

Méthodes d'étude de la composante « sol » lors de la reconnaissance et l'exploration minière - Cas de l'exploration du calcaire dans la Commune de Mariarano, District Mahajanga II, Région Boeny.

Mandimbiharison A. J.¹, Rasolomanana E.²

¹ Département de Géologie, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, B.P.1500 Université d'Antananarivo
¹ Département Mines, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, B.P.1500 Université d'Antananarivo

Résumé - Pour le milieu récepteur qu'est le sol, la méthodologie d'approche pour l'étude d'impact lors de la phase d'exploration d'une substance minière doit suivre les étapes suivantes : avant la descente sur terrain, effectuer un recueil bibliographique ; pendant les travaux de terrain, commencer par des observations suivies de descriptions et d'échantillonnages ; après le terrain, procéder aux analyses des échantillons prélevés et aux interprétations des résultats obtenus qui permettent de connaître les aptitudes du sol et leur sensibilité à l'érosion et de décrire les mesures à prendre pour atténuer les impacts négatifs. Pour le cas d'exploration du calcaire dans la Commune Rurale de Mariarano, les analyses et observations révèlent que les impacts négatifs sur le milieu récepteur « SOL » s'avèrent faibles si la remise en état et l'amélioration de la qualité des sols sont bien suivies et respectées.

Mots clés - Mariarano, Calcaire, Exploration, Sol, Impact environnemental

Abstract - For the environment recept that is the SOIL, the methodology of approach for the impact study during the phase of exploration of a mining substance must follow the order stages: before going to field, to carry out a bibliographic reference; during the field work, to start with observations followed by description and sampling; after the field, to make the analyses of the taken samples and interpretations of the results obtained who allow to know the aptitudes of the soil and their sensitivity to erosion and to describe the measures to be taken to attenuate the negative impacts.

In the case of exploration of limestone in the Rural Commune of Mariarano, the analyses and observations reveal that the negative impacts on the receiving medium " SOIL" prove to be weak if the repairing and the improvement of quality of the grounds are strictly followed and respected.

Key words - Mariarano, limestone, exploration, soil, environmental impact

1.- Introduction

L'obtention d'un permis environnemental passe par la présentation d'une étude d'impact environnemental (EIE) de plusieurs composantes (faune, flore, eau, sol,...). En effet, l'étude de la composante « sol » est obligatoire et incontournable pour une Etude d'Impact Environnemental d'un projet minier, car il est le premier récepteur des effets des engins mécaniques utilisés, des constructions (pistes ou routes) et des installations afférentes mais aussi des effets des facteurs naturels tels l'érosion pluviale et les effets des facteurs artificiels (érosion anthropique, les feux de brousse, le défrichement...) avant, pendant ou après l'exploration et l'exploitation minière. Aussi la présente étude a pour but de :

- déterminer les différents types de sols dans la zone du projet ;
- dresser et d'évaluer les impacts négatifs de l'exploration sur le facteur « sol » ;
- dégager les mesures d'atténuation ;
- élaborer une méthode de suivi des impacts des activités d'exploration sur le sol afin de pérenniser et préserver le milieu pédologique.

La présente ne concerne uniquement que les phases de reconnaissance et d'exploration minières.

2.- Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude située dans la localité d'Antanambao se trouve dans la partie Nord-Ouest de Madagascar, dans l'ex-Province de Mahajanga, District de Mahajanga II, Commune Rurale de Mariarano. Elle est délimitée par les quatre sommets représentés par le Tableau 1 ci-après :

Tableau 1 : Coordonnées Laborde des quatre sommets (A, B, C, D) du périmètre minier

$X_A = 435\ 000$	$X_B = 440\ 000$	$X_C = 435\ 000$	$X_D = 440\ 000$
$Y_A = 1\ 180\ 000$	$Y_B = 1\ 180\ 000$	$Y_C = 1\ 175\ 000$	$Y_D = 1\ 175\ 000$



Figure N°1 : Localisation de la zone d'étude (Extraite de la carte topographique Feuille LM38 à échelle 1/100 000)

3.-Méthodologie

Plusieurs auteurs ont mentionné la relation et l'interdépendance entre la morphologie, le climat, la topographie, la végétation, la nature du substratum géologique et le sol. Aussi la méthodologie utilisée sera basée :

- d'abord sur le recueil et la compilation bibliographique ;
- ensuite par la descente sur terrain pour observation, prospection pédologique et échantillonnage ;
- puis par l'analyse physico-chimique des échantillons prélevés au laboratoire FOFIFA Tsimbazaza;
- enfin par l'interprétation des résultats d'analyse.

