



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES



DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de MASTER

PARCOURS : SCIENCES ET TECHNIQUES EN GEOPHYSIQUE ET GEOMATIQUE

Spécialité: Géophysique Appliquée

Intitulé :

**LOCALISATION DE POINT DE CAPTAGE D'EAU SOUTERRAINE
PAR SONDAGE ELECTRIQUE DANS LA COMMUNE RURALE
AMBAHIKILY, DISTRICT DE MOROMBE, REGION ATSIMO
ANDREFANA**

Présenté par :

RAFAMATANANTSOA Ardin Ricko

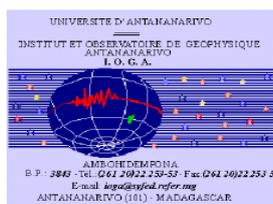
Le 16 Mai 2015

Devant la commission d'examen composée de :

Président : RANAIVO- NOMENJANAHARY Flavien Professeur Titulaire

Rapporteur : RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier Maitre de Conférences

Examineur : GARO JOELSON Sébille Maitre de Conférences



ANNEE :2015





UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES



DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de MASTER

PARCOURS : SCIENCES ET TECHNIQUES EN GEOPHYSIQUE ET GEOMATIQUE

Spécialité: Géophysique Appliquée

Intitulé :

**LOCALISATION DE POINT DE CAPTAGE D'EAU SOUTERRAINE
PAR SONDAGE ELECTRIQUE DANS LA COMMUNE RURALE
AMBAHIKILY, DISTRICT DE MOROMBE, REGION ATSIMO
ANDREFANA**

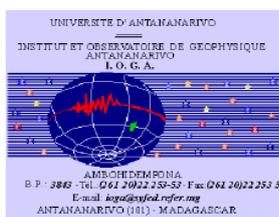
Présenté par



RAFAMATANANTSOA Ardin Ricko

Devant la commission d'examen composée de :

Président: RANAIVO- NOMENJANAHARY Flavien	Professeur Titulaire
Rapporteur : RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier	Maitre de Conférences
Examineur: GARO JOELSON Sébille	Maitre de Conférences



REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je voudrais exprimer mon entière reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

J'exprime ma profonde gratitude à :

Monsieur RAHERIMANDIMBY Marson, Doyen de la Faculté des Sciences qui m'a permis de s'inscrire au sein de la Faculté des Sciences.

Monsieur RAKOTONDRAMANANA Hery Tiana, Chef de Département physique à la Faculté des Sciences, pour la bienveillance de notre formation.

Monsieur RAMBOLAMANANA Gérard, Professeur Titulaire, Directeur de l'Institut et Observatoire de Géophysique Appliquée, de son dévouement pour l'amélioration de la formation des Géophysiciens de l'IOGA.

Monsieur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien, Professeur Titulaire, Responsable de la formation Maitrise des sciences et techniques en Géophysique Appliquée qui m' a autorisé à effectuer mon mémoire de fin d'études et qui a accepté de présider le jury de ce mémoire malgré ses lourdes responsabilités.

Monsieur RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier, Maitre de Conférences à l'École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Enseignant Chercheur à l'IOGA qui m'a toujours soutenu et prodigué des conseils clairs et succincts, sur terrain et tout au long de la rédaction de ce mémoire. Je le remercie aussi d'avoir accepté d'être le rapporteur de ce mémoire.

Monsieur GARO JOELISON Sébille, Maitre de Conférences au Faculté des Sciences, qui a accepté d'être parmi les membres de jury et aussi d'avoir fourni ses précieux conseils tout au long de notre formation.

Monsieur RAKOTO Heritiana, chercheur au Laboratoire de Géophysique Appliquée de l'IOGA et à qui j'adresse ma plus profonde reconnaissance pour m'avoir accueilli dans sa société, en plus de la qualité de son encadrement tant sur le plan technique qu'organisation de l'entreprise. Je le remercie aussi de m'avoir fourni d'excellentes conditions logistiques et financières en m'offrant un soutien suffisant pour que je puisse faire face aux frais de transport, d'hébergement et de subsistance durant mon stage.

A tous les membres de la société SGDM, pour les expériences qu'ils ont bien voulu partager avec moi et qui m'ont permis d'intégrer dans le secteur Eau et environnement.

A ma famille, et mes collègues, qui m'ont toujours soutenu aussi bien moralement que matériellement.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES ACRONYMES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1 Contexte géographique et administratif

I.2 Contexte socio-économique

I.3 Contexte climatique

I.4 Contexte géologique

I.5 Contexte hydrogéologique

CHAPITRE II : METHODOLOGIE APPLIQUEE A LA RECHERCHE D'EAU SOUTERRAINE

II-1 Méthode de photo-interprétation

II-2 Méthode de prospection électrique

CHAPITRE III : PRESENTATION DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III-1 Photo-interprétation

III-2 Analyse des paramètres physico-chimiques

III-3 Résultats de mesure des paramètres physico-chimiques

III-4 Interprétation et résultat des sondages électriques

III-5 Synthèse des résultats

CONCLUSION

ANNEXES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ACRONYMES

BD500	Base de Données à l'échelle 1/500 000 ème.
ESPA	Ecole Supérieure Polytechnique d'Antanarivo
SGDM	Société Géosciences pour le Développement de Madagascar
GPS	Global Positioning System
IOGA	Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo
MSTGG	Master en Sciences et Techniques en Géophysique et Géomatique
ONG	Organisation Non Gouvernementale
INSTAT	Institut National de la Statistique
°C	Degré Celsius
µS /cm	Micro Siemens par centimètre
Ph	Potentiel d'Hydrogène
CE	Conductivité Electrique
T	Température
N.S	Niveau Statique
SEV	Sondage Electrique Vertical
VE	Venue d'Eau

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Population en pleine réunion	4
Photo 2 : Marché d'Ambahikily	8
Photo 3 : Rivière de Befandriana	13
Photo 4 : Puits busé	13
Photo 5 : Résistivimètre SYSCAL R2 et ses accessoires.....	24
Photo 6 : Ph- mètre.....	30
Photo 7 : Conductimètre.....	31

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de la zone d'étude.....	3
Figure 2 : Carte géologique de la zone d'étude.....	12
Figure 3 : Carte hydrologique de la zone d'étude	14
Figure 5 : Dispositif Schlumberger	21
Figure 6 : Dispositif Wenner normal.....	21
Figure 7 : Photo interprétation de la zone d'étude	27
Figure 8 : Répartition spatiale de la conductivité électrique	36
Figure 9 : Courbe sondage électrique1	36
Figure10 : Courbe sondage électrique2.....	37
Figure11 : Courbe sondage électrique3.....	39
Figure12 : Courbe sondage électrique4.....	40
Figure13 : Coupe géo-électrique	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Consommation d'eau des autres utilisateurs	6
Tableau 2 : Répartition mensuelle de la précipitation dans le district de Morombe	9
Tableau 3 : Répartition mensuelle de la température et de l'évapotranspiration dans le district de Morombe	10
Tableau 4 : Répartition du bilan hydrique(2013) dans le district de Morombe	10
Tableau 5 : Classification des eaux selon leur pH.....	28
Tableau 6 : Quelques références pour la minéralisation des eaux	31
Tableau 7 : Résultats des paramètres physico-chimiques et niveau statique des eaux de puits dans la zone d'étude	33
Tableau 8 : Localisation des quatre points de sondage	35
Tableau 9 : Comparaison entre les résultats géophysiques et coupe de forage.....	45

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : La porosité

Annexe B : Coupe de forage

Annexe C : Données de sondage électrique

Annexe D : Quelques gammes de résistivité selon les types de roche

Annexe E : Quelques photos des points d'eau rencontrés dans le village d'Ambahikily

INTRODUCTION

La maîtrise de l'eau dans une région favorise le développement de son économie et épargne les dangers éventuels provoqués par l'insuffisance d'eau potable comme la maladie à support hydrique, la bilharziose...

C'est le cas de la partie Sud-Ouest de Madagascar où l'insuffisance en eau potable entraîne une maladie hydrique et où le manque d'eau pour les productions agricoles provoque la famine. C'est pour éviter cela que le gouvernement malgache opte pour la réduction de la pauvreté dont une composante se rapporte à l'alimentation en eau potable dans le milieu rural. Un projet d'adduction en eau potable de la ville d'Ambahikily, Commune rurale d'Ambahikily, district de Morombe, région Atsimo Andrefana est en cours pour satisfaire les besoins en eaux potables de la population. Le projet s'est engagé à assurer, à la population rurale, un accès efficace, durable et universel à des services d'Approvisionnement en Eau Potable. Pour parvenir à une borne fontaine, différentes études sont effectuées, même avant le projet : on fait entre autres l'étude de faisabilité du projet appelé avant-projet. Parmi ces études figurent, la plus importante, l'étude socio-économique, hydrogéologique et géophysique. Mais on va s'intéresser surtout aux études techniques, à savoir les études hydrogéologiques et géophysiques. Ces deux études sont complémentaires pour déterminer un point de forage et elles sont très utiles pour éviter un forage négatif, car le coût d'un forage est très cher. Ainsi le choix d'implantation d'un forage nécessite un travail de précision et de détermination.

Pour atteindre cet objectif, ce travail comporte trois grands chapitres :

- le premier chapitre porte sur la présentation de la zone d'étude.
- la deuxième chapitre se rapporte aux rappels de la méthodologie appliquée pour une étude hydrogéologique en général et en particulier pour implanter un point de captage d'eau souterraine par puits ou forage d'eau.
- et dans le dernier chapitre, nous abordons les résultats des travaux hydrogéologiques effectués dans la zone d'étude afin de trouver le point favorable à l'exploitation d'eau souterraine, pour satisfaire les besoins en eau potable de la Commune Rurale d'Ambahikily.

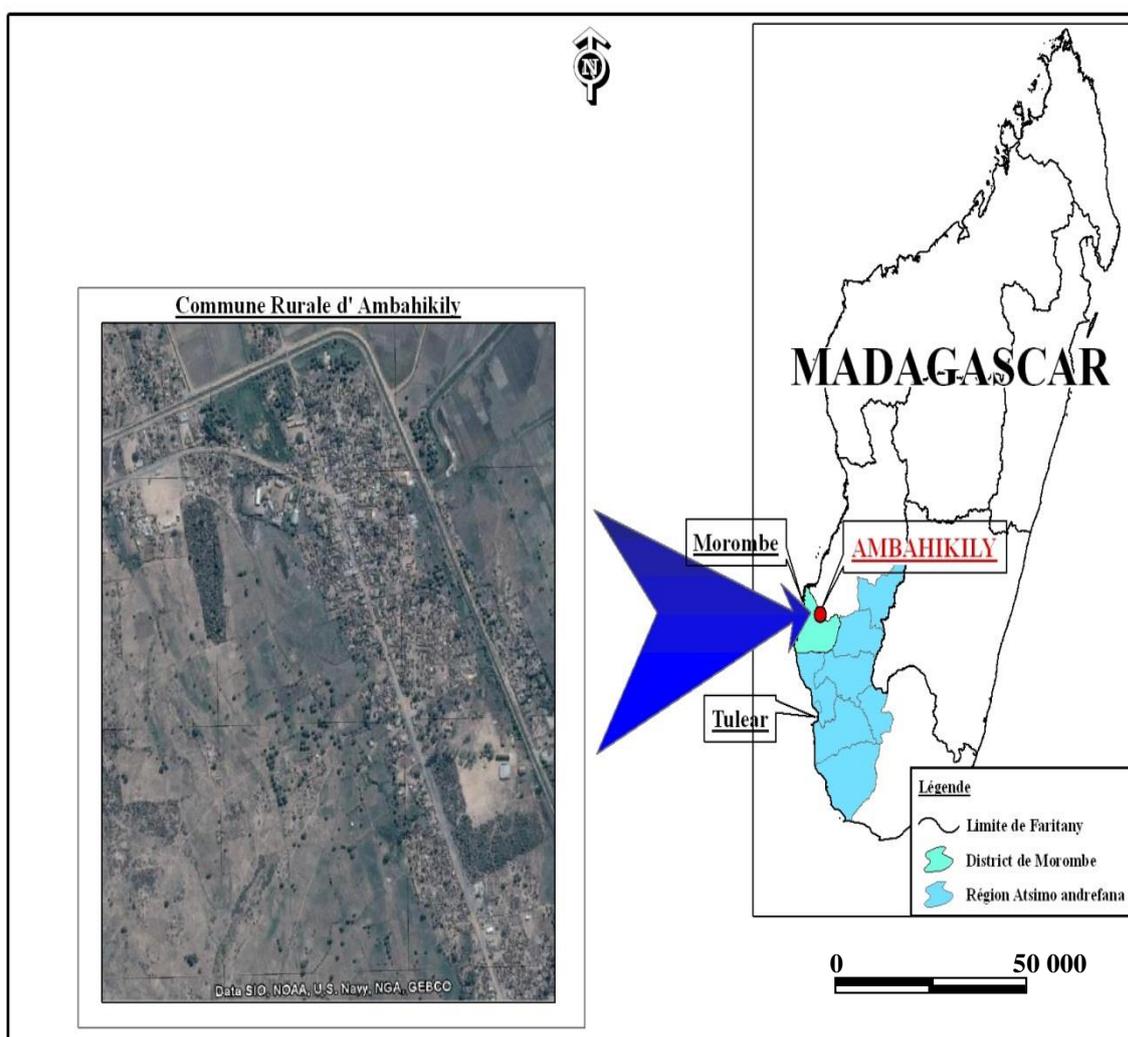
PREMIER CHAPITRE
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Dans ce chapitre, nous présentons la zone d'étude en détaillant les contextes : géographique et administratif, socio-économique, climatique, géologique et hydrogéologique.

I.1 Contexte géographique et administratifs

Ambahikily est l'un des Fokontany constituant la commune Rurale d'Ambahikily. Il est Chef-lieu de la commune, district Morombe, région Atsimo Andrefana.

La zone d'étude se situe à 254 Km au nord de Tuléar et à 43Km à l'Est de Morombe. Elle est localisée géographiquement à la Latitude $21^{\circ}36'21.6''$ et à la Longitude $43^{\circ}40'19.7''$ selon le système de référence WGS 84.



Source : BD 500/Google Earth.

Figure 1 : Carte de la zone d'étude.

I.2 Contexte socio-économique

L'étude du contexte socio-économique de la zone d'étude est importante. Cette étude nous permet de connaître la forte croissance démographique et le niveau de vie de la population de la commune d'Ambahikily ainsi que sa manière de vivre vis-à-vis de son entourage.

I.2.1 Population

La commune d'Ambahikily abrite 8641 habitants (2014). Elle se compose de plusieurs groupes ethniques dont: les Masikoro, les Vezo qui sont les plus nombreux, mais également les Mahafaly, les Antandroy et les Sakalava. Les Merina et les Betsileo occupent les zones à vocation rizicole d'Ankiliabo et de Tanandava, tandis que la forêt et les lisières sont occupées, en majeure partie, par les Masikoro sur le versant Est et les Vezo sur le versant Ouest. Les Masikoro sont très mobiles. Ils sont issus d'un vaste mouvement migratoire dans toute la partie Ouest de Madagascar. Compte tenu d'un coefficient d'accroissement de 2,8%, la population est estimée à 13442 en 2030 d'après le calcul ci-après.



Source :Equipe SGDM

Photo 1 : Population en pleine réunion

1.2.2 Analyse des besoins en eau potable de la population

La quantification du besoin en eau de la population nous permet de faire une comparaison avec la capacité d'eau produite par les puits existant dans la commune d'Ambahikily.

