

Reconnaissance hydrogéologique par méthodes électrique et électromagnétique dans la région du Lac Ihotry, sud-ouest de Madagascar

**Eddy Rasolomanana¹, Yves Albouy², Michel Ritz³,
Laurent Robison⁴, Luc Ferry⁵, Joseph Ralaimaro⁵**

¹ Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo, B.P. 1473, Antananarivo, Madagascar

² ORSTOM, Laboratoire de Géodynamique Interne, 32 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France

³ Centre ORSTOM, Laboratoire de Géophysique, B.P. 1386, Dakar-Hann, Sénégal

⁴ ORSTOM/Centre National de Recherche sur l'Environnement, Androhibe, B.P. 434, Antananarivo 101, Madagascar

⁵ Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Antananarivo)

Abstract

"Lacs et Paléoclimats Malgaches" is an ORSTOM research project for understanding hydrological and hydrogeological behavior of lakes.

Near lake Ihotry, we have carried out a geophysical survey using Schlumberger electrical soundings and Time Domain ElectroMagnetics soundings (T.D.E.M.). These two methods are efficient for small resistivity variations. Some limestones which are good aquifers are well-identified. A structural preliminary scheme is proposed along a profile.

Introduction

La région étudiée se situe dans le sud-ouest de Madagascar au nord de la ville de Tuléar (**figure 1**) entre 21°36' et 22°24' de latitude sud et 43°30' et 44°24' de longitude est. La plaine du lac Ihotry, élément important de la région, est délimitée au nord-est par le fleuve Mangoky, à l'est par la route reliant Tuléar à Morombe et par une faille bien identifiée sur les images satellitaires, au sud par la rivière Befandriana et à l'ouest par une seconde faille s'étirant sur toute la côte sud-ouest.

Le premier objectif de l'étude était d'identifier les différents horizons constituant l'éocène supérieur et de proposer un schéma structural à l'échelle de la région. Le second objectif était de proposer un modèle d'écoulement souterrain, dans la périphérie du lac Ihotry, fondé sur les observations géophysiques : identification des aquifères, mise en évidence de paléo-chenaux et, éventuellement, d'un exutoire vidange-souterraine du lac dont l'eau est particulièrement chargée en saison sèche.

Aspect géologique et hydrogéologique de la région d'Ihotry : bassin de Befandriana

Le Bassin du lac Ihotry fait partie de la plaine côtière sédimentaire du sud-ouest de Madagascar (43°30' E et 44°24' E ; 21°36' S et 22°24' S) (**figure 2**). Il est constitué par deux ensembles morphologiques :

- le plateau oriental aux reliefs adoucis au SE et très vifs au NE ;

