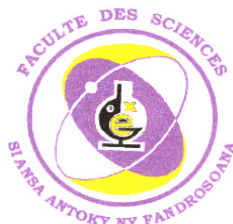


UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO



**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MAITRISE DES SCIENCES ET TECHNIQUES EN
GEOPHYSIQUE APPLIQUEE**

Option : Eau et Environnement

Spécialité : Eau

**ETUDE DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU DANS LES
COMMUNES D'ANTANIFOTSY ET D'AMBANO DANS LA
REGION DU VAKINANKARATRA**

Présenté le 24 mai 2014

Par

RATSIMBASON Tiana

Devant la commission d'examen composée de :

Président : RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien N.

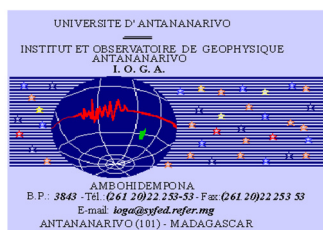
Professeur Titulaire, Faculté des Sciences

Rapporteurs : GARO JOELSON S.

Docteur, Chercheur à l'IOGA

Examineurs : RAZAFINDRAKOTO Boni G.

Docteur, ESPA



MaDev

REMERCIEMENTS

L'écriture de cette page vient clôturer la rédaction de ce manuscrit, fruit du travail de mémoire effectué au sein du Laboratoire de Géophysique Appliquée de l'IOGA (Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo).

Au terme de ce travail, c'est avec un sincère plaisir que je veux adresser mes plus vifs remerciements aux personnes sans lesquelles je n'aurais pu le mener à bien.

- Monsieur RAHERIMANDIMBY Marson, Doyen de la Faculté des Sciences, Professeur, d'avoir autorisé la soutenance de ce mémoire,
- Monsieur RAKOTONDRAMANANA Hery Tiana, Maître de Conférences, Chef de Département de Physique, d'avoir accepté la soutenance du présent mémoire au sein de son Département,
- Monsieur RAMBOLAMANANA Gérard, Professeur Titulaire, Directeur de l'Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA), Responsable du Laboratoire de Sismologie et Infrasons de l'IOGA, de m'avoir accueilli dans cet Institut en tant qu'étudiant-chercheur,
- Monsieur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien Noel, Professeur Titulaire, Responsable de l'Équipe d'Accueil Doctorale Physique du Globe et Energie,
- Monsieur GARO JOELSON Sebille, Docteur géophysicien, Chercheur au Laboratoire de Géophysique Appliquée de l'IOGA, d'avoir encadré cette étude et de m'avoir éclairé sur la manière de conduire l'interprétation des données et le déroulement des travaux dans ce mémoire,
- Monsieur ANDRIANISA Harinaivo, Docteur en hydrologie, Directeur du Madagascar Development Engineering Sarl, de m'avoir prodigué de pertinents conseils tout au long de ma période de stage,
- Je voudrais remercier particulièrement ma famille, ceux et celles qui de loin ou de près ont contribué à ma réussite : mes parents, mes frères, mes sœurs pour leur soutien moral,
- Je voudrais exprimer également toute ma gratitude à tous les personnels de l'IOGA et du MaDev pour leur dévouement et leur coopération, à tous mes collègues pour les échanges fructueux.

A tous ceux et celles qui m'ont aidé et soutenu à la réalisation de ce mémoire, je vous remercie du fond du cœur.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE

I.1. INTRODUCTION

I.2. CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

I.3. METHODE DE PROSPECTION ELECTRIQUE

I.4. RESULTATS ET INTERPRETATION

I.5. CONCLUSION

II.1. INTRODUCTION

II.2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.3. PRESENTATION DU PROJET

II.4. SYSTEME D'ADDUCTION GRAVITAIRE

II.5. CARACTERISATION DES SOURCES ET BESOINS EN EAU

II.6. MISE EN PLACE DU SYSTEME

II.7. CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE (COMMUNE D'ANTANIFOTSY)	3
FIGURE 2: CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA COMMUNE D'ANTANIFOTSY	5
FIGURE 3: CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE (COMMUNE D'ANTANIFOTSY)	7
FIGURE 4: PRINCIPE D'UN SONDAGE ELECTRIQUE AVEC LE DISPOSITIF WENNER ALPHA	10
FIGURE 5: DISPOSITIF WENNER A	10
FIGURE 6: DISPOSITIF SCHLUMBERGER.....	11
FIGURE 7: DISPOSITIF DIPOLE-DIPOLE.....	11
FIGURE 8: DISPOSITIF WENNER B	11
FIGURE 9: DISPOSITIF POLE-POLE.....	12
FIGURE 10: DISPOSITIF POLE-DIPOLE	12
FIGURE 11: MODE OPERATOIRE D'UN PANNEAU ELECTRIQUE	14
FIGURE 12: SYSCAL R2 DE TYPE ELREC T PLUS AVEC SES ACCESSOIRES	17
FIGURE 13 : EMBLACEMENT DES PANNEAUX ELECTRIQUES.....	18
FIGURE 14: COUPE GEOELECTRIQUE DU PANNEAU ELECTRIQUE P1 AU VILLAGE D'AMPARIHIBE.....	20
FIGURE 15: COUPE GEOELECTRIQUE DU PANNEAU ELECTRIQUE P2 A L'EPP AMPARIHIBE	22
FIGURE 16: COUPE GEOELECTRIQUE DU PANNEAU ELECTRIQUE P3 AU VILLAGE D'ANKISATRA	24
FIGURE 17: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE LA COMMUNE RURALE D'AMBANO	27
FIGURE 18: CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE LA COMMUNE RURALE D'AMBANO	29
FIGURE 19: CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA COMMUNE RURALE D'AMBANO.....	30
FIGURE 20 : TYPES DE RESEAUX DE DISTRIBUTION	38
FIGURE 21: SYSTEME D'OUVRAGE DE CAPTAGE	44
FIGURE 22: RESEAU D'ADDUCTION D'EAU GRAVITAIRE DANS LA COMMUNE RURALE D'AMBANO	45

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: <i>PARAMETRES DE MESURE DU PANNEAU ELECTRIQUE P1 A AMPARIHIBE</i>	19
TABLEAU 2: <i>PARAMETRES DE MESURE DU PANNEAU ELECTRIQUE P2 A L'EPP AMPARIHIBE</i>	21
TABLEAU 3: <i>PARAMETRES DE MESURE DU PANNEAU ELECTRIQUE P3 AU VILLAGE D'ANKISATRA</i>	23
TABLEAU 4: <i>NOMBRE DE POPULATION PAR ZONE</i>	31
TABLEAU 5: <i>RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DE LA SOURCE D'ANDOHARANO</i>	40
TABLEAU 6: <i>RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DE LA SOURCE DE MANARILEFONA</i>	40
TABLEAU 7: <i>BESOINS JOURNALIERS EN EAU</i>	41
TABLEAU 8: <i>CARACTERISTIQUES DES RESERVOIRS</i>	46

INTRODUCTION GENERALE

Sans l'eau, la vie n'existerait pas. Cela est d'autant plus vrai que, pour tout village, un point d'eau équivaut à un point névralgique. Cependant, les ressources disponibles pèchent trop souvent en termes de qualité ou de quantité. Force est de constater que le mode d'approvisionnement en eau potable est trop souvent perfectible. Or un accès aisé à l'eau permettrait de consacrer plus de temps à des activités génératrices de revenus.

C'est bien le cas de la région du Vakinankaratra, qui affiche pourtant un fort potentiel agricole. La vaisselle, la lessive et la toilette se font souvent au même endroit, rendant l'eau impropre à la consommation. Outre ce péril sanitaire, les autorités sont alors plus que conscientes que l'eau est inéluctablement d'une grande importance stratégique pour l'économie régionale.

Souterraines ou gravitaires, les ressources en eau abondent, elles nécessitent que la mise en place d'une exploitation efficace. En prenant l'initiative de mettre en valeur ces réserves en eau, une nette amélioration des conditions de vie de la population serait aussitôt perceptible.

Sous l'impulsion de diverses entités, des études visant à instaurer un moyen d'utiliser avantageusement ces ressources afin d'en faire profiter les communautés locales ont pu être effectuées.

Ainsi les travaux de ce mémoire se repartie en deux parties dont :

- la première partie consacre sur la recherche d'eau souterraine par prospection géophysique à savoir la méthode de prospection électrique dans le district d'Antanifotsy. Elle illustre l'apport de la géophysique dans le cadre de la prospection des eaux souterraines.
- et la deuxième partie présente une étude de l'adduction d'eau potable gravitaire dans la Commune rurale d'Ambano. Elle expose un mode d'approvisionnement en eau potable par le système d'adduction gravitaire.

PARTIE I

RECHERCHE D'EAU SOUTERRAINE PAR PROSPECTION GEOPHYSIQUE DANS LA COMMUNE D'ANTANIFOTSY

I.1. Introduction

Dans un futur proche, la Commune d'Antanifotsy sera dotée de nouvelles infrastructures consacrées à l'amélioration de l'accès à l'eau potable et à l'assainissement.

Ce vaste projet est le fruit du partenariat entre le CNEAGR (Centre National d'Etudes et d'Applications du Génie Rural), WaterAid Madagascar et le Ministère de la Décentralisation.

Des études ont été menées en vue de l'implantation de bornes fontaines et de latrines. Dans le cadre de ce projet, des compétences en termes de prospection des eaux souterraines sont mises à contribution.

Ainsi, la méthode de prospection géophysique à savoir la prospection électrique a été utilisée sur trois sites dans le cadre de ce programme visant à doter le district d'équipements sanitaires supplémentaires.

Dans cette partie nous développerons le contexte générale de la zone d'étude, la prospection géophysique à l'étude de la ressources en souterraine, ma méthode de prospection électrique et les apports apportés par la prospection électrique à la recherches d'eaux souterraines.

I.2. Contexte général de la zone d'étude

I.2.1. Contexte géographique

La Commune d'Antanifotsy fait partie de la région du Vakinankaratra et, son Chef-Lieu, la ville d'Antanifotsy se trouve à 109 Km par la RN7. Elle est repérée par les coordonnées géographiques suivantes : latitude $19^{\circ}40$ S et longitude $47^{\circ}19$ E.

Elle est délimitée au Nord par le district d'Ambatolampy, à l'Est par celui de Marolambo, au Sud par le district de Fandriana et à l'Ouest par les districts d'Antsirabe II et de Faratsiho. La figure 1 montre la localisation de la zone d'étude (la Commune d'Antanifotsy étant délimitée par le polygone de couleur jaune).

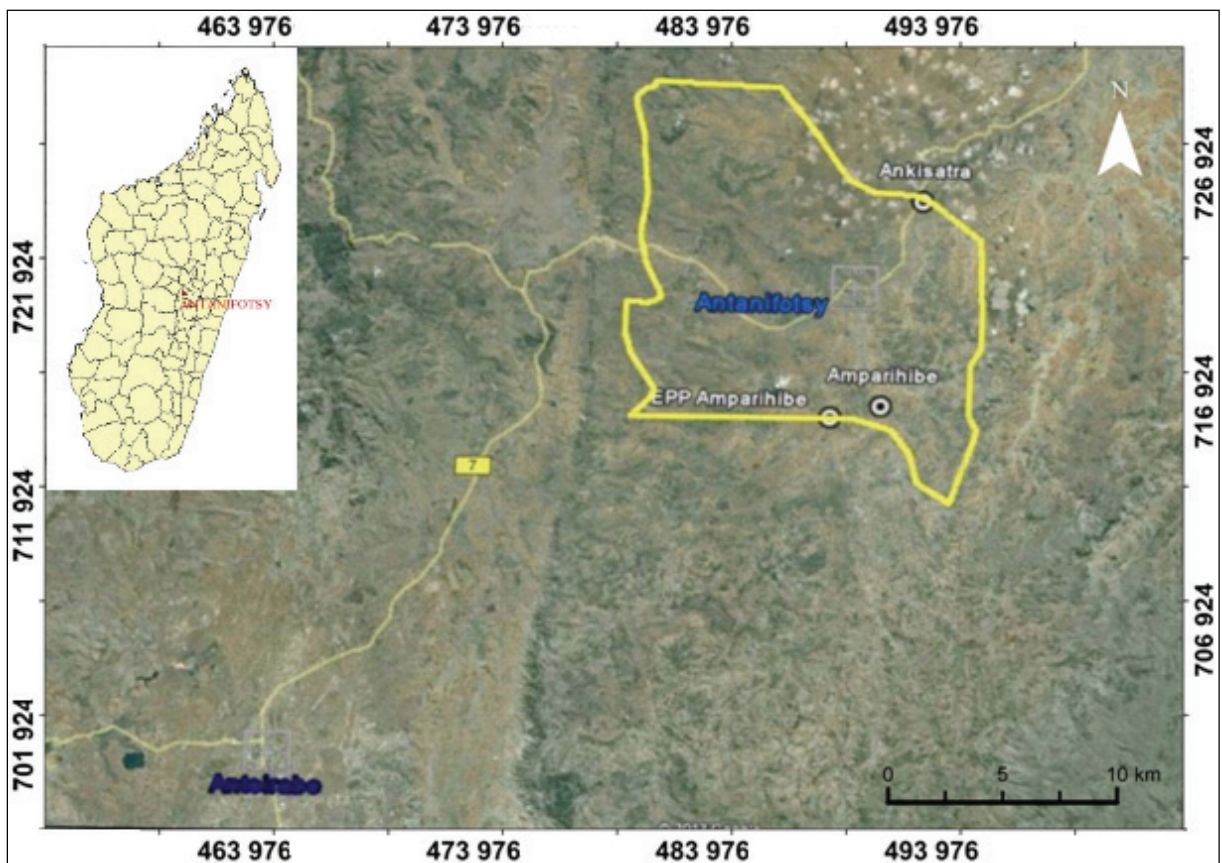


Figure 1: Localisation de la zone d'étude (Commune d'Antanifotsy)

I.2.2. Contexte géologique

En général, la région du Vakinankaratra est constituée par la formation volcanisme néogène à quaternaire de l'Ankaratra et par la série schisto-quartzo-calcaire du Sud [1]. En générale, elle présente trois formations distinctes dont:

- les massifs quartziques qui sont les roches sédimentaires (sables, argiles, etc...) ayant subi une métamorphisation ;

- les massifs granitiques généralement dispersés sur la bordure occidentale du massif volcanique de l'Ankaratra dans l'Ouest et, dans le Sud, le relief sur socle ferrallitique squelettique [1], [4];

- les cuvettes lacustres sont dues à des activités volcaniques : des coulées de laves ayant obturé des vallées ont ainsi engendré les lacs. Dans le bassin sédimentaire d'Antanifotsy, on note la présence de lignites, de schistes bitumeux et d'argiles à dominante kaolinitique recouvrant des cuirasses ferrugineuses et bauxitiques. Ces sédiments reposent directement sur le socle [1].

Initialement, le plancher aurait eu une pente vers l'ouest. Depuis un nouveau système de pentes a été créé par la tectonique, et l'escarpement du Betampona constitue ainsi une ligne de partage des eaux. Par ailleurs, l'entaille du seuil de l'Ambohitrakanga formé de para gneiss a causé l'abaissement du niveau lacustre [1].

Les couches d'argiles sableuses bariolées amènent à penser que l'Ilempona se serait encaissée dans les coulées basaltiques fossilisant le horst oriental, puis dans le socle sous-jacent. Elle est antécédente par rapport au rejet de la faille du Betampona.

La sédimentation dans cette zone n'a été que tardivement perturbée par les manifestations éruptives. Les couches sont parfois affectées de pendages de 10° dus probablement à des déformations tectoniques postérieures aux dépôts.

Le socle culmine vers 1 800 m le long de la crête de l'Ambohitrakanga et une faille cause le dénivellement du substratum.

Le jeu de la faille SSW-NNE qui limite ce bassin à l'Est semble être la cause de la désorganisation du réseau hydrographique [1].