Pour cette quantification de la population B_A , nous avons utilisé la référence de l'OMS qui est de 30litres par jour par personne.

$$\boxed{B_A = 30 \cdot P_A} \quad (1)$$

D'où :

- B_A : besoins en eau à l'année 2014
- P_A : nombre de population de l'année A considérée.
- 30L : besoins en eau /personnes/jour

Avec : $P_A = 8641$ habitants dans l'année 2014

Taux d'accroissement $T_A = 2,8$

$$B_A = 8641 \times 30$$

$$\boxed{B_A = 259\,230 \text{ L/Jours}} \quad (2)$$

Ainsi, nous avons pris l'intervalle de temps de 16ans (2014 à 2030) pour pouvoir estimer le besoin de la population. L'accroissement de la population est donné par :

$$\boxed{Nb = Nb_0 (1 + T_c)^n} \quad (3)$$

Nb : Nombre de population à l'année $n_1 = n_0 + T_c$

Nb_0 : Nombre de population à l'année n_0

T_c : Taux de croissance de population ($T_c = 2,8$)

$$Nb = 8641 \times (1 + 2,8)^{16}$$

$$\boxed{Nb = 13\,442 \text{ habitants}} \quad (4)$$

L'estimation du nombre de population d'Ambahikily est égale à 13 442habitants pour l'année 2030, alors on peut aussi estimer les besoins en eau de la population de la commune rurale d'Ambahikily.

$$B_A = 30 \cdot Nb \quad (5)$$

- B_A : besoins en eau pour l'année 2030
- Nb: nombre de population de l'année 2030 considérée.
- 30L : besoins en eau /personnes/jour

$$B_A = 13\,442 \times 30$$

$$B_A = 403\,260 \text{ L/Jour} \quad (6)$$

L'estimation des besoins en eau de la commune rurale d'Ambahikily en 2030 est de 403260L/Jour.

Les résultats des enquêtes auprès des autres utilisateurs à savoir :CSB et CHD, établissements scolaires (EPP, CEG, ...),établissements administratifs (Bureaux de la Commune urbaine, du district, de la CISCO, les postes et communications, Gendarmerie, Eglises, marchés publics) ont montré que la consommation en eau de ces divers institutions doit être comptabilisée et ce selon le tableau suivant :

Tableau 1 : Consommation d'eau des autres utilisateurs

Infrastructure	Consommation approximative d'eau	Observation
CHD (Maternité et autres spécialisations) CSB	≈30 000 L/J	-
Ecoles	≈10 L/J/élève	La plupart des écoles ne disposent pas encore de système d'AEP
Marchés	≈7 000 L/J au total	On y trouve des marâchers, des bouchers,des épiciers,des restaurateurs, des marchands de riz et de volailles.

Etablissements Administratifs	Aucune donnée	La plupart de ces établissements ne sont plus desservis en eau potable.
Hôtels	≈830 L /J (pour les petits restaurants et les bars)	Cette consommation augmente surtout en période de vacances.
TOTAL	37 840 L/J	

D'après le résultat de ce tableau, la consommation des autres utilisateurs d'eau est de 37 840L/J. Ainsi la consommation journalière de la commune rurale d'Ambahikily est de **297 070L/J**. Pour satisfaire ce besoin, il faut donc avoir au moins 12,5m³/h d'eau potable

1.2.3Activité économique

Les Masikoro sont des agro-pasteurs alors que les Vezo sont des pêcheurs s'installant le long du littoral. L'élevage de zébus est moins important par crainte des vols de bœufs et de la réduction des zones de pâture : les zébus sont utilisés surtout pour la charrette à la recherche d'eau et pour rallier les champs, qui s'éloignent de plus en plus des villages. De plus en plus, les quelques troupeaux sont repoussés à l'intérieur de la forêt. L'agriculture, l'élevage, et le commerce sont les trois secteurs d'activités économiques principales de la population de la zone d'étude.



Source :Equipe SGDM, 2014

Photo 2. Marché d'Ambahikily

1.2.4 Agriculture

Disposant une vaste plaine qui s'étend a une dizaine de kilomètre autour du village, l'agriculture représente la principale activité économique de la population d'Ambahikily. La riziculture tient la première place. La localité est réputée par son vaste périmètre rizicole qui avoisine les 5300ha et permet de produire 15900t. Les villageois pratiquent également d'autres cultures vivrières comme : le pois de cap, maïs, manioc, patate douce, vonemba....

1.2.5 Elevage

La majorité de la population locale pratique l'élevage bovin et chaque paysan l'adopte sans objectif précis, ce que l'on appelle un élevage contemplatif. Presque la totalité des ménages du village élève des volailles, composées en majorité de poulets de race locale et accessoirement de dindes, d'oies et des canards. Seulement, une minorité de la population élève des porcs de race locale.

1.2.6 Commerce

Très développé par rapport aux autres villages de la région, Ambahikily dispose d'un bazar, d'un marché de bétail, des magasins de stockage, des collecteurs de produits locaux. Les produits locaux commercés, par ordre d'importance, sont : le riz, le pois de cap, le haricot

(rouge et blanc) et le vonemba. Les bars du village sont remplis de clients surtout durant le jour de marché, on peut trouver divers boissons, alcools. Les femmes s'occupent du petit commerce. Certaines font la navette entre Ambahikily et Toliara pour apporter des produits agricoles en échange de produits manufactures et de premières nécessités à vendre en brousse.

I.3 Contexte climatique

Le sud malgache se caractérise par un climat chaud et sec semi-aride, marqué par l'irrégularité pluviométrique, combinée avec les variations et l'importance des amplitudes thermiques. La sécheresse présente une variation périodique. La région est soumise à deux types de climat :

-Climat subaride, à proximité des côtes (ouest) avec une pluviométrie très faible de 170 à 410 mm par an ;

-Climat semi-aride, avec une pluviométrie de 550 à 880 mm par an.

La saison sèche y est très marquée, plus de sept mois avec une précipitation très irrégulière.

I 3.1 Précipitation

Toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre tant sous forme liquide (brume, pluie, averse) que sous forme solide (grésil, grêle) sont dénommées précipitations.

.Le tableau suivant représente la répartition de la précipitation enregistrée sur la station de Morombe.

Tableau 2 : Répartition mensuelle de la précipitation dans le district de Morombe

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aou	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitations (mm)	169,3	407,2		1,4	9,1					26,8		

Source : Direction Générale de la Météorologie(2013)

Le district de Morombe possède une pluviométrie moyenne annuelle de 400mm avec dix mois secs ($P < 50$ mm) de mars à décembre. Les plus fortes précipitations sont observées de Janvier à février ($P > 220$ mm).

1.3.2 Température

La température moyenne est de 25°C à 26°C. La saison chaude se situe entre les mois d'octobre et avril avec une température moyenne mensuelle de 24°C et un maximum au mois de janvier. La saison froide s'étale du mois de mai à septembre avec un minimum de 19°C au mois de juin et juillet.

Tableau 3 : Répartition mensuelle de la température et de l'évapotranspiration dans le district de Morombe.

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juill.	Aou	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
T moyen (°C)	26.8	27.2	26.9	25.3	22.9	20.3	20.7	20.6	23.4	25.9	27.2	27.6
ETP (mm)	72	67	65	53	41	34	36	46	56	68	74	70

Source : Direction Générale de la Météorologie(2013)

1.3.3 Bilan hydrique

L'étude d'un aquifère de la zone commence toujours par le bilan hydrique de ses bassins hydrologiques et hydrogéologiques. Pour notre cas, afin de comprendre la ressource en eau souterraine, il est important de savoir l'équilibre entre la précipitation (P) et l'évapotranspiration (ETP).

Tableau 4 : Répartition du bilan hydrique (2013) dans le district de Morombe.

	Nov.	Déc.	Jan	fév.	Mars	avril	mai	juin	juill.	Aou	Sept.	oct.	Total
<i>P</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>169,3</i>	<i>407,2</i>	<i>0,0</i>	<i>1,4</i>	<i>9,1</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>26,8</i>	<i>613,8</i>
<i>ETP</i>	<i>74</i>	<i>70</i>	<i>72</i>	<i>67</i>	<i>65</i>	<i>53</i>	<i>41</i>	<i>34</i>	<i>36</i>	<i>46</i>	<i>56</i>	<i>68</i>	<i>682</i>
<i>P-ETP</i>	<i>-74</i>	<i>-70</i>	<i>93,3</i>	<i>340,2</i>	<i>-65</i>	<i>-51,6</i>	<i>-31,9</i>	<i>-34</i>	<i>-36</i>	<i>-46</i>	<i>-56</i>	<i>-41,2</i>	<i>-72,2</i>

Source : Direction Générale de la Météorologie(2013)

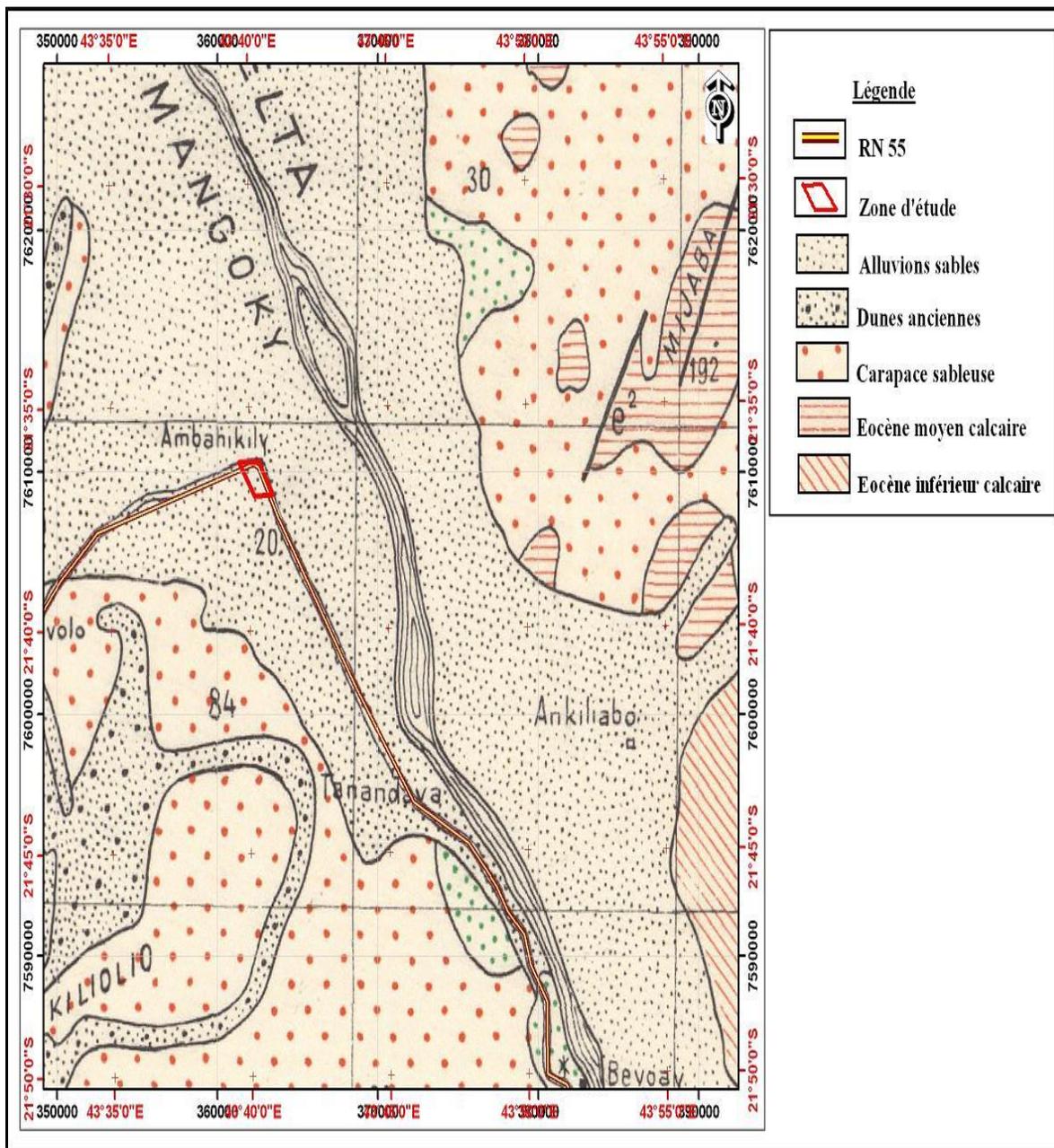
Nous constatons que la zone d'étude se trouve dans un lieu où il y a déficit et manque de pluie sauf pendant la période de crue au mois de janvier et février. La précipitation annuelle est de 613,8mm, l'évapotranspiration est de 682mm. D'où on a un déficit de l'ordre de 72,2mm. Pour conclure, l'alimentation en eau par infiltration directe de l'eau des pluies est largement

insuffisante, d'où l'infiltration des eaux de surface et des écoulements d'eaux souterraines assure l'alimentation en eaux souterraines de la zone d'étude.

I.4 Contexte géologique

Au point de vue géologique, à l'exception de la partie orientale du Mahafaly qui appartient au socle, la région de Toliara occupe la partie méridionale du bassin sédimentaire de Morondava. Plus précisément, Ambahikily se trouve sur la plaine alluviale du fleuve de Mangoky et d'après la carte géologique (Figure 2), on peut rencontrer successivement les couches suivantes de haut en bas :

- De l'alluvion sableuse composée de débris provenant de l'érosion des terrains en amont du fleuve, les sédiments étant apportés.
- De la carapace sableuse constituée de sable claire peu argileux.
- Des formations gréseuses et argileuses, pour la plupart masquées par les sables roux du pliocène continental.
- A la base de ces formations se trouvent des calcaires présentant des discontinuités gréseuse de l'éocène (moyen et inférieur).



Source : extrait du feuille B54

Figure 2- Carte géologique de la zone d'étude

I.5 Contexte hydrogéologique

La zone d'étude est drainée principalement par le fleuve de Mangoky qui s'étend sur 55 884 km². Si on tient compte de la Mananantanana, la branche amont, le Mangoky coule sur une longueur de 820 km. C'est au niveau de Beroroha, lorsque le fleuve pénètre dans le sédimentaire, que la vallée s'élargit considérablement jusque dans son cours inférieur où il construit un vaste delta de 80 km de longueur et de 50 km de large. Les affluents de Mangoky sont : la Menamaty, l'Isahena, la Sakamavaka et la Sikily. Les rivières de Manombo et de Befandriana sont saisonnières et ne sont alimentés que par les orages.

Pendant la période d'étiage, les rivières de Manombo et de Befandriana s'assèchent complètement. Ces cours d'eau coulent selon une direction générale est-ouest.



