures à suivre en vue de la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement et de préciser la nature, les attributions respectives et le degré d'autorité des Institutions ou Organismes, l'Etat malgache avait élaboré le décret MECIE. La dernière version en vigueur de ce texte réglementaire est le décret n° 99-954 du 15 décembre 1999 relatif à la Mise en Compatibilité des Investissements avec l'Environnement, modifié par le décret n° 2004-167 du 03 février 2004.

#### **I.1.1.1 Décret MECIE**

Le décret n° 99-954 du 15 décembre 1999 relatif à la Mise en Compatibilité des Investissements avec l'Environnement (MECIE), modifié par le décret n° 2004167 du 03 février 2004 est un instrument juridique demandant aux investisseurs publics et privés de procéder à une étude d'impact environnemental, lorsque ces investissements sont susceptibles de porter atteinte à l'environnement.

Compte tenu de l'article 13 de la Charte de l'Environnement Malagasy actualisée stipulant que « Les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement doivent faire l'objet d'une étude d'impact, compte tenu de la nature technique, de l'ampleur desdits projets ainsi que de la sensibilité des milieux d'implantation... », le décret MECIE est un texte d'application de ladite Charte de l'Environnement.


### I.1.1.2 Processus MECIE

Ce processus comporte six étapes comme l'indique le tableau 1 :

**Tableau 1 : Le processus MECIE** (Source : Directive générale pour la réalisation d'étude d'impact environnemental)

Phase du projet	Procédure environnementale	Actions
Identification	Tri ( <b>Screening</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rassembler les informations pertinentes : nature technique, composantes de l'environnement, sensibilité du site</li> <li>- Connaître les exigences légales</li> <li>- Trier le projet : EIE ou PREE ou MEC ou rien</li> </ul>
Etude de Préfaisabilité	Cadrage ( <b>Scooping</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en évidence des enjeux environnementaux liés à la réalisation du projet</li> <li>- Elaboration des TdR en vue de la réalisation de l'étude d'impact</li> </ul>
Etude de faisabilité	Réalisation de l'étude d'impact	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etudier l'état T0 de l'environnement</li> <li>- Décrire le projet</li> <li>- Identifier et évaluer les impacts générés par le projet</li> <li>- Adopter des mesures environnementales</li> <li>- Elaborer le programme de suivi</li> </ul>
Dépôt dossier d'Etude d'Impact (EIE ou MEC) pour évaluation	Constitution du CTE Evaluation environnementale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse de conformité technique et juridique de l'étude</li> <li>- Analyse de suffisance, de pertinence et de cohérence des données</li> <li>- Evaluation environnementale du projet par le CTE</li> <li>- Emission du résultat de l'évaluation par l'ONE : Acte administratif (Permis Environnemental ou Certificat de Conformité) et Cahier de Charges Environnementales (CCE)</li> </ul>

Phase du projet	Procédure environnementale	Actions
Mise en œuvre du projet	<p>Suivi par le CSE</p> <p>Contrôle par MEEF</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en œuvre des mesures environnementales décrites dans le CCE</li> <li>- Mise en place éventuelle de nouvelles mesures environnementales (<i>en cas de besoin</i>)</li> <li>- Veille environnementale et suivi</li> </ul>
Fin de projet	Audit environnemental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluation environnementale du rapport d'Audit Environnemental par le CSE</li> <li>- Délivrance de Quitus Environnemental par l'ONE</li> </ul>

 Phase facultative (non obligatoire)

## I.1.2 Office National pour l'Environnement

### I.1.2.1 Présentation de l'ONE

L'Office National pour l'Environnement, connu sous le signe « ONE », est siégré à Antananarivo, à l'adresse suivante : BP 822, Avenue Rainilaiharivony, Antaninarenina, Antananarivo - CP 101, Madagascar (figure 1).

Selon le décret n° 2008-600 du 26 juin 2008, l'ONE est reconnu en tant qu'Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) doté de la personnalité morale et jouissant de l'autonomie administrative et financière, et est placé sous la tutelle technique du Ministère chargé de l'Environnement et sous la tutelle financière du Ministère chargé des Finances.



**Figure 1 :** Etablissement de l'ONE (Google Map)

### **I.1.2.2 Mission de l'ONE**

Compte tenu de l'article 2 (nouveau) du décret n° 2004-167 du 03 février 2004 qui modifie le décret n° 99-954 du 15 décembre 1999 relatif à la Mise en Compatibilité des Investissements avec l'Environnement (MECIE), l'Office National pour l'Environnement (ONE) est l'organe opérationnel, le maître d'ouvrage délégué et le guichet unique pour la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement, placé sous la tutelle du Ministère chargé de l'Environnement. L'ONE est ainsi appelé à assurer la coordination des CTE, la direction de l'évaluation des EIE et la délivrance des permis environnementaux, la coordination du suivi de la conformité des plans de gestion environnementale.

A ce titre, l'ONE assure :

- la mise en œuvre de la MECIE par la prévention des risques environnementaux dans les investissements publics et privés et de la lutte contre les pollutions. Il veille à ce que les activités économiques ne se fassent pas au détriment de l'environnement ;
- la Mise en Conformité (MEC) des anciens projets pour être conforme aux nouvelles normes environnementales ;
- la gestion du système d'informations environnementales, du suivi et de l'évaluation de l'état de l'environnement par l'intermédiaire de la mise à jour des TBE (Tableaux de Bord Environnemental) nationaux et régionaux et les rapports sur l'état de l'environnement à Madagascar.

L'ONE, en tant qu'agent d'exécution de la Politique Nationale de l'Environnement, est sous la tutelle du Ministère chargé de l'Environnement. Ce dernier est le maître d'ouvrage chargé de la supervision de l'ONE et du contrôle dans la mise en œuvre du processus MECIE. A cet effet, le Ministère chargé de l'Environnement contrôle si, oui ou non, l'ONE applique la législation MECIE correctement, à la fois au niveau de la délivrance du permis environnemental et au niveau du suivi de conformité.

### **I.1.3 Société Madagascar Aluminium**

Raison sociale : MADAGASCAR ALUMINIUM LTD.

Forme juridique : S.A.R.L.

Secteur d'activité : Exploration, exploitation et commercialisation des produits miniers.

#### **I.1.3.1 Historique**

MADAGASCAR ALUMINIUM LTD est une Société à Responsabilité Limitée qui a comme principale activité l'extraction, le traitement et l'exportation de Bauxite. La société dispose d'un Permis Minier de type E portant référence PE 29 683 octroyé en date du 21/09/2015, sis dans la Commune rurale Antsahabe, District d'Antsohihy, Commune Rurale d'Ambatosia, District de Bealanana, et la Commune Rurale d'Ambolidibe Est, District de Befandriana Nord, Région Sofia, comportant 416 carrés miniers de 625m de côté, principalement sur la Feuille S37 à l'échelle 1/100 000 de FTM. Afin de respecter ses obligations en matière de recherches minières sur une partie de son périmètre notamment les zones sensibles, la Société a procédé à l'élaboration d'un PEE-RIM en 2008 suivant le PR 29 683 encore non transformé et a obtenu par la suite une Autorisation Environnementale sous la Décision N°662/MEM en date du 18 novembre 2008 qui correspond au démarrage de la phase de prospection minière.

Depuis 2008, l'ancienne société titulaire du permis minier, la Société MADAGASCAR INTERNATIONAL TAK MINING a effectué 103 puits de perforation. Après la cession dudit permis minier à la société MADAGASCAR ALUMINIUM, les travaux de sondage ont continué avec une maille de 400x400m et d'un diamètre de 200mm. Les sondages effectués sont comme suit : 27 sondages par carottage mécanique, 27 sondages par perforation faible et 08 sondages par perceuse à pression manuelle. Quelques puits ont été aussi faits avec une profondeur moyenne de 3,5 à 7m.

Étant donné que la société reconnaît que le succès commercial de son organisation dépend de sa réputation en matière de responsabilité sociale et environnementale, elle procède au montage de

dossier de l'Etude d'Impact Environnemental et Social relatif à la finalisation de sa phase de recherche et surtout avant d'entrer dans la phase d'exploitation proprement dite, après obtention du permis environnemental, et afin de se conformer aux textes réglementaires en vigueur.

### **I.1.3.2 Contexte du projet**

Les activités d'exploration consistent à localiser les zones contenant des indices minéralogiques qui permettent d'estimer le volume probable du gisement dont la teneur semble être potentiellement et économiquement digne d'intérêt. En effet, des prélèvements d'échantillons ainsi que des levés topographiques et cartographiques ont été effectués pour confirmer si la qualité et la teneur de la minéralisation permettent une future exploitation rentable.

Ainsi, compte tenu des résultats de recherche, les activités vont se concentrer, dans un premier temps, à Andranovato Bevalala, un des sites situés dans les zones d'intérêts/sites pilotes de la Société Madagascar Aluminium qui se trouve à environ 08km du Fokontany d'Ampandrana, Commune Rurale d'Ambatosia, dont les coordonnées Laborde(m) sont : X = 627 789m ; Y = 1 256 870m ; Z = 1425m.

Les 416 carrés miniers de la Société Madagascar Aluminium sont répartis dans les Communes Rurales d'Ambatosia, d'Antsahabe et d'Ambolidibe Est. Mais d'après des résultats de recherche, la Société a jugé intéressant de travailler exclusivement dans la Commune Rurale d'Ambatosia et ne prévoit pas d'intervenir dans un premier temps dans les deux autres communes à savoir Antsahabe et Ambolidibe Est. Les travaux se concentrent donc plus particulièrement dans le site d'Andranovato Bevalala, Commune Rurale d'Ambatosia, dont les coordonnées Laborde sont mentionnées ci-dessus.

### **I.1.3.3 Enjeux liés au projet**

Les enjeux environnementaux majeurs sont les préoccupations environnementales ou sociales susceptibles de favoriser ou de remettre en cause l'existence même du projet. Compte tenu des résultats de l'évaluation des impacts potentiels, les enjeux identifiés sont les suivants :

- ✓ Enjeux environnementaux : qui se caractérisent par la dégradation de la composante physique (sol, paysage), biologique (faune et flore) du milieu récepteur.
- ✓ Enjeux socio-économiques : qui se manifestent par la génération des revenus des ménages ruraux, la création des emplois et lutte contre le chômage, le développement des activités

connexes comme le commerce, le partenariat entre les natifs et les étrangers, et le développement même de la zone.

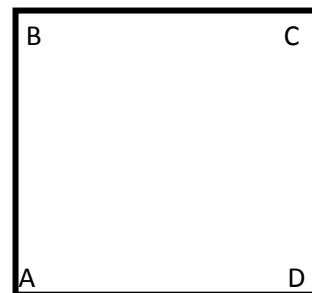
- ✓ Enjeux culturels : échanges culturels, acculturation, promotion culturelle comme manifestations culturelles, valorisation du patrimoine culturel,
- ✓ Enjeux politiques : politique de développement du secteur minier, promotion du secteur privé, développement de l'industrie minière, développement de l'intercommunalité ou négativement conflit d'intérêt politique.

## I.2 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

La carrière de la Société Madagascar Aluminium se trouve à Andranovato Bevalala, Commune Rurale d'Ambatosia, District de Bealanana (figure 2), Région Sofia. Ladite Commune se trouve à 62 km d'Antsohihy en empruntant la RN31, et Bealanana à 80 km (coordonnées X : 649344 ; Y: 1280421) (tableau 2).

**Tableau 2 :** Coordonnées de la zone d'études

	X	Y
A	624215.738253	1251166.026715
B	624234.439941	1257518.899841
C	631454.545776	1257493.181885
D	631557.940437	1251166.026715



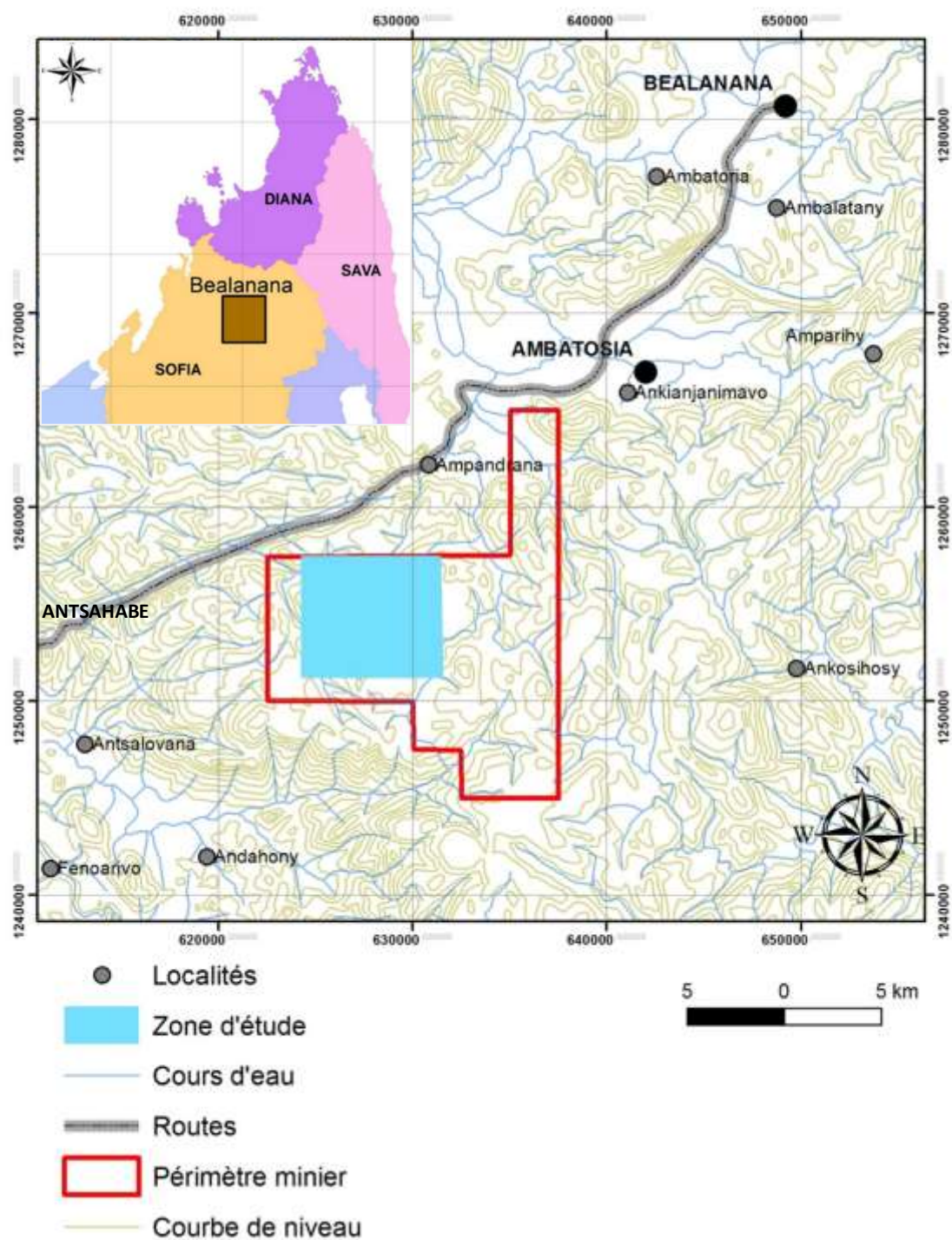
## I.3 GEOLOGIE

### I.3.1 Géologie de Madagascar

Madagascar est un fragment de croûte terrestre détaché du supercontinent Gondwana au Mésozoïque. Elle présente un socle cristallin, avec ses massifs volcaniques vestigiaux, et des formations plus récentes, volcaniques au Nord et au Centre, sédimentaires à l'Ouest. Du Protérozoïque au Jurassique, soit pendant environ 450 millions d'années (Ma), Madagascar était annexée à la partie Est du supercontinent Gondwana.



# CARTE DE LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE



**Figure 2 :** Carte de localisation de la zone d'étude et du périmètre minier (Bico, 2017 ; BD 100)

La séparation de l'île des autres continents issus du paléo-continent (Afrique, Inde, Australie et Antarctique) s'est produite il y a environ 150 Ma. Dès lors, l'île a possédé ses contours caractéristiques mais elle a gardé, avec les régions continentales dont elle s'est séparée (Mozambique, Inde, Australie et probablement aussi Antarctique) des corrélations géologiques très fortes (Besairie, 1957; Allard et al., 1970).

D'un point de vue général, la géologie de Madagascar est marquée par la présence de deux grandes entités :

- Sur les deux tiers centraux de l'île et vers l'Est, un socle cristallin précambrien, formé par des roches métamorphiques et éruptives (Bésairie, 1964), dont notre présente étude en fait partie.
- Sur le tiers Ouest de l'île s'étendent les bassins sédimentaires sablo-marneux d'âge Carbonifère au Quaternaire et les latérites

### **I.3.1.1 Le socle cristallin**

Selon Bésairie (1964), le socle est formé de trois Systèmes à savoir le Système androyen, le Système du graphite (incluant la zone d'étude) et le Système de Vohibory.

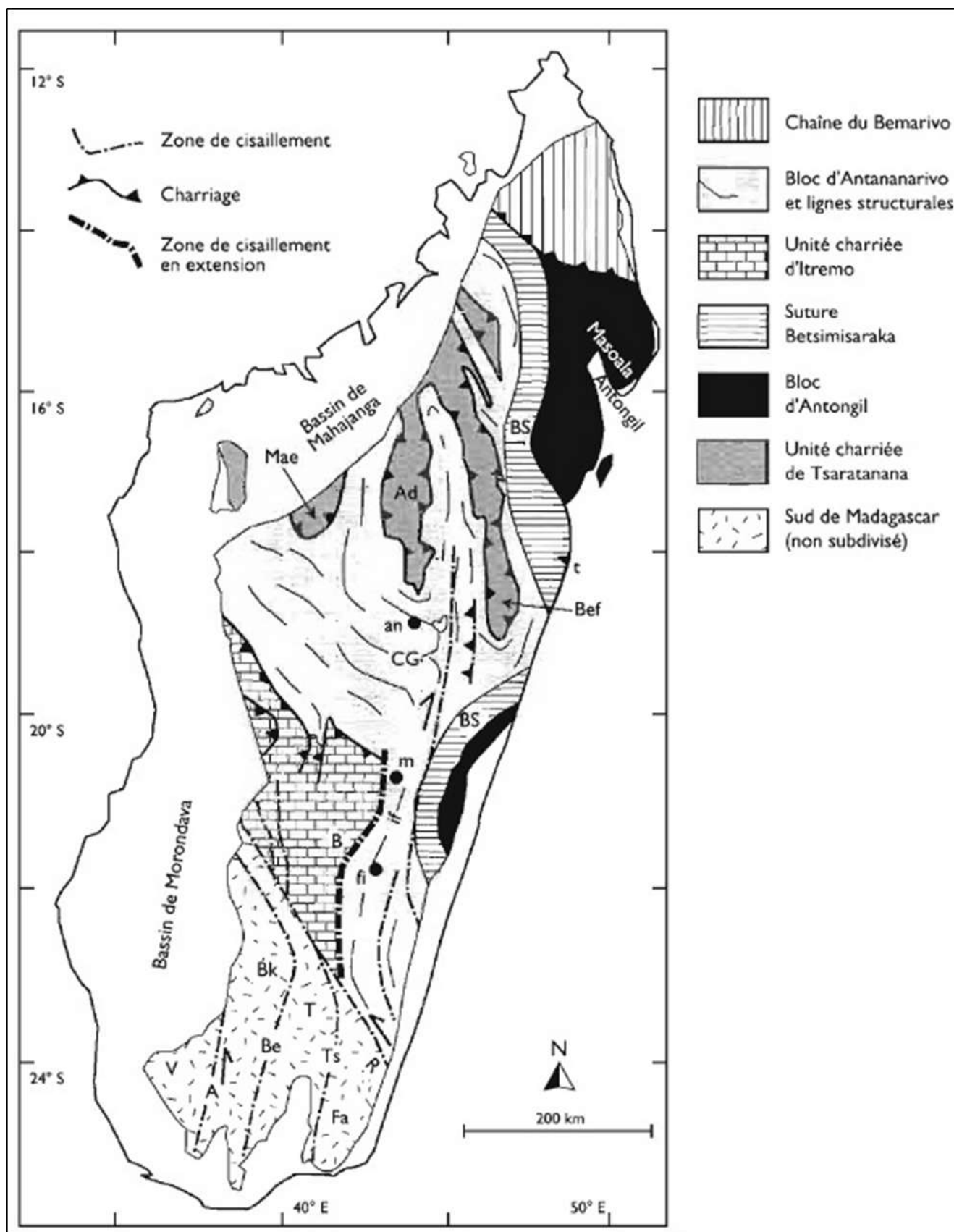
D'après Collins et Windley (2002), le bouclier de Madagascar est formé de cinq grandes unités tectoniques (figure 3) :

- Le bloc d'Antongil ;
- Le bloc d'Antananarivo ;
- L'unité charriée d'Itremo ;
- Le complexe de Tsaratanana ;
- La chaîne du Bemarivo.