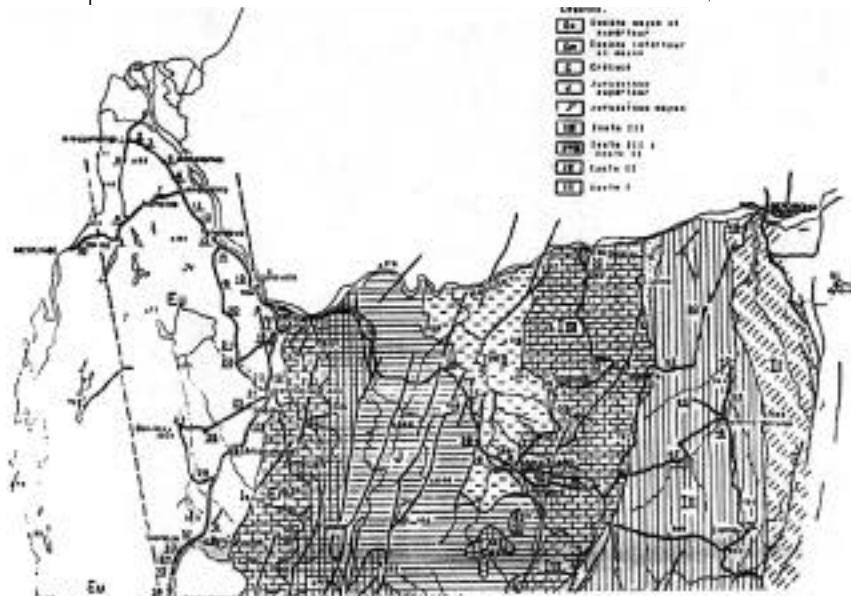


Figure 2 - Carte géologique de la région

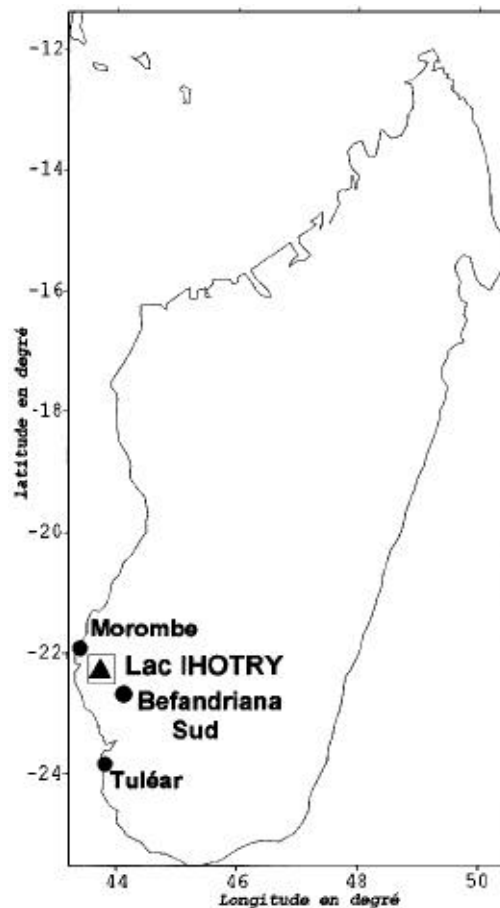


Figure 1 - Carte de localisation

- la plaine côtière, qui passe d'une altitude de plus de 200 m au sud à 50 m au niveau du lac Ihotry et du fleuve Mangoky.

❖ **Le plateau oriental**

➔ **Litho-structure**

Des formations marines éocènes à calcaires compacts, récifaux et détritiques constituent le plateau calcaire karstifié de Mikoboka à l'est. Le toit et le mur de ces formations sont des ensembles calcaro-argileux, des calcaires crayeux fins à marneux peu perméables et peu fracturés. Les fractures sont bien définies et nombreuses. Les accidents tectoniques sont caractérisés par :

- un soulèvement et un basculement vers le sud guidés par des failles normales (E-W, NNW-SSE) ;
- des failles de direction N-S et NW-SE (faille de Befandriana) ;
- des fractures de direction E-W et NE-SW.

➔ **Ressources en eaux**

Sur le plateau karstique, les réseaux hydrographiques s'organisent en trame plus ou moins serrée présentant des tracés linéaires sans direction précise, bien que quelques drains semblent mieux organisés. Les drainages principaux suivent les directions NE-SW, NW-SE à E-W. Ce plateau fait partie du grand système Mahafaly. Il renferme une réserve importante d'eau mise en évidence par forages (Salomon J.N., 1987). L'alimentation des aquifères se fait par :

- l'impluvium local en saison de pluies, amplifié par le passage des dépressions tropicales ;
- les pertes en rivières ;
- l'intercommunication entre les nappes inférieures et supérieures (crétacé gréseux, jurassique calcaire, éocène gréseux).

❖ **La plaine alluviale**

➔ **Litho-structure**

On observe au niveau de la plaine occidentale des dépôts de calcaires miocènes, à grains fins, très purs, des sables roux, des carapaces sableuses, des carapaces calcaires et des îlots de formations dunaires et basaltiques (anté-éocène et post-éocène). Les accidents tectoniques sont caractérisés par :

- un basculement vers le lac au nord ;
- des failles normales de direction E-W à NW-SE de faible ampleur, Befandriana-Talatavalo (Rapport JICA, 1991) ;
- des affleurements calcaires morcelés par plusieurs directions de fractures dont certaines sont colmatées (Bevoay) ;
- des affleurements calcaires aux environs (Ankarandoha : 21°53' S, 43°45' E) et au bord du lac ;

- des fractures ouvertes affectant la couche sus-jacente du calcaire éocène supérieur (talus RN9 : 21°48'30", 43°51'30") ;
- des barrières rocheuses formant des drains ou des écrans (amont source Milaraha) ;
- des affleurements basaltiques fracturés (Songary, Marovato, Ampanonga...) ;
- des pertes en rivières qui peuvent alimenter le lac (Befandriana, Andranankanga...) à l'étiage.

