

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES ACRONYMES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION

PARTIE 1 : HISTORIQUE ET CONTEXTE GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

1 Historique	1
2- Contexte géographique	1
2.1. Délimitation.....	1
2.2. Milieu physique.....	1
3-Contexte Socio-économique	3
3.1. Milieu humain	3
3.2. Milieu économique.....	5
3.3. Accès à l'eau potable	6
4-Contexte Géologique	8
4.1. Géologie	9
5-Contextes hydrogéologique	10
5.1. Hydrologie.....	10
5.2. Travaux antérieurs.....	11

PARTIE 2 : METHODES ET MATERIELS

1-Les méthodes de prospection géophysique	12
1.1. Généralités.....	12
1.2. La prospection électrique	12
2-La méthode de Polarisation Provoquée (PP)	16
2.1. Mesures de PP	16

PARTIE 3: INTERPRETATION DES RESULTATS ET EVALUATION DES RESERVES EN EAUX SOUTERRAINES

1. Résultats des enquêtes (données de puits).....	19
2 Résultats des mesures et discussions.....	20
2.1 Rappel.....	20
2.2. Résultats de mesures et discussions	21
CONCLUSION.....	45
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	V
ANNEXE 1	VI
ANNEXE 2.....	IX
ANNEXE 3.....	X

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATION

FTM	Foiben-Taosaritanin'i Madagasikara
INSTAT	Institut National de la Statistique
PP	Polarisation Provoquée
PS	Polarisation spontanée
CCPREAS	Cellule de Coordination du Projet de Relance Economique et d'Action Sociale

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de repérage de la zone d'étude.....	2
Figure 2: Cadre géologique de la zone d'étude, extrait de la carte géologique à l'échelle 1:100.000, H.BESAIRIE, feuilles Antananarivo-Manjakandriana et Miarinarivo-Arivonimamo, 1963-1964	9
Figure 3: Carte hydrographique de la zone d'étude. Extrait de la carte hydrographique de Madagascar à 1:500.000.....	11
Figure 4: Dispositif Wenner.....	12
Figure 5: Configuration du dispositif Schlumberger.....	13
Figure 6: Représentation du niveau d'acquisition de données en panneau électrique	14
Figure 7: Profil géophysique en résistivité apparentes mesurées (en haut), recalculées par le logiciel d'inversion (au centre) et vraie (en bas).....	15
Figure 8: Photo de matériel de prospection électrique en panneau électrique	16
Figure 9: Arrangement typique de l'étude IP	17
Figure 10: Phénomène de PP	17
Figure 11: Localisation des puits. Extrait de la carte géologique	20
Figure 12: Plan de masse pour les deux premiers sites (Falihavana et Manjaka Est).....	21
Figure 13: Coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité obtenue à partir du panneau n°1 réalisé dans le village de Merimerina.	22
Figure 14: Coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité du panneau n°2 dans le village de Merimerina.	23
Figure 15: Direction du profil pour le panneau n°3 réalisé dans le village de Manjaka Est et emplacement du sondage	26
Figure 16: Courbe de sondage électrique dans le village de Manjaka Est.....	27
Figure 17: Coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité obtenues à partir du panneau n°3 réalisé dans le village de Manjaka Est.....	28
Figure 18: Coupe géoélectrique de résistivité et de chargeabilité pour le panneau n°4.....	28
Figure 19: Plan de masse pour les sites qui se trouvent dans les Fokontany d'Ambatobe et d'Ampangabe.....	31
Figure 20: Coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité obtenues à partir du panneau n°5 dans le village d'Ampangabe.....	32

Figure 21: Coupes géo électriques de résistivité et de chargeabilité du Panneau n°6 dans le village d'Ampangabe	33
Figure 22: Profil du panneau n° 5	36
Figure 23: Profil du panneau n°6	36
Figure 24: Coupe géoélectriques de résistivité et de chargeabilité obtenues à partir du panneau n°7 réalisé dans le village d'Ankarongana.....	37
Figure 25: Coupe géoélectriques de résistivité et de chargeabilité du panneau n°8 réalisé dans le village d'Ankarongana	37
.Figure 26: Plan de masse du lieu l'emplacement du panneaux dans le Fokontany d'Ambohidreny.....	40
Figure 27: Profil du panneau n°9 dans le village d'Ambohikely Ouest.....	40
Figure 28: Coupe géoélectriques de résistivité et de chargeabilité obtenues avec le panneau n°9 réalisé dans le village d'Ambohikely	41
Figure 29: Coupes géoélectrique de résistivité et de chargeabilité du panneau n°10	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Moyenne pluviométrique pendant 30ans prélevée à la station d'Ambohidratrimo (Source:service Météorologique Ampandrianomby).....	2
Tableau 2:Densité et nombre de la population par Fokontany (Recensement avril 2005 et janvier 2006)	3
Tableau 3: Répartition de la population par classe d'âge et par sexe (monographie de la commune 2004).....	4
Tableau 4: Nombre d'élèves et nombre d'enseignants responsable par niveau.....	4
Tableau 5: Evaluation du besoin en eau pour l'agriculture.....	5
Tableau n°6 : Besoin en eau pour l'élevage.....	6
Tableau 7: Répartition des ménages par source d'approvisionnement en eau (résultats de l'enquête orale).	7
Tableau 8: Inventaire de puits dans la commune rurale d'Ampangabe (Résultat de l'enquête orale, 2006).....	19
Tableau 9: Profondeur de puits existants dans le village de Merimerina.....	22
Tableau 10: Profondeur des puits en fonction de l'altitude dans le village d'Ankarongana.	36
Tableau 11: Emplacement du panneau.....	44
Tableau 12: récapitulatif du volume moyen d'eau estimé et durabilité des nappes trouvées pour chaque site.....	44

INTRODUCTION

L'eau est une source vitale, indispensable à l'homme pour se maintenir en vie, et il faut donc permettre à tous, notamment aux plus pauvre et aux plus démunis d'y accéder. La question de la disponibilité et d'accès à l'eau est sans aucun doute un des problèmes majeurs auquel devra faire face l'humanité durant le siècle à venir. Aujourd'hui on estime en effet qu'un habitant sur cinq de la planète n'a pas accès à l'eau en suffisance et un sur trois a une eau de qualité.

Dans la Commune Rurale d'Ampangabe, il existe des formations présentant des zones aquifères importantes pour les besoins en eau de la population locale. Des méthodes traditionnelles (utilisation des pierres pour connaître le point d'eau, utilisation des matérielles comme les bêches pour creuser de puits,...) ont été déjà utilisées par la population de la commune pour exploiter ces ressources.

L'accroissement de la population, les besoins en eau pour l'agriculture, sans oublier l'élevage de bovins et porcins impliquent une augmentation de la demande des ressources en eaux. Ainsi, la diminution du niveau piézométrique des eaux de source et de puits durant la période d'étiage (mois d'Août à Octobre) et durant la période des pluies dans certains endroits entraîne une insuffisance en eau pour les villageois.

Face à ce problème, on devra faire appel à d'autres moyens pour exploiter ces ressources en eaux souterraines existantes dans la commune.

Le but de notre étude est de donner aux exploitants de forages (en service actuellement et à leurs successeurs) des éléments complémentaires qui seront indispensables à un probable exploitation des ressources en eaux souterraines dans cette région. Nous essayerons aussi d'estimer le volume moyen des nappes aquifères éventuelles de la zone.

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé des méthodes de prospection géophysiques qui sont non destructives (préservation des cibles et de leur environnement) : plus particulièrement le sondage électrique et le panneau électrique. Sur les 12 Fokontany constituant la commune Rurale d'Ampangabe, nous n'avons pas fait les mesures que dans 5 Fokontany (Manjaka Est, Falihavana, Ampangabe, Ambatobe et Ambohidreny), faute de temps.

Pour la présentation de ce mémoire, nous allons voir dans la première partie l'historique et le contexte général de la zone d'étude ; ensuite méthodes et matériels et la troisième partie sera consacrée à l'interprétation des résultats et estimation des réserves en eaux souterraines.

***PARTIE 1 : HISTORIQUE ET CONTEXTE GENERALE DE LA ZONE
D'ETUDE***

Dans cette partie, nous allons parler de l'historique de la commune, des contextes géographiques, socio-économiques, géologique, Hydrogéologique et géophysique.

1 Historique

Jusqu'en 1972, la commune rurale d'Ampangabe, nommé " Canton d'Ampangabe" était constituée par : Ampangabe, Fiadanana et Mahereza. Il y avait éclatement de ce canton en trois Firaism-pokontany en 1973 : Firaism-pokontany de Fiadanana, de Mahereza et d'Ampangabe.

Jusqu'en 1995, elle portait le nom de Firaism-pokontany d'Ampangabe et c'est à partir de 1995 qu'elle devient la Commune Rurale d'Ampangabe.

2- Contexte géographique

Cette partie consiste à présenter la délimitation de la zone d'étude et son milieu physique.

2.1. Délimitation

La Commune Rurale d'Ampangabe est délimitée par les communes suivantes:

- ♣ à l'Est par la Commune Rurale d'Ambohitrimanjaka
- ♣ au Nord par la Commune Rurale d'Iarinarivo
- ♣ à l'Ouest par la Commune Rurale d'Antambolo (District d'Arivonimamo)
- ♣ au Sud par les Communes Rurales de Fiadanana et de Mahereza

2.2. Milieu physique

Nous parlerons ici du relief, de la végétation, du climat caractérisant la zone d'étude.

2.2.1. Le relief

La région d'Ampangabe est une région peu accidentée. Elle est constituée par:

- ♣ les vastes bassins d'Andromba à l'Ouest et Ampangabe à l'Est. Ces vastes bassins sont surtout réservés à la culture du riz de première saison ou "Vary aloha"
- ♣ des collines éparses séparées par des bassins constitués d'importantes rizières de deuxième saison ou "Vakiambiaty"

Il y aussi la montagne d'Imongo qui est la plus culminante des collines.

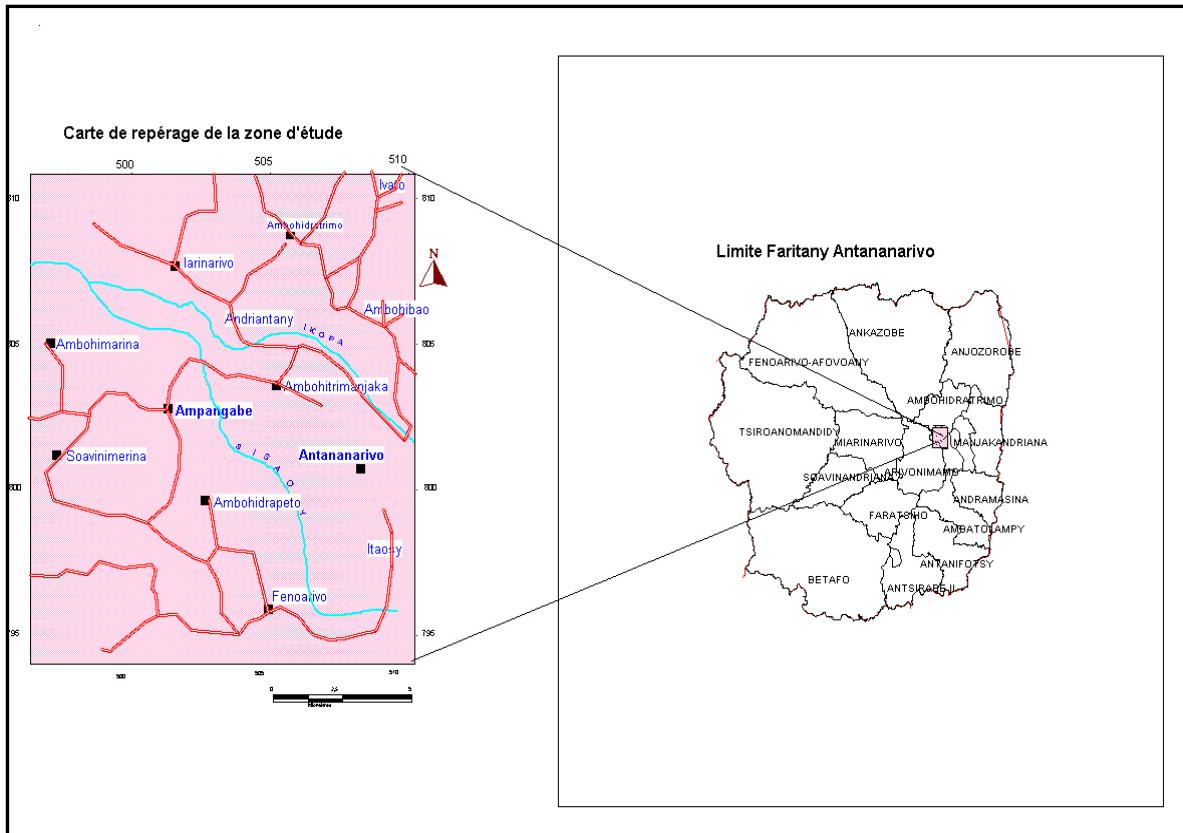


Figure 1: carte de localisation de la zone d'étude

2.2.2. La végétation

En général, il n'y a pas de forêts naturelles dans cette région. Les parties reboisées sont très importantes dans la partie Ouest, c'est-à-dire, sur les parties de Miadamanjaka, Soamanjaka et Ambohimiandra.

La superficie totale de terrains reboisés en eucalyptus est de 560ha.

2.2.3. Le climat

Cette région est caractérisée par le climat des hauts Plateaux dont la caractéristique essentielle est une alternance marquée entre une saison sèche et une saison dite "des pluies" en plus d'un hiver doux.

Concernant la pluviométrie, la station pluviométrique d'Ambohidratrimo (la plus proche de la zone d'étude) a donné la moyenne suivante durant 30 ans:

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	JUIL.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOT.
Normales	195.4	169.5	142.7	32.5	12.2	9.0	6.3	11.5	9.5	63.9	133	211.9	997
Nb. Jours	13.4	11.3	10.7	4.6	1.7	1.4	2.4	2.1	1.7	5.3	11.9	14.6	81

Tableau 1: Moyenne pluviométrique pendant 30ans prélevée à la station d'Ambohidratrimo
(Source: service Météorologique Ampandrianomby).

D'après ce tableau, la pluviométrie annuelle est de **997mm** avec **144mm** durant la saison sèche (Avril à Octobre) et de **853mm** durant la saison des pluies (de Novembre à Mars).

La pluviométrie et le nombre de jours de pluies ont leurs maxima durant les mois de Décembre et Janvier, ce qui veut dire que les pluies sont très intense durant ces mois.

3-Contexte Socio-économique

3.1. Milieu humain

La Commune Rurale d'Ampangabe est composée de 12 Fokontany et compte **9129** habitants en Avril 2005 et **9888** habitants en Janvier 2006. Le tableau suivant donne le nombre et la densité (par Km²) de la population par Fokontany durant les deux dernières années.

N°	Fokontany	Superficie en km ²	Nombre D'habitants (avril 2005)	Densité par km ² (avril 2005)	Nombre D'habitants (Janvier 2006)	Densité par km ² (Janvier 2006)
01	Ampangabe	08	1707	213	1784	223
02	Soamanjaka	10	983	98	1085	108
03	Ambatobe	08	825	103	881	110
04	Ambohibary	04	438	109	479	120
05	Manjaka Est	07	971	139	1210	173
06	Ikianja	08	660	82	700	87
07	Ambohimiandra	09	363	40	395	44
08	Ampandrilaza	10	947	95	1068	107
09	Ambohidreny	09	1060	118	997	111
10	Antananambony	04	402	100	470	117
11	Falihavana	06	362	60	407	68
12	Anakakondro	09	411	46	412	46
	TOTAL	92	9129	99	9888	107

Tableau 2:Densité et nombre de la population par Fokontany (Recensement avril 2005 et janvier 2006)

Sur ce tableau, les parties en gras constituent les endroits où on avait fait la mesure géophysique.

Au cours de ces deux dernières années, l'augmentation de la population est de 8.31%. Cette augmentation est très forte pour les Fokontany d'Ampangabe, de Soamanjaka et d'Ampandrilaza. Par contre, il y a une diminution pour le Fokontany d'Ambohidreny et presque constante pour les autres Fokontany.

Les Fokontany d'Ampangabe (centre de la commune) d'Ambohidreny et de Soamanjaka dénombrent une population élevée. Sur les autres Fokontany, les chiffres sont presque les mêmes.

Nous verrons dans le tableau suivant la répartition de la population par classe d'âge et par sexe.

Age et Sexe	0 à 5 ans	5 à 18 ans	18 à 60 ans	+ 60 ans	Total	%
Masculin	897	1326	2095	242	4560	52
Féminin	839	1286	1864	237	4226	48
Total	1736	2612	3959	479		
%	19	30	45	5		8786

Tableau 3: Répartition de la population par classe d'âge et par sexe (monographie de la commune 2004).

Ce tableau nous montre que la majorité de la population de la commune est en âge de travailler (18 à 60 ans). Moins de la moitié de la population ont moins de 18 ans (48 %) et les plus de soixante ans ne constituent qu'une infime partie de la population.

3.1.1. Education et Santé

Actuellement, la Commune compte un CEG (Centre d'Enseignement Secondaire), 5 EPP (Ecole Primaire Publique) et 5 écoles privés. Le tableau ci-dessous nous donnera de renseignement concernant le nombre d'élèves et d'enseignants responsable par niveau.

	Niveau 1 (Primaire)	Niveau 2 (Secondaire)
Nombre d'élèves	2025	383
Nombre d'enseignants	15	19

Tableau 4: Nombre d'élèves et nombre d'enseignants responsable par niveau.

Concernant le Service Sanitaire, la Commune compte un CSB2 et deux dépôts de médicaments. Le taux de mortalité est très faible et celle de natalité est de **2.7%** (27 accouchements par mois)

3.2. Milieu économique

3.2.1. Agriculture

L'économie de la région est basée essentiellement sur l'agriculture, et le riz en est la principale ressource. 60% de la population sont des agriculteurs. Concernant la production de riz, il existe deux saisons de culture:

- le "Vary aloha: mois de Septembre
- le "Vakiambiaty composé de 3 périodes
 1. à partir de Décembre: sur la vallée contenant des sources naturelles qui coulent
 2. le "Sakamaina" est un type de culture pluviale (généralement le mois de Janvier)
 3. le "Vary tsaika" en mois de Décembre

A part le riz, les villageois produisent aussi des légumes, du manioc, céréales,...

3.2.2. Besoin en eau pour l'agriculture

Cultures vivrières	Riz	Manioc	Maïs	Patate	Haricot	Pomme de terre
Surface en ha	1 436	19,8	37	12	56	24
Besoin en eau m ³ /j/ha	70	42	57	54	37	49
Quantité d'eau m ³ /j	100 520	831,6	2 109	648	2 072	1 176

Tableau 5: Evaluation du besoin en eau pour l'agriculture

Source : Fiches monographiques de la commune Rurale d'Ampangabe (pour les surfaces) et document FAO (cas général) pour les besoins en eau

3.2.3. Elevage

Les principaux types d'élevage existant dans la commune sont: Ceux du bovin, du porcin et du poulet. En plus, les villageois font aussi de la pisciculture car 40% de la population font la pêche et 20% de la population travaillent sur des autres secteurs.

Le non fonctionnement du barrage d'Andromba qui arrose plus de 800ha de rizières constitue un des problèmes majeurs pour l'agriculture.

Espèce	Bovins	Porcins	Volailles
Nombre	3 600	500	6 500
Besoins/tête/j (m ³)	0,06	0n05	0,01
Quantité d'eau/j (m ³)	216	25	65

Tableau n°6 : Besoin en eau pour l'élevage (source : Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche)

3.2.4 Environnement et Voies de Communication

Les types de climat et de sol dans cette région sont favorables en eucalyptus. Les forêts de reboisement Talata-Falihavana ont une superficie égale à 12ha en 2003 et celles des forêts de particuliers ont 620ha de superficie.

Concernant les voies de communication, la RN58A qui traverse la commune a été réhabilitée par l'entreprise SARA en 2003. Les pistes dans la commune nécessitent un entretien annuel permanent à cause du nombre important de charrettes qui tracent leurs sillons gênants dans les pistes en terre.

3.3. Accès à l'eau potable

Le secteur de l'eau, de l'hygiène et de l'assainissement est reconnu comme un élément clé pour la lutte contre la pauvreté. L'eau potable est l'un des critères indispensables pour satisfaire le droit à un niveau de vie suffisant reconnu par tous les Etats dans la déclaration Universelle des Droits de l'Homme. Ainsi, l'accès à l'eau potable s'inscrit parmi les objectifs du millénaire adoptés en septembre 2000 afin de réduire de moitié la pauvreté d'ici 2015.

Au niveau de la commune rurale d'Ampangabe, les villageois se sont approvisionnés à partir des puits et des sources. Sur les 12 Fokontany visités, on a identifié **206 puits et 61 sources**.

Le tableau suivant donne les types d'approvisionnement en eau pour chaque Fokontany et le nombre de ménages qui les utilisent.

N°	Fokontany	Nombre de Puits	Nombre de Ménage utilisant les puits	Nombre de Sources	Nombre de ménage utilisant la source
01	Ampangabe	50	72	11	32
02	Soamanjaka	29	25	03	10
03	Ambatobe	14	29	05	20
04	Ambohibary	11	36	01	8
05	Manjaka Est	21	49	03	70
06	Ikianja	18	41	05	35
07	Ambohimiandra	14	14	5	30
08	Ampandrilaza	18	36	12	24
09	Ambohidreny	8	224 personnes	7	933 personnes
10	Antananambony	02	02 ménages	03	5 villages
11	Falihavana	17	22	05	57
12	Anakakondro	04	08	06	59
	TOTAL	206	522	61	1124

Tableau 7: Répartition des ménages par source d'approvisionnement en eau (résultats de l'enquête orale).

Pour le Fokontany d'Ampangabe, les villageois s'approvisionnent tous en eau à partir de puits (47 puits fonctionnels recensés). Notons que dans des nombreux villages, un puits est utilisé pour 11 ménages, ceci causera un problème durant la période où il y a diminution du niveau piézométrique de l'eau.

Le Fokontany d'Anakakondro est située dans une région à très haute altitude et les villageois ont beaucoup de difficultés pour trouver de l'eau, d'où le nombre très rare des puits. Mais ce cas se présente aussi dans des autres endroits comme les villages de Manjaka, Ikianja, Andranovelona, Anjanakavo ambony.

Le village d'Anakakondro possède une source naturelle réhabilitée par HUMA MADA (sous forme de robinet) (coordonnées GPS : S 18°53.242' et 47°22.608'). Il en est de même pour les villages de Sarimanina (coordonnées : S 18°52.740' et E 047°22.988') et d'Ikianja (coordonnées : S 18°52.949' et E 047°21.845') mais ces sont les étudiants stagiaires en médecine français qui les ont réhabilités.

3.3.1. Qualité des eaux

Le traitement de l'eau est l'une des conditions pour l'obtention d'eau potable. Ce traitement est en effet important surtout pour les ménages qui ne peuvent que s'approvisionner en eau dont la potabilité ne fût pas sûre. Selon une enquête orale, les villageois d'Ampangabe la font bouillir avant de la boire. L'utilisation de la désinfection comme le « sur'eau » et l' « eau de javel » n'est pas encore courante chez les ménages (sauf quelques habitants dans le Fokontany d'Ambatobe utilisent le « Sur'eau »).

Comme le système le plus utilisé dans la commune rurale d'Ampangabe sont les sources non protégées et les puits traditionnels, et comme la principale source d'eau se trouve à l'extérieur de l'habitation des ménages, le transport et le stockage d'eau ont leur importance dans la détermination des comportements susceptibles d'être nuisibles à la santé. Il est question ici principalement de la propreté des récipients utilisés par les villageois et cette propreté des récipients est différente pour chaque ménage, elle dépend du milieu de résidence, du mode de vie et du niveau de vie du ménage.

A remarquer ici que cette notion de propreté de l'eau n'est pas encore acquise par la plupart des ménages dans la commune rurale d'Ampangabe.

4-Contexte Géologique

Dans cette partie, on étudiera la géologie constituant la zone d'étude.

