

# ETAT D' AVANCEMENT DES ETUDES GEOPHYSIQUE ET GEOCHIMIQUE DES AQUIFERES DU SUD DE MADAGASCAR

V./Rabemanana<sup>1,2</sup>, Y./Albouy<sup>1</sup>, S. Violette<sup>2</sup>, H./Robain<sup>1</sup>, E. Rasolomanana<sup>3</sup>

<sup>1</sup> IRD - Laboratoire de Géophysique - 32 avenue H. Varagnat - 93143 BONDY cedex

<sup>2</sup> "UMR -Sisyphé" -Laboratoire de Géologie Appliquée - UPMC - 4 place Jussieu - 75252 Paris Cedex 05

<sup>3</sup> I.O.G.A - Département Géophysique Appliquée - B.P 3843 Antananarivo 101- Madagascar

**Mots-clés :** minéralisation des eaux, chlorure, socle cristallin, sondage électrique, sondage TDEM, imagerie électrique

## I-INTRODUCTION

Le Sud de Madagascar souffre de problèmes d'alimentation en eau liés à la fois à la rareté et à la forte la minéralisation des eaux souterraines. C'est pour aborder ces problèmes qu'une étude pluridisciplinaire combinant la géophysique, la tectonique structurale, l' hydrogéologie et la géochimie est engagée et soutenue par le P.N.R.H et l'IRD.

Les objectifs sont de connaître la géométrie du système réservoir et axes drainants, de comprendre l'origine de la salinité des eaux et d'optimiser l'exploitation des aquifères.

## II-CONTEXTE DE L'ETUDE

La région étudiée, d'une superficie d'environ 600 km<sup>2</sup> est située en zone cristalline, sous climat semi-aride. La pluviométrie est de 400 à 600 mm/an, l'ETP est de l'ordre de 1100mm/an. Le contexte géologique est très hétérogène. Il comporte principalement des schistes cristallins métamorphiques dérivant des sédiments silico-alumineux calciques et carbonés, de nature pétrographique très hétérogène (gneiss, leptynites, quartzites., pyroxénites) mais aussi des granites intrusifs et quelques filons basaltiques. Grâce au programme d'hydraulique villageoise financé par l'Unicef en 1995, 150 forages ont été réalisés dans le Sud de Madagascar. Parmi ceux ci, 24 ont été retenus pour cette étude.

## III-MESURES REALISEES:

Pour étudier les variations saisonnières de la minéralisation des eaux, deux campagnes de mesures ont été réalisées: l'une en octobre 1998 (fin de saison sèche) et l'autre en mai 1999 (après la saison des pluies). Au cours de ces campagnes, la charge hydraulique a été mesurée et des prélèvements d'eau ont été effectués pour analyser les éléments majeurs et traces ainsi que les isotopes (<sup>2</sup>H et <sup>18</sup>O).

Chaque point de forage a été caractérisé par des mesures géophysiques: en premier lieu des sondages de reconnaissance en TDEM et en courant continu, puis une imagerie électrique 2D (méthode multiélectrode) en utilisant une configuration pôle dipôle. (figure1)

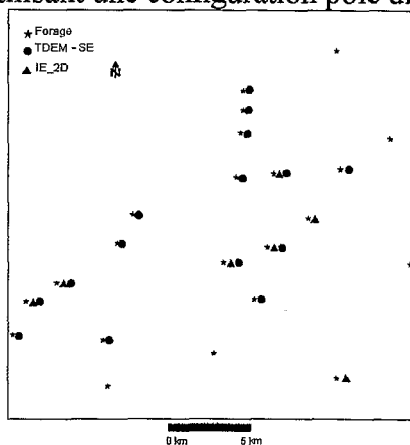


Figure 1: Répartition des forages et mesures géophysiques



010021529

145

Fonds Documentaire IRD  
Cote: Bx21529 Ex: 1

## IV-RESULTATS

### \* Géochimie

Les cartes des répartitions des conductivités électriques des eaux illustrent les variations de la minéralisation des eaux dans la zone d'étude (figure 2).