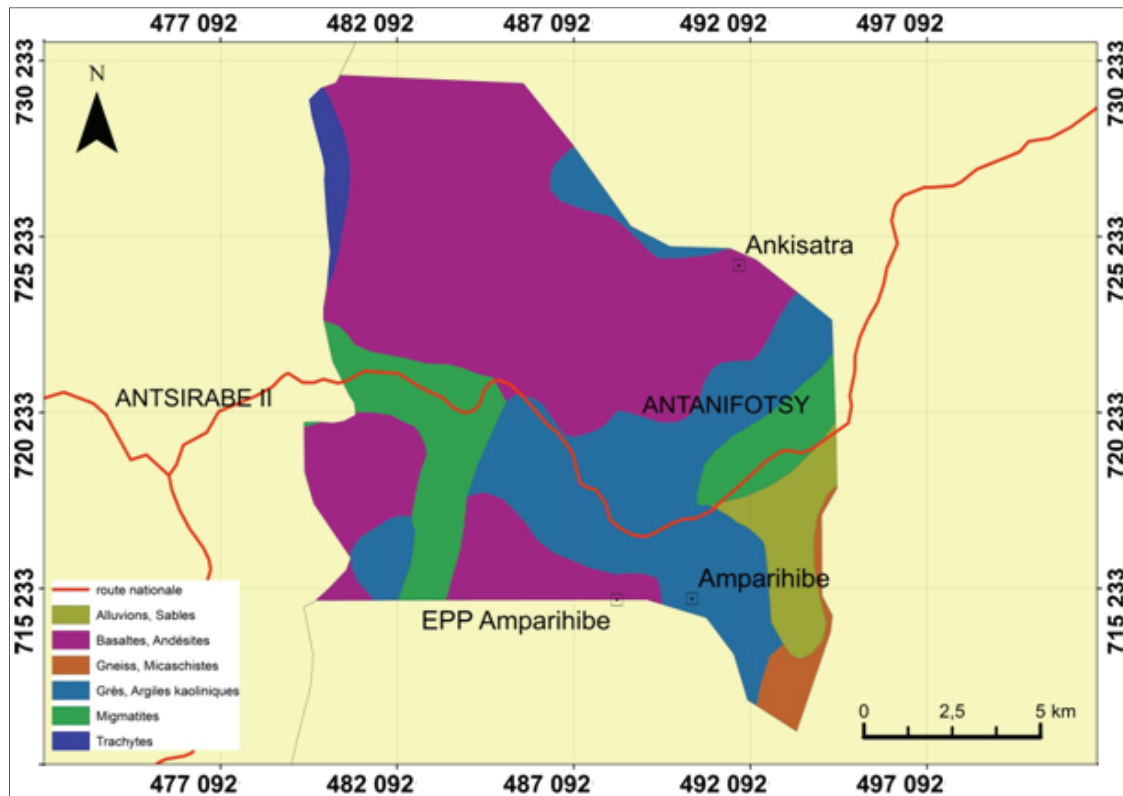


Figure 2: Contexte géologique de la commune d'Antanifotsy

I.2.3. Contexte topographique

Les reliefs volcaniques de l'Ankaratra dominent la partie ouest du district d'Antanifotsy. Les épanchements volcaniques forment en aval des plaines et des cuvettes d'effondrement remblayées par des alluvions d'origine volcanique [1], [3].

La topographie de la partie orientale du district est formée par les lourdes collines entre lesquelles se perchent des vallées étroites perchées à plus de 1 300m d'altitude. Elle est assez accidentée, notamment par la présence de reliefs résiduels de Trafonomby (1 930 m), Vohitompoina (1 904 m), Andranofito (1 856 m) ou Sarobaratra (1 830 m) [3].

Les sols sont surtout volcaniques (ouest) et ferralitiques (est), sinon on note la présence de sols acides sur les collines non volcaniques et de sols hydromorphes dans les bas-fonds de la partie est [3].

I.2.4. Contexte climatique

Le climat de la région est de type « tropical d'altitude » et on distingue deux saisons [3]:

- une saison pluvieuse et moyennement chaude, de novembre à mars ;

- une saison fraîche et relativement froide, d'avril à octobre.

Selon les mesures recueillies au niveau de la station météorologique à Andranomanelatra, entre 2003 et 2007, la température moyenne annuelle de ce district est de 17°C, dont la valeur minimale est de 12,9°C au mois de Juillet contre un maximum de 29,6°C au mois de Janvier.

En termes de pluviométrie, la zone d'étude et ses alentours ont 1335,3 mm de précipitations annuelles en 116 jours dans le district d'Antanifotsy.

Les variations de microclimat font que la région présente toute une gamme de possibilités en matière agricole [5].

I.2.5. Contexte hydrologique

Les sources montagnardes de l'Ankaratra approvisionnent les villages et confirment la forte aptitude agricole du district d'Antanifotsy.

La rivière Onibe est le principal cours d'eau du district d'Antanifotsy. Il draine un bassin de 3 200 km², de la retombée du massif volcanique de l'Ankaratra aux bas plateaux d'Antanifotsy [3], [5]. La figure 3 présente le comportement hydrologique de la zone d'étude :

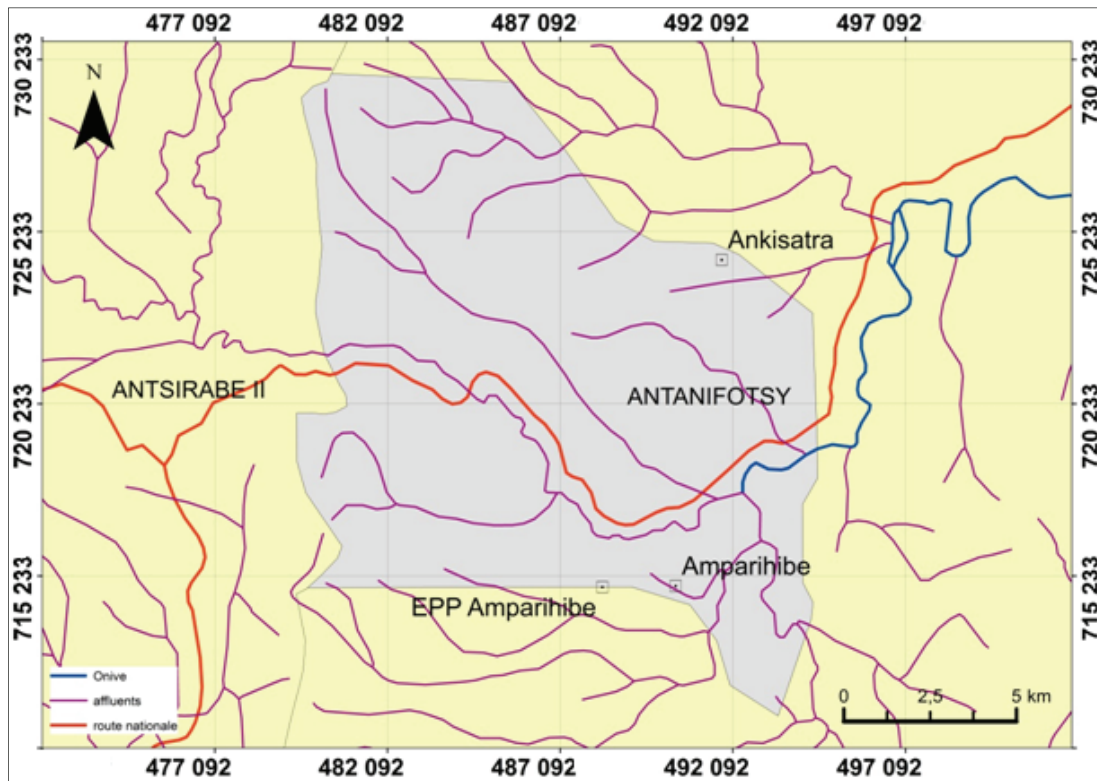


Figure 3: Contexte hydrologique de la zone d'étude (Commune d'Antanifotsy)

Une étude effectuée pendant la période 1963 - 1979 a permis d'estimer les débits minimas et les crues annuelles à l'aide de la Loi de Galton. Entre autres, on a trouvé respectivement des valeurs médianes de $6,61 \text{ m}^3/\text{s}$ et de $360 \text{ m}^3/\text{s}$.

I.3. Méthode de prospection électrique

I.3.1. les méthodes géophysiques pour la recherche d'eaux souterraines

Les méthodes géophysiques, connues par la mesure des paramètres physiques telles que la résistivité, la susceptibilité magnétique, la densité, etc du sous-sol présentent des intérêts pour l'étude de sa structure. L'application de ces méthodes contribue à réaliser des images virtuelles par la considération de ces paramètres en tenant compte du processus de modélisation [2].

L'étude hydrogéologique requiert non seulement l'utilisation de méthodes classiques (pluviométrie, piézométrie, lithologie, hydrodynamique,...), mais également de méthodes d'investigation modernes faisant appel à la géophysique. Ces techniques permettent l'évaluation du volume des aquifères et des réserves d'eau. Ainsi, dans le but de mettre en évidence les zones où une présence d'eau souterraine est probable en exploitant le contraste du paramètre physique résistivité, l'étude géophysique est indispensable pour la recherche hydrogéologique, afin de déterminer l'emplacement le plus approprié des forages à implanter et obtenir le moindre coût à leur réalisation. Deux méthodes géophysiques sont les plus adaptées à l'étude hydrogéologique à savoir les méthodes électriques et électromagnétiques qui présentent un lien étroit entre le paramètre résistivité électrique et les aquifères. Dans le paragraphe suivant nous développons la notion de résistivité électrique et les paramètres descriptifs des roches [2].

I.3.2. Méthodologie de prospection électrique

Les méthodes électriques en courant continu ont été développées dès 1911 par Schlumberger. Elles mesurent la résistivité électrique du sous-sol. Leur principe consiste à injecter un courant électrique dans le sol à l'aide de deux électrodes métalliques dites de courant ou d'injection. Deux autres électrodes dites de potentiel ou de mesure sont utilisées pour mesurer la différence de potentiel produite par ce courant à une certaine distance des électrodes d'injection. Il existe alors une relation reliant la résistivité vraie ρ du sous-sol supposé homogène à ΔV et I .

$$\rho = \frac{K\Delta V}{I} \quad (I-1)$$

où K est un coefficient géométrique (en m) dépendant de la disposition des électrodes de courant (A et B) et de potentiel (M et N). Différents arrangements géométriques ou « dispositifs » sont possibles pour ces électrodes, chacun présentant une certaine sensibilité à

la façon dont varie la résistivité au sein du milieu étudié (**Loke, 2004**). La profondeur d'investigation du sous-sol varie selon les dispositifs utilisés. Plus l'écartement des électrodes est important, plus la mesure concerne des terrains profonds. Cette augmentation de la profondeur s'accompagne toutefois d'une baisse de résolution, qui peut être conséquente pour les terrains profonds.

Le sol peut rarement être considéré comme homogène et dans ce cas la résistivité mesurée est dite apparente. La résistivité apparente ρ_a est une pondération des résistivités des diverses roches intéressées par la mesure. Elle dépend de la géométrie de la configuration. La résistivité apparente de sous-sol peut alors s'écrire:

$$\rho_a = \frac{k}{I} \Delta V \text{ avec } k = 2\pi \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]^{-1} \quad (\text{I-2})$$

La connaissance de la chargeabilité et de la distribution des résistivités dans le sous-sol permet ainsi d'imaginer la structure des formations géologiques et d'en déduire la présence et la qualité de l'eau souterraine.

I.3.3. Sondage électrique

Le sondage électrique consiste à déterminer la variation de la résistivité électrique en fonction de la profondeur des terrains prospectés en surface à l'aide d'un dispositif quadripôle. Le dispositif fondamental est composé généralement de quatre électrodes et d'un appareil qui permet d'injecter le courant électrique et de mesurer la différence de potentiel (ddp) en résultant. Les différentes mesures fournissent alors une courbe de sondage de la résistivité apparente en fonction des dimensions du dispositif. Cette courbe est ensuite inversée en considérant que les variations de résistivité électrique dans le terrain étudié ne se font qu'en une dimension (hypothèse 1D valable surtout pour les formations sédimentaires) pour obtenir la variation de résistivité en fonction de la profondeur.

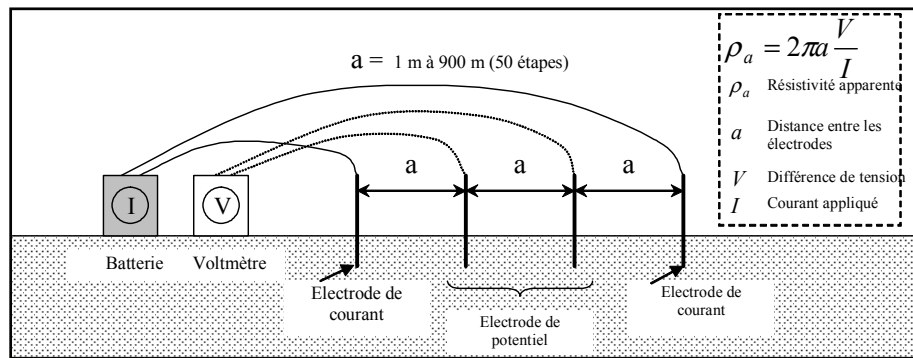


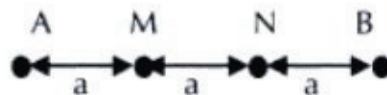
Figure 4: Principe d'un sondage électrique avec le dispositif Wenner alpha

Cette technique efficace, et simple à mettre en place, fournit une information en profondeur à partir d'une interprétation 1D des mesures. Elle est donc très sensible aux variations latérales de résistivité du sous-sol, qui ne sont pas prises en compte lors de l'interprétation. Elle n'est donc réservée qu'aux terrains tabulaires ne présentant pas de variations de résistivité significatives à l'horizontale dans la zone étudiée.

Pour étudier les milieux à deux (ou trois) dimensions, le panneau électrique (ou le couplage de plusieurs panneaux) est plus approprié.

Il existe diverses configurations pour le dispositif de mesure selon que l'on veuille privilégier la profondeur d'investigation, la sensibilité aux variations verticale et horizontale de la résistivité ou la force du signal :

a) Dispositif Wenner Alpha

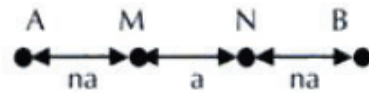


avec $k = 2\pi a$.

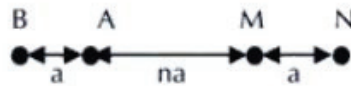
Figure 5: Dispositif Wenner α

Les espaces inter-électrodes sont maintenus égaux et, lors des différentes mesures, les électrodes sont déplacées suivant un pas prédéterminé. Les électrodes d'injection sont placées aux extrémités du dispositif déployé. Le dispositif Wenner Alpha convient à l'étude des terrains présentant des structures horizontales, tels que les terrains stratifiés, mais est peu sensible à la présence de structures verticales fines.

La profondeur d'investigation est cependant inférieure à celle des dispositifs dipôle-dipôle et Schlumberger [10].

b) Dispositif Schlumbergeravec $k = \pi n(n+1)a$.**Figure 6:** Dispositif Schlumberger

Les électrodes d'injection sont toujours placées aux extrémités du dispositif et seules celles-ci sont déplacées lors des différentes mesures. L'emploi de ce dispositif est recommandé pour les terrains présentant à la fois des structures horizontales et verticales. La profondeur d'investigation obtenue est plus élevée qu'avec le Wenner Alpha. C'est un dispositif généralement peu bruyé.

c) Dispositif dipôle-dipôleavec $k = \pi a n(n+1)(n+2)$.**Figure 7:** dispositif dipôle-dipôle

Ici, les électrodes d'injection sont placées côte-à-côte. La distance les séparant est maintenue égale à celle séparant les électrodes de mesure, c'est l'écartement entre ces deux couples d'électrodes que l'on fait varier au cours de l'opération. Ce dispositif est surtout utilisé pour l'étude des terrains présentant des structures verticales (dyke, contact vertical entre deux formations). Il est également assez sensible aux structures horizontales.

Sa profondeur d'investigation est plus grande que pour les dispositifs Wenner Alpha et Schlumberger [10].

d) Dispositif Wenner Betaavec $k = 6\pi a$.**Figure 8:** Dispositif Wenner β

Ce dispositif peut être considéré comme une variation du dispositif dipôle-dipôle. Les électrodes d'injections sont certes placées côte-à-côte, mais les distances inter-

électrodes sont égales et les électrodes sont déplacées suivant un pas prédéterminé au fil des mesures.

e) Dispositif pôle-pôle

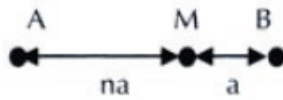


avec $k = 3\pi a$.

Figure 9: Dispositif pôle-pôle

Seules une électrode d'injection de courant et une électrode de mesure de potentiel sont utilisées. Ce dispositif assez atypique requiert une distance inter électrode assez petite (moins de 10 mètres). Il offre cependant une bonne couverture horizontale ainsi qu'une grande profondeur d'investigation. Théoriquement, la seconde électrode d'injection ainsi que l'autre électrode de mesure sont placées à l'infini. En fait, on doit veiller à ce qu'elles soient situées à une distance égale à au moins 20 fois celle séparant les deux premières électrodes.

f) Dispositif pôle-dipôle



avec $k = 2\pi a n(n+1)$.

Figure 10: Dispositif pôle-dipôle

Dans cette configuration, une électrode d'injection est placée à l'infini. Il s'agit donc d'une structure asymétrique, ce qui impose parfois de répéter parfois les mesures en déplaçant l'unique électrode d'injection de l'autre côté du couple d'électrodes de mesure afin d'éliminer tout effet d'asymétrie. En pratique, la seconde électrode d'injection est plantée à une distance égale à au moins 5 fois celle séparant la première électrode d'injection à la plus proche électrode de mesure.

I.3.4. Panneau électrique

La méthode d'imagerie électrique permet d'obtenir un modèle montrant la répartition de la résistivité du sous-sol, et ce, verticalement et horizontalement le long du profil. Il faut cependant supposer que la résistivité ne varie pas dans la direction perpendiculaire au profil.