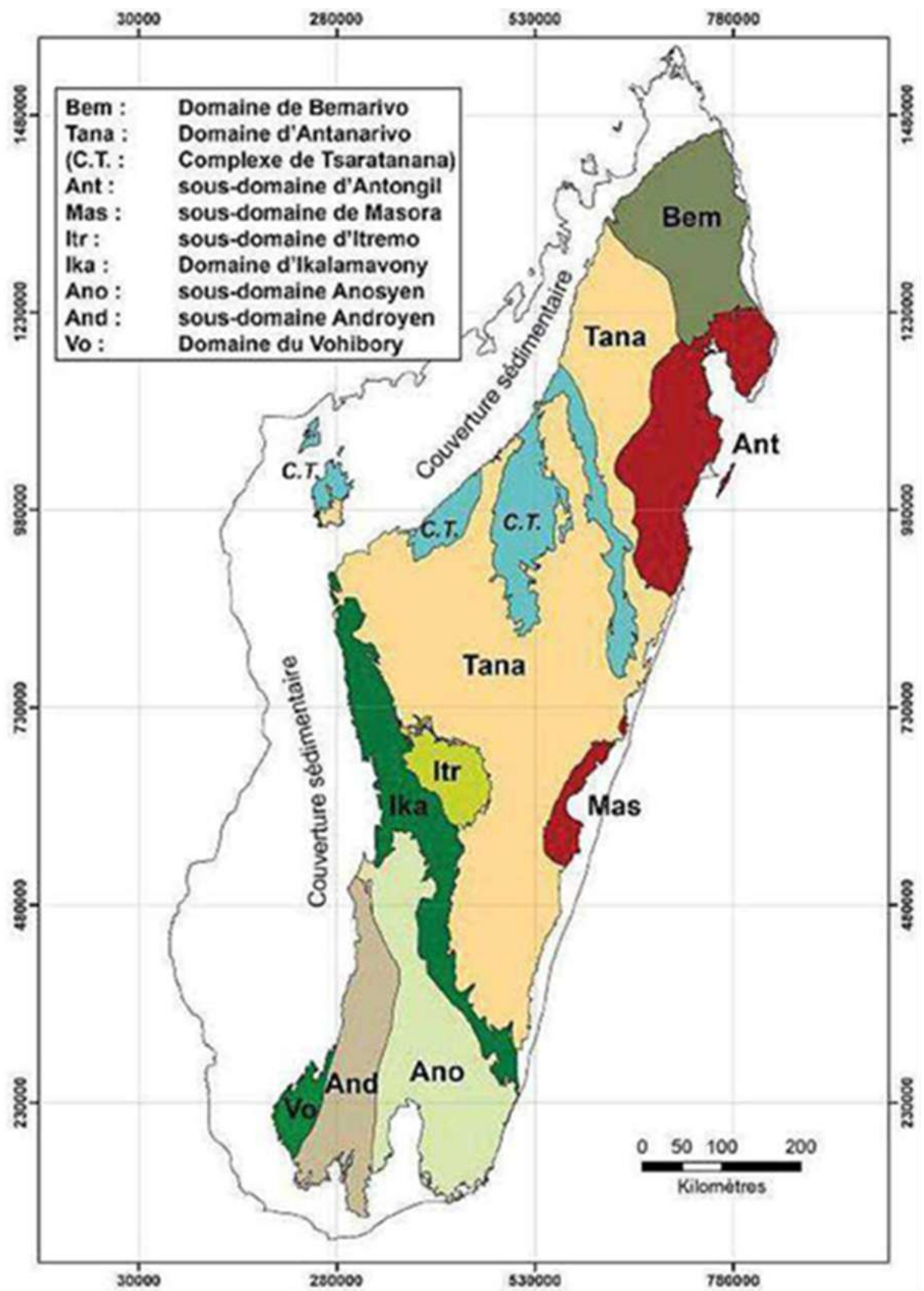
La révision de la carte géologique de Madagascar par le Projet de Gouvernance des Ressources Minérales en 2012 (Roig J.Y et al, 2012) proposent que le socle de Madagascar comprenne six grands domaines (figure 4):

- Domaine Antongil-Masora ;
- Domaine Antananarivo ;
- Domaine Ikalamavony ;
- Domaine Androyen-Anosyen ;
- Domaine Vohibory ;
- Domaine Bemarivo.

Notre zone d'étude est incluse dans le domaine d'Antananarivo et appartient au groupe de Sofia.



**Figure 3 : Les grandes unités tectoniques de Madagascar, Collins et Windley (2002)**



**Figure 4 :** Les domaines et sous domaines géologiques de Madagascar, Roig J.Y et al. (2012)

### **I.3.1.2 Domaine d'Antananarivo**

Le Domaine d'Antananarivo, qui correspond aux hautes terres de Madagascar, est une vaste étendue composée d'orthogneiss et de paragneiss en faciès schiste vert à granulitique.

Il est caractérisé par des formations d'âge Néoearchéen qui regroupent la Suite de Betsiboka, le Groupe de Sofia, le Groupe de Vondrozo et le Complexe de Tsaratanàna-Bekodoka-Maevatanana-Andriamena (figure 5); des formations d'âge Paléoproterozoïque qui est le Groupe d'Itremo ; ainsi que des formations d'âge Mésoproterozoïque formé par le Groupe de Manampotsy et le Groupe d'Ambatolampy. Ces deux dernières formations sont issues du métamorphisme à 2,5 Ga synchrone à l'Orogénèse Shamwaïenne et caractérisé par des séries plissées (Tucker et al., 1999).

### **I.3.1.3 Groupe de Sofia**

Les roches du Groupe de Sofia ont été subdivisées en trois ensembles de marbre et paragneiss à silicates calciques, de paragneiss et schiste, et de quartzite et paragneiss quartzique. Les roches sont toutes très fortement foliées à sub-mylonitiques et définissent ainsi, au sens large, l'extension Nord de la zone de cisaillement d'Angavo-Ifanadiana qui est une structuration Nord-Sud majeure de la zone centrale du Domaine d'Antananarivo (figure 5).

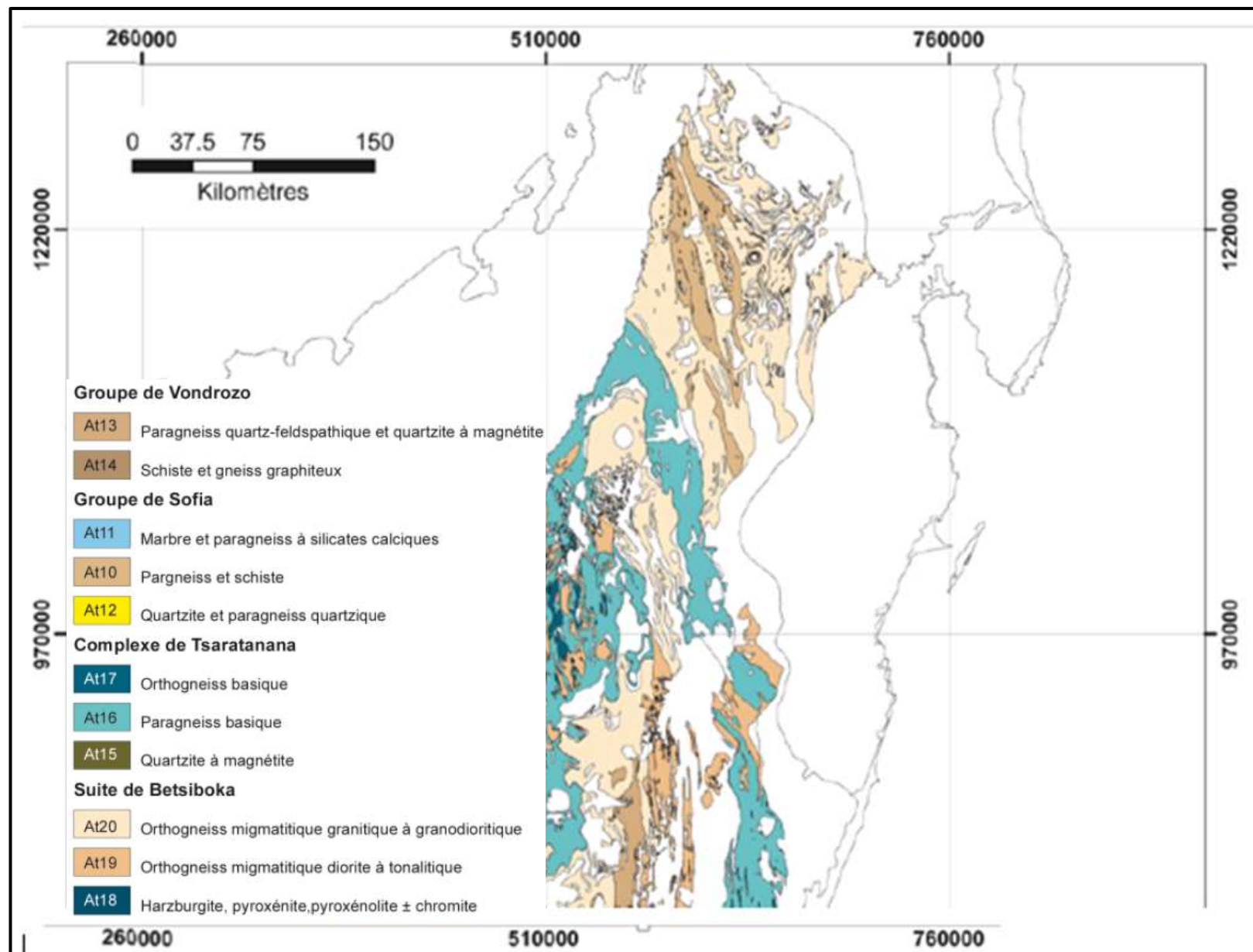
#### **➤ Marbre et paragneiss à silicates calciques**

Des niveaux fins, de petits amas ou encore des lentilles de roches calco-silicatées et de marbre apparaissent au sein de la séquence des paragneiss du Groupe de Sofia. Elles sont de teinte gris-vert claire, à grain fin à moyen, à texture granoblastique avec des corps latéralement continus pouvant atteindre 10 km de large. Dans la plupart des affleurements, la séquence est hétérogène avec des boudins de marbre blanc (quelquefois avec des grains de forstérite verte), des roches calco-silicatés gris-vert, riches en diopside et en sphène, et des gneiss quartzo- feldspathiques.

#### **➤ Paragneiss et schiste**

Il s'agit de paragneiss et de schistes très magnétiques à plagioclase dominant, à quartz et à biotite  $\pm$  hornblende. Certains faciès sont des migmatites très différenciées avec de fins néosomes leucogranitiques bien développés provenant potentiellement d'orthogneiss. D'autres roches incluent des schistes et des gneiss avec de la biotite, muscovite,  $\pm$  sillimanite et/ou du grenat.





**Figure 5 :** Groupes, Complexes et Suites du Domaine d'Antananarivo ; Roig J.Y et al. (2012)

### **I.3.2 Géologie de la région de Bealanana**

La description géologique de la région de Bealanana se réfère aux feuilles S36 Anaboriana et T36 Bealanana (figure 7).

#### **I.3.2.1 Histoire géologique**

Les intrusions de trachytes phonolitiques et de phonolites percent la série Schisto-Quartzo-Dolomie (SQD). Elles sont vraisemblablement assez récentes, environ post-liasiques.

Pendant le Pléistocène, des éruptions volcaniques amenèrent des épanchements de basaltes, de basanitoïdes et de trachytes. Il semble que les trachytes soient antérieurs aux basaltes et aux basanitoïdes. On trouve des trachytes sur les îlots latéritiques des environs de Beroitra dans les mêmes conditions que les basaltes.

Les volcans basaltiques ont des formes particulièrement nettes et intactes. Il faut citer le cratère double d'Ambatoriha, dont les coulées de basalte à olivine ont obturé secondairement la cuvette de Bealanana et aussi le curieux cratère égueulé de Marovato.

Dans le coin Nord-Ouest une série de cônes alignés Nord-Sud à partir d'Analavakivolo rappelle étrangement la chaîne des puys d'Auvergne. Les laves de ces volcans se sont largement épanchées dans la vallée d'Amberivery (Bésairie, 1934).

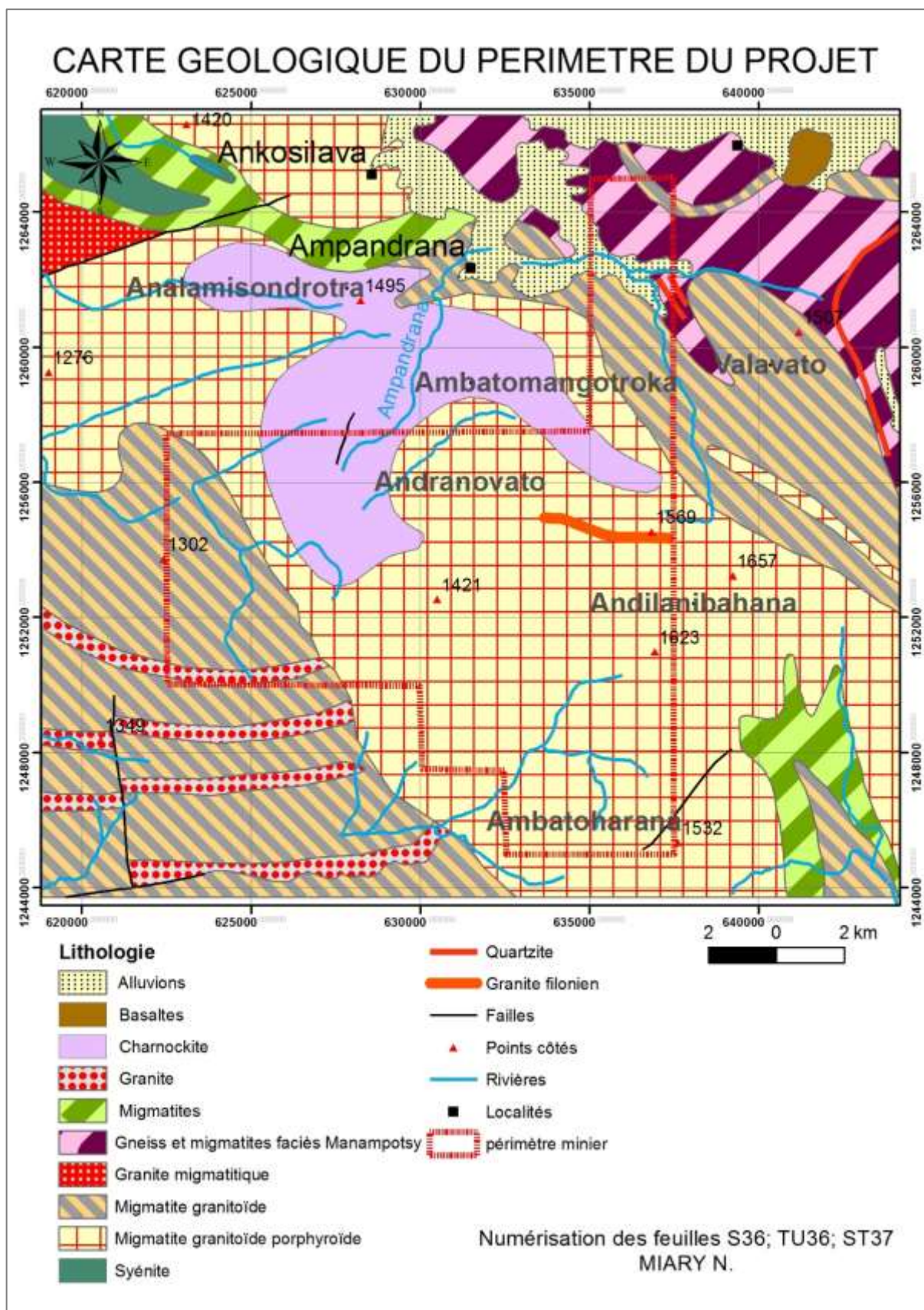
#### **I.3.2.2 Pétrographie** (Razafiniparany A. 1969)

Les grandes formations rencontrées dans la région (figure 6) sont constituées par les unités suivantes :

- Formation superficielles : alluvions et argiles latéritiques ;
- Roches volcaniques : coulées basaltiques et trachytiques ;
- Roches filoniennes : pegmatite, filons de quartz, granite ;
- Roches de granitisation : granite stratoïde, granite migmatitique, granite porphyroïde, charnockite, syénite ;
- Roches métamorphiques : gneiss, quartzite, cipolins.

#### **Les formations superficielles**

Alluvions : ce terme désigne tous les dépôts argilo-sableux des zones basses cartographiées dans les deux feuilles (S36 et T36) notamment dans celle de Bealanana. Il englobe tous les sols hydromorphes des marais et des dépôts riverains.



**Figure 6 :** Carte géologique de la zone d'étude après la numérisation des feuilles S36, TU36, ST37



Les sols hydromorphes des marais sont à forte proportion de matières organiques et des horizons argileux se trouvent dans toutes les grandes dépressions, mais localisés en dehors de la zone active des rivières qui les drainent. Les dépôts riverains ou alluvions proprement dites se rencontrent dans les zones actives et sont pour la plupart aménagés en rizières. Ils montrent des niveaux humifères qui recouvrent les dépôts sablo-limoneux. Ces dépôts alluvionnaires de la moyenne Maevarano sont dus aux pentes trop faibles des rivières et du seuil rocheux (coulées basaltiques) situé au confluent de l'Ambatomainty et de Maevarano (2 km en amont d'Ambodisatrakely).

Argile latéritique : elle s'est formée aux dépens des différentes roches : volcaniques, granitiques et métamorphiques pour constituer des sols de recouvrement superficiel. Ces sols sont le plus souvent jaunes ou rouge (granites et schistes cristallins), brun-rouge (basalte et pyroxénolite), gris (cendres volcaniques et trachytes). Leur épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres en terrain découvert. L'érosion y est très active et les lavakas prennent des dimensions considérables. Le recouvrement d'argile latéritique est plus important sur les roches basiques et volcaniques que sur les roches acides.

#### **Les roches volcaniques**

Coulées basaltiques : des manifestations volcaniques se sont produites en deux périodes dans la région. Leurs matériaux se sont épanchés sur l'ensemble de la région mais avec une densité plus grande sur la feuille Bealanana. L'étude morphologique conduit à distinguer deux reliefs différents relatifs aux cycles éruptifs : des reliefs anciens très évolués et des reliefs jeunes à peu près identiques à leur forme primitive. Les laves appartiennent le plus souvent à la famille des basaltes : basanites, andésites et renferment fréquemment de l'olivine et de la calcite. Des épanchements de trachyte ont été relevés sur le plateau bauxitique d'Analavory. La roche, de couleur rose, a une structure microlitique caverneuse. Certains centres éruptifs ont donné des projections volcaniques : cinérites et pouzzolanes.

#### **Les roches filoniennes**

Granites filoniens : quelques granites filoniens ont été relevés dans les deux feuilles S36 et T36, notamment sur la feuille Anaboriana. Il s'agit de granites grenus à structure massive, très feldspathiques et renfermant de l'amphibole. Ces granites sont généralement recoupants, leur puissance est métrique.

Parmi les roches filoniennes, on peut citer les pegmatites et les quartz filoniens. Ces roches sont de faibles extensions et ne constituent que des filons isolés liés aux massifs granitiques. La

pegmatite d'Antsaharoa (X = 1 263 500 ; Y = 603 100) visible sur une extension de 50m x 10m renferme des cristaux de minéraux radioactifs (amphibolite).

### **Roches de granitisation**

Granite migmatitique : ce terme sert à désigner une formation anatexique qui groupe le granite migmatitique et la migmatite granitoïde qu'il est impossible de cartographier séparément car les deux faciès sont intimement associés sur le terrain. Ces roches sont très représentées dans la région, notamment sur la feuille Anaboriana. Généralement ces granites migmatitiques ont un aspect granitique, plus ou moins importants se prolongeant sur plusieurs dizaines de kilomètres.

Granite porphyroïde : parfois le granite migmatitique renferme des phénocristaux de feldspath automorphe pour donner des faciès porphyroïdes et constituer des affleurements individualisés. Ce granite porphyroïde apparaît soit en strates très importantes soit en faciès peu développés dans les migmatites granitoïdes. Tectoniquement, le granite porphyroïde apparaît dans des cuvettes synclinales. Des faciès charnockitiques y sont fréquemment relevés.

Syéénite : c'est une roche rose peu claire et grenue qui apparaît en lame peu développée dans les granites migmatitiques et les migmatites. Les échantillons montrent une très faible proportion du quartz, de l'amphibole ou du pyroxène.