Les documents consultés sont composés de rapports d'étude des ressources en sols, des revues scientifiques en rapport avec la pédologie, des différentes cartes (topographique, géologique et pédologique). Lors de la descente sur terrain, l'observation conduit à définir les formes du relief et les différents types de sol dans la zone d'étude tandis que la prospection pédologique consiste à ouvrir des fosses et à effectuer des descriptions. Et sur chaque type de sol on effectue un échantillonnage en vue d'analyser leurs propriétés physico-chimiques.

L'analyse des sols, de type classique, définit : la texture, la teneur en matière organique, le taux d'acidité et les teneurs en bases échangeables. Dans le cadre de cette étude, on a utilisé la classification française des sols

4.-Résultats et interprétations

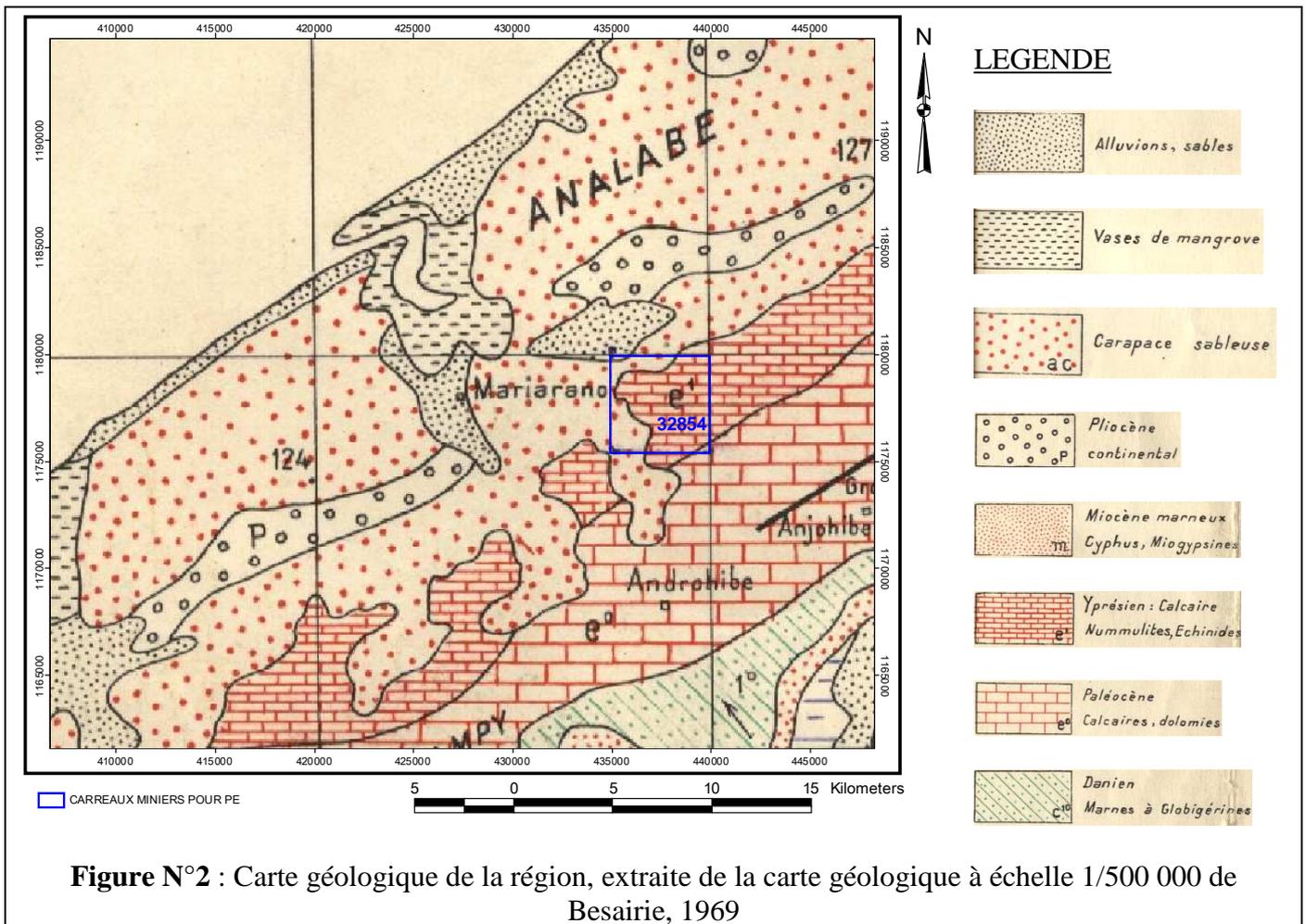
4.1. Etude bibliographique

- Géologie et géomorphologie

La zone du projet, située dans la Commune Rurale de Mariarano, se trouve dans le bassin sédimentaire de Mahajanga. Les formations géologiques (Figure N°2) rencontrées sont :

- les alluvions récentes ;
- les vases des mangroves ;
- les carapaces sableuses ;
- les calcaires éocènes ;
- les calcaires paléocènes ;

Les calcaires éocènes forment une série de plateaux délimités par des escarpements (cuesta ou faille), interrompus par l'érosion, par les recouvrements de sables roux. Sur le plan géomorphologique la région est caractérisée surtout par la présence du plateau (Photo N°1), des dépressions circulaires ou dolines aménagées en « Matsabory » (Photo N°2) et des buttes à sommets arrondis ou des coupoles surbaissées. Les calcaires éocènes montrent un relief caractéristique en lapiaz (turm-karst) surplombant de 15 mètres la plaine environnante.