4.1. Géologie

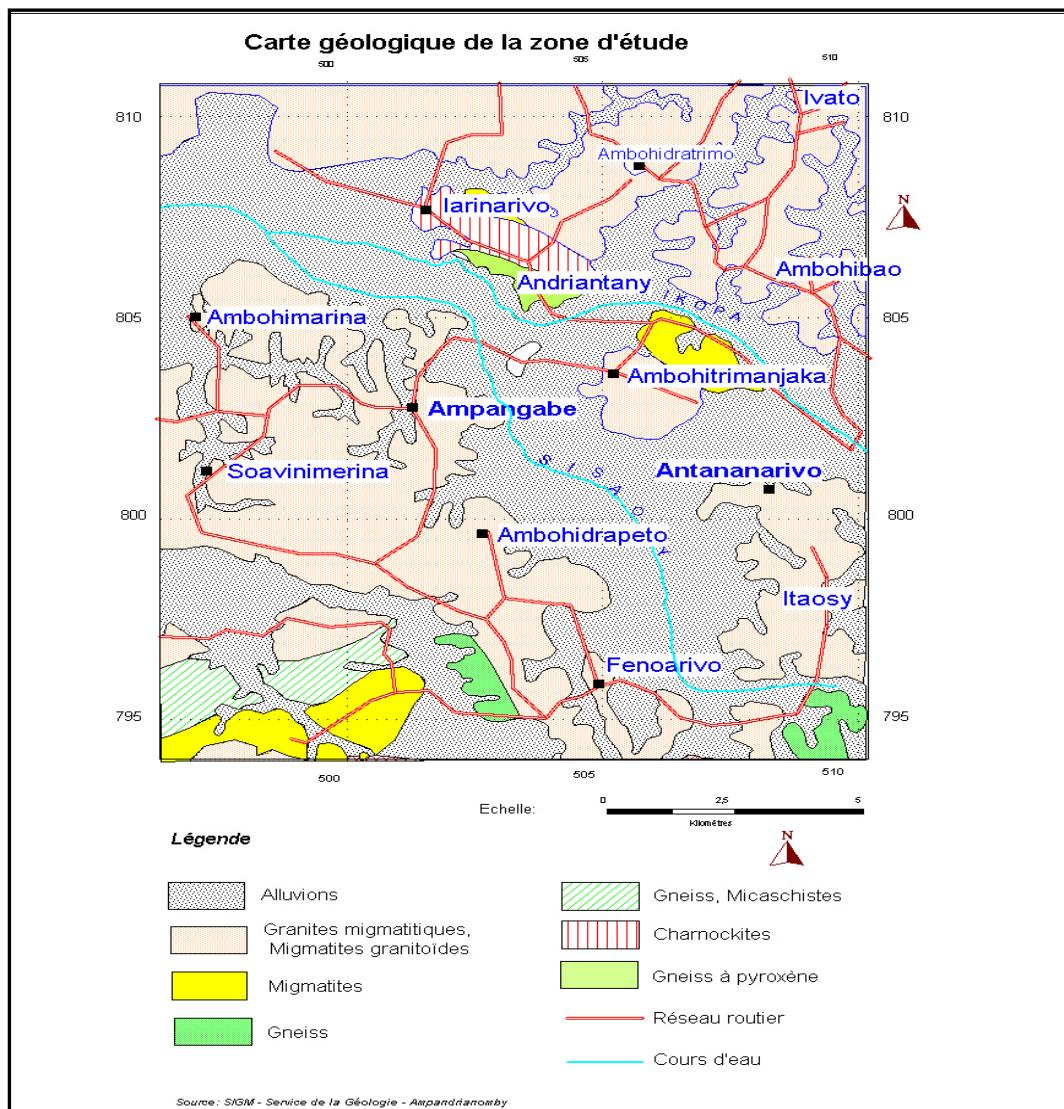


Figure 2: Cadre géologique de la zone d'étude, extrait de la carte géologique à l'échelle 1:100.000, H.BESAIRIE, feuilles Antananarivo-Manjakandriana et Miarinarivo-Arivonimamo, 1963-1964.

La région d'Ampangabe appartient au système de graphite et au groupe d'Andriba. Elle est constituée des migmatites granitoïdes, des migmatites et quelques granites intrusifs.

4.1.1. Les granites migmatitiques

Ces sont des massifs essentiellement formés par de roches à caractère granitique franc. Sous la dénomination des migmatites granitoïdes, tout un ensemble de migmatites plus ou moins granitisées, renfermant parfois d'importantes enclaves de migmatites schisteuses.

4.1.2. Migmatites granitoïdes

Ces sont des roches généralement leucocrates, avec un alignement discontinu des minéraux colorés, indiquant sur le terrain une schistosité encore nette, mais qui n'a pas la régularité d'une schistosité gneissique ou rubanée.

La différence entre les granites migmatitiques et les migmatites granitoïdes est essentiellement basée sur des observations de terrain.

Toutes ces deux roches ont une composition à peu près identique si l'on ne tient pas compte des proportions relatives des minéraux ferromagnésiens et des feldspaths potassiques.

4.1.3. Les migmatites

- Migmatites "lit par lit": Il conserve une structure gneissique nette, avec lits parallèles plus ou moins fins, très continue, et alternativement ferromagnésiens et quatzofeldspathique.
- Les migmatites oeillés
- Les migmatites fortement granitisés sont très proches des granites. Elles sont connues sous le nom de migmatites granitoïdes (présentent beaucoup d'analogies avec les granites migmatitiques)

Ces migmatites sont assez rares et de faible extension. Elles se présentent sous forme de lambeaux discontinus, pincés dans les granites.

4.1.4. Les alluvions

La grande zone de marais et de rizières qui s'étendent autour du confluent de l'Andromba, de Sisaony et de l'Ikopa, et la vaste dépression lacustre et marécageuse méritent vraiment le nom de plaines alluviales.

La partie Sud (Manjaka Est, Falihavana) et Sud Ouest de la région d'Ampangabe sont situés dans une zone affleurante du socle.

5-Contextes hydrogéologique

Cette partie concerne l'hydrologie constituant la zone d'étude et les travaux antérieurs déjà faites dans cette zone par la méthode géophysique.

5.1. Hydrologie

Les rivières de Sisaony, de l'Ikopa et d'Andromba constituent les principaux cours d'eau de la commune. Les rivières de Sisaony (au Nord Est de la commune) et de l'Ikopa (au Nord de la commune) prennent ses sources au lac de Tsiazompaniry (Ambohimiadana Est) et au lac de Mantasoa en plus pour Ikopa. Ces deux rivières se rejoignent au Nord de la commune d'Ampangabe. Quant à la rivière d'Andromba (à l'Ouest de la commune), elle

constitue une limite entre les districts d'Ambohidratrimo et Arivonimamo. Cette rivière se rejoint la rivière Ikopa à l'Est d'Ambohimanoa.

En résumé, ces trois rivières constituent des limites pour la commune rurale d'Ampangabe.

Concernant le niveau piézométrique de l'eau, varie suivant la période des pluies : il est très bas durant la période d'étiage et c'est la nappe aquifère qui les alimente; il augmente durant la période des pluies (période des crues).



Figure 3: Carte hydrographique de la zone d'étude. Extrait de la carte hydrographique de Madagascar à 1:500.000

5.2. Travaux antérieurs

Une étude préliminaire pour la recherche d'eau souterraine faite par un particulier dans le **Fokontany d'Ambatobe** (en utilisant la méthode de prospection électrique 2D en 2005, au point de coordonnées S 18°51.331' et E 047°24.088', d'altitude 1276m a permis de déterminer la succession des couches comme suit:

- une couche superficielle constituée de latérites
- puis une couche formée de sable argileux
- ensuite une couche constituée de l'argile
- et enfin le socle cristallin

Cette étude a confirmé que la nappe aquifère se trouve sur la deuxième couche constituée par du sable argileux. Cette nappe se trouve entre 12.5m et 15m de profondeur et en creusant de puits sur le même endroit où ils ont fait la mesure, le villageois qui y habite a trouvé de l'eau à partir de 8 m de profondeur.

PARTIE 2 : METHODES ET MATERIELS

1-Les méthodes de prospection géophysique

1.1. Généralités

La géophysique appliquée fait partie des sciences de la Terre. La géophysique appliquée se présente comme une étude physique du sous sol et dont la dénomination "appliquée" vient du fait que ce sous sol contient des matières premières susceptibles d'être exploitées par l'homme.

Elle peut se définir comme une science qui utilise les propriétés physiques de la Terre pour détecter les substances utiles qui s'y trouvent. L'opération correspondante qui s'appelle prospection géophysique utilise quatre méthodes principales : les méthodes gravimétrique, magnétique, sismique et électrique. C'est la méthode électrique qui est la plus utilisée en hydrogéologie. Cette technique consiste à faire des mesures de résistivité en surface, et d'en déduire la distribution des résistivités du sous-sol, pour essayer d'obtenir des informations (emplacement, profondeur du toit, géométrie, volume...) sur les formations ou nappes aquifères potentielles

Dans cette étude, nous appliquerons **la méthode de prospection électrique**, où seront précisées les techniques **de sondage électrique, de profilage ou traîné électrique et de tomographie électrique (ou par abus de langage « panneau électrique 2D »)**.

1.2. La prospection électrique

La méthode électrique est basée sur l'aptitude d'un courant électrique continu à traverser les diverses formations du sous-sol : chaque formation est alors caractérisée par le paramètre physique « résistivité apparente ». A l'aide de quatre électrodes, deux d'injection de courant (notées généralement A et B) et deux de mesure de potentiel (notées généralement M et N), il est possible de connaître la résistivité apparente du sous-sol. Le positionnement de ces électrodes en surface est variable et influence la répartition du courant dans le sous-sol. On va alors définir divers dispositifs qui ont chacun leurs propres avantages et inconvénients. La figure ci-dessous représente le dispositif utilisé en panneau électrique 2D.

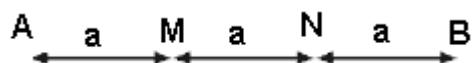


Figure 4 : dispositif Wenner

K : facteur géométrique : $K = 2 * \pi * a$

a : distance MN

La résistivité notée ρ du sous-sol est obtenue à partir de la relation suivante :

$$\rho = K * \frac{\Delta V}{I}$$

ΔV : Différence de potentiel

I : Courant injecté

1.2.1. Le sondage électrique

C'est une technique qui permet une investigation en profondeur du sous sol, au cours de laquelle les 4 électrodes (2 électrodes de courant et 2 électrodes de potentielle) sont alignées et disposées symétriquement de part et d'autre du point de mesure (dispositif de Schlumberger)

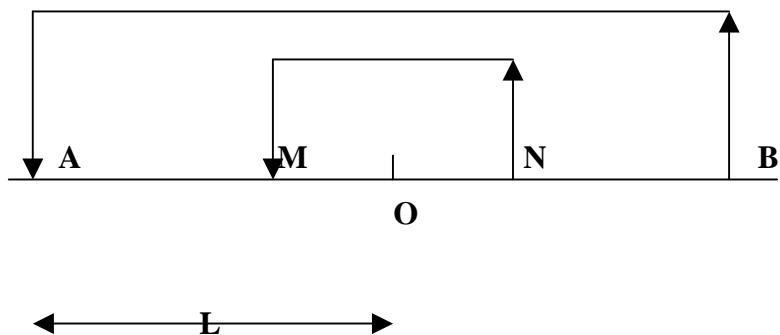


Figure 5: configuration du dispositif Schlumberger

On fait varier la longueur AB en laissant le point O fixe, centre de AB et de MN fixe. On peut alors tracer la courbe représentative de résistivité apparente (ρ_a) en fonction de la longueur $L = AB/2$. Cette courbe constitue le document d'interprétation de base et est appelée « courbe de sondage »

1.2.2. Le profilage ou trainé électrique

C'est une technique d'exploration horizontale du sous-sol. Il s'agit de déplacer un quadripôle AMNB de dimension fixe (correspondant à une profondeur d'investigation donnée) sur le site à explorer. A chaque station, on fait une mesure de ρ_a (résistivité apparente) pour une profondeur donnée. Si les mesures se font sur une ligne, on établit un profil de résistivité (à une dimension).

1.2.3. Le panneau électrique 2D

Le panneau électrique 2D est une technique de prospection électrique qui permet d'acquérir un grand nombre de mesures correspondant à différentes combinaisons possibles des électrodes à partir d'une série d'électrodes (une série composée de 32 électrodes).

Le panneau électrique peut se définir aussi comme une combinaison de deux méthodes de prospection électrique: celle du sondage électrique et celle du profilage électrique. Mais on peut la considérer aussi comme une combinaison de plusieurs sondages électriques dont les centre de mesure placé les uns à côté des autres sont aligné suivant un profil.

Enfin, cette méthode consiste surtout à étudier les variations de résistivité aussi bien latérales que verticales générées par des structures géologiques ou des hétérogénéités du sous-sol à 2D.

1.2.3.1. Mécanisme d'acquisition de données

Le dispositif utilisé en panneau électrique est le dispositif de Wenner et le mécanisme d'acquisition de données se déroule comme suit : les quatre premières électrodes (1 à 4) sont utilisés pour la première mesure, les électrodes 1 et 4 servent à l'injection du courant et 2 et 3 à la mesure du potentiel. Puis, les électrodes 2 et 5 serviront alors à l'injection du courant et les 3 et 4 les mesures du potentiel. Le processus se répète jusqu'à ce que toutes les 32 électrodes soient utilisées.

En prenant le cas général en utilisant N électrodes et M le nombre de mesures à effectuer, on a :

$$M = N-3 \times n \text{ où } n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots \text{ constitue le niveau d'acquisition}$$

Prenons par exemple $M = 27$

$$\text{Pour } n = 1, M = 27 - (3 \times 1) = 24; \quad n = 2, M = 27 - (3 \times 2) = 21;$$

$$n = 3, M = 27 - (3 \times 3) = 19; \quad n = 4, M = 27 - (3 \times 4) = 16;$$

$$n = 5, M = 27 - (3 \times 5) = 13; \quad n = 6, M = 27 - (3 \times 6) = 10;$$

$$n = 7, M = 27 - (3 \times 7) = 7; \quad n = 8, M = 27 - (3 \times 8) = 4$$

$$n = 9, M = 27 - (3 \times 9) = 1$$

On a donc au total plus de 115 mesures à effectuer pour un nombre d'électrode égale à 27 et 155 pour 32 électrodes.

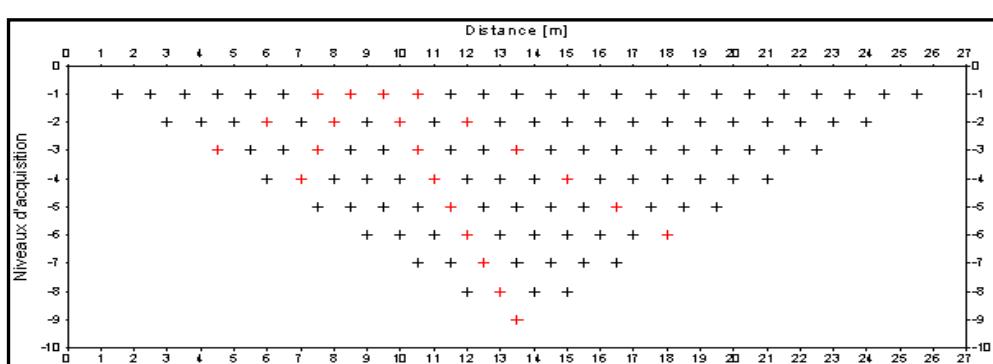


Figure 6: représentation des niveaux d'acquisition de données en panneau électrique

1.2.3.2. Traitement et interprétation des données

Le traitement consiste surtout à établir un modèle 2D du sous sol. On traite les données recueillies à l'aide du programme RES2DINV élaboré par M.Loke et ce programme détermine automatiquement la pseudo-section en utilisant les valeurs de résistivité apparentes mesurés (ρ_a). Ce traitement s'effectue en trois étapes qui sont:

- la lecture du fichier des données
- l'inversion itérative par moindres carrés
- la détermination du modèle 2D du sous-sol

Pour le calcul de la résistivité et pour le lissage du modèle approximatif, l'inversion utilise la méthode des différences finies. Elle continue cette méthode jusqu'à ce que le RMS (Root-Mean-Square) ou écart quadratique moyen soit le plus petit possible (moins de 5%). Le modèle final est déterminé à la fin de l'itération sous forme de coupe géoélectrique 2D comme l'indique la figure n°7 :

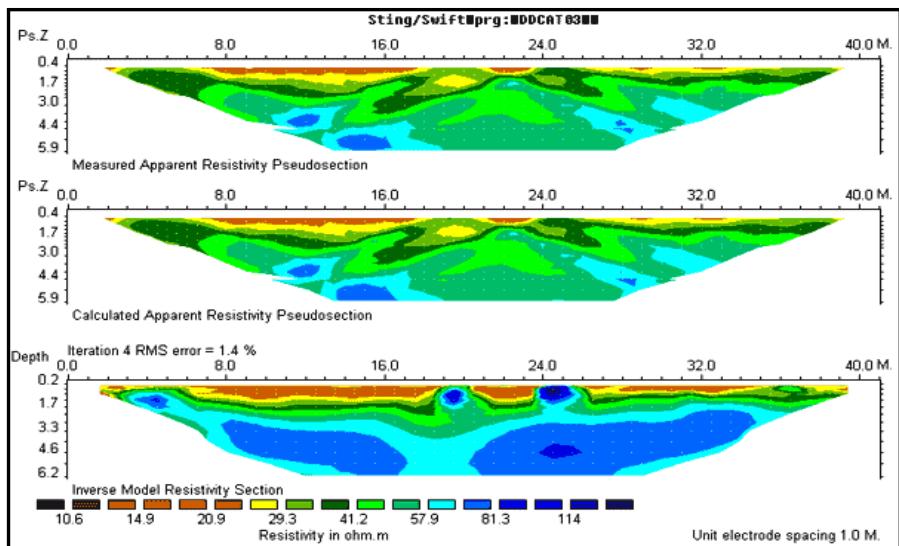


Figure 7 : Profil de résistivité apparentes mesurées (en haut), recalculées par le logiciel d'inversion (au centre) et model après inversion (en bas).

1.2.3.3. Appareillage

Lors de la campagne géophysique, on a utilisé le résistivimètre électrique SYSCAL R2 développé par Iris instruments. Ce résistivimètre est caractérisé par:

1. une tension de sortie de 800Volts (1600V crête à crête)
2. un courant de sortie maximum jusqu'à 2.5A
3. une puissance de sortie maximum de 1600Watts
4. une impédance d'entrée de $10M\Omega$

- 5.
6. une gamme de tension d'entrée de -5 à +5V
7. une compensation automatique de la PS (-5 à +5V) avec une correction linéaire de la dérive (jusqu'à 1mV/s),
8. une mesure de la prise de résistance de prise de terre de 0.1 à 1000KΩ

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

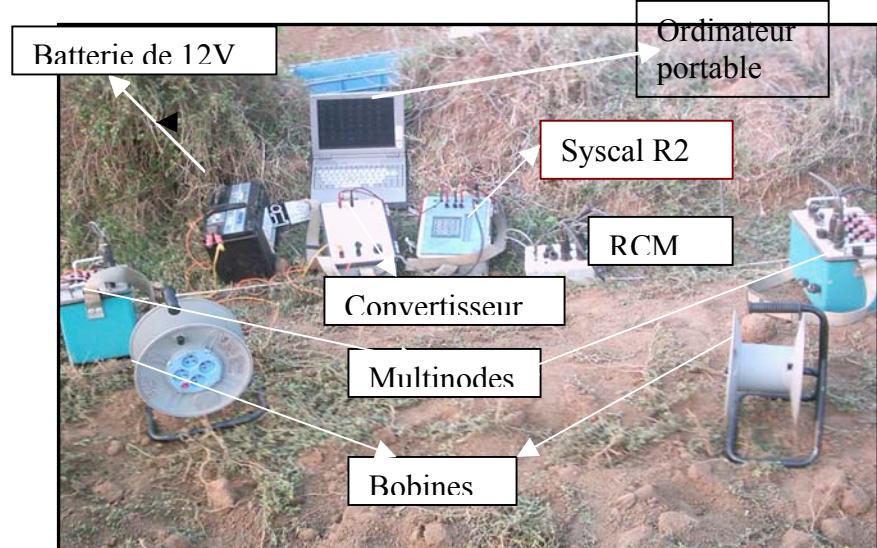


Figure 8: Matériel de prospection électrique disposé en panneau électrique

2-La méthode de Polarisation Provoquée (PP)

En 1912, Conrad Schlumberger a observé l'effet de la Polarisation Provoquée (PP) dans un milieu géologique. On suppose qu'un potentiel est mesuré instantanément lorsqu'on interrompt l'injection de courant dans le sol. Il existe un certain temps ou période transitoire où le potentiel atteint son maximum (injection de courant) et aussi pour qu'il tombe à zéro (coupure de courant).

2.1. Mesures de PP

Pour mesurer le PP, on utilise un appareil qui utilise un courant électrique en forme de créneaux bipolaires séparés par des interruptions d'injection. Ainsi, en utilisant un dispositif classique ABMN, on envoie dans le sol ce type de courant entre A et B et on constate, lors des interruptions d'injection qu'il subsiste entre M et N une différence de potentiel qui se dissipe plus ou moins rapidement. Ce potentiel résiduel est appelé « Polarisation Provoquée ».

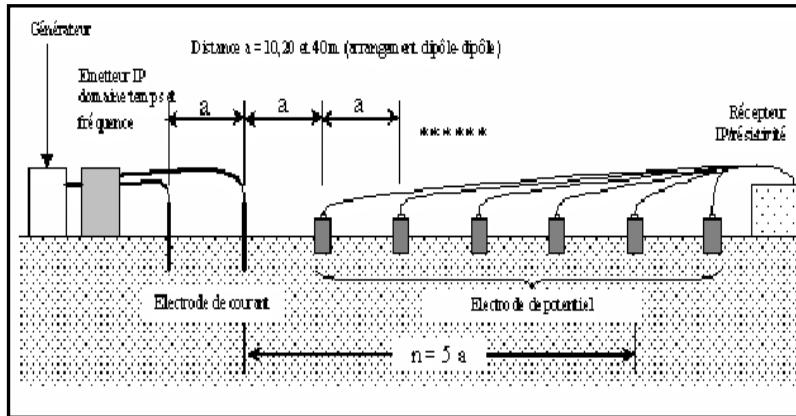


Figure 9: Arrangement typique de l'étude PP

2.1.1. Polarisabilité

Dans ce cas, on étudie la décroissance de la tension entre M et N après coupure du courant et on calcul la polarisabilité à un instant t . Cette mesure est appelée « polarisabilité apparente ». En effet, les effets peuvent provenir de la polarisabilité de plusieurs corps compte tenu des hétérogénéités que l'on peut rencontrer dans les sous sols, en pratique :

$$P_a = \frac{\Delta V_p}{\Delta V_o}$$

Où :

P_a : Polarisabilité apparente

ΔV_p : Potentiel mesuré à l'instant t

ΔV_o : Potentiel juste avant l'interruption du courant à $t = 0$

2.1.2. Chargeabilité

Elle est exprimée par l'intégrale du temps de décroissance, correspondant à l'aire située sous la courbe entre deux temps t_1 et t_2 après coupure de courant. Elle est exprimée en mV/V.

$$M_a = \frac{1}{\Delta V_o} \int \Delta V_p(t) \cdot dt = \frac{A}{\Delta V_o}$$

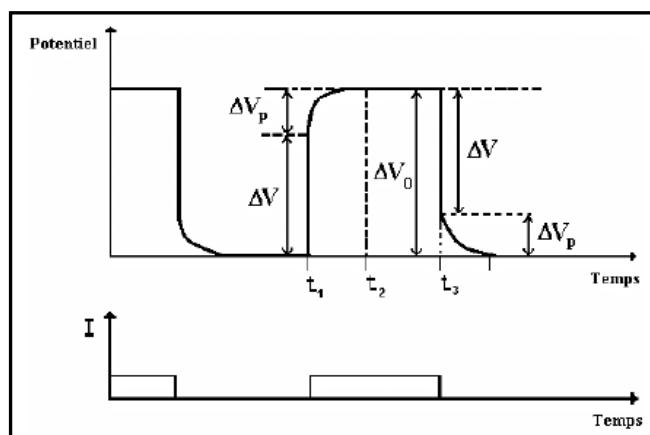


Figure 10: Phénomène de PP

Les valeurs de la chargeabilité supérieures à 10mV/V signifient que le temps de décharge est lent (pour les formations argileuses). Par contre ce temps de décharge est plus rapide pour les valeurs de chargeabilité inférieures à 10mV/V . Ainsi, si la valeur de résistivité apparente d'une couche est supérieure à $50\Omega\text{ m}$ et la valeur de chargeabilité correspondante à cette valeur de résistivité est inférieure à 10mV/V , alors, on aura une bonne nappe.

***PARTIE 3: INTERPRETATION DES RESULTATS ET EVALUATION DES
RESERVES EN EAUX SOUTERRAINES***

Dans cette partie, on va interpréter les données obtenues sur terrain durant le stage

1. Résultats des enquêtes (données de puits)

On interprétera ici les profondeurs de puits et sa répartition suivant ses lieux d'emplacement.

Inventaires de puits

Fokontany	Nombre de village	Profondeur de puits en m		
		Minimale	Maximale	Moyenne
Ampangabe	7	10	23	18 et 20
Soamanjaka	5	9	22	18
Ambatobe	3	8	20	18
Ambohibary	3	12	18	12
Manjaka Est	4	13	24	14
Ikianja	5	6	18	15
Ampandrilaza	5	16	17	17
Ambohidreny	4	14	14	14
Antananambony	5	17	17	17
Falihavana	3	7	24	16
Anakakondro	4	15	20	17

Tableau 8: Inventaire de puits dans la commune rurale d'Ampangabe (Résultat de l'enquête orale, 2006).

Ce tableau nous montre les profondeurs maximale et minimale de puits pour chaque Fokontany de la commune Rurale d'Ampangabe.

On voit sur ce tableau que pour la Commune Rurale d'Ampangabe, la profondeur minimale de puits est de 6 m (en gras sur le tableau) et la maximale de 24 m. Cette profondeur minimale se trouve dans le Fokontany d'Ikianja et dans le Fokontany Falihavana et Manjaka Est pour la maximale. Nous avons vu dans le contexte géologique que ces deux villages sont situés dans une zone affleurante du socle.

La profondeur moyenne de puits est autour de 17 et 18 m. Pour le Fokontany d'Ampangabe par exemple, la plupart des puits qui s'y trouvent ont des profondeurs égales à 18m (50% des puits existants).

La profondeur de ces puits varie suivant l'altitude du lieu et de son emplacement: pour une haute altitude, la profondeur de puits est très grande (cas du Fokontany d'Anakakondro et Manjaka Est). Par contre, cette profondeur diminue dans les endroits à basse altitude et proche des sources, rizières (cas du Fokontany d'Ikianja, Ambatobe,...).