Un panneau électrique comprend un certain nombre d'électrodes connectées à un câble multiconducteurs et placées à intervalles réguliers suivant le profil. Ce câble est ensuite branché à une boîte de commutation qui contrôlera les électrodes pour l'injection du courant et la mesure du potentiel selon la séquence de mesures. Une électrode supplémentaire permet d'éliminer la polarisation spontanée.

Les séquences de mesure se basent souvent sur les dispositifs Wenner, Wenner-Schlumberger, dipôle-dipôle, pôle-dipôle ou encore pôle-pôle.

a) Fonctionnement

A chaque électrode est attribuée une adresse numérique dans le but de l'identifier dans le dispositif. Lors de la mesure, elle jouera tout à tour le rôle d'une électrode d'injection ou celui d'une électrode de mesure de potentiel selon la séquence de mesure préalablement programmée.

Soit par exemple à effectuer une série de mesures à l'aide d'un dispositif Wenner muni de 16 électrodes. La distance inter électrodes sera notée **a** et les électrodes seront numérotées de 1 à 16. La première mesure se fera alors avec les électrodes 1 à 4. 1 et 4 seront les électrodes d'injection de courant tandis que les deux autres serviront à la mesure du potentiel. Puis le dispositif sera translaté d'une distance **a**, et les électrodes 2 à 5 se verront attribuer les précédents rôles respectifs des électrodes 1 à 4. Ce processus sera répété jusqu'à l'électrode située tout au bout du dispositif. Ce qui clôt le premier niveau d'acquisition. En tout, on aura effectué 13 mesures.

Pour le deuxième niveau avec toujours le dispositif Wenner, 1 et 7 seront les électrodes d'injection, laissant à 3 et 5 le rôle d'électrodes de mesure. La translation se fera d'une distance **2a**. En tout, 10 mesures seront effectuées.

Les niveaux d'acquisition se succéderont avec des distances inter électrodes respectives **3a**, **4a** et **5a**.

On remarque alors que, comparé aux autres dispositifs, le Wenner est celui qui effectue le plus faible nombre de mesures.

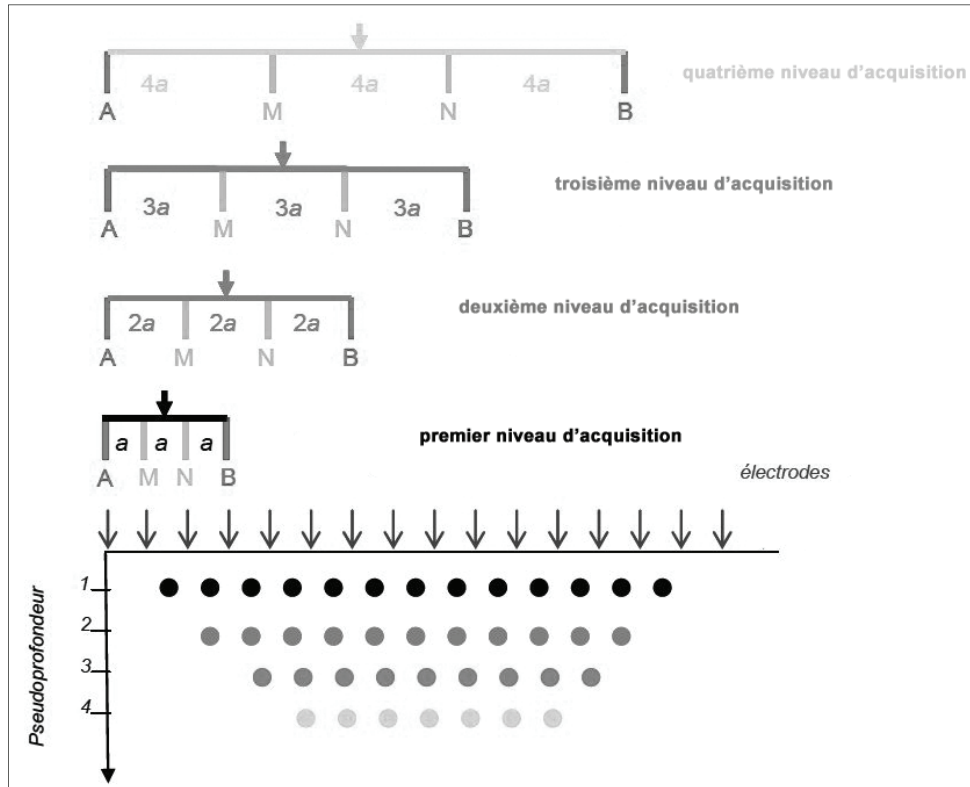


Figure 11: mode opératoire d'un panneau électrique

b) Avantages et inconvénients des différents dispositifs

Le dispositif Wenner est surtout recommandé pour les structures horizontales. Sa profondeur d'investigation est nettement inférieure à celle du dipôle-dipôle ou du Wenner-Schlumberger. Le manque de données notamment sur les bords du profil est surtout dû au plus faible nombre de points d'acquisition.

Le dispositif Wenner-Schlumberger donne des résultats satisfaisants à la fois pour les structures horizontales et verticales. Avec une profondeur d'investigation d'environ 10 % plus élevée qu'avec le Wenner, le nombre de points d'acquisitions reste cependant plus faible que celui dipôle-dipôle. C'est toutefois un bon compromis entre le dispositif Wenner (pour les structures horizontales) et le dipôle-dipôle (pour les structures horizontales).

Le dispositif dipôle-dipôle est surtout recommandé pour les structures verticales. En outre la profondeur d'investigation ainsi que le nombre de points d'acquisition sont plus grands que pour les deux dispositifs sus-cités. Il permet entre autres d'obtenir un très faible couplage électromagnétique entre les circuits de courant et de potentiel, ce qui est idéal pour étudier la résistivité et la polarisation provoquée.

Le dispositif pôle-dipôle peut créer des artefacts lors du traitement des données, ce qui est essentiellement dû à sa structure asymétrique. Sa profondeur d'investigation est intermédiaire et il est plus sensible aux bruits et courants telluriques.

Le dispositif Pôle-Pôle est encore plus sensible au bruit que le dispositif pôle-pôle mais sa profondeur d'investigation est par contre la plus profonde malgré une faible résolution. La distance inter électrodes doit être maintenue faible sinon les couches conductrices de surface canaliserait le courant dans une direction, phénomène appelé mise à la masse. Il est surtout préconisé en 3D car il offre un grand nombre de points à l'acquisition.

I.3.5. Traitement des données

Les valeurs ainsi obtenues sont des résistivités apparentes. A l'aide du logiciel d'inversion RES2DINV de Loke et Barker, on peut retrouver les vraies valeurs de la résistivité à partir de ces valeurs de résistivités apparentes mesurées sur terrain. C'est par une méthode itérative que ce logiciel reconstitue les résistivités et épaisseurs vraies des terrains.

Le calcul de la résistivité se fait par la méthode des différences finies et le calcul du modèle approximatif par le lissage par contrainte.

Le profil est d'abord découpé en plusieurs blocs. On remarque que la taille de ces derniers augmente avec la profondeur, ce qui est dû à la perte de résolution. Cette augmentation est de l'ordre de 10% à 25% suivant le nombre de points et de niveaux d'acquisition du profil en question. Une valeur de résistivité apparente, calculée à partir des points de mesure, est attribuée à chacun de ces blocs. A l'aide d'une matrice de dérivées partielles, la valeur de la résistivité vraie de chaque bloc peut être ensuite calculée. Pour cela, les valeurs apparentes sont introduites et permettent ainsi de donner un premier modèle approximatif. A partir de ce dernier, le logiciel simule une injection de courant et recalcule les valeurs apparentes. Cette coupe de résistivité apparente est ensuite comparée 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.

Et c'est à l'aide de la méthode des moindres carrés que le logiciel tente 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). En général, le modèle le plus fiable est celui qui se situe juste après l'itération où l'erreur RMS ne change plus de manière significative.

Si de plus les chargeabilités en mode polarisation provoquée ont été mesurées en même temps, les deux types de section peuvent ainsi être présentés. Une inversion simultanée de la résistivité et de la chargeabilité est donc effectuée.

Les données mesurées ρ_a sont présentées en sections de couleur. L'axe vertical est une pseudo-profondeur proportionnelle à l'écartement des électrodes. La mesure est reportée au point ayant pour abscisse le milieu du dispositif utilisé et pour ordonnée la pseudo-profondeur.

I.3.6. Appareil de mesure SYSCAL R2 de type Elrec T

Cet instrument est particulièrement efficace dans le cadre de missions de prospection électrique.

Le Syscal Elrec T est un résistivimètre permettant l'utilisation d'un réseau 64 électrodes au maximum. Il est habituellement équipé d'une unité centrale combinant les fonctions d'injection de courant et de mesure de la différence de potentiel engendrée. Un écran de contrôle permet d'accéder rapidement au menu de l'appareil et de contrôler les processus de mesures.

Chaque câble multi-électrodes est associé à un multinode. Le RMC (Remote Multiplexer Controller), directement branché au Syscal, est ensuite reliée aux multinodes. De ce fait, l'unité principale est alors connectée à toutes les électrodes. Quand la batterie interne d'injection est déchargée, une batterie de voiture peut être utilisée.

Plusieurs tâches sont ainsi accomplies par cet ensemble d'appareils:

- en tant que multinode, il contrôle chacune des électrodes connectée aux câbles et informe sur leurs emplacements, ordres, etc;
- en tant que multiplexeur, il attribue un rôle à chaque électrode au fur et à mesure du déroulement de l'acquisition;
- en tant que résistivimètre, il injecte le courant et mesure la différence de potentiel.

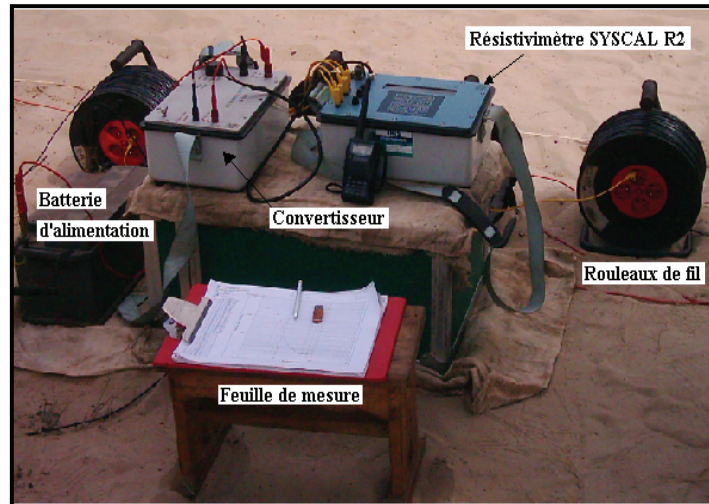


Figure 12: Syscal R2 de type Elrec T plus avec ses accessoires

Un ordinateur connecté au Syscal et équipé du logiciel ELECTRE sert à définir les séquences de mesures. Plusieurs instructions peuvent être à la fois transférées dans la mémoire du Syscal, permettant ainsi de lancer de multiples mesures sans avoir à chaque fois à démarrer l'ordinateur. Par ailleurs, le Syscal peut stocker jusqu'à 83 mesures.

Le logiciel Prosys II permet d'extraire les données emmagasinées dans la mémoire interne du Syscal directement vers l'ordinateur. Entre autres, sont affichés :

- Spa 1 à 4 : abscisses des quatre électrodes utilisées pour chaque mesure ;
- Rho: résistivité en Ωm ;
- Dev: facteur de qualité en %;
- M:chargeabilité en mV/V
- Sp: polarisation spontanée en mV;
- In: intensité du courant injecté en mA ;
- Vab : tension du courant injecté en V ;
- Vp: tension mesurée en mV.

Des résultats obtenus avec le logiciel Prosys II sont visibles dans l'annexe (mesures).

I.4. Résultats et interprétation

Après avoir consulté divers documents sur la géologie de la région, notre équipe a procédé une campagne de prospection électrique dans trois villages. On note que ces trois villages se trouvent dans la même zone d'étude (dans la Commune d'Antanifotsy).

Le fait que les trois sites se trouvent dans une même zone contribue à la fiabilité de l'interprétation des données.

D'autant plus que l'étude méticuleuse des puits environnants permet de justifier les hypothèses.

La prospection électrique a été répartie dans trois sites dont : le village Amparihibe, EPP Amparihibe et le village Ankisatra. La figure 13 montre l'emplacement et la direction des profils réalisés dans les zones d'intervention.

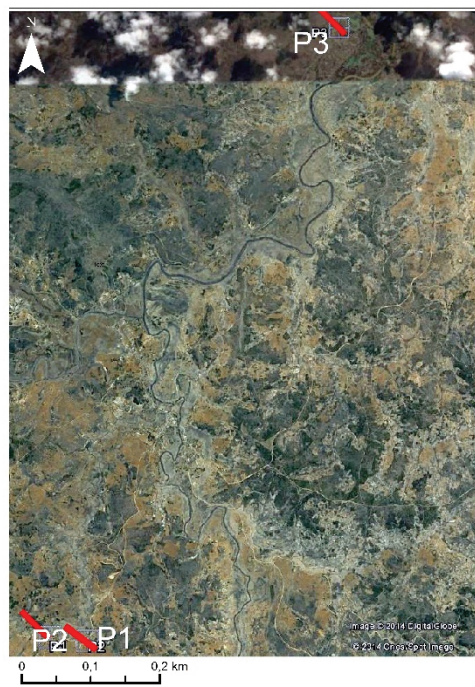


Figure 13 : *Emplacement des panneaux électriques*

I.4.1. Village d'Amparihibe

Le village d'Amparihibe constitue 36 ménages, à raison de 5 personnes par foyer en moyenne. C'est le premier endroit où le panneau électrique a été déployé lors de cette campagne de mesures, dans le but de déterminer le point favorable à l'implantation d'un puits d'un puits dans la partie centrale du village. Durant la campagne de prospection nous avons utilisé le dispositif Wenner et la distance inter-électrode est de 5m dont la profondeur atteint est de l'ordre de 25m si on utilise 32 électrodes. Ce profil suit la

direction sud-est/nord-ouest. Le tableau 1 ci-dessous récapitule les caractéristiques des différents paramètres de mesure.

Type du dispositif	Wenner
Espace inter électrodes	5 mètres
Tension du courant injecté	400 volts
Nombre d'électrodes	16
Coordonnées de la première électrode	S 19°41'50.3" E 47°18'16.8" 1 593 m (altitude)
Coordonnées de la dernière électrode	S 19°41'52.6" E 47°18'21.8" 1 595 m (altitude)
Coordonnées du centre du dispositif	S 19°41'50.9" E 47°18'19.8" 1 593 m (altitude)

Tableau 1: *Paramètres de mesure du panneau électrique P1 à Amparihibe*

Le panneau électrique P1 a été implanté au centre du village d'Amparihibe. La séquence d'acquisition est du type Wenner et la distance inter électrode est de 5m et nous avons utilisé 16 électrodes pendant la réalisation de mesure. Les nombres totales de mesure sont de 35 et la profondeur atteint est de l'ordre de 12m.

Dans un premier temps, les données acquises par le Syscal ont été transférées dans l'ordinateur grâce au logiciel Prosys II (cf. annexe : mesures Amparihibe). Après le traitement avec l'aide du logiciel RES2DINV (élimination des valeurs aberrantes, inversion), on a obtenu le modèle électrique ci-dessous au terme de trois itérations successives.