Charnockite : cette roche est fréquemment relevée dans la région mais son importance varie suivant l'affleurement. Elle apparaît soit en massifs ou strates importantes, soit en petits bancs différenciés dans les migmatites et les gneiss. Dans les strates épaisses et les massifs importants, les charnockites apparaissent dans les cuvettes (Antongoambo, Ambatoharana). La couleur de la roche varie du bleu-vert à jaune cassonade. Les minéraux reconnus à l'œil nu sont l'amphibole, le pyroxène (hyperstène) et parfois le labrador.

### **Roches métamorphiques**

Gneiss : cette roche est fréquemment intercalée dans les migmatites rubanées (embréchites) dont la séparation est parfois malaisée. La migmatisation ne s'est pas stabilisée sous un front caractéristique mais a affecté les gneiss d'une manière diffuse. Néanmoins quelques septums de gneiss à amphibole ont pu être séparés au Nord-Est de la ville de Bealanana. Les minéraux fréquemment rencontrés sont l'amphibole, la biotite et le pyroxène. Le graphite, le grenat et la sillimanite sont très rares. Tous les gneiss relevés dans la région sont inclus dans les structures anticlinales sous les grandes strates granitiques et charnockitiques qui sont dans des positions synclinales.

Quartzite : il a été relevé sur le plateau d'Analavory (feuille Bealanana) où il constitue des bancs métriques. Il est bien lité et renferme localement du grenat et de la sillimanite.

Cipolins : deux bancs lenticulaires de cipolin ont été relevés dans la région de Bealanana, le premier banc se trouve à 3 km à l'Est d'Ambatoriha et la deuxième lentille à 1 km au Sud d'Analakely. Ces cipolins ont une puissance décamétrique et sont visibles sur 150 m. Ils renferment du pyroxène et de la humite.

Migmatites : elles renferment, comme les gneiss, de l'amphibole et du pyroxène. Le graphite, la sillimanite et le grenat sont très rares. A 5 km au Nord-Ouest d'Ambararata-Sofia, sur les monts Mahajongo et Andavotrabe, des niveaux à cordiérite apparaissent dans les épibolites à amphibole. Les migmatites et gneiss à amphibole de la zone Sud-Est de la feuille Bealanana renferment beaucoup de niveaux charnockitiques et des faciès diadysitiques (Andasinimaro).

### **I.3.2.3 Sols**

Les sols de la région sont répartis dans les catégories suivantes :

Alluvions profondes des cuvettes : ces sols sont très riches en éléments fertilisants. Ils sont plus ou moins acides et manquent de chaux. La richesse en éléments fertilisants est liée aux rapports provenant de la décomposition des roches volcaniques. La constitution physique est variable.

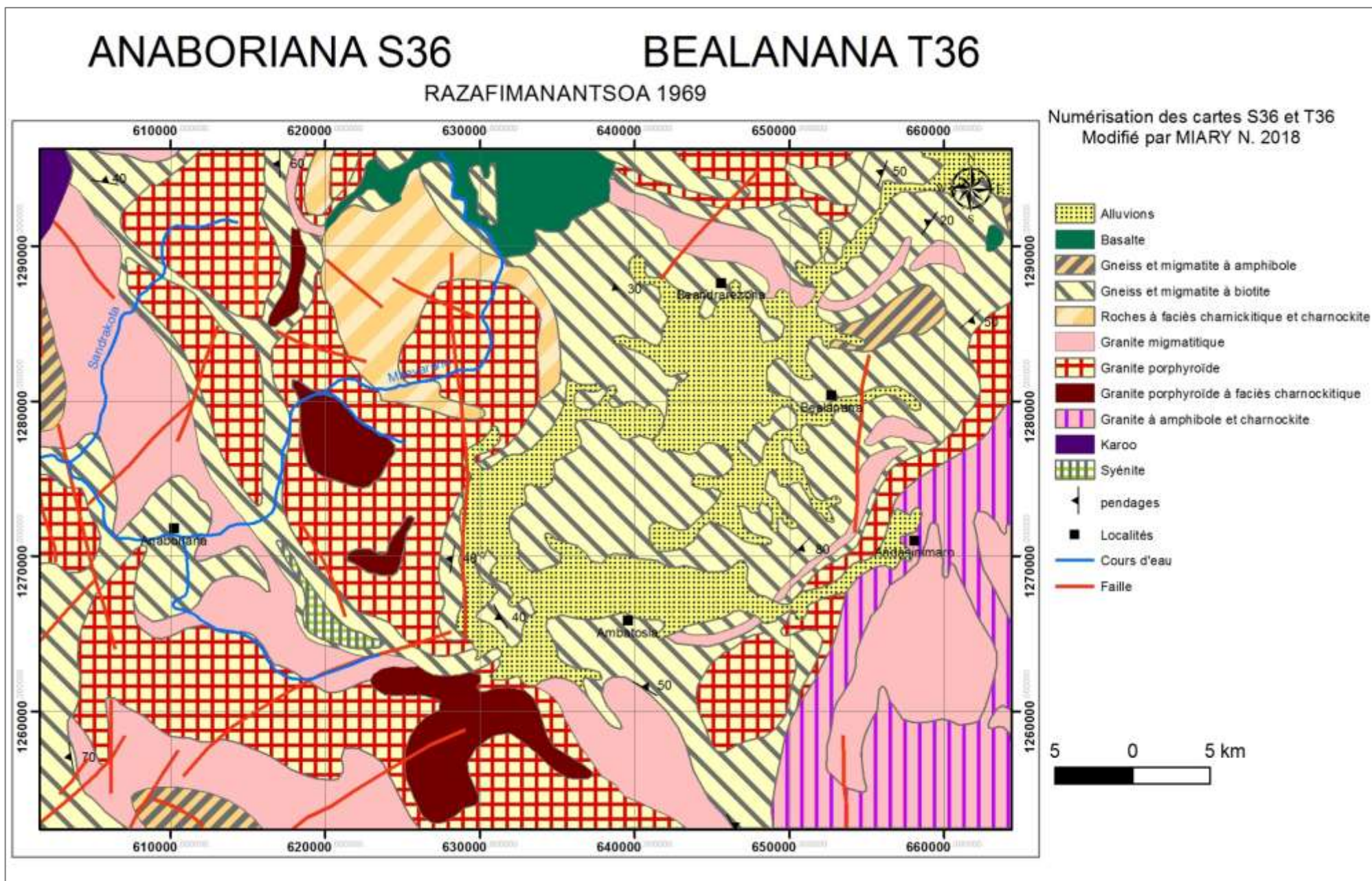
Alluvions normales : ce sont généralement des alluvions plus ou moins latéritiques qui se présentent dans les fonds de vallée. Ce sol supporte une plantation indigène et présente un bon fond de fertilité.

Cendres volcaniques : en eux même, ces sols ont une mauvaise constitution physique, mais par la suite de leur teneur en acide phosphorique, ils contribuent à enrichir, par leur lessivage, les alluvions voisines.

Sols latéritiques : ces sols occupent une très grande étendue. On peut les diviser en sols de forêt, sols de prairie et cuirasse latéritique.

Sols sableux acides : cette catégorie, très spéciale, s'applique à des sols provenant de la désagrégation des quartzites de la série schisto-quartzocalcaire du plateau de Bezavona. Ce sont des sols blancs presque uniquement composés de quartz.

Sols rocaillieux acides : ces sols sont formés d'arènes granitiques non attaquées par la latéritisation. Ils sont peu épais et soumis à une érosion intense (Bésairie, 1934).



**Figure 7 :** Carte Géologique de la Région de Bealanana (S36 et T36 modifiés)



### **I.3.2.4 Tectonique**

La tectonique de plissement montre dans l'ensemble un grand arc ouvert sur le nord dont le centre est occupé par les gneiss et migmatites de Bealanana inclus dans une structure anticlinale. Les boutonnières synclinales sont généralement occupées par des charnockites et des granites porphyroïdes.

La tectonique verticale est marquée par des failles et cassures qui provoquent des décrochements plus ou moins importants dans les couches (Razafiniparany A. 1969).

## **I.4 SYSTEME ENVIRONNEMENTAL**

### **I.4.1 Environnement biophysique**

#### **I.4.1.1 Données climatiques**

. Le climat de la région est fortement contrasté ; c'est un climat tropical, modifié par l'altitude. La température moyenne annuelle est de 19,68 °C avec une saison chaude s'étendant de novembre à avril (température moyenne de 21 °C) et une saison fraîche de juin à septembre (température moyenne de 16,5 °C) (Razafiniparany A. 1969). Elle est élevée en basse altitude et diminue progressivement en avançant dans les zones les plus élevées. Néanmoins, les conditions sont assez favorables à l'agriculture. La pluviométrie est caractérisée par une forte irrégularité. Les pluies se concentrent sur 4 mois : de décembre à avril. On peut assister à des précipitations violentes de quelques heures pendant la journée. La pluviométrie annuelle se situe entre 1100mm à 1900mm.

#### **I.4.1.2 Géomorphologie**

La région étudiée est comprise dans les hauteurs de l'Ankaizina. L'Ankaizina appartient au Domaine des hautes terres qui s'étend dans le Nord de Madagascar. Il comprend essentiellement le bassin de la Maevarano dominé par deux chaînes de montagnes rattachées au massif du Tsaratanana. A l'Ouest, les monts de l'Ankaizina, formant une barrière allongée Nord-Sud, se prolongent vers le Sud pour constituer le plateau de l'Analavory.



**Figure 8 :** Relief caractéristique de la région de Bealanana (massif localisé à proximité de la RN 31)

Au Nord, la chaîne orientée Est-Ouest d'Ambatoharana, couverte de forêt dense, domine la plaine de Bealanana avec une altitude de 1819 mètres. Enfin, à l'Est, les monts d'Analabe-Beroitra séparent la plaine de Bealanana de celle de la haute Maevarano. La zone déprimée est constituée par le bassin de la moyenne Maevarano qui englobe la plaine de Bealanana et d'Anjanaborona (Razafiniparany A. 1969).

Tout comme le climat, la géomorphologie de la zone d'étude est similaire à celle des hautes terres. On y rencontre un relief accidenté et disséqué et aussi la présence de plusieurs lavakas surtout rencontrés dans le périmètre minier (figure 11). On observe trois formes de reliefs :

- Les massifs montagneux : qui représentent les plus hautes altitudes de la région (figure 8).
- Les collines : rencontrées surtout dans la région d'Andranovato Bevalala où réside la carrière (figure 9 et 10).



**Figure 9 et 10 :** Géomorphologie de la région d'Andranovato-Bevalala ; (8) alentours de la RN 31 ;  
(9) paysage du périmètre minier.

### **I.4.1.3 Hydrologie**

La Région est traversée par le fleuve Sofia qui prend sa source dans le District de Bealanana. Il possède des affluents, l'Anjobony et la Bemarivo et se jette à la mer dans la baie de Mahajamba.

### **I.4.1.4 Flore et végétation**

Du fait des différentes pressions tels que les feux de brousse successifs, la coupe de bois, l'exploitation forestière, la forêt primaire se réduit de plus en plus en laissant apparaître une vaste formation herbeuse.

Dans le périmètre minier deux types de végétation sont rencontrés :

- les savanes et les brousses à *Philippia* (Anjavidy) (figure 11) dominant les versants et les crêtes.
- les reliques forestières présentes dans les bas-fonds encaissés

### **I.4.2 Environnement humain (démographie de la région)**

La riziculture et l'élevage des bœufs constituent les principales ressources de la région. Les autres produits agricoles tels que le café, le raphia et les autres cultures vivrières n'ont qu'une place secondaire. Grâce à ses vastes plaines, les cultures du riz et l'élevage des bœufs révèlent une très forte prépondérance des activités économiques de la région. L'artisanat est axé sur la menuiserie des bâtiments, le tissage, la poterie et la briqueterie.

Selon les résultats du recensement effectué en juin 2016 par le bureau d'étude Bico, le nombre total de la population vivant dans le périmètre minier est de 15 975 habitants, dont 7327 hommes et 8048 femmes, pour une densité moyenne de 10,66 habitants/km<sup>2</sup>, la taille moyenne des ménages est de 5 personnes (tableau i, annexe).

## **I.5 Bauxite**

L'aluminium est un élément métallique parmi les plus abondants au sein de l'écorce terrestre (8 %). Il se présente sous forme oxydée dans les argiles, les schistes et la bauxite.

La bauxite est composée de 40 à 60 % en masse d'oxydes d'aluminium hydratés ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), 10 à 20% d'oxyde de fer (III) hydraté ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) et des quantités variables de silice  $\text{SiO}_2$  (en général moins de 10%) (Hottin, Moine, 1963).



**Figure 11 :** Paysage d'Andranovato-Bevalala avec des pieds d'Anjavidy

La bauxite sert principalement à fabriquer de l'aluminium, après avoir subi une première transformation en alumine. La production d'aluminium représente 92% des cas de transformation de la bauxite. On utilise le plus souvent les bauxites rouges. Les bauxites blanches, plus riches en silice, sont employées en verrerie, pour la production de céramiques, de matériaux réfractaires et de ciment. Les bauxites grises sont plutôt utilisées dans la production d'abrasifs (Hottin, Moine, 1963).

### **I.5.1 Formation de la bauxite**

En climat tropical et équatorial, l'altération des roches conduit à la formation, à côté des silicates hydratés d'alumine (argiles), d'une certaine proportion d'hydrates, principalement des hydrates d'alumine et des hydrates de fer. Ce dernier processus est la latéritisation. Suivant son intensité, il existe plusieurs types de produits d'altération :

- ❖ Les latérites à plus de 90% d'hydrates ;
- ❖ Les latérites argileuses à 50 – 90 % d'hydrates ;
- ❖ Les argiles latéritiques à 10 – 50 % d'hydrates ;
- ❖ Les argiles à moins de 10% d'hydrates (Hottin, Moine, 1963).

Ce sont principalement les conditions climatiques qui règlent l'intensité de la latéritisation : il est reconnu qu'elle est maximale sous climat équatorial ou subéquatorial et spécialement dans les zones forestières. Ainsi, à Madagascar, on observe la répartition quantitative suivante des produits latéritiques selon les différentes zones climatiques :



- Dans la région semi-aride du Sud-Ouest, il n'y a pratiquement pas de latéritisation ;
- Sur la côte Ouest où le climat est tropical humide à deux saisons bien tranchées, on a essentiellement des argiles latéritiques ;
- Le climat tropical de haute altitude de la zone centrale conduit à la formation d'argiles latéritiques et de latérites argileuses ;
- Sur la côte Est et dans la région du Sambirano, le climat est du type subéquatorial avec des pluies abondantes ; on a des latérites vraies à côté des latérites argileuses.

C'est donc cette zone qui présente les conditions les plus favorables à l'accumulation d'hydrates associés à de faibles pourcentages d'argiles.

Une bauxite de bonne qualité doit contenir plus de 50% d'alumine et être pauvre en silice (au plus quelques unités pour cent). Des gisements importants et bien situés peuvent être exploités jusqu'à des teneurs en alumine de 40% si la silice est négligeable. Les minerais peuvent avoir la morphologie de cuirasse, de concrétions ou de latérites meubles. Ce ne sont pas nécessairement des formations indurées (Hottin, Moine, 1963).

### **I.5.2 Bauxite de la zone d'étude**

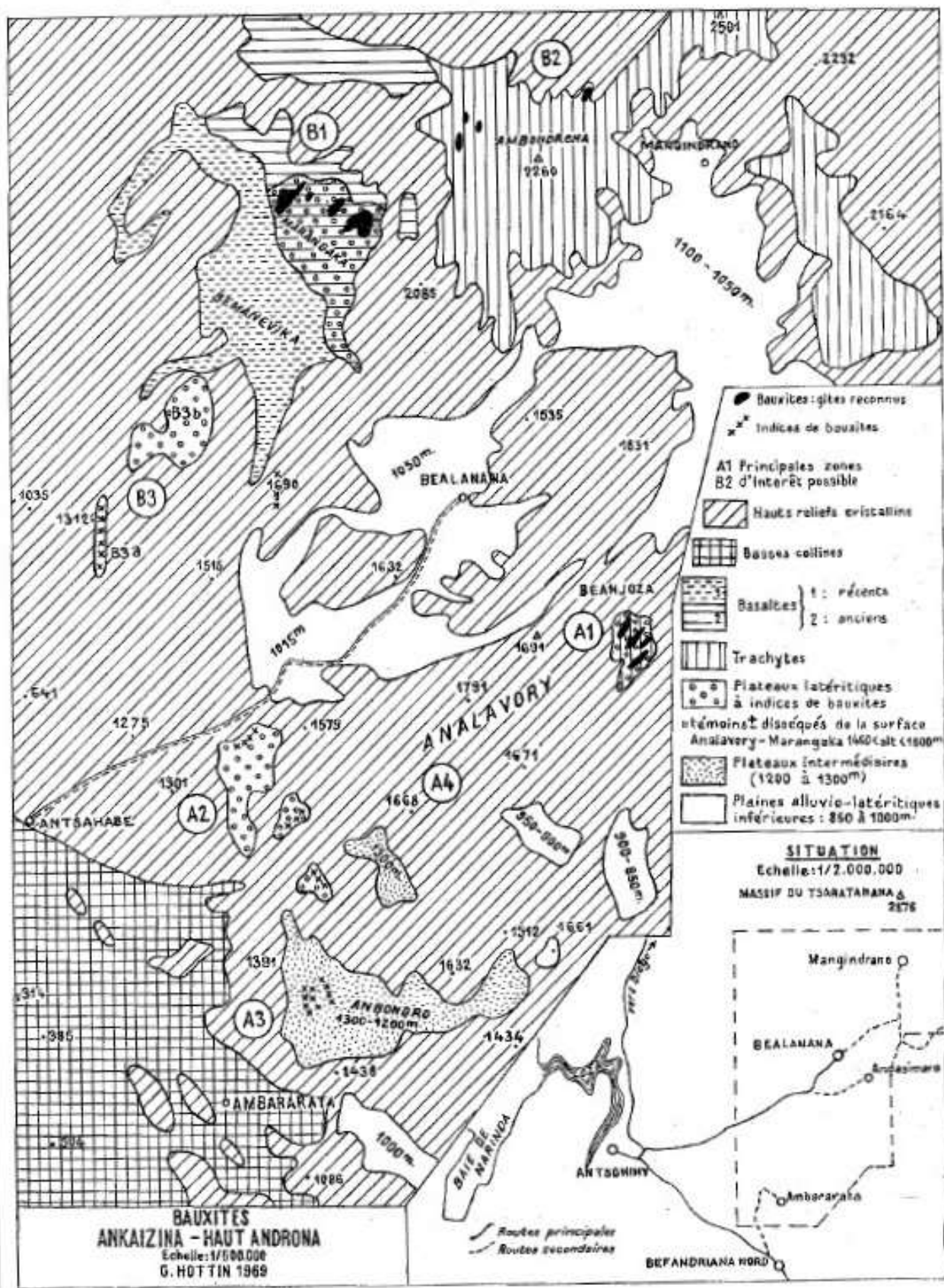
Deux gisements ont été étudiés dans la région de l'Ankaizina :

- Le gisement de Marangaka, au Nord-Ouest de Bealanana ;
- Le gisement d'Analavory, au Sud-Est de Bealanana associé à notre zone d'étude (figure 12).

Le gisement est constitué par des blocs bauxitiques (en moyenne de la grosseur du poing) emballés dans des argiles latéritiques. La présence des blocs est reconnue sur des épaisseurs variant de 0,5 à 6,30 mètres. Leur proportion dans l'argile varie de 29 à 40 % (Razafiniparany A. 1969)..

Sur le plateau d'Ampandrana, toujours dans le gisement d'Analavory, les blocs bauxitiques ont une structure conservée dérivant de l'altération de roches variées : trachytes et basaltes de la couverture tertiaire, granites, migmatites, gneiss et syénites du substratum précambrien.

Les faciès et les types d'accumulations sont absolument comparables à ceux de la région de Manantenina (Sud-Est de Madagascar), avec des formations bauxitiques dérivées de l'altération des roches du socle précambrien (Razafiniparany A. 1969).



**Figure 12 :** Localisation des indices de bauxite à Analavory, Bealanana (Razafiniparany A. 1969).

# DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES

## II.1 MATERIELS

Le tableau 3 contient la liste des matériels utilisés pour la réalisation des travaux sur terrain ainsi que pour l'analyse des données recueillis.