Le plateau de Mariarano couvre approximativement une superficie de 1000 km²



Photo N°1 : En arrière plan la butte à sommet arrondi et en avant le plateau



Photo N°2 : Dépression circulaire « Matsabory » entourée de satrana et des danga

- *Climat et végétation*

La Commune Rurale de Mariarano, sous l'influence maritime est caractérisée par un climat chaud et humide et des végétations typiques des zones côtières (ex raphia ou satrana, sakoa, adabo, lombiro, madiro, mangarahara, tsimiranja, honko...).

La savane à palmiers avec la strate herbacée (Photo N°3) ont remplacé la forêt qui a été détruite.



Photo N°3 : montrant une partie des végétations de la région

Les pluies dans la région sont réglées par les centres d'action atmosphérique et la saison pluvieuse s'étale sur sept mois d'octobre à avril tandis que la pluviométrie moyenne annuelle varie entre 1000 à 1500mm. La température moyenne annuelle est de 26°8 C donc dans la région la chaleur est une constante

4.2. Description et typologie des sols de la région

La prospection pédologique a permis d'identifier les différents types de sol et leur position dans le paysage :

- au niveau du plateau calcaire peu érodé, le sol est ferrallitique de couleur brun qui occupe plus de 60 % de la superficie du secteur d'étude ;
- au niveau des bas fonds ou dépressions, les sols sont hydromorphes organiques de couleur grisâtre à noirâtre avec engorgement permanent dans certains endroits et hydromorphes pseudogley à gley dans les autres ;
- au niveau du versant à pente faible du plateau, le sol est rouge ferrallitique ;
- l'érosion en nappe décape les sols bruns calcaires ou bruns calcaïques et fait affleurer la croûte fragmentée en blocailles et plaquettes qui forment un pavage jonchant la surface (Photo N°4).