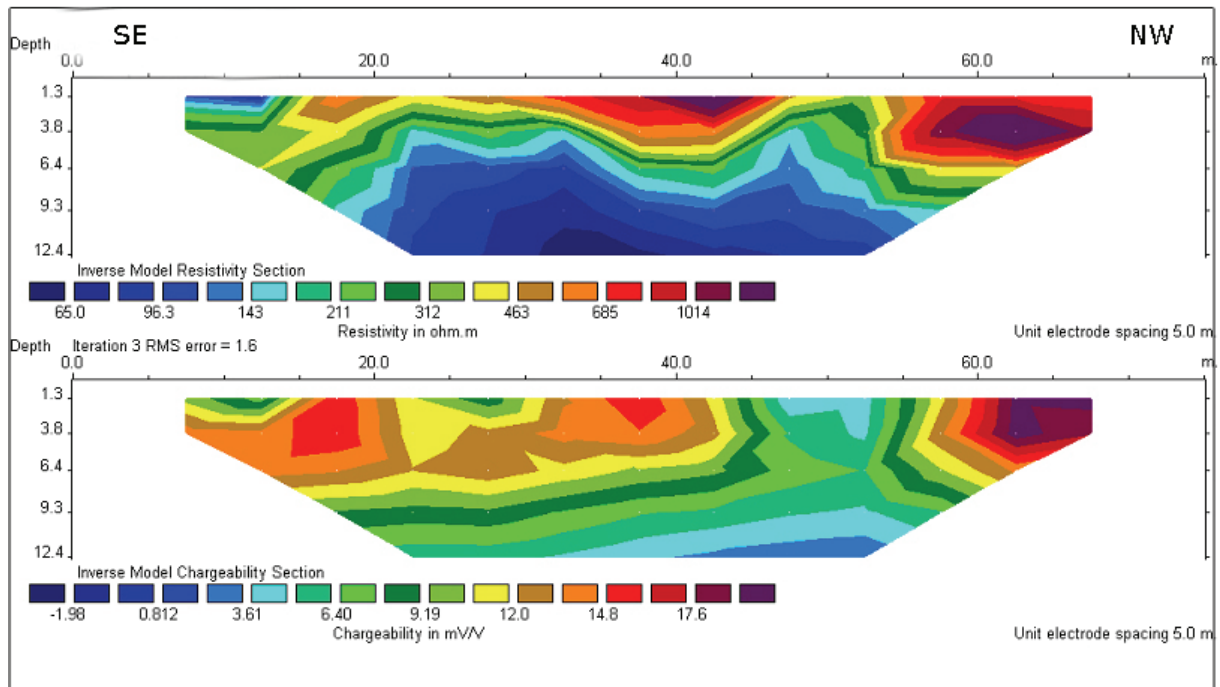


Figure 14: Coupe géoélectrique du panneau électrique P1 au village d'Amparihibe

La coupe géoélectrique ainsi obtenue montre la répartition des résistivités et des chargeabilités au niveau du panneau électrique P1. Globalement, on peut discerner trois formations sur ce modèle:

- Tout d'abord, en bleu, un horizon superficiel organo-minéral mince est visible jusqu'à l'abscisse $x=15$ m. Ensuite affleure une formation relativement résistante (orange à violet) presque tout le long du profil. C'est un sol particulièrement dense et, comme la présence de cuirasses ferrugineuses est assez fréquente dans la région, la forte chargeabilité de cette formation massive est sûrement due à la présence d'oxydes de fer finement disséminés [9].

- La strate géologique suivante (jaune à vert) est nettement moins résistante et assez régulière d'une épaisseur moyenne de 3 mètres. Elle affleure par endroits à la surface, notamment aux abscisses $x=24$ m et $x=52$ m. Elle correspondrait à une couche d'argiles à dominante kaolinitique.

- La partie inférieure de ce profil géoélectrique, représentée en nuances de bleu, est une formation conductrice. Les valeurs de la chargeabilité sont globalement inférieures à 7 mV/V, ce qui suppose une structure poreuse saturée en eau. L'observation des puits dans le voisinage permet d'estimer le niveau piézométrique de la nappe à 11 mètres de profondeur.

Compte tenu de ces observations, le point d'abscisse $x = 50$ m a été proposé en vue de l'aménagement d'un point d'eau.

I.4.2. EPP Amparihibe

Le deuxième site se trouve à L'école primaire publique d'Amparihibe. Il est fréquenté par pas moins de 229 élèves dont 116 garçons et 113 filles. 5 personnes composent le corps enseignant. Il s'avère judicieux d'aménager un puits sur ce site vu l'affluence quotidienne. Le profil électrique réalisé au niveau de l'EPP suit la direction nord-ouest/sud-est. Le tableau 2 ci-dessous récapitule les caractéristiques des différents paramètres de mesure.

Type du dispositif	Wenner
Espace inter électrodes	5 mètres
Tension du courant injecté	400 volts
Nombre d'électrodes	16
Coordonnées de la première électrode	S 19°41'50.5" E 47°18'41.2" 1 582 m (altitude)
Coordonnées de la dernière électrode	S 19°41'52.5" E 47°18'41.2" 1 586 m (altitude)
Coordonnées du centre du dispositif	S 19°41'51.9" E 47°18'41.4" 1 585 m (altitude)

Tableau 2: Paramètres de mesure du panneau électrique P2 à l'EPP Amparihibe

Le deuxième panneau électrique a été déployé dans la cour de l'école primaire publique d'Amparihibe. La séquence d'acquisition est toujours du type Wenner. Nous avons toujours utilisée 16 électrodes durant la réalisation de mesure le long de ce profil.

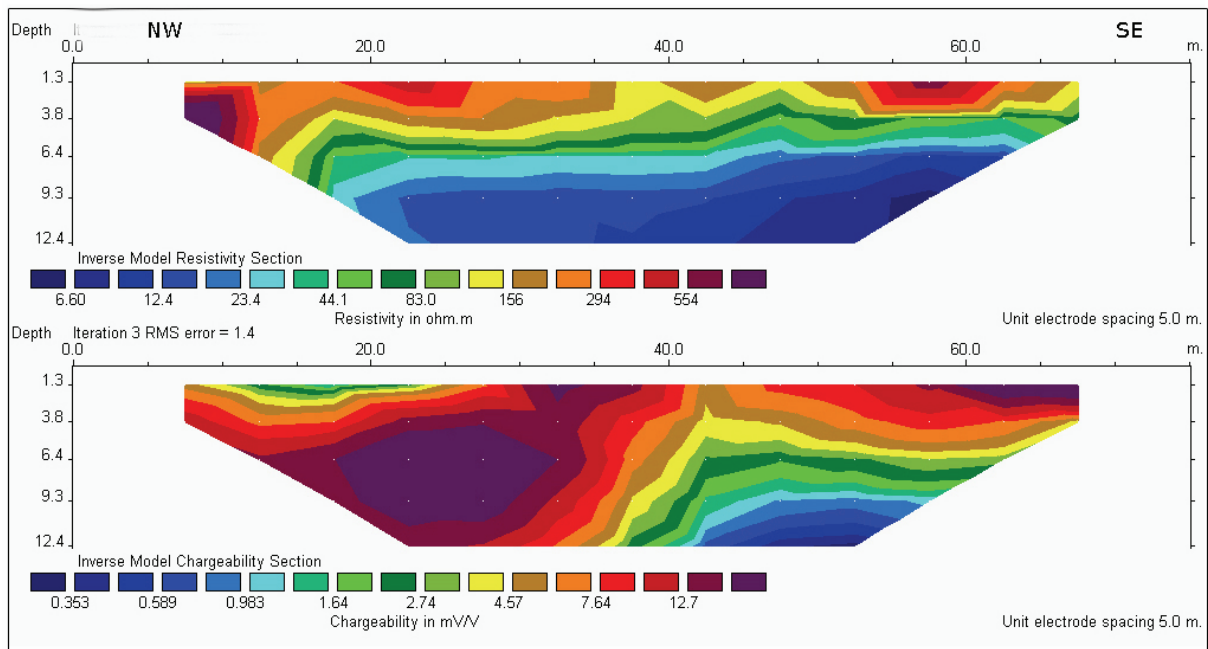


Figure 15: Coupe géoélectrique du panneau électrique P2 à l'EPP Amparihibe

L'interprétation de la coupe géoélectrique obtenue à partir du panneau électrique P2 met en évidence l'existence de trois formations :

- Un horizon résistant et irrégulier constitue principalement la couche supérieure de ce profil qui semble avoir subi une érosion très avancée. Cependant, on peut encore deviner sa structure initiale. Au niveau de l'abscisse $x = 10$ m, on retrouve une cuirasse ferrugineuse assez typique de la région.

- Le second terrain est constitué par une formation moyennement conductrice (jaune à vert), de résistivité comprise entre $40 \Omega\text{m}$ et $160 \Omega\text{m}$, que l'on retrouve tout le long du profil. Elle émerge par endroits à la surface entre les abscisses $x = 35$ m et $x = 50$ m. On reconnaît ici un horizon d'altération à structure pédologique riche en kaolinite, de 3 mètres d'épaisseur moyenne.

- Le dernier terrain représenté en bleu sur cette coupe géoélectrique est fortement conducteur, affiche des valeurs de résistivité descendant même jusqu'à $6 \Omega\text{m}$. Cette formation est d'autant plus poreuse car sa chargeabilité reste en majeure partie en dessous de 8 mV/V . Il s'agit vraisemblablement d'une nappe d'arène à faible profondeur, dont la surface piézométrique serait à environ 10 mètres, en tenant compte des cotes mesurées dans les puits environnants.

Au vu de ces résultats, le point d'abscisse $x = 50$ m a été choisi pour l'implantation d'un puits, entre autres on évite ainsi de creuser directement dans la couche compacte.

I.4.3. Village d'Ankisatra

Le dernier site est le village d'Ankisatra. Ce village se situe à l'orée du district d'Antanifotsy et se retrouve en quelque sorte un peu isolé. On y recense cependant 300 âmes et la décision d'y implanter une infrastructure permettant l'accès à l'eau potable est amplement justifiée. Le dernier profil suit la direction nord-ouest/sud-est.

Type du dispositif	Wenner
Espace inter électrodes	5 mètres
Tension du courant injecté	400 volts
Nombre d'électrodes	16
Coordonnées de la première électrode	S 19°35'26.0" E 47°21'14.0" 1 572 m (altitude)
Coordonnées de la dernière électrode	S 19°35'27.4" E 47°21'15.2" 1 573 m (altitude)
Coordonnées du centre du dispositif	S 19°35'26.4" E 47°21'14.5" 1 572 m (altitude)

Tableau 3: Paramètres de mesure du panneau électrique P3 au village d'Ankisatra

Ce dernier panneau électrique a été déployé à l'entrée du village d'Ankisatra. La séquence d'acquisition est toujours identique à celle des deux précédents panneaux. Nous avons toujours utilisée 16 électrodes durant la réalisation de mesure le long de ce profil.

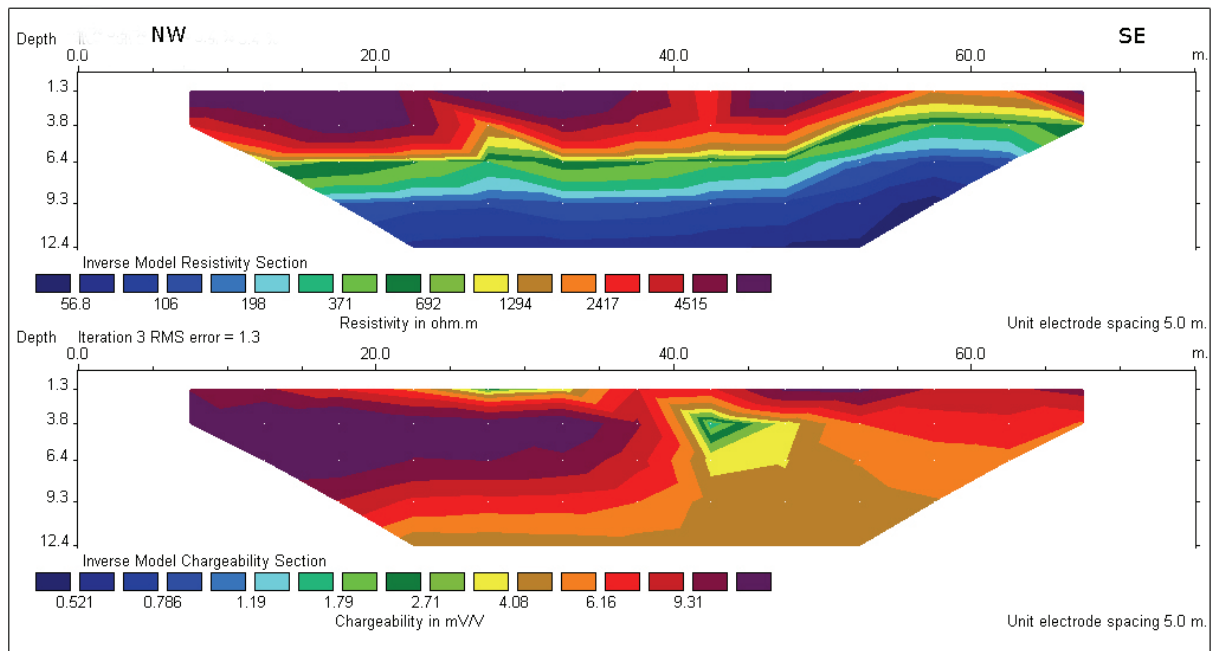


Figure 16: Coupe géoélectrique du panneau électrique P3 au village d'Ankisatra

Comparée aux précédentes, cette coupe géoélectrique affiche une gamme de résistivités assez élevées. Les mesures étant effectuées en dernier lieu, cela est peut être lié à la décharge prématurée de la batterie utilisée pour l'injection de courant électrique.

On observe une stratification analogue aux précédentes, notamment trois formations :

- Le premier terrain est très résistant et recouvre d'une manière irrégulière presque la totalité de la surface. Ayant subi une érosion en nappe très avancée, il montre encore les vestiges des cuirasses ferrugineuses typiques de la région ;
- Le deuxième terrain est nettement moins résistant (jaune à vert). Il présente un léger surcreusement pour apparaître à la surface à l'abscisse $x = 60$ m. Cet affleurement de couleur claire permet d'affirmer qu'il s'agit d'une couche d'argile à dominante kaolinitique ;
- Le dernier terrain visible sur cette coupe est nettement plus conducteur et très poreux. La chargeabilité ne dépasse pas 10 mV/V dans cette formation. Elle correspond sûrement à des altérites saturées en eau. Après avoir considéré la cote piézométrique d'un puits avoisinant (la mesure étant effectuée en milieu de journée, il y a sûrement un phénomène de rabattement), cette nappe superficielle peut être atteinte à partir de 10 mètres.

Après analyse de ces données, creuser un puits au point d'abscisse $x = 55$ m semble être un bon compromis car les valeurs de résistivité et de chargeabilité y sont le plus cohérentes. D'autant plus que la formation compacte est absente à cet endroit.

I.5. Conclusion

Une campagne de prospection électrique a été menée avec succès dans la Commune d'Antanifotsy. Des panneaux électriques ont été déployés dans les villages afin d'étudier les propriétés hydrogéologiques du sol en vue de l'exploitation de l'eau souterraine.

L'étude des coupes géoélectriques montre que l'on a bien un sol ferralitique à cuirasse ferrugineuse dans cette zone. L'agencement des couches trahit une érosion rapide.

Cette brève campagne de mesure a surtout permis de déterminer rapidement des endroits propices à l'implantation de puits. Il s'agit cependant de nappes superficielles, certes amplement suffisantes à subvenir aux besoins en eau de la communauté locale. Cependant le déploiement d'une plus grande flûte, c'est-à-dire plus d'électrodes et/ou une plus grande distance inter électrodes, aurait été souhaitable et aurait permis de détecter une nappe profonde exploitable par forage.

PARTIE II

ADDUCTION D'EAU POTABLE PAR SYSTEME GRAVITAIRE DANS LA COMMUNE RURALE D'AMBANO

II. 1. Introduction

L'approvisionnement en eau potable est un problème récurrent dans la Commune d'Ambano.

Afin de remédier aux problèmes relatifs à l'approvisionnement en eau dans la région du Vakinankaratra, le Ministère de l'Eau a organisé un atelier axé sur la gestion de l'eau en juin 2008 à Antsirabe. Les participants, parmi lesquels le Secrétaire des Affaires Générales et d'Etat Civil de la Commune d'Ambano, ont pu prendre connaissance du programme Méddea par la même occasion.

Comme la Commune d'Ambano compte plusieurs Fokontany correspondant aux sites prioritaires du programme, une équipe de Méddea a aussitôt été dépêchée sur les lieux.

Ainsi le projet d'adduction d'eau potable dans ces localités a pu voir le jour.

II. 2. Présentation de la zone d'étude

II.2.1. Localisation des villages

La Commune d'Ambano est rattachée au district d'Antsirabe II, région de Vakinankaratra, et se situe à 5 km au nord-ouest de la ville d'Antsirabe. Le chef-lieu se trouve à 55 km au nord-nord-ouest de la ville d'Antsirabe à 5 km de la bifurcation de Vatofotsy. Les deux Fokontany d'Andrakodavaka et Amparihindramananiolona concernés par le projet d'alimentation en eau se trouvent au nord de la Commune d'Ambano et représentent 16 % de la population totale de la Commune d'Ambano. Ils sont perchés à une altitude de 2200 mètres.