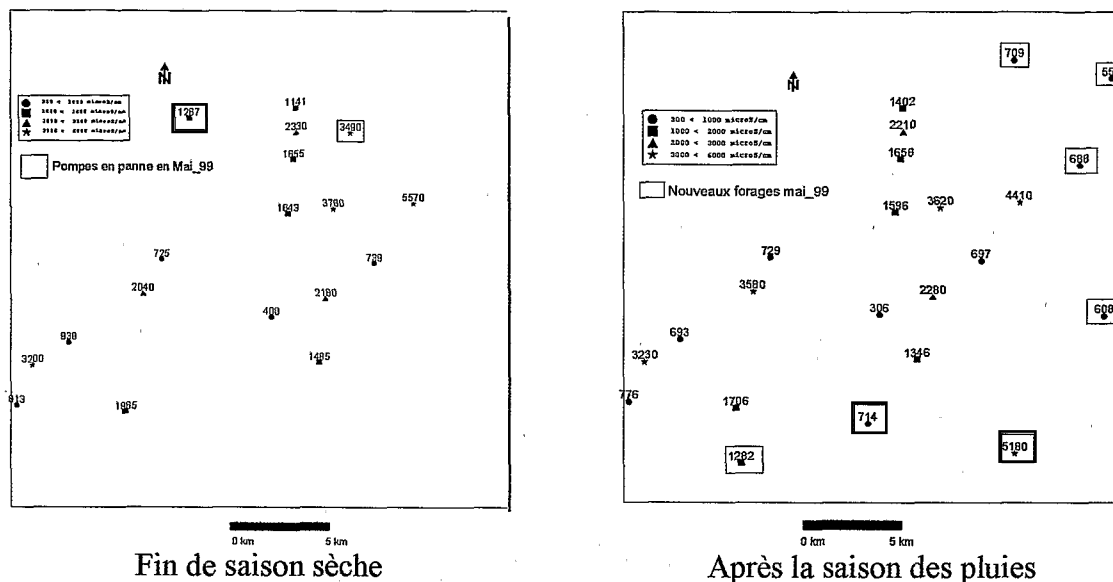


Figure 2: Répartition des conductivités électriques des eaux

Ces cartes montrent une distribution spatiale, très aléatoire des conductivités des eaux. Les conductivités des eaux ont diminué par effet de dilution sauf sur quelques points. Les eaux fortement minéralisées présentent un faciès géochimique type Na-Cl. Les teneurs en Na et en chlorures peuvent atteindre respectivement 45 mmol/l et 30 mmol/l.

Deux origines sont généralement évoquées pour expliquer les fortes teneurs en Cl<sup>-</sup> en milieu granitique (Savoie, 1998): soit une origine autochtone (inclusion fluide, hydrothermalisme, minéraux constitutifs de la roche: hornblende, biotite), soit une origine allochtone (invasion marine, dissolution ancienne évaporite). Les analyses montrent que les ions Cl<sup>-</sup> sont bien corrélés avec les cations majeurs (Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>;  $r^2 > 0,80$ ) et aussi avec les ions SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ( $r^2 = 0,91$ ). Ceci nous laisse supposer une origine évaporitique des ions Cl<sup>-</sup>. Cependant, la carte géologique ne révèle pas la présence de gypse ou terrain évaporitique dans la région. Par ailleurs, ces eaux ont un rapport molaire (Br/Cl) supérieur à celui de l'eau de mer ( $1,5 \cdot 10^{-3}$ ). Ce qui exclut une origine marine des chlorures.

La description minéralogique de quelques échantillons de roches prélevées à proximité des forages montre la présence de minéraux sources possibles de chlorures, tels que hornblende, biotite par substitution Cl-OH (Deer, Howie et Zussmann, 1962) et quartz à partir des inclusions fluides. Il apparaît que les fortes teneurs en chlorure seraient ici d'origine autochtone.

Le tracé Na/Cl vs. Cl (figure 3) indique que les chlorures peuvent provenir du mélange de deux pôles d'eau, l'un fortement minéralisé et l'autre peu minéralisé.