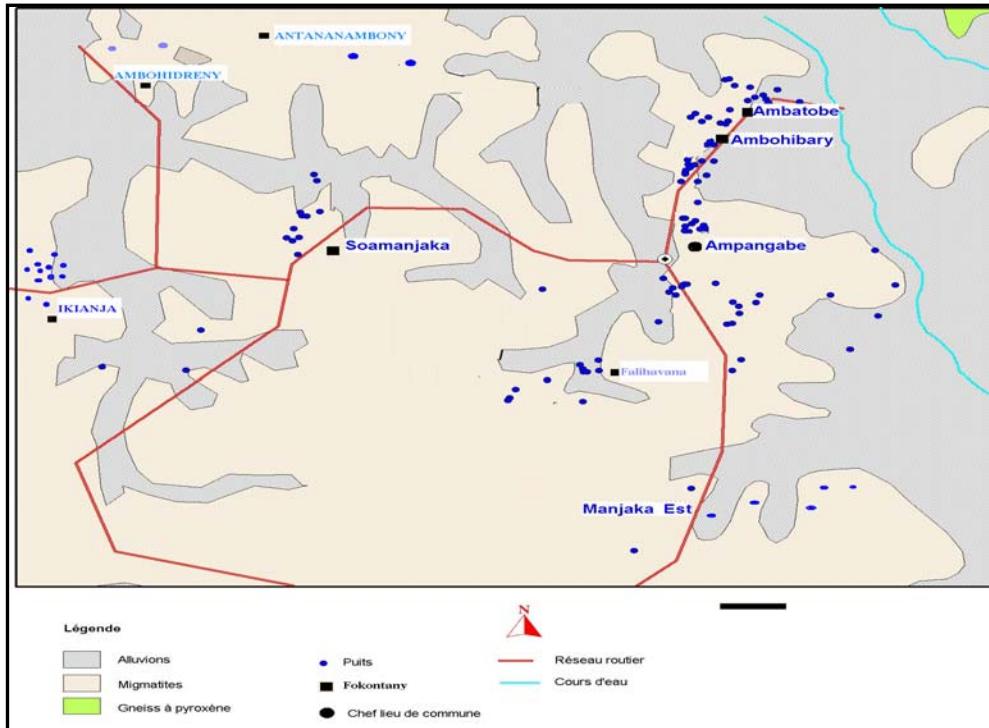


Figure 11: Localisation des puits. Extrait de la carte géologique

2 Résultats des mesures et discussions

Dans chaque fokontany on va présenter une interprétation et une discussion des résultats de mesure.

2.1 Rappel

Rappelons ici que le but de notre étude est d'estimer la réserve en eaux souterraines. Dans la pratique, ces eaux souterraines se trouvent généralement dans un réservoir d'eau appelé **aquifère**. Il existe plusieurs types d'aquifères :

2.1.1 .Aquifère à nappe libre

La base de l'aquifère constituée par le substratum est imperméable et la limite supérieure est perméable. Donc la réserve d'eau qu'elle contient peut augmenter ou diminuer librement.

2.1.2 .Aquifère à nappe captive

Contrairement à l'aquifère à nappe libre, les eaux souterraines sont emprisonnées entre deux formations imperméables fixes.

2-1-3 Aquifère à nappe semi captive

Le toit, le substratum ou les deux sont constitués par une formation hydrogéologique semi-impérméable.

Dans notre cas, les aquifères trouvés sont tous des aquifères à nappe libre.

2.2. Résultats de mesures et discussions

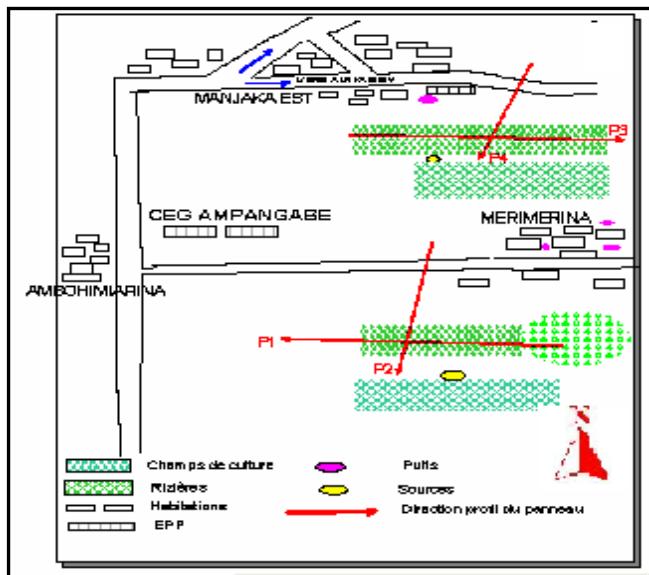


Figure 12: plan de masse pour les sites de Falihavana et Manjaka Es).

2.2.1 Fokontany Falihavana

Le premier site se trouve dans le village de Merimerina, Fokontany Falihavana. Sur ce site, deux panneaux ont été réalisés; l'un au point de coordonnées S 18°52.440' et E 047°24.236', d'altitude 1280m, de direction Nord Est -Sud Ouest (Nord 11°) (on choisit cette direction pour mieux détecter le point d'eau) se plaçant près d'une source (coordonnées : S 18°52.440' et E 047°24.236') et se trouvant à 3m du point de mesure. Le panneau n°2 coupe ce premier panneau mais son centre se trouve au point de coordonnées S 18°52.465' et E 047°24.219', d'altitude 1295m, de direction Nord -Sud (la distance qui sépare les deux centres de ces deux panneaux est égale à 26.3m).

Le tableau suivant donne la profondeur des puits se trouvant aux alentours du site qui ont permis de mieux interpréter les données et de s'assurer de la présence d'aquifère.

Puits	Profondeur (en m)	Altitude (en m)
1	23	1310
2	24	1307
3	18	1304
4	20	1309
5	19	1305
6	15	1300
7	15	1288

Tableau 9: Profondeur de puits existants dans le village de Merimerina

2.2.1.1. Documents d'interprétation

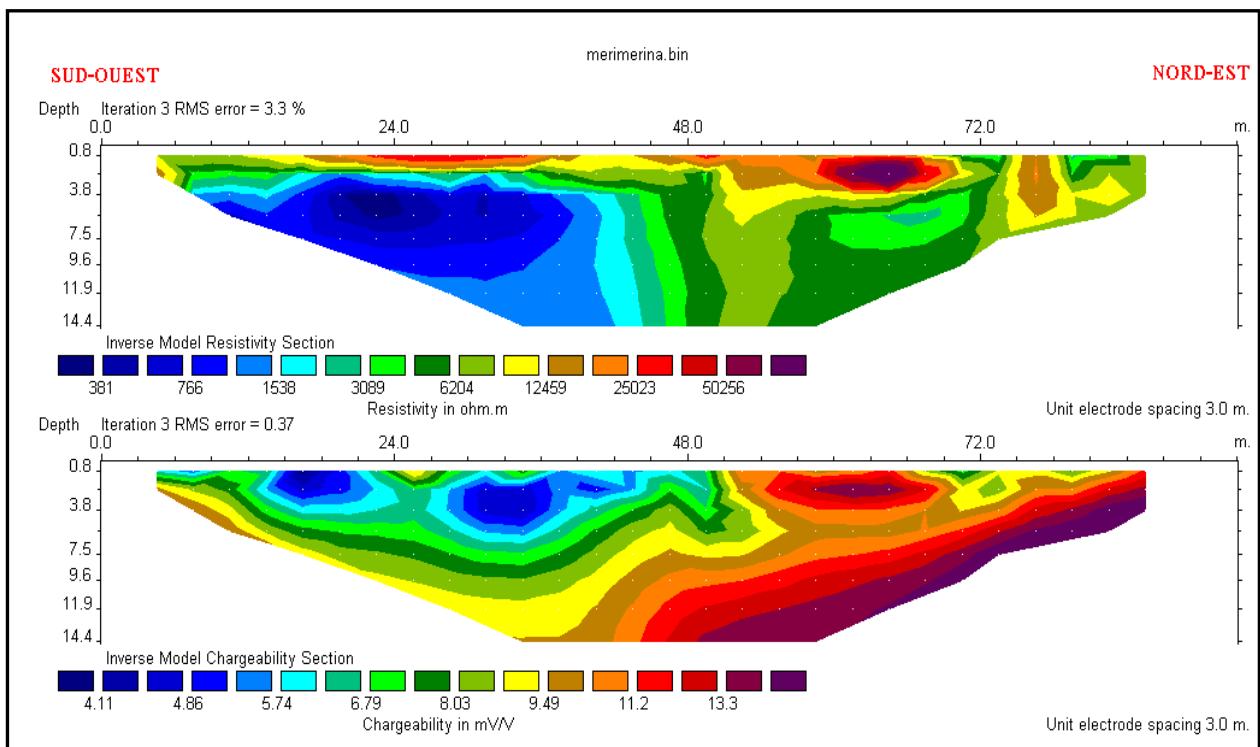


Figure 13: Coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité obtenue à partir du panneau n°1 réalisé dans le village de Merimerina.

On a constaté que la dénivellation entre la source existante et le point de mesure de ce premier panneau est de 3m, donc on a réalisé un panneau de séquence 3m car avec ce dernier on a une profondeur d'investigation égale à $\frac{3*10}{2} = 15$ m où le nombre 10 est le niveau d'acquisition en dispositif Wenner. La longueur de ligne est égale à 93m.

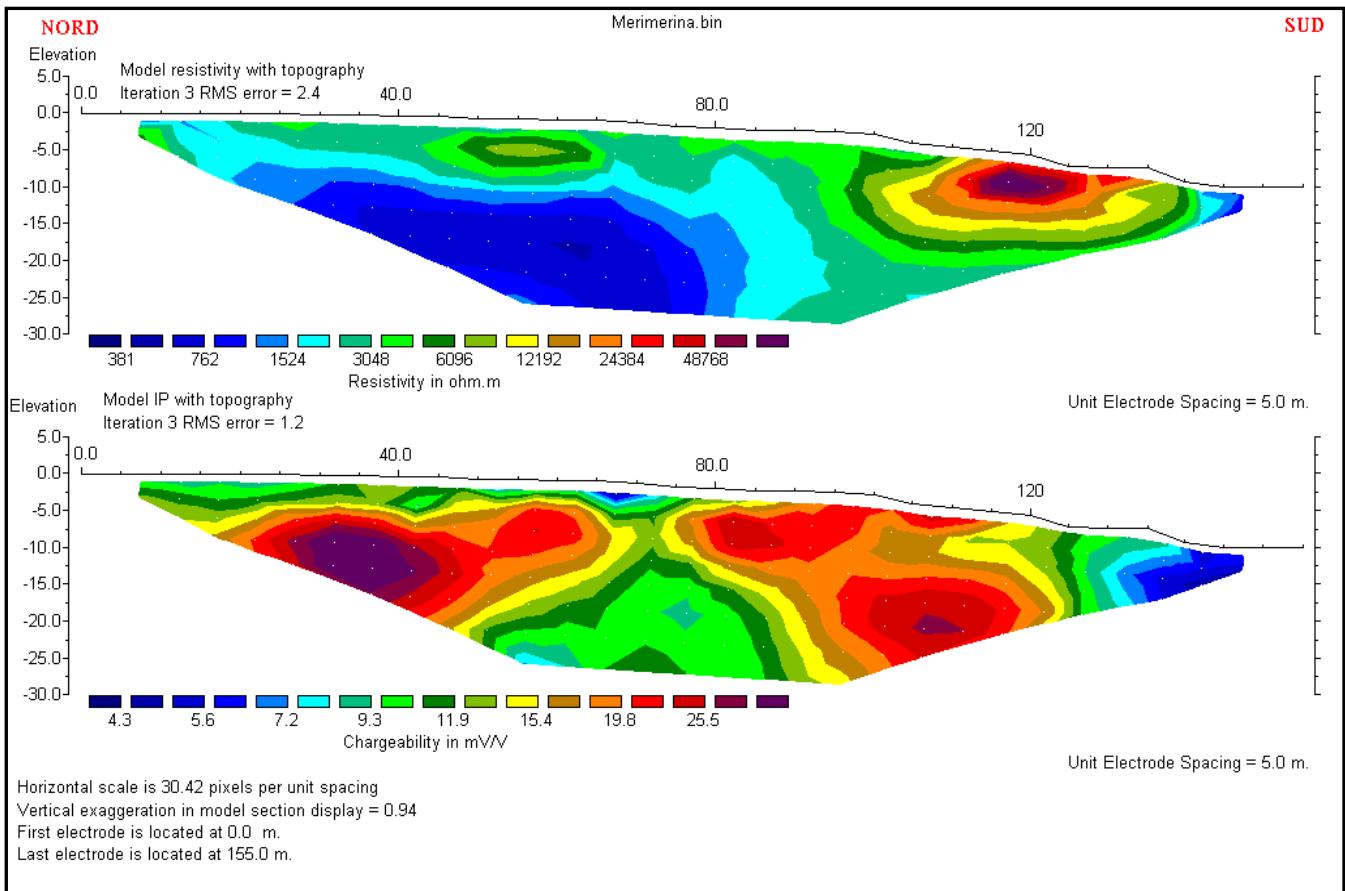


Figure 14: Coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité du panneau n°2 dans le village de Merimerina.

Dans ce deuxième panneau, la distance inter-électrode est de 5m soit une longueur de ligne de 155m. La profondeur d'investigation devient alors: $\frac{5 * 10}{2} = 25\text{m}$.

2.2.1.2 Interprétations

2.2.1.2.1 Panneau n°1

La coupe géoélectrique de résistivité trouvée avec le panneau n°1 (figure 13) ci-dessus représente trois zones de résistivités apparentes :

- la première couche conductrice se trouvant entre les abscisses 7.5 m et 42 m, et entre les profondeurs 2.3 m et 14.4m avec une valeur de résistivité 381 Ωm en moyenne (couleur bleue)
- cette couche conductrice est entourée de couches résistantes qui affleurent à la surface et qui atteignent le fond de cette coupe de résistivité. Sa résistivité apparente va de 1538 Ωm à 12459 Ωm (couleur jaune, verte, noire)
- Enfin, des couches très résistantes affleurent aussi à la surface entre les abscisses 16.5m et 39m puis 43.5m et 69m. La profondeur de cette couche est de 3.8m et sa résistivité apparente varie entre 12459 Ωm à 50256 Ωm (couleurs rouge clair et rouge foncé)

Concernant la chargeabilité, ses valeurs sont relativement faibles (entre 4mV/V et 13.3mV/V).

2.2.1.2.2. Panneau n°2

La coupe géoélectrique de résistivité trouvée avec ce panneau (figure 14) présente aussi trois zones de résistivité apparente :

- la première couche conductrice se trouve entre les abscisses 20m et 82.5m pour une profondeur comprise entre 7.5m et 25m et avec une valeur de résistivité de $381 \Omega\text{m}$ en moyenne (couleur bleue)
- cette couche conductrice est entourée aussi par des couches résistantes qui affleurent à la surface. Elles atteintes le fond de la coupe et sa résistivité apparente va de $1524 \Omega\text{m}$ à $12192 \Omega\text{m}$ (couleur jaune, verte, noire)
- enfin, des couches très résistantes affleurent à la surface entre les abscisses 112.5m et 135m. La profondeur de ces couches est de 10m et sa résistivité apparente varie entre $12192 \Omega\text{m}$ et $48768 \Omega\text{m}$ (couleurs rouge clair et rouge foncé).

Les valeurs de la chargeabilité varient entre 4.3mV/V et 25.5mV/V.

2.2.1.3. Discussion

En tenant compte de la profondeur des puits donnée précédemment, de l'altitude du lieu d'emplacement de ce panneau et surtout de l'existence d'une source pas trop loin du point de mesure, on peut dire que les zones conductrices trouvées dans les coupes de résistivités de ces deux panneaux ci dessus constituent un horizon aquifère. Pour les couches supposées comme des zones aquifères les valeur de chargeabilité sont relativement faible ($\leq 10\text{mV/V}$) donc la formation contenant cette nappe sera constituée par une formation argileuse.

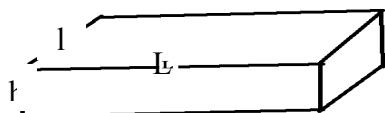
Cette zone supposée comme un horizon aquifère s'allonge dans la première coupe de résistivité du panneau n°1 (figure 13) sur une longueur de 33m avec une épaisseur minimale de 10m. Pour voir l'extension de cette zone supposée comme une zone aquifère, on a réalisé perpendiculairement le profil du panneau n°2 (figure 14) au point d'abscisse $X=30\text{m}$. Ce dernier panneau montre que l'allongement de la zone supposée comme un horizon aquifère est de 67m et d'épaisseur 10m.

Concernant les couches résistantes qui affleurent à la surface dans ces deux panneaux, elles sont constituées par des latérites mais peuvent être aussi constituées par une autre formation qui contient cette nappe aquifère (sable ou sable argileux).

Les couches très résistantes seraient constituées par le socle (roches intrusives). Ceci est vérifié, suite aux enquêtes faites auprès du village de Merimerina et d'Ambohimarina, par l'existence de « hadivory » et des roches qui affleurent à la surface.

2.2.1.4 .Estimation des réserves en eaux souterraines

Les deux panneaux réalisés pour chaque Fokontany ont permis d'obtenir une forme cubique des zones saturées en eaux qui nous permet d'estimer son volume moyen en adoptant la formule :



$$V = L * l * h$$

où, **L**: longueur minimale de cette zone trouvée avec le premier panneau

l: longueur minimale trouvée avec le panneau perpendiculaire

h: épaisseur minimale de cette zone trouvée avec les deux panneaux

Pour la durabilité de chaque nappes, il est nécessaire de connaître le nombre d'habitants aux alentours du site et aussi leur consommation journalière en eau. Comme point de départ, on a utilisé 0.03 m^3 par jour et par habitant (consommation journalière en eaux des habitants en milieu rural).

On utilisera ce principe pour l'estimation du volume moyen des nappes aquifères et pour la détermination de sa durabilité. Nous n'avons pas tenu compte des besoins en eaux pour l'agriculture et l'élevage dans les tableaux n° 5 et 6 car ces derniers englobent l'ensemble des données de la commune.

2.2.1.4.1 .*Volume moyen des nappes aquifères*

On a $V = L * l * h$ avec,

$$L = 33\text{m} \text{ (figure 13)} ; \quad l = 67\text{m} \text{ (figure 14)} \quad h = 10 \text{ m}$$

$$V \approx 33 * 67 * 10$$

D'où

$$V \approx 22110 \text{ m}^3$$

2.2.1.4.2. *Durabilité de la nappe*

- Nombre d'habitants dans les villages de Merimerina et Ambohimarina: **100 habitants**

Le besoin en eau annuel des habitants est de, $0.03 * 365 * 100 = 1100 \text{ m}^3$

Vu par le volume de cet aquifère, Le débit d'eau qu'on peut trouvé dans sera donc suffisant pour ces deux villages (Ambohimarina et Merimerina) pendant une vingtaine d'années environ. Et comme c'est une nappe libre, il y a renouvellement de la réserve en eau qu'il contient.

Il est alors conseillé d'implanter un forage pour vérification à l'endroit où l'épaisseur de la nappe dans la coupe géoélectrique est la plus grande et d'implanter un puits en cas de test positif. Cet horizon aquifère contiendrait donc un volume d'eau qui sera suffisant pour les villageois d'Ambohimarina (qui est fortement affecté par l'affleurement du socle et n'y arrive pas à creuser de puits) et de Merimerina qui utilise déjà cette source par méthode naturelle depuis longtemps.

2.2.2. Fokontany Manjaka Est

Le deuxième site se trouve dans le village de Manjaka Est, Fokontany Manjaka Est. Un sondage électrique (au point de coordonnées S 18°52.621' et E 047°24.453', d'altitude 1280m) et deux panneaux électriques (le premier (panneau n°3) se place sur le même point que le sondage avec une direction Nord -Sud et la deuxième coupe perpendiculairement à ce premier mais son centre se trouve au point de coordonnées S 18°52.656' et E 047°24.489', d'altitude 1291m et de direction Nord Est-Sud Ouest (Nord 14°))ont été faits sur ce site. Le centre de mesures du premier panneau se trouve au milieu d'une source naturelle (coordonnées : S 18°52.621' et E 047°24.453' ; altitude du lieu : 1270m) et un nouveau puits (coordonnées : S 18°52.621' et E 047°24.488' ; altitude du lieu : 1300m) de profondeur égal à 22m.



Figure 15: Direction du profil pour le panneau n°3 réalisé dans le village de Manjaka Est et emplacement du sondage

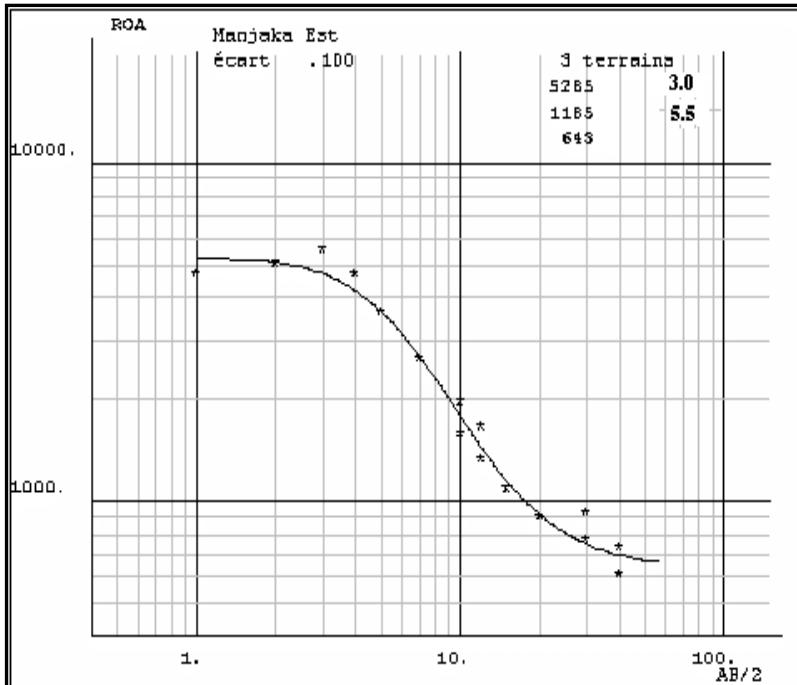


Figure 16: Courbe de sondage électrique dans le village de Manjaka Est

C'est une courbe à une dimension (1D) qui représente la variation de la résistivité (Roa) suivant la profondeur (AB/2). Cette courbe est obtenue en utilisant le programme QWSEL développé par J.Tabbagh pour le traitement des données. Ce programme utilise la méthode itérative pour déterminer un modèle tabulaire.

Interprétation de cette courbe de sondage

Le sondage effectué dans ce premier site qui se trouve dans le village de Manjaka Est a donné la coupe suivante, de bas en haut:

- une couche faiblement résistante de résistivité électrique égale à $643 \Omega m$
- une couche résistante d'épaisseur 5.50m a pour résistivité électrique $1185 \Omega m$
- une couche très résistante de résistivité électrique $5285 \Omega m$ et d'épaisseur 3m

Coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité:

Pour le panneau n°3, la longueur de ligne est de 93m avec une distance entre électrodes de 3m car la dénivellation entre le point de mesure et la source existante est égale à 10m, donc la profondeur d'investigation doit être supérieure à celle-ci ($\frac{3*10}{2} = 15m$). Pour le

deuxième panneau, la distance entre électrodes est de 4m, soit une longueur de ligne égale à 124m. On choisit de prendre cette distance inter-électrode parce que le profil passe à une altitude beaucoup plus élevée.

Nous avons obtenu des coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité ci-dessous qui vont nous servir de documents d'interprétation:

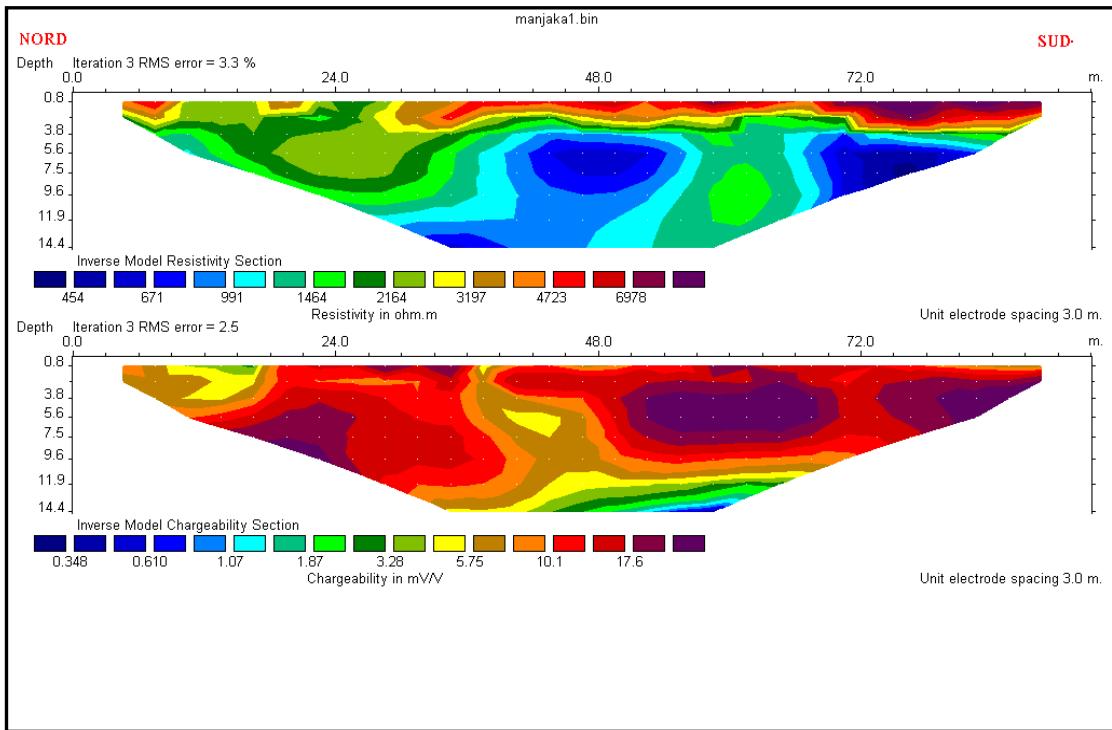


Figure 17: coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité obtenues à partir du panneau n°3 réalisé dans le village de Manjaka Est.