Photo N°4 : affleurements de blocs et plaquettes de calcaire après érosion en nappe

Les fosses et les rainurages des talus permettent de décrire les différents horizons. Le positionnement des points d'échantillonnage est présenté sur la Figure N°3.

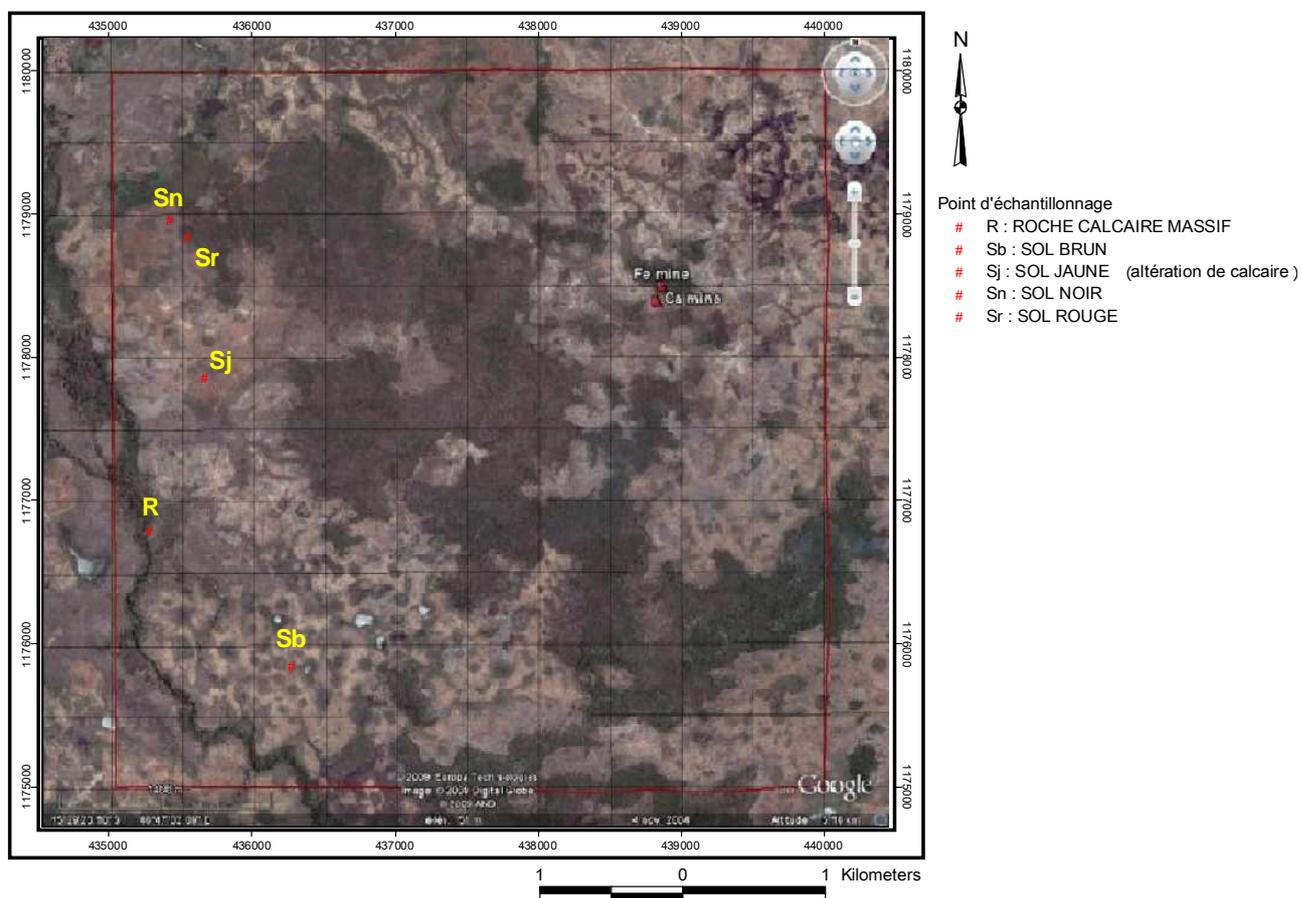


Figure N°3 : Positionnement des points d'échantillonnage

Les photos 4, 5,6 et 7 présentent les différentes fosses avec leurs descriptions respectives.