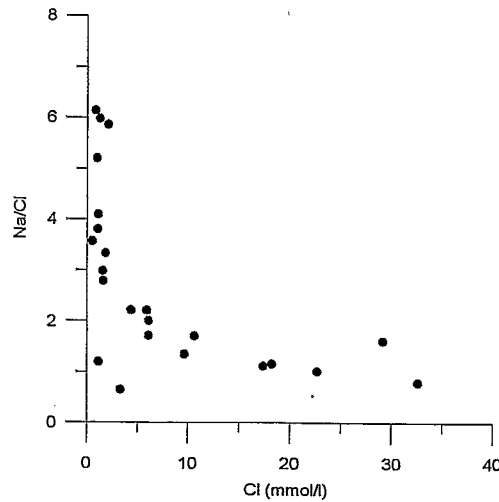


Figure 3: Na/Cl vs Cl

**\*Géophysique:**

Les résultats des inversions électrique et TDEM sont cohérents avec la description de la lithologie. En électrique, les informations sont mieux définies pour les dix premiers mètres. En revanche, pour les forages où le socle présente des passées graphitiques, le TDEM est mieux adapté pour atteindre le substratum résistant sans graphite (figure 4).

Le calage des résistivités avec les données des forages permet de comparer dans une même formation le rapport entre les résistivités de la zone "non saturée" et de la zone "saturée" en eau et conductivité électrique de l'eau libre. Il apparaît que les eaux fortement minéralisées (CE > 3000 μS/cm) diminuent d'un facteur 4 ou 5 la résistivité de l'aquifère (figure 5)

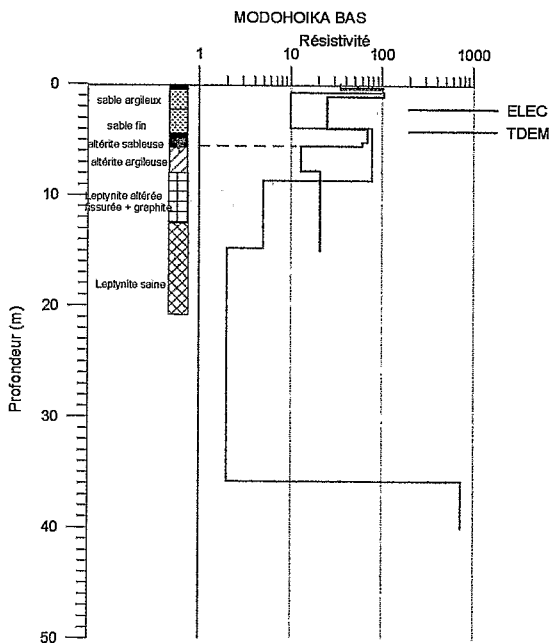


Figure 4: Exemple de résultats des inversions électrique et TDEM

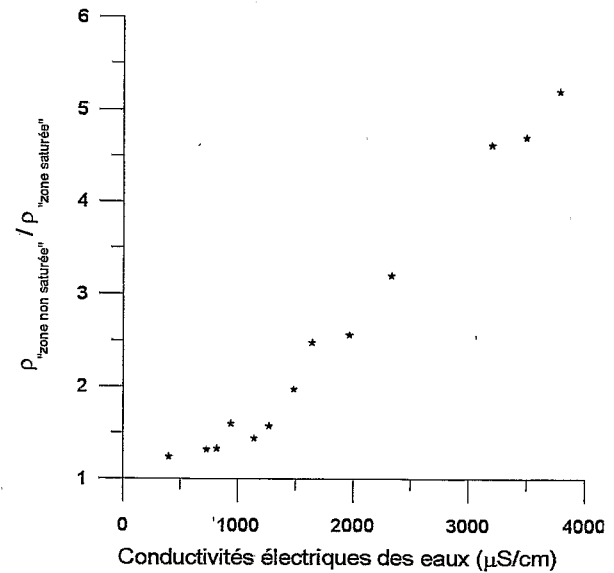


Figure 5:  $\frac{\rho_{\text{zone non saturée}}}{\rho_{\text{zone saturée}}}$  vs. Conductivités électriques des eaux (μS/cm)