**Tableau 3 :** *Liste des matériels*

<b>Les données de base</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Feuille Anaboriana ST 36 ; Carte géologique de reconnaissance à l'échelle du 100 000<sup>ème</sup> (Razafiniparany A. 1969).</li><li>- La base de données BD 500 et BD 100 FTM</li><li>- Rapport d'EIE Madagascar Aluminium (Bico 2017)</li></ul>
<b>Logiciels requis</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- ArcGIS 10</li></ul>
<b>Matériels utilisés sur terrain</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- GPS (Global Positioning System)</li><li>- Boussole</li><li>- Marteau</li></ul>

## II.2 METHODOLOGIE

### II.2.1 Objectifs et résultats escomptés

Comme tout projet, les activités de recherche de la Société Madagascar Aluminium ont eu des impacts tant sur le milieu biophysique que sur le milieu humain. Cependant, le but de notre étude consiste à faire des études de bauxite dans la zone d'étude et à identifier les empreintes minières laissées par ces activités puis proposer une gestion de ces dernières pour assurer une conformité des activités avec l'environnement.

Comme le rôle de l'ONE est d'assurer l'application du décret MECIE, notre objectif n'en diffère pas.

## II.2.2 Approche méthodologique

Notre étude présente deux domaines d'application à savoir la partie géologique et la partie environnementale.

### II.2.2.1 Partie géologique

Dans cette première section, nous allons décrire les méthodes utilisées pour soutirer un maximum d'informations concernant la bauxite (figure 14).

#### ➤ Documentation

Il s'agit de la consultation de documents concernant la géologie de Bealanana et les cartes rattachées à la zone d'étude, ainsi que des documents concernant la bauxite en général.

#### ➤ Descente sur terrain

Pour les travaux de terrain, nous procédons en deux étapes. D'abord le recueil d'information sur le milieu physique (géomorphologie, climat, hydrographie, végétation). Ensuite l'échantillonnage de bauxite recueilli dans l'un des puits de reconnaissance de la mine.

#### ➤ Géochimie

Nous avons ensuite analysé au laboratoire une partie de l'échantillon pour en extraire les informations qui nous sont utiles. Nous avons procédé à deux étapes :

- D'abord le broyage de l'échantillon effectué au sein du laboratoire de l'Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques.
- Ensuite l'identification des éléments majeurs au sein du laboratoire de chimie de l'ESPA Vontovorona.

Cet organigramme (figure 14) résume les étapes suivies pour les études géologiques de notre travail.



**Figure 14 :** Organigramme de la méthodologie de l'étude sur la bauxite

### **II.2.2.2 Partie Environnementale**

Les étapes suivantes illustrent la méthodologie de travail (figure 15) adoptée pour la gestion des empreintes minières :

➤ **Documentation**

Il s'agit de la consultation des documents concernant une Etude d'Impact Environnemental et les diverses lois en rapport avec l'environnement biophysique (Code de l'eau, Code Minier, Charte de l'Environnement Malagasy actualisée, décret MECIE, ...), ainsi que ceux en rapport avec le projet de recherche de Bauxite de la Société Madagascar Aluminium.

➤ **Identification des activités de recherche** de la Société Madagascar Aluminium dans le périmètre minier

En premier lieu, il est d'abord nécessaire de connaître les activités de la Société dans sa recherche de bauxite qui sont mentionnées dans le rapport d'EIE. Les données sont ensuite triées en ne prenant que les activités minières effectuées uniquement dans le périmètre minier.

➤ **Collecte des données sur terrain**

La collecte de données permet de connaître la réalité sur terrain. Nous avons procédé en deux étapes:

- La visite de la carrière: collecte des données en relation avec les travaux et les éléments physiques de la carrière
- La consultation publique: prise en compte des recommandations et remarques venant de la population locale.

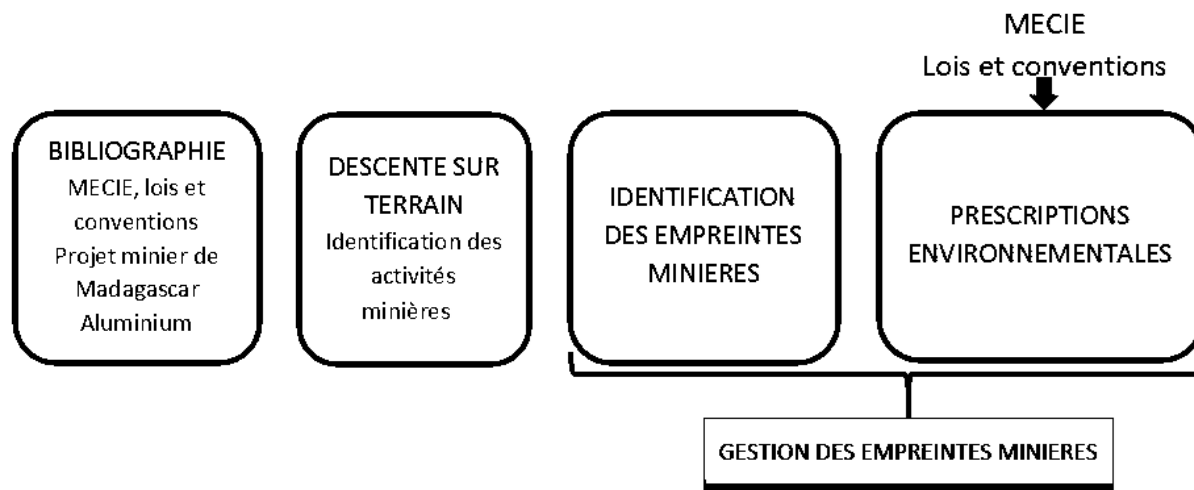
➤ **Identification des impacts physiques** (empreintes minières)

Connaissant les activités minières effectuées dans la zone d'étude, certaines empreintes sont mentionnées dans le rapport d'EIE de la Société. Cependant, d'autres ne sont identifiables que sur le terrain ; de cela, nous avons effectué une visite technique de la carrière afin d'identifier les impacts des travaux effectués sur l'environnement. Ces derniers sont alors classés en fonction des activités et leur milieu d'impact.

Pour assurer une conformité des activités minières avec l'environnement, cette dernière étape consiste à proposer un mode de gestion des empreintes minières. Elle peut être perçue comme un

cahier de charge pour la société. Les prescriptions environnementales y sont classées en fonction du milieu récepteur et des impacts.

Cet organigramme (figure 15) résume la méthodologie de travail employé dans cette étude.



**Figure 15 :** Organigramme de la méthodologie de gestion des empreintes minières

# TROISIEME PARTIE : RESULTATS



## III.1 ANALYSE GEOCHIMIQUE DE LA BAUXITE

### III.1.1 Résultats d'analyse dans le périmètre minier

L'analyse géochimique des sédiments prélevés dans la région d'Andranovato-Bevalala a permis d'estimer le pourcentage d'alumine contenu dans l'échantillon de bauxite prélevé sur terrain (figure 18). La démarche s'effectue en deux temps, d'abord le broyage et ensuite la détermination des éléments majeurs.

#### III.1.1.1 Broyage

Pour l'analyse, un échantillon de 322 g (figure 16) a subi une série de concassage.

- Concassage à main : avant de passer l'échantillon au broyeur, celui-ci doit être fractionné en morceaux plus petits d'environ 2 cm.
- Il est ensuite introduit dans le concasseur d'où il ressort à une dimension de 2,5 mm (annexe VII).
- Pour une analyse des éléments contenus dans la bauxite, la taille des grains recommandée est de  $80\mu$  (figure 17). L'échantillon est alors introduit dans un broyeur en « O » (annexe VI). A la fin du procédé, la masse récupérée est de 314 g.



**Figure 16 et 17 :** *Echantillon avant concassage (16) ; Echantillon à  $80\mu$  (17)*

#### III.1.1.2 Analyse au laboratoire

Cette section consiste à la détermination des teneurs des éléments majeurs contenus dans le minerai de bauxite à savoir l'oxyde de fer et l'alumine (tableau 4).

##### i. Détermination en oxyde de fer $\text{Fe}_2\text{O}_3$

##### Matériels utilisés :

- Bécher de 600ml

- Pipette graduée de 50 ml
- Agitateur magnétique chauffant
- Barreau aimanté
- Bleu de bromophénol
- Solution ammoniacale à 50%
- Solution tampon (acide chlorhydrique 0.1N, solution de glycine)
- Solution d'acide salicylique
- EDTA 0.03M

#### **Mode opératoire :**

- Pipeter 100ml de filtrat et verser dans un bécher de 600ml, puis ajouter 200ml d'eau distillée
- Agiter avec un agitateur
- Additionner 6 gouttes de bleu de bromophénol (jaune)
- Ajouter quelques gouttes de  $\text{NH}_4\text{OH}$  50% jusqu'au virage bleu foncé
- Verser rapidement 20ml de  $\text{HCl}$  0.1N + 15ml de solution tampon
- Ajouter 15 à 20 gouttes d'acide salicylique (violet-noir)
- Chauffer à 40-50°C pendant 1mn 30s (ne pas dépasser 50°C)
- Titrer avec l'EDTA jusqu'au virage jaune paille
- Faire la lecture du volume de l'EDTA versé, sur la burette graduée

Réserver cette solution notée A pour la détermination de la teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$

#### **Expression des résultats :**

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = V \times f_{\text{EDTA/Fe}_2\text{O}_3}$$

V : volume d'EDTA versé pour le dosage de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

$f_{\text{EDTA/Fe}_2\text{O}_3}$  : facteur de l'EDTA pour  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

### **ii. Analyse de la teneur en alumine $\text{Al}_2\text{O}_3$**

#### **Matériels utilisés :**

- Bécher de 600ml
- Burette graduée
- Agitateur magnétique chauffant
- Barreau aimanté
- La solution notée A de la détermination de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

- acide acétique, acétate d'ammonium, complexonate de cuivre, P.A.N. (pyridylazonaphtol), EDTA 0.03M, solution AgNO<sub>3</sub>.

### Mode opératoire :

A la solution A,

- Ajouter :
  - quelques gouttes de CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>NH<sub>4</sub> (coloration bleue)
  - 5ml de CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>H acide acétique
  - 3 gouttes de complexonate de cuivre
  - 10 gouttes de P.A.N. (rose violacée)
- Porter à ébullition la solution, tout en agitant
- Titrer avec de l'EDTA jusqu'à la coloration jaune paille
- Lire le volume V d'EDTA versé

### Résultats :

Nombre d'essais (02)

**Tableau 4 :** Pourcentage en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contenu dans l'échantillon de bauxite avec Si % = 19

Eléments	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
1 <sup>er</sup> essai	8,12	41,05
2 <sup>ème</sup> essai	8,12	40,65

## III.1.2 Résultats des travaux antérieurs

D'après les travaux effectués par le Service Géologique (missions Emberger 1956) sur le gisement d'Analavory, les teneurs en alumines ont une moyenne de 54 %. Les réserves minimales reconnues sont de 3 750 000 tonnes (Razafiniparany A. 1969) dans un rayon de 40 à 50 km.

Le tableau 5 montre les résultats des échantillons recueillis par le Service Géologique à Analavory :

**Tableau 5 :** Résultats des analyses de bauxite dans la région d'Analavory par le service géologique en 1956 (Razafiniparany A. 1969).

Désignation	40-1	E 4218	E 4219	E 4220	E 4221	E 4222	E 4223
SiO <sub>2</sub> %	1,61	6,56	7,78	1,79	1,30	1,33	1,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	53,90	53,63	57,77	60,00	55,58	57,88	61,16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	21,25	10,35	3,30	4,83	10,67	8,60	4,82
TiO <sub>2</sub> %	1,15	1,20	0,75	0,85	1,60	0,60	0,72
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> %	19,19	28,06	30,51	32,51	31,16	31,75	32,36

Le tableau 6 montre les analyses faites sur le plateau du Sud d'Ampandrana où notre zone d'étude se situe.

**Tableau 6 :** Analyse d'échantillons de bauxite dans le Sud d'Ampandrana (par RATSIMANDRESY Y. et B. ROUSSEL, Laboratoire AMEI des de la Direction Mines et de l'Energie) (Razafiniparany A. 1969)

Indicatif	Coordonnées		SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %
	X	Y				
X 6532	668 900	1 230 000	19,1	48,7	6,3	1,4
X 6534	629 700	1 260 000	16,2	49,4	6,7	1,0
X 6534a	629 700	1 260 000	13,1	54,1	4,5	0,8
X6536b	629 300	1 259 400	15,4	51,6	5,3	0,8
X 6545	626 700	1 259 700	15,4	52,3	4,1	1,0



**Figure 18 :** Sol bauxitique (recouvrant la majorité de l'aire d'étude de la Société Madagascar Aluminium)

## **III.2 ACTIVITES DE RECHERCHE DE LA SOCIETE MADAGASCAR ALUMINIUM (Bico, 2017)**

Le projet comporte trois phases:

- ❖ Phase préparatoire: au cours de laquelle des travaux de réaménagement des pistes et/ou passage seront entrepris pour l'acheminement des matériels et des équipements.
- ❖ Phase de recherche, proprement dite qui consiste à la prospection géochimique, avec exécution de tranchées, puits et forage, ainsi qu'au prélèvement des échantillons.
- ❖ Phase de fermeture, correspondant à la remise en état partiel du site de recherche avant d'entrer dans la phase d'exploitation proprement dite après obtention du permis environnemental.

### **III.2.1 Phase préparatoire et d'installation**

#### **III.2.1.1 Voies d'accès**

Etant donné que la société MADAGASCAR ALUMINIUM a déjà effectué des travaux dans le périmètre depuis 2008, des pistes ouvertes antérieurement y existent déjà. Les travaux d'aménagement des pistes consistent seulement à la remise à niveau (reprofilage léger) et au rebouchage des trous, et éventuellement au débroussaillage. En outre, un élargissement de la piste et une stabilisation du talus s'avèrent indispensables.

Ainsi, la piste aura un gabarit suffisamment large pour les véhicules, une largeur de 3m à 4m selon la topographie, et avec les assainissements y afférents. La stabilisation du talus suit l'angle de talus naturel, sous forme incliné à une pente de 15° en moyenne. Ces pistes serviront également à l'approvisionnement du site.

Une création de nouvelle piste a été aussi faite par la Société après demande et avis favorable de la commune rurale d'Ambatosia et le Chef Fokontany d'Ampandrana en date du 15 janvier 2015, avec une longueur d'environ 4,5 km allant du point de bifurcation de la RN31 (à environ 20 km de la commune rurale d'Antsahabe) vers la base vie. Les coordonnées sont présentées dans le tableau 7.

Une autre piste a été aussi ouverte par la Société allant de la base vie vers les points de forage sur les coordonnées Laborde X : 627 837, Y : 1 257 058 et Z : 1 419m ; X : 633 278, Y : 633 278, Y : 1 253 424 et Z : 1 292m.

**Tableau 7 : Coordonnées des nouvelles pistes**

N°	Coordonnées X	Coordonnées Y
1	626 501	1 259 920
2	626 999	1 259 875
3	627 877	1 257 023

Etant donné que les travaux de sondage vont se poursuivre dans le périmètre minier, plus précisément à Andranovato Bevalala, des créations de nouvelles pistes sont donc envisageables, voire même indispensables pour la société pour pouvoir transporter les matériels nécessaires vers les points de sondage. Pour ce faire, concernant les aspects techniques et les mesures environnementales préconisées pour préserver l'environnement, le choix du tracé dépend de la nature du sol, de la topographie et de la couverture végétale.

Sur ce, la largeur de piste sera située entre 3 à 4 m. Effectivement, le passage sur les lieux sacrés sera à éviter à 80 m de distance comme l'indique le code minier. Le cas échéant, la Société est dans l'obligation de chercher une entente mutuelle avec la population locale et les autorités compétentes, avec élaboration d'une convention écrite signée par les deux parties et visée par le Maire de la Commune concernée.

Les principales activités liées à la réouverture de ces passages sont :

- le débroussaillage qui consiste à l'enlèvement de la couverture végétale des zones d'intervention
- le décapage du sol
- le reprofilage : remise à niveau ou aplanissement du tracé.

### **III.2.1.2 Base vie**

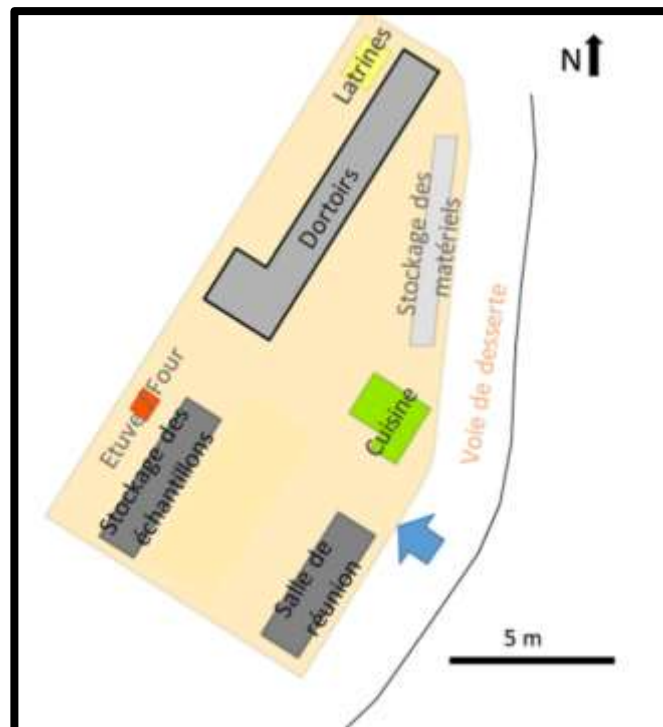
La Société Madagascar Aluminium a un campement de base situé à Bevalala aux coordonnées X : 627 886m Y : 1 257 000m et qui est également la base vie du projet (figure 19 et 20). Ce campement sert à l'hébergement du personnel sur le terrain, au stockage des différents matériels et effluents liquides (huiles, hydrocarbures, ...) relatifs au projet. Elle est également munie d'une installation électrique alimentée par des groupes électrogènes.

Ce campement comprend : un magasin de stockage, un logement avec des containers comme dortoirs, un bureau, une cuisine et un réfectoire, et des dispositifs sanitaires tels que douche et latrine en fosse perdue. Le campement est aussi muni de coffrets de premiers soins d'urgence. En outre, la

Société utilise aussi des tentes au niveau des sites de recherche pour les moyens de sécurité des matériels.



**Figure 19 :** Base vie de la Société Madagascar Aluminium à Andranovato-Bevalala



**Figure 20 :** Plan de masse de la base vie

### III.2.1.3 Gestion des eaux

Pour les besoins domestiques, l'approvisionnement en eau potable du personnel est assuré par la rivière Andohanampandrana qui se situe à l'Ouest du site. Une moto pompe est installée près de la rivière, reliée avec un tuyau qui conduit l'eau vers un point de stockage où elle subit un traitement selon les normes de santé pour la rendre plus utilisable et potable. Le besoin en eau est estimé à

40litres/jours/personnes. Notons que, seulement 7% de la consommation d'eau quotidienne dans la base vie est réservée à la boisson et à la préparation des repas. Les 93 % restants sont utilisées pour l'hygiène corporelle, les besoins sanitaires, l'entretien et l'habitat, et toutes les tâches ménagères.

Quant aux eaux usées, au niveau de la base vie, un système d'assainissement pour faire évacuer les eaux usées est mis en place à l'aide d'une fosse de 2m x 2m x 2m. Son fond est tapissé par une fine couche de sable et de gravillons jouant le rôle de filtre. Des canaux d'évacuation d'eau assurent le bon drainage du site à partir des salles d'eaux et des toilettes vers cette fosse. L'eau croupie y sera rejetée et pourra s'épurer en s'infiltrant dans le sol.

### **III.2.1.4 Gestion des déchets**

- Déchets de la base vie principale

La Société Madagascar Aluminium trie les déchets solides organiques et les déchets solides inorganiques avec des dispositifs appropriés.

A l'issue du tri, les déchets sont traités selon leur catégorie :

- Les ordures ménagères sont enfouies dans une fosse de 12m<sup>3</sup> (2m x 2m x 3m), au sein d'une décharge clôturée, pour être réutilisées comme engrais.
- Les bois, les papiers, les cartons et les textiles sont brûlés dans une fosse à béton de 1,5m x 1,5m x 1m après utilisation.
- Pour les déchets en plastiques, les déchets métalliques et les verreries, ils peuvent être revalorisés afin de diminuer leur quantité. Les déchets restants sont enfouis dans une fosse à béton à l'intérieur de la base vie
- Les déchets dangereux (médicaux, piles, batteries, pneus, ...) sont entreposés dans un conteneur, et à la fin des travaux ils sont enterrés dans une fosse à parois cimentées et recouvertes par du béton à l'intérieur du périmètre minier, loin des sites sensibles et des plans d'eau.

Les eaux usées de la base vie (cuisine, douches) sont drainées dans une fosse de 8m<sup>3</sup> (2m x 2m x 2m) dont le fond doit être recouvert par une fine couche de sables et de gravillons. Les eaux usées y seront rejetées pour s'épurer en s'infiltrant dans le sol.