Source : Equipe SGDM, 2014

Photo 3 : Rivière de Befandriana

Les principales nappes rencontrées sont :

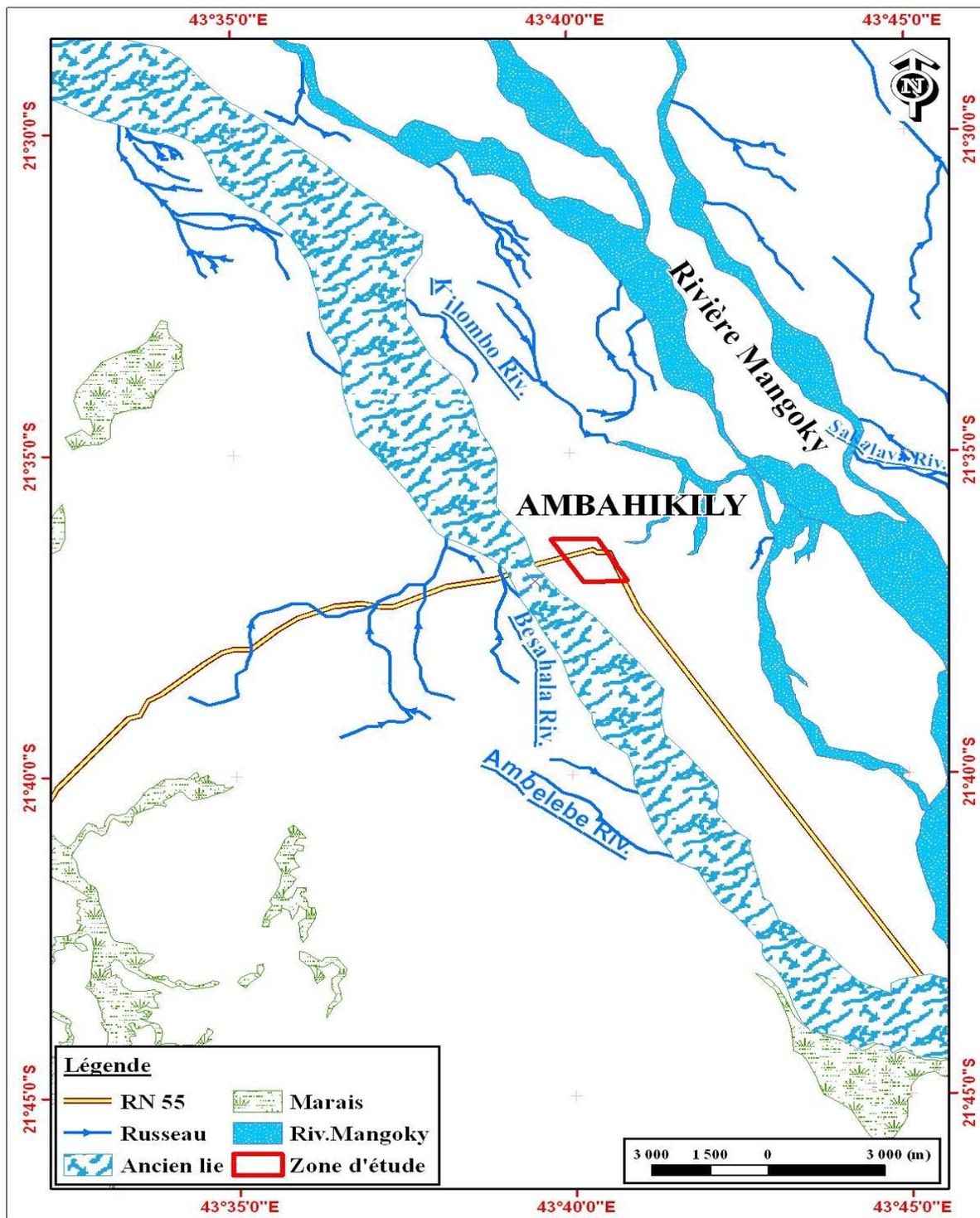
- La nappe phréatique superficielle : Elle se trouve au niveau de l'alluvion à une profondeur entre 0,80m et 2,58m, elle est actuellement exploitée par la population à partir des puits simples (puits équipés de fûts ou de buses non couverts).



Source : Equipe SGDM, 2014

Photo 4 : Puits busé

- Les nappes libres profondes : Ces nappes sont constituées, de nappe de carapaces sableuses qui se trouve à quelque dizaine de mètre, de nappe de grès et calcaire gréseuse qui se situe également en profondeur.



Source : BD 500

Figure 3 : Carte hydrologique de la zone d'étude

DEUXIEME CHAPITRE
METHODOLOGIE APPLIQUEE A LA
RECHERCHE D'EAU SOUTERRAINE.

Ce chapitre présente la démarche méthodologique adoptée pour avoir une étude hydrogéologique. Après avoir décrit la méthode de photo-interprétation, on va voir la méthode géophysique appliquée à la recherche d'eau souterraine. Pour cette étude nous adoptons la méthode électrique, plus précisément le Sondage Electrique Vertical (SEV).

II-1 METHODE DE PHOTO-INTERPRETATION

Lors de cette étude des termes techniques sont utilisés plusieurs fois et dont la connaissance de leurs définitions et leurs détails est importante.

II-1-1 Quelques définitions

Les termes qui sont détaillés par la suite se rapportent essentiellement à l'étude hydrogéologique.

Hydrogéologie : l'hydrogéologie est la science de l'eau souterraine à caractère multidisciplinaire. Ses objectifs sont l'acquisition des données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur terrain, le captage et la planification de l'exploitation de l'eau souterraine.

Géomorphologie : la géomorphologie étudie les formes du relief, explique comment la désagrégation, l'érosion et autres processus ont donné naissance aux différents paysages. Les différents types de morphologie qu'on peut rencontrer sont :

- l'affleurement
- la dépression
- les plaines
- le plateau
- le sommet
- le talweg
- le bas fond

Linéaments : ce sont des cassures, fissures, fractures qui facilitent la circulation d'eau souterraine et qui sont dues par des événements tectoniques.

Filon : c'est une sorte de veine de masse tabulaire de matière minérale, déposée dans une fissure, une fente ou une crevasse d'une assise rocheuse et présentant une composition différente de celle de la roche encaissante. La plupart des veines résultent de la précipitation graduelle de substances apportées par des eaux souterraines ou des gaz après formation du matériau encaissant. La taille des veines varie de la simple strie parcourant un spécimen rocheux de petite taille à des masses de milliers de mètres de long. Les veines de quartz et

d'autres minéraux peuvent également se former lorsque des fluides magmatiques sont injectés dans des fissures ouvertes par intrusion de masses importantes de roche magmatique.

Quand cette formation s'interpose entre des couches étroitement stratifiées, elle prend le nom de filon.

Altération : l'altération des roches est la séparation des éléments d'une roche par l'action de phénomènes physiques et chimiques. L'altération physique se traduit par la fragmentation de la roche (sans modification de sa constitution). L'altération chimique décompose la roche en modifiant lentement la nature des minéraux constitutifs. Ces deux processus ont toujours lieu simultanément et produisent des débris qui sont ensuite transportés mécaniquement ou en solution par l'érosion.

Schistosité : c'est le plan où les minéraux constitutifs de la roche sont orientés parallèlement les uns par rapport aux autres sous l'influence de contraintes tectoniques, son orientation est mesurée à l'aide des affleurements rencontrés sur le terrain ou par photo aérienne.

II-1-2 Outils et documents de base

Les outils utilisés lors des travaux de terrain sont :

Une voiture 4x4 : pour le moyen de déplacement d'un site à un autre.

Un GPS : pour repérer le village, tracer la route pour établir le plan d'accès et aussi pour prendre les coordonnées des points d'implantation.

En hydrogéologie il y a trois types de documentation de base : la carte topographique, la carte géologique et la photo aérienne.

- La carte topographique :

Les cartes topographiques sont généralement utilisées pour représenter des régions terrestres. Elles indiquent les caractéristiques naturelles et artificielles de la région représentée : elles peuvent ainsi comporter le réseau de transports (routes, voies ferrées, canaux, sentiers, aéroports), l'hydrographie (cours d'eau, lacs, aspects des côtes), les habitations (villages, bourgs, villes), la forme et l'altitude du relief...etc. En raison de la grande diversité des informations qu'elles comportent, les cartes topographiques servent le plus souvent de carte de référence pour un usage courant.

- La carte géologique :

Elle représente les différentes formations géologiques qu'on peut rencontrer sur le terrain.

Ainsi on peut y voir les différents pendages des couches et leurs âges et aussi les formations tectoniques comme les failles, ou même la faille probable (fracture)...

- **La photo aérienne** : comme les deux cartes précédentes elle représente l'aspect de la topographie prise par photo vu entre 3000 à 10000m d'altitude, avec une échelle de 1/45000 On peut y voir les aspects morphologiques, les cours d'eau, routes, villages, les directions de schistosité et de linéament. En plus, la photo aérienne donne des informations nettes sur les fractures bien évidentes.

II-1-3 Détermination d'une fracture

La détermination d'une fracture est très importante pour une étude hydrogéologique car l'eau souterraine circule facilement dans les fracturations où il y a interconnexion entre elles, ainsi l'étude consiste à regarder sur la photo aérienne et la carte géologique s'il existe un éventuel linéament. Cette étude est effectuée sur terrain pour localiser les informations données par la photo et la carte géologique :

Traitement par photo aérienne

Les opérations suivantes sont réalisées pour la détermination d'une fracture :

- on pointe le village sur la photo aérienne à l'aide de la carte topographique.
- on calque la direction des cours d'eau près du village sur la photo aérienne.
- on détermine la direction de schistosité sur terrain.
- on cherche le linéament le plus proche du village.

Traitement par carte géologique

Pour déterminer une fracture, on peut faire avec la carte géologique les opérations suivantes :

- localiser le site sur la carte géologique,
- voir s'il existe des filons ou des intrusions,
- voir sur la carte le pendage de la couche, puis le déterminer à partir d'affleurement,
- voir s'il y a des zones de cisaillement,
- chercher les failles probables les plus proches du village.

Il faut noter que quelques opérations sont effectuées avant de descendre sur terrain, comme la localisation d'un site à prospecter, mais la plupart des opérations sont exécutées sur terrain pour éviter l'erreur d'interprétation des documents de base.

II-1-4 Localisation d'un point de forage

Le but de l'implantation d'un point de forage est de trouver une zone favorable près du village pour un éventuel point d'eau. La distance entre la future borne fontaine et le village ne doit pas dépasser les 600m. (étude antérieure effectuée par le JICA en 1971,[17]).

Le choix de l'implantation des forages dans le socle exige beaucoup plus de précision pour que le forage ait une bonne productivité. Pour avoir une bonne réussite, il faut que le point d'implantation soit si possible :

- Dans le croisement des fractures, les plus nettes (sur la photo aérienne) et si possible les plus longues.
- En un point topographiquement bas, car le fourreur ne dépasse pas la profondeur de 60m
- En aval d'un bassin versant le plus large possible
- A proximité d'un marigot permanent

Il faut noter aussi que l'implantation des forages ne doit pas être placée dans des endroits situés :

- Si loin du point d'eau traditionnel
- Dans un endroit qui ne présente aucun accès pour les machines des forages
- Auprès d'un grand arbre ou groupement d'arbres car les machines des forages ont besoin d'un espace suffisant pour forer.
- Dans une zone dit « tabou »
- Dans une zone inondable pendant la saison de pluie.

On doit admettre que chaque forage réalisé dans le socle est positionné par rapport à un accident appartenant à une direction tectonique déterminée. Dans le cas pratique, pour parvenir à implanter le point de forage, les travaux de prospection hydrogéologiques qu'on doit faire sur le terrain sont :

- La reconnaissance du village à l'aide d'un croquis fait par le sociologue auparavant.
- La vérification des formations et des structures géologiques autour du village : affleurement, schistosité, filon, intrusions, fissures ou fracture.
- Le repérage des linéaments les plus proches du village qui peuvent correspondre à des fractures.
- Le choix d'une zone favorable pour l'implantation en fonction de la morphologie, de l'accès pour la fourreuse, des zones tabous et si possible des désirs des villageois (lorsqu'il y a le choix) et bien évidemment en fonction des contraintes qu'on avait citées auparavant.

-La confirmation ou non par des travaux géophysiques si la topographie le permet, la mise en place d'un piquet dans lequel on a mis l'identification du village et le relevé de leurs coordonnées GPS.

II-2 METHODES DE PROSPECTION ELECTRIQUE

Pour parvenir à l'objectif du projet AEP, une étude géophysique est menée pour compléter l'étude hydrogéologique. Ces 2 études sont complémentaires pour la recherche d'eau souterraine.

II-2-1 Quelques définitions

Géophysique : Étude des diverses propriétés physiques de la Terre, de la composition et des mouvements des diverses couches rocheuses qui la composent. La géophysique est appliquée à la recherche d'eau souterraine et à l'exploitation minière pour déterminer la zone favorable pour l'exploitation, c'est par l'intermédiaire de la mesure des paramètres physiques qui caractérisent la nature du sous-sol, citons comme exemple : la résistivité, la densité, la vitesse de propagation d'ondes...

Résistivité apparente : même si le sol est hétérogène, on peut toujours injecter un courant et mesurer la différence de potentiel et la résistivité moyenne des résistivités des diverses hétérogénéités du sous-sol et appelée résistivité apparente du sous-sol hétérogène.

II-2-2 Méthode électrique

C'est une technique d'investigation verticale du sous-sol. Elle donne à la verticale du point de mesure la distribution des résistivités du sous-sol. On utilise le dispositif Schlumberger dans lequel les 4 électrodes sont alignées et chaque paire d'électrodes (électrodes d'injection et électrodes de potentiel) est disposée symétriquement de part et d'autre du point de mesure.

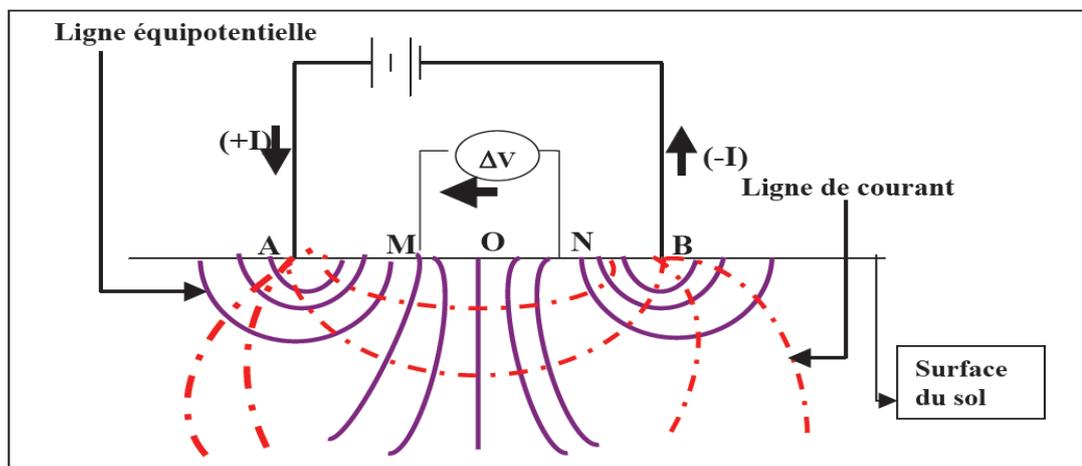


Figure 4 : Dispositif de mesure de résistivité électrique

Plus la longueur de ligne AB augmente, plus les lignes de courant pénètrent en profondeur dans le sous-sol et un volume plus grand en profondeur est concerné par le passage du courant d'où le nom de « sondage électrique ». La profondeur d'investigation p est comprise entre $4AB$ et $10AB$. Puisque le sous-sol n'est pas toujours homogène, on adopte une résistivité apparente ρ_a qui dépend de la nature du milieu ainsi que de la configuration des électrodes.

Les données obtenues sont traduites sous forme de diagramme rapporté en coordonnées bilogarithmiques de type $\rho_a = f(AB/2)$. Ce diagramme constitue le document d'interprétation de base pour l'étude de la distribution verticale des résistivités du sous-sol. Cette courbe constitue le document d'interprétation de base et est appelée « courbe de sondage ».

Le dispositif consiste à aligner les quadripôles ABMN symétriquement par rapport au point O pris comme point de mesure.

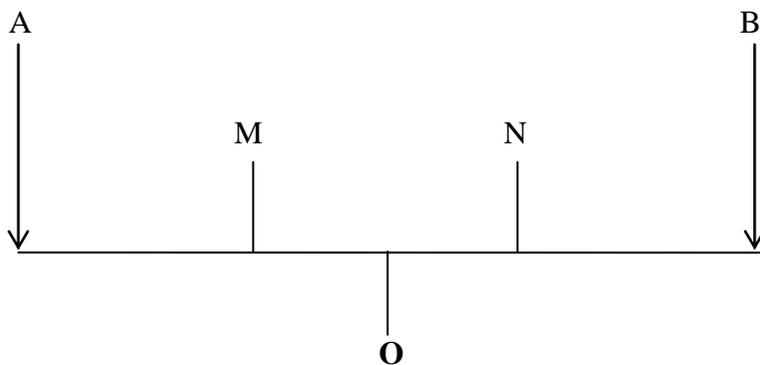


Figure 5 : Dispositif Schlumberger

AB : électrodes d'injection

MN : électrodes de mesure de potentiel

O : point de mesure

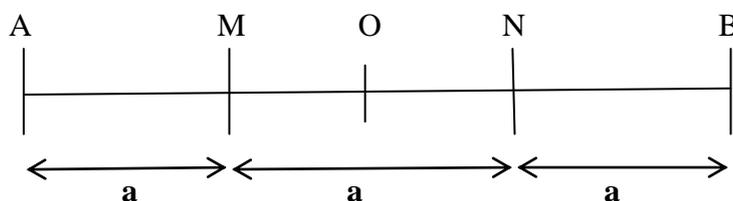


Figure 6: Dispositif Wenner normal

$AM=MN=NB= a$

Techniques de Mesures

Selon que l'on s'intéresse aux variations avec la profondeur ou aux variations latérales, on distingue deux techniques de mesures: le sondage électrique et le profil de résistivité.