Fosse N°1 (Sn) de coordonnées X= 435 417 m et Y= 1 178 956 m



Les caractéristiques observées sont décrites ci-après :

- situation : au Sud Est du marais d'Ambondro ;
- unité géomorphologique : bas fonds ;
- type du sol : sol hydromorphe ;
- couleur : 10 YR 5/2 ;
- description :
 - ⇒ 0 à 30 cm : horizon de couleur gris noir, plastique avec un bon enracinement ;
 - ⇒ 30 à 40 cm : horizon brun grisâtre rouillé, plastique ;
 - ⇒ en dessous de 40 cm : horizon noir bleuté très plastique

Photo N°4 : Fosse N°1 de sol hydromorphe

Fosse N°2 (Sb) de coordonnées X= 436 280 m et Y= 1 175 813m



- unité géomorphologique : surface du plateau
- type du sol : sol brun
- couleur : 5 YR 4/6
- description :
 - ⇒ 0 à 20 cm : horizon de couleur brun avec quelques enracinements, structure grumeleuse ;
 - ⇒ en dessous de 20 cm bloc de calcaire.

Photo N°5 : Fosse N°2 de sol brun avec un bloc de calcaire

Fosse N°3 (Sr) de coordonnées X = 435 550 m et Y= 1 178 840m



- unité géomorphologique : versant à pente faible
- type du sol : sol rouge
- couleur : 2,5 YR 4/6
- description
 - ⇒ 0 à 30 cm : horizon de couleur rouge à brun foncé, particulaire avec quelques débris de végétation, structure polyédrique ;
 - ⇒ 30 à 70 cm : horizon de couleur brun ;
 - ⇒ 70 à 80 cm : horizon d'altération de couleur blanchâtre plus ou moins tacheté en vert.

Photo N°6 : Fosse N°3 de sol rouge calcique

Fosse N°4 (Sj) de coordonnées X= 435 660 m et Y=1 177 858 m



- unité géomorphologique : surface du plateau
- type du sol : sol calcimorphe
- couleur : 10 YR 5/2
- description :
 - ⇒ 0 à 25 cm : horizon de couleur sombre à structure massive et cohérente, encroulement calcaire ;
 - ⇒ 25 à 50 cm : strate de calcaire altéré de couleur jaunâtre ;
 - ⇒ 50 à 80 cm : strate de calcaire altéré de couleur blanchâtre.

Photo N°7 : Fosse N°4 de sol calcimorphe avec encroustement et altération du calcaire

Les caractéristiques physico-chimiques de chaque fosse sont décrites sous forme du tableau 2 ci-après.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des fosses

N° Fosse	Réaction	Granulométrie	Matières organiques	Complexe absorbant
Fosse N°1 (Sn)	pH =7,45 La réaction est faiblement alcaline	Le sol a une texture limono – sableux avec une fraction sableuse plus importante (57%), limoneuse (26%) et argileuse (17%).	La matière organique est abondante ou riche, l'azote est moyen et le rapport C/N est de 15,5 indiquant une activité biologique assez bonne ou satisfaisante.	Le complexe absorbant est caractérisé par une capacité d'échange moyenne. Les teneurs en chaux et en magnésie échangeables sont très élevées ou très riches. La teneur en potasse échangeable est élevée ou riche. L'acide phosphorique assimilable est très faible.
Fosse N°2 (Sb)	pH= 7,20 La réaction est neutre	La fraction sableuse est dominante suivie de l'argile alors le sol a une texture limono-argilo-sableuse.	La matière organique est présente mais moyennement abondante en surface et elle est presque inexistante en profondeur	Le complexe absorbant est caractérisé par une capacité d'échange moyenne. La teneur en chaux est moyennement élevée (5,85 méq/100). La teneur en potasse échangeable est très faible ou très pauvre. L'acide phosphorique assimilable est très faible.
Fosse N°3 (Sr)	pH= 6,89 La réaction est neutre	Le sol a une texture argilo-sableuse avec 39% d'argile, 53% de sable et 8% de limon.	La matière organique est pauvre tandis que la teneur en azote est élevée (riche).	Le complexe absorbant est caractérisé par une capacité d'échange moyenne. La teneur en chaux échangeable est très élevée ou très riche (23,50 méq/100g).