Pour les eaux usées provenant des latrines, elles sont drainées dans des fosses septiques pour traitement.

Les huiles usées sont temporairement stockées dans des fûts étanches et hermétiquement fermés de 200 litres sur l'aire d'entretien, avant leur récupération par les villageois pour usage locale



(traitement des bois d'œuvre). Les quantités restantes sont évacuées annuellement à la station d'essence à Antsohihy.

Pour éviter les risques de contaminations du sol sous-jacent ou du milieu récepteur par les déversements accidentels d'huiles de vidange, leur stockage est effectué sur une aire imperméabilisée par du béton maigre et entourée de murettes capable de contenir le volume maximum des produits stockés en cas de déversement accidentel.

Le mode et les dispositifs de stockage des carburants sont conformes aux normes OMH (Office Malgache des Hydrocarbures) : les hydrocarbures sont stockés dans une citerne étanche. Et pour éviter les risques de contaminations du sol sous-jacent ou du milieu récepteur par les déversements accidentels de ces produits dangereux et polluants, la citerne de stockage est placée dans un bassin de rétention en béton capable de contenir le volume maximum de carburants stockés en cas de déversement accidentel.

Pour les sables souillés d'hydrocarbures, ils sont stockés temporairement dans un fût étanche et hermétiquement fermé de 200 litres sur l'aire d'entretien, et transportés chaque année vers un centre de traitement agréé par l'Etat.

Le registre d'inventaires des déchets mentionnant leurs types, quantité et mode de traitement est consultable à tout moment sur la base vie principale.

- Déchets de la base vie mobile

Tous les déchets solides du campement sont évacués par semaine à la base vie principale pour traitement.

- Déchets des sites de recherche

Avant repli de chantier, tous les déchets solides et les huiles usées d'un site de recherche donné seront évacués à la base vie principale pour traitement. Les boues de curage des bassins de décantation, après stockage temporaire sur une aire qui leur est réservée, sont destinées au remblayage des excavations.

### **III.2.2 Phase de recherche**

#### **III.2.2.1 Déroulement des travaux de recherche**

Les travaux de recherche consistent à une investigation géologique sur le terrain. Elle comprend 2 étapes:

### **Des études documentaires et interprétations des données existantes :**

Cette étape consiste aux collectes de documents et aux compilations des données existantes. Elle a pour but d'obtenir de plus amples informations sur le sujet de recherche et d'identifier les secteurs potentiellement minéralisés.

### **Une Phase de reconnaissance et de prospection géologique**

Dans cette phase, nous allons confirmer les données de la documentation, de cibler les indices de minéralisation, et de délimiter les secteurs minéralisés. Ainsi, 3 types d'activités seront à entreprendre:

- une reconnaissance géologique de surface,
- des travaux miniers par tranchées et puits
- et des travaux de forage de reconnaissance

En premier lieu, une reconnaissance géologique s'effectuera sur tout l'ensemble du périmètre minier. Elle permet de confirmer les documentations effectuées avant la descente sur terrain. L'étude consiste encore à une exploration et prospection géologique de surface. Des échantillons seront prélevés à l'aide des pelles et des bêches, à l'intérieur du périmètre minier.

Ces échantillons seront étudiés macroscopiquement sur le terrain, avant d'être envoyés aux laboratoires pour des études microscopiques ou des analyses chimiques selon le besoin. Le poids d'un échantillon à prélever pèsera en moyenne de 0,5kg à 1kg. A la fin de cette étape, une carte géologique des indices de minéralisation acquise est établie et pourra définir les secteurs minéralisés du périmètre, de reconstituer les zones comportant des anomalies minéralisées.

En second lieu, les activités se focaliseront par la suite sur les secteurs minéralisés définis précédemment dans la reconnaissance géologique. Pour se faire, des travaux miniers par exécution de tranchées et de puits, ainsi que de forage de reconnaissance peuvent être effectués (tableau 8), dans le but de déterminer la zone à forte potentialité

**Tableau 8 : Coordonnées des puits (P), tranchées (T) et forages (F)**

N°	X	Y	Z
P1	625 265	1 254 080	1 430
P2	626 552	1 252 795	1 410
P3	628 445	1 255 295	1 425

P4	630 284	1 253 402	1 428
T1	625 340	1 252 270	1 410
T2	630 302	1 256 563	1 415
F1	627 788	1 256 572	1 425
F2	625 288	1 255 294	1 419
F3	626 538	1 254 035	1 420
F4	629 002	1 253 410	1 425
F5	627 742	1 252 767	1 430
F6	629 682	1 255 285	1 428

### III.2.2.2 Moyens techniques et matériels

#### a) Travaux miniers

Les tranchées et les puits de dimensions respectives [3 x 3 x 1,5m] et [1,2 x 1,2 x 10/15m] se font manuellement avec des simples lots d'outillage tels que l'angady, bêche, barre à mine, pics avec les déblais mis en tas à côté, en conservant dans la mesure du possible le profil pédologique initial. Les produits issus du puits ou des tranchées sont transportées à l'aide de jerricanes attachés par des fils sur son bout pour le faire remonter vers la surface. Les excavations sont remblayées et revégétalisées aussitôt que les travaux de recherche sur un site s'achèvent et le remblayage des excavations respectera toujours le profil pédologique initial.

#### b) Technique de forage

Il s'agit du sondage carotté qui permet de prélever des échantillons intacts des formations géologiques verticales de profondeur. L'outil de perforation, la couronne diamantée permet de découper en continuité une colonne de terrain appelée « carotte ». Pour cela, une machine de forage SY958H est utilisée. Le diamètre du trou de forage est de 75,7 mm sans tubage, tandis que la carotte a un diamètre NQ (45 mm). Les tiges de forage sont de 3 mètres de longueur chacune. La profondeur de chaque trou de forage varie de 15 à 20 mètres. Un bloc de béton de 40 cm x 40 cm x 25 cm est placé au-dessus de l'ouverture pour éviter le bouchage du trou.

Le type de machine utilisé requiert l'utilisation de l'eau, de cela, un système de recyclage de l'eau de forage est nécessaire. Une série de trois bassins de décantation de 3m x 3m x 2m de dimensions chacun sera construite à chaque point de sondage. Une pompe assure l'envoi de l'eau vers

la machine, ceci en passant à l'intérieur des trains de tige, vers la tête du carottier et de la couronne, et remonte par la suite entre les tiges et les parois du trou.

Cette eau est récupérée et déversée dans le même bassin. Le système constitue donc un circuit fermé. L'eau utilisée est pompée de la rivière passant par la zone vers les bassins pour être utilisée. Le besoin en eau pour un forage de 20 m de profondeur est en moyenne  $16\text{m}^3$ . De ce fait, la quantité de l'eau utilisée pour chaque sondage est limitée à  $3\text{m}^3/\text{jour}$ , car l'eau sera de temps en temps récupérée. A noter aussi que l'eau de forage récupérée peut être réutilisée au moins deux fois.

La boue de forage à base de polymère biodégradable est aussi utilisée. Elle partage les mêmes fonctions que l'eau de forage. La boue de forage permet de refroidir l'outil de perforation, de maintenir les parois des trous de forage et de remonter les débris à la surface. Elle forme une croûte mince et résistante qui se dépose sur les parois des trous.

La concentration utilisée est de 0,5 à  $1,5\text{ kg/m}^3$  d'eau. La maille adoptée est 400 x 400m. Concernant l'implantation des équipements de forage, une aire de  $200\text{m}^2$  est aménagée pour un point de forage. Cette superficie inclut l'emplacement du campement mobile pour les gardiens et l'aire d'entretien des engins. Les sites de recherche seront remis en forme dès que les travaux de recherche s'achèvent.

Les terres végétales et les déblais issus des excavations (bassins de décantation, ....) seront mis en piles de 2m maximum à côté de l'excavation, et le remblayage respectera la succession originelle des couches. Les traitements des déchets sur l'aire de forage se feront comme le mode de traitement de tous les types de déchets dans la base vie.

### **c) Phase finale de recherche**

Cette phase reflétera la future exploitation que la Société envisage, si elle s'avère rentable.

La technique utilisée pour cette phase finale de recherche est une technique simple de prélèvement des bauxites avec leur broyage jusqu'à l'obtention des poudres.

Les minerais issus du prélèvement sont mis dans des sacs ; une fois remplis, ils sont embarqués dans des motos tricycles, puis transportés et stockés dans la salle de stockage à l'intérieur même de la base vie.

Ils subissent alors quelques traitements ; le processus se fait comme suit : tout d'abord, les bauxites sont mises dans une moule rectangulaire pour être morcelées. Ensuite, on verse de la soude dans chaque moule qui contient de la bauxite déjà morcelée. Après ce mélange, les moules sont mises dans une étuve pendant une ou deux jours selon le cas. Ici, la soude assure la fonction de broyeur,

mais en même temps, elle permet de séparer le minerai du stérile. Après l'étuvage, on fait passer l'ensemble sur un tamis pour séparer définitivement le stérile et le minerai. Finalement les minerais obtenus seront mis dans des petits sachets en plastique pour être analysés.

Les stériles sont jetés à l'intérieur même du campement et sont stockés en piles pour éviter le risque d'érosion. L'étuve utilisée est alimentée par des bois de chauffages achetés dans la commune d'Ambatosia.

### **III.2.2.3 Ressource en eau et gestion de l'eau du projet**

A propos des besoins en eau, l'approvisionnement journalier pour le forage est assuré par deux réseaux hydrographiques qui se trouvent dans le périmètre minier, à savoir la rivière Andohanampandrana (X : 627 924 ; Y : 1 256 928 ; Z : 1 411) et la rivière Nanielezana (X : 632 400, Y : 1 255 400 ; Z : 1 178).

L'exploitation de ces ressources en eau respectera les principes de prélèvement et d'utilisation d'eau et surtout les réglementations en vigueur à Madagascar.

### **III.2.3 Phase de fermeture**

La remise en état de chaque site de recherche se fera au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Elle comprend notamment:

#### **III.2.3.1 La remise en état partiel**

Des travaux de restauration seront entamés dès la fin de chaque activité de recherche. Ces travaux consistent au remblayage des excavations et au reprofilage des terrains touchés.

- Le remblayage des excavations et reprofilage des terrains touchés

Les déblais et les terres végétales seront remis dans les différents bassins, les puits et les tranchées, et seront mis en tas tout en respectant l'ordre de succession des couches originelles. Le remblayage de la plateforme du site de recherche s'effectue avec de la terre d'une épaisseur qui permet les repousses des végétations. Ces opérations sont suivies de travaux de reprofilage du terrain. Les trous de forage seront aussi rebouchés par des blocs de béton après chaque forage. Il faut préciser que ce sont les trous qui ne serviront plus à la future exploitation, après obtention de permis environnemental, qui seront rebouchés mais non pas tous les trous de forage.

- La revégétalisation

Elle s'effectue sur chaque site qui ne fera plus objet d'une reprise. En tenant compte des facteurs édaphiques et climatiques de la zone d'étude, Madagascar Aluminium préconise l'utilisation d'essences qui s'adaptent le mieux à ces conditions (autochtone ou non). De plus, afin d'avoir un écosystème équilibré et une restauration du sol, il propose l'utilisation des couvertures vivantes telles que la plantation des espèces graminéennes ou encore de l'engazonnement et/ou des plantes à couvertures dominantes afin de fertiliser le sol et aussi d'éviter l'eau de ruissellement pour l'érosion. En effet, la Société rapportera ces informations (liste des plantes revegetalisées) dans le rapport de suivi ultérieur au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

### **III.2.3.2 Mesures de réhabilitation provisoire**

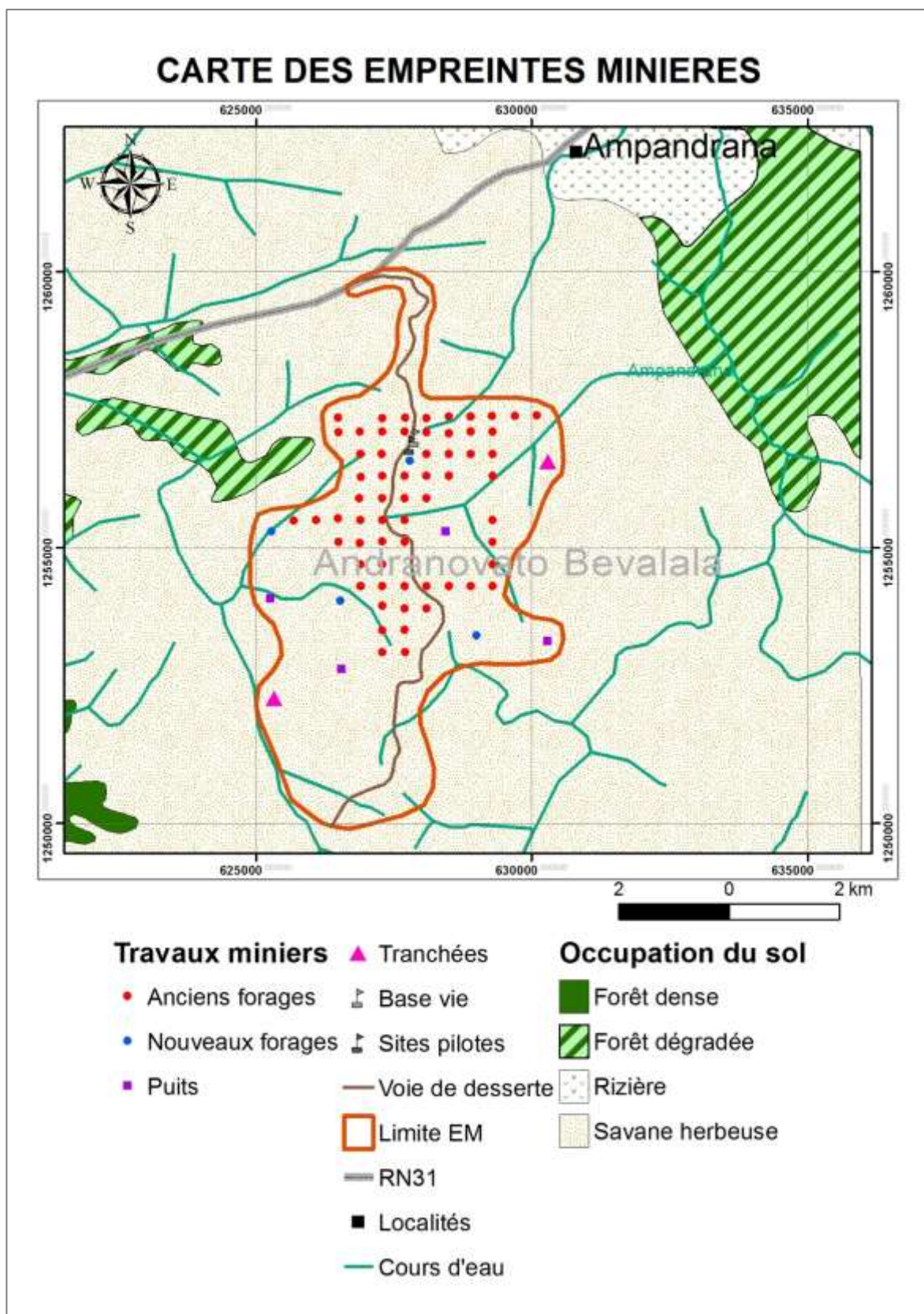
Si les résultats de recherche sont probants, en attendant la délivrance du quitus environnemental de la phase de recherche et l'octroi du permis environnemental de la phase d'exploitation, pour éviter tout risque d'accident, que ce soit pour les bovidés que pour les êtres humains, la Société va remblayer tous les points de sondage que ce soit des tranchées, des puits ou des forages (ce dernier avec une petite dalle en ciment comme couvercle). En même temps elle va mettre des indices, des petites plaques en bois ou des marquages sur les remblais qui indiquent la forte potentialité minéralogique sur tel ou tel point. Pour les remblais des forages, les petites dalles peuvent être inscrites avec des numéros comme indice.

## **III.3 EMPREINTES MINIERES**

Une empreinte minière (EM) est tout d'abord une marque ou trace laissée par une activité minière sur un milieu ou élément physique.

Dans le périmètre d'étude, les EM (figure 21) sont caractérisées par :

- Les voies de desserte
- Les trous de forages
- Les puits et tranchées
- Les infrastructures (base vie et sites pilotes)



**Figure 21** : Carte des empreintes minières (BD500 modifié par MIARY N.)

## III.4 ANALYSE DES IMPACTS

Ce chapitre comprend l'identification des impacts générés par le projet de recherche minière, l'évaluation de leur importance et l'adoption des prescriptions environnementales.

### III.4.1 Identification des impacts

Les impacts des activités minières sur les composantes biophysiques et humaines de l'environnement sont identifiés par leur négativité et leur positivité. Leur identification est réalisée à l'aide d'une grille d'interrelations entre les sources d'impacts et les composantes de l'environnement touchées par le projet de recherche minière.

#### III.4.1.1 Impacts négatifs

Ces types d'impacts regroupent les conséquences dommageables du projet sur ses milieux naturels (tableau 9).

**Tableau 9 :** *Impacts négatifs du projet de recherche minière*

Source d'impact	Milieu récepteur	Impact		
		Désignation	Code	Types
Installation des chantiers et des bases vie	Eau	Pollution du réseau hydrographique de surface (rivière)	E01	Direct Immédiat
	Air	Pollution de l'air par l'envol de poussières	A01	Direct Immédiat
	Sol	Sol dénudé	S01	Direct Immédiat
	Végétation	Disparition de la couverture végétale	V01	Direct Immédiat
	Paysage	Modification de l'originalité du paysage naturel	P01	Direct Immédiat
	PAP's	Expropriation, conflits avec les propriétaires de terrain	PA01	Indirect Différé
Création des pistes	Eau	Pollution tellurique de l'eau	E02	Direct Immédiat
	Air	Pollution par l'envol de poussière	A02	Direct Immédiat
	Végétation	Disparition de la couverture végétale	V02	Direct Immédiat



Source d'impact	Milieu récepteur	Impact		
		Désignation	Code	Type
Reconnaissance et prospection géologique (puits, tranchées, forages)	<b>Eau</b>	Pollution tellurique de l'eau	E03	Direct Immédiat
	<b>Sol</b>	Excavations : modification de la séquence pédologique des sols	S02	Direct Immédiat
	<b>Végétation</b>	Disparition de la couverture végétale	V03	Direct Immédiat
	<b>Population</b>	Excavation : Risques d'accidents pour les éleveurs de zébu	PA02	Indirect Différé

### III.4.1.2 Impacts positifs

Le projet de recherche de Bauxite ne génère uniquement d'impacts négatifs. Il est également source de retombées positives sur l'environnement :

- Entrée de devises
- Création d'emplois directs (manœuvres, chauffeurs, conducteurs d'engins, cuisiniers, gardiens, ...) et indirects (petits commerces, hôtellerie et restauration, ...) ;
- Amélioration du cadre vie des populations locales ;
- Relance économique par l'incitation à l'investissement

Engagements volontaires de la Société Madagascar Aluminium pour le développement socioéconomique local et communal, voir même régional :

- Cas généraux

- Développement conjugué des Communes concernées, du District de Bealanana et de la Région SOFIA avec celui de la Société Madagascar Aluminium
- Renforcement des capacités des techniciens de Bealanana
- Amélioration de la vie sociale des villageois
- Recrutement des mains d'œuvre locales, selon les besoins de la société
- Egalité de droit à tous les employés du projet
- Respect des us et coutumes locaux
- Préservation des plans d'eau contre le tarissement, la pollution ou l'envasement
- Libre circulation des zébus dans le périmètre minier
- Remblayage de toutes les excavations, avant replis de chantier, pour ne pas tuer ou blesser les zébus

- Entente mutuelle au préalable et convention avec les propriétaires des pâturages
- Compensation des pâturages touchés par les activités du projet
- Conventions écrites entre la Société Madagascar Aluminium et les Communes afin d’instaurer la confiance mutuelle
- Revue des conventions selon l’avancement du projet dans ses activités
- Reboisement effectué par la Société Madagascar Aluminium
- Non affectation des sites déjà reboisés par les populations locales
- Spécifiquement pour la Commune Rurale Ambatosia
  - Développement socioéconomique de la Commune : construction de pistes, de marchés, d’écoles, d’hôpital, ...
  - Réhabilitation des pistes reliant les Fokontany au chef-lieu de Commune
  - Egalité de traitement des Fokontany (Ampandrana, Beanantsindra, Ambohimitsinjo, Ambatosia) en matière d’actions d’intérêt public
  - Donation de plantules aux villageois demandeurs, pour le reboisement dans la Commune
- Concernant la Commune Rurale Antsahabe
  - Réhabilitation de la “maternité” d’Antsahabe
  - Les gros investissements (pistes et hôpitaux) attendent la phase d’exploitation
  - Aménagement des pistes vétustes

### III.4.2 Evaluation de l’importance des impacts

L’évaluation de l’importance des impacts concerne exclusivement les impacts négatifs. Nous adoptons la « **méthode matricielle** », basée sur 03 critères d’impacts : durée, étendue et amplitude (tableau 10).