On utilise pour les deux techniques un dispositif symétrique comprenant deux prises de terre A et B et deux sondes M et N, l'ensemble électrodes-prises de terre "AMNB" sont alignés: Le dispositif de mesure correspondant est soit celui de Schlumberger ou bien de Wenner, tous deux placés sur la surface du sol. La résistivité apparente peut être calculée d'après la formule suivante:

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (7)$$

Et

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} + \frac{1}{AN} + \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (8)$$

Avec ρ appelée «résistivité vraie» du sous-sol homogène exprimée en $\Omega\mathbf{m}$

ΔV : la différence de potentiel entre les électrodes M et N en V

I : l'intensité de courant injecté en A

K : facteur géométrique qui dépend de la configuration géométrique des électrodes

II.2.3 Dispositifs de mesures.

On appelle dispositif de mesure, une figure géométrique mise en œuvre sur le terrain à l'aide de câbles d'émission de courant électrique et des câbles de réception, permettant ainsi la mesure de la différence de potentiel entre deux électrodes.

II.2.3.1 Dispositif Schlumberger

Dans le cas du dispositif de Schlumberger MN est très petit par rapport à AB.; telle que :

$4 \leq AB/MN \leq 20$; Si OA = L, ON = l;

On aura:

$$K = \frac{\pi}{2l}(L^2 - l^2) \quad (9)$$

II.2.3.2 Dispositif Wenner

Le dispositif de Wenner est tel que : $AM = MN = NB = a$

Si $OA = a$, $2a/3 = 2b$;

On aura: $\mathbf{K = 2 \pi a} \quad (10)$

II-2-4 Outils et documents de base

Les outils essentiels à disposition du géophysicien sont :

Une voiture 4x4 qui permet d'accéder aux villages.

Un GPS : pour relever les coordonnées du point de forage.

Une boussole : pour mesurer les directions du sondage et du traîné.

On utilise le résistivimètre électrique SYSCAL R2 développé par Iris instruments. Ce résistivimètre est caractérisé par :

- une tension de sortie de 800Volts (1600V crête à crête)
- un courant de sortie maximum jusqu'à 2.5A
- une puissance de sortie maximum de 1600Watts
- une impédance d'entrée de $10M\Omega$
- une gamme de tension d'entrée de -5 à +5V
- une compensation automatique de la PS (-5 à +5V) avec une correction linéaire de la dérive (jusqu'à 1mV/s).
- Une mesure de la prise de résistance de prise de terre de 0.1 à $1000K\Omega$.

Le résistivimètre est associé à un convertisseur DC/DC de 250Watts alimenté par une batterie de 12V.

Les matériels utilisés sont présentés sur la photo ci-dessous.

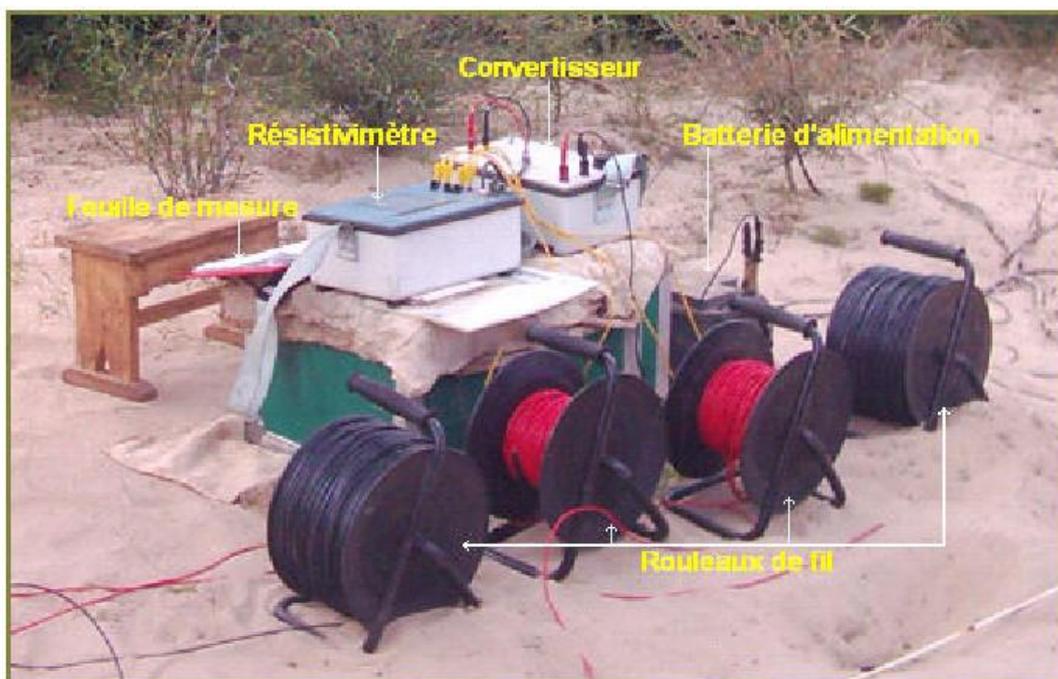


Photo 5: Résistivimètre SYSCAL R2 et ses accessoires

De même pour les géophysiciens, ils ont besoin des documents de base qui sont :

La carte topographique (disponible à l'échelle de 1/100.000)

La carte géologique (disponible à l'échelle de 1/500.000e, 1/200.000e et 1/100.000e)

Un papier bi logarithmique qui sert à tracer à la main la courbe de sondage et du profilage.

II-3 Interprétation des données électriques

Il existe deux modes d'interprétations en sondage électrique :

- le modèle 1D : variation de la résistivité des terrains suivant la verticale

- le modèle 2D : mode de représentation à la fois suivant la verticale et suivant une direction donnée (horizontale) d'un profil. Il s'agit de faire plusieurs sondages électriques effectués suivant un même profil de mesure. L'interprétation basée sur le modèle de terrain 1D ou modèle tabulaire considère un sous-sol homogène avec des surfaces de séparation planes et horizontales. Ce modèle permet de déterminer les différentes successions du terrain prospecté.

Pour le sondage électrique, le document d'interprétation utilisé est la courbe de sondage obtenue à l'issue de 2 étapes de traitement :

- *Traitement par abaque*

- *Traitement par un programme Qwsel*

Qwsel est un programme qui traite les données géophysiques à partir d'un sondage électrique. On fait entrer dans le programme la méthode utilisée puis on saisit les résistivités, chacune correspondant à une distance d'AB/2 bien donnée. Le programme donne une proposition de nombre de terrain avec les points expérimentaux, puis on fait rapprocher le modèle jusqu'à ce qu'on obtienne une courbe semblable à celle qu'on a obtenu sur terrain avec le papier bilog. On obtient alors, après plusieurs itérations, un modèle final caractérisé par des résistivités et des épaisseurs des différentes couches.

Pour l'interprétation de la courbe de profilage, lorsqu'il y a des anomalies, l'extension latérale de la valeur de résistivité acceptable est $10m < x < 20m$ mais si cette extension latérale est plus grande, cela peut correspondre à un changement de faciès.

En cas de résultat non concluant de la géophysique, il est préférable de déplacer l'implantation sur une autre zone éventuellement favorable, si possible, qu'on appelle implantation de secours.

II.3.2 Le principe de l'inversion

Le logiciel employé pour retrouver les vraies valeurs de la résistivité à partir des valeurs apparentes de terrain s'appelle un logiciel d'inversion. Il commence par découper le profil en plusieurs blocs dont la taille augmente avec la profondeur, à cause de la perte de résolution de la méthode électrique. Cette augmentation est généralement de 10% ou de 25% suivant le nombre de points et de niveaux d'acquisition du profil en question.

A l'intérieur de chacun de ces blocs, le logiciel attribue une valeur de résistivité apparente calculée à partir des points de mesure. Il calcule ensuite, à l'aide d'une matrice de dérivée partielle, la valeur de résistivité vraie de chaque bloc. Pour cette opération, les premières valeurs qu'il introduit dans cette matrice sont les valeurs apparentes qui lui permettent de donner un premier modèle approximatif.

A partir de ce modèle, il injecte un courant fictif et recalcule les valeurs apparentes. Il compare ensuite cette coupe de résistivité apparente avec celle qui a été dessinée à l'aide des valeurs mesurées. La comparaison lui permet de corriger la matrice et de recalculer un modèle plus précis. Le logiciel essaie donc, à l'aide d'une méthode itérative, de réduire la différence entre les valeurs calculées et mesurées de résistivité apparente en ajustant la résistivité vraie de chaque bloc. Une mesure de cette différence est donnée par l'erreur RMS (Root-Mean-Squared). Bien que cette mesure soit une bonne indication de la qualité d'un profil, ce n'est pas toujours l'itération, qui a la plus faible erreur RMS, qui donne le profil le plus juste géologiquement. En général, le modèle le plus fiable est celui qui se situe juste après l'itération ou l'erreur RMS, ne changeant plus de manière significative, ce qui arrive habituellement entre 4 et 6 itérations.

TROISIEME CHAPITRE
PRESENTATION DES RESULTATS ET
INTERPRETATIONS

Les travaux de terrain effectués sont axés essentiellement sur la réalisation des quatre sondages électriques verticales et des mesures de paramètre physico-chimique dans une dizaine de puits trouvés dans la zone d'étude. Après avoir fait une photo-interprétation, cette partie va décrire les résultats et interprétations y afférentes afin de définir le meilleur point d'exploitation d'eau souterraine de la zone d'étude.

III-1 PHOTO-INTERPRETATION

L'analyse de la photo aérienne est présentée dans la figure ci-après, le village est bâti sur une plaine alluviale, la zone est délimitée au Nord Est par des bas-fonds aménagés en rizière, au Nord par des affleurements de carapaces sableuses. Les différentes cases et zone habitation se trouvent dans la partie Sud-Ouest des bas-fonds.

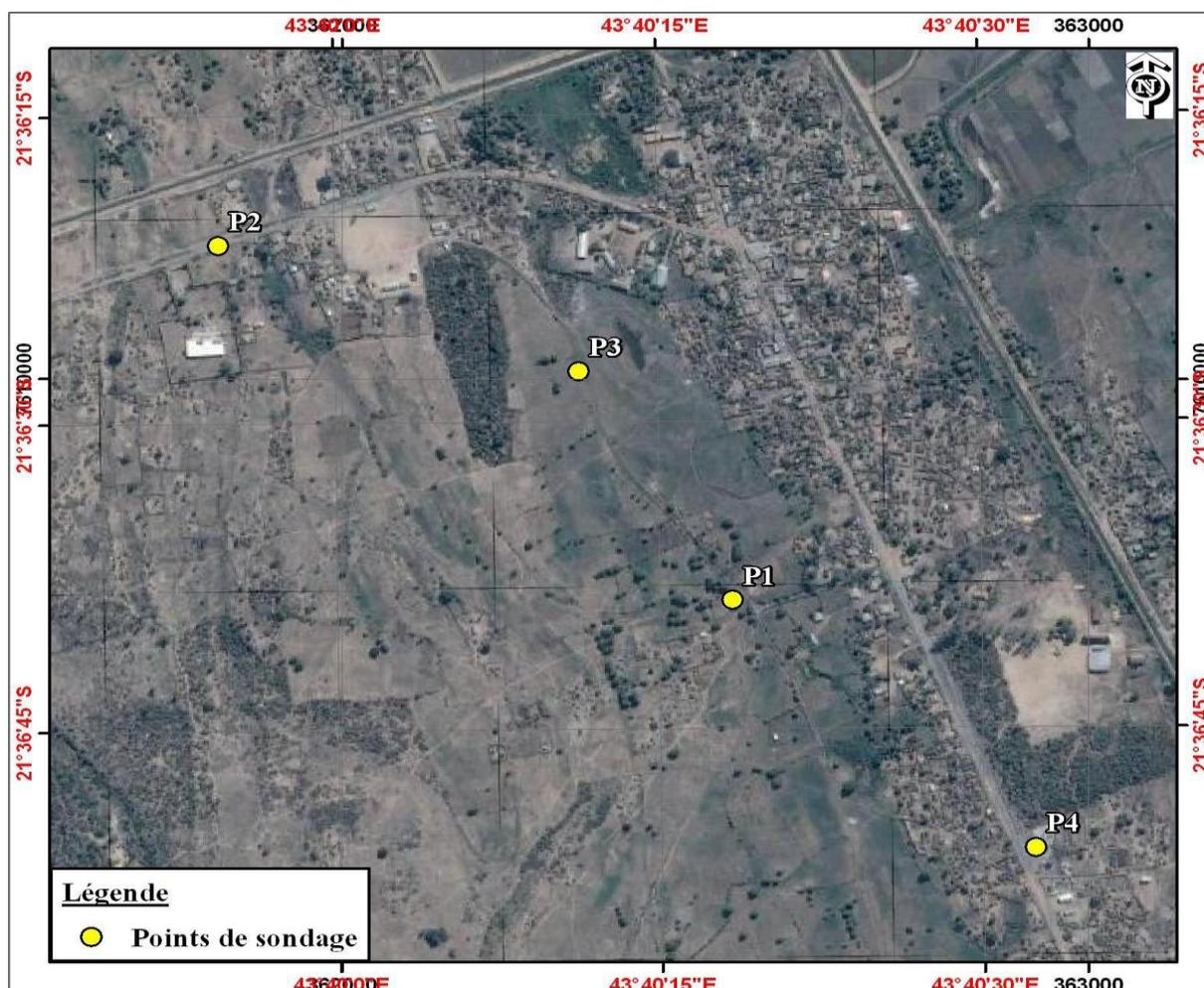


Figure 7 : Photo-interprétation de la zone d'étude

L'évaluation du potentiel hydrogéologique de la cible identifiée ci-dessus fait appel à la méthode géophysique électrique (Sondage électrique), afin de suivre l'allure de chaque unité géologique susceptible de contenir les nappes d'eau souterraine. Les travaux géophysiques ont été implantés sur les zones à carapace sableuse à bas fond.

III.2 ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

L'analyse des paramètres physico-chimique de l'eau a pour but de faire connaître sur place la qualité des eaux rencontrées, et ceci afin de définir leur utilité dans les besoins ménagers (eau de cuisson ou de lavage...). Les paramètres à analyser sont choisis en fonction de l'objectif à atteindre. Dans notre cas, nous choisissons le potentiel d'Hydrogène (pH), la température (T), la conductivité électrique (CE) et la turbidité.

III.2.1 Le Potentiel Hydrogène (pH)

Ce paramètre mesure l'acidité de l'eau, c'est - à- dire sa concentration en ions hydrogène H^+ due à l'acidité carbonique dissout dans l'eau. Il traduit ainsi la balance entre l'acidité et la basicité de l'eau entre une échelle de 0 à 14 (7 étant la valeur de la neutralité).

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples tels que la température ou sa qualité..., dont l'origine de l'eau.

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie.

Nous pouvons mesurer l'agressivité de l'eau à l'aide d'un pH. Nous savons que l'acidité de l'eau provient de l'acide carbonique dissout dans l'eau. Nous distinguons le CO_2 combiné des carbonates et bicarbonates, le CO_2 dissout d'équilibre maintenant les bicarbonates en solution, et le CO_2 libre agressif. Pour une valeur donnée de la teneur totale en CO_2 , il existe un pH au-dessous duquel l'eau est agressive et au-dessus duquel elle est calcifiante.

Tableau 5 : Classification des eaux selon leur pH.

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

Source : http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.htm.

Remarque :

Les facteurs responsables des variations du pH sont : l'éclairage, la température, la présence de dioxyde de carbone, d'oxygène, les hôtes de l'aquarium, poissons ou plantes qui sont autant d'acteurs susceptibles de faire varier le pH.

Pour clarifier, nous en représentons les principales sources d'acidités et d'alcalinité.