Ainsi la zone d'étude se situe dans le district d'Antsirabe II et est accessible par la route nationale RN7. Le trajet en voiture dure en moyenne deux (2) heures à partir d'Antsirabe. Par ailleurs, la route est praticable toute l'année. La figure 16 montre l'emplacement de la commune rurale d'Ambano

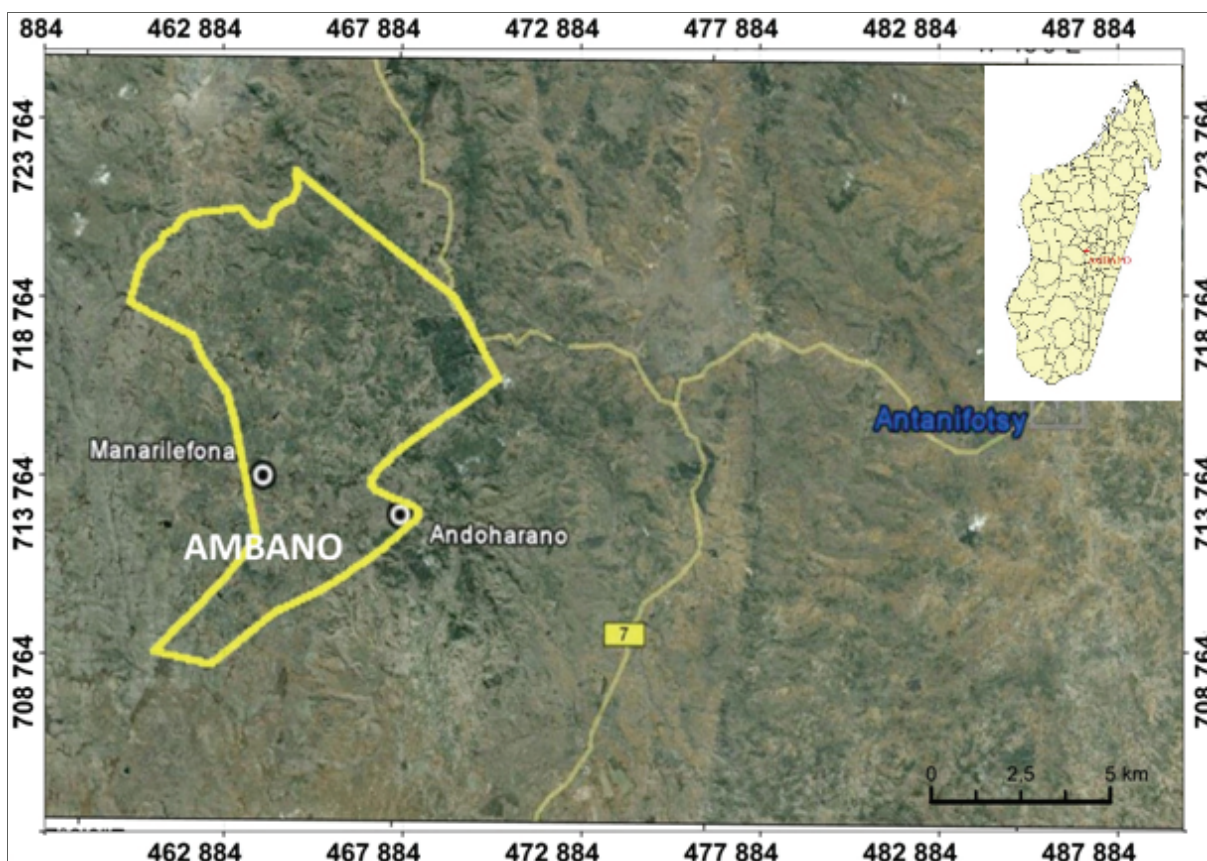


Figure 17: Localisation géographique de la commune rurale d'Ambano

Huit villages (Alarobia, Andoharano, Antsampanimahazo, Antanambao, Tsaramody, Andrakodavaka, Antanetibe et Avaradrano) ont fait l'objet de cette étude de

faisabilité. Le village d'Alarobia abrite le marché hebdomadaire du mercredi, où les paysans viennent écouler leurs produits agricoles auprès des collecteurs venant de toute l'île. Un centre de santé de base est en cours de finition dans le même village. Des écoles primaires publiques et privées se trouvent à Alarobia et à Andrakodavaka [4].

II.2.2. Contexte topographique

La partie septentrionale de la Commune d'Ambano se trouve perchée à une altitude de 2 000 à 2 200 mètres. Les plateaux sont assez rares et éloignés les uns des autres. L'altitude varie de 1 500 à 1 650 mètres dans la zone sud. Là, on rencontre un plateau strié par des bas-fonds en forme de lanières, c'est-à-dire assez étroits et souvent encastrés.

Le relief est globalement assez régulier et les pentes dépassent rarement 10 %. Ce qui semble expliquer que le fait que le réseau de drainage soit en grande partie tourbeux et marécageux.

II.2.3. Contexte hydrologique

Une multitude de ruisseaux affluent vers la zone sud marque surtout le réseau hydrographique. Ces petits cours d'eau et la rivière Sahalombo assurent l'irrigation des rizières de la Commune d'Ambano. Une des zones étudiées, en l'occurrence Andrakodavaka, est traversée par la rivière Sahalombo. Seulement, le Fokontany d'Andrakodavaka se trouve perché à plus de 2100 mètres d'altitude, soit pratiquement 300 mètres au-dessus du cours de la rivière Sahalombo.

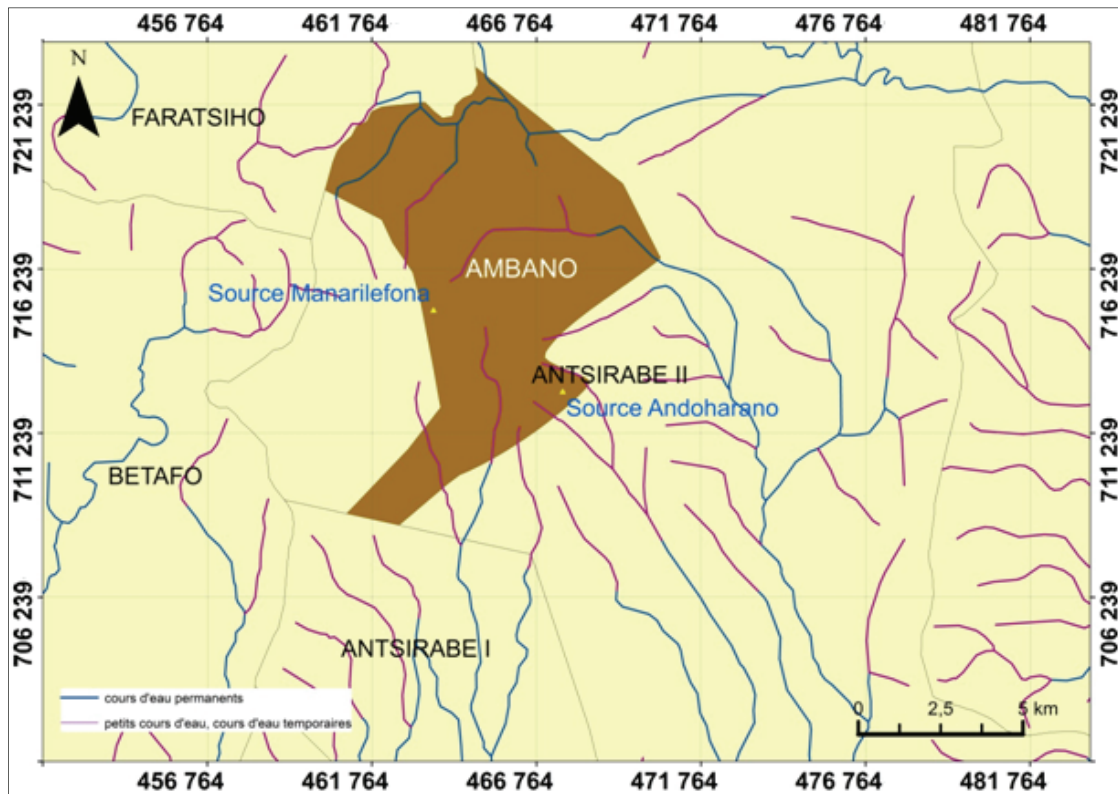


Figure 18: Contexte hydrologique de la Commune Rurale d'Ambano

II.2.4. Contexte géologique

La zone d'étude se trouve dans la région du Vakinankaratra caractérisée entre autres par ses terrains volcaniques. L'existence d'importantes réserves aquifères dans la région peut être supposée à partir de la nature perméable des cendres, des lapillis, des scories et des tufs [5].

Dans la Commune d'Ambano, on remarque tout de suite des sols de type ferrallitique rouge et jaune. Les terrains sédimentaires néogènes sont d'origine lacustre. La formation retrouvée est principalement constituée d'une couverture latéritique, d'altérites volcaniques plus ou moins meubles et de roches métamorphiques antécambriennes [3].

Les massifs volcaniques surmontent le socle métamorphique et cristallin (la zone hydrogéologique étant rattachée aux Hauts Plateaux). On devrait y rencontrer des nappes des terrains volcaniques quaternaires et des nappes d'arènes dont l'importance dépend du stade d'évolution des altérites [1], [5].

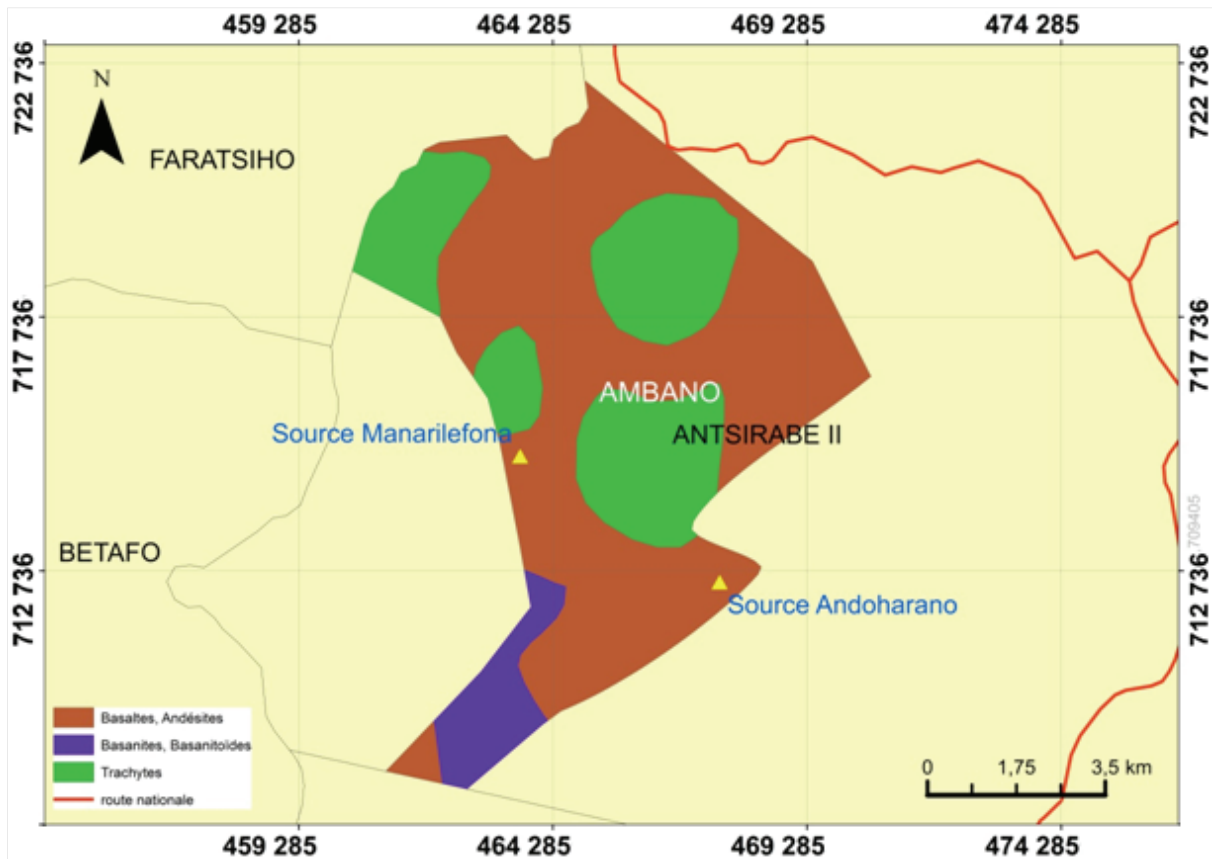


Figure 19: contexte géologique de la Commune Rurale d'Ambano

II.2.5. Démographie

Des études socio-économiques ont été menées précédemment dans le cadre du programme Méddea au mois de février 2011. Concernant la zone d'étude, on a pu recenser 376 ménages, soit en tout 2 005 habitants [4], [5].

Le projet exige une projection sur 10 ans de l'exploitation des ressources en eau, il semble judicieux de retranscrire à chaque fois les valeurs à l'horizon 2021.

Afin d'estimer l'accroissement de la population locale et au vu de l'absence de données démographiques précises, le taux d'accroissement a été fixé à 3% en se basant sur les chiffres au niveau national. Le nombre d'individus en 2021 peut alors être calculé à partir de la formule $P_{10} = (1,03)^{10}P_0$, avec P_0 la population en 2011 et P_{10} la population en 2021 [4], [5].

D'où le tableau montrant l'évolution de la population selon l'horizon du projet est donnée par :

Zone	Localité	Ménages	P₀	P₁₀
1	Alarobia	117	568	763
2	Andrakodavaka	11	60	81
	Avaradrano	76	434	583
	Antanetibe	12	60	81
	Antsampanimahazo	19	99	133
	Tsaramody 1	21	122	164
	Tsaramody 2	10	55	74
	Antanambao	64	342	460
	Andoharano	46	265	356
Total		376	2 005	2 695

*Tableau 4: Nombre de population par zone*Source : MaDev

II. 3. Présentation du projet

II.3.1. Objectif du projet

Ce projet d'adduction en eau potable a vu le jour grâce au programme Méddea (mécanismes durables de développement de l'accès à l'eau et à l'assainissement en zones rurales).

Le délai d'exécution des travaux a été fixé à 84 jours calendaires (cf annexe: planning prévisionnel d'exécution des travaux).

L'aménagement devrait améliorer les conditions de vie d'environ 2700 personnes à l'horizon 2021.

II.3.2. Intervenants

Madagascar Development Engineering SARL (MaDev) est un bureau d'études national spécialisé dans les domaines des mines, de l'environnement et de l'eau. Diverses études de faisabilité de projets d'investissement et de développement à Madagascar lui sont habituellement confiées. Il dispose d'expériences pertinentes dans l'étude et le contrôle des travaux d'assainissement et d'adduction d'eau potable autant en milieu semi-urbain que rural. Les locaux du MaDev se trouvent à Anjanahary, Antananarivo.

Méddea est un programme de quatre ans ayant vu le jour en janvier 2008. Cofinancé par l'Union Européenne et l'Agence Française de Développement, ce programme a pour objectifs principaux l'amélioration de la qualité de vie des populations rurales et le développement des compétences des différentes entités concernées. Les opérateurs privés locaux sont entre autres incités à investir dans les infrastructures et devront par la suite en assurer la gestion.

Le GRET (Groupe de Recherches et d'Echanges Technologiques), épaulé par Aquassistance et Taratra, prend en charge la mise en œuvre de ce programme dans le Vakinankaratra et la région Est.

II. 4. Système d'adduction gravitaire

III.4.1. Définition

C'est un mode de distribution d'eau se basant principalement sur l'écoulement de l'eau causé par la différence des niveaux hydrauliques.

Ce procédé exploite le fait que l'altitude de la source ou de l'étendue d'eau à exploiter soit supérieure à celle du point où se trouve l'orifice de puisage. Ainsi, l'eau se déplace grâce à la seule force de gravitation, ce qui dispense de l'usage de pompes.

II.4.2. Notions d'hydrodynamique

a) Charge hydraulique

Dans le cas d'un fluide incompressible, l'énergie en un point donné peut être décomposée en énergie potentielle ($\rho g z$), énergie de pression (P) et énergie cinétique ($\rho V^2/2$).

Cette énergie par unité de volume est aussi appelée charge hydraulique.

$$E_{\text{hydraulique}} = \rho \cdot g \cdot z + P + \rho \cdot V^2/2 \quad (\text{II-1})$$

ρ : masse volumique du fluide en un point

z : cote du point considéré

P : pression en ce point

V : vitesse du fluide en ce point

g : accélération de la pesanteur

Si l'écoulement est stationnaire, la viscosité négligeable et si de plus le fluide n'est soumis qu'à la force de pesanteur, alors cette énergie est constante le long d'une ligne de courant, c'est-à-dire :

$$\rho_1 \cdot g \cdot z_1 + P_1 + \rho_1 \cdot V_1^2/2 = \rho_2 \cdot g \cdot z_2 + P_2 + \rho_2 \cdot V_2^2/2$$

pour deux points différents (1) et (2).

(II-2)

Cette relation a été établie par Daniel BERNOULLI.

En mètres de colonne d'eau (1 mCE = 0,098 bar), on a :

$$z_1 + P_1/(\rho_1 \cdot g) + V_1^2/2g = z_2 + P_2/(\rho_2 \cdot g) + V_2^2/2g$$

(II-3)

Cependant, cette relation n'est plus valable en présence de frottements. Il faut alors introduire la notion de perte de charge. Le théorème de BERNOUILLI généralisé est alors adopté :

$$z_1 + P_1/(\rho_1 \cdot g) + V_1^2/2g = z_2 + P_2/(\rho_2 \cdot g) + V_2^2/2g + \Delta H \quad (\text{II-4})$$

Où ΔH représente la dissipation d'énergie entre les points (1) et (2).

b) Pertes de charge

Les pertes de charge correspondent à la dissipation de l'énergie mécanique d'un fluide en mouvement sous forme de chaleur. Elles sont engendrées par les frottements et peuvent être linéaires ou singulières.