L'imagerie permet de distinguer 2 types de structures (figure 6):

- structure 1D: la résistivité varie surtout avec la profondeur. La couverture d'altération a une épaisseur relativement constante sur le substratum résistant ( $\rho > 250 \Omega m$ ). Les

conductivités électriques des eaux des forages y sont relativement faibles (CE < 1000 µS/cm)

- structure 2D: La résistivité varie latéralement avec apparition d'une étroite zone subverticale conductrice, souvent associée à des anomalies conductrices en surface. Elle peut être interprétée comme zone de fracture remplie de matériaux conducteurs: eau, argile ou graphite.

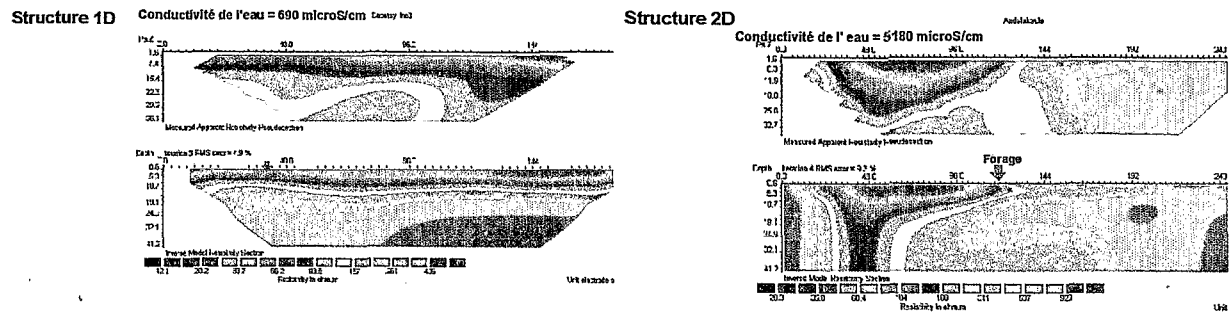


Figure 6: Imagerie électrique des structures 1D et 2D

## V-CONCLUSIONS

- Les résultats acquis jusqu'à présent, tendent à montrer que les fortes teneurs en chlorures ont une origine allochtone. Des analyses en  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$ , des bores sont en cours. Elles fourniront des informations supplémentaires sur l'origine des eaux et sur les causes des fortes minéralisations observées. L'imagerie électrique 2D a montré que les forages sont associés à des zones fracturées, qui doivent être confirmées par l'étude structurale en cours. Cette étude contribuera aussi à la compréhension de la circulation des eaux souterraines.
- Il apparaît que la méthode électrique est bien adaptée pour implanter des forages dans cette zone de socle où le niveau statique des eaux est inférieur à 30m en période d'étiage. Nous avons montré que la résistivité des aquifères soit très variable mais une connaissance à priori du niveau statique permet de déduire la minéralisation des eaux en faisant le rapport entre les résistivités de la zone non saturé de l'aquifère et de la zone saturée.
- Le TDEM est facile à mettre en œuvre et offre une meilleure profondeur d'investigation mais son interprétation est parfois difficile à cause de distorsions des courbes.

## VI-BIBLIOGRAPHIE

- Savoye S. (1998): Origine de la salinité des eaux souterraines en milieu granitique: identification et caractérisation des sources de chlorure. Thèse Université Paris-XI, 278 pages.
- Deer, Howie et Zussman (1962): Rock Forming Minerals, Sheet silicates, vol.3., 270 pages.

BRGM

CEMAGREF

CIRAD

INSU

CNRS

CNRS/SPI

INRA

IRD

LCPC

METEO FRANCE



*Colloque  
PNRH 2000*

**PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE EN HYDROLOGIE**

Centre International de Conférences/METEO-FRANCE  
42, avenue Coriolis - 31 057 Toulouse Cedex

16-17 Mai 2000