Sources d'alcalinité : ce qui fait augmenter le pH ou le maintien à une valeur élevée.

- ✓ Nous pouvons augmenter le pH en chassant du CO₂ hors de l'eau en produisant une forte aération de celle-ci.
- ✓ S'il y a du calcaire présent dans l'eau, il va réagir avec l'acide carbonique pour former du bicarbonate de calcium. La dureté temporaire de l'eau joue donc un rôle de tampon en empêchant qu'une trop grande partie d'acide carbonique (H₂CO₃) ne se forme, et fasse baisser le pH. C'est ce que nous appelons le "pouvoir tampon" ou encore la "réserve alcaline" du calcaire. Pour cette raison, nous aurons intérêt à augmenter ou maintenir la valeur de la durée carbonatée pour augmenter ou maintenir celle du pH.
- ✓ Beaucoup de plantes dans un aquarium bien éclairé prélèvent beaucoup du CO₂ disponible et tendent à augmenter le pH.
- ✓ Plus l'eau est dure plus la valeur de son pH a tendance à être élevée.

Sources d'acidité : ce qui fait baisser le pH ou le maintien à une valeur faible.

- ✓ Le dioxyde de carbone rejeté par les poissons, et qui se dissout relativement facile dans l'eau : une partie du dioxyde de carbone dissout dans l'eau se transforme en acide carbonique H₂CO₃. Qui dit acide dit baisse du pH.
- ✓ Plus une eau est douce, plus la valeur de son pH a tendance à être faible.



Source : Auteur

Photo 6 : pH-mètre

III.2.2 La conductivité électrique

La conductivité électrique (inverse de la résistivité électrique) mesure la capacité de l'eau à conduire un courant envoyé par deux électrodes. En effet, la plupart des matières dissoutes dans l'eau sont sous la forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de particules minérales dissoutes dans l'eau. La conductivité est en fonction de la température de l'eau : plus celle-ci est haute, plus la conductivité augmente car la température augmente la mobilité des ions dans l'eau. Il faut donc garder la même température (température de référence 20°C ou 25°C) pour pouvoir comparer les conductivités. Elle se mesure en **micro Siemens/cm**, à l'aide d'un conductimètre.

Comme la température, des contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration. La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.

2µS = 1ppm = 1mg/l ; avec ppm = partie par million pour mesurer la quantité de substance dissoute dans l'eau.

Tableau 6: Quelques références pour la minéralisation des eaux.

Nature de l'eau	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Eau pure	< 23
Eau douce peu minéralisée	100 à 200
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500
Eau très minéralisée	1 000 à 2 500

Source : <http://grenoble.eau.pure.free.fr/analyses.htm>.

Les facteurs responsables des variations de la conductivité électrique des eaux sont la température de l'eau et la concentration des ions.



Source : Auteur

Photo 7: Conductimètre

III.2.3 La température

La température de l'eau varie suivant les saisons. En saison d'été, nous remarquons une légère augmentation de température. Par contre, elle a une faible valeur après une saison fraîche. L'eau souterraine, qui se trouve approximativement de la surface, est éventuellement influencée par la température de l'air extérieur, c'est-à-dire par le cycle hétéro-thermique saisonnière. L'eau tend à se mettre en équilibre avec la roche réservoir selon le cycle hétéro-thermique.

La superposition des deux nappes à régime d'écoulement différent et à température inégale peut provoquer des mélanges thermiques à proportion variée. La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. La variation de la température peut permettre de connaître l'apport des éléments polluants par des eaux superficielles.

En profondeur, la température de l'eau dépend du gradient thermique de l'ordre de 3°C par 100m, c'est-à-dire que lorsque nous descendons en profondeur plus de 100m, la température de l'eau augmente de l'ordre de 3°C. Donc, c'est un indice d'origine ou de circulation des eaux souterraines.

La température doit être mesurée in situ.

III.3 RESULTATS DE MESURE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUE :

Les mesures ont été effectuées sur vingt échantillons recueillies dans vingt puits rencontrés dans le village de la commune d'Ambahikily:

Puits1, 2, 3,4 : dans le Nord du village d'Ambahikily.

Puits5, 6, 7,8 : dans le Sud du village d'Ambahikily

Puits9, 10, 11,12 : dans la partie Centrale d'Ambahikily

Puits13, 14, 15,16 : dans la partie Ouest d'Ambahikily

Puits17, 18, 19,20 : dans la partie Est d'Ambahikily

Le tableau ci-dessous nous montre les valeurs du pH, la conductivité électrique (CE), la turbidité, la température (T) et le niveau statique (NS) des eaux de puits recueillies dans les puits de la commune d'Ambahikily.

Tableau 7: Résultats des paramètres physico-chimiques et niveau statique des eaux de puits dans la zone d'étude

Puits(P)	Ph	CE ($\mu\text{S/cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Turbidité (NTU)	N.S (m)	Coordonnées	
						E	S
1	7,21	1460	29,1	726	2,35	043°40'27.3''	21°36'37.2''
2	7,25	2095	28,7	1045	2,85	043°40'23.7''	21°36'34.5''
3	7,60	2200	29,1	1093	2,90	043°40'28.5''	21°36'36.1''
4	7,89	446	28	220	2,60	043°40'23.7''	21°36'37.8''
5	7,83	909	27,9	454	2,75	043°40'24.5''	21°36'39.1''
6	7,51	2590	29	1302	3	043°40'27.5''	21°36'37.4''
7	7,51	3999	28,7	2000	2	043°40'27.5''	21°36'37.6''
8	7,65	3275	29	1640	2	043°40'28.5''	21°36'37.7''
9	7,67	3135	29,1	1568	2	043°40'28.2''	21°36'37.9''
10	7,81	2857	29,3	1430	1,80	043°40'24.5''	21°36'36.2''
11	7,85	2243	29,2	1118	1,30	043°40'27.8''	21°36'36.7''
12	8,25	2143	29,2	1072	2	043°40'28.8''	21°36'38.1''
13	8,10	1777	29,3	990	1,70	043°40'27.7''	21°36'37.5''
14	7,97	1927	29,1	263	1,80	043°40'27.8''	21°36'36.8''
15	7,97	2341	29	1173	1,90	043°40'27.5''	21°36'36.9''
16	7,84	2342	28,7	1168	2	043°40'26.8''	21°36'36.8''
17	7,93	1725	29,2	861	1,65	043°40'27.8''	21°36'36.9''
18	7,88	1719	29,3	859	1,74	043°40'28.5''	21°36'36.9''
19	7,96	1683	29,2	841	2	043°40'28.9''	21°36'37.6''
20	7,86	1642	29,3	823	1,80	043°40'27.8''	21°36'36.9''

On peut remarquer de ce tableau que tous les points d'eau capte la première nappe très superficielle de type alluvionnaire, elle a des qualités très variables et en général imbuvable. Les conductivités électriques sont relativement fortes et l'eau a des caractères alcalins. Ce sont des nappes libres qui s'exposent, à haut risque, de toutes sortes de contamination superficielle.

La figure ci-après nous montre la répartition spatiale de la conductivité électrique de la première nappe rencontrée dans la zone d'étude.

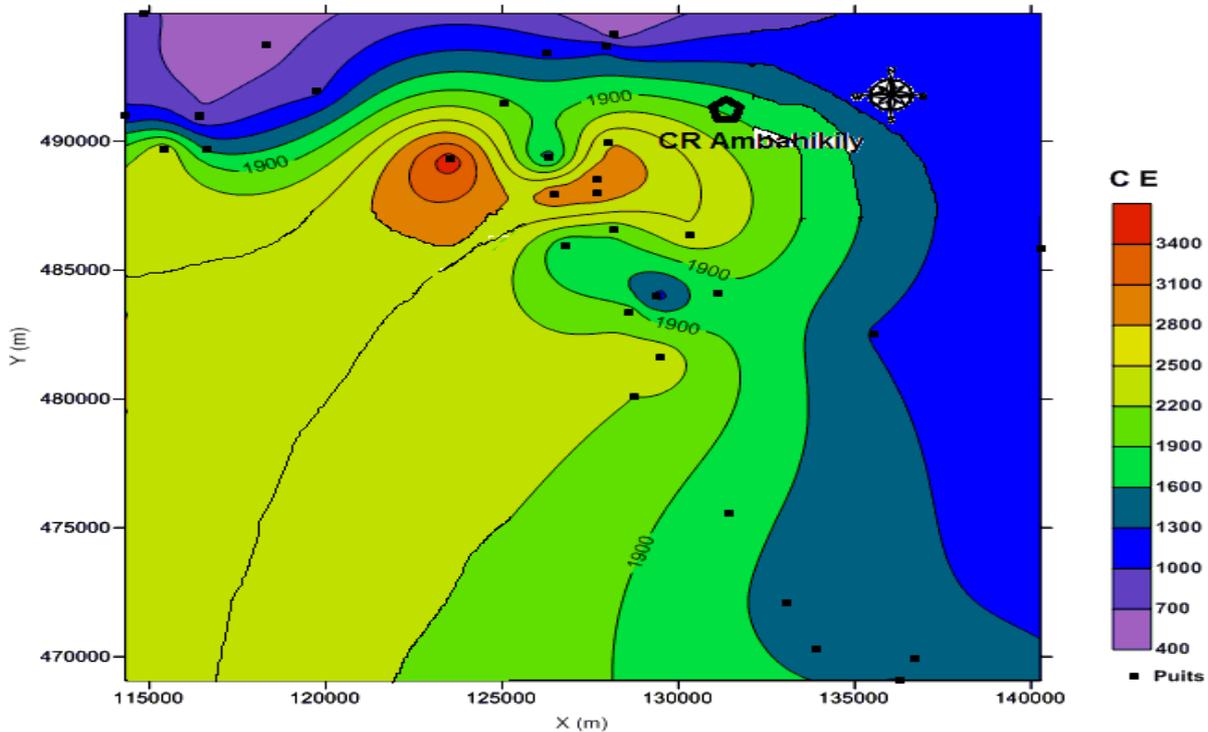


Figure 8 : Répartition spatiale de la conductivité électrique.

D'après cette carte de conductivité électrique, on peut constater que seule dans la partie Nord et Est de la ville d'Ambahikily qu'on peut avoir de l'eau potable dont la conductivité électrique varie de 400 à 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (norme recommandée par l'OMS, $\text{CE} < 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$: eau potable). Ce cas est justifié par l'infiltration direct du canal d'irrigation venant de la rivière Mangoky qui traverse le long de la partie Est du village.

La majorité des eaux de puits est hors norme en termes de potabilité, elles sont localisées surtout dans la partie centrale du village. Par exemple aux puits des coordonnées $X=123539\text{m}$ et $Y=489290\text{m}$ sont de plus mauvaise qualité, dont la conductivité électrique est de l'ordre de $3590\mu\text{S}/\text{cm}$.

Pour conclure, la première nappe superficielle est de mauvaise qualité, il faut recourir au captage d'eau profonde. Il faut faire donc appel à la méthode géophysique pour estimer sa

profondeur, son épaisseur afin de trouver le meilleur point de forage d'exploitation d'eau souterraine.

III-4 INTERPRETATION ET RESULTAT DES SONDAGES ELECTRIQUES

Quatre sondages électriques ont été étalés sur la zone d'étude. L'objet de l'utilisation de la technique de sondage électrique est de caractériser la nature des différentes nappes d'eau souterraine pouvant exister dans la zone, afin de définir leur profondeur et leur puissance.

Leurs coordonnées sont présentées dans le tableau ci-après. L'emplacement proprement dite est déjà mentionné dans la figure de photo-interprétation (Figure 7).

Tableau 8 : Localisation des 4 points de sondage

Numéro du sondage	Longitude	Latitude
P1	E 043°40'26.5''	S 21°36'37.1''
P2	E 043°39'54.7''	S 21°36'21.4''
P3	E 043°40'19.3''	S 21°36'24.6''
P4	E 043°40'40.8''	S 21°36'49.7''

Rappelons que la méthode de configuration de Wenner est adoptée pour cette étude, elle est très efficace dans un terrain tabulaire. La longueur de ligne tirée pour chaque sondage est de AB=1200m (distance entre les deux électrodes d'injection de courant) pour avoir une profondeur d'investigation de l'ordre de 200m.

❖ **Sondage P1**

Présentation du site : ce site est localisé un peu au sud du village d'Ambahikily, de coordonnées géographiques **E 043°40'26.5''**, **S 21°36'37.1''**. La topographie est plaine et bien dégagée. Ce qui nous permet de prospecter ce site par géophysique.

Géologie du site : Un secteur intermédiaire, lié à une phase de transgressions marines, constitué de séries calcaires et souvent coupé d'intercalations sédimentaires continentales (grès, argiles, sables entrecroisés et bois fossiles).

Le diagramme de sondage électrique et l'interprétation du modèle y afférent est présenté dans la figure ci-après.

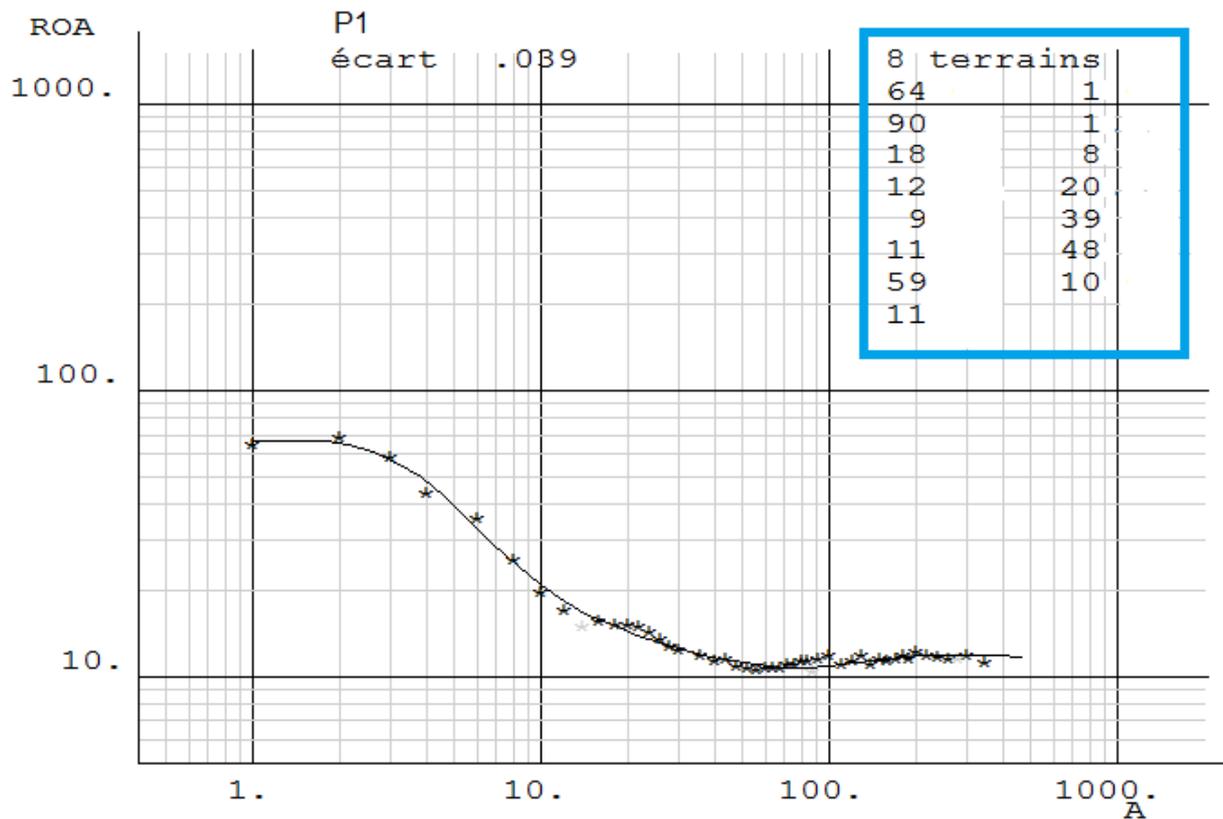


Figure 9 : Courbe de sondage électrique 1

Le modèle du sondage montre globalement une succession de huit formations géo-électrique:

- Une couverture superficielle qui est peu résistante de résistivité de l'ordre de $64\Omega\text{m}$ et d'épaisseur 1 m. Elle est représentée par des couches de sable légèrement argileux.
- Une formation peu résistante, de valeur de résistivité électrique de l'ordre de $90\Omega\text{m}$ avec une épaisseur de 2m. Elle abrite la première nappe superficielle qui est la nappe libre.
- Une formation moins conductrice de résistivité de l'ordre de $18\Omega\text{m}$ la succède, elle a une puissance d'ordre de 8m et est caractérisée par une formation de sable plus argileux, elle va soutenir la nappe superficielle,
- Une formation conductrice de résistivité d'ordre de $12\Omega\text{m}$ constitue la quatrième formation, elle a une puissance d'ordre de 20m et est caractérisée par une formation d'argile sableuse,
- La cinquième couche est une formation très conductrice, elle est caractérisée par sa valeur de résistivité de l'ordre de $9\Omega\text{m}$ avec une puissance de 39m. Géologiquement elle est de nature argileuse,
- Une formation conductrice de résistivité $11\Omega\text{m}$ constitue la sixième formation, elle a une puissance d'ordre de 49m et est caractérisée par une formation de marne sableuse,

- Une formation moins résistante de valeur de résistivité $59\Omega\text{m}$ et d'épaisseur 10m constitue la nappe profonde. Elle est de nature sable moyen qui se trouve à 120m de profondeur.
- Une formation largement conductrice de valeur de résistivité $11\Omega\text{m}$ termine la séquence. C'est un substratum de nature marneuse qui va soutenir la nappe profonde.