Cependant, les pertes de charges sont assimilées à une hauteur de colonne d'eau dans l'équation de Bernoulli.

La **perte de charge régulière** représente globalement l'énergie perdue entre deux points considérés. Elle est souvent calculée à partir de la formule de Darcy-Weisbach :

$$\Delta H_r = \lambda \cdot L \cdot V^2 / (2 \cdot g \cdot D_h) \quad (\text{II-5})$$

λ : coefficient de perte de charge

L : longueur de la conduite

V : vitesse moyenne du fluide dans le tuyau

D_h : diamètre hydraulique

Le coefficient λ peut être estimé en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité des parois de la conduite. Nombreuses sont les formules empiriques et les abaques permettant de déterminer λ ou bien directement ΔH .

La notion de **perte de charge singulière** intervient lorsque l'écoulement est localement perturbé, éventuellement en présence d'une modification géométrique de la conduite (coudes, vannes, variation de section, etc.). La formule suivante permet de la calculer :

$$\Delta H_s = \lambda_s \cdot V^2 / 2g \quad (\text{II-6})$$

Où λ_s est un coefficient caractérisant la singularité (ou l'accident), généralement déterminé par des abaques. Les pertes de charge s'additionnent en fonction du nombre de ces accidents.

II.4.3. Quantification de la demande en eau

Le dimensionnement des ouvrages d'adduction et de distribution d'eau requiert la connaissance de certains paramètres.

a) Consommation journalière moyenne totale

$$C_{jm} = C_{jm/hab} \cdot P \quad (II-7)$$

$C_{jm/hab}$: consommation journalière moyenne par habitant

P : nombre d'habitants

Comme la consommation journalière peut être sujette à des variations locales significatives au niveau des différentes zones desservies.

$$C_{jm} = \sum_i C_{jm/hab}^i \cdot P_i \quad (II-8)$$

$C_{jm/hab}^i$: consommation journalière moyenne par habitant dans la zone « i »

P_i : nombre d'habitants dans la zone « i »

b) Pointe journalière

En déterminant le coefficient de pointe journalière N_1 , on peut caractériser la consommation journalière en eau. Il peut varier de 1,3 à 1,6.

$$N_1 = \frac{\max C_{jm}}{C_{jm}} \quad (II-9)$$

C_{jm} : consommation journalière moyenne

c) Pointe horaire

Le coefficient de pointe horaire N_2 varie généralement entre 1,5 et 3,5.

$$N_2 = \frac{\max C_{hm}}{C_{hm}} \quad (II-10)$$

C_{hm} : consommation horaire moyenne

d) Pertes d'eau

Elles peuvent se situer en différents points du réseau d'alimentation en eau potable, que ce soit au niveau de la station de traitement, des réservoirs des joints ou de la prise d'eau.

Des fuites sont observées en particulier dans le réseau de distribution ou lors de la rupture accidentelle d'une conduite.

Les pertes d'eau dépendent généralement de la conception initiale, de l'entretien et de l'âge du réseau. Elles sont assimilées à un coefficient N_3 lors des calculs. Selon l'état général du réseau, N_3 varie de **1,2** (une installation neuve) à **1,5** (réseau vétuste).

e) Débits

Le volume d'eau (en m³ par an) à capter au niveau de la source peut être déterminé par la formule :

$$Q_{an} = 365 \cdot N_3 \cdot C_{jm} \quad (II-11)$$

N_3 : coefficient des pertes d'eau

Le débit journalier maximal (en m³ par jour) permet le dimensionnement des ouvrages d'adduction :

$$Q_{jour} = N_1 \cdot N_3 \cdot C_{jm} \quad (II-12)$$

N_1 : coefficient de pointe journalière

Le débit horaire maximal (en m³ par heure) permet le dimensionnement des ouvrages de distribution:

$$Q_{heure} = N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 \cdot C_{jm} / 24 \quad (II-13)$$

N_2 : coefficient de pointe horaire

II.4.4. Réservoirs

Les réservoirs servent non seulement à emmagasiner l'eau en prévision d'une éventuelle pénurie, mais ils garantissent essentiellement une alimentation convenable en

eau à tout moment et indépendamment de la demande, vu qu'il subsiste toujours un écart entre les valeurs du débit de la source et celles du débit d'eau consommé par les usagers. Ils font ainsi office de régulateur de débit et de pression.

Entre autres, un réservoir doit être équipé d'une fenêtre d'aération pour permettre la circulation de l'air lors des phases de remplissage et de vidange, d'une trappe d'accès et d'un trop-plein.

Le choix de l'altitude du réservoir d'eau est conditionné par la pression au sol minimale exigée en tout point du réseau de distribution, notamment à l'heure de pointe.

Le dimensionnement d'un réservoir se fait en tenant compte du débit horaire maximal Q_{heure} . L'évolution future de la consommation doit aussi être prise en compte.

II. 4.5. Réseau de conduites

Afin d'acheminer l'eau jusqu'au consommateur, un réseau de conduites doit être mis en place. En général, on distingue deux types de réseaux : le réseau ramifié et le réseau maillé. Cependant, il existe des structures mixtes, c'est-à-dire des ramifications se greffent au réseau maillé.

Le **réseau ramifié** comporte de multiples ramifications : la conduite principale se ramifie en conduites secondaires, ces dernières en conduites tertiaires et ainsi de suite. De ce fait, la circulation de l'eau se fait dans un seul sens, suivant la hiérarchie des conduites.

Le **réseau maillé** diffère du réseau ramifié par le fait que les extrémités soient connectées aux conduites voisines. Ainsi, tout point est alimenté de plusieurs côtés, ce qui constitue le gage d'une meilleure répartition des pressions. De plus, l'approvisionnement peut se poursuivre en dépit d'une rupture de conduite en amont. La figure 19 présente l'exemple de type de réseaux de distribution.

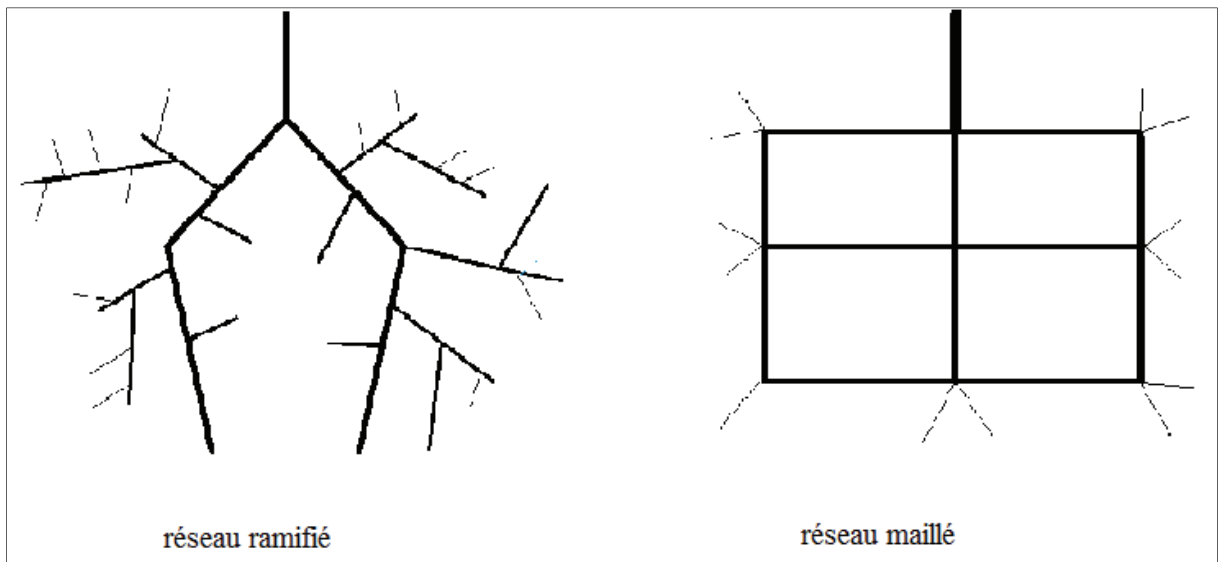


Figure 20 : types de réseaux de distribution

Pour un fonctionnement optimal des installations, le cahier des charges doit mentionner explicitement les valeurs minimales et maximales :

- des pressions dynamique et statique au bout des tronçons ;
- des débits d'amenée et de distribution;
- de la vitesse de l'eau circulant dans les conduites.

Pour déterminer les dimensions des conduites, le réseau est subdivisé en tronçons délimités par des nœuds (coudes, vannes, variation de section, etc.). En général, les calculs sont plus compliqués pour les réseaux maillés.

Par ailleurs, le « coup de bélier » ne doit pas être négligé. Ce phénomène transitoire se produit surtout lors de la fermeture brusque d'une vanne, il apparaît alors un phénomène oscillatoire de pression (alternation de phases de surpression et de dépression) pouvant endommager les conduites.

L'utilisation du logiciel gratuit MECAFLUID® offre un gain de temps considérable lors du dimensionnement des réseaux d'adduction en eau potable. Il permet entre autres de calculer les pertes de charges et le débit des canalisations.

II. 5. Caractérisation des sources et besoins en eau

Dans le cadre de ce projet d'adduction en eau potable, trois sources émergentes ont été répertoriées : la source d'Andoharano, la source Dalle et la source de Manarilefona.

La source Dalle, située à une altitude de 2 157 m, présente un très faible débit même en période de crue (0,2 l/s) et n'a pas été ainsi retenue.

Les sources d'Andoharano et de Manarilefona, quant à elles, ont été choisies afin de subvenir aux besoins en eau de la population. Les eaux sont peu minéralisées et propres à la consommation mais n'en demeurent pas moins vulnérables à la pollution de surface [6].

II.5.1. Mesures de débit

Les mesures directes de débit ont été effectuées au moyen de récipient et de chronomètre au niveau des sources jugées exploitables.

Les premières valeurs de débits datent de janvier, c'est-à-dire en pleine période de crue. Les mesures ont été effectuées par l'équipe de Méddea lors de l'étude d'avant-projet sommaire, donnant les résultats suivants : 1.82 l/s pour la source d'Andoharano et 2.3 l/s pour la source de Manarilefona.

Les autres valeurs de débits ont été recueillies lors de la campagne de mesure menée par l'équipe de MaDev juste avant la saison des pluies. Ainsi, la source d'Andoharano se caractérise par un débit de 0.85 l/s et celle de Manarilefona par un débit de 0.56 l/s pendant la période d'étiage.

En considérant ces valeurs des débits, on constate que les variations sont à la fois assez importantes et rapides. Il s'agit probablement de sources d'aquifères superficiels, d'étendue modérée et de faible capacité d'emmagasinement. Malgré leur nature pérenne, ces sources ne sont pas cependant à l'abri d'un risque de tarissement [6].

II.5.2. Source d'Andoharano

Des suintements continus sont visibles le long des talus. La zone d'émergence se situe en flanc de colline et est assez diffuse. Il pourrait s'agir ici d'une source de

déversement, causée par l’affleurement de l’assise imperméable supportant la nappe le long de la surface topographique.

Longitude	E47° 02’ 23,4’’
Latitude	S19° 40’ 48,0’’
Altitude	2191 m
Localité d’origine	Andoharano – Fokontany d’Amparihy
Type	Source de déversement
Débits mesurés	1.82 l/s le 17 janvier 2011 0.85 l/s le 28 septembre 2011
Aspect	eau claire
Distance du village	1,3 km d’Alarobia (vol d’oiseau)
Dénivelé par rapport aux villages	24,51 m par rapport à Alarobia 9.27m par rapport à Andoharano
Observations	source pérenne, eau claire même après les fortes pluies

Tableau 5: Récapitulatif des caractéristiques de la source d’Andoharano

II.5.3. Source de Manarilefona

Comparée à la source d’Andoharano, celle de Manarilefona se trouve à une plus faible altitude, dans une zone marécageuse en bordure de rizières. C’est une source d’émergence car elle semble correspondre à l’affleurement de la zone saturée de la nappe au toit d’une dépression topographique. En optant pour un captage ponctuel, la chambre de captage sera aménagée un peu en amont de l’émergence visible.

Longitude	E46° 58’ 50,5’’
Latitude	S19° 39’ 56,4’’
Altitude	2157 m
Type	Source d’émergence - Source ponctuelle
Débits mesurés	2.3 l/s le 17 janvier 2011 0.56 l/s le 07 novembre 2011
Aspect	eau claire
Distance des villages	2 km d’Antanetibe (vol d’oiseau) 4 km d’Andrakodavaka (vol d’oiseau)
Dénivelé par rapport aux villages	34,06 m par rapport à Antanetibe 84,22m par rapport à Andrakodavaka
Observations	source pérenne, eau claire même après les fortes pluies

Tableau 6: Récapitulatif des caractéristiques de la source de Manarilefona

II.5.4. Besoins en eau

La consommation d'eau par habitant est en moyenne de 11 litres par jour et les petites entreprises locales nécessitent environ 8,15 m³ par jour.

Comme la demande en eau varie au cours de la journée et tout au long de l'année, il faut déterminer un « débit de pointe » horaire dans le but de dimensionner le réseau de distribution.

Le tableau 7 suivant regroupe les besoins journaliers tout en considérant les pertes ainsi que les débits de pointe :

Localité	Population en 2021	Besoin journalier (l)	Besoin journalier avec pertes (l)	Débit moyen (l/s)	Débit de pointe (l/s)
Alarobia+Entreprises+Institution	763	35340	41093	0,476	0,95
Avaradrano	583	9694	11272	0,130	0,26
Antsampanimahazo	133	2423	2818	0,033	0,07
Andrakodavaka	81	1403	1631	0,019	0,04
Antanetibe	81	1531	1780	0,021	0,04
Andoharano	356	5867	6822	0,079	0,16
Antanambao	460	8163	9492	0,110	0,22
Tsaramody 1	157	2679	3115	0,036	0,07
Tsaramody 2	81	1275	1483	0,017	0,03
TOTAL	2 695	68 375	79 506	0,92	1,84

Tableau 7: besoins journaliers en eau

Source : MaDev

Le débit de pointe sera alors fixé à **1,84 l/s**.

Il est toutefois à noter qu'un taux de perte de 5% a été considéré à la première année du projet. Au fil des ans, cette valeur augmente et elle a été estimée 14 % à l'échéance du projet.

II.6. Mise en place du système

II.6.1. Phase de reconnaissance

A la suite d'une réunion avec les entités impliquées dans ce projet, il a été décidé de procéder à des observations in situ. Les documents disponibles sur la zone d'étude ont été préalablement étudiés par l'équipe de MaDev, à savoir des données géographiques et hydrogéologiques, la monographie de la Commune d'Ambano ou encore l'avant-projet sommaire élaboré par Méddea.

- Première mission (26 – 30 septembre 2011)

La première mission a surtout permis d'entrer en contact avec la population locale.

Par ailleurs, des mesures de débits ainsi que des prélèvements ont été effectués au niveau de la source d'Andoharano, en vue de l'approvisionnement en eau de la population cible. Notons que cette source a été préconisée par l'équipe de Méddea lors de la réunion d'information.

Ainsi, la disposition de l'ouvrage d'adduction en eau potable (réservoir, chambre de mise en charge, station de traitement, ...) a pu être déterminée.

De plus, la présence sur les lieux a permis d'appréhender la répartition de la population sur la zone d'étude et ainsi de définir par conséquent le tracé final du réseau, le long duquel ont été ensuite effectués des levés topographiques.

Cette première mission a permis la corrélation de toutes les données acquises autant lors de la documentation que sur terrain.

- Deuxième mission (9 – 11 novembre 2011)

Faisant suite à la précédente mission, celle-ci a été décidée dans le dessein d'étudier la source de Manarilefona, toujours située dans la Commune d'Ambano.

En effet, l'avant-projet sommaire élaboré par l'équipe de Méddea avait été choisi comme document de base, mettant en avant la source d'Andoharano comme centre du dispositif d'adduction en eau potable. Il s'est avéré, au terme de la récente étude, que cette source ne pourrait cependant pas subvenir d'une manière optimale aux besoins en eau de la population cible.

Le fait de prendre en compte une autre source permettrait non seulement de résoudre les problèmes de débits, mais aussi de disposer de tracés plus courts pour l'acheminement de l'eau.

Ainsi, la source de Manarilefona pourrait desservir à elle seule trois localités : Antanetikely, Avaradrano et Andrakodavaka.

Une fois encore, les sites d'implantation des ouvrages ont été déterminés et de nouveaux tracés définis.

II.6.2. Aménagement

Une étude a été donc préalablement effectuée sur le terrain. Entre autres, la pureté de l'eau, le débit de la source et les besoins en eau de la population ont été pris en considération.

L'étape suivante consiste à déblayer le périmètre immédiat de la source afin de mieux cerner les principales zones d'émergence, voire racler le terrain jusqu'à la couche imperméable sous-jacente.