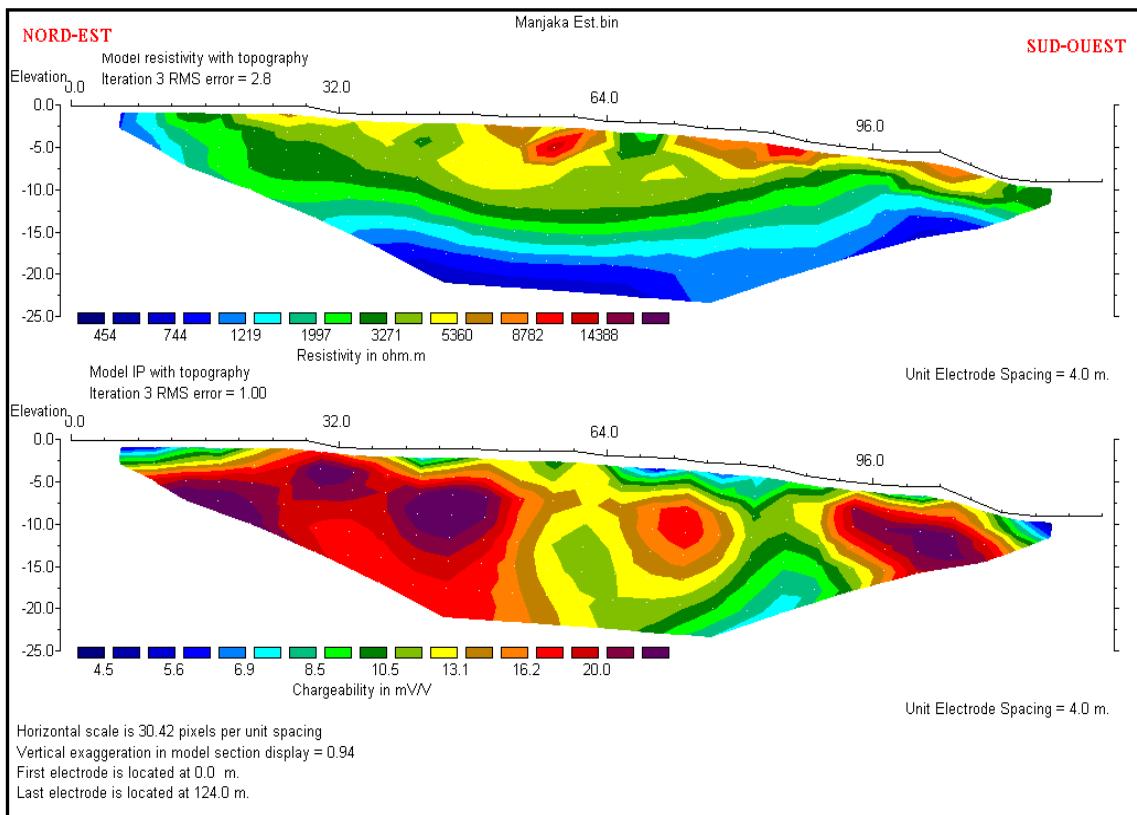


Figure 18: Coupe géoélectrique de résistivité et de chargeabilité pour le panneau n°4

2.2.2.1. Interprétations

2.2.2.1.1. *Panneau n°3*

La coupe géoélectrique de résistivité montre une succession de trois couches (vérifie le résultat du sondage réalisé sur l'emplacement de ce panneau):

- une formation résistante de résistivité apparente allant de $4723 \Omega m$ à $6978 \Omega m$ constitue la couverture superficielle (couleur rouge clair et rouge foncé)
- une formation moins résistante que celle-ci vient ensuite avec une valeur de résistivité apparente allant de 991 à $3197 \Omega m$. L'étendue de cette couche est remarquable dans la partie Nord de cette coupe de résistivité avec une épaisseur égale à $11.1m$. Une petite partie seulement de cette couche affleure à la surface dans cette coupe (entre les abscisses $10m$ et $16.5m$, puis $22m$ et $29m$)
- enfin, une couche conductrice (couleur bleu clair et bleu foncée) est observée à partir de l'abscisse $39m$ jusqu'à $57m$ avec une profondeur allant de $3.8m$ à $14.4m$ puis elle réapparaît à partir de l'abscisse $66m$ jusqu'à $84m$ mais avec une faible profondeur. La résistivité de cette couche varie entre $454 \Omega m$ et $991 \Omega m$

On observe que les valeurs de la chargeabilité sont inférieures à 17.6 mV/V .

2.2.2.1.2. *Panneau n°4*

Comme ce panneau a été réalisé au même endroit que le panneau n°3, elle se présente aussi d'une succession de trois couches :

- une formation résistante de résistivité apparente allant de $5360 \Omega m$ à $14386 \Omega m$ est observée à la partie superficielle de la coupe de résistivité entre les abscisses $49m$ et $64 m$, puis entre $72 m$ et $108m$ avec une faible épaisseur (couleur rouge clair et rouge foncé) de l'ordre de $5 m$ environ
- une formation moins résistante que celle-ci vient ensuite avec une valeur de résistivité apparente allant de 1219 à $5360 \Omega m$. Cette couche a une épaisseur égale à $12.5m$. Cette couche est observée à la surface entre les abscisses $8 m$ et $20 m$, puis à partir de l'abscisse $112m$
- enfin, une couche conductrice (couleur bleu clair et bleu foncée) est observée au fond de la coupe de résistivité avec une profondeur de $15m$ environ. La résistivité de cette couche varie entre $454 \Omega m$ et $744 \Omega m$.

Les chargeabilités sont comprises entre 4.5 mV/V et 20 mV/V .

2.2.1.3. Discussion:

En combinant les résultats avec le fait observé (existence de roches qui affleurent à la surface) sur terrain et le résultat des enquêtes orales faites auprès de quelques habitants du village, la couche résistante recouvrant la partie Nord du panneau n°3 et du panneau n°4 pourrait être constituée par de formations imperméables (notamment de roches) qui empêchent la circulation d'eau. Cette formation constitue une sorte de barrage qui partage la circulation d'eau en deux directions.

La couche faiblement conductrice pourrait alors être considérée comme une zone saturée en eau car il se peut que la circulation passe à travers cet endroit à cause de ce système de barrage. Pour le panneau n°3 (**figure 17**) cette couche s'étend sur une longueur égale à 18m avec une épaisseur égale à 3m. On fait passer perpendiculairement le profil du panneau n°4 au point d'abscisse $X=52.5m$ du panneau n°3 pour voir l'extension de cette zone supposée saturée en eau.

On a trouvé avec le panneau n°4 (**dans la figure 18**) que cette couche faiblement conductrice supposée saturée en eau s'allonge sur une longueur égale à 80m mais d'une épaisseur moins importante (2.5m seulement).

L'existence de cette zone saturée en eau est aussi vérifiée par les valeurs faibles de la chargeabilité de cette couche ($\leq 10 \text{mV/V}$).

La couche qui entoure cette zone pourra être considérée comme du sable argileux car la nappe se trouve dans cette formation et d'après les données sur les puits existants, ce sera une bonne nappe.

2.2.2.1.4. *Estimation des réserves en eaux souterraines*

2.2.2.1.4.1. *Volume moyen des nappes aquifères*

On a $\mathbf{L} = 18 \text{m}$ (figure 17); $\mathbf{l} = 80 \text{m}$ (figure 18); $\mathbf{h} = 3 \text{ m}$

D'où
$$V = 80 * 18 * 3$$

$$V \approx 4320 \text{ m}^3$$

2.2.2.1.4.2. *Durabilité de la nappe*

- Nombre d'habitants dans les villages de Manjaka Est : **200 habitants**
- Besoin en eau annuel des habitants : $0.03 * 365 * 200 = 2200 \text{ m}^3$

Le volume d'eau qu'on peut trouver à partir de cette nappe sera alors suffisant pour les villageois de Manjaka Est pendant environ 2ans. Il existe encore d'autres endroits pour faire une autre étude comme celle-ci. Il est alors proposé de faire d'autres prospections.

En résumé, il est proposé de creuser un puits dans cet endroit après avoir fait le test de vérification par un forage. L'affleurement du socle causera un problème pour la recherche d'eaux souterraines dans ce village. Enfin comme la nappe se trouve dans une formation sableuse et vu les valeurs faibles de chargeabilité, on peut dire qu'elle sera la bonne.

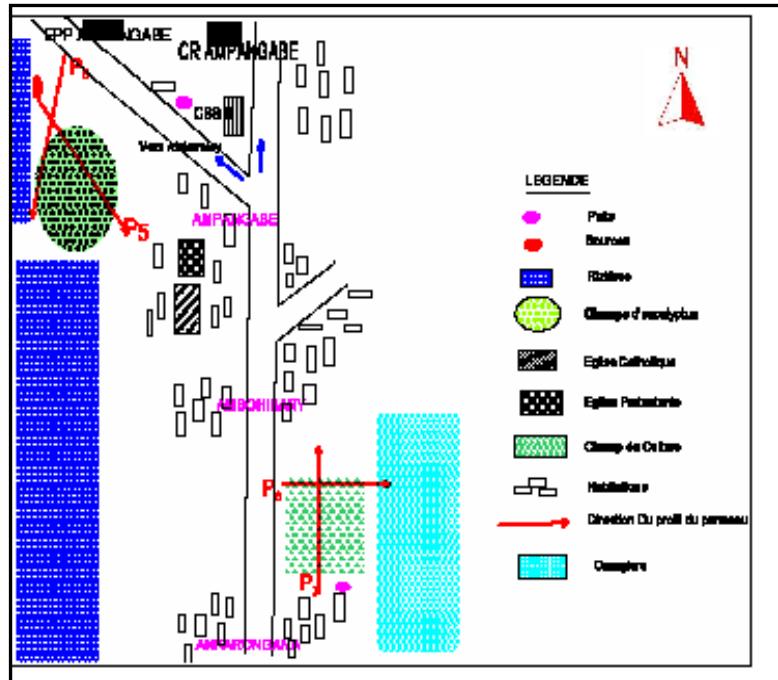


Figure 19: Plan de masse pour les sites qui se trouvent dans les Fokontany d'Ambatobe et d'Ampangabe.

2.2.3. Fokontany Ampangabe

Dans ce troisième site qui se trouve dans le village d'Ampangabe, Fokontany Ampangabe (centre de la commune rurale d'Ampangabe), deux panneaux électriques ont été réalisés: l'une orienté Sud-Est Nord-Ouest au point de coordonnées S 18°52.049' et E 047°24.113', d'altitude 1275m se plaçant entre une source (de coordonnées S 18°52.067' et E 047°24.116') et un puits se trouvant à 50m du point de mesure (coordonnées : S 18°52.056' et E 047°24.083'). La profondeur de ce puits est de 17m et il se place à une altitude égale à 1277m. La dénivellation du point de mesure par rapport à cette source est de 10m. L'autre panneau se trouve au même endroit que ce premier mais de direction Nord Sud. Son centre se place au point de coordonnées S 18°52.013' et E 047°24.092', d'altitude 1283m. La distance séparant le centre du premier au deuxième panneau est de 20m.

2.2.3.1. Document d'interprétation :

L'écartement inter-électrode du dispositif utilisé pour le panneau n°5 est de 5m (dénivellation entre point de mesure et la source égale à 10m, la profondeur de puits existant est de 17m donc la profondeur d'investigation doit être supérieure à celles-ci ($\frac{5*10}{2} = 25\text{m}$). La longueur de ligne égale à 155m.

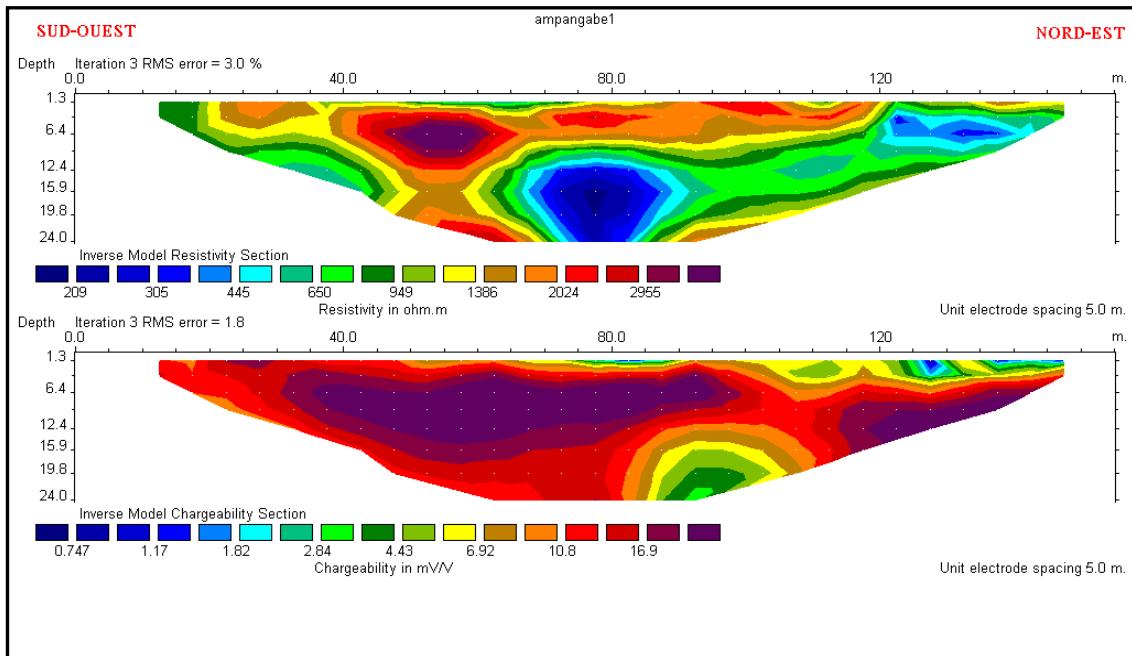


Figure 20: coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité obtenues à partir du panneau n°5 dans le village d'Ampangabe

On a constaté que la profondeur d'investigation utilisée dans ce premier panneau ne suffit pas pour bien détecter la cible, donc l'espace inter-électrode utilisé dans le panneau n°6 perpendiculaire au panneau n°5 a été augmenté à 6m, soit une longueur de ligne égale à 186m.

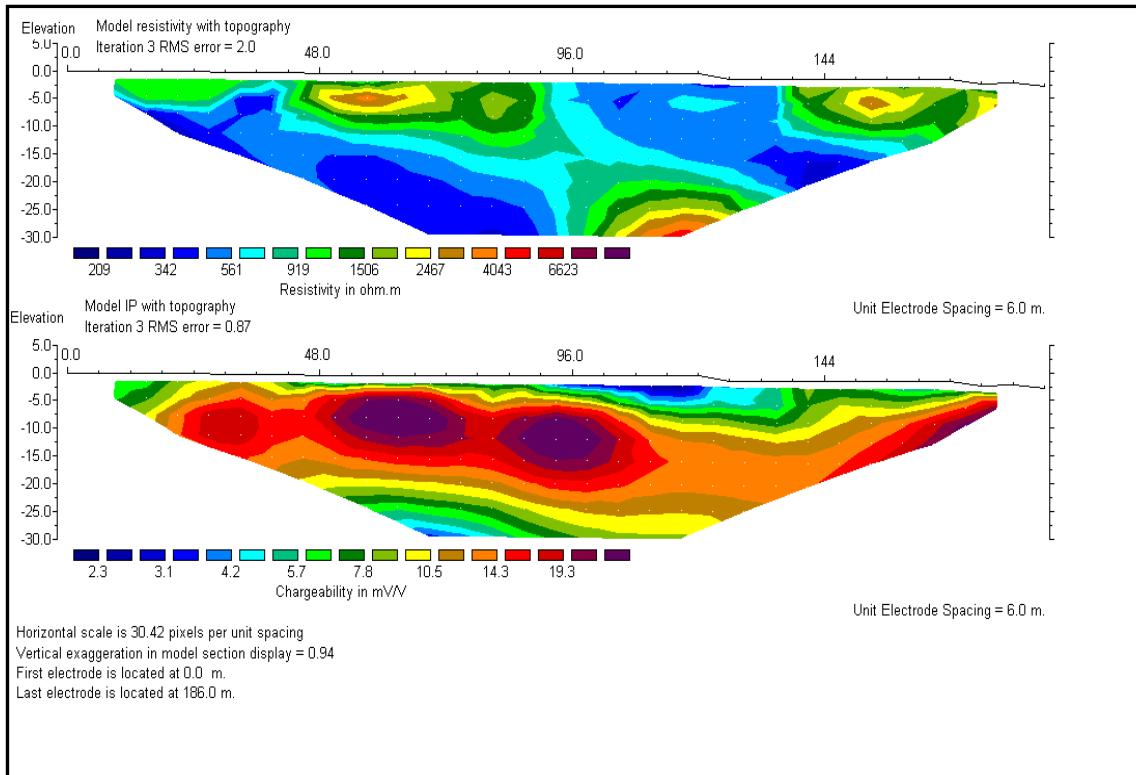


Figure 21: coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité du Panneau n°6 dans le village d'Ampangabe

Ces deux coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité sont obtenues après traitement des données avec le logiciel RES2DINV et ils fourniront de documents pour interpréter les résultats et pour évaluer le débit d'eau qu'une zone aquifère éventuelle peut contenir.

2.2.3.2. Interprétations

2.2.3.2.1. Panneau n°5

Cette coupe de résistivité (figure 20) présente trois zones de résistivités différentes :

- la première conductrice (couleur bleu clair et bleu foncé) se trouve au centre de la coupe de résistivité entre les abscisses 67.5m et 89m avec une profondeur allant de 12.4m à 24m. Elle réapparaît encore entre les abscisses 122.5m et 140m mais à faible épaisseur. La valeur de résistivité apparente de cette couche va de 209 à 445 Ωm
- ensuite, une couche résistante (couleur vert clair, vert foncé, noir, jaune) entoure cette zone conductrice et affleure à la surface dans la partie Nord-Est et Sud -Ouest. La valeur de résistivité apparente de cette couche allant de 445 à 1386 Ωm

- enfin, une couche très résistante (rouge clair et rouge foncé) est encaissée par la zone résistante ci-dessus dans la partie Sud Ouest à une profondeur 5m et 15m et affleure à la surface entre l'abscisse 90m et 105m. La résistivité apparente de cette couche est comprise entre 1386 à 2955 Ωm

La valeur de la chargeabilité est très faible; elle est comprise entre 0.747mV/V et 16.9mV/V.

2.2.3.2.2. Panneau n°6

L'emplacement de ce panneau se trouve au même endroit que celui du panneau n°5. Ils se coupent perpendiculairement au point d'abscisses $X= 80$ m. Sa coupe géoélectrique de résistivité présente aussi trois zones différentes :

- la première conductrice (couleur bleu clair et bleu foncé) se trouve entre les abscisses 96m et 135m avec une profondeur allant de 2.5m jusqu'à 20m. Pour ce même panneau mais entre les abscisses 9m et 90m, on trouve aussi cette couche à partir de 5m jusqu'à 30m de profondeur. La valeur de résistivité apparente de cette couche va de 209 à 342 Ωm
- ensuite, une zone résistante épaisse qui affleure à la surface entre les abscisses 9 m et 96 m, puis à partir de l'abscisse 135 m se trouve au milieu de la zone conductrice ci-dessus (couleur vert clair, vert foncé, noire, jaune). La valeur de résistivité apparente de cette couche allant de 561 à 2467 Ωm
- enfin, une couche très conductrice qui ne constitue qu'une petite partie de la coupe de résistivité (couleur rouge) ayant une valeur de résistivité apparente comprise entre 4043 et 6623 Ωm

2.2.3.3 .Discussion:

En tenant compte de la profondeur de puits donnée ci-dessus (17m), de la dénivellation entre le point de mesure et la source existante, la zone conductrice ci-dessus peut être considérée comme une zone aquifère. Compte tenu de la couche qui contienne cette nappe (sableux) et des valeurs de la chargeabilité relativement faibles (entre 0.747 et 19.3mV/V), on peut dire que c'est une bonne nappe. Cette zone a une longueur de 21.5m et une épaisseur de 11.6m pour le panneau n°5 (figure20). En faisant le panneau n°6 perpendiculaire au panneau n°5 et en passant au point d'abscisse $X=80$ m pour voir l'extension de cette zone supposée saturée en eau, on s'aperçoit qu'elle s'allonge sur une longueur égale à 39m et d'épaisseur 17.5m.

Le résultat de ce panneau perpendiculaire au premier panneau aussi permet d'identifier une nouvelle source d'eau qui se trouve entre les abscisses 9m et 90m (longueur 81m) avec une épaisseur intéressante égale à 25m.

Quant aux zones résistantes, la zone la plus proche de celle supposée comme une zone aquifère peut être constituée soit par du sable, soit par de l'argile (compte tenu du données de puits se trouvant aux alentours du point de mesure), et il est clair que la zone la plus résistante qui affleure à la surface est constituée par des latérites (de couleur rouge). Mais cela pourrait être aussi constitué par du socle qui empêche certains villageois de creuser des puits à cet endroit.

2.2.3.4. Estimation des réserves en eaux souterraines

2.2.3.4.1. Volume moyen des nappes aquifères

On utilise toujours la formule : $V = L * l * h$ avec $L=21.5m$ ((**figure 20**)

$l = 39 \text{ m}$ (figure 21); $h = 11.6m$

D'où $V = 39 * 21.5 * 11.6$

$$V \approx 9700 \text{ m}^3$$

2.2.3.4.2. Durabilité de la nappe

- Le nombre d'habitants aux alentours du point de mesure : **300 habitants**
- Besoin en eau annuel des habitants : $0.03 * 365 * 300 = 3285 \text{ m}^3$

Vu par le volume moyen de cet aquifère, on peut dire que l'eau qu'elle contient sera suffisant pour les villageois pendant environ 3ans. Nous avons confirmé aussi la présence d'une autre source avec le panneau perpendiculaire. Ce qui permet de dire que ces zones aquifères seront suffisantes pour les villageois d'Ampangabe pendant plusieurs années. On peut donc envisager l'implantation de puits à cet endroit après avoir fait un test de confirmation. A noter ici que cette source est déjà utilisée par les villageois d'Ampangabe.

2.2.4. Fokontany Ambatobe

Ce quatrième site se trouve dans le village d'**Ankarongana, Fokontany Ambatobe**, (proche du centre de la commune). Deux panneaux électriques ont été fait dans ce site, le premier de direction Nord Sud se trouve au point de coordonnées S $18^{\circ}51.546'$ et E $047^{\circ}24.295'$, d'altitude 1270m et le second de direction Est Ouest coupe le premier dont son centre se trouve au point de coordonnées S $18^{\circ}51.567'$ et E $047^{\circ}24.277'$, d'altitude 1264m. La distance séparant le centre de ces deux panneaux est de 20m.



Figure 22: profil du second panneau



Figure 23: profil du premier

La profondeur des puits se trouvant aux alentours de ce point de mesure est donnée dans le tableau suivant :

Puits	Profondeur (en m)	Altitude (en m)
1	12	1272
2	18	1277
3	15	1276
4	18	1270
5	17	1282
6	10	1260

Tableau 10: Profondeur des puits en fonction de l'altitude dans le village d'Ankarongana.

Notre profil se place parallèlement à 10m du puits n°6

2.2.4.1 .Document d'interprétation:

Pour la réalisation de ces deux panneaux, les 32 électrodes sont espacées chacune de 3m parce qu'on devrait avoir une profondeur d'investigation supérieure à la profondeur du puits n°6 qui se trouve juste à l'endroit où on avait fait la mesure pour bien détecter la nappe souterraine .La longueur de ligne est alors de 93m et la profondeur d'investigation est égale à:

$\frac{3*10}{2} = 15\text{m}$. On interprétera ensuite les deux coupes géoélectriques de résistivité et de chargeabilité données ci-dessous pour savoir où se trouve la zone saturée en eau et d'estimer le volume moyen d'aquifère qu'on pourra trouver.

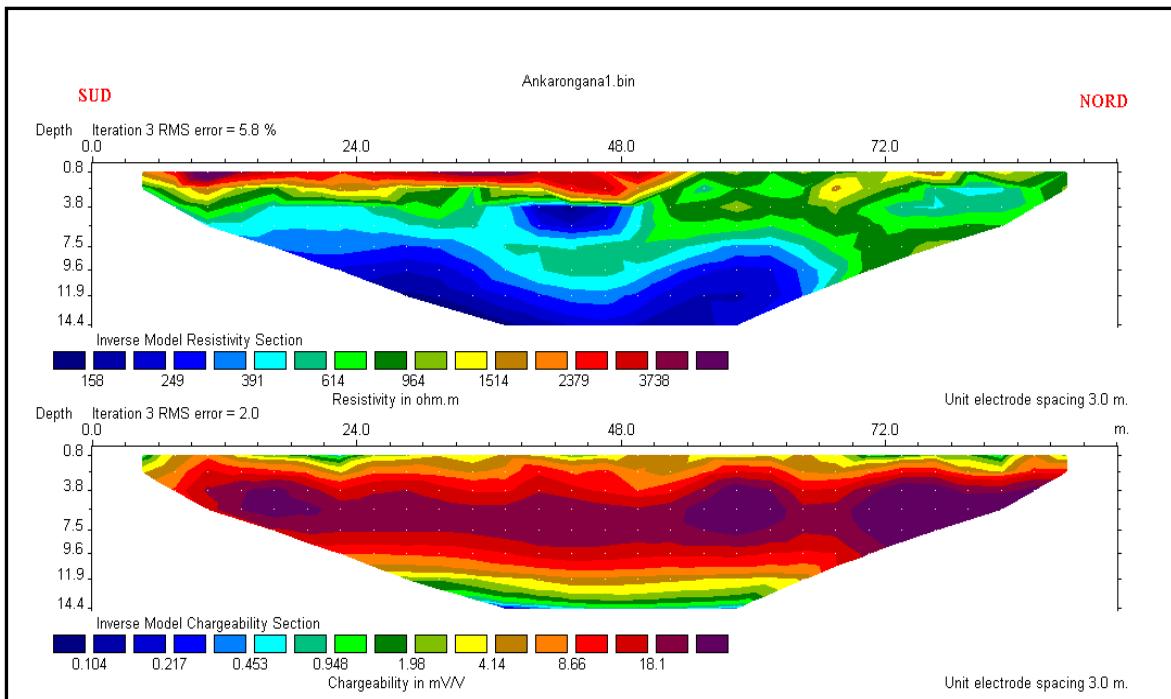


Figure 24: coupe géoélectriques de résistivité et de chargeabilité obtenues à partir du panneau n°7 réalisé dans le village d'Ankarongana.