❖ **Sondage P2**

Présentation du site : ce site est localisé géographiquement à la Latitude S $21^{\circ}36'21.4''$ et à la Longitude E $043^{\circ}39'54.7''$. On observe aussi une topographie, plaine et bien dégagée.

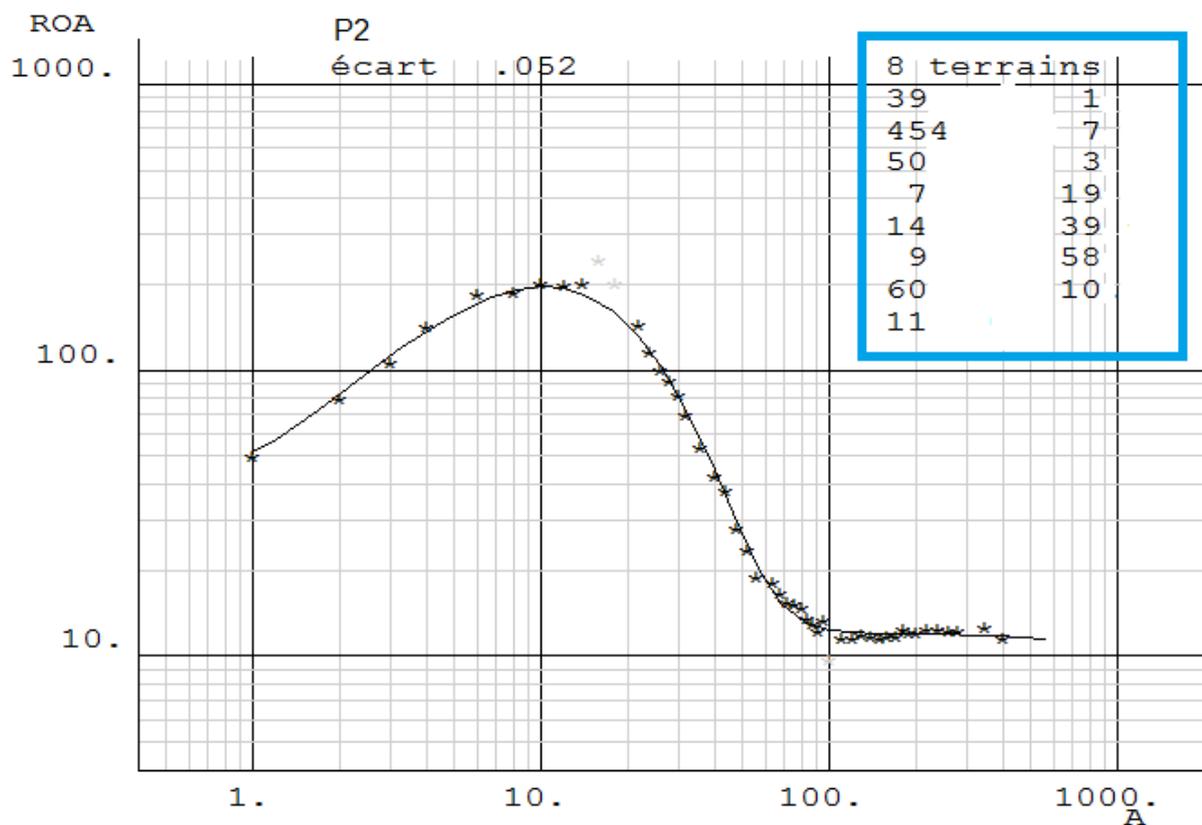


Figure 10 : Courbe de sondage électrique 2

Le modèle du sondage montre globalement la succession de huit formations:

- Une couverture superficielle qui est peu résistante, de résistivité électrique $39\Omega\text{m}$, elle a une épaisseur de 1m qui est généralement formée par des sables argileux.
- Une formation résistante, de résistivité électrique $454\Omega\text{m}$ avec une épaisseur 7m. cette formation est de nature sableuse plus ou moins sèche, elle peut contenir de l'eau en période de pluie.
- Une formation peu résistante, $50\Omega\text{m}$ de résistivité avec une épaisseur de 3m. Cette formation constitue la première nappe qui est la nappe libre.
- Une formation très conductrice de résistivité d'ordre de $7\Omega\text{m}$ la succède, elle a une puissance d'ordre de 19m et est caractérisée par une formation de sable plus argileux, elle va soutenir la nappe superficielle,
- Une formation moins conductrice de résistivité d'ordre de $14\Omega\text{m}$ forme la cinquième formation, elle a une puissance d'ordre de 39m et est caractérisée par une formation d'argile sableuse,
- Une formation conductrice de résistivité $9\Omega\text{m}$ constitue la sixième formation, elle a une puissance d'ordre de 58m et est caractérisée par une formation de marne sableuse,
- Une formation moins résistante de valeur de résistivité $59\Omega\text{m}$. Elle a une épaisseur de l'ordre de 10m, elle constitue le deuxième aquifère.
- Une formation très conductrice termine la séquence, c'est un substratum qui va soutenir la seconde nappe, sa valeur de résistivité est de $11\Omega\text{m}$.

❖ Sondage P3

Présentation du site : ce site est localisé géographiquement à la Latitude S 21°36'24.6'' et à E 043°40'19.3'' la Longitude. On observe aussi une topographie, plaine et bien dégagée.

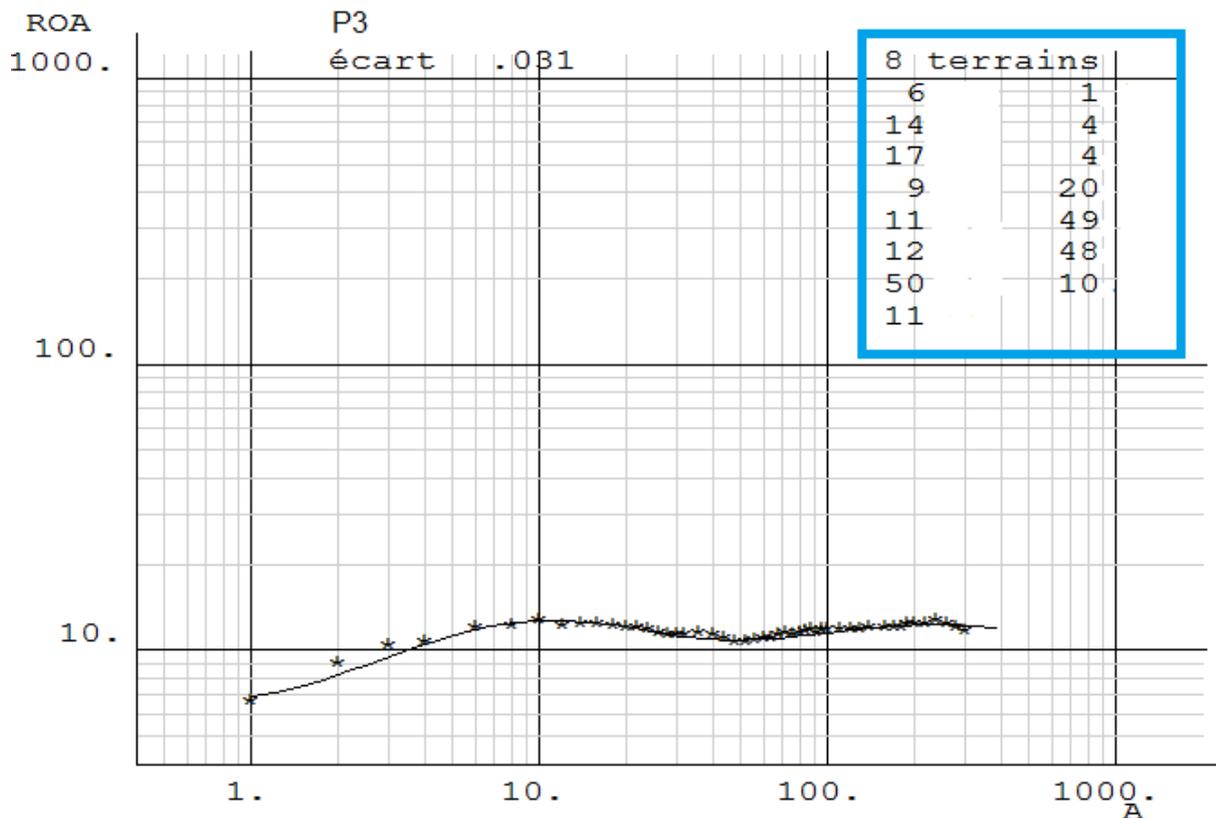


Figure 11 : Courbe de sondage électrique 3

Le modèle du sondage montre globalement la succession de huit formations:

- La couverture superficielle, très conductrice de valeur de résistivité électrique égale à $6\Omega\text{m}$. Elle a une épaisseur de 1m et qui est constituée par de l'argile.
- La formation conductrice, de valeur de résistivité électrique de l'ordre de $14\Omega\text{m}$ et d'épaisseur 4m. Cette formation abrite la première nappe superficielle qui est la nappe perchée de mauvaise qualité.
- Une formation moins conductrice de résistivité d'ordre de $17\Omega\text{m}$ la succède, elle a une puissance d'ordre de 4m et est caractérisée par une formation de sable plus argileux, elle va soutenir la nappe superficielle,
- Une formation très conductrice de résistivité d'ordre de $9\Omega\text{m}$ forme la quatrième formation, elle a une puissance d'ordre de 20m et est caractérisée par une formation d'argile sableuse,

- Une formation conductrice de résistivité $11\Omega\text{m}$ constitue la cinquième formation, elle a une puissance d'ordre de 49m et est caractérisée par une formation de marne sableuse,
- Une formation moins conductrice de résistivité $12\Omega\text{m}$ constitue la sixième formation, elle a une puissance d'ordre de 48m se caractérise par une formation de marne sableuse,
- Une formation moins résistante de valeur de résistivité $50\Omega\text{m}$ constitue la deuxième aquifère avec une épaisseur de l'ordre de 10m .
- Une formation très conductrice termine la séquence, c'est un substratum qui va soutenir la seconde nappe, sa valeur de résistivité est de $11\Omega\text{m}$.

❖ Sondage P4

Présentation du site : Ce site se trouve au point de coordonnées géographiques de Latitude $21^{\circ}36'49.7''\text{S}$ et de Longitude $043^{\circ}40'40.8''\text{E}$.

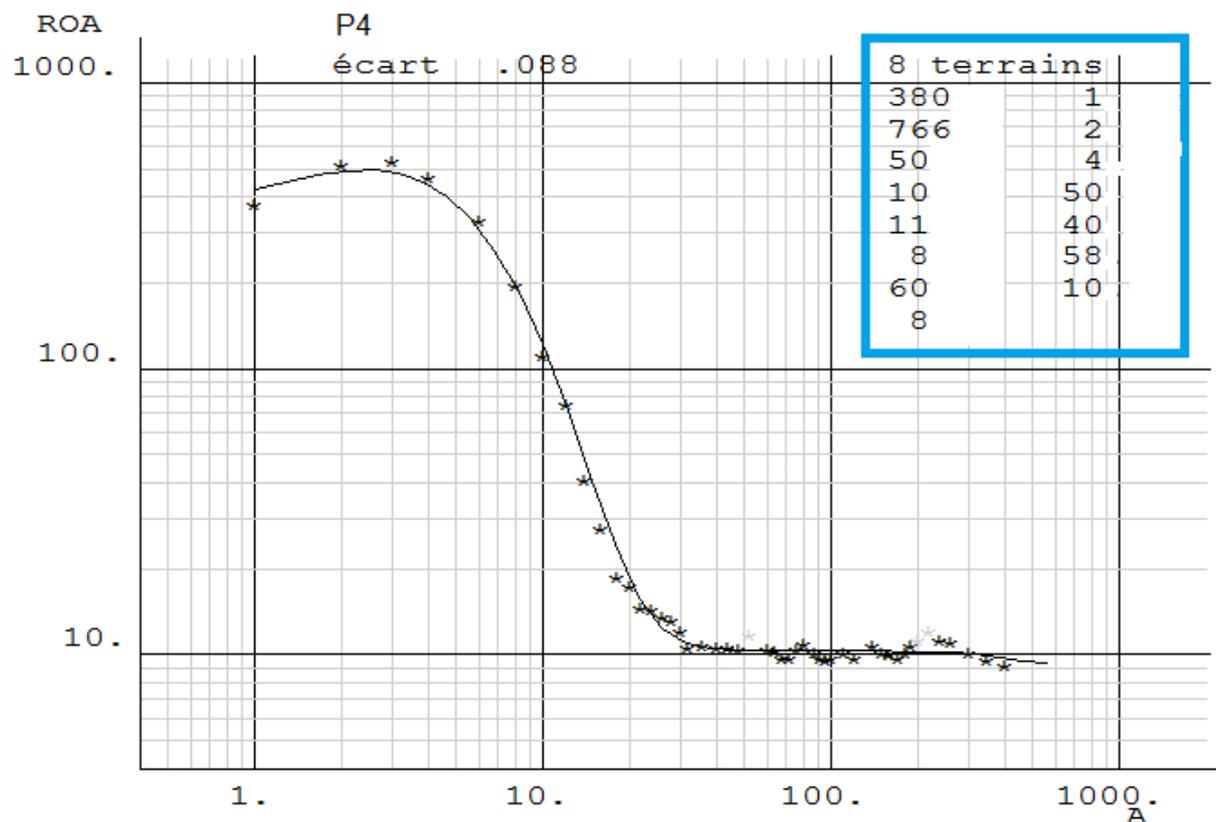


Figure 12 : Courbe de sondage électrique 4

La courbe de sondage électrique obtenue a mis en évidence la succession de huit formations.

- La couverture superficielle, résistante de valeur de résistivité électrique égale à $380\Omega\text{m}$, elle a une épaisseur égale à 1m et est constituée par des sables argileuses.
- Une formation résistante, de valeur de résistivité électrique de l'ordre de $766\Omega\text{m}$ avec une épaisseur de l'ordre de 2m. Cette formation est de nature sableuse plus ou moins sèche. C'est un bon aquifère.
- Une formation peu résistante, $50\Omega\text{m}$ de résistivité avec une épaisseur de l'ordre de 4m, constitue la première nappe qui est une nappe libre.
- Une formation conductrice de résistivité d'ordre de $10\Omega\text{m}$ forme la quatrième formation, elle a une puissance d'ordre de 50m et est caractérisée par une formation d'argile sableuse,
- Une formation conductrice de résistivité d'ordre de $11\Omega\text{m}$ forme la cinquième formation, elle a une puissance d'ordre de 40m se caractérise par une formation d'argile sableux,
- Une formation très conductrice de résistivité $8\Omega\text{m}$ constitue la sixième formation, elle a une puissance d'ordre de 58m et est caractérisée par une formation de marne sableuse,
- Une formation moins résistante, de valeur de résistivité $60\Omega\text{m}$ avec une épaisseur de l'ordre de 10m, constitue le deuxième aquifère.
- Une formation très conductrice termine la séquence, c'est un substratum qui va soutenir la seconde nappe avec une valeur de résistivité électrique de $8\Omega\text{m}$.