**Tableau 10 : Code et valeur des critères d’impact**

Code	Critères d’impact		
	Durée (D)	Etendue (E)	Amplitude (A)
1	Courte durée	Etendue ponctuelle	Faible amplitude
2	Durée moyenne	Etendue locale	Amplitude moyenne
3	Longue durée	Etendue régionale	Forte amplitude

#### Critère durée

- **Code 1** : L’impact est temporaire et peut s’échelonner sur quelques jours, semaines ou mois, mais doit être associé à la notion de réversibilité
- **Code 2** : L’impact est continu ou intermittent pendant 3-9 années.

- **Code 3 :** L'impact est permanent présentant un caractère d'irréversibilité et est observé de manière définitive ou à très long terme.

#### Critère étendue

- **Code 1 :** L'étendue est ponctuelle : l'impact est ressenti dans un espace réduit et circonscrit ou affecte seulement quelques individus.
- **Code 2 :** L'étendue est locale : l'impact est ressenti sur une portion limitée de la zone d'étude ou par un groupe restreint de sa population.
- **Code 3 :** L'étendue est régionale : l'impact sur une composante est ressenti dans un vaste territoire (l'ensemble d'une commune par exemple) ou affecte une grande portion de sa population.

#### Critère amplitude

- **Code 1 :** Pour une composante du milieu naturel, l'amplitude de la perturbation est faible lorsqu'elle altère faiblement cette composante sans remettre en cause son intégrité ni entraîner de diminution ou de changements significatifs de sa répartition générale dans le milieu. Pour une composante du milieu humain, l'amplitude de la perturbation est faible lorsqu'elle touche peu un aspect environnemental ou l'utilisation de cette composante sans remettre en cause son intégrité ni l'utilisation.
- **Code 2 :** Pour une composante du milieu naturel, l'amplitude de la perturbation est moyenne lorsqu'elle détruit ou altère cette composante dans une proportion moindre sans remettre l'intégrité en cause, mais d'une manière susceptible d'entraîner une modification limitée de sa répartition régionale dans le milieu. Pour une composante du milieu humain, l'amplitude de la perturbation est moyenne lorsqu'elle touche un aspect environnemental ou qu'elle compromet l'utilisation de ladite composante par une partie de la population régionale, sans toutefois porter atteinte à l'intégrité de la composante ou remettre en cause son utilisation.
- **Code 3 :** Pour une composante du milieu naturel, l'amplitude de la perturbation est forte lorsqu'elle détruit ou altère de façon significative l'intégrité de cette composante. Pour une composante du milieu humain, l'amplitude de la perturbation est forte lorsqu'elle compromet ou limite de manière significative l'utilisation de ladite composante par une collectivité ou une population.

L'importance d'un impact négatif donné est la somme algébrique de la valeur des codes attribués aux critères d'impact (tableau 11).

**Tableau 11 : Matrice de l'importance des impacts négatifs**

D + E + A	Importance de l'impact	
3 à 4	Mineure	Impact entraînant des répercussions significatives mais réduite et exigeant ou non l'application des mesures d'atténuation
5 à 7	Moyenne	Les répercussions sur le milieu est très appréciables mais peuvent être atténuées par des mesures spécifiques ;
8 à 9	Majeure	Les répercussions sur le milieu sont très fortes et peuvent difficilement être atténuées

Le tableau 12 récapitule l'importance des impacts négatifs du projet de recherche de Bauxite.

**Tableau 12 : Evaluation de l'importance des impacts**

Impact		Critères d'impact			Importance	
Désignation	Code	D	E	A		
Pollution du réseau hydrographique de surface (rivière)	E01 E02 E03	2	2	3	7	Moyenne
Pollution de l'air par l'envol de poussières	A01 A02	1	2	1	4	Mineure
Sol dénudé	S01	3	1	1	5	Moyenne
Excavations : modification de la séquence pédologique des sols	S02	2	1	1	4	Mineure
Disparition de la couverture végétale	V01 V02 V03	2	1	2	5	Moyenne
Modification de l'originalité du paysage naturel	P01	3	1	1	5	Moyenne
Expropriation, conflits avec les propriétaires de terrain	PA01	2	3	3	8	Majeure
Excavation : Risques d'accidents pour les éleveurs de zébu	PA02	1	1	1	3	Mineure

### III.5 Prescriptions environnementales

En connaissant les empreintes minières de la zone d'étude, nous pouvons avancer des prescriptions environnementales pour leur gestion. Le tableau 13 énumère les impacts des EM sur l'environnement classés selon la nature du milieu récepteur (sol, eau, air, ...).

Des mesures environnementales spécifiques et appropriées sont préconisées pour corriger ou atténuer ou compenser les impacts négatifs jusqu'à un niveau acceptable au point de vue environnemental et socio-économique.

**Tableau 13 : Prescriptions environnementales**

Source	Milieu naturel affecté	Traces (empreintes)	Gestion des empreintes minières (prescriptions environnementales)
Voies de desserte (réhabilitation)	Sol	Sol dénudé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixation biologique des talus par plantation de plantes herbacées.</li> <li>• Enrochement des pistes sur les pentes raides et aménagement de fossés latéraux en terre.</li> </ul>
		Glissement de talus et flancs de piste	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tracé de pistes suivant à priori les lignes de crêtes.</li> <li>• Fixation biologique des talus et des flancs de piste par plantation de plantes herbacées.</li> <li>• Enrochement des pistes sur les pentes raides et aménagement de fossés latéraux en terre.</li> </ul>
	Eau	Risque de pollution tellurique ou envasement des réseaux hydrographiques en aval des pistes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixation biologique des talus et des flancs de piste par plantation de plantes herbacées.</li> <li>• Enrochement des pistes sur les pentes raides et aménagement de fossés latéraux en terre.</li> <li>• Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant.</li> </ul>
	Air	Pollution de l'air (envol de poussières)	Arrosage périodique de la piste en terre durant la saison sèche Limitation de vitesse des camions/engins/véhicules à 40km/h.

Source	Milieu naturel affecté	Traces (empreintes)	Gestion des empreintes minières (prescriptions environnementales)
Voies de desserte (réhabilitation)	Pâturage et PAPs (PAPs = éleveurs de zébus et aussi propriétaires traditionnels de terrains)	Expropriation et restriction des zones de pâturage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recensement des propriétaires des pâturages auprès des autorités locales.</li> <li>• Ententes mutuelles avec les propriétaires des pâturages.</li> <li>• Conventions écrites consignées par les 2 parties (Société Madagascar Aluminium et propriétaires des pâturages) et visées par le Maire de la Commune concernée pour les compensations des pertes occasionnées aux propriétaires des pâturages et le mode de paiement.</li> <li>• Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant.</li> </ul>
Base vie	Sol	Sol dénudé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limiter les défrichements et le terrassement au strict besoin spatial de la base vie.</li> </ul>
	Eau	Pollution des eaux de la rivière Andohanampandranana et de la nappe phréatique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eviter le rejet immédiat dans le milieu récepteur des eaux usées, sans traitement.</li> <li>• Aménagement des dispositifs de traitement des eaux usées : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Puisards pour les eaux usées de la cantine ;</li> <li>- Fosses septiques pour les eaux vannes ;</li> <li>- Aires d'entreposage des huiles usées et du stock de carburants conformes aux normes OMH (Office Malgache des Hydrocarbures).</li> </ul> </li> <li>• Imperméabilisation de l'aire d'entretien des camions, des véhicules et des engins.</li> </ul>

Source	Milieu naturel affecté	Traces (empreintes)	Gestion des empreintes minières (prescriptions environnementales)
Base vie	Eau	Pollution des eaux de la rivière Andohanampandrana et de la nappe phréatique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyses physico-chimiques (pH, couleur, taux de MES, DBO5, DCO, huiles minérales, ...) et bactériologique (Coliformes, Escherischia coli, Streptocoques fécaux, Clostridium sulfito-réducteurs) au temps T<sub>0</sub> et périodiques des eaux de la rivière Andohanampandrana.</li> <li>Eviter tout aménagement d'habitations en dehors de la limite de la base vie ou dans ses environs.</li> <li>Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant.</li> </ul>
	Air	Pollution de l'air	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bonne gestion des déchets : <ul style="list-style-type: none"> <li>Fosse munie de couvercle pour les déchets solides biodégradables ;</li> <li>Puisards pour les eaux usées de la cantine ;</li> <li>Fosses septiques pour les eaux vannes ;</li> <li>Aires d'entreposage des huiles usées et du stock de carburants conformes aux normes OMH (Office Malgache des Hydrocarbures).</li> </ul> </li> <li>Eviter tout aménagement d'habitations en dehors de la limite de la base vie.</li> </ul>
	Végétation et flore	Défrichements et coupes des ligneux	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limiter les défrichements au strict besoin spatial de la base vie.</li> <li>Acquisition d'une autorisation de coupes délivrée préalablement par le Service Forestier de Béalàna ou de la DREEF Sofia.</li> <li>Revégétation dans le périmètre minier.</li> <li>Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant.</li> </ul>

Source	Milieu naturel affecté	Traces (empreintes)	Gestion des empreintes minières (prescriptions environnementales)
Base vie	Pâturage et PAPs	Expropriation (PAPs = éleveurs de zébus et aussi propriétaires traditionnels de terrain	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recensement du propriétaire de pâturage auprès des autorités locales.</li> <li>• Ententes mutuelles avec le propriétaire de pâturage.</li> <li>• Conventions écrites consignées par les 2 parties (Société Madagascar Aluminium et propriétaire de pâturage) et visées par le Maire de la Commune concernée pour la compensation des pertes occasionnées et le mode de paiement.</li> <li>• Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant.</li> </ul>
	Territoire communal d'Ambatosia	Expropriation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquisition d'une autorisation d'installation et d'occupation de la base vie délivrée préalablement par le Maire de la Commune Rurale d'Ambatosia.</li> </ul>
Site minier (tranchées, puits, forages)	Paysage naturel	Modification de l'originalité du paysage naturel par des excavations et des monticules de déblais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limiter les défrichements et les coupes de bois ligneux au strict besoin spatial des travaux.</li> <li>• Hauteur des déblais : pas plus de 2,5m.</li> <li>• Si les résultats de recherche sont négatifs : <ul style="list-style-type: none"> <li>-Remblayage définitif des sites par les déblais (retour des déblais là où ils viennent) et revégétalisation des sites remblayés par des espèces autochtones ;</li> <li>-Revégétalisation en concert avec le Service Forestier de Bealanana (choix des espèces à planter, techniques de plantation, ...).</li> </ul> </li> </ul>



Source	Milieu naturel affecté	Traces (empreintes)	Gestion des empreintes minières (prescriptions environnementales)
Site minier (tranchées, puits, forages)	Paysage naturel	Modification de l'originalité du paysage naturel par des excavations et des monticules de déblais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si les résultats de recherche sont probants : réhabilitation provisoire en attendant la phase d'exploitation proprement dite.</li> </ul>
	Sol	Sol défrichés et excavés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limiter les défrichements au strict besoin spatial des travaux.</li> <li>• Si les résultats de recherche sont négatifs : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remblayage définitif des sites par les déblais (retour des déblais là où ils viennent) et revégétalisation des sites remblayés par des espèces autochtones ;</li> <li>- Revégétalisation en concert avec le Service Forestier de Bealanana (choix des espèces à planter, techniques de plantation, ...).</li> </ul> </li> <li>• Si les résultats de recherche sont probants : réhabilitation provisoire en attendant la phase d'exploitation proprement dite.</li> </ul>
	Eau	Risque de pollution physico-chimique et bactériologique des eaux des rivières Andohanapandrana et Nanielezana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aménagement de canal antiérosif (pour piéger les MES transportées par les eaux de ruissellement) à dimension convenable entre un site minier et un plan d'eau en aval.</li> <li>• Utilisation des eaux en circuit fermés sur les sites de forage (utilisation de bassin de rétention et de bassin de décantation).</li> <li>• Analyses physico-chimiques (pH, couleur, taux de MES, DBO5, DCO, huiles minérales, ...) et bactériologique (Coliformes, Escherischia coli, Streptocoques fécaux, Clostridium sulfato-réducteurs) au temps T0 et périodiques des eaux des rivières Andohanampandrana et Nanielezana</li> </ul>

Source	Milieu naturel affecté	Traces (empreintes)	Gestion des empreintes minières (prescriptions environnementales)
Site minier (tranchées, puits, forages)	Végétation et flore	Défrichements et coupes de bois ligneux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limiter les défrichements et les coupes des ligneux au strict besoin spatial des travaux</li> </ul>
	Pâturage et PAPs	Expropriation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recensement des propriétaires des pâturages auprès des autorités locales.</li> <li>• Ententes mutuelles avec les propriétaires de pâturages.</li> <li>• Conventions écrites consignées par les 2 parties (Société Madagascar Aluminium et propriétaires de pâturages) et visées par le Maire de la Commune concernée pour la compensation des pertes occasionnées et le mode de paiement.</li> <li>• Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant.</li> </ul>
	Faune (Zébus)	Chute de bétail dans l'excavation (tranchée, puits, bassin de forage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de communication de la Société Madagascar Aluminium (information du public sur les zones d'intervention de la société).</li> <li>• Sensibilisation des éleveurs à ne pas faire pâturer leur bétail dans les zones d'intervention de la société.</li> <li>• Aménagement de clôture autour d'un site minier, avec des panneaux de dangers/d'interdiction bien visible et en version malagasy pour être compris par les « mpiarakandro ».</li> <li>• Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant.</li> </ul>

# QUATRIEME PARTIE : DISCUSSION

## IV.1 INTERPRETATIONS DES ANALYSES DE LA BAUXITE

Le plateau d'Analavory, au Sud de Bealanana (figure 12) renferme un gisement de bauxite de bonne qualité contenant en moyenne 54 % d'alumine (tableau 5). Le tableau montre des valeurs Caractérisant toute la région d'Analavory. Par contre, les analyses faites par le Service Géologique dans le Sud du plateau d'Ampandrana (tableau 6) se rapprochent du périmètre minier de la Société Madagascar Aluminium avec une teneur moyenne de 51 % d'alumine.

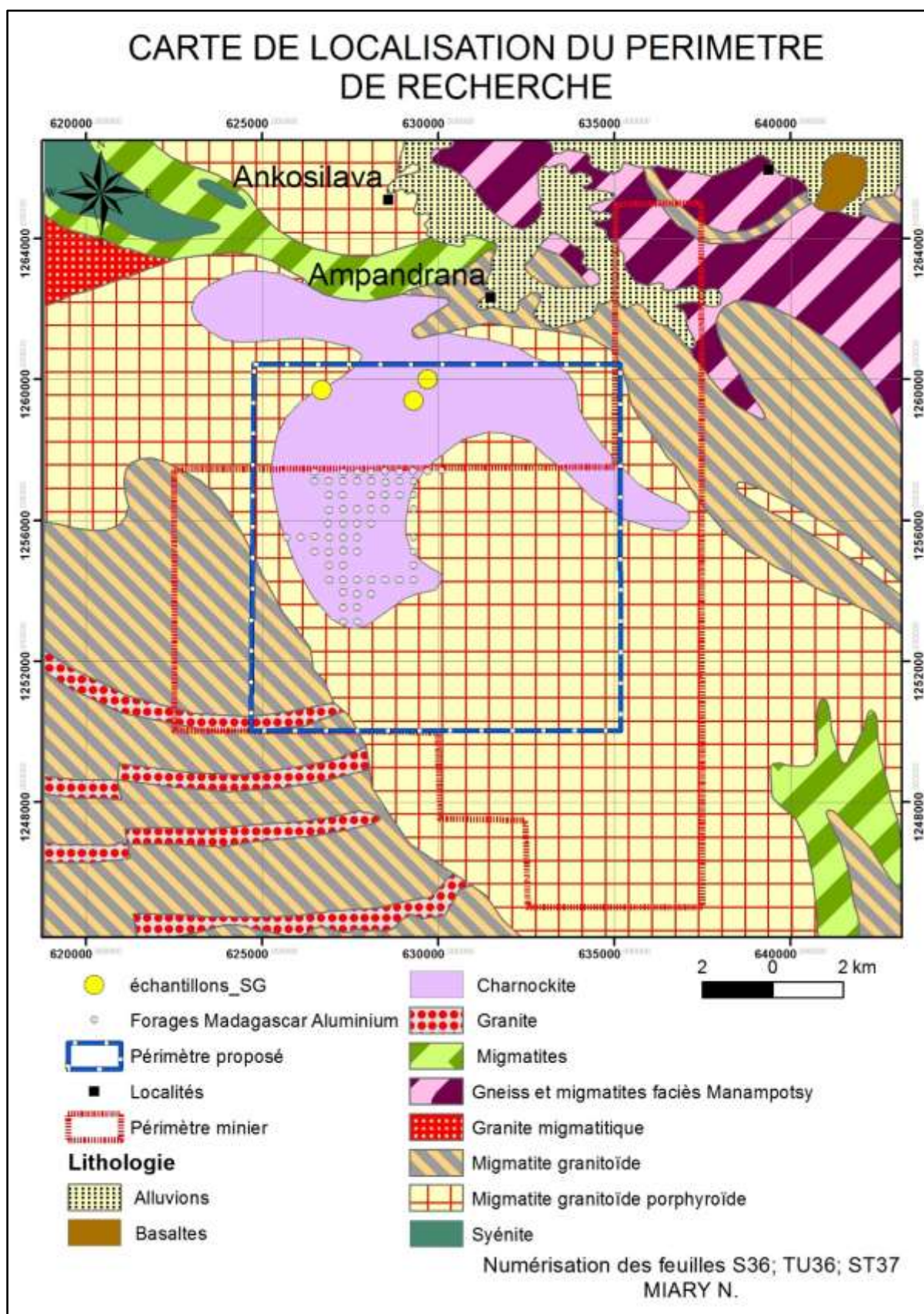
Après une analyse de notre échantillon au laboratoire, les résultats indiquent que le taux d'alumine dans la bauxite est de 41% environ. On peut alors en déduire que notre zone d'étude se situe à proximité du site d'analyse du Service Géologique, confirmé par les valeurs du pourcentage en silice dont 15 % en moyenne pour le Service géologique et 19% dans notre échantillon à Andranovato-Bevalala. Cela nous a aussi permis de confirmer les études du Service Géologique pour l'existence d'indice de bauxite et de la teneur en alumine dans la zone d'étude.

Comme il a été dit précédemment, la présence de silice en grande quantité (supérieur à 10 %) dans le minerai de bauxite peut être un frein dans son exploitabilité. Or la bauxite de la zone d'étude a un taux d'alumine raisonnable de 51 %, et la valeur élevée du taux de silice correspond aux lits et amas de quartz résiduels visibles sur les échantillons.

Concernant les travaux de recherche effectués par la Société Madagascar Aluminium, le périmètre minier s'étend sur une petite surface par rapport aux limites du permis minier (figure 22). Il est pourtant cité que la potentialité de la zone en réserve de bauxite est positive, il est alors intéressant d'élargir les mailles de prospection pour optimiser l'exploitation dans le cas où les recherches sont satisfaisantes pour la Société.

D'après la localisation des échantillons (figure 22) du Service Géologique, leurs travaux se situent non loin du périmètre minier de la Société Madagascar Aluminium, au nord des travaux des forages effectués. D'après la carte (figure 22), les travaux ont été effectués dans la charnockite et ont révélé des résultats intéressants. Néanmoins, les autres formations ne sont pas forcément dépourvues d'alumine car le gisement d'Analavory s'étend sur un grand périmètre. Aussi, selon l'estimation de 3 750 000 tonnes de bauxite par le Service Géologique, les recherches sur celle-ci devrait couvrir une surface plus importante pour avoir une exploitabilité optimale.

La figure 22 propose un périmètre de recherche visant à continuer les travaux dans la charnockite et élargir la prospection dans les migmatites granitoïdes en explorant un gisement secondaire s'il y en a, et pourrait montrer des résultats positifs



**Figure 22 : Zone proposée pour la recherche de bauxite**

Cependant, notre étude sur la bauxite d'Andranovato-Bevalala n'est pas complète, elle nécessite des travaux de recherche approfondis pour obtenir de meilleurs résultats au niveau des informations sur le gisement de bauxite et la répartition de sa teneur en aluminium sur tout le périmètre minier.

## **IV.2 ANALYSE FFOM**

L'analyse FFOM est un outil largement utilisé permettant de déterminer les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces par rapport à une situation ou à un programme planifiés. Dans ce chapitre, l'analyse se focalisera sur la gestion des empreintes minières.