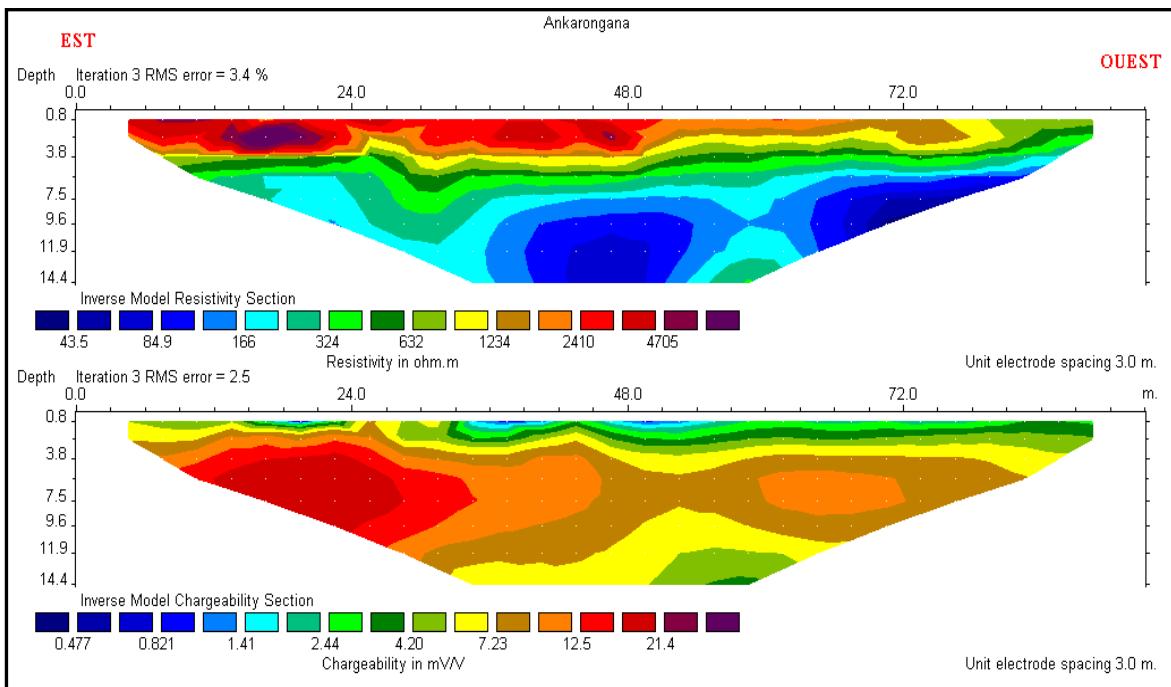


Figure 25: coupe géoélectriques de résistivité et de chargeabilité du panneau n°8 réalisé dans le village d'Ankarongana

2.2.4.2. Interprétation

2.2.4.2.1 Panneau n°7

Ce modèle de coupe de résistivité (figure 24) montre globalement une succession de trois terrains :

- le premier terrain constitué par une couche résistante (couleur rouge clair et rouge foncé) qui affleure à la surface entre les abscisses 4.5m et 54m. Cette couche a une profondeur allant de 0.8m à 3.8m et de valeurs de résistivité apparente de $1514\Omega m$ environ
- la seconde couche est constituée par une couche de résistivité apparente variant de 391 à $1514\Omega m$. Cette couche se trouve juste au-dessous de la couche résistante donnée précédemment. Elle affleure à la surface entre les abscisses 54m et 88.5m. La profondeur de cette couche est comprise entre 0.8m et 7.5m
- enfin, une couche conductrice (couleur bleu foncé et bleu clair) qui se trouve au fond de la coupe à partir de l'abscisse 12m jusqu'à 66m avec une profondeur de 7.5m et de résistivité apparente variant de $154\Omega m$ à $249\Omega m$

Concernant la chargeabilité, elle varie de 0.104mV/V à 18.1mV/V .

2.2.4.2.2. Panneau n°8

Ce panneau montre aussi une succession de trois terrains :

- le premier terrain constitué par une couche résistante (couleur rouge clair et rouge foncé) qui affleure à la surface entre les abscisses 4.5m et 75m. Cette couche a une profondeur allant de 0.8m à 3.8m et de valeurs de résistivité apparente allant de $1234\Omega m$
- la seconde couche est constituée par une couche de résistivité apparente variant de 324 à $1234\Omega m$. Cette couche se trouve juste au-dessous de la couche résistante donnée précédemment. Elle affleure à la surface à partir de l'abscisse 75m. La profondeur de cette couche est comprise entre 0.8m et 7.5m
- enfin, une couche conductrice (couleur bleu foncé et bleu clair) qui se trouve au fond de la coupe à partir de l'abscisse 36m jusqu'à 85.5m avec une profondeur de 7.5m environ et de résistivité apparente variant de $43\Omega m$ à $166\Omega m$

Concernant la chargeabilité, elle varie entre 0.477 à 21.4mV/V .

2.2.4.3. Discussion :

En se référant aux données de puits précédents, cette couche conductrice (de couleur bleue) pourrait être considérée comme un horizon aquifère (nappe libre), elle s'allonge sur une longueur égale à 54m et d'épaisseur 6.9m dans le panneau n°7. On fait ensuite le deuxième panneau en coupant perpendiculairement ce premier et en passant au point d'abscisse X = 27m

On trouve que cette zone se prolonge encore avec un allongement égale à 49.5m mais son épaisseur ne change pas. Les valeurs faibles de chargeabilité vérifient aussi cette supposition.

Comme ce panneau a été réalisé dans une formation latéritique, la couche résistante (couleur rouge) qui affleure à la surface est constituée de latérites. Et les couches se trouvant juste au dessus de cette zone supposée comme zone aquifère seraient constituées de sable ou sableux argileux (formation contenant la nappe) d'après les données de puits se trouvant à 10m du point de mesure.

2.2.4.4. Estimation des réserves en eaux souterraines

2.2.4.4.1. Volume moyen des nappes aquifères

On a, $V = L * l * h$ avec $L = 54\text{m}$ (figure 24); $l = 49.5\text{m}$ (figure 25);
 $h=6.9\text{ m}$

D'où $V = 54 * 49.5 * 6.9$

$$V \approx 18400 \text{ m}^3$$

2.2.4.4.2. Durabilité de la nappe,

- Le nombre d'habitants dans ce village est de : **300 habitants**
- Besoin en eau annuel des habitants : $0.03 * 365 * 300 = 3285 \text{ m}^3$

Vu par le volume moyen de l'aquifère trouvé ici, la réserve en eau qu'il contient sera suffisante pour les villageois pendant environ 7ans. Mais comme c'est une nappe libre, il y a toujours renouvellement de la réserve.

Il est alors conseillé de faire un forage pour une vérification et creuser des puits à cet endroit en cas de test positif.

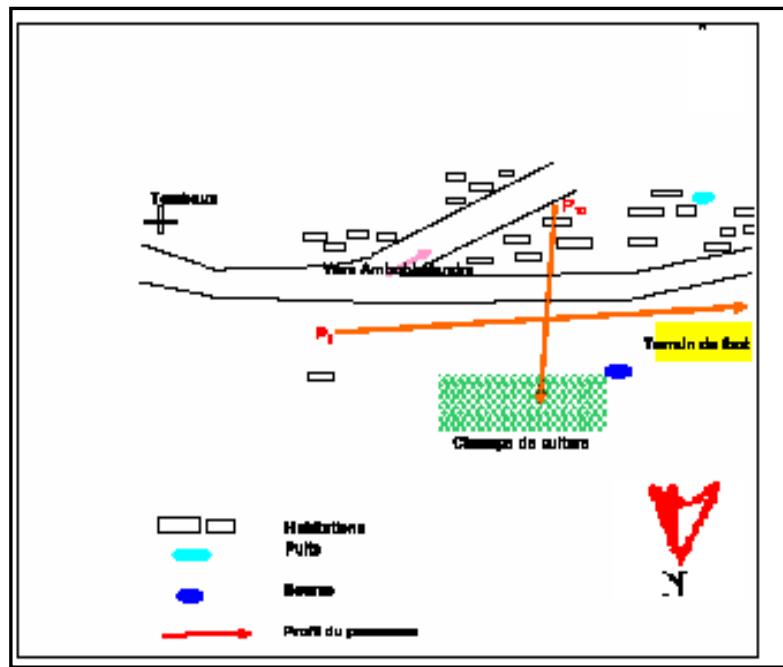


Figure 26: Plan de masse du lieu l'emplacement du panneaux dans le Fokontany d'Ambohidreny.

2.2.5. Fokontany Ambohidreny

Ce site se trouve dans le village d'Ambohikely, Fokontany d'Ambohidreny qui est à 5Km du centre de la commune en se dirigeant vers l'Ouest. Pour le même but que précédemment, deux panneaux électriques ont été réalisés sur ce site; le premier de direction Est Ouest et son centre se place au point de coordonnées S 18°51.322' et E 047°21.862', d'altitude 1280m. Le second panneau est perpendiculaire au premier avec une direction Nord Sud et le centre du premier est encore gardé pour le second.



Figure 27: Profil du panneau n°9 dans le village d'Ambohikely Ouest

2.2.5.1. Document d'interprétation :

Pour les deux panneaux que nous avons réalisés, les 32 électrodes sont espacées chacune de 5m, soit une longueur de ligne égale à 155m. En effet, le puits qui se trouve au point de coordonnées S $18^{\circ}51.360'$ et E $047^{\circ}21.798'$, d'altitude 1296m a une profondeur supérieure à 15 m, donc on était obligé de faire ce panneau 5 pour avoir une profondeur d'investigation supérieure à cette profondeur.

A 20m de ce point de mesure, il existe une source au point de coordonnées S $18^{\circ}51.304'$ et E $047^{\circ}21.858'$, d'altitude 1260m. La dénivellation entre le point de mesure par rapport à cette source est de 3m.

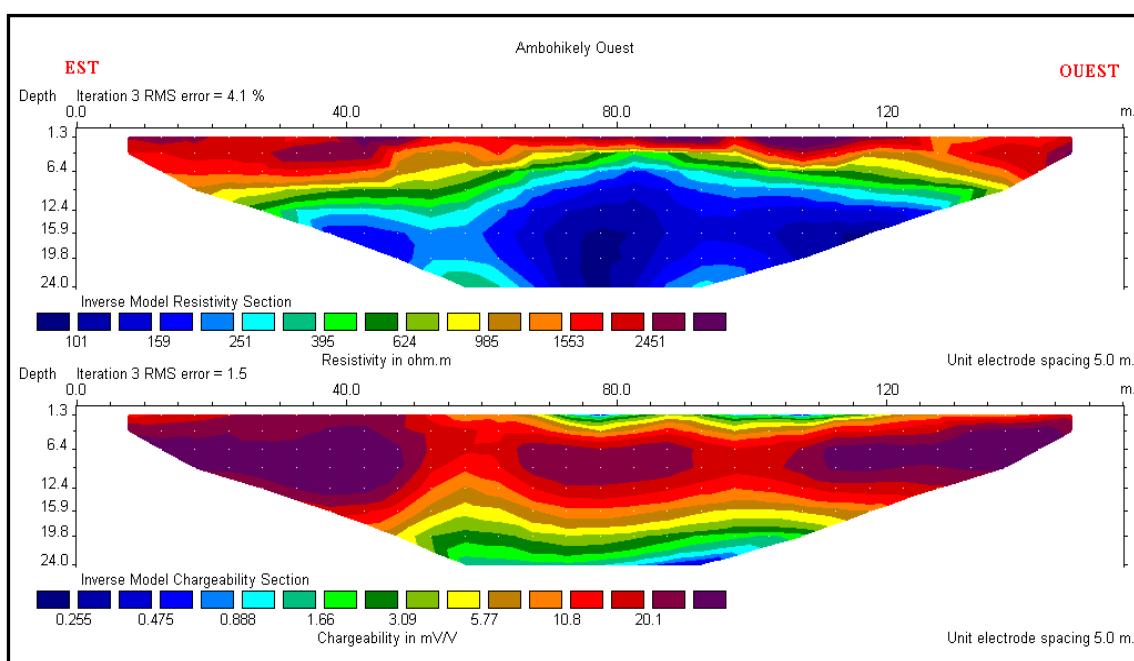


Figure 28: Coupe géoélectriques de résistivité et de chargeabilité obtenues avec le panneau n°9 réalisé dans le village d'Ambohikely

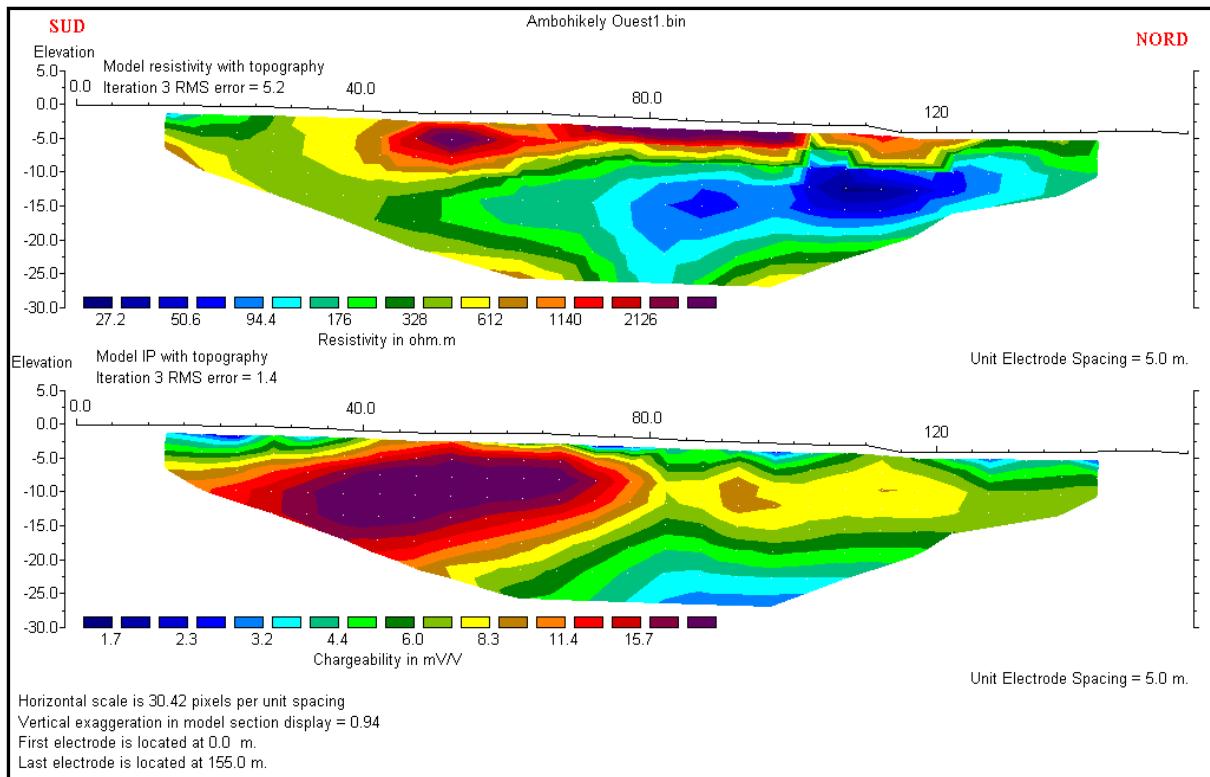


Figure 29:Coupes géoélectrique de résistivité et de chargeabilité du panneau n°10

2.2.5.2. Interprétation :

2.2.5.2.1. Panneau n°9

La coupe géoélectrique de résistivité présente trois zones de résistivité différente:

- la première se présente sous forme de couche résistante (couleur rouge clair et rouge foncé) qui recouvre la surface superficielle jusqu'à 9.2m de profondeur. Sa résistivité varie entre 985 à 2451 Ωm
- ensuite, une couche moins résistante (couleur jaune, vert, noire) que celle-ci se trouve en dessous. Elle est très mince (environ 5m d'épaisseur). Sa résistivité apparente varie entre 251 et 985 Ωm .
- enfin, une couche conductrice (couleur bleu foncé et bleu clair) se trouve en dessous de cette dernière entre les abscisses 32.5m et 128m avec une profondeur allant de 6.4m à 24m. Sa résistivité apparente varie entre 101 et 251 Ωm .

Concernant la chargeabilité, ses valeurs varient entre 0.255 et 20.1 mV/V.

2.2.5.2.2. Panneau n°10

La coupe de résistivité présente aussi trois zones de résistivité différentes :

- la première est constituée d'une couche résistante (couleur rouge clair et rouge foncé) qui affleure à la surface entre les abscisses 42.5m et 125m jusqu'à 10m de profondeur. Sa résistivité apparente varie entre 612 et 2126 Ωm
- ensuite, une couche moins résistante (couleur jaune, vert, noire) que celle-ci se trouve en dessous. Elle a une épaisseur intéressante dans la partie Sud de la coupe de résistivité. Sa résistivité apparente varie entre 328 et 612 Ωm
- enfin, une couche conductrice (couleur bleu foncé et bleu clair) est encaissée par cette dernière couche entre les abscisses 70m et 135m avec une profondeur comprise entre 7.5m et 20m. Sa résistivité apparente varie entre 27.2 et 176 Ωm

Les valeurs de la chargeabilité sont très faibles (entre 1.7 mV/V et 15.7 mV/V).

2.2.5.3. Discussion :

Comme on travaille dans une zone latéritique, la couche résistante recouvrant la surface dans les deux panneaux est constituée de latérites qui constituent le sol. Les couches moins résistantes qui se placent juste en dessous de cette couche résistante pourraient être constituées de sable ou sable argileux (donnée du puits existant).

Compte tenu de la profondeur du puits donnée ci-dessus, l'existence d'une source à 20m du point de mesure, la zone conductrice peut être constituée d'une zone saturée en eau (nappe aquifère). Le panneau perpendiculaire passe au point d'abscisse $X = 80m$ (là où l'épaisseur de cette zone est maximale et aussi parallèle à la source). On a vu que cette zone n'apparaît pas dans la partie sud de la coupe de résistivité de la figure 27. Ce qui explique que cette zone aquifère n'existe que dans la partie Nord (endroit où le centre du panneau se trouve).

2.2.5.4. Estimation des réserves en eaux souterraines

2.2.5.4.1. *Volume moyen des nappes aquifères*

Comme, $V = L * l * h$ avec $L=95.5m$ (figure 28); $l = 65m$ (figure 29); $h = 12.5 m$

$$V = 95.5 * 65 * 12.5$$

$$V \approx 77600 \text{ m}^3$$

2.2.5.4.2. Durabilité de la nappe

Nombre d'habitants dans les villages d'Ambohikely Ouest: **150 habitants**

Besoin en eau annuel des habitants: $0.03 * 365 * 150 = 1642.5 \text{ m}^3$

Cette source suffira pour les villageois jusqu'à une quarantaine d'année.

On se propose alors de faire le forage pour vérification et d'exploiter cette source en cas de test positif.

Récapitulation

N°	Emplacement		Coordonnées du lieu		
	Fokontany	Village	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1 et 2	Falihavana	Merimerina	1^{er} : S 18°52.628' 2^{ème} : S 18°52.656'	E 047°24.464' E 047°24.489'	1280 1291
3 et 4	Manjaka Est	Manjaka Est	1^{er} : S 18°52.440' 2^{ème} : S 18°52.465'	E 047°24.236' E 047°24.219'	1280 1295
5 et 6	Ampangabe	Ampangabe	1^{er} : S 18°52.049' 2^{ème} : S 18°52.013'	E 047°24.113' E 047°24.092'	1275 1283
7 et 8	Ambatobe	Ankarongana	1^{er} : S 18°51.546' 2^{ème} : S 18°51.567'	E 047°24.295' E 047°24.277'	1270 1264
9 et 10	Ambohidreny	Ambohikely	1^{er} : S 18°51.322' 2^{ème} : S 18°51.322'	E 047°21.862' E 047°21.862'	1280 1280

Tableau 11: Emplacement du panneau

N° Site	Emplacement		Volume moyen des nappes estimé en m^3	Durabilité des nappes (année)
	Fokontany	Village		
1	Falihavana	Merimerina	22100	20
2	Manjaka Est	Manjaka Est	7800	2
3	Ampangabe	Ampangabe	9500	3
4	Ambatobe	Ankarongana	18400	7
5	Ambohidreny	Ambohikely	77600	40

Tableau 12: récapitulatif du volume moyen d'eau estimé et durabilité des nappes trouvées pour chaque site.

CONCLUSION

Ce travail nous a permis premièrement de nous familiariser à la méthode de prospection électrique notamment le sondage électrique et le panneau électrique 2D. Ce dernier permet de déterminer certains paramètres concernant la géométrie d'une nappe aquifère (à savoir son épaisseur et sa profondeur) et d'estimer le volume moyen d'eau qu'elle contient.

Les panneaux n°1 et n°2 réalisés dans le village de Merimerina (Fokontany Falihavana) confirment la présence d'une zone aquifère (nappe libre) à 3.8 m de profondeur pour le premier et à 7.5 m celle du deuxième avec la même épaisseur égale à 10m. Cet aquifère a un volume moyen égal à 22100 m³ et il durera pendant une vingtaine d'années.

Pour les panneaux réalisés au village de Manjaka Est (n°3 et n°4), un aquifère (nappe libre) vient de détecter à 3.8 m et à 15 m de profondeur respectivement avec une épaisseur minimale égale à 2.5 m. Le volume moyen de cet aquifère est de 7800 m³ et il sera utilisé par les villageois pendant quatre ans mais on peut faire en trouver une autre source comme celle-ci dans d'autres endroits.

La présence d'un aquifère (nappe libre) est aussi confirmé à 12.4 m et à 2.5 m de profondeur avec les panneaux faites dans le village d'Ampangabe (n°5 et n°6) respectivement. L'épaisseur minimale de cet aquifère est de 11.6 m avec un volume moyen égal à 9700 m³ sa durabilité sera de 3ans environs. L'existence des autres sources que celle-ci est confirmée par le deuxième panneau.

Pour les panneaux n°7 et n°8 qui suivent (panneaux dans le Fokontany d'Ankarongana), une zone aquifère (nappe libre) est confirmée à partir de 7.5 m de profondeur avec une même épaisseur égale à 6.9 m. En estimant le volume moyen de cette zone aquifère, on a trouvé 18400 m³ avec une durabilité de sept ans environ.

Enfin, une zone aquifère (nappe libre) est confirmée par les panneaux n°9 et n°10 réalisé au village d'Ambohikely Ouest (Fokontany Ambohidreny) à 6.4 m et 7.5 m de profondeur respectivement. Cette zone a une épaisseur minimale égale à 12.5m. Le volume moyen de cet aquifère est de 77600 m³. et sa durabilité sera de quarante ans environ.

Pour estimer la durabilité de ces nappes, nous avons considéré la consommation journalière en eau des habitants en milieu rural aux environs de 30 l/habitant sans prendre en compte le nombre d'enfants qui ne consomment pas encore cette même quantité. Ce ci implique donc qu'il est envisageable de trouver une durabilité supérieure à celles déjà trouvées.

Nous n'arrivons pas aussi à déterminer exactement la réserve en eau que ces nappes peuvent contenir par manque des données de porosité des couches constituant la zone d'étude.

L'image par tomographique électrique (ITE) a donc donné des résultats satisfaisants pour l'étude de la potentialité en eau souterraine dans une région ou dans une commune Rurale comme celle-ci. Il permet d'obtenir la profondeur d'un aquifère, son épaisseur et surtout d'estimer le débit minimal d'eau. Mais l'utilisation de cette méthode a besoin d'une espace étendue pour avoir une profondeur d'investigation beaucoup plus profond. Ce ci a pour but de mieux détecter la cible et pour avoir un résultat précis.

Durant ces deux mois de stage, nous avons eu aussi l'opportunité de prolonger nos connaissances théoriques et pratiques acquises au cours de notre formation à la MSTGA. Ainsi, le plan de relations humaines compte beaucoup pour la réalisation de travail comme celle-ci: investigations au sein de la population et au sein de divers services pour la collecte de documents. Donc, ce travail nous a permis d'acquérir des expériences dans ce domaine. Mais sans oublier aussi la façon de gérer le temps, l'argent utilisé durant la campagne et surtout la manière de travailler en équipe.

L'étude de la potentialité en eau souterraine comme celle-ci peut être importante pour la recherche d'eau dans des zones qui ont des difficultés pour l'alimentation en eau ou pour les entreprises ou sociétés qui ont besoin d'une grande quantité d'eau. Notre démarche peut être donc appliquée à d'autres communes rurales ou régions pour un accès à l'eau potable.