➔ *Ressources en eaux*

Les données disponibles (logs stratigraphiques, puits, sondages et analyses physico-chimiques des eaux) montrent qu'il y a au moins quatre types d'aquifère au niveau de la plaine alluviale :

- l'aquifère des calcaires karstiques (éocène moyen), semi-captif à captif sous la couverture, caractérisé par des émergences et des sources artésiennes (Mandevy, Andranonapelakely, Andranonapelabe...) ;
- l'aquifère des calcaires, des calcaires gréseux et des grès hétérogènes (éocène supérieur) fracturés, identifié par la source de débordement d'Ankamotsy ;
- l'aquifère des sables roux, caractérisé par l'affleurement des nappes dans les dépressions fermées (Marihy) ;
- l'aquifère des dunes, identifié par la présence des sources d'eau douce (Ihotry, Andohasakoa...).

Au niveau de la plaine alluviale, les zones humides à caractère saisonnier sont nombreuses (lacs, marais, dépressions fermées...). Hors saison des pluies, les écoulements de surface sont peu importants. En saison sèche, les écoulements venant du plateau calcaire se perdent dans le lit des rivières. L'alimentation des nappes se fait par :

- l'impluvium local ;
- l'intercommunication entre les différentes nappes ;
- les pertes en rivières (Bevato, Ankilimifafa...) ;
- des pertes sans doute importantes au niveau du lac Ihotry (endoréique, non saturé).

||| Méthodes géophysiques mises en oeuvre

❖ *La méthode TDEM*

C'est une méthode électromagnétique qui utilise une bobine d'émission dans laquelle circule un courant. Pendant l'émission de ce courant, un champ électromagnétique statique s'établit dans le sous-sol. Lors de la coupure brusque de courant, la force électromotrice induite dans le sous-sol produit des courants analogues aux courants de Foucault. Ceux-ci se propagent à travers le terrain et leur amplitude décroît avec le temps, produisant en surface un champ magnétique décroissant, qui est mesuré par la bobine réceptrice. L'analyse de la décroissance de ce champ pendant le temps où le champ primaire est coupé permet d'obtenir une courbe de la résistivité apparente en fonction du temps.

Sur la région, 29 sondages ont été réalisés (**figure 3**), en majorité sur le layon de direction est-ouest implanté par les compagnies pétrolières dans les années 80. Les autres se répartissent sur deux autres profils, de direction NNW-SSE et N. L'appareil utilisé est un PROTEM 47 de Geonics spécialement conçu pour

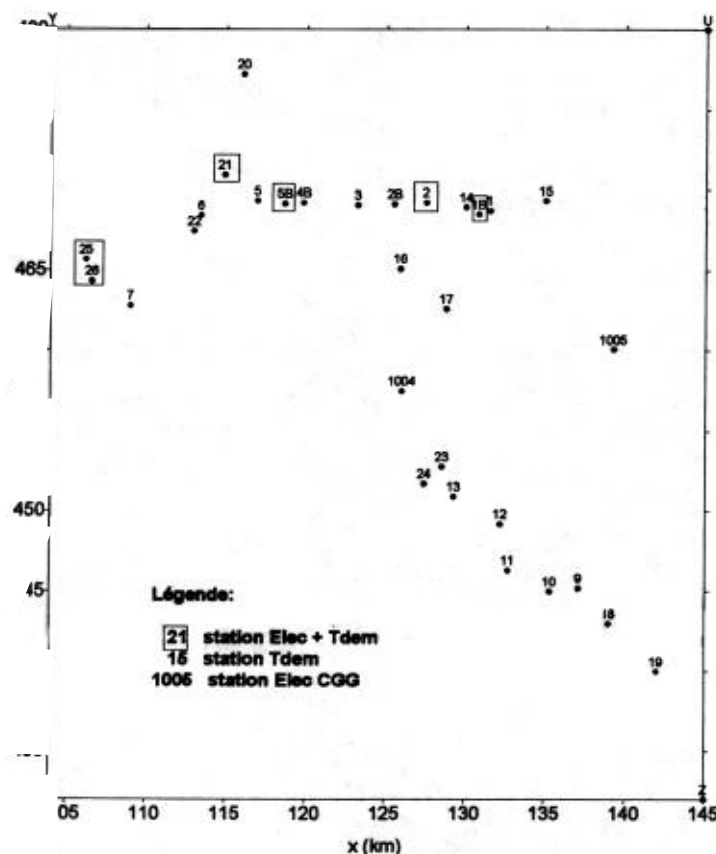


Figure 3 - Emplacement des stations

❖ La méthode électrique

Il s'agit d'une méthode potentielle donnant accès à la résistivité électrique des terrains. Elle est bien appropriée pour différencier les niveaux caractérisés par des grès et des calcaires d'assez fortes résistivités (80-6 030 . m), des marnes argileuses ou sableuses, des argilites ou des grès silteux ou boueux à faibles résistivités (3-35 . m). Elle convient aux faibles profondeurs d'investigation exigées par les études des eaux souterraines et caractéristiques hydrogéologiques recherchées sur le terrain.