### **IV.2.1 Forces**

La gestion des empreintes minières de la Société Madagascar Aluminium partage le même principe que le Cahier de Charges Environnementales de la société. La différence est l'échelle de travail où notre étude se concentre uniquement sur les traces physiques laissées par les activités minières.

La gestion des empreintes minières présente alors des prescriptions environnementales plus détaillées par rapport au CCE qui tient en compte la généralité des activités et travaux effectués par la société. Elle peut être utilisée comme une gestion partielle d'un projet minier et véhicule la bonne relation de voisinage et l'intégration sociale du projet.

### **IV.2.2 Faiblesses**

- Non effectivité des populations affectées par le projet

Le nombre de populations directement affectés par le projet est indispensable pour une quelconque activité minière. Cependant, après un recensement effectué par la Société Madagascar Aluminium, le nombre de PAPs reste une approximation car c'est un chiffre fortement variable en un court délai.

Un recensement fréquent pourrait être envisagé pour y remédier, mais cela poserait un gros problème de temps pour le promoteur.

- Méthode post activité

D'un autre point de vue, la gestion des empreintes minières est une méthode post- activité. Elle base son étude sur les activités déjà entamées et ne permet pas une gestion des futurs projets.

### IV.2.3 Opportunités

#### ➤ Outil d'aide à la gestion

Les documents de gestion des empreintes minières (Charte de l'Environnement Malagasy actualisée, décret MECIE, Code minier et son décret d'application, ...) constituent avec le Cahier de Charges Environnementales (CCE) une opportunité pour le promoteur et pour les membres du Comité Technique d'Evaluation ad hoc (CTE). Ceci a pour but de réunir différents points de vue pour élaborer un meilleur CCE et d'optimiser la gestion des empreintes minières.

A titre d'information, ce CTE est composé par les entités suivantes :

- **Institution qui assure la coordination MECIE** : Office National pour l'Environnement.
- **Ministère qui assure le contrôle MECIE** : Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie et des forêts.
- **Ministère de tutelle du projet d'investissement** : Ministère auprès de la Présidence, chargé des Mines et du Pétrole
- **Ministère concerné par l'enjeu forêt** : Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie et des forêts.
- **Ministère concerné par l'enjeu foncier** : Ministère auprès de la Présidence en charge des Projets Présidentiels, de l'Aménagement du Territoire et de l'Equipement.
- **Ministère concerné par l'enjeu population affectée par le projet** : Ministère de la Population, de la Protection Sociale et de la Promotion de la Femme.
- **Ministère concerné par l'enjeu eau** : Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène.
- **Ministère concerné par l'enjeu énergie** : Ministère de l'Eau, de l'Energie et des Hydrocarbures.

#### ➤ Outil de confiance

Dans le cas où les documents de gestion des empreintes minières soient considérés par la Société Madagascar Aluminium, ceux-ci constitueront pour la population une garantie du respect de l'environnement par le promoteur du projet.

#### ➤ Mise en valeur de la zone

Du fait de son orientation sur les empreintes minières dans la zone Andranovato Bevalala, l'étude met en valeur le milieu naturel de la région concernée.

➤ Retombées positives de la gestion

- Création d'emplois et source de revenus des ménages
- Contribution de la Société Madagascar Aluminium au développement socio-économique local
- Intégration sociale du projet minier et de la Société Madagascar Aluminium

#### **IV.2.4 Menaces**

Dans le cas d'une mauvaise gestion des empreintes minières ou d'un non-respect volontaire ou involontaire des prescriptions du CCE émis avec le Permis Environnemental par la Société Madagascar Aluminium, cela pourra engendrer des litiges fonciers et/ou des conflits sociaux.



## CONCLUSION

De par les activités de recherche de bauxite par la Société Madagascar Aluminium, nous nous sommes intéressés sur les empreintes minières vis-à-vis des composantes physiques (sol, eau, air, paysage naturel), biologiques (végétation, biodiversité) et humaines (PAPs, éleveurs de zébus, pâturages, territoire communal) de l'environnement du projet.

Le but de notre étude a été la gestion de celles-ci où nous avons identifié les principales activités effectuées dans la zone de recherche et ensuite proposé des prescriptions environnementales afin de minimiser ou de compenser leurs répercussions négatifs sur le milieu naturel.

Les résultats de notre étude nous ont permis d'apporter une gestion détaillée des empreintes minières car par rapport au Cahier de Charges Environnementales (CCE) du projet, la méthodologie employée ne diffère pas de la nôtre, mais la différence est que le CCE prend en compte le milieu naturel ainsi que le milieu social. De cela, notre méthode de travail serait un outil d'aide à la gestion des empreintes pouvant être générées par les activités minières pour l'administration, la Société Madagascar Aluminium et les autres opérateurs miniers œuvrant à Madagascar. Néanmoins, ce genre d'étude requiert une grande précision au niveau des informations collectées car plus les données sont imprécises, plus la méthode utilisée présente des failles.

Dans l'étude concernant la bauxite, le gisement d'Analavory montre des résultats intéressants. Dans la région Andranovato-Bevalala, les travaux de recherche ne s'effectuent que sur une partie du périmètre minier, nécessitant un élargissement pour optimiser les résultats.

La méthodologie adoptée dans cette étude a son efficacité dans le domaine d'une exploitation minière. Ne prendre en compte que les empreintes minières de la Société concernée facilite la compréhension et l'estimation de l'envergure du projet pour les personnes concernées et surtout pour la population locale. Il serait intéressant d'instaurer une étude similaire dans les documents d'un projet minier pour que toutes les entités aient le plus d'information possible. Concernant l'étude de la bauxite, il serait intéressant d'approfondir les recherches pour compléter les données déjà acquises et aboutir à de nouvelles informations sur la totalité du gisement.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ❖ ALLARD M., AUBERT J.-M. & LACOSTE P. (1970) – Géologie de Madagascar. Éditions de l'École, Paris, 91 p.
- ❖ ASSEMBLEE NATIONALE, 2015. Charte de l'Environnement Malagasy actualisée, Loi 2015\_003. 14p.
- ❖ BESAIRIE H., 1934, Notice explicative sur la feuille Bealanana TU-36.37. Carte géologique de reconnaissance à l'échelle du 200 000ème. Antananarivo. 14p.
- ❖ BESAIRIE H. 1957, La géologie de Madagascar en 1957. Service Géologique de Madagascar, 159 p.
- ❖ BESAIRIE H. 1964, Bauxite - Gites minéraux de Madagascar (premier volume): Malagasy Republic Bureau Géologique Documentation 176a, p45–81.
- ❖ BICO, 2017. Etude d'impact environnemental et social du projet de recherche minière suivant le permis minier PE 29683. Rapport d'EIE. Société Madagascar Aluminium. Région Sofia, p68.
- ❖ CAHIER DE CHARGES ENVIRONNEMENTALES. Société Madagascar Aluminium – PE n° 29683. Région Sofia, 19p.
- ❖ COLLINS, A.S., WINDLEY, B.F., 2002. Tectonic evolution of central and northern Madagascar and its place in the final assembly of Gondwana Journal of Geology, p. 325–339
- ❖ GUIDE PRATIQUE POUR L'ETUDIANT, 2004. Rédaction d'un mémoire, 17p.
- ❖ HOTTIN, G., MOINE, B., 1963. Bauxite, in Comptes Rendus de la Semaine Géologique: Annales Géologiques de Madagascar, Fascicule no XXXIII, Antananarivo Imprimerie Nationale, p203-210.
- ❖ MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, DES EAUX ET FORETS, 2004. Décret MECIE. DECRET N° 99-954 DU 15 DECEMBRE 1999 modifié par le décret n° 2004-167 du 03 février 2004 relatif à la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement, 42p.
- ❖ MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, ONE, Directive générale pour la réalisation d'une étude d'impact environnemental à Madagascar. Ministère de l'Environnement, Office National pour l'Environnement. Antananarivo, 37p.
- ❖ PGES-MINE, 2009, Plan de gestion environnemental de la mine, Office National pour l'Environnement. Antananarivo, 17p.
- ❖ RAZAFINIPARANY A., 1969. Rapport annuel du service géologique. Direction des Mines et de l'Energie. nbr figures 25, 145p.

- ❖ ROIG, J.Y. et al, 2012. Carte géologique de la République de Madagascar à 1/1 000 000. Ministère des Mines, PGRM, Antananarivo, République de Madagascar.
- ❖ TUCKER, R.D. et al, 1999. U-Pb geochronology and isotope geochemistry of the Archean and proterozoic rocks of north-central Madagascar. Journal of Geology, Vol. 107, p135-153.

### **REFERENCES WEBOGRAPHIQUES**

- ❖ <http://www.endvawnow.org/fr/articles/1180-analyse-ffom-.html?next=1181> (octobre 2017)
- ❖ <http://www.mpmp.gov.mg/> (août 2017)
- ❖ <http://www.pnae.mg/> (août 2017)
- ❖ <http://www.sofia.gov.mg/> (octobre 2017)

# ANNEXES

## **ANNEXE I : PRESCRIPTIONS DIVERSES DU CCE**

### **I.1 Défrichements**

**Article 27 :** Toute coupe de bois à l'intérieur du périmètre minier doit avoir l'autorisation au préalable des Services Forestiers concernés.

**Article 28 :** Toute exercice de coupe d'espèces ligneuses doit se faire conformément à l'article 313 du Décret n3006-910 du 19 décembre 2006 fixant les conditions d'application du Code Minier modifié par la loi 2005-021 du 17 octobre 2005, stipulant que : si le bois se trouvant à l'intérieur de périmètre fait partie du domaine privé de l'Etat ou de la Province Autonome, le titulaire a le droit de couper le bois se trouvant à l'intérieur du périmètre nécessaire à son activité minière, sous réserve de se conformer aux lois et règlements en vigueur. Toutefois, s'il existe sur le terrain concerné des occupants traditionnels ou des usufruitiers organisés en groupement, le titulaire du permis minier ne peut ni couper le bois ni utiliser l'eau qu'avec leur autorisation écrite.

**Article 30 :** En dehors de ses empreintes minières, le promoteur ne doit en aucun cas exploiter directement ou indirectement les forêts environnantes à des fins diverses (prélèvement de bois pour l'énergie et/ou de construction, défrichement, ouverture de piste, ...).

### **I.2 Excavations**

**Article 31 :** Le promoteur n'est pas habilité à creuser de puits/tranchées et à forer dans un périmètre d'au moins quatre-vingt (80) mètres des sites et infrastructures prévus à l'article 105 du Code Minier, sans préjudice de restrictions particulières éventuelles :

- Aux alentours des propriétés closes ou d'un dispositif équivalent ou de toute délimitation usitée dans la région concernée, village, groupe d'habitations, puits et sources d'eau, édifices religieux, lieux de sépulture et lieux considérés comme sacrés ou tabous, sans le consentement écrit suivant le cas, soit du propriétaire, soit des autorités des Collectivités Territoriales Décentralisées concernées ;
- De part et d'autre des voies de communication, conduites d'eau et généralement aux alentours de tout travaux d'usage publique, des sites archéologiques, des sites culturels et touristiques

et ouvrages d'art sans autorisation du Ministre des Mines et après avis conforme des autorités compétentes.

### **I.3 Prélèvement d'eau**

**Article 33 :** Le promoteur est tenu d'effectuer périodiquement le contrôle de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des rivières Andohanampadrana et Nanielezana.

**Article 36 :** Afin d'optimiser la gestion des déblais d'un site de recherche (puits ou tranchée), le promoteur est tenu d'aménager :

- Une aire de stockage des terres végétales
- Une aire de stockage des stériles et des boues de curage des eaux

**Article 37 :** Pour éviter toute sorte d'évasement ou de pollution tellurique d'un plan d'eau en aval d'un puits ou d'une tranchée, le promoteur doit mettre en œuvre des dispositifs de DRS (Défense et Restauration des Sols) :

- Création de caniveaux ou canalisation à dimension convenable entre un site de recherche (puits/tranchée) et le site en aval, de façon à capter les eaux de ruissellement et à piéger les sédiments
- Curage régulier des caniveaux
- Fixation physique et/ou biologique des déblais

**Article 41 :** Toute excavation doit être remblayée immédiatement après prélèvement des échantillons. Chaque remblayage doit être suivi par la revégétalisation du site avec des espèces locales de graminées pour fixer le sol superficiel.

### **I.4 Restauration des plateformes de forages**

**Article 49 :** Avant chaque changement de point de forage, le promoteur doit boucher le trou de forage par du béton et remblayer les bassins aménagés sur la plateforme.

La revégétalisation de la plateforme varie selon les résultats de sondage :

- ❖ Si les résultats sont négatifs, le programme de revégétalisation se fait en deux périodes :

- La recouverture rapide doit se faire immédiatement avec des espèces locales de graminées pour fixer le sol superficiel
  - La recouverture pérenne : le protocole de plantation des ligneux doit être élaboré conjointement avec la DREEF SOFIA pour validation. Le promoteur est en effet tenu d'indiquer dans le premier rapport de suivi environnemental la copie de la convention de collaboration et tous les détails techniques y afférent (choix des espèces adaptés à la topographie et aux conditions édapho-climatiques, techniques de plantation, planning d'exécution, etc.)
- ❖ Si les résultats sont probants (restauration provisoire) : la plateforme de forage doit être revégétalisée par des espèces locales de graminées.

### **I.5 Relation avec les propriétaires de terrain**

**Article 89 :** Aucune activité afférente à la recherche minière ne doit être entreprise dans les terrains à propriété privé/public (titrés ou on titrés) sans autorisation de leur propriétaire.

## **ANNEXE II : SYSTEME MECIE**

### **II.1 Historique**

Faisant suite à la prise de conscience mondiale à la dégradation planétaire de l'environnement (émission de GES, pollution, réchauffement climatique, hausse du niveau de la mer, inondations, ...), les pays du monde entier se sont mis d'accord de se réunir en haut sommet pour faire face à ces fléaux. La réunion s'est effectuée à Rio de Janeiro (Brésil) en 1992 dont Madagascar y était représenté par une forte délégation dirigée par son Président de la République.

Le haut sommet s'est acheminé par l'établissement d'une convention appelée « Convention de RIO ». Madagascar a ratifié cette convention qui nous oblige par la suite à concevoir et mettre en œuvre un « système » de préservation de l'environnement face aux impacts des projets d'investissement : système MECIE.

Afin de fixer les règles et procédures à suivre en vue de la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement et de préciser la nature, les attributions respectives et le degré d'autorité des Institutions ou Organismes, l'état malgache avait élaboré le décret MECIE. La dernière version en vigueur de ce texte réglementaire est le décret n° 99-954 du 15 décembre 1999 relatif à la Mise en Compatibilité des Investissements avec l'Environnement, modifié par le décret n° 2004-167 du 03 février 2004.

### **II.2 Justification**

La MECIE est la traduction des préoccupations nationales en gestion durable des ressources naturelles comme le SAPM (Système d'Aires Protégées de Madagascar), le TGRN (Transfert de Gestion des Ressources Naturelles), la GIZC (Gestion Intégrée des Zones Côtières et Marines).

Conformément aux principes de la MECIE :

- la dégradation de l'environnement devient une préoccupation majeure
- la préservation de l'environnement est une affaire de tous
- les objectifs de développement durable devraient être intégrés dans les projets d'investissement



Dans la pratique, un projet d'investissement durable est un projet respectueux de l'environnement et porteur de développement socioéconomique de sa zone d'implantation.

### **I.3 Différentes formes de MECIE**

Pour faire face à la multiplicité des projets d'investissement objet d'évaluation, le décret MECIE régit et stipule 3 formes de MECIE : EIE – PREE – MEC

➤ Etude d'Impact Environnemental ou EIE

Critères d'éligibilité du projet :

- Le projet est non existant
- Le projet minier est mécanisé
- Les impacts à gérer sont des impacts probables ou prévisibles
- Le projet est générateur d'impacts importants/significatifs sur l'environnement
- Le projet est implanté dans une zone présentant de site(s) sensible(s)

L'évaluation du dossier d'EIE incombe au Comité Technique d'Évaluation ad hoc ou CTE. Après évaluation favorable dudit dossier, l'ONE délivre au promoteur un Permis Environnemental avec lequel le Cahier de Charges Environnementales (CCE) y est annexé.

➤ Programme d'Engagement Environnemental ou PREE

Critères d'éligibilité du projet :

- Le projet est non existant
- Les impacts à gérer sont des impacts probables ou prévisibles
- Le projet minier est artisanal
- Le projet génère de moindres impacts sur l'environnement
- Le projet est implanté dans une zone ne présentant pas de site sensible

L'évaluation du dossier de PREE incombe à la Cellule Environnementale du Ministère de tutelle du projet. Après évaluation favorable dudit dossier, le Ministère de tutelle octroie au promoteur une Autorisation Environnementale.

➤ Mise En Conformité ou MEC

Critères d'éligibilité du projet :

- Le projet est existant et fonctionnel
- Les impacts à gérer sont des impacts réels
- Les procédures prévues sont celles d'une EIE ou d'un PREE selon l'importance des impacts et/ou l'affectation ou non de site(s) sensible(s)

Délivrance d'un Certificat de Conformité après évaluation favorable du dossier de MEC.

## **ANNEXE III : CADRE JURIDIQUE DE L'ETUDE**

### **III.1 Textes réglementaires nationaux**

#### **CHARTRE DE L'ENVIRONNEMENT MALAGASY ACTUALISEE**

La loi n°2015-003 portant Charte de l'Environnement Malagasy actualisée reconnaît l'environnement en tant que préoccupation prioritaire d'intérêt général de l'Etat, et le devoir de chacun de le protéger, et le droit de toute personne d'être informée des décisions susceptibles d'exercer quelques influences sur l'environnement et de participer à ces décisions.

**Article 3 :** La Charte de l'Environnement Malagasy a pour objectifs :

- de reconnaître l'environnement comme une composante clé du patrimoine de la nation et est donc à la base de la génération durable de bien-être économique et social ;
- de réconcilier la population avec son environnement en vue d'un Développement Durable et Equitable du pays, en passant par l'économie verte ;
- de bien asseoir les structures essentielles de la gestion de l'environnement en vue de l'amélioration de leur efficacité, de leur performance, de leur professionnalisme ainsi que leur pérennisation ;
- de renforcer la compatibilité des investissements avec l'environnement et les enjeux sociaux ;
- de garantir et assurer le système de suivi et évaluation de toute action se rattachant aux projets environnementaux ;
- de promouvoir la qualité environnementale ;
- de mettre en place des mécanismes de financement durable pour les actions environnementales.

**Article 13 :** « Les projets d'investissements publics ou privés, qu'ils soient soumis ou non à autorisation ou à approbation d'une autorité administrative, ou qu'ils soient susceptibles de porter atteinte à l'environnement doivent faire l'objet d'une étude d'impact ».

## **DECRET MECIE**

En application de cet article 13 de la Charte de l'Environnement Malagasy actualisée, le Décret n°99-954 du 15 décembre 1999 relatif à la Mise en Compatibilité des Investissements avec l'Environnement (MECIE), modifiées par le Décret n°2004-167 du 03 février 2004, fixe les règles et procédures à suivre par les investisseurs en vue de la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement, qui est un préalable à l'investissement.

## **CODE MINIER ET SON DECRET D'APPLICATION**

La Loi N°99-022 du 19/08/1999 modifié par la Loi n° 2005-021 du 17/10/ 2005 portant code minier, concernant le régime d'orpaillage, Titre III, Chapitre I à Chapitre III, article 68 à 87.

Du Titre V, Chapitre II, Article 98-103 régit les obligations attachées à l'exercice des activités minières concernant la protection de l'Environnement. Et de la chapitre III, Article 104-107, rappelle la défense d'activités dans les zones protégées d'interdiction, et de protection, et les dispositions connexes.

Son décret d'application, Décret n°2006-910 du 19/12/2006, fixant les engagements environnementaux du titulaire des permis miniers ainsi que les rôles respectifs de chaque entité concernée par l'application des réglementations environnementales au secteur minier.

## **CODE DE L'EAU**

La Loi n° 98-029 du 20 Janvier 1999 portant Code de l'Eau stipule à l'Article 10 qu'aucun travail ne peut être exécuté sur les eaux de surface qu'il modifie ou non son régime, aucune dérivation des Eaux de Domaine Public, de quelque manière et dans quelque but que ce soit, en les enlevant momentanément ou définitivement à leurs cours, ne peut être faite sans autorisation.

## **LES AUTRES TEXTES SECTORIELS**

- Loi N°94-027 portant code d'hygiène, de sécurité et d'Environnement de travail
- Arrêté interministériel Mines-Environnement N°: 12-032/2000 du 06/11/2000 portant sur les dispositions de la protection environnementale dans le secteur minier et l'article 30 de cet Arrêté ordonne l'élaboration de l'EIES pour les activités minières autorisées par les permis miniers de type E et R.