Comme nos travaux ne concernent que la méthode géophysique durant cette étude, une analyse physico chimique des eaux s'avère encore indispensable pour mieux assurer sa qualité et sa potabilité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHAPERON P., DANLOUX J., FERRY L, 1993. Fleuves et rivières de Madagascar
- DELUBAC G., RAKOTOARISON W., RANTOANINA M., 1963. Etude géologique et prospection des feuilles Tananarive-Manjakandriana au 1/100.000: Ministère de l'Energie et des Mines.
- DELUBAC G., RAKOTOARISON W., RAKOTONANAHARY, 1963. Etude géologique et prospection des feuilles Miarinarivo et Arivonimamo au 1/100.000: Ministère de l'Energie et des Mines.
- FTM, 1988. Carte topographique de Madagascar à 1/100.000: Arivonimamo (Feuille O-47). Antananarivo, FTM.
- FAMANTANANTSOANIRINA M.R, 2004. Etude de la sensibilité des dispositifs Wenner, Wenner-Schlumberger et Dipole-Dipole en prospection électrique. Application à l'Hydrologie et à la détection de cavités, Mém DEA option : Géophysique Appliquée: Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Institut et Observatoire de Géophysique Ambohidempona, 55p.
- INSTAT, 2003. Recensement au niveau des communes.
- MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, 2003. Etude en vue de l'aménagement de points critiques sur le réseau rural prioritaire à Madagascar (Secteur Antananarivo-Fivondronana Ambohidratrimo).
- MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, 1994. Dossiers des résultats de la campagne de comptages routiers.
- RALIJAONA H., 2005. Prospection électrique 2D appliquée à l'étude des nappes aquifères de la plaine d'Antananarivo. Cas de la Commune Rurale d'Alasora. Mém. de Maîtrise option Géophysique Appliqué: Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Institut et Observatoire de Géophysique Ambohidempona, 36p
- RAPPORT D'ANALYSE, 2003. Connaissances, attitudes et pratiques en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène dans les provinces d'Antananarivo et de Toliary

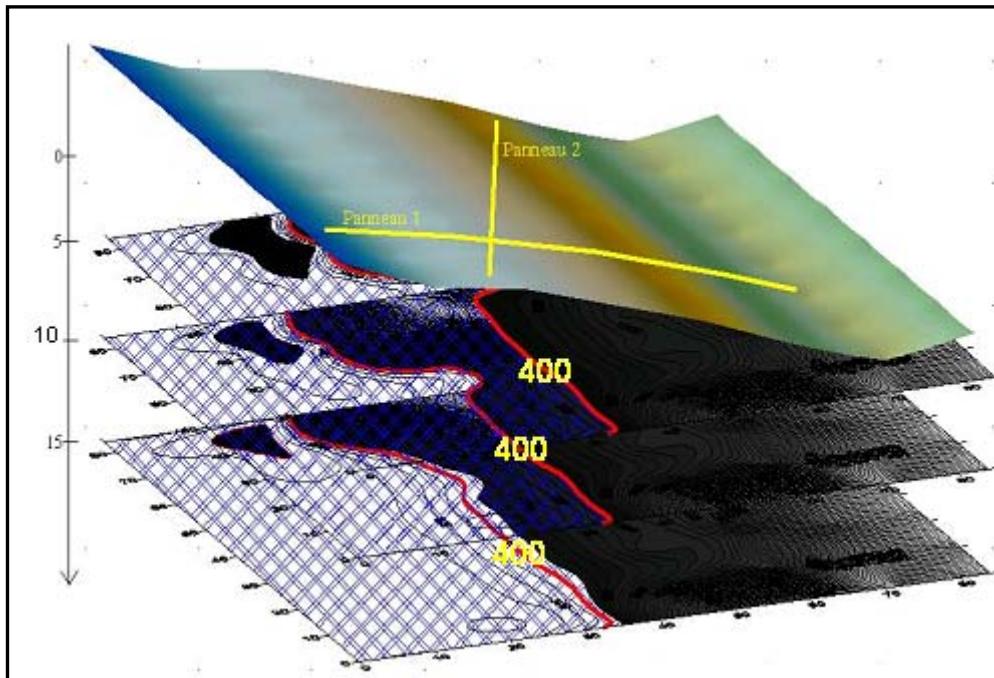
Sites Web:

- <http://www.oieau.fr>, août 2006
- <http://www.wds.worldbank.org>, août 2006
- <http://www.fao.org/newsroom>, octobre 2006
- <http://www.agr.gc.ca/pfra/water>, novembre 2006
- <http://www.madamax.com/cocos/TANA>, Août 2006

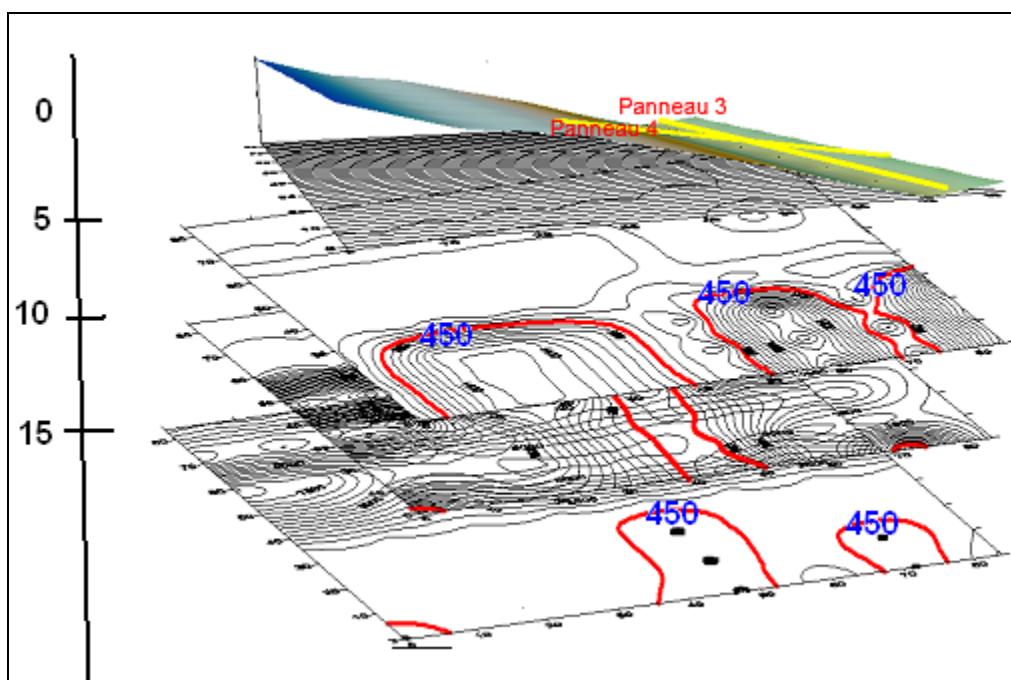
ANNEXES

ANNEXE I

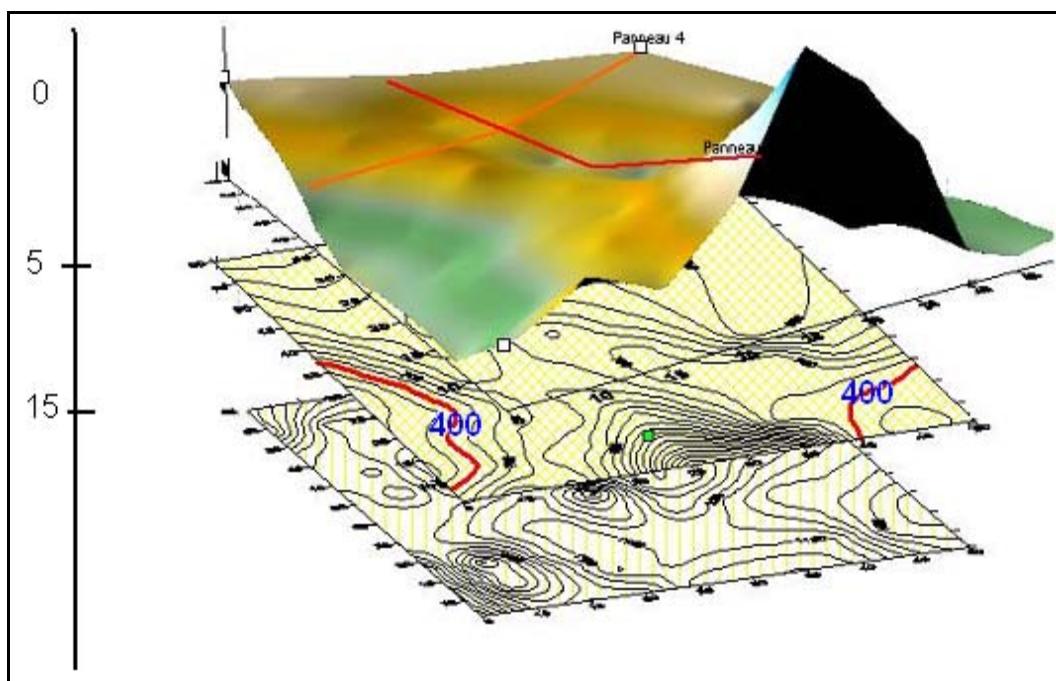
BLOC DIAGRAMME 3D RELATIF AUX COUPES GEOELECTRIQUES



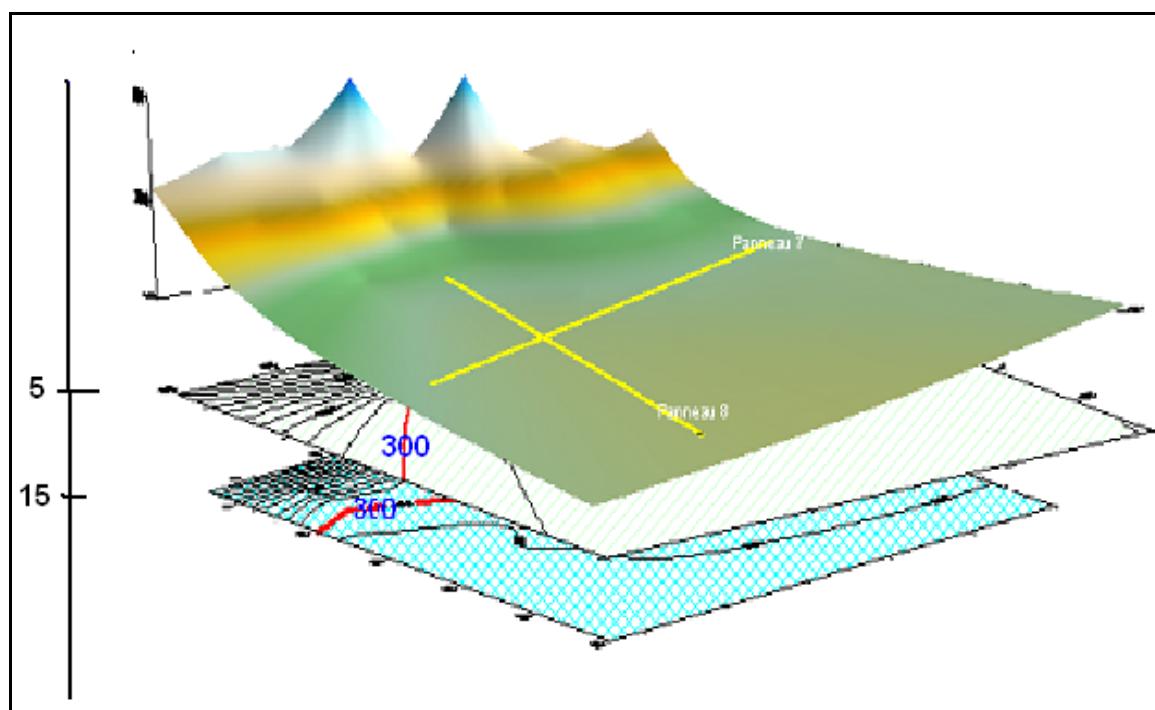
Village Merimerina



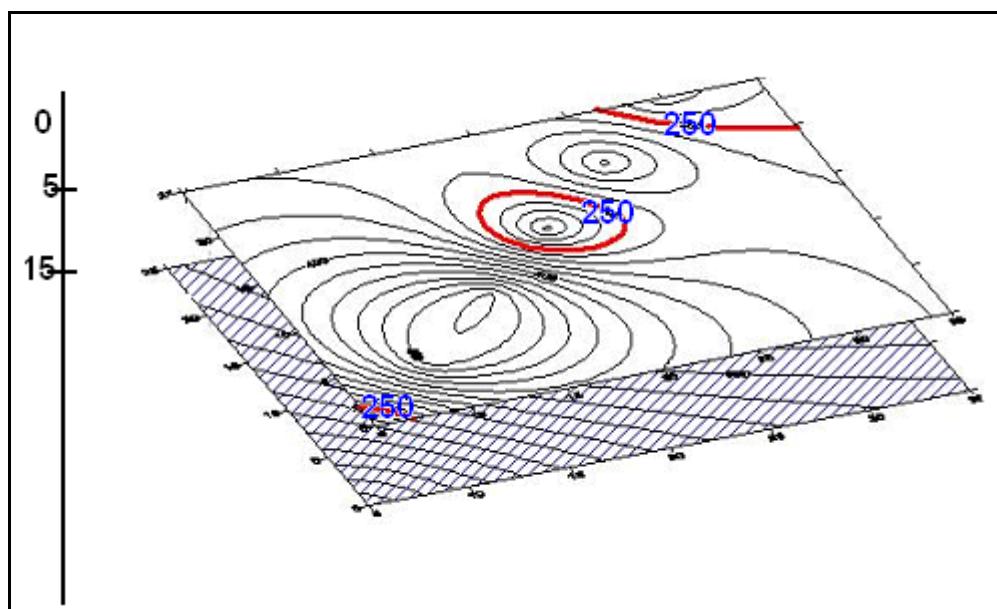
Fokontany Manjaka Est



Ampangabe



Fokontany Ambatobe (village d'Ankarongana)



Fokontany Ambohidreny (village d'Ambohikely Ouest)

ANNEXE II
Feuilles de sondage: Manjaka Est

AB/2 (m)	ρ_a (Ωm)
1	4717
2	5044
3	5532
4	4713
5	3609
7	2628
10	1973
10	1582
12	1326
12	1657
15	1090
20	898
30	764
30	923
40	609
40	731
50	800

ANNEXE III

RESULTATS DE MESURE EN PANNEAU ELECTRIQUE DU TYPE WENNER

Site n°1: Merimerina

PANNEAU N°I

N° Mesure	Electrode A	Electrode M	Electrode N	Electrode B	Résistivité (Ωm)	Chargeabilité (mV/V)
1	0	90	30	60	3407	12,4
2	0	81	27	54	2846	12,2
3	0	72	24	48	2095	11,5
4	0	63	21	42	1553	10,2
5	0	54	18	36	1282	8,4
6	0	45	15	30	1241	8,3
7	0	36	12	24	1160	7,6
8	0	27	9	18	1346	9,8
9	0	18	6	12	2474	8,4
10	0	9	3	6	6559	7,9
11	3	84	30	57	3575	12,9
12	3	75	27	51	2773	10,3
13	3	66	24	45	1669	9,9
14	3	57	21	39	1388	9,5
15	3	48	18	33	1172	8,2
16	3	39	15	27	1102	8,3
17	3	30	12	21	1218	8,3
18	3	21	9	15	2104	9,1
19	3	12	6	9	5859	7,0
20	6	87	33	60	3504	13,1
21	6	78	30	54	2762	11,0
22	6	69	27	48	2028	10,9
23	6	60	24	42	1675	10,1
24	6	51	21	36	1358	8,3
25	6	42	18	30	1148	8,8
26	6	33	15	24	1028	7,5
27	6	24	12	18	1749	7,6
28	6	15	9	12	4604	6,6

29	9	90	36	63	3999	13,0
30	9	81	33	57	3469	12,5
31	9	72	30	51	2582	10,3
32	9	63	27	45	1970	9,7
33	9	54	24	39	1547	8,8
34	9	45	21	33	1219	7,9
35	9	36	18	27	955	8,4
36	9	27	15	21	1597	5,8
37	9	18	12	15	4480	6,5
38	12	93	39	66	4587	13,3
39	12	84	36	60	4072	13,8
40	12	75	33	54	3691	11,7
41	12	66	30	48	2149	10,9
42	12	57	27	42	1775	8,2
43	12	48	24	36	1477	8,0
44	12	39	21	30	1108	8,4
45	12	30	18	24	1433	5,8
46	12	21	15	18	4833	5,2
47	15	87	39	63	4148	12,9
48	15	78	36	57	3406	12,7
49	15	69	33	51	2585	10,4
50	15	60	30	45	2198	10,2
51	15	51	27	39	1804	8,5
52	15	42	24	33	1285	7,2
53	15	33	21	27	1502	7,2
54	15	24	18	21	5895	6,5
55	18	90	42	66	4650	13,0
56	18	81	39	60	3918	12,3
57	18	72	36	54	3428	11,6
58	18	63	33	48	2740	10,3
59	18	54	30	42	2072	8,7
60	18	45	27	36	1702	6,8
61	18	36	24	30	1444	5,7
62	18	27	21	24	6955	6,0
63	21	93	45	69	4600	12,6
64	21	84	42	63	4816	13,3
65	21	75	39	57	4791	12,4
66	21	66	36	51	2816	9,4
67	21	57	33	45	2347	9,2
68	21	48	30	39	1965	7,8

69	21	39	27	33	1643	5,6
70	21	30	24	27	8501	7,2
71	24	87	45	66	4604	13,5
72	24	78	42	60	3644	12,7
73	24	69	39	54	3256	10,9
74	24	60	36	48	3010	9,0
75	24	51	33	42	2469	8,3
76	24	42	30	36	2288	5,7
77	24	33	27	30	8395	6,5
78	27	90	48	69	4404	12,6
79	27	81	45	63	4424	13,1
80	27	72	42	57	4273	12,3
81	27	63	39	51	3960	9,6
82	27	54	36	45	2905	8,5
83	27	45	33	39	2959	6,6
84	27	36	30	33	7551	6,7
85	30	93	51	72	4167	13,0
86	30	84	48	66	5452	14,2
87	30	75	45	60	5536	12,9
88	30	66	42	54	3983	10,5
89	30	57	39	48	3367	8,8
90	30	48	36	42	3040	6,8
91	30	39	33	36	7924	7,3
92	33	87	51	69	4450	13,4
93	33	78	48	63	4135	12,2
94	33	69	45	57	4270	11,0
95	33	60	42	51	4942	8,8
96	33	51	39	45	3776	7,7
97	33	42	36	39	7570	5,0
98	36	90	54	72	4071	12,4
99	36	81	51	66	5123	13,5
100	36	72	48	60	4914	11,6
101	36	63	45	54	6801	11,3
102	36	54	42	48	5020	7,9
103	36	45	39	42	8258	6,5
104	39	93	57	75	3630	12,2
105	39	84	54	69	5536	13,6
106	39	75	51	63	7148	12,5
107	39	66	48	57	6060	10,7
108	39	57	45	51	6623	8

109	39	48	42	45	8619	5,7
110	42	87	57	72	4208	12,2
111	42	78	54	66	5086	12,3
112	42	69	51	60	5491	10,7
113	42	60	48	54	8997	10,5
114	42	51	45	48	8630	6,8
115	45	90	60	75	3873	11,7
116	45	81	57	69	5219	12,2
117	45	72	54	63	6543	11,1
118	45	63	51	57	11891	12,2
119	45	54	48	51	12252	7,9
120	48	93	63	78	6516	13,6
121	48	84	60	72	5788	12,1
122	48	75	57	66	8907	11,4
123	48	66	54	60	9060	10,1
124	48	57	51	54	11069	10,0
125	51	87	63	75	4848	10,8
126	51	78	60	69	6744	10,6
127	51	69	57	63	8817	4,6
128	51	60	54	57	17462	10,4
129	54	90	66	78	7017	12,9
130	54	81	63	72	7635	0,1
131	54	72	60	66	11305	11,3
132	54	63	57	60	16724	10,6
133	57	93	69	81	6129	13,1
134	57	84	66	75	5758	11,0
135	57	75	63	69	14355	11,7
136	57	66	60	63	17479	10,8
137	60	87	69	78	8308	12,5
138	60	78	66	72	7105	9,9
139	60	69	63	66	17381	12,2
140	63	90	72	81	7365	12,7
141	63	81	69	75	4753	9,6
142	63	72	66	69	12984	9,8
143	66	93	75	84	9152	12,4
144	66	84	72	78	12323	12,7
145	66	75	69	72	9105	8,9
146	69	87	75	81	9961	11,1
147	69	78	72	75	3134	5,5
148	72	90	78	84	2506	8,2

149	72	81	75	78	10174	9,3
150	75	93	81	87	6056	14,0
151	75	84	78	81	2289	5,2
152	78	87	81	84	3065	3,8
153	81	90	84	87	7579	11,9
154	84	93	87	90	3802	7,1

PANNEAU N°2

1	0	150	50	100	1091	10,5
2	0	135	45	90	1098	10,6
3	0	120	40	80	1638	14,7
4	0	105	35	70	1560	13,6
5	0	90	30	60	1309	17,9
6	0	75	25	50	1351	18,7
7	0	60	20	40	1546	18,0
8	0	45	15	30	1664	16,3
9	0	30	10	20	1663	14,7
10	0	15	5	10	1914	11,1
11	5	155	55	105	1137	14,2
12	5	140	50	95	1014	5,9
13	5	125	45	85	1361	10,5
14	5	110	40	75	1716	9,0
15	5	95	35	65	1368	19,4
16	5	80	30	55	1223	18,3
17	5	65	25	45	1465	17,9
18	5	50	20	35	1615	16,8
19	5	35	15	25	1752	15,5
20	5	20	10	15	1803	11,2
21	10	145	55	100	1030	14,0
22	10	130	50	90	1209	8,4
23	10	115	45	80	1886	12,0
24	10	100	40	70	1440	10,4
25	10	85	35	60	1312	19,0
26	10	70	30	50	1330	20,7
27	10	55	25	40	1810	19
28	10	40	20	30	1846	15,5
29	10	25	15	20	1837	12,1
30	15	150	60	105	1055	9,7
31	15	135	55	95	1105	10,7
32	15	120	50	85	1770	14,2
33	15	105	45	75	1618	12,5

34	15	90	40	65	1304	15,2
35	15	75	35	55	1387	17,8
36	15	60	30	45	1652	17,9
37	15	45	25	35	1739	15,7
38	15	30	20	25	1888	12,3
39	20	155	65	110	1130	9,7
40	20	140	60	100	974	11,0
41	20	125	55	90	1531	11,9
42	20	110	50	80	1942	13,8
43	20	95	45	70	1381	14,4
44	20	80	40	60	1352	16,9
45	20	65	35	50	1737	16,9
46	20	50	30	40	1848	15,8
47	20	35	25	30	2352	12,7
48	25	145	65	105	1005	9,4
49	25	130	60	95	1253	11,9
50	25	115	55	85	2155	13,8
51	25	100	50	75	1567	14,4
52	25	85	45	65	1413	17,8
53	25	70	40	55	1551	15,6
54	25	55	35	45	2390	16,6
55	25	40	30	35	2057	12,0
56	30	150	70	110	1070	14,2
57	30	135	65	100	1116	13,9
58	30	120	60	90	2209	15,5
59	30	105	55	80	1973	15,7
60	30	90	50	70	1485	16,1
61	30	75	45	60	1836	17,3
62	30	60	40	50	2327	16,4
63	30	45	35	40	2581	12,6
64	35	155	75	115	1354	16,2
65	35	140	70	105	977	13
66	35	125	65	95	1732	15,8
67	35	110	60	85	2255	15,6
68	35	95	55	75	1727	16,1
69	35	80	50	65	1714	17,1
70	35	65	45	55	2189	14,9
71	35	50	40	45	2323	12,3
72	40	145	75	110	1028	17,6
73	40	130	70	100	1384	16,4

74	40	115	65	90	2835	13,1
75	40	100	60	80	1969	14,5
76	40	85	55	70	1980	15,7
77	40	70	50	60	2220	14,4
78	40	55	45	50	2896	12,7
79	45	150	80	115	1277	17,6
80	45	135	75	105	1215	13,7
81	45	120	70	95	2848	14,7
82	45	105	65	85	2283	16,3
83	45	90	60	75	1945	15,9
84	45	75	55	65	2741	16,1
85	45	60	50	55	2411	11,5
86	50	155	85	120	1716	22,5
87	50	140	80	110	1021	19,5
88	50	125	75	100	2197	15,5
89	50	110	70	90	3094	17,1
90	50	95	65	80	2204	15,2
91	50	80	60	70	2372	15,0
92	50	65	55	60	3572	11,7
93	55	145	85	115	1301	17,4
94	55	130	80	105	1594	14,7
95	55	115	75	95	3832	16,2
96	55	100	70	85	2265	17,1
97	55	85	65	75	2367	15,1
98	55	70	60	65	2520	12,0
99	60	150	90	120	1756	18,0
100	60	135	85	110	1387	15,9
101	60	120	80	100	3798	16,2
102	60	105	75	90	3188	18,2
103	60	90	70	80	2332	16,5
104	60	75	65	70	3226	10,6
105	65	155	95	125	2392	16,8
106	65	140	90	115	1403	18,6
107	65	125	85	105	2652	15,4
108	65	110	80	95	3996	18,1
109	65	95	75	85	2576	17,7
110	65	80	70	75	2247	12,0
111	70	145	95	120	1899	14,0
112	70	130	90	110	1899	15,4
113	70	115	85	100	4921	17,0

114	70	100	80	90	2846	18,4
115	70	85	75	80	2847	13,9
116	75	150	100	125	2599	13,2
117	75	135	95	115	2134	15,2
118	75	120	90	105	4670	16,0
119	75	105	85	95	3632	18,8
120	75	90	80	85	2479	15,6
121	80	155	105	130	3231	13,2
122	80	140	100	120	2319	14,5
123	80	125	95	110	3305	16,9
124	80	110	90	100	4692	19,4
125	80	95	85	90	3336	17,3
126	85	145	105	125	3186	14,5
127	85	130	100	115	3521	16,3
128	85	115	95	105	5583	17,4
129	85	100	90	95	3254	18,2
130	90	150	110	130	4330	14,2
131	90	135	105	120	4458	14,8
132	90	120	100	110	6037	18,3
133	90	105	95	100	3882	19,8
134	95	155	115	135	5153	13,4
135	95	140	110	125	5102	15,2
136	95	125	105	115	7463	16,9
137	95	110	100	105	4549	18,7
138	100	145	115	130	6239	14,8
139	100	130	110	120	8793	15,2
140	100	115	105	110	5986	20,1
141	105	150	120	135	5957	13,6
142	105	135	115	125	9628	13,6
143	105	120	110	115	17194	17,6
144	110	155	125	140	4102	12,9
145	110	140	120	130	7711	14,9
146	110	125	115	120	16460	13,6
147	115	145	125	135	7409	14,1
148	115	130	120	125	23344	14,5
149	120	150	130	140	6548	11,6
150	120	135	125	130	17140	11,1
151	125	155	135	145	4874	9,6
152	125	140	130	135	10664	9,5
153	130	145	135	140	7029	8,5