				La teneur en potasse échangeable est moyennement élevée tandis que l'acide phosphorique assimilable est très faible.
Fosse N°4 (Sj)	pH =7,34 La réaction est légèrement alcaline	Le sol a une texture limono-sableuse avec 15% d'argile, 28% de limon et 57% de sable.	Les matières organiques et l'azote sont très pauvres.	Le complexe absorbant est caractérisé par une faible capacité d'échange. La teneur en chaux échangeable est très élevée ou très riche (28,50 méq/100g). La teneur en potasse échangeable est très pauvre, il en est de même pour l'acide phosphorique assimilable.

En résumé :

- les sols de la région d'étude sont neutres à légèrement alcalins, le pH varie entre 6,89 à 7,45 ;
- seule la partie basse, occupée par des sols hydromorphes, est riche en matière organique ;
- les capacités d'échange cationiques (CEC) des sols dans la zone du projet sont faibles à moyennes (valeurs comprises entre 9,2 et 20,1 meq/100g) ;
- le complexe absorbant est bien fourni en bases, surtout en chaux et magnésie ;
- les sols sont pauvres voire très pauvres en phosphore assimilable (teneur inférieure à 2ppm).

4.3. Formation des sols

Les facteurs de la formation des sols sont le climat, la roche mère, le temps, le relief, la végétation et l'homme. Dans cette région Nord-Ouest de Madagascar, bassin sédimentaire de Mahajanga, les roches qui donnent naissance aux sols sont essentiellement des calcaires, des sables, des marnes, des grès et des basaltes.

Les calcaires éocène sont plus durs et constituent de vastes plateaux, parfois découpés par l'érosion. Une grande partie de ces calcaires est recouverte de sables. Les sols normalement formés à partir des calcaires, grès, basaltes appartiennent au sous ordre latéritique et surtout ferrugineux tropicaux.

La décalcification a conduit à la formation des sols rouges et des sols jaunes sur les calcaires. Les sols hydromorphes dans cette région se forment à partir de certains calcaires et d'alluvions. Pour les actions anthropiques, des défrichements auraient détruit la végétation primitive de certaines parties de la zone et entraînent sa dégradation, ce qui influence l'évolution des sols (amenuisement de la litière et diminution de l'horizon humifère par érosion, compacité des horizons comme les cas des sols sous savoka).

Le relief a une influence sur l'évolution des sols. Les topographies à pentes faibles à nulles favorisent le développement des sols anciens et concrétionnés. Les bas de pentes et les dépressions favorisent l'hydromorphie et l'accumulation de la matière organique.

Les couleurs du sol sont variées (noir grisâtre, rouge foncé, rouge jaunâtre, brun, blanc rosâtre) et relèvent d'une pédogenèse liée à la nature de la roche mère, de l'état du fer et de la quantité de matière organique présente.

4.4. Aptitude des sols

Les sols des bas-fonds ou sols hydromorphes à accumulation des matières organiques peuvent être voués à l'agriculture (cultures sèches et riziculture) moyennant des infrastructures d'aménagement (drainage, terrassement,...).

Les sols bruns qui occupent plus de la moitié de la zone du projet peuvent être utilisés en pâturage ou tout simplement pour planter des arbres. Dans certains endroits, ces sols sont érodés et le calcaire apparaît sur place. Ce type de sol est très sensible à l'érosion pourtant il présente de bonne teneur en éléments fertilisants.

5.- Etude d'impacts des activités d'exploration minière

5.1. Impacts des activités d'exploration minière sur les sols

Comme la plupart des calcaires affleurent en surface, la délimitation de leur contour est facile mais la connaissance de leur profondeur nécessitera des opérations de forage qui auront des impacts sur le sol.