III.5 SYNTHÈSE DES RESULTATS

III.5.1 Coupe géo- électrique

Les quatre sondages effectués sont plus ou moins alignés, d'où nous pouvons faire une coupe géo-électrique (Modèle 2D) de direction Nord- Ouest vers Sud-est, ceci est fait pour avoir une vue d'ensemble des sondages électriques afin de voir l'évolution de chaque entité géo-électrique et de choisir le meilleur endroit pour le point d'implantation de forage d'eau souterraine.

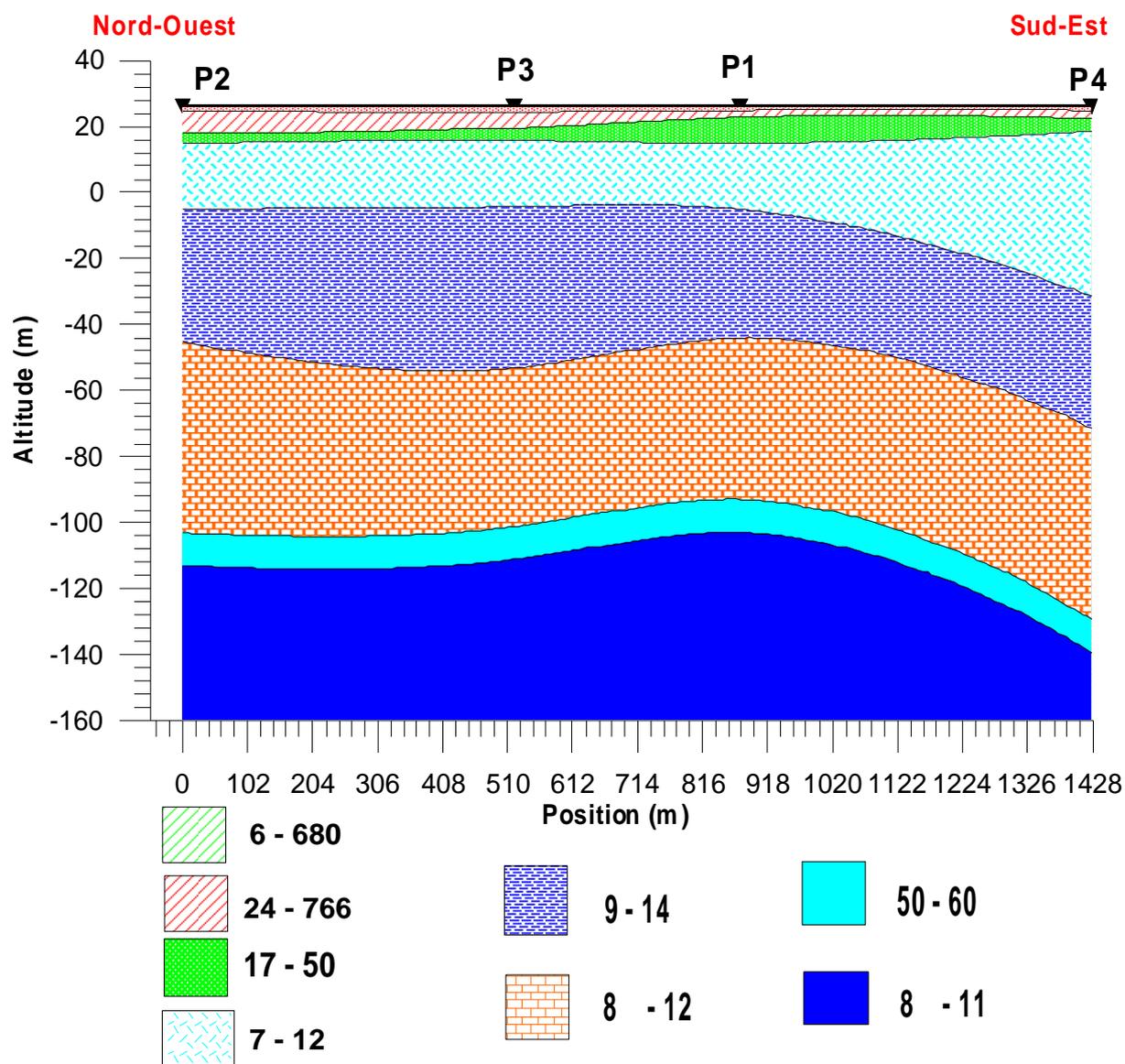


Figure 13: Coupe géo- électrique

Dans ce mode de présentation, la première couche est complètement masquée parce que son épaisseur est suffisamment petite, la résistivité varie d'un point à un autre et elle est de l'ordre de $6\Omega\text{m}$ à $380\Omega\text{m}$.

Pour les autres formations que l'on a déjà interprétées pour chaque SEV, les différentes couches sont presque tabulaires mais on identifie la présence de trois nappes : nappe superficielle, nappe intermédiaire et nappe profonde.

La nappe superficielle qui est constituée par une formation de résistivité correspondant de $24\Omega\text{m}$ à $766\Omega\text{m}$ et qui est localisée entre 0,80m et 2,58m de profondeur, d'après les mesures sur terrain, la conductivité est très diversifiée allant de 500 à 4810 et le pH mesuré est plutôt basique, il est à déconseiller de capter cette nappe.

La nappe intermédiaire est constituée par une formation de résistivité comprise entre $17\Omega\text{m}$ et $50\Omega\text{m}$, elle est de nature carapace sableuse se localise à une dizaine de mètre, la valeur de résistivité ($50\Omega\text{m}$) sous point de sondage P1 montre que cette nappe est de bonne qualité sous ce point.

La nappe profonde qui est constituée par une formation de résistivité de l'ordre de $50\Omega\text{m}$ à $60\Omega\text{m}$, elle se trouve globalement à 120m de profondeur et est constituée de sable fin, son toit est moins profond sous le point de sondage P1.

Le point le plus favorable, du point de vue exploitation en eau souterraine, sur les quatre points de sondages implantés sur la zone d'étude est le point P1. Il est moins profond. La valeur de la résistivité électrique de la couche représentant la nappe d'eau souterraine y est beaucoup plus élevée que sur les trois autres points, autrement dit, la teneur de sable dans les séries marneuses est beaucoup plus importante sous le point P1. Ce point est localisé géographiquement à la Latitude **21°36'37.1''S** et à la Longitude **043°40'26.5''E**.

III.5.2 Estimation de débit de production

L'estimation du débit d'une nappe est donnée par la relation suivante :

$$Q = T \times e \quad (11)$$

Avec Q : débit estimé de production

T : Transmissivité de la nappe

e : épaisseur de la nappe profonde (10m)

D'après l'étude antérieure effectuée par le JICA (en 1991, [17]), la transmissivité de la nappe profonde est estimée à $T = 2,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. De plus, notre étude montre que cette nappe doit avoir une puissance moyenne de 10m.

Donc,

$$Q = 9,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

On constate que ce débit est encore insuffisant (besoin estimé à $12,5 \text{ m}^3/\text{h}$, cf. § I.2.2), il faut donc capter aussi la nappe sous-jacente (nappe intermédiaire) si elle est de bonne qualité. Dans le cas contraire, on suggère de faire un autre point de captage d'eau et par ordre de prioritaire, on localise au point P2.

III.5.3 Comparaison de forage et coupe géo- électrique

Après avoir eu les résultats de forage d'eau sous le point P1 dont la profondeur totale du forage est de 148,92m. Nous prendrons ce résultat, afin de faire une simple comparaison entre le forage d'eau proprement dite et les résultats de SEV.

Les comparaisons sont faites sur les valeurs de résistivités qui caractérisent les différentes formations et les différentes natures lithologiques rencontrées d'une part, et la productivité exacte de la nappe et le calcul théorique du débit de production de la nappe profonde d'autre part.

La coupe de forage est citée en annexe mais une synthèse de comparaison entre ce forage et les résultats géophysiques sont donnés dans le tableau ci-après.

Tableau 9 : Comparaison entre les résultats géophysiques et coupe de forage

Profondeur(m)	Lithologie	Venue d'eau	CE	Résistivité	Type de nappe	
0						
2	Sable fin			64Ωm	Nappe superficielle (libre)	
4		VE	C: 2480 μs/cm ²	90Ωm		
6	Sable fin argileux			18Ωm		
8	Sable fin					
10						
12	Sable moyen					
14						
16	Sable fin micacé					
18						
20	Sable moyen					
22	Argile jaunâtre			12Ωm		
24	Sable moyen argileux	VE	C: 1380 μs/cm ²			Nappe intermédiaire (libre)
26						
28	Sable fin					
30						
32						
34		VE	C:1325 μs/cm ²			
36						
38	Sable moyen					
40						
42						
44	Sable moyen argileux					
46						
48	Argile grisâtre			9Ωm		
50						
52	Argile sableux					
54						
56	Sable moyen	VE	C: 1210 μs/cm ²		Nappe non identifiée	
58						
60						
62	Argile sableux					
64						
66	Marne sableux					

68				11Ωm	Nappe non identifiée	
70						
72	Marne					
74	Marne a sable fin					
76						
78	Marne a sable moyen					
80	Argileux					
82	Marne compacte					
84	Marne					
86						
88	Sable marneux					
90	Sable moyen	VE	C: 1248 μs/cm ²			
92	Sable moyen					
94						
96						
98	Sable grossier					
100						
102	Sable grossier					
104						
106	Sable grossier argileux					
108						
110	Marne					
112	Marne sableux					
114						
116	Sable moyen					
118		VE	C: 1339 μs/cm ²			
120						
122						
124						
126						
128						
130		VE	C: 1335 μs/cm ²			
132						
134						
136						
138						
140						
142						
144	Marne					
146						
148						
				59Ωm	Nappe profonde (captive)	
				11Ωm		

D'après ce tableau, on constate une bonne corrélation entre les résultats géophysiques et la coupe de forage d'eau. Néanmoins deux nappes d'eau non identifiées par la géophysique ont été marquées, elles sont très fines et moins contrastées. En terme de synthèse on peut avancer que :

- la nappe superficielle est constituée par de sable fin légèrement argileux, même si la valeur de résistivité est de $60\Omega\text{m}$. Elle est moins productive et sa qualité est mauvaise,
- la nappe intermédiaire est une nappe libre, elle est localisée à plusieurs niveaux, la première doit avoir une valeur de résistivité de l'ordre de $12\Omega\text{m}$, elle est de bonne qualité et est constituée par du sable moyen argileux,
- la nappe profonde est une nappe captive, elle est localisée à 120m de profondeur et est constituée par de sable moyen. En terme de résistivité, elle est caractérisée par une valeur de résistivité de l'ordre de $59\Omega\text{m}$. Une légère différence d'épaisseur a été remarquée, le forage montre que sa vraie épaisseur est de 16m mais non pas 10m comme celle qu'on trouve en géophysique. Ceci nous explique la différence entre la productivité théorique de la nappe et la productivité réelle du forage.

CONCLUSION

Ce mémoire est axé principalement sur l'étude hydrogéologique de la commune rurale d'Ambakikily, district de Morombe de la région Sud-Ouest. La réalisation des mesures de sondages électriques, complétées par l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux dans des puits nous permette de tirer quelques conclusions et d'avancer une proposition d'alimentation en eau potable de la commune. L'implantation de point de forage dans la zone d'étude a été réalisée par l'utilisation de la photo-interprétation et la technique de prospection électrique. L'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau nous montre que l'eau souterraine de la première nappe rencontrée est de mauvaise qualité, le pH est fortement basique et la conductivité électrique est plus proche du seuil tolérable à la valeur recommandée par la norme de la potabilité malgache.

Pour la photo-interprétation, elle montre que la commune se situe sur une plaine alluviale, des zones de bas-fonds et des affleurements de carapaces sableuses et ce qui constitue la possibilité de l'existence des réservoirs d'eau souterraine.

Les techniques de sondage électrique nous permettent d'avancer un modèle hydrogéologique, la profondeur de la nappe est localisée à trois niveaux, nappe superficielle, nappe intermédiaire et nappe profonde. La nappe profonde est caractérisée par des valeurs de résistivité électrique de l'ordre de $60\Omega m$, elle est une nappe de type captive et doit y avoir une bonne capacité de perméabilité. La réalisation d'une coupe géo-électrique nous permette de localiser un point le plus favorable, du point de vue exploitation d'eau souterraine, Ce point est localisé géographiquement à la Latitude $21^{\circ}36'37.1''S$ et à la Longitude $043^{\circ}40'26.5''E$.

Les techniques d'exploration hydrogéologiques utilisées dans cette étude s'avèrent indispensables pour que, les points de forage soient implantés dans une zone favorable pour avoir une quantité suffisante d'eau, l'estimation de production est de $9m^3/h$.

La réalisation de forage d'eau sur le point indiquée pour cette étude montre qu'il y a une bonne corrélation entre les résultats de l'étude et le forage proprement dit, le forage produit un débit de $16,38m^3/h$ en captant toutes les venues d'eau rencontrées.

Cette étude montre l'utilité et les complémentarités de la technique de photo-interprétation, l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux et la méthode de prospection électrique pour avoir une bonne réussite des points d'implantation de forage d'exploitation d'eau souterraine.