A l'aide d'un résistivimètre ABEM SAS300, 7 sondages électriques ont été effectués. Leur emplacement est indiqué sur la **figure 3**. La valeur maximale de AB/2 choisie a été de 300 m, ce qui a permis une investigation verticale du sous-sol variant de la surface jusqu'à une centaine de mètres de profondeur.

||| Traitement des données et modélisation

Les modélisations ont été réalisées à l'aide du logiciel TEMIXGL d'Interpex en ce qui concerne les données TDEM et à l'aide du logiciel de J. Tabbagh pour l'électrique. Il s'agit d'une interprétation interactive utilisant un modèle géoélectrique 1D (milieu stratifié horizontalement) et aboutissant à l'établissement de modèles comprenant plusieurs terrains dont la résistivité et l'épaisseur sont déterminées (**figure 4**).

La corrélation de ces sondages peut être effectuée en particulier à l'aide de l'horizon conducteur (niveau 3). Le modèle définitif retenu tient compte de la lithostratigraphie locale établie à partir des reconnaissances sur le terrain et des coupes de sondage tirées d'études géophysique et hydrogéologique antérieures effectuées dans la région.

la subsurface. Il permet de mesurer le champ magnétique induit selon des canaux compris entre 0,007 et 7 ms et selon 3 cadences : 237, 62,5 et 25 Hz. Le dispositif de sondage centré a été choisi. Il permet une investigation à la verticale de la bobine de réception. En déployant une boucle carrée de 60 x 60 m, 75 x 75 m et notamment 100 x 100 m garantissant une pénétration maximale pour cet appareillage.

Afin d'améliorer la qualité des résultats, 3 séries de mesure par cadence ont été réalisées et moyennées.

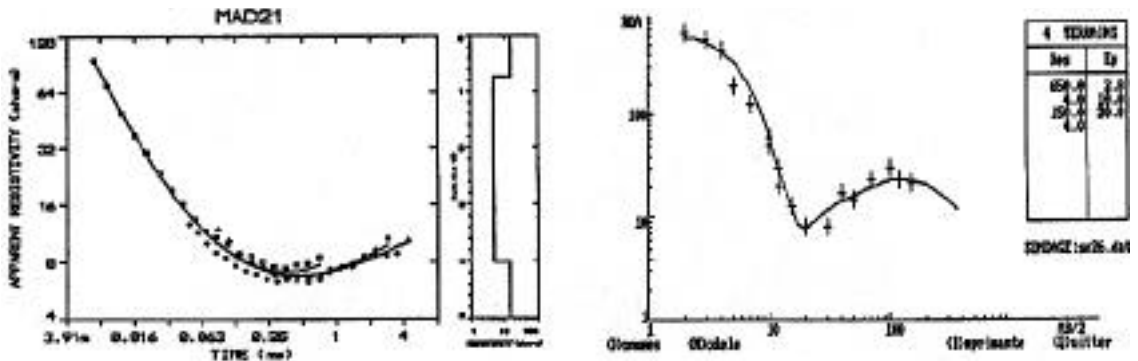


Figure 4 - Exemples de courbes modélisées de sondages TDEM et électrique

Le profil géoélectrique pris comme exemple peut être divisé en trois parties (figure 5) :

- une partie orientale constituée par 5 sondages qui donnent le modèle suivant (de haut en bas) :
 - des terrains superficiels de résistivité variable (300-450 . m) et d'épaisseur comprise entre 0,5 et 1 m (niveau 1)
 - un horizon peu conducteur (9-31 . m) et d'épaisseur assez constante de 8 à 12 m (niveau 2)
 - un niveau conducteur (4,8-10 . m) de puissance comprise entre 16 et 22 m (niveau 3)
 - une assise plus résistante (11,7-14,5 . m) constituant le niveau 4
- une partie centrale où l'on retrouve à peu près les mêmes formations. La seule différence repose sur les valeurs de résistivité du niveau 2 qui sont beaucoup plus élevées (500-1 700 . m). Le niveau 4 n'a pas été localisé par les sondages.