154	135	150	140	145	2135	5,4
155	140	155	145	150	1445	6,7

Site n°2: Manjaka Est

PANNEAU N°3

1	0	9	3	6	2301	6,8
2	6	15	9	12	2200	7,2
3	9	18	12	15	2694	9,5
4	12	21	15	18	1941	7,8
5	15	24	18	21	2517	9,5
6	18	27	21	24	2050	8,2
7	21	30	24	27	2148	7,5
8	27	36	30	33	3604	8,8
9	33	42	36	39	3444	9,6
10	36	45	39	42	2900	13,7
11	39	48	42	45	2986	12,8
12	42	51	45	48	3159	12,4
13	45	54	48	51	3920	12,0
14	51	60	54	57	3487	12,6
15	60	69	63	66	2916	15,7
16	63	72	66	69	2728	15,6
17	66	75	69	72	4681	14,8
18	69	78	72	75	4387	14,4
19	75	84	78	81	5219	14,3
20	78	87	81	84	6133	14,2
21	81	90	84	87	4460	14,3
22	84	93	87	90	4835	13,5
23	0	18	6	12	2178	10,4
24	3	21	9	15	1404	9,0
25	6	24	12	18	1754	9,56
26	9	27	15	21	2417	10,7
27	12	30	18	24	2420	11,1
28	15	33	21	27	1846	11,1
29	18	36	24	30	1881	8,3
30	21	39	27	33	2249	12,3
31	24	42	30	36	2217	13,0
32	27	45	33	39	2007	13,3
33	30	48	36	42	1957	9,3
34	33	51	39	45	1735	14,9
35	36	54	42	48	1668	14,3
36	39	57	45	51	1907	15,5

37	42	60	48	54	1639	16,2
38	45	63	51	57	1431	15,3
39	51	69	57	63	2004	17,3
40	54	72	60	66	1671	18,1
41	57	75	63	69	1456	17
42	60	78	66	72	1779	18,3
43	63	81	69	75	2007	18,8
44	66	84	72	78	2228	19,2
45	72	90	78	84	2001	20,3
46	75	93	81	87	2277	21,1
47	0	27	9	18	1397	9,9
48	3	30	12	21	1880	10,9
49	6	33	15	24	1848	12,1
50	9	36	18	27	1766	13,9
51	12	39	21	30	1474	13,8
52	15	42	24	33	1507	12,0
53	18	45	27	36	1683	17,9
54	21	48	30	39	1978	11,5
55	24	51	33	42	1704	13,0
56	27	54	36	45	1377	12,8
57	30	57	39	48	1384	15,2
58	33	60	42	51	1232	12,7
59	36	63	45	54	1160	15,2
60	39	66	48	57	1204	14,1
61	45	72	54	63	1297	16,3
62	48	75	57	66	1353	17,1
63	54	81	63	72	1150	16,5
64	57	84	66	75	1188	16,9
65	60	87	69	78	1353	19,1
66	63	90	72	81	1259	19,1
67	66	93	75	84	1253	18,5
68	0	36	12	24	1419	12,1
69	3	39	15	27	1282	9,8
70	6	42	18	30	1340	12,5
71	9	45	21	33	1388	14,1
72	12	48	24	36	1344	20,8
73	15	51	27	39	1523	12,3
74	18	54	30	42	1500	10,0
75	21	57	33	45	1466	10,6
76	24	60	36	48	1281	3,3

77	27	63	39	51	1092	13,3
78	30	66	42	54	1037	10,5
79	33	69	45	57	1106	9,9
80	36	72	48	60	1243	8,8
81	39	75	51	63	1210	13,9
82	42	78	54	66	1176	13,7
83	45	81	57	69	1116	14,9
84	51	87	63	75	1026	14,6
85	54	90	66	78	1020	15,4
86	57	93	69	81	995	16,0
87	0	45	15	30	1178	13,9
88	3	48	18	33	1253	12,6
89	6	51	21	36	1150	26,0
90	9	54	24	39	1354	9,7
91	12	57	27	42	1303	14,3
92	15	60	30	45	1302	7,2
93	18	63	33	48	1185	7,5
94	24	69	39	54	1054	11,8
95	27	72	42	57	1019	9,9
96	30	75	45	60	1164	9,3
97	33	78	48	63	1206	11,0
98	36	81	51	66	1150	13,8
99	39	84	54	69	1162	12,1
100	42	87	57	72	1128	13,1
101	45	90	60	75	1007	12,4
102	48	93	63	78	985	12,8
103	0	54	18	36	1141	27,1
104	3	57	21	39	1168	8,7
105	6	60	24	42	1121	9,8
106	9	63	27	45	1190	11,1
107	12	66	30	48	1142	2,5
108	15	69	33	51	1128	6,3
109	21	75	39	57	1045	8,4
110	27	81	45	63	1125	10,9
111	30	84	48	66	1160	10,8
112	33	87	51	69	1120	12,9
113	36	90	54	72	1166	6,3
114	39	93	57	75	1148	11,2
115	0	63	21	42	1032	7,6
116	3	66	24	45	1003	4,8

117	6	69	27	48	1034	9,4
118	12	75	33	54	1043	1,1
119	21	84	42	63	1084	6,9
120	24	87	45	66	1114	9,6
121	27	90	48	69	1110	9,1
122	30	93	51	72	1117	8,2
123	0	72	24	48	964	3,3
124	3	75	27	51	976	7,4
125	15	87	39	63	1011	7,3
126	18	90	42	66	1027	6,3
127	21	93	45	69	1081	9,9
128	0	81	27	54	891	7,8
129	12	93	39	66	959	4,5

PANNEAU N°4

1	0	120	40	80	938	12,6
2	0	108	36	72	935	11,6
3	0	96	32	64	1069	14,4
4	0	84	28	56	1305	16
5	0	72	24	48	1538	17,3
6	0	60	20	40	1842	19,5
7	0	48	16	32	1870	21,2
8	0	36	12	24	2028	18,1
9	0	24	8	16	1926	17,1
10	0	12	4	8	1079	10,1
11	4	124	44	84	942	12,1
12	4	112	40	76	863	13,7
13	4	100	36	68	976	10,6
14	4	88	32	60	1080	15,7
15	4	76	28	52	1474	16,6
16	4	64	24	44	1490	17,3
17	4	52	20	36	1906	20,8
18	4	40	16	28	1820	18,5
19	4	28	12	20	1870	17,3
20	4	16	8	12	1382	10,4
21	8	116	44	80	887	15,2
22	8	104	40	72	875	13
23	8	92	36	64	1082	14,4
24	8	80	32	56	1448	15,8
25	8	68	28	48	1518	15,7
26	8	56	24	40	1941	19,9

27	8	44	20	32	1960	20,1
28	8	32	16	24	2131	17,5
29	8	20	12	16	2237	13,0
30	12	120	48	84	909	11,7
31	12	108	44	76	899	16,2
32	12	96	40	68	982	13,7
33	12	84	36	60	1361	13,5
34	12	72	32	52	1814	15,9
35	12	60	28	44	2079	17,1
36	12	48	24	36	2294	21,0
37	12	36	20	28	2460	18,6
38	12	24	16	20	2109	12,3
39	16	124	52	88	1024	10,6
40	16	112	48	80	985	14,9
41	16	100	44	72	978	15,7
42	16	88	40	64	1323	14,5
43	16	76	36	56	2068	15,2
44	16	64	32	48	1923	16,0
45	16	52	28	40	2790	19,7
46	16	40	24	32	2509	19,0
47	16	28	20	24	3430	15,0
48	20	116	52	84	1000	6,8
49	20	104	48	76	1086	17,0
50	20	92	44	68	1206	15,6
51	20	80	40	60	1739	14,3
52	20	68	36	52	2123	15,0
53	20	56	32	44	2607	16,7
54	20	44	28	36	2748	19,5
55	20	32	24	28	3375	16,3
56	24	120	56	88	1033	10,2
57	24	108	52	80	1157	12,5
58	24	96	48	72	1221	15,0
59	24	84	44	64	1919	15,7
60	24	72	40	56	2677	14,5
61	24	60	36	48	2968	16,1
62	24	48	32	40	3661	18,3
63	24	36	28	32	3767	18,3
64	28	124	60	92	1139	8,4
65	28	112	56	84	1081	7,6
66	28	100	52	76	1261	15,0

67	28	88	48	68	1647	15,9
68	28	76	44	60	2466	15,0
69	28	64	40	52	2459	14,7
70	28	52	36	44	3579	16,7
71	28	40	32	36	3743	16,7
72	32	116	60	88	1159	14,3
73	32	104	56	80	1306	13,6
74	32	92	52	72	1448	16,7
75	32	80	48	64	2630	17,2
76	32	68	44	56	2943	15,7
77	32	56	40	48	3111	15,2
78	32	44	36	40	3973	17,1
79	36	120	64	92	1095	7,8
80	36	108	60	84	1351	13,5
81	36	96	56	76	1481	15,7
82	36	84	52	68	2371	16,1
83	36	72	48	60	3447	15,9
84	36	60	44	52	3908	16,3
85	36	48	40	44	3610	12,8
86	40	124	68	96	1230	13,6
87	40	112	64	88	1236	13,2
88	40	100	60	80	1726	16,3
89	40	88	56	72	1893	16,6
90	40	76	52	64	3883	15,8
91	40	64	48	56	4176	14,9
92	40	52	44	48	3918	12,5
93	44	116	68	92	1311	11,8
94	44	104	64	84	1456	13,7
95	44	92	60	76	2073	15,7
96	44	80	56	68	2970	14,9
97	44	68	52	60	3608	13,4
98	44	56	48	52	4414	12,0
99	48	120	72	96	1473	12,6
100	48	108	68	88	1592	13,1
101	48	96	64	80	1761	13,6
102	48	84	60	72	2815	14,1
103	48	72	56	64	4494	13,6
104	48	60	52	56	7158	12,4
105	52	124	76	100	1526	11,1
106	52	112	72	92	1819	11,9

107	52	100	68	84	1869	13,5
108	52	88	64	76	2221	12,6
109	52	76	60	68	4401	13,3
110	52	64	56	60	3332	10,4
111	56	116	76	96	1858	12,8
112	56	104	72	88	2632	14,1
113	56	92	68	80	2639	13,1
114	56	80	64	72	2775	10,2
115	56	68	60	64	7036	12,6
116	60	120	80	100	1574	11,9
117	60	108	76	92	2284	12,7
118	60	96	72	84	2827	12,8
119	60	84	68	76	3563	10,1
120	60	72	64	68	3128	8,7
121	64	124	84	104	1629	13,0
122	64	112	80	96	2017	13,7
123	64	100	76	88	3090	13,6
124	64	88	72	80	4251	12,1
125	64	76	68	72	2812	7,5
126	68	116	84	100	1721	12,7
127	68	104	80	92	2534	13,8
128	68	92	76	84	3170	11,9
129	68	80	72	76	5064	9,0
130	72	120	88	104	1146	11,5
131	72	108	84	96	2079	14,0
132	72	96	80	88	2808	12,2
133	72	84	76	80	6132	7,5
134	76	124	92	108	1255	14,6
135	76	112	88	100	1608	12,5
136	76	100	84	92	3415	11,9
137	76	88	80	84	4282	9,3
138	80	116	92	104	1407	14,2
139	80	104	88	96	2823	14,3
140	80	92	84	88	6910	9,1
141	84	120	96	108	1293	14,7
142	84	108	92	100	2287	15,5
143	84	96	88	92	3733	11,5
144	88	124	100	112	1583	15,6
145	88	112	96	104	1787	13,5
146	88	100	92	96	3620	13,5

147	92	116	100	108	1691	16,4
148	92	104	96	100	4360	13,5
149	96	120	104	112	2108	17,7
150	96	108	100	104	3127	12,1
151	100	124	108	116	2054	15,4
152	100	112	104	108	3870	13,6
153	104	116	108	112	3279	11,9
154	108	120	112	116	2081	10,8
155	112	124	116	120	2445	8,1

Site n°3: Ampangabe

PANNEAU N°5

1	0	150	50	100	1485	13,9
2	0	135	45	90	1240	34,9
3	0	120	40	80	1345	13,9
4	0	105	35	70	1220	15,0
5	0	90	30	60	1346	15,1
6	0	75	25	50	1477	17,0
7	0	60	20	40	1289	16,0
8	0	45	15	30	1363	9,5
9	0	30	10	20	893	11,7
10	0	15	5	10	454	9,3
11	5	155	55	105	1454	12,7
12	5	140	50	95	1420	5,9
13	5	125	45	85	1268	14,7
14	5	110	40	75	1215	13,1
15	5	95	35	65	1200	18,2
16	5	80	30	55	1291	18,4
17	5	65	25	45	1327	15,0
18	5	50	20	35	1321	15,3
19	5	35	15	25	1073	6,0
20	5	20	10	15	917	13,1
21	10	145	55	100	1285	11,1
22	10	130	50	90	1142	11,9
23	10	115	45	80	1142	9,3
24	10	100	40	70	1137	10,7
25	10	85	35	60	1168	13,6
26	10	70	30	50	1318	17,3
27	10	55	25	40	1112	16,6
28	10	40	20	30	1200	17,0
29	10	25	15	20	904	11,8

30	15	150	60	105	1309	15,1
31	15	135	55	95	1348	-6,3
32	15	120	50	85	1045	10,9
33	15	105	45	75	1053	12,8
7	15	90	40	65	1168	15,8
35	15	75	35	55	1253	22,8
36	15	60	30	45	1243	15,1
37	15	45	25	35	1342	15,1
38	15	30	20	25	1222	13,4
39	20	155	65	110	1241	3,8
40	20	140	60	100	1111	11,9
41	20	125	55	90	997	5,9
42	20	110	50	80	936	9,1
43	20	95	45	70	1072	10,8
44	20	80	40	60	1215	13,4
45	20	65	35	50	1314	15,5
46	20	50	30	40	1126	16,4
47	20	35	25	30	1277	14,0
48	25	145	65	105	1201	9,2
49	25	130	60	95	994	12,9
50	25	115	55	85	929	16,0
51	25	100	50	75	975	12,4
52	25	85	45	65	1170	14,2
53	25	70	40	55	1475	15,4
54	25	55	35	45	1263	15,6
55	25	40	30	35	1350	14,8
56	30	150	70	110	1223	10,2
57	30	135	65	100	1127	12,7
58	30	120	60	90	947	8,4
59	30	105	55	80	982	16,5
60	30	90	50	70	1128	13,7
61	30	75	45	60	1461	16,5
62	30	60	40	50	1624	17,0
63	30	45	35	40	1134	12,3
64	35	155	75	115	1163	6,4
65	35	140	70	105	1169	11,1
66	35	125	65	95	957	17,3
67	35	110	60	85	944	16,9
68	35	95	55	75	1100	17,7
69	35	80	50	65	1237	16,5

70	35	65	45	55	1561	15,8
71	35	50	40	45	1318	13,1
72	40	145	75	110	1201	7,5
73	40	130	70	100	1057	14,4
74	40	115	65	90	1024	4,8
75	40	100	60	80	1093	17,4
76	40	85	55	70	1161	17,2
77	40	70	50	60	1319	14,5
78	40	55	45	50	1332	12,6
79	45	150	80	115	1120	8,3
80	45	135	75	105	1220	13,8
81	45	120	70	95	1007	22,0
82	45	105	65	85	1104	16,6
83	45	90	60	75	1234	19,7
84	45	75	55	65	1321	15,7
85	45	60	50	55	1088	10,5
86	50	155	85	120	1227	14,0
87	50	140	80	110	1197	12,0
88	50	125	75	100	1180	15,2
89	50	110	70	90	1214	13,7
90	50	95	65	80	1428	17,2
91	50	80	60	70	1305	15,2
92	50	65	55	60	1022	11,0
93	55	145	85	115	1152	15,3
94	55	130	80	105	1156	16,5
95	55	115	75	95	1233	17,6
96	55	100	70	85	1349	17,1
97	55	85	65	75	1237	15,2
98	55	70	60	65	957	10,8
99	60	150	90	120	1208	16,5
100	60	135	85	110	1131	18,2
101	60	120	80	100	1025	14,9
102	60	105	75	90	1209	14,6
103	60	90	70	80	1469	17,2
104	60	75	65	70	1070	9,5
105	65	155	95	125	1048	11
106	65	140	90	115	1038	17,2
107	65	125	85	105	1045	14,2
108	65	110	80	95	1043	17,8
109	65	95	75	85	1353	14,8

110	65	80	70	75	1066	10,2
111	70	145	95	120	1102	15,2
112	70	130	90	110	1040	15,1
113	70	115	85	100	1180	14,8
114	70	100	80	90	1154	12,9
115	70	85	75	80	1525	10,0
116	75	150	100	125	930	15,5
117	75	135	95	115	943	15,6
118	75	120	90	105	1055	16,6
119	75	105	85	95	1141	14,2
120	75	90	80	85	1337	9,9
121	80	155	105	130	862	16,7
122	80	140	100	120	1015	14,3
123	80	125	95	110	1061	12,3
124	80	110	90	100	1444	15,9
125	80	95	85	90	1544	9,6
126	85	145	105	125	853	12,9
127	85	130	100	115	873	12,9
128	85	115	95	105	1523	11,4
129	85	100	90	95	1604	10,5
130	90	150	110	130	861	8,5
131	90	135	105	120	951	10,5
132	90	120	100	110	1023	12,7
133	90	105	95	100	1617	9,9
134	95	155	115	135	832	22,8
135	95	140	110	125	822	16,7
136	95	125	105	115	821	9,1
137	95	110	100	105	1626	8
138	100	145	115	130	1006	13,0
139	100	130	110	120	1045	10,9
140	100	115	105	110	1553	6,9
141	105	150	120	135	715	10,9
142	105	135	115	125	1162	9,5
143	105	120	110	115	932	5,3
144	110	155	125	140	807	11,9
145	110	140	120	130	624	7,8
146	110	125	115	120	1481	7,2
147	115	145	125	135	610	11,4
148	115	130	120	125	478	3,2
149	120	150	130	140	715	15,2

150	120	135	125	130	821	2,8
151	125	155	135	145	691	16,7
152	125	140	130	135	581	3,1
153	130	145	135	140	911	0,9
154	135	150	140	145	840	6,8
155	140	155	145	150	848	8,8

PANNEAU N°6

1	0	180	60	120	1030	8,0
2	0	162	54	108	908	12,8
3	0	144	48	96	852	11,8
4	0	126	42	84	752	5,4
5	0	108	36	72	556	8,9
6	0	90	30	60	456	11,7
7	0	72	24	48	500	14,3
8	0	54	18	36	502	14,1
9	0	36	12	24	481	10,4
10	0	18	6	12	673	7,6
11	6	186	66	126	1046	11,0
12	6	168	60	114	954	11,4
13	6	150	54	102	879	12,7
14	6	132	48	90	834	12,4
15	6	114	42	78	657	11,7
16	6	96	36	66	500	11,6
17	6	78	30	54	555	14,0
18	6	60	24	42	534	14,8
19	6	42	18	30	615	12,0
20	6	24	12	18	775	8,2
21	12	174	66	120	972	10,9
22	12	156	60	108	906	12,2
23	12	138	54	96	873	13,5
24	12	120	48	84	763	9,8
25	12	102	42	72	614	11,3
26	12	84	36	60	543	12
27	12	66	30	48	645	16,6
28	12	48	24	36	629	13,1
29	12	30	18	24	852	9,7
30	18	180	72	126	986	8,1
31	18	162	66	114	912	12,1
32	18	144	60	102	881	12,4
33	18	126	54	90	832	14,8

34	18	108	48	78	685	12,5
35	18	90	42	66	575	11,2
36	18	72	36	54	713	14,2
37	18	54	30	42	609	14,6
38	18	36	24	30	717	9,8
39	24	186	78	132	981	10,8
40	24	168	72	120	912	10,0
41	24	150	66	108	882	13,3
42	24	132	60	96	848	13,0
43	24	114	54	84	752	13,3
44	24	96	48	72	667	13,8
45	24	78	42	60	714	14,5
46	24	60	36	48	819	15,2
47	24	42	30	36	736	11,1
48	30	174	78	126	882	12,0
49	30	156	72	114	847	11,6
50	30	138	66	102	877	13,2
51	30	120	60	90	845	13,8
52	30	102	54	78	699	14,1
53	30	84	48	66	756	15,3
54	30	66	42	54	1106	16,4
55	30	48	36	42	660	11,3
56	36	180	84	132	873	13,5
57	36	162	78	120	829	10,1
58	36	144	72	108	818	13,5
59	36	126	66	96	816	14,9
60	36	108	60	84	778	14,0
61	36	90	54	72	685	15,2
62	36	72	48	60	917	15,8
63	36	54	42	48	1011	11,7
64	42	186	90	138	800	9,3
65	42	168	84	126	783	9,4
66	42	150	78	114	773	11,9
67	42	132	72	102	764,2	13,2
68	42	114	66	90	805	15,3
69	42	96	60	78	774	15,6
70	42	78	54	66	876	15,6
71	42	60	48	54	1366	11,9
72	48	174	90	132	728	9,6
73	48	156	84	120	728	11

74	48	138	78	108	780	13,2
75	48	120	72	96	779	15,5
76	48	102	66	84	880	16,7
77	48	84	60	72	1188	15,8
78	48	66	54	60	1235	12,5
79	54	180	96	138	729	9,2
80	54	162	90	126	668	13
81	54	144	84	114	743	11,1
82	54	126	78	102	784	14,7
83	54	108	72	90	952	16,2
84	54	90	66	78	1184	16,6
85	54	72	60	66	1560	12,0
86	60	186	102	144	844	10,5
87	60	168	96	132	689	10,8
88	60	150	90	120	655	9,6
89	60	132	84	108	726	13,2
90	60	114	78	96	796	15,4
91	60	96	72	84	1038	15,6
92	60	78	66	72	1442	12,6
93	66	174	102	138	662	11,1
94	66	156	96	126	653	11,6
95	66	138	90	114	677	11,7
96	66	120	84	102	774	14,9
97	66	102	78	90	975	15
98	66	84	72	78	1391	11,5
99	72	180	108	144	810	11,4
100	72	162	102	132	672	10,1
101	72	144	96	120	677	12,3
102	72	126	90	108	650	13,4
103	72	108	84	96	906	13,9
104	72	90	78	84	1083	10,2
105	78	186	114	150	894	12,2
106	78	168	108	138	658	10,9
107	78	150	102	126	684	10,1
108	78	132	96	114	676	11,6
109	78	114	90	102	641	11,7
110	78	96	84	90	1123	9,3
111	84	174	114	144	806	12,1
112	84	156	108	132	682	10,6
113	84	138	102	120	719	11,0

114	84	120	96	108	658	11,0
115	84	102	90	96	659	7,2
116	90	180	120	150	894	13,4
117	90	162	114	138	653	11,8
118	90	144	108	126	676	11
119	90	126	102	114	630	9,9
120	90	108	96	102	601	6,9
121	96	186	126	156	994	13,4
122	96	168	120	144	809	12,9
123	96	150	114	132	659	10,2
124	96	132	108	120	556	9,2
125	96	114	102	108	522	6,2
126	102	174	126	150	840	13
127	102	156	120	138	589	9,5
128	102	138	114	126	599	7,6
129	102	120	108	114	504	5,7
130	108	180	132	156	950	14,6
131	108	162	126	144	834	10,8
132	108	144	120	132	587	7,4
133	108	126	114	120	484	4,0
134	114	186	138	162	1034	13,8
135	114	168	132	150	880	12,2
136	114	150	126	138	593	7,7
137	114	132	120	126	504	5,3
138	120	174	138	156	1038	13,1
139	120	156	132	144	903	9,1
140	120	138	126	132	589	5,1
141	126	180	144	162	931	13,8
142	126	162	138	150	1064	10,2
143	126	144	132	138	501	5,6
144	132	186	150	168	967	13,9
145	132	168	144	156	1091	11,8
146	132	150	138	144	1318	8,4
147	138	174	150	162	968	13,8
148	138	156	144	150	1091	7,6
149	144	180	156	168	1179	13,6
150	144	162	150	156	1754	8,7
151	150	186	162	174	1339	15,9
152	150	168	156	162	1359	8,0
153	156	174	162	168	1516	8,6

154	162	180	168	174	1510	11,3
155	168	186	174	180	1414	12,9

Site n°4: Ankarongana

PANNEAU N°7

1	0	90	30	60	250	13,5
2	0	72	24	48	238	3,7
3	0	54	18	36	230	10,4
4	0	45	15	30	247	11,2
5	0	36	12	24	282	8,8
6	0	27	9	18	505	13,9
7	0	18	6	12	742	13,8
8	0	9	3	6	1268	3,6
9	3	84	30	57	252	3,0
10	3	66	24	45	242	9,0
11	3	57	21	39	256	0,7
12	3	48	18	33	270	12,0
13	3	39	15	27	274	13,6
14	3	30	12	21	409	14,5
15	3	21	9	15	745	13,8
16	3	12	6	9	1224	5,8
17	6	87	33	60	235	11,7
18	6	78	30	54	260	2,3
19	6	60	24	42	234	9,7
20	6	51	21	36	267	9,1
21	6	42	18	30	277	12,2
22	6	33	15	24	35	11,6
23	6	24	12	18	632	11,1
24	6	15	9	12	1945	6,3
25	9	81	33	57	260	1,4
26	9	72	30	51	273	5,2
27	9	63	27	45	259	3,6
28	9	54	24	39	279	12,6
29	9	45	21	33	320	11,1
30	9	36	18	27	401	14,5
31	9	27	15	21	645	12,4
32	9	18	12	15	1455	5,2
33	12	93	39	66	265	4,7
34	12	84	36	60	259	12,0
35	12	75	33	54	278	9,5
36	12	66	30	48	271	7,6