Après que les zones de suintement aient été délimitées, des tranchées sont ensuite creusées afin de recueillir les filets d'eau. Elles sont tapissées de galets et de graviers afin de faciliter l'écoulement de l'eau. Il faut cependant veiller à ce que cet aménagement soit effectué pendant la saison sèche pour éviter de capter des émergences temporaires.

Par ailleurs, il est préconisé d'effectuer un drainage lorsque l'émergence de la source est large et diffuse. Le système de drains est alors posé en amont de la source. Par le phénomène de rabattement de la nappe, l'eau captée par le drain possède une charge hydraulique inférieure à celle du milieu aquifère. Elle peut ainsi être recueillie au point bas de l'exutoire du drainage. Un réservoir implanté en cet endroit sert alors de boîte de captage.

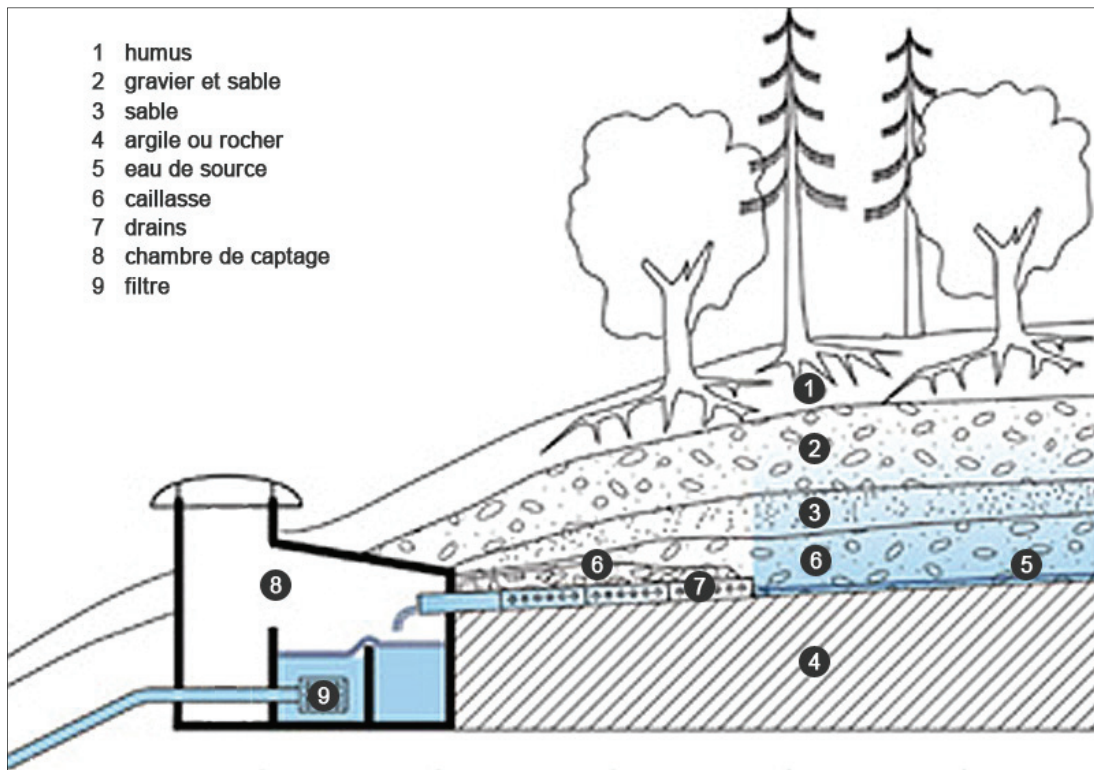


Figure 21: Système d'ouvrage de captage

Il faut cependant instaurer un périmètre de sécurité autour de l'installation afin d'écarter tout risque de dégradation ou de pollution [6]. Entre autres, un fossé de dérivation des eaux de surface doit être aménagé.

II.6.3. Réseaux de distribution

Les deux sources vont être alors indépendamment associées à un complexe de distribution d'eau gravitaire.

Le **réseau 1** (figure 21), relié à la source d'Andoharano, desservira les villages suivants : Alarobia, Andoharano, Antsampanimahazo, Antanambao et Tsaramody.

Le **réseau 2** (figure 21), associé à la source de Manarilefona, desservira Andrakodavaka, Antanetibe et Avaradrano.

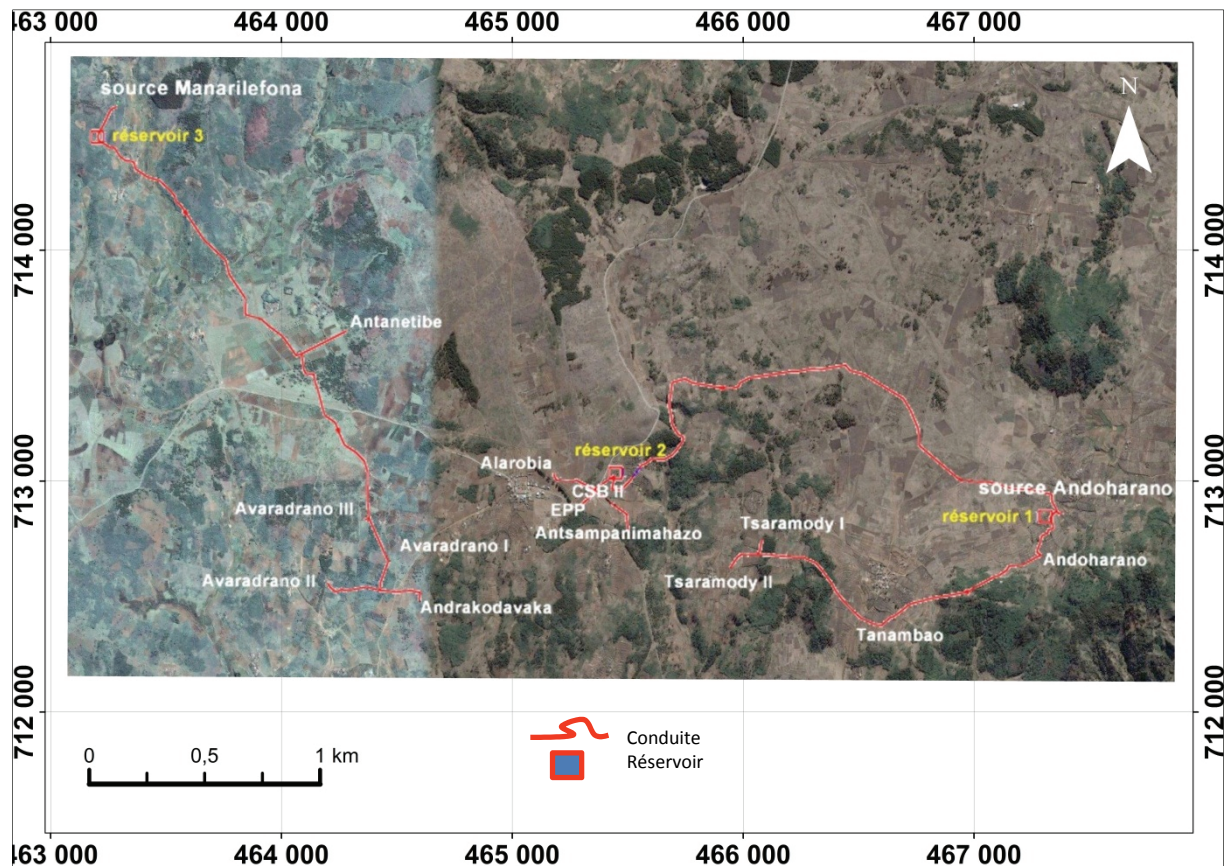


Figure 22: Réseau d'adduction d'eau gravitaire dans la Commune rurale d'Ambano

Chaque réseau comprendra alors un système de captage, une unité de traitement, un ou deux réservoirs, un système de conduites et des équipements de distribution d'eau.

a) Système de captage

Les valeurs de débits des sources seront prises comme débit de dimensionnement des boîtes de captage.

a) Réseau 1

Au vu des caractéristiques de la source d'Andoharano, un système de captage mixte sera adopté. Pour cela, des drains en PVC disposés en V vont déboucher directement dans la boîte de captage.

Cette boîte de captage sera constituée :

- d'un bac parallélépipédique en béton armé dosé à 350 kg/m^3 de dimensions $1\text{m} \times 1.25\text{m} \times 1.45\text{m}$ dont l'intérieur sera tapissé de graviers ;

- d'une margelle au-dessus du trop-plein ;
- d'une dalle en béton armé en guise de couverture ;
- d'une crépine.

b) Réseau 2

La boîte de captage au niveau de la source de Manarilefona sera constituée :

- d'un bac parallélépipédique en béton armé dosé à 350 kg/m³ de dimensions 1m x 0.75m x 0.75m dont l'intérieur sera tapissé de graviers ;
- d'une margelle au-dessus du trop-plein ;
- d'une dalle en béton armé en guise de couverture ;
- d'une crépine.

b) Réservoirs

Afin de fournir une alimentation en eau convenable aux localités, trois réservoirs seront mis en place. Ils sont initialement conçus afin de compenser les différences de flux vu que le débit d'amenée est plus ou moins constant et que le débit de distribution est très variable au cours de la journée.

Le **réservoir 2** sert également de brise-charge car il existe une grande dénivellation entre la source d'Andoharano et à approvisionner en eau.

	Réseau 1		Réseau 2
	Réservoir 1	Réservoir 2	Réservoir 3
Consommation avec pertes (m³/j)	20,91	43,91	14,68
Dimensions (m)	Rayon = 1,5 Hauteur = 1,55	Rayon = 1,75 Hauteur = 2,05	Rayon = 1,125 Hauteur = 1,55
Volume total théorique (m³)	8,4	16,3	5,4
Débit d'amenée (m³/h)	10,44	20,16	20,16
Temps de remplissage (h)	0,6	0,6	0,2
Consommation de pointe (m³/h)	1,74	3,66	1,22
Autonomie du réservoir (h)	3,6	3,6	3,6

Tableau 8: caractéristiques des réservoirs

Dans le cadre de ce projet, des réservoirs de forme circulaire seront construits.

c) Unité de traitement

Afin de détruire les organismes pathogènes présents dans l'eau, une petite station de traitement de l'eau sera construite. Elle sera installée juste en amont des réservoirs.

Elle sera principalement composée d'un appareil doseur automatique à débit proportionnel « Dosatron » pour l'injection des réactifs nécessaires à la désinfection au chlore.

d) Équipements de distribution

Différents modes d'accès à l'eau sont disponibles selon les besoins de l'utilisateur final. Dans le cadre de ce projet, ces types d'installations sont disponibles:

- les kiosques à eau, à raison d'un kiosque pour 50 ménages ;
- les branchements particuliers, mais pouvant aussi être partagés par cinq ménages ;
- les branchements institutionnels destinés aux institutions publiques à savoir EPP et CSBII (notamment pour le réseau 1).

e) Conduites

Les conduites d'amenée relient le complexe de captage aux réservoirs et les conduites de distribution prennent ensuite le relai pour desservir les localités.

L'étude hydrodynamique a préconisé l'utilisation de canalisations en PEHD conformes aux normes AFNOR NF 54-063.

Pour le réseau 1, la conduite d'amenée comprendra des tuyaux en Galva de diamètre 50/60 et des tuyaux en PEHD de diamètres 40 mm et 63 mm d'une longueur totale de 3 888 m. Le réseau de distribution sera constitué de tuyaux en PEHD de diamètres variant entre 20 mm et 75 mm totalisant une longueur de 3 600 m.

Quant au réseau 2, la conduite d'amenée comprendra des tuyaux en Galva de diamètre 15/21 et des tuyaux en PEHD de diamètre 40 mm totalisant une longueur de 2 330 m. Le réseau de distribution, quant à lui, sera constitué de tuyaux en PEHD de diamètres variant entre 20 mm et 63 mm d'une longueur totale de 2 509 m.

II.7. Conclusion

L'équipe MaDev a été chargée d'étudier la mise en place d'un réseau d'adduction en eau potable dans la Commune d'Ambano. Une étude des potentialités des ressources en eau a d'abord été effectuée. En parallèle, les besoins en eau de la population locale ont été évalués.

Deux sources sont ainsi retenues dans le cadre de ce projet. L'exploitation des sources d'Andoharano et de Manarilefona permettrait de faciliter grandement l'accès l'eau potable pour les populations de cette zone enclavée.

Le projet d'adduction d'eau présenté par MaDev s'avère être une solution intéressante, vu que la réalisation est relativement simple et que les ressources en eau sont efficacement exploitées. Le site présente par ailleurs un potentiel en eau non négligeable qui mérite d'être pris en compte.

La projection sur 10 ans conforte le fait que ce projet est réellement viable. Sa mise en œuvre ne saurait tarder car il cadre parfaitement au programme Méddea.

CONCLUSION GENERALE

La région du Vakinankaratra présente plusieurs visages. Antanifotsy et Ambano en sont le témoignage flagrant. La première est un vaste carrefour en pleine expansion alors qu'Ambano représente une Commune rurale avec ses Fokontany enclavés. L'approvisionnement en eau potable apparaît cependant d'une manière flagrante comme un problème commun à ces deux localités.

Les visites effectuées dans ces localités ont permis d'étudier deux différents modes d'exploitation des ressources en eau ainsi que leurs phases d'exploitation respectives.

Tout d'abord, l'étude géophysique a mis évidence le potentiel en eau de la Commune d'Antanifotsy. L'implantation de bornes fontaines grâce à l'intervention combinée du CNEAGR et de WaterAid offrira certainement à la population locale un accès facile à l'eau potable.

Du côté d'Ambano, l'installation du système d'adduction d'eau gravitaire contribuera grandement à l'amélioration des conditions de vie dans les villages. Un approvisionnement en eau répondant aux normes sanitaires est un gage d'épanouissement, autant pour les petits commerces que pour les ménages.

Il est cependant regrettable que ces efforts restent ponctuels malgré leur efficacité prouvée à maintes reprises. Dans le cas particulier de la campagne de prospection électrique, l'emplacement des points d'eau a pu être déterminé dans un bref délai avec du matériel relativement léger. Par ailleurs, les travaux effectués à Ambano démontrent un fois de plus que la construction des infrastructures inhérentes à l'approvisionnement en eau est bien à la portée des compétences locales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

- [1] **BESAIRIE H.**, 1973. Précis de géologie malgache. Annales géologiques de Madagascar.
- [2] **GARO JOELSON S.**, 2012. Approche multidisciplinaire de l'étude hydrogéologique du bassin d'Ambovombe Androy dans l'extrême sud de Madagascar. Thèse de doctorat, Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Département de Physique, P 297.
- [3] <http://www.region-vakinankaratra.mg/>, page consultée le 14 février 2013.
- [4] Monographie de la Commune d'Ambano.
- [5] **RAKOTONDRAINIBE J. H.**, 2006. Synthèse de la géologie et de l'hydrogéologie de Madagascar.
- [5] **MaDev**, Novembre 2011. Fiche synoptique du projet.
- [6] **Ministère de l'Energie et des Mines**, Juin 2005. Manuel de procédures pour la mise en place des projets eau et assainissement.
- [7] **RAKOTOARIMANANA**, 2011. Hydrodynamique. Notes de cours MSTGA.
- [8] **RAKOTO H.**, 2003. Caractérisation par géophysique, hydrogéologie classique et hydrochimie des aquifères en zone semi-aride : Exemple du bassin sédimentaire de Beloha, extrême Sud de Madagascar. Thèse de doctorat, Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Département de Physique, P 143.
- [9] **RAMANANTSOA A. H.**, 2000. Prospections électriques à 1D et 2D. Application à l'étude des formations calcaires de Mahaleotse (Toliara) et des formations altérées du socle cristallin à Antananarivo-ville.
- [10] **FAMANTANANTSOANIRINA M. R.**, 2004. Etude de la sensibilité des dispositifs Wenner, Wenner-Schlumberger et dipôle-dipôle en prospection électrique. Application à l'hydrologie et à la détection des cavités.