ANNEXES

ANNEXE A : LA POROSITE

La porosité caractérise l'aptitude d'un sol à contenir un fluide, voir les valeurs types de porosités suivant :

Tableau annexe a : Types de valeurs de porosités

Types de roche	Porosité total(%)	Porosité efficace(%)
Matériaux non consolidée	30-40	25-35
Sable moyen	34-45	15-25
Limon	45-55	0-5
Argile	10-20	5-20
Roches sédimentaires consolidées		
Grès	0-1	0-5
Grès fissure	10-20	5-10
Marne	0-10	0-5
Roches sédimentaires		
Roche massive	0-5	0-5
Roche fissurée	5-15	0-10
Roche karstifiée	10-50	10-50
Roches cristallines		
Roche non fissurée	<1	<1
Roche fracturée	5-10	0-10
Roche altérée	30-50	10-30
Roches volcaniques		
Basalte massif	0-5	0-5
Basalte altéré	20-35	10-30
Tuf	15-40	5-30

Source : www.ulg.ac.be

ANNEXE B : COUPE DE FORAGE

COUPE DE FORAGE

X: S 21°36'37,5" Y: E 043°40'26,5" 48,92 m 47,27 m Bleur: Mr Benoit début: 24/01/15 fin: 17/02/15	Diam. Forage: 12" 1/4 et 8" 5/8 Tubage aveugle (ml): 98,82 m Tubage crépine (ml): 45,60 m Gravier (ml): 2,85 m Tout venant (ml): 6,3 m Débit fin développement: 16,38 m³/h conductivité après développement: 621 µs/cm² Durée de développement: 10h	Région: Atsimo Andrefana District: MOROMBE Comm: Ambahikily Hors sol: 0,93 m Bouchon d'étanchéité: 2 m N.S avant Souffl: 0,40 m N.S après Souffl: 1,52 m
---	--	--

COUPE TECHNIQUE				COUPE GEOLOGIQUE		
EQUIPEMENT	Vitesse d'avancement (m/h) 1 0 20 30 40	Prof V.e(ml)	Débit cumul(m³/h) cond (µs/cm)	COUPE DE FORAGE	Prof (m)	LITHOLOGIE
					0	Sable fin
		V.e à 23	C: 1380 µs/cm²		12" 1/4	Sable fin argileux Sable fin Sable moyen Sable fin micacé
		V.e à 35	C: 1325 µs/cm²		20	Sable moyen Argile jaunâtre Sable moyen argileux
		V.e à 55	C: 1210 µs/cm²		40	Sable fin Sable moyen Sable moyen argileux Argile grisâtre Argile sableux
		V.e à 90	C: 1248 µs/cm²		60	Sable moyen Argile sableux Marne sableux Marne Marne à sable fin Marne a sable moyen argileux Marne compacte Marne Sable marneux
					80	Sable marneux
					100	Sable moyen Sable grossier

TYPE TECHNIQUE				COUPE GEOLOGIQUE					
EQUIPEMENT	Vitesse				Prof V.e.(ml)	Débit cumul(m³/h) cond (µs/cm²)	EQUIPEMENT	Prof (m)	LITHOLOGIE
	avancement (m/h)								
	10	20	30	40					
					V.e à 111,5	C: 1339 µs/cm²		100	Sable grossier
					V.e à 131	C: 1335 µs/cm²		8" 3/8	120
								140	Sable moyen
								148,92m	Marna
<p>Observations: forage à boue avec un éboulement de 1,65 m</p>									

Signature du contrôleur:

Signature de l'hydrogéologue:
(entreprise)

ANNEXE C: Données de Sondage Electrique

République de Madagascar, Ambahikily

Dispositif de Wenner

Date : 13/11/2014 : P1

Lat./Lon. : Lat, 21°36'37.1'' Lon, 043°40'26.5''

Altitude: 26m

No,	A(m)			ρ (Ω -m)
	1,00			64,50
	2,00			68,50
	3,00			58,40
	4,00			43,60
	6,00			35,60
	8,00			25,50
	10,00			19,60
	12,00			17,10
	14,00			15,00
	16,00			15,70
	18,00			15,10
	20,00			15,10
	22,00			14,90
	24,00			14,30
	26,00			13,60
	28,00			12,80
	30,00			12,40
	36,00			11,80
	40,00			11,40
	44,00			11,60
	48,00			10,90
	52,00			10,70
	56,00			10,60
	60,00			10,80
	64,00			10,80
	68,00			10,80
	72,00			11,10
	76,00			11,10
	80,00			11,40
	84,00			11,40
	88,00			10,40
	92,00			11,50
	100,00			11,90
	110,00			11,10
	120,00			11,40
	130,00			11,80
	140,00			11,10
	150,00			11,60
	160,00			11,40
	170,00			11,50
	180,00			11,90
	190,00			11,50
	200,00			12,30
	220,00			11,90
	240,00			11,70
	260,00			11,60
	280,00			11,50
	300,00			11,80
	350,00			11,20

République de Madagascar, Ambahikily

Prospection Géophysique

Sondage de type Wenner

Date 13/11/2014 : P3

Lat./Lon. : Lat, 21°36'24.6'' Lon,043°40'19.3''

Altitude: 26m

No.	A(m)	$\rho(\Omega\text{-m})$
	1,00	64,50
	2,00	68,50
	3,00	58,40
	4,00	43,60
	6,00	35,60
	8,00	25,50
	10,00	19,60
	12,00	17,10
	14,00	15,00
	16,00	15,70
	18,00	15,10
	20,00	15,10
	22,00	14,90
	24,00	14,30
	26,00	13,60
	28,00	12,80
	30,00	12,40
	36,00	11,80
	40,00	11,40
	44,00	11,60
	48,00	10,90
	52,00	10,70
	56,00	10,60
	60,00	10,80
	64,00	10,80
	68,00	10,80
	72,00	11,10
	76,00	11,10
	80,00	11,40
	84,00	11,40
	88,00	10,40
	92,00	11,50
	100,00	11,90
	110,00	11,10
	120,00	11,40
	130,00	11,80
	140,00	11,10
	150,00	11,60
	160,00	11,40
	170,00	11,50
	180,00	11,90
	190,00	11,50
	200,00	12,30
	220,00	11,90
	240,00	11,70
	260,00	11,60
	280,00	11,50
	300,00	11,80
	350,00	11,20

République de Madagascar, Ambahikily

Prospection Géophysique

Sondage de type Wenner

Date : 13/11/2014 : P2

Lat./Lon. : Lat, 21°36'21.4'' Lon,043°39'54.7''

Altitude: 26m

No.	A(m)	$\rho(\Omega\text{-m})$
	1,00	64,50
	2,00	68,50
	3,00	58,40
	4,00	43,60
	6,00	35,60
	8,00	25,50
	10,00	19,60
	12,00	17,10
	14,00	15,00
	16,00	15,70
	18,00	15,10
	20,00	15,10
	22,00	14,90
	24,00	14,30
	26,00	13,60
	28,00	12,80
	30,00	12,40
	36,00	11,80
	40,00	11,40
	44,00	11,60
	48,00	10,90
	52,00	10,70
	56,00	10,60
	60,00	10,80
	64,00	10,80
	68,00	10,80
	72,00	11,10
	76,00	11,10
	80,00	11,40
	84,00	11,40
	88,00	10,40
	92,00	11,50
	100,00	11,90
	110,00	11,10
	120,00	11,40
	130,00	11,80
	140,00	11,10
	150,00	11,60
	160,00	11,40
	170,00	11,50
	180,00	11,90
	190,00	11,50
	200,00	12,30
	220,00	11,90
	240,00	11,70
	260,00	11,60
	280,00	11,50
	300,00	11,80
	350,00	11,20

République de Madagascar, Ambahikily

Prospection Géophysique

Sondage de type Wenner,

Date : 14/11/2014 :P4

Lat./Lon, : Lat, 21°36'49.7'' Lon, 043°40'40.8''

Altitude: 26m

No,	A(m)	$\rho(\Omega\text{-m})$
	1	370,5
	2	507,6
	3	528,8
	4	463,9
	6	326,1
	8	193,8
	10	110,8
	12	74,1
	14	40,7
	16	27,3
	18	18,6
	20	17,3
	22	14,4
	24	14,3
	26	13,4
	28	13,1
	30	12
	32	10,5
	36	10,6
	40	10,5
	44	10,5
	48	10,3
	52	11,7
	60	10,4
	64	10,2
	68	9,7
	72	9,6
	76	10,3
	80	10,9
	88	10,1
	92	9,6
	96	9,5
	100	9,7
	110	10
	120	9,7
	140	10,7
	150	10,1
	160	9,9
	170	9,6
	180	10,1
	190	10,6
	200	11,2
	220	12
	240	11,1
	260	11
	300	10,1
	350	9,5
	400	9,1

ANNEXE D : Quelques gammes de résistivité selon les types de roches

Le tableau ci-dessous nous montre une gamme de valeur de résistivité de quelques différentes formations lithologiques.

Tableau annexe d1 : Valeur type de résistivité apparente des Roches ignées et métamorphiques (GIROUX B. ,1999)

Type des roches	Gamme de résistivité (Ωm)
Granite	300-1.000.000
Diorite	10.000-100.000
Diabase	20-50.000.000
Gabbro	1.000-1.000.000
Basalte	10- 13.000.000
Péridotite	3.000- 6.500
Schiste	20- 10.000
Tuff	2.000-100.000
Quartzite	10-200.000.000
Gneiss	68.000-3.000.000

Tableau annexe d2 : Valeur type de résistivité apparente des Roches sédimentaires (GIROUX B. ,1999)

Type des roches	Gamme de résistivité (Ωm)
Marne consolidée	20-2.000
Argilite	10-800
Conglomérat	2.000-10.000
Grès	1-640.000.000
Calcaire	50-10.000.000
Dolomite	350-5.000
Argile molle saturée	20
Marne	3-70
Argile	1-100
Alluvion et sable	10-800
Sable pétrolifère	4-800

ANNEXE E : Quelques photos de points d'eau rencontrés dans le village d'Ambahikily



Puits artisanal Source : équipe SGDM



Château d'eau FID Source : équipe SGDM



Puits busé Source : équipe SGDM

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE ET WEBOGRAPHIQUE

- [1] **BARKER R. D.** 2001: Principles of electrical imaging
- [2] **BESAIRIE H.** 1964 : Rapport annuel du service géologique
- [3] **CASTANY G.** 1982 : Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Dunod, Paris, 236 p
- [4] **DUSSARRAT B.** Structure et fonctionnement des aquifères de socle altéré en zone tropicale d'altitude : cas du bassin de Mahitsy (Haute Terre de Madagascar). Thèse doct, Ac de Montpellier, 171 p.
- [5] **FAMANTANANTSOANIRINA M. R.** 2004 : Etude de la sensibilité des dispositifs wenner, wenner-schlumberger et dipole-dipole en prospection électrique, application à l'hydrogéologie et à la détection de cavités. Mem. DEA .55 p.
- [6] **GUIRAUD R., TRAVI Y., CEFIGRE, DANIEL G.** 1990 : Synthèse des connaissances sur l'hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest, socle cristallin et cristallophyllien, sédimentaire ancien. Maitrise de l'eau, 147 p.
- [7] **MENG H. L.** (Copyright 1997, 1999, 2000). Electrical Imaging for environmental and engineering studies.
- [8] **MENG H. L.** 1999. RESD2DMOD ver 2.2. Rapid 2D resistivity forward modeling using the finite difference and finite-element methods.
- [9] **MENG H. L.** (Copyright 2000 Gestion Software). RESD2DINV ver 3.46. Rapid 2-D resistivity and IP inversion using the last – squares method.
- [10] **MENG H. L. and DAHLIN,** 1997. A combined Gauss-Newton and Quasi-Newton inversion method for the interpretation of apparent resistivity pseudo section.
- [11] **NARY S. M.** 1993: Prospection électrique dans les sites archéologiques d'Ankadivory (Madagascar) et d'Unguja Ukuu (Zanzibar). Mem DEA, université d'Antananarivo. 53p.
- [12] **RABEMANANA V.** 2002 : Origine et caractérisation de la salinité des eaux des aquifères de socle : cas de la région de l'Androy (Sud de Madagascar).These doct, université de Paris 6.
- [13] **RAKOTO H.** 2003 : Caractérisation par géophysiques, Hydrogéologie classique et hydrochimie des aquifères en zone semi-aride : exemple du bassin sédimentaire de Beloha. Extrême sud de Madagascar. These doct, université d'Antananarivo.
- [14] **RAKOTOMAHANINA R. E.** 1993 : Application de la méthode électrique dans les sites archéologiques de Mahilaka (Madagascar) et de Kilwa Kisiwani (Tanzanie).Rapport de stage DEA, université d'Antananarivo. 60p

[15] RATSIMBAZAFY J. B. 1995 : La géophysique appliquée à l'exploration des faibles et moyennes profondeurs à Madagascar. Travaux réalisés de 1947 à 1995. Exemples d'application. Thèse doct

[16] SGDM. 2003 : Etude hydrogéologique dans la région d'Andakana. Rapport de prestation géophysique. 16 p

[17] JICA, 1991. Etude de l'exploitation des eaux souterraine dans la Région Sud-Ouest de la République Démocratique de Madagascar, Rapport final.

[18] <http://www.ulg.ac.be/geosed/sedim/sedimentologie.htm>, 23 Janvier 2015.

[19] <http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/physico-chimie-PreGen.htm>, 5 Février 2015.

TABLE DE MATIERES

REMERCIEMENT

SOMMAIRE	I
LISTE DES ACRONYMES	II
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX	IV
LISTE DES PHOTOS	V
LISTE DES ANNEXES	VI
INTRODUCTION	1

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 2

I.1 Contexte géographique et administratifs..... 3

I.2 Contexte socio-économique 4

I.2.1 Population..... 4

I.2.2 Analyse des besoins en eau potable de la population..... 5

I.2.3 Activité économique 7

I.2.4 Agriculture 8

I.2.5 Elevage..... 8

I.2.6 Commerce 8

I.3 Contexte climatique 9

I.3.1 Précipitation..... 9

I.3.2 Température 10

I.3.3 Bilan hydrique..... 10

I.4 Contexte géologique..... 11

I.5 Contexte hydrogéologique..... 12

CHAPITRE II : METHODOLOGIE APPLIQUEE A LA RECHERCHE D'EAU SOUTERRAINE..... 15

II.1 Methode de photo-interprétation..... 16

II.1.1 Quelques définitions 16

II.1.2 Outils et documents de base 17

II.1.3 Détermination d'une fracture..... 18

II.1.4 Localisation d'un point de forage..... 19

II.2 Méthode de prospection électrique	20
<i>II.2.1 Quelques définitions</i>	20
<i>II.2.2 Méthode électrique</i>	20
<i>II.2.3 Dispositif de mesures</i>	22
<i>II.2.3.1 Dispositif Schlumberger</i>	22
<i>II.2.3.2 Dispositif Wenner</i>	23
<i>II.2.4 Outils et documents de base</i>	23
II.3 Interprétation des données électriques	24
II.4 Principe de l'inversion	25
CHAPITRE III : PRESENTATION DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS	26
III.1 Photo-interpretation	27
III.2 Analyse des paramètres physico-chimiques	28
<i>III.2.1 Potentiel Hydrogène(Ph)</i>	28
<i>III.2.2 La conductivité électrique</i>	30
<i>III.2.3 La température</i>	32
III.3 Résultats de mesure des paramètres physico-chimiques	32
III.4 Interprétation et résultat des sondages électriques	35
III.5 Synthèse des résultats	42
<i>III.5.1 Coupe géo- électrique</i>	42
<i>III.5.2 Estimation de débit de production</i>	44
<i>III.5.3 Comparaison de forage et coupe géo- électrique</i>	44
CONCLUSION	48

**LOCALISATION DE POINT DE CAPTAGE D'EAU SOUTERRAINE PAR
SONDAGE ELECTRIQUE DANS LA COMMUNE RURALE AMBAHIKILY,
DISTRICT DE MOROMBE, REGION ATSIMO ANDREFANA.**

RESUME

Un projet d'alimentation en eau potable dans la Commune rurale d'Ambahikily est en phase de réalisation. Ce projet est lancé dû à la non potabilité et au manque d'eau qui affectent la population locale.

La prospection électrique et la photo-interprétation ont été utilisées lors de cette campagne d'étude technique. L'objectif de ce travail est d'indiquer l'emplacement du point favorable et d'estimer la productivité de la nappe aquifère rencontrée.

Le rapport de la prospection électrique nous montre la présence des aquifères dans les quatre sites prospectés :

la nappe est caractérisée par une valeur de résistivité $60\Omega\text{m}$, de nature sableuse légèrement argileuse, à une profondeur de 114m. Seule, la nappe, localisée géographiquement à la latitude $21^{\circ}36'37.1''\text{S}$ et à la longitude $43^{\circ}40'26.5''\text{E}$ ayant le débit de $9,0\text{m}^3/\text{h}$ est de bonne qualité.

Le projet d'alimentation en eau potable dans la Commune rurale d'Ambahikily va favoriser la réduction de la mortalité infantile et la maladie diarrhéique qui touche la population locale.

Mots clés : Aquifère, Ambahikily, prospection électrique

A drinking water supply project in the rural municipality of Ambahikily is being carried out. This project was initiated due to non potability and lacks of water affect the local population.

Electrical exploration and remote sensing were used in this technique. Study the objective of this work is to show the favorable point and to estimate the productivity of the aquifer encountered. The geophysical surveyed shows the existing of the aquifer in four sites:

The aquifers are characterized by $60\Omega\text{m}$ resistivity value, are slightly sandy and clayed. The only one, geographically located at latitude $21^{\circ}36'37.1''\text{S}$ and longitude $43^{\circ}40'26.5''\text{E}$ with flow rate of $9,0\text{m}^3/\text{h}$ has a good quality.

The drinking water supply project in the rural municipality of Ambahikily will help to reduce children mortality and diarrheal disease that affect local population.

Keywords: aquifer, Ambahikily, electrical prospecting

Encadreur

RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier

E-mail : boniraz2000@yahoo.fr

Impétrant

RAFAMATANANTSOA ARDIN RICKO

E-mail : raficko13@yahoo.com

Tel : +261 33 80 522 54