37	12	57	27	42	315	15,2
38	12	48	24	36	413	15,7
39	12	39	21	30	475	14,7
40	12	30	18	24	719	12,9
41	12	21	15	18	1739	6,5
42	15	87	39	63	249	9,7
43	15	78	36	57	263	9,8
44	15	69	33	51	301	10,3
45	15	60	30	45	289	16,9
46	15	51	27	39	396	15,3
47	15	42	24	33	481	15,1
48	15	33	21	27	645	12,7
49	15	24	18	21	1839	5,3
50	18	90	42	66	269	6,9
51	18	81	39	60	264	17,2
52	18	72	36	54	310	14,8
53	18	63	33	48	282	14,6
54	18	54	30	42	350	16,0
55	18	45	27	36	470	14,4
56	18	36	24	30	704	12,2
57	18	27	21	24	1740	4,8
58	21	93	45	69	320	7,0
59	21	84	42	63	287	13,9
60	21	75	39	57	289	15,7
61	21	66	36	51	363	11,2
62	21	57	33	45	363	12,9
63	21	48	30	39	515	13,4
64	21	39	27	33	646	11,9
65	21	30	24	27	1984	5,6
66	24	87	45	66	273	15,6
67	24	78	42	60	287	10,8
68	24	69	39	54	343	13,7
69	24	60	36	48	318	19,4
70	24	51	33	42	450	15,5
71	24	42	30	36	613	11,4
72	24	33	27	30	1603	4,6
73	27	90	48	69	332	10,9
74	27	81	45	63	321	12,8
75	27	72	42	57	349	16,3
76	27	63	39	51	425	15,4

77	27	54	36	45	450	13,6
78	27	45	33	39	639	12,0
79	27	36	30	33	1490	6,0
80	30	93	51	72	343	13,5
81	30	84	48	66	354	16,8
82	30	75	45	60	361	18,3
83	30	66	42	54	455	17,4
84	30	57	39	48	440	13,2
85	30	48	36	42	696	12,3
86	30	39	33	36	1619	4,9
87	33	87	51	69	359	14,5
88	33	78	48	63	381	17,0
89	33	69	45	57	439	17,0
90	33	60	42	51	574	15,4
91	33	51	39	45	645	11,6
92	33	42	36	39	1796	6,7
93	36	90	54	72	356	15,8
94	36	81	51	66	403	16,2
95	36	72	48	60	489	17,8
96	36	63	45	54	598	16,6
97	36	54	42	48	554	11,2
98	36	45	39	42	1949	5,7
99	39	93	57	75	398	19,7
100	39	84	54	69	412	22,6
101	39	75	51	63	459	17,4
102	39	66	48	57	601	16,4
103	39	57	45	51	820	13,0
104	39	48	42	45	2551	6,3
105	42	87	57	72	413	19,6
106	42	78	54	66	428	18,8
107	42	69	51	60	575	15,3
108	42	60	48	54	834	13,4
109	42	51	45	48	1650	6,1
110	45	90	60	75	434	22,3
111	45	81	57	69	511	18,2
112	45	72	54	63	536	16,4
113	45	63	51	57	711	12,5
114	45	54	48	51	1943	7,3
115	48	93	63	78	491	22,5
116	48	84	60	72	510	22,1

117	48	75	57	66	563	18,6
118	48	66	54	60	613	12,5
119	48	57	51	54	1136	7,3
120	51	87	63	75	577	21,0
121	51	78	60	69	666	18,3
122	51	69	57	63	800	13,9
123	51	60	54	57	755	6,7
124	54	90	66	78	618	21,0
125	54	81	63	72	682	18,6
126	54	72	60	66	774	15,4
127	54	63	57	60	853	8,3
128	57	93	69	81	602	20,1
129	57	84	66	75	668	19,3
130	57	75	63	69	721	16,2
131	57	66	60	63	664	7,3
132	60	87	69	78	654	20,1
133	60	78	66	72	663	16,2
134	60	69	63	66	994	6,9
135	63	90	72	81	639	21,0
136	63	81	69	75	656	16,6
137	63	72	66	69	945	7,3
138	66	93	75	84	657	19,6
139	66	84	72	78	776	19,6
140	66	75	69	72	1035	6,4
141	69	87	75	81	650	20,4
142	69	78	72	75	891	8,3
143	72	90	78	84	582	19,0
144	72	81	75	78	1001	8,6
145	75	93	81	87	816,8	20,7
146	75	84	78	81	584	9,2
147	78	87	81	84	863	5,1
148	81	90	84	87	751	10,8
149	84	93	87	90	842	7,7

PANNEAU N°8

1	0	9	3	6	2228	6,5
2	3	12	6	9	2773	6,4
3	6	15	9	12	2761	5,9
4	9	18	12	15	4079	4,3
5	12	21	15	18	2259	4,2
6	15	24	18	21	3949	4

7	18	27	21	24	1996	4,1
8	21	30	24	27	2294	4,0
9	24	33	27	30	1821	3,7
10	27	36	30	33	2173	3,4
11	30	39	33	36	2375	3,4
12	33	42	36	39	2617	3,3
13	36	45	39	42	2479	3,2
14	39	48	42	45	2772	3,2
15	42	51	45	48	2128	3,0
16	45	54	48	51	21209	2,9
17	48	57	51	54	1540	2,5
18	51	60	54	57	1413	2,8
19	54	63	57	60	1233	2,8
20	57	66	60	63	1279	2,7
21	60	69	63	66	1120	2,8
22	63	72	66	69	1129	2,6
23	66	75	69	72	985	2,9
24	69	78	72	75	1040	3,0
25	72	81	75	78	856	3,1
26	75	84	78	81	769	3,4
27	78	87	81	84	634	3,6
28	81	90	84	87	537	3,4
29	84	93	87	90	454	3,3
30	0	18	6	12	1569	9,9
31	3	21	9	15	1850	8,9
32	6	24	12	18	1075	9,5
33	9	27	15	21	876	9,9
34	12	30	18	24	1386	8,2
35	15	33	21	27	1745	6,7
36	18	36	24	30	1316	6,8
37	21	39	27	33	1128	6,7
38	24	42	30	36	1052	6,3
39	27	45	33	39	1192	5,8
40	30	48	36	42	1248	5,4
41	33	51	39	45	1230	5,2
42	36	54	42	48	1073	5,4
43	39	57	45	51	1039	5,5
44	42	60	48	54	889	5,3
45	45	63	51	57	803	5,1
46	48	66	54	60	672	5,6

47	51	69	57	63	599	5,6
48	54	72	60	66	559	5,4
49	57	75	63	69	506	5,1
50	60	78	66	72	477	5,5
51	63	81	69	75	497	5,8
52	66	84	72	78	445	5,6
53	69	87	75	81	360	6,2
54	72	90	78	84	355	6,7
55	75	93	81	87	355	6,6
56	0	27	9	18	483	14,1
57	3	30	12	21	495	13,8
58	6	33	15	24	463	13,5
59	9	36	18	27	680	12,3
60	12	39	21	30	815	10,5
61	15	42	24	33	813	42,3
62	18	45	27	36	565	9,9
63	21	48	30	39	583	9,5
64	24	51	33	42	493	9,2
65	27	54	36	45	536	8,7
66	30	57	39	48	548	8,1
67	33	60	42	51	512	8,3
68	36	63	45	54	450	7,9
69	39	66	48	57	447	7,7
70	42	69	51	60	378	8,0
71	45	72	54	63	392	8,2
72	48	75	57	66	351	8,2
73	51	78	60	69	309	8,0
74	54	81	63	72	269	7,7
75	57	84	66	75	254	7,7
76	60	87	69	78	216	7,7
77	63	90	72	81	217	7,0
78	66	93	75	84	189	6,6
79	0	36	12	24	275	13,0
80	3	39	15	27	310	13,2
81	6	42	18	30	383	13,8
82	9	45	21	33	427	13,5
83	12	48	24	36	424	12,2
84	15	51	27	39	383	11,7
85	18	54	30	42	320	11,8
86	24	60	36	48	300	10,9

87	27	63	39	51	291	10,2
88	30	66	42	54	279	9,5
89	33	69	45	57	278	9,7
90	36	72	48	60	257	9,0
91	39	75	51	63	245	9,5
92	42	78	54	66	233	9,2
93	45	81	57	69	230	9,3
94	48	84	60	72	213	9,2
95	51	87	63	75	193	8,4
96	54	90	66	78	166	8,0
97	57	93	69	81	153	8,1
98	0	45	15	30	215	10,4
99	3	48	18	33	250	12,3
100	6	51	21	36	258	13
101	9	54	24	39	273	12,0
102	12	57	27	42	262	11,7
103	15	60	30	45	264	11,8
104	18	63	33	48	221	11,1
105	21	66	36	51	216	10,5
106	24	69	39	54	201	9,1
107	27	72	42	57	206	9,9
108	30	75	45	60	199	8,5
109	33	78	48	63	193	9,8
110	36	81	51	66	182	8,9
111	39	84	54	69	182	8,8
112	42	87	57	72	177	9,7
113	45	90	60	75	179	9,1
114	48	93	63	78	166	8,6
115	0	54	18	36	189	9,7
116	3	57	21	39	206	10,9
117	6	60	24	42	206	10,1
118	9	63	27	45	208	10,2
119	12	66	30	48	211	9,2
120	18	72	36	54	184	8,7
121	21	75	39	57	180	9,1
122	24	78	42	60	176	8,3
123	27	81	45	63	178	8,1
124	30	84	48	66	173	7,0
125	33	87	51	69	170	6,5
126	36	90	54	72	169	7,8

127	39	93	57	75	172	6,5
128	0	63	21	42	179	8,0
129	3	66	24	45	187	8,2
130	6	69	27	48	186	7,4
131	9	72	30	51	193	6,2
132	12	75	33	54	187	7,0
133	15	78	36	57	187	7,4
134	18	81	39	60	177	6,6
135	21	84	42	63	178	7,2
136	24	87	45	66	177	6,7
137	27	90	48	69	176	5,0
138	30	93	51	72	175	5,3
139	0	72	24	48	186	5,5
140	3	75	27	51	184	6,5
141	6	78	30	54	184	4,5
142	9	81	33	57	187	5,2
143	12	84	36	60	192	6,2
144	15	87	39	63	193	6,3
145	18	90	42	66	188	5,2
146	21	93	45	69	188	6,4
147	0	81	27	54	189	5,5
148	3	84	30	57	193	5,1
149	6	87	33	60	196	4,6
150	9	90	36	63	203	5,3
151	12	93	39	66	207	4,9
152	0	90	30	60	209	4,9
153	3	93	33	63	212	5,2

Site n°5: Ambohikely Ouest

PANNEAU N°9

1	0	150	50	100	260	0,7
2	0	135	45	90	261	5,9
3	0	120	40	80	281	8,6
4	0	105	35	70	304	10,6
5	0	90	30	60	320	8,5
6	0	75	25	50	372	17,1
7	0	60	20	40	514	24,2
8	0	45	15	30	878	26,8
9	0	30	10	20	1409	26,8
10	0	15	5	10	1990	19,1
11	5	155	55	105	266	2,2

12	5	140	50	95	246	2,4
13	5	125	45	85	250	5,0
14	5	110	40	75	294	10,4
15	5	95	35	65	329	11
16	5	80	30	55	353	16,9
17	5	65	25	45	521	20,6
18	5	50	20	35	718	24,6
19	5	35	15	25	1379	26,8
20	5	20	10	15	2096	22,2
21	10	130	50	90	232	2,1
22	10	115	45	80	258	8,0
23	10	100	40	70	319	16,6
24	10	85	35	60	362	18,9
25	10	70	30	50	487	21,4
26	10	55	25	40	713	24,0
27	10	40	20	30	1501	27,3
28	10	25	15	20	2099	21,8
29	15	135	55	95	232	0,8
30	15	120	50	85	233	2,9
31	15	105	45	75	286	8,0
32	15	90	40	65	378	16,3
33	15	75	35	55	494	22,6
34	15	60	30	45	795	24,0
35	15	45	25	35	1262	27,4
36	15	30	20	25	1891	22,9
37	20	125	55	90	221	0,8
38	20	110	50	80	250	3,6
39	20	95	45	70	326	14,0
40	20	80	40	60	482	23,2
41	20	65	35	50	825	24,1
42	20	50	30	40	1105	24,8
43	20	35	25	30	2216	23,4
44	25	130	60	95	220	3,5
45	25	115	55	85	221	9,6
46	25	100	50	75	277	7,2
47	25	85	45	65	394	17,4
48	25	70	40	55	752	24,6
49	25	55	35	45	1228	24,6
50	25	40	30	35	2021	22,9
51	30	150	70	110	227	6,2

52	30	135	65	100	198	9,5
53	30	120	60	90	221	11
54	30	105	55	80	256	11,4
55	30	90	50	70	328	15,6
56	30	75	45	60	596	22,9
57	30	60	40	50	1429	26,0
58	30	45	35	40	2176	24,1
59	35	155	75	115	235	4,9
60	35	140	70	105	204	6,7
61	35	125	65	95	203	9,8
62	35	110	60	85	236	12,9
63	35	95	55	75	292	15,7
64	35	80	50	65	425	17,1
65	35	65	45	55	1024	24,1
66	35	50	40	45	2065	22,3
67	40	145	75	110	217	9,2
68	40	130	70	100	186	10,7
69	40	115	65	90	218	16,0
70	40	100	60	80	298	14,1
71	40	85	55	70	399	17,3
72	40	70	50	60	696	18,3
73	40	55	45	50	1792	23,6
74	45	150	80	115	226	11,7
75	45	135	75	105	209	11,2
76	45	120	70	95	223	13
77	45	105	65	85	283	13,3
78	45	90	60	75	424	17,7
79	45	75	55	65	690	17,9
80	45	60	50	55	1393	17,3
81	50	155	85	120	247	4,2
82	50	140	80	110	218	9,6
83	50	125	75	100	199	7,4
84	50	110	70	90	253	15,7
85	50	95	65	80	364	16,0
86	50	80	60	70	660	18,3
87	50	65	55	60	1422	12,4
88	55	145	85	115	234	16,1
89	55	130	80	105	213	12,1
90	55	115	75	95	245	16,5
91	55	100	70	85	314	15,2

92	55	85	65	75	547	15,3
93	55	70	60	65	1393	11,7
94	60	150	90	120	246	7,4
95	60	135	85	110	236	11,1
96	60	120	80	100	209	11,9
97	60	105	75	90	295	17,0
98	60	90	70	80	430	12,7
99	60	75	65	70	1399	8,2
100	65	155	95	125	260	9,3
101	65	140	90	115	242	14,0
102	65	125	85	105	234	12,9
103	65	110	80	95	288	17,8
104	65	95	75	85	375	12,6
105	65	80	70	75	1082	7,1
106	70	145	95	120	251	15,4
107	70	130	90	110	260	14,6
108	70	115	85	100	251	17,6
109	70	100	80	90	405	12,8
110	70	85	75	80	1118	5,3
111	75	150	100	125	276	17,2
112	75	135	95	115	276	17,5
113	75	120	90	105	297	17,6
114	75	105	85	95	511	11,7
115	75	90	80	85	997	4,4
116	80	155	105	130	261	17,4
117	80	140	100	120	289	19,0
118	80	125	95	110	303	17,6
119	80	110	90	100	395	12
120	80	95	85	90	1091	4,1
121	85	145	105	125	342	22,8
122	85	130	100	115	391	19,8
123	85	115	95	105	467	14,7
124	85	100	90	95	1391	4,5
125	90	150	110	130	335	23,8
126	90	135	105	120	444	21,7
127	90	120	100	110	618	15,8
128	90	105	95	100	1209	3,8
129	95	155	115	135	369	23,8
130	95	140	110	125	529	25,5
131	95	125	105	115	693	15,9

132	95	110	100	105	2035	5,9
133	100	145	115	130	516	28
134	100	130	110	120	646	18,8
135	100	115	105	110	1789	6,4
136	105	150	120	135	567	27,7
137	105	135	115	125	918	22,6
138	105	120	110	115	1957	7,2
139	110	155	125	140	631	25,7
140	110	140	120	130	890	24,5
141	110	125	115	120	1451	8,9
142	115	145	125	135	929	28,6
143	115	130	120	125	1506	13,1
144	120	150	130	140	1072	26,9
145	120	135	125	130	1154	14,6
146	125	155	135	145	1231	25,1
147	125	140	130	135	1456	16,4
148	130	145	135	140	1851	18,1
149	135	150	140	145	1602	19,6
150	140	155	145	150	2247	21,6

PANNEAU N°10

1	0	15	5	10	236	5,3
2	5	20	10	15	179	3,4
3	10	25	15	20	145	3,4
4	15	30	20	25	223	4,1
5	20	35	25	30	223	5,0
6	25	40	30	35	442	6,2
7	30	45	35	40	540	8,0
8	35	50	40	45	695	9,6
9	40	55	45	50	968	10,6
10	45	60	50	55	951	12,1
11	50	65	55	60	928	10,6
12	55	70	60	65	805	9,3
13	60	75	65	70	1059	10,1
14	65	80	70	75	1049	6,7
15	70	85	75	80	1097	5,6
16	75	90	80	85	1452	4,3
17	80	95	85	90	1460	4,0
18	85	100	90	95	912	3,7
19	90	105	95	100	954	4,8
20	110	125	115	120	360	5,4

21	115	130	120	125	360	5,1
22	120	135	125	130	185	4,5
23	125	140	130	135	185	3,9
24	130	145	135	140	241	4,2
25	135	150	140	145	209	3,5
26	0	30	10	20	320	6,3
27	5	35	15	25	342	7,1
28	10	40	20	30	347	8,9
29	15	45	25	35	434	10,6
30	20	50	30	40	517	11,4
31	25	55	35	45	550	12,2
32	30	60	40	50	694	13,1
33	35	65	45	55	990	14,4
34	40	70	50	60	703	13,5
35	45	75	55	65	503	13,5
36	50	80	60	70	610	14,3
37	55	85	65	75	827	14,2
38	60	90	70	80	493	11,2
39	65	95	75	85	397	9,6
40	70	100	80	90	229	11,2
41	75	105	85	95	154	6,5
42	85	115	95	105	229	5,6
43	110	140	120	130	127	6,1
44	120	150	130	140	178	9,6
45	125	155	135	145	167	4,1
46	0	45	15	30	439	10,0
47	5	50	20	35	469	11,0
48	10	55	25	40	429	11,3
49	15	60	30	45	454	12,3
50	20	65	35	50	644	14,0
51	25	70	40	55	617	13,8
52	30	75	45	60	472	13,8
53	35	80	50	65	398	14
54	40	85	55	70	369	14
55	45	90	60	75	362	13
56	50	95	65	80	524	15
57	55	100	70	85	394	11,9
58	60	105	75	90	197	12,7
59	65	110	80	95	167	9,3
60	70	115	85	100	220	8,7

61	75	120	90	105	177	5,1
62	80	125	95	110	120	5,2
63	85	130	100	115	76	6,2
64	95	140	110	125	136	8,5
65	100	145	115	130	201	2,8
66	110	155	125	140	174	4,6
67	0	60	20	40	434	10,2
68	5	65	25	45	484	11,7
69	10	70	30	50	465	12,0
70	15	75	35	55	424	12,6
71	20	80	40	60	373	13,1
72	25	85	45	65	348	13,0
73	30	90	50	70	322	13,8
74	35	95	55	75	294	11,3
75	40	100	60	80	268	10,7
76	45	105	65	85	296	15,7
77	50	110	70	90	295	12,7
78	55	115	75	95	225	13,3
79	60	120	80	100	212	6,6
80	70	130	90	110	132	8,2
81	80	140	100	120	102	0,1
82	90	150	110	130	162	5,8
83	0	75	25	50	427	10,1
84	5	80	30	55	437	11,0
85	10	85	35	60	368	11,5
86	15	90	40	65	335	11,6
87	20	95	45	70	336	12,5
88	25	100	50	75	300	10,8
89	30	105	55	80	219	13,0
90	35	110	60	85	248	8,7
91	40	115	65	90	275	10,7
92	45	120	70	95	224	9,3
93	50	125	75	100	244	7,0
94	65	140	90	115	151	7,5
95	70	145	95	120	163	6,4
96	75	150	100	125	137	5,5
97	80	155	105	130	91	0,8
98	0	90	30	60	437	10,7
99	5	95	35	65	406	10,7
100	10	100	40	70	360	13,1

101	15	105	45	75	307	12,5
102	20	110	50	80	303	10,2
103	25	115	55	85	264	1,5
104	30	120	60	90	236	6,9
105	35	125	65	95	252	8,7
106	40	130	70	100	251	5,8
107	50	140	80	110	186	4,5
108	55	145	85	115	186	5,9
109	60	150	90	120	183	6,7
110	65	155	95	125	185	6,0
111	0	105	35	70	403	11,1
112	5	110	40	75	434	10,5
113	10	115	45	80	378	8,8
114	15	120	50	85	323	6,9
115	20	125	55	90	270	3,6
116	25	130	60	95	244	7,5
117	40	145	75	110	200	3,4
118	45	150	80	115	198	5,3
119	50	155	85	120	198	3,8
120	0	120	40	80	458	10,4
121	5	125	45	85	430	4,3
122	10	130	50	90	345	8,6
123	20	140	60	100	291	8,7
124	30	150	70	110	230	5,5
125	35	155	75	115	215	4,1
126	5	140	50	95	378	9,3
127	10	145	55	100	341	9,5
128	20	155	65	110	278	7,5
129	0	150	50	100	436	7,6

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS
LISTE DES ACRONYMES
LISTE DES TABLEAUX
LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION

PARTIE 1 : HISTORIQUE ET CONTEXTE GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

1 Historique	1
2- Contexte géographique	1
2.1. Délimitation.....	1
2.2. Milieu physique.....	1
2.2.1. Le relief	1
2.2.2. La végétation	2
2.2.3. Le climat.....	2
3-Contexte Socio-économique	3
3.1. Milieu humain	3
3.1.1. Education et Santé.....	4
3.2. Milieu économique.....	5
3.2.1. Agriculture	5
3.2.2. Besoin en eau pour l'agriculture	5
3.2.3. Elevage	5
3.2.4 Environnement et Voies de Communication	6
3.3. Accès à l'eau potable	6
3.3.1. Qualité des eaux	8
4-Contexte Géologique	8
4.1. Géologie	9
4.1.1. Les granites migmatitiques.....	9
4.1.2. Migmatites granitoïdes.....	10
4.1.3. Les migmatites	10
4.1.4. Les alluvions	10
5-Contextes hydrogéologique	10

5.1. Hydrologie.....	10
5.2. Travaux antérieurs.....	11

PARTIE 2 : METHODES ET MATERIELS

1-Les méthodes de prospection géophysique.....	12
1.1. Généralités.....	12
1.2. La prospection électrique	12
1.2.1. Le sondage électrique.....	13
1.2.2. Le profilage ou traîné électrique	13
1.2.3. Le panneau électrique 2D.....	13
1.2.3.1. Mécanisme d'acquisition de données.....	14
1.2.3.2. Traitement et interprétation des données	15
1.2.3.3. Appareillage	15
2-La méthode de Polarisation Provoquée (PP)	16
2.1. Mesures de PP	16
2.1.1. Polarisabilité.....	17
2.1.2. Chargeabilité	17

PARTIE 3: INTERPRETATION DES RESULTATS ET EVALUATION DES RESERVES EN EAUX SOUTERRAINES

1. Résultats des enquêtes (données de puits).....	19
2 Résultats des mesures et discussions.....	20
2.1 Rappel.....	20
2.1.1 .Aquifère à nappe libre	20
2-1-3 Aquifère à nappe semi captive.....	21
2.2. Résultats de mesures et discussions	21
2.2.1 Fokontany Falihavana	21
2.2.1.1. Documents d'interprétation.....	22
2.2.1.2 Interprétations.....	23
2.2.1.3. Discussion	24
2.2.1.4 .Estimation des réserves en eaux souterraines	25
2.2.2. Fokontany Manjaka Est.....	26
2.2.2.1. Interprétations.....	29
2.2.1.3. Discussion:	30

2.2.3. Fokontany Ampangabe	31
2.2.3.1. Document d'interprétation :	32
2.2.3.2. Interprétations.....	33
2.2.3.3 .Discussion:	34
2.2.3.4. Estimation des réserves en eaux souterraines	35
2.2.4. Fokontany Ambatobe	35
2.2.4.1 .Document d'interprétation:	36
2.2.4.2. Interprétation	37
2.2.4.3. Discussion :	38
2.2.4.4. Estimation des réserves en eaux souterraines	39
2.2.5. Fokontany Ambohidreny.....	40
2.2.5.1. Document d'interprétation :	41
2.2.5.2. Interprétation :	42
2.2.5.3. Discussion :	43
2.2.5.4. Estimation des réserves en eaux souterraines	43
CONCLUSION.....	45
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	V
ANNEXE 1.....	VI
ANNEXE 2.....	IX
ANNEXE 3.....	X

RESUME

L'existence de nombreuses sources dans la commune Rurale d'Ampangabe enrichit l'alimentation des nappes aquifères. La connaissance des lieux d'emplacement de ces sources est primordiale pour la prospection de ces nappes aquifères.

Cette étude a pour but d'estimer les réserves en eaux souterraines contenues dans ces nappes aquifères à partir de leurs profondeurs, leurs épaisseurs et leurs volumes moyens.

La méthode géophysique de prospection électrique (sondage électrique et panneau électrique 2D) a été utilisée.

Les résultats des dix panneaux électriques 2D effectués au niveau de cinq villages des cinq Fokontany (deux panneaux pour chaque village) de la commune ont permis de confirmer la présence de zones aquifères constituées toutes de nappes libres avec des volumes relativement importants.

Mots clés: Eaux souterraines, Ampangabe

ABSTRACT

The existence of many sources in the rural district of Ampangabe enriches the flood for the water tables. The knowledge for the sources sites is of great importance for the prospection of these water tables.

The purpose of this study is to estimate the underground water reserves contained in these water tables starting from their depths, their thicknesses and their mean volumes.

The geophysical method of electrical prospection (electrical survey and electrical panel 2D) was used.

The results of the ten electrical panels 2D carried out in the five villages of these five Fokontany (two panels for each village) confirm the presence of aquiferous zones with relatively important volumes.

Key words: Water tables, Ampangabe