ANNEXES

Mesures électrique Amparihibe (Prosyst II)

El-array	Spa.1	Spa.2	Spa.3	Spa.4	Rho	Dev.	M	Sp	Vp	In
Wenner VES	0	75	25	50	94.24	0	3.44	197	17.468	29.116
Wenner VES	0	60	20	40	123.7	0	9.33	197	44.801	45.527
Wenner VES	0	45	15	30	182.8	0	10.65	197	149.69	77.168
Wenner VES	0	30	10	20	199.3	0	12.43	197	258.13	81.366
Wenner VES	0	15	5	10	205.4	0	11.67	197	279.12	42.696
Wenner VES	5	65	25	45	142.2	0	9.17	197	61.712	54.52
Wenner VES	5	50	20	35	108.8	0	5.49	197	93.756	81.221
Wenner VES	5	35	15	25	252.3	0	13.07	197	48.107	11.981
Wenner VES	5	20	10	15	99.56	0	10.12	197	245.95	77.61
Wenner VES	10	70	30	50	112.6	0	7.03	197	18.215	20.337
Wenner VES	10	55	25	40	139.3	0	9.39	197	122.89	83.173
Wenner VES	10	40	20	30	164.2	0	8.33	197	145.35	55.636
Wenner VES	10	25	15	20	345.3	0	12.13	197	847.54	77.119
Wenner VES	15	75	35	55	94.34	0	-2.68	197	15.876	21.146
Wenner VES	15	60	30	45	152.2	0	9.85	197	45.954	28.456
Wenner VES	15	45	25	35	114.7	0	6.26	197	69.558	38.122
Wenner VES	15	30	20	25	141.4	0	9.62	197	175.8	39.056
Wenner VES	20	65	35	50	164.7	0	8.2	197	112.28	64.263
Wenner VES	20	50	30	40	162.7	0	10.48	197	320.85	123.948
Wenner VES	20	35	25	30	319.5	0	10.58	197	129.64	12.747
Wenner VES	25	70	40	55	148.3	0	8.24	197	28.591	18.168
Wenner VES	25	55	35	45	256	0	8.77	197	256.3	62.895
Wenner VES	25	40	30	35	429.2	0	11.77	197	622.73	45.586
Wenner VES	30	75	45	60	164	0	7.8	197	48.58	27.92
Wenner VES	30	60	40	50	234.8	0	8.5	197	156.65	41.92
Wenner VES	30	45	35	40	318.3	0	11.14	197	679.14	67.023
Wenner VES	35	65	45	55	182.5	0	6.1	197	34.599	11.913
Wenner VES	35	50	40	45	485.6	0	10.91	197	193.51	12.519
Wenner VES	40	70	50	60	349.4	0	12.88	197	89.617	16.116
Wenner VES	40	55	45	50	330	0	6.55	197	508.5	48.415
Wenner VES	45	75	55	65	396.1	0	10.6	197	173.55	27.528
Wenner VES	45	60	50	55	229.7	0	10.54	197	299.44	40.949
Wenner VES	50	65	55	60	629.1	0	10.97	197	1192.7	59.565
Wenner VES	55	70	60	65	608.2	0	16.82	197	326.11	16.845
Wenner VES	60	75	65	70	656.1	0	15.2	197	464.19	22.225

Mesures électrique EPP Amparihibe (Proslys II)

El-array	Spa.1	Spa.2	Spa.3	Spa.4	Rho	Dev.	M	Sp	Vp	In
Wenner VES	0	75	25	50	18.4	0	-7.36	-80	2.476	21.143
Wenner VES	0	60	20	40	31.57	0	17.93	-80	6.228	24.789
Wenner VES	0	45	15	30	77.18	0	8.47	-80	22.322	27.259
Wenner VES	0	30	10	20	163.73	0	9.62	-80	92.135	35.358
Wenner VES	0	15	5	10	208.42	0	6.19	-80	115.811	17.457
Wenner VES	5	65	25	45	21.67	0	13.43	-80	8.364	48.509
Wenner VES	5	50	20	35	48.99	0	11.87	-80	13.825	26.598
Wenner VES	5	35	15	25	116.27	0	9.89	-80	73.560	39.752
Wenner VES	5	20	10	15	203.24	0	7.18	-80	196.371	30.354
Wenner VES	10	70	30	50	16.88	1	12.19	-80	3.227	24.020
Wenner VES	10	55	25	40	24.52	0	17.85	-80	8.307	31.932
Wenner VES	10	40	20	30	85.4	0	10.46	-80	21.296	15.667
Wenner VES	10	25	15	20	162.59	0	7.28	-80	191.384	36.980
Wenner VES	15	75	35	55	13.16	3	0.96	-80	1.621	15.479
Wenner VES	15	60	30	45	19.8	0	12.53	-80	3.605	17.163
Wenner VES	15	45	25	35	48.87	0	11.73	-80	14.181	18.233
Wenner VES	15	30	20	25	193.74	0	8.7	-80	132.466	21.480
Wenner VES	20	65	35	50	14.07	0	6.37	-80	3.920	26.258
Wenner VES	20	50	30	40	44.77	0	15.75	-80	12.989	18.231
Wenner VES	20	35	25	30	115.27	0	8.44	-80	85.634	23.340
Wenner VES	25	70	40	55	21.48	0	-2.38	-80	5.913	25.940
Wenner VES	25	55	35	45	48.44	0	8.83	-80	27.208	35.289
Wenner VES	25	40	30	35	215.73	0	9	-80	112.642	16.403
Wenner VES	30	75	45	60	16.47	0	2.53	-80	4.991	28.559
Wenner VES	30	60	40	50	36.53	0	5.19	-80	20.612	35.453
Wenner VES	30	45	35	40	77.95	0	9.9	-80	101.160	40.770
Wenner VES	35	65	45	55	23.67	5	-1.69	-80	12.663	33.612
Wenner VES	35	50	40	45	175.18	0	8.67	-80	120.529	21.615
Wenner VES	40	70	50	60	32.12	8	-13.66	-80	6.820	13.342
Wenner VES	40	55	45	50	80.78	0	10.52	-80	39.654	15.423
Wenner VES	45	75	55	65	35.59	3	2.54	-80	12.967	22.892
Wenner VES	45	60	50	55	79.35	0	9.57	-80	68.528	27.130
Wenner VES	50	65	55	60	107.13	1	10.9	-80	81.325	23.847
Wenner VES	55	70	60	65	78.58	1	14.66	-80	58.535	23.401
Wenner VES	60	75	65	70	82.43	2	14.93	-80	55.391	21.112

Mesures électrique à Ankisatra (Prosys II)

El-array	Spa.1	Spa.2	Spa.3	Spa.4	Rho	Dev.	M	Sp	Vp	In
Wenner VES	0	75	25	50	18.4	0	-7.36	-80	2.476	21.143
Wenner VES	0	60	20	40	31.57	0	17.93	-80	6.228	24.789
Wenner VES	0	45	15	30	77.18	0	8.47	-80	22.322	27.259
Wenner VES	0	30	10	20	163.73	0	9.62	-80	92.135	35.358
Wenner VES	0	15	5	10	208.42	0	6.19	-80	115.811	17.457
Wenner VES	5	65	25	45	21.67	0	13.43	-80	8.364	48.509
Wenner VES	5	50	20	35	48.99	0	11.87	-80	13.825	26.598
Wenner VES	5	35	15	25	116.27	0	9.89	-80	73.560	39.752
Wenner VES	5	20	10	15	203.24	0	7.18	-80	196.371	30.354
Wenner VES	10	70	30	50	16.88	1	12.19	-80	3.227	24.020
Wenner VES	10	55	25	40	24.52	0	17.85	-80	8.307	31.932
Wenner VES	10	40	20	30	85.4	0	10.46	-80	21.296	15.667
Wenner VES	10	25	15	20	162.59	0	7.28	-80	191.384	36.980
Wenner VES	15	75	35	55	13.16	3	0.96	-80	1.621	15.479
Wenner VES	15	60	30	45	19.8	0	12.53	-80	3.605	17.163
Wenner VES	15	45	25	35	48.87	0	11.73	-80	14.181	18.233
Wenner VES	15	30	20	25	193.74	0	8.7	-80	132.466	21.480
Wenner VES	20	65	35	50	14.07	0	6.37	-80	3.920	26.258
Wenner VES	20	50	30	40	44.77	0	15.75	-80	12.989	18.231
Wenner VES	20	35	25	30	115.27	0	8.44	-80	85.634	23.340
Wenner VES	25	70	40	55	21.48	0	-2.38	-80	5.913	25.940
Wenner VES	25	55	35	45	48.44	0	8.83	-80	27.208	35.289
Wenner VES	25	40	30	35	215.73	0	9	-80	112.642	16.403
Wenner VES	30	75	45	60	16.47	0	2.53	-80	4.991	28.559
Wenner VES	30	60	40	50	36.53	0	5.19	-80	20.612	35.453
Wenner VES	30	45	35	40	77.95	0	9.9	-80	101.160	40.770
Wenner VES	35	65	45	55	23.67	5	-1.69	-80	12.663	33.612
Wenner VES	35	50	40	45	175.18	0	8.67	-80	120.529	21.615
Wenner VES	40	70	50	60	32.12	8	-13.66	-80	6.820	13.342
Wenner VES	40	55	45	50	80.78	0	10.52	-80	39.654	15.423
Wenner VES	45	75	55	65	35.59	3	2.54	-80	12.967	22.892
Wenner VES	45	60	50	55	79.35	0	9.57	-80	68.528	27.130
Wenner VES	50	65	55	60	107.13	1	10.9	-80	81.325	23.847
Wenner VES	55	70	60	65	78.58	1	14.66	-80	58.535	23.401
Wenner VES	60	75	65	70	82.43	2	14.93	-80	55.391	21.112

Planning prévisionnel d'exécution des travaux

DÉSIGNATION	SEMAINE											
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Installation de chantier et travaux préparatoires												
Construction du captage et ouvrage de traitement												
Terrassement												
Génie civil												
Canalisations, robinetterie et finition												
Fouilles et pose de canalisations												
Conduite d'amenée												
Conduites de distribution												
Construction du réservoir												
Terrassement												
Ferraillage												
Coffrage et décoffrage												
Génie civil												
Canalisations, robinetterie et finition												
Construction des kiosques et bornes fontaines												
Terrassement, génie civil, robinetterie												
Clôture et finition												
Mise en eau												
Réception technique												

Source : MaDev

Ratio par type de service et par zone pour les ménages

Zone	Type de service	Ratio journalier à l'horizon 10 (litre/jour/personne)
1	Kiosque à eau	25
	Branchement partagé	22
	Branchement privé	33
2	Kiosque à eau	21
	Branchement partagé	14
	Branchement privé	25

Ratio par type de service pour les entreprises

Entreprises	Type de service	Ratio journalier à l'horizon 10 (litre/jour/personne)
Gargote	Kiosque à eau	104
	Branchement partagé	191
	Branchement privé	269
Epi-gargote	Kiosque à eau	54
	Branchement partagé	86
	Branchement privé	202
Mofogasy	Kiosque à eau	133
	Branchement partagé	135
	Branchement privé	135

Variations de la répartition par type de branchement pour les ménages

Année	0	10
Alarobia		
Kiosque à eau	50%	25%
Branchement partagé	33%	50%
Branchement privé	17%	25%
Hors Alarobia		
Kiosque à eau	39%	18%
Branchement partagé	49%	65%
Branchement privé	12%	17%

Variations de la répartition par type de branchement pour chaque type d'entreprise

Année	0	10
Gargote		
Kiosque à eau	53%	30%
Branchement partagé	37%	33%
Branchement individuel	10%	13%
Épi gargote		
Kiosque à eau	23%	21%
Branchement partagé	41%	29%
Branchement privé	46%	43%
Mofogasy		
Kiosque à eau	65%	62%
Branchement partagé	30%	29%
Branchement privé	5%	5%

Besoins en eau par zone

Utilisateurs	Effectif actuel	Effectif à l'horizon 10	Unité	Ratio	Unité	Besoin en eau (l/j) à l'horizon 10
POPULATION						
<i>Hors Alarobia</i>	1 437	1 931				33 035
Kiosque à eau	557	351	Pers.	21	l/j/pers.	7 374
Branchement partagé	704	1 258	Pers.	14	l/j/pers.	17 615
Branchement privé	176	322	Pers.	25	l/j/pers.	8 047
<i>Alarobia</i>	568	763				19 465
Kiosque à eau	284	191	Pers.	25	l/j/pers.	4 771
Branchement partagé	189	382	Pers.	22	l/j/pers.	8 397
Branchement privé	95	191	Pers.	33	l/j/pers.	6 298
ENTREPRISES						
<i>Gargote</i>	30	50				6 594
Kiosque à eau	16	16	Unité	104	l/j/unité	1 673

Branchement partagé	11	20	Unité	191	l/j/unité	3 840
Branchement privé	3	4	Unité	269	l/j/unité	1 081
<i>Epi-gargote</i>	13	21				2 637
Kiosque à eau :	3	5	Unité	54	l/j/unité	249
Branchement partagé :	4	6	Unité	86	l/j/unité	528
Branchement privé	6	9	Unité	202	l/j/unité	1 860
<i>Mofogasy</i>	14	23				2 947
Kiosque à eau	9	14	Unité	133	l/j/unité	1 905
Branchement partagé :	4	7	Unité	135	l/j/unité	893
Branchement privé	1	1	Unité	135	l/j/unité	149
INSTITUTIONS						
EPP	520	699	Elèves	2	l/j/Elèves	1398
Terrain de football	1	1	Unité	1000	l/j/Unité	1000
Hôpital	6	6	lits	50	l/j/lit	300
Marché	1	1	Unité	1000	l/j/Unité	1000
Total des besoins en eau					68 375	
Besoins en eau y compris une perte 14 %					79 506	

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
I.1. INTRODUCTION	2
I.2. CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D’ETUDE.....	3
I.2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE	3
I.2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	3
I.2.3. CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE	5
I.2.4. CONTEXTE CLIMATIQUE.....	5
I.2.5. CONTEXTE HYDROLOGIQUE	6
I.3. METHODE DE PROSPECTION ELECTRIQUE	8
I.3.1. LES METHODES GEOPHYSIQUES POUR LA RECHERCHE D’EAUX SOUTERRAINES	8
I.3.2. METHODOLOGIE DE PROSPECTION ELECTRIQUE	8
I.3.3. SONDAGE ELECTRIQUE	9
I.3.4. PANNEAU ELECTRIQUE	12
I.3.5. TRAITEMENT DES DONNEES	15
I.3.6. APPAREIL DE MESURE SYSCAL R2 DE TYPE ELREC T	16
I.4. RESULTATS ET INTERPRETATION	18
I.4.1. VILLAGE D’AMPARIHIBE	18
I.4.2. EPP AMPARIHIBE	21
I.4.3. VILLAGE D’ANKISATRA	23
I.5. CONCLUSION	25
II. 1. INTRODUCTION	26
II. 2. PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE	27
II.2.1. LOCALISATION DES VILLAGES	27
II.2.2. CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE	28
II.2.3. CONTEXTE HYDROLOGIQUE.....	28
II.2.4. CONTEXTE GEOLOGIQUE	29
II.2.5. DEMOGRAPHIE.....	30
II. 3. PRESENTATION DU PROJET	32
II.3.1. OBJECTIF DU PROJET	32
II.3.2. INTERVENANTS	32
II. 4. SYSTEME D’ADDUCTION GRAVITAIRE.....	33
II.4.1. DEFINITION	33
II.4.2. NOTIONS D’HYDRODYNAMIQUE.....	33
II.4.3. QUANTIFICATION DE LA DEMANDE EN EAU	35
II.4.4. RESERVOIRS.....	36
II. 4.5. RESEAU DE CONDUITES	37
II. 5. CARACTERISATION DES SOURCES ET BESOINS EN EAU	39
II.5.1. MESURES DE DEBIT	39
II.5.2. SOURCE D’ANDOHARANO	39
II.5.3. SOURCE DE MANARILEFONA.....	40

II.5.4. BESOINS EN EAU	41
II.6. MISE EN PLACE DU SYSTEME.....	42
II.6.1. PHASE DE RECONNAISSANCE.....	42
II.6.2. AMENAGEMENT	43
II.6.3. RESEAUX DE DISTRIBUTION	44
II.7. CONCLUSION.....	48
CONCLUSION GENERALE.....	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES.....	50
ANNEXES	51
TABLE DES MATIERES	58

ETUDE DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU DANS LES COMMUNES D'ANTANIFOTSY ET D'AMBANO DANS LA REGION DE VAKINANKARATRA

Résumé :

La région du Vakinankaratra possède de nombreuses ressources hydrauliques. Celles-ci sont cependant mal-exploitées, ce qui freine le développement de la région et gâche tout son potentiel agricole.

L'utilisation des eaux des aquifères nécessite une connaissance approfondie des caractéristiques géo-électriques des formations perméables. La prospection électrique a été ainsi utilisée dans la commune d'Antanifotsy pour déterminer l'implantation idéale de puits.

Dans la commune rurale d'Ambano, la mise en place d'un réseau d'adduction d'eau potable a été étudiée. Deux sources situées en amont des villages ont été retenues pour l'approvisionnement de la population en eau potable.

Mots-clés : aquifère, prospection électrique, Vakinankaratra, système gravitaire.

Abstract:

The Vakinankaratra region has many water resources. They are however under-exploited, which slows down the development of the region and spoil its enormous agricultural potential.

The use of groundwater waters requires a thorough knowledge of the geo-electric characteristics of the permeable formations. Electrical prospecting was thus used in the municipality of Antanifotsy to locate optimally the drilling wells.

In the rural municipality of Ambano, the setup of a drinking water distribution system was pored over. Two sources located uphill from the villages have been selected to supply the population with drinking water.

Keywords : aquifer, electric prospecting, Vakinankaratra, gravity-fed system.

RATSIMBASON Tiana

schnuppi@laposte.net

Encadreur: Docteur GARO Joelson Sebille, Chercheur à l'IOGA