Les mouvements de va-et-vient des engins lors de l'exploration, l'ouverture des pistes pour arriver aux sites peuvent, engendrer une dégradation du sol liée au compactage, une détérioration de leurs propriétés (porosité...) favorisant ainsi le ruissellement et l'érosion.

Comme dans la plupart de la partie Ouest de Madagascar, les feux de brousse sont très fréquents et favorisent l'érosion hydrique surtout au niveau des versants à pente plus ou moins forte.

Concernant les impacts de la pollution, il y aura contamination du sol et des eaux surtout en aval par différents agents (boues, adjuvants, pertes de lubrifiants et carburants, déchets liés aux campements tels que ordures/ latrines).

5. 2. Mitigation des impacts

Les mesures prises pour atténuer les impacts négatifs lors de la reconnaissance et l'exploration minière concernent :

➤ la lutte contre l'érosion et réhabilitation

Pour diminuer l'érosion du sol, il faut :

- éviter les défrichements des végétations existantes ;
- lors de l'ouverture des pistes de desserte créées des ouvrages d'assainissement ;
- maîtriser et contrôler les eaux de ruissellement par la mise en place du système d'évacuation approprié ;
- stabiliser les surfaces par une bonne couverture des matériaux stockés permettant de limiter ou d'empêcher l'érosion du sol et l'exposition aux intempéries (en l'occurrence la pratique du mulching) ;
- réhabiliter immédiatement et progressivement les plates-formes de forage et des sentiers ouverts au fur et à mesure de l'avancement des travaux d'exploration par une revégétalisation du milieu avec des espèces natives.

➤ Lutte contre les pollutions du sol par la décontamination

La gestion des déchets liée au campement doit être rigoureuse : incinération des ordures, confection des latrines et l'emplacement des campements doit se faire en des lieux non sensibles au niveau des clairières et loin des nappes. Dans ces conditions la phase de reconnaissance et d'exploration ne cause que des impacts faibles sur le milieu physique en particulier le sol.

Conclusion

Au vu de la morphologie, de la végétation et de l'emplacement des gisements de calcaire, l'exploration minière aura des impacts négatifs sur l'environnement comme la modification du paysage, la disparition de l'habitat de certaines espèces de faune et flore suite aux défrichements, la détérioration et la pollution du sol, sa dénudation et par conséquent l'attaque de l'érosion.

Cependant, ces impacts négatifs ne produisent que de faibles influences s'il y a réhabilitation par la remise en état, la régénération voire l'amélioration de la qualité des sols.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Maignien R. (1969) - Manuel de prospection pédologique, O.R.S.T.O.M., Paris, 1969.
- Mandimbiharison A.J. (2009).- Rapport d'étude environnementale, volet « sol » des travaux d'exploration du calcaire de Mariarano de la société OSHO. Rapport inédit.
- ONE. (2003).- Tableau de bord environnemental, Province de Mahajanga Edition 2003.
- Randriamboavonjy J.C. (1996). - Les principaux pédopaysages à Madagascar. Série du Département des Eaux et forêt ESSA N°1.
- Raunet M. (1997).- Les ensembles morphopédologique de Madagascar. CIRAD mars 1997.
- Segalen P. (1956).- Notice sur la carte pédologique de reconnaissance pédologique de Marovoay - Mahajamba Feuille N°13 IRSM série D Tome VII- 1956 p161-259.
- Sourdat M. (1977).- Le Sud Ouest de Madagascar : morphogenèse et pédogenèse Travaux et Documents de l'ORSTOM N°70.
- Vieillefon J.(1961).- Notice sur la carte pédologique de reconnaissance d'Antonibe Feuille N°7 IRSM section Pédologique.
- Zebrowski Cl. ; Ratsimbazafy Cl.(1979).- Carte pédologique de Madagascar au 1/100 000 cas de feuille d'Antsirabe, Cahier ORSTOM.N°81.