- Arrêté interministériel N°18 177/2004 du 27/09/2000 portant définition et délimitation des zones sensibles.
- Arrêté n° 6830/2001 du 28 Juin 2001 fixant les procédures et les modalités de participation du public à l'évaluation environnementale.
- Arrêté interministériel N° 895/60 du 20 Mai 1960 déterminant les mesures particulières d'hygiène et de sécurité applicables dans les chantiers.
- Ordonnance N°60-126 du 03/10/1960 relative à la faune et flore
- Ordonnance N°73-009/73-010 du 24/03/1973 stipulant le partage équitable des bénéfices tirés de l'utilisation des ressources naturelles au niveau du Fokonolona pour un développement durable.

### **III.2 Conventions Internationales**

#### **CONVENTION SUR LA DIVERSITE BIOLOGIQUE (CDB)**

Cette convention signée dans le cadre de la conférence internationale des Nations- Unions de Rio en 1992 est l'un des piliers permettant aux pays de définir leurs politiques et stratégies nationales en matière de biodiversité. Les pays membres doivent établir des rapports annuels faisant état des conditions de la biodiversité. Cette convention exige également de ses membres qu'ils appliquent les processus d'EIES à tous les projets qui ont un impact potentiellement négatif sur leur biodiversité.

Madagascar, qui a ratifié la convention en 1996, a adopté sa stratégie nationale et prépare actuellement la mise à jour de la stratégie et le plan d'action pour la gestion de la biodiversité (SNPAB). Dans ce cadre, une base de données sur la biodiversité a été mise en place.

#### **CONVENTION SUR LE COMMERCE INTERNATIONAL DES ESPECES DE FAUNE ET DE FLORE SAUVAGES MENACEES D'EXTINCTION (CITES)**

Cette convention internationale, signée en mars 1973 (entrée en vigueur à Madagascar par l'ordonnance du 5 Août 1975) a pour objectif principal de veiller à ce que le commerce international des spécimens d'animaux et de plantes sauvages ne menace pas la survie des espèces auxquelles ils appartiennent. Elle permet de réguler le commerce des espèces menacées d'extinction selon les critères suivants :

## L'EVALUATION DES ESPECES PAR L'UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE (UICN)

L'Union International pour la Conservation de la Nature (UICN) tient à jour l'inventaire mondial de l'état de conservation des espèces végétales et animales, qui constitue l'un des éléments clés de l'analyse qu'il convient de mener dans le cadre de l'élaboration d'un état de référence.

Les trois catégories d'espèces menacées selon cette classification sont les suivantes :

- « En danger critique d'extinction » (CR) : espèces confrontées à un risque extrêmement élevé d'extinction à l'état sauvage ;
- « En danger » (EN) : espèces confrontées à un risque très élevé d'extinction à l'état sauvage ;
- « Vulnérables » (VU) : espèces ayant un risque élevé d'extinction à l'état sauvage.

## GUIDE DES BONNES PRATIQUES DU CONSEIL INTERNATIONAL DES MINES ET DES METAUX

Un guide des bonnes pratiques a été élaboré par le Conseil International des Mines et des Métaux en 2010, permettant de fournir des outils destinés aux promoteurs, favorisant l'intégration des enjeux écologique dans des projets industriels. Ce guide met particulièrement l'accent sur l'importance de réaliser des états initiaux en amont de l'élaboration d'EIES, qui doivent servir à intégrer le plus en amont possible les enjeux écologiques dans la définition d'un projet.

## ANNEXE IV : REPARTITION DE LA POPULATION PAR SEXE ET PAR AGE (*rapport d'EIE Madagascar Aluminium*)

Le tableau ci-dessous indique la répartition par âge et par sexe de la population classée par Fokontany. Les classes choisies permettent de différencier les différentes classes de population à charge (enfants entre 0-5 ans, écoliers entre 6 et 17 ans), la population active (entre 18 et 60 ans) et le troisième âge (plus de 60 ans).

**Tableau i : Démographie de la région de Bealanana, commune Ambatosia**

Commune	Fokontany	0 à 5 ans		6 à 17 ans		18 à 60 ans		Plus de 60 ans		Total	
		H	F	H	F	H	F	H	F	H	F
AMBATOSIA	AMBARARATABE	32	34	110	112	118	121	11	16	271	285
	AMBALABE	69	72	234	239	247	261	28	31	578	603
	AMBATOSIA	180	194	619	628	667	673	76	80	1542	1576
	AMBOHIMITSINJO	64	66	216	218	232	234	27	28	539	546
	AMPAMINTY	67	63	214	221	250	218	24	31	555	533
	AMPANDRANA	70	74	237	242	249	267	28	32	583	616
	ANDRANOTAKATRA BAS	60	64	206	209	222	224	25	27	513	519
	ANDRANOTAKATRA HAUT	79	82	284	287	311	315	34	37	708	721
	ANDASINIMARO	90	95	311	306	330	333	45	32	776	766
	ANJOHIBE	70	76	240	248	260	265	42	19	612	609
	ANKIJANIMAVO	68	72	234	235	254	252	28	30	584	589
	BEANATSINDRA	77	85	269	271	289	292	33	35	666	685
	<b>TOTAL</b>	926	977	3174	3216	3429	3455	400	398	7927	8048

## ANNEXE V : PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL DU PROJET

Le Plan de Gestion Environnemental du Projet (PGEP) constitue la base du cahier de charges environnementales du projet de recherche de Bauxite. Il consiste en un programme de surveillance et de suivi permettant d'atténuer ou de compenser les impacts négatifs dudit projet sur les composants environnementaux.

### III.3.3.1 Programme de surveillance environnementale

La **surveillance** consiste à s'assurer que la Société Madagascar Aluminium respecte ses engagements et ses obligations d'application des mesures environnementales requises pendant la réalisation de son projet (Effectivités des mesures environnementales).

Sous forme de tableau, ce programme devra au moins comprendre les informations sur :

- les mesures environnementales dont leur mise en œuvre fait l'objet de surveillance ;
- les indicateurs de surveillance (IOV : Indicateurs Objectivement Vérifiables) ;
- le chronogramme (ou l'échéancier) et les lieux où se déroule la surveillance de mise en œuvre des mesures environnementales ;
- la méthode et les moyens prévus pour le bon fonctionnement des travaux ;
- le(s) responsable(s) de la surveillance de la mise en œuvre des mesures environnementales.

**Tableau ii : Programme de surveillance des activités minière la Société Madagascar Aluminium**

Mesures environnementales	Indicateur	Lieu	Calendrier	Fréquence	Méthode	Responsable
<b>Phase de préparation et d'installation</b>						
Fixation biologique des talus et des flancs de piste par plantation de plantes herbacées	PV de réception des pistes d'accès	Le long du tracé de piste	A la fin de l'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Enrochement des pistes sur les pentes raides et aménagement de fossés latéraux en terre	PV de réception des pistes d'accès	Talus ; le long du tracé de piste	A la fin de l'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental



Mesures environnementales	Indicateur	Lieu	Calendrier	Fréquence	Méthode	Responsable
Tracé de pistes suivant à priori les lignes de crêtes	PV de réception des pistes d'accès	Le long du tracé de piste	A la fin de l'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant	Cahier des plaintes	Commune	Pendant la phase d'installation		Rapport de la population	Le Maire de la région concernée
Arrosage périodique de la piste en terre durant la saison sèche	Etat des pistes	Le long du tracé de piste	Pendant la durée de vie du projet	1 fois par jour	Constat	Responsable environnemental
Limitation de vitesse des camions/engins/véhicules à 40km/h		Sur la piste	Pendant la durée de vie du projet	1 fois par jour		
Ententes mutuelles avec les propriétaires des pâturages	PAP's		Avant le début des travaux	1 fois	Constat	PAP's
Conventions écrites consignées par les 2 parties (Société Madagascar Aluminium et propriétaires des pâturages)	Lettre d'engagement	Commune	Avant le début des travaux	1 fois		Le Maire de la région concernée
Limiter les défrichements et le terrassement au strict besoin spatial de la base vie	Surface défrichée	Périmètre minier	Pendant de début de l'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Aménagement des dispositifs de traitement des eaux usées : - Puisards pour les eaux usées de la cantine ; - Fosses septiques pour les eaux vannes ; - Aires d'entreposage des huiles usées et du stock de carburants conformes aux normes OMH	Existence des fosses	Base vie	Pendant la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental

Mesures environnementales	Indicateur	Lieu	Calendrier	Fréquence	Méthode	Responsable
(Office Malgache des Hydrocarbures)						
Imperméabilisation de l'aire d'entretien des camions, des véhicules et des engins	Inexistence d'Infiltration de liquide dans le sol	Base vie	Avant le début des travaux	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Analyses physico-chimique (pH, couleur, taux de MES, DBO5, DCO, huiles minérales, ...) et bactériologique (Coliformes, Escherischia coli, Streptocoques fécaux, Clostridium sulfito-réducteurs) au temps T0 et périodiques des eaux de la rivière Andohanampandrana	Rapport d'Analyse des eaux		Pendant la phase d'installation	1 fois	Documents	Responsable environnemental
Bonne gestion des déchets solides biodégradables : fosse munie de couvercle	Existence de la fosse	Base vie	Avant le début des travaux	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Acquisition d'une autorisation de coupes délivrée préalablement par le Service Forestier de Béalàna ou de la DREEF Sofia	Autorisation écrite		Avant les travaux de coupe de bois	1 fois	Document	Responsable environnemental
Acquisition d'une autorisation d'installation et d'occupation de la base vie délivrée	Autorisation écrite		Avant l'installation	1 fois	Document	Le Maire de la région concernée
<b>Phase d'exploitation du projet</b>						
Aménagement des dispositifs de traitement des eaux usées :	Existence des fosses	Base vie	Pendant la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental

Mesures environnementales	Indicateur	Lieu	Calendrier	Fréquence	Méthode	Responsable
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puisards pour les eaux usées de la cantine ;</li> <li>- Fosses septiques pour les eaux vannes ;</li> <li>- Aires d’entreposage des huiles usées et du stock de carburants conformes aux normes OMH (Office Malgache des Hydrocarbures)</li> </ul>						
Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant	Cahier des plaintes	Commune	Pendant la phase d’’exploitation		Rapport de la population	Le Maire de la région concernée
Hauteur des déblais : pas plus de 2,5m	Hauteur des déblais	Chantier	Après chaque activité		Constat	Responsable environnemental
Limitier les défrichements et les coupes de bois ligneux au strict besoin spatial des travaux	Surface défrichée	Périmètre minier	Pendant de début de l’installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Aménagement de canal antiérosif (pour piéger les MES transportées par les eaux de ruissellement) à dimension convenable entre un site minier et un plan d’eau en aval	Existence du canal	Chantier	Pendant les activités	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Utilisation des eaux en circuit fermés sur les sites de forage (utilisation de bassin de rétention et de bassin de décantation)	Existence des bassins	Chantier	Pendant les activités	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Plan de communication de la Société Madagascar Aluminium	Séance d’information entre le Société	Fokontany	Avant le début de la recherche	1 fois		

Mesures environnementales	Indicateur	Lieu	Calendrier	Fréquence	Méthode	Responsable
(information du public sur les zones d'intervention de la société)	Madagascar Aluminium et la population					
Sensibilisation des éleveurs à ne pas pâturer leurs bétails dans les zones d'intervention de la société	Séance d'information entre le Société Madagascar Aluminium et la population	Fokontany	Avant le début des activités	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Aménagement de clôture autour d'un site minier, avec des panneaux de dangers/d'interdiction bien visible et en version malagasy pour être compris par les « mpiarakandro ».	Existence des éléments cités (cloture, panneaux)	Périmètre du projet	Pendant la création de pistes et l'installation des infrastructures	1 fois	Constat	Responsable environnemental
<b>Phase de fermeture</b>						
Revégétalisation dans le périmètre minier	Travaux de revégétalisation	Périmètre minier	Après les travaux de recherche	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant	Cahier des plaintes	Commune	Après les travaux de recherche		Rapport de la population	Le Maire de la région concernée
Réhabilitation provisoire en attendant la phase d'exploitation proprement dite	Travaux de réhabilitation	Périmètre minier	Après les travaux de recherche	1 fois	Constat	Responsable environnemental

### III.3.3.2 Programme de suivi

Le **suivi** consiste à suivre l'évolution de certaines composantes des milieux affectés par le projet minier. Cette activité vise à vérifier la validité des hypothèses émises relativement à l'efficacité des mesures adoptées (Performance environnementale du projet).

Toujours sous forme de tableau, ce programme devra comprendre au moins les informations sur :

- les mesures environnementales objet de suivi ;
- les indicateurs de suivi (IOV) ;
- le chronogramme (ou l'échéancier) et les lieux où se déroule le suivi environnemental ;
- la méthode et les moyens prévus pour le bon fonctionnement des travaux de suivi ;
- le responsable de suivi environnemental.

**Tableau iii : Programme de suivi des activités minières de la Société Madagascar Aluminium**

Mesures environnementales	Indicateur	Lieu	Calendrier	Fréquence	Méthode	Responsable
<b>Phase de préparation et d'installation</b>						
Fixation biologique des talus et des flancs de piste par plantation de plantes herbacées	Existence ou absence d'érosion	Talus et flancs de pistes	Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Enrochement des pistes sur les pentes raides et aménagement de fossés latéraux en terre	Existence ou absence d'érosion	Pentes des pistes	Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Tracé de pistes suivant à priori les lignes de crêtes	PV de réception des pistes d'accès	Le long du tracé de piste	Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant	Résolution des problèmes	Fokontany	Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Arrosage périodique de la piste en terre durant la saison sèche	Taux de pollution de l'air	Site minier	Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental

Mesures environnementales	Indicateur	Lieu	Calendrier	Fréquence	Méthode	Responsable
Limitation de vitesse des camions/engins/véhicules à 40km/h	Taux de pollution de l'air	Site minier	Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Ententes mutuelles avec les propriétaires des pâturages	Inexistence de plaintes		Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Conventions écrites consignées par les 2 parties (Société Madagascar Aluminium et propriétaires des pâturages)	Inexistence de plaintes		Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Aménagement des dispositifs de traitement des eaux usées : - Puisards pour les eaux usées de la cantine ; - Fosses septiques pour les eaux vannes ; - Aires d'entreposage des huiles usées et du stock de carburants conformes aux normes OMH (Office Malgache des Hydrocarbures)	Taux de pollution	Base vie	Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Imperméabilisation de l'aire d'entretien des camions, des véhicules et des engins	Inexistence d'Infiltration de liquide dans le sol	Base vie	Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Analyses physico-chimique (pH, couleur, taux de MES, DBO5, DCO, huiles minérales, ...) et bactériologique (Coliformes, Escherischia coli, Streptocoques fécaux, Clostridium sulfito-	Utilisabilité de l'eau	Base vie	Fin de la phase d'installation	1 fois	Rapport d'Analyse	Responsable environnemental

Mesures environnementales	Indicateur	Lieu	Calendrier	Fréquence	Méthode	Responsable
réducteurs) au temps T0 et périodiques des eaux de la rivière Andohanampandrana						
Bonne gestion des déchets solides biodégradables : fosse munie de couvercle	Taux de pollution	Base vie	Fin de la phase d'installation	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Acquisition d'une autorisation de coupes délivrée préalablement par le Service Forestier de Béalàna ou de la DREEF Sofia	Autorisation écrite		Fin de la phase d'installation	1 fois	Document	Responsable environnemental
Acquisition d'une autorisation d'installation et d'occupation de la base vie délivrée	Autorisation écrite		Fin de la phase d'installation	1 fois	Document	Responsable environnemental
<b>Phase d'exploitation du projet</b>						
Aménagement des dispositifs de traitement des eaux usées : - Puisards pour les eaux usées de la cantine ; - Fosses septiques pour les eaux vannes ; - Aires d'entreposage des huiles usées et du stock de carburants conformes aux normes OMH (Office Malgache des Hydrocarbures)	Taux de pollution	Périmètre minier	Fin de la phase d'exploitation du projet	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant	Résolution des problèmes	Fokontany	Fin de la phase d'exploitation du projet	1 fois	Constat	Responsable environnemental

Mesures environnementales	Indicateur	Lieu	Calendrier	Fréquence	Méthode	Responsable
Aménagement de canal antiérosif (pour piéger les MES transportées par les eaux de ruissellement) à dimension convenable entre un site minier et un plan d'eau en aval	Existence d'érosion	Chantier	Fin de la phase d'exploitation du projet	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Utilisation des eaux en circuit fermés sur les sites de forage (utilisation de bassin de rétention et de bassin de décantation)	Etat des cours d'eau	Chantier	Fin de la phase d'exploitation du projet	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Plan de communication de la Société Madagascar Aluminium (information du public sur les zones d'intervention de la société)	Compréhension des activités par la population	Fokontany	Fin de la phase d'exploitation du projet	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Sensibilisation des éleveurs à ne pas pâturer leurs bétails dans les zones d'intervention de la société	Inexistence d'éleveurs dans les zones d'intervention	Périmètre minier	Fin de la phase d'exploitation du projet	1 fois	Constat	Responsable environnemental
Aménagement de clôture autour d'un site minier, avec des panneaux de dangers/d'interdiction bien visible et en version malagasy pour être compris par les « mpiarakandro ».	Absence de d'accidents	Périmètre du projet	Fin de la phase d'exploitation du projet	1 fois	Constat	Responsable environnemental
<b>Phase de fermeture</b>						
Revégétalisation dans le périmètre minier	Existence de verdure	Périmètre minier	Après la fermeture du projet	1 fois	Constat	Responsable environnemental



Mesures environnementales	Indicateur	Lieu	Calendrier	Fréquence	Méthode	Responsable
Gestion des plaintes par la Société Madagascar Aluminium, le cas échéant	Résolution des problèmes	Fokontany	Après la fermeture du projet		Rapport de la population	Responsable environnemental
Réhabilitation provisoire en attendant la phase d'exploitation proprement dite	Efficacité de la réhabilitation	Périmètre minier	Après la fermeture du projet	1 fois	Constat	Responsable environnemental

## ANNEXE VI : ILLUSTRATIONS DIVERSES



**Figure i :** *Broyeur 2,5 mm*



**Figure ii et iii :** *Broyeur en O (80µ)*

**Titre : Gestion des empreintes minières de l'exploration de bauxite par la Société Madagascar Aluminium dans la zone Andranovato-Bevalala, District de Bealanana, Région Sofia.**

Auteur : MIARY Njato Mandimbisoa

Email : [mrynjato@gmail.com](mailto:mrynjato@gmail.com)

Tel : (+261) 33 40 737 08

Encadreur pédagogique : Madame RAHANTARISOA Lydia

Encadreur professionnel : Monsieur RAONINJATOVOHERIVONJY Hajaridera

Nombre de pages : 65

Nombre de tableaux : 13

Nombre de figures : 22

**RESUME**

L'exploration du gisement de bauxite d'Andranovato-Bevalala par la Société Madagascar aluminium nécessite l'application de multiples disciplines géoscientifiques intégrant la géologie, la géochimie et surtout la gestion des empreintes minières dues aux travaux de recherche.

L'analyse géochimique de la bauxite aboutit à une meilleure approche sur la teneur en aluminium dans la zone d'étude et a montré des valeurs intéressantes. Les études antérieures effectuées par le Service Géologique sur la bauxite présentent un taux d'alumine élevé pour envisager une recherche approfondie en vue d'une future exploitation.

La gestion des empreintes minières de la Société Madagascar Aluminium se concentre uniquement sur les traces physiques laissées par les activités minières. Elle présente des prescriptions environnementales plus détaillées par rapport au CCE qui tient en compte la généralité des activités et travaux effectués par la société. Elle peut être utilisée comme une gestion partielle d'un projet minier et véhicule la bonne relation de voisinage et l'intégration sociale du projet.

**Mots clés :** Bealanana , Andranovato-Bevalala , géochimie de bauxite , Empreintes minières ,Impact Environnemental.

**ABSTRACT**

The exploration of the Andranovato-Bevalala bauxite deposit by the Madagascar Aluminum Company requires the application of multiple geoscientific disciplines integrating geology, geochemistry and the management of mining footprints due to research work.

The bauxite geochemical analysis results in a better approach to the aluminum content in the area and has shown interesting values. Previous studies carried out by the Service Géologique on bauxite have a high alumina content to consider in-depth research for future exploitation.

The management of Madagascar Aluminum's mining footprints focuses solely on the physical traces left by mining activities. It presents more detailed environmental requirements in relation to the CCE which takes into account the generality of the activities and works carried out by the company. It can be used as a partial management of a mining project and conveys the good neighborhood relation and the social integration of the project.

**Keywords:** Bealanana, Andranovato-Bevalala, Bauxite Geochemistry, Mineral Footprints, Environmental Impact.