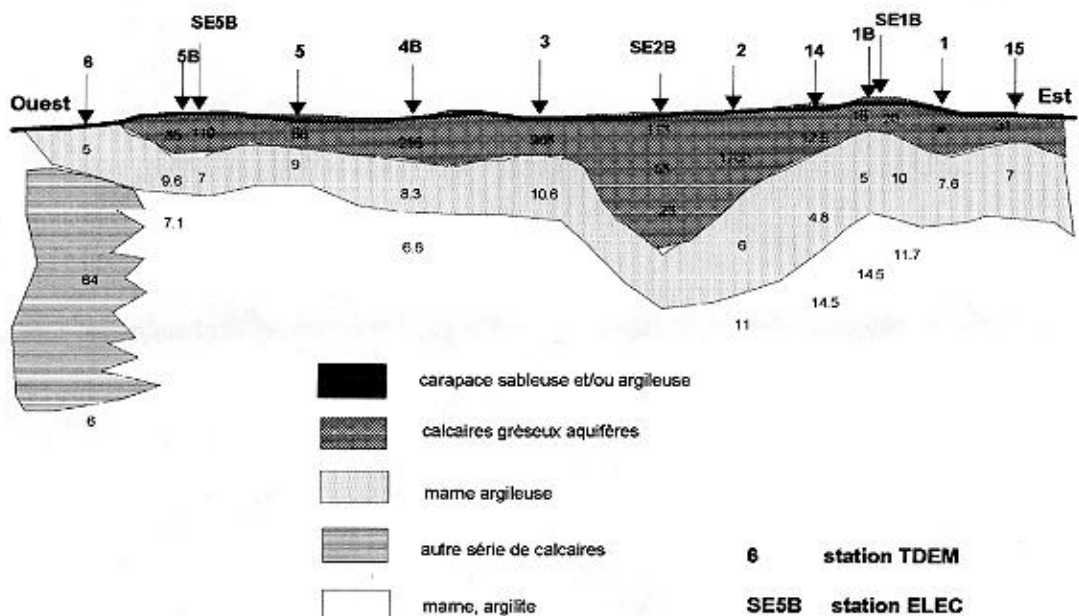


Figure 5 - Coupe géoélectrique le long du profil Pétrolier

- *une partie occidentale* caractérisée par sensiblement les mêmes formations que précédemment. L'assise constituant le niveau 4 est, par contre, nettement plus conductrice (6,6-7,1 . m). La station 6, à l'extrême ouest du profil, commence par le niveau 3 qui affleure à ce niveau, puis apparaît une autre formation calcaire résistante (64 . m) de 50 m de puissance et, en dessous, on retrouve l'assise conductrice (5,6 . m).

L'interprétation géologique fait intervenir sous la carapace superficielle sableuse ou argileuse, 3 terrains montrant des résistivités tout à fait compatibles avec la nature lithologique des 3 unités suivantes :

- calcaire gréseux et grès (niveau 1) constituant l'aquifère. Notons que, dans la partie orientale, on observe, sur plus de 4 km de long, des îlots d'affleurements relativement altérés avec des graviers de dimension décimétrique, d'où les faibles valeurs de résistivité enregistrées à ce niveau. Des affleurements calcaires apparaissent aussi près du Lac Ihotry ;
- un niveau constitué de marnes argileuses (niveau 3) ;
- une assise conductrice caractérisé par des argilites dans la partie orientale et par des marnes dans la partie occidentale.

Conclusion

Les résultats acquis par cette prospection géophysique montrent la possibilité d'effectuer un suivi de niveaux lithologiques aquifères ou non en terrains sédimentaires aussi complexes que ceux de la région du Lac Ihotry et de préciser l'épaisseur des formations ainsi que leur hétérogénéité lithologique.

La géométrie (basculement des formations vers le lac Ihotry), les conditions de mélange des eaux (souterraines/de surface) et le fonctionnement hydraulique des réservoirs contrôlés par l'existence de fracturations (post-éocène à l'actuel) se dessinent à travers l'interprétation des 3 profils géophysiques combinée aux données hydrologiques, hydrogéologiques, géochimiques et géologiques effectuées par l'ORSTOM dans cette région depuis plus de trois ans.

Les renseignements tirés de cette étude constituent, de ce fait, des éléments intéressants et précieux pour l'hydrologue, l'hydrogéologue et le géologue dans leurs essais de modélisation du bassin du lac Ihotry.