

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ACRONYMES	iii
LISTE DES ANNEXES	iv
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE	
1. Situation géographique	2
2. Cadre socio-économique.....	4
3. Contextes généraux.....	6
4-. Problèmes liés au domaine hydrique.....	9
PARTIE II : GENERALITES SUR LES AQUIFERES	
1. Nappe d'eau souterraine	11
2. L'aquifère	11
3. Types de nappes aquifères	11
4. Débit d'une nappe	11
5. Types de milieu perméable et porosité	12
6. Porosité et coefficient d'emmagasinement.....	13
PARTIE III : METHODOLOGIE	
1. Démarche générale	15
2. Méthodes de prospection	15
3. Acquisition des données et dispositifs utilisés	18
PARTIE IV : INTERPRETATION ET RESULTATS	
1. Interprétations des données acquises	21
CONCLUSION	42
ANNEXE 1 : Paramètres nécessaires pour estimer le volume d'eau	vii
ANNEXE 2 : Notes de calcul	xiii

LISTE DES ACRONYMES

IOGA : Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo

MSTGA : Maîtrise en Sciences et Techniques en Géophysique Appliquée

PP : Polarisation Provoquée

PI : Polarisation Induite

RN : Route Nationale

RIP : Route d'Intérêt Provincial

PCD : Plan Communale de Développement

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Paramètre nécessaires pour estimer un volume d'eau	vii
Annexe 2 : Notes de calcul	xiii

LISTE DES FIGURES

Figure 4 : Représentation d'un panneau électrique 2D pour les mesures en surface.....	19
Figure 5 : Schéma du résistivimètre SYSCAL R2 et de ses accessoires.....	20
Figure 6 : Point d'eau traditionnel de Manjaka (Ampangabe).....	21
Figure 7 : Plan de masse de Manjaka (Ampangabe).....	22
Figure 8 : Position de profil P1 à Manjaka (Ampangabe).....	23
Figure 9 : Coupe géoélectrique relative à P1 à Manjaka	23
Figure 11 : Coupe géoélectrique relative à P2 à Manjaka	25
Figure 12 : Position du profil P3 à Manjaka (Ampangabe).....	27
Figure 13 : Coupe géoélectrique relative à P3 à Manjaka	27
Figure 14 : Plan de masse de Bemasoandro.....	29
Figure 15 : Position de profil P1 à Bemasoandro.....	30
Figure 16 : Coupe géoélectrique relative à P1 à Bemasoandro	31
Figure 17 : Position de profil P2 à Bemasoandro.....	32
Figure 18 : Coupe géoélectrique relative à P2 à Bemasoandro	32
Figure 21 : Plan de masse de Fonenana.....	36
Figure 22 : Position de profil P1 à Fonenana.....	37
Figure 23 : Coupe géoélectrique relative à P1 à Fonenana	37
Figure 24 : Position de profil P2 à Fonenana.....	38
Figure 25 : Coupe géoélectrique relative à P2 à Fonenana	39
Figure 26: Position du profil P3 à Fonenana	40
Figure 27 : Coupe géoélectrique relative à P3 à Fonenana	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Distribution de la population dans les trois Fokontany cibles.....	4
Tableau 2 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P1 (AMPANGABE)	23
Tableau 3 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P2 (AMPANGABE)	24
Tableau 4 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P3 (AMPANGABE)	26
Tableau 5 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P1 (BEMASOANDRO)	30
Tableau 6 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P2 (BEMASOANDRO)	32
Tableau 7 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P3 (BEMASOANDRO)	33
Tableau 8 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P1 (FONENANA).....	36
Tableau 9 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P2 (FONENANA).....	38
Tableau 10 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P3 (FONENANA).....	40

INTRODUCTION

Depuis l'avènement du régime actuel (2003-2012), Madagascar s'est engagé dans sa politique générale à élaborer le MAP (Madagascar Action Plan) comme un plan d'action à suivre en vue d'atteindre le développement rapide et durable. Le Défi 7, Engagement 2 dans le MAP mentionne les stratégies d'améliorer de manière significative l'accès à l'eau potable et à l'hygiène. En effet, les défis stipulés dans ledit programme visent à lutter contre la pauvreté ainsi qu'à l'amélioration des conditions de vie de la population.

Dans ce cadre, fournir de l'eau potable à chaque ménage répond aussi à cet objectif vu l'importance de l'eau dans la vie humaine. Toutefois, l'eau devient de nos jours une ressource rare, d'autant plus que celle des surfaces commencent à manquer voire inexistante. A ce sujet, on constate que 12% de la population, en général, ont accès à l'eau potable (Direction de l'Eau du Ministère de l'Energie et des Mines, 2002).

De la sorte, chacun a recours à différentes techniques pour essayer d'accaparer le moindre point d'eau, mais le recours aux ressources en eaux souterraines s'avère être le plus approprié. En outre, les puits traditionnels constituent encore pour les villageois une source d'approvisionnement en eau dont la qualité atteinte presque la limite acceptable de la potabilité.

Cependant, le débit dépend généralement de la saison, et chaque année à partir du mois de septembre, une forte réduction est constatée jusqu'à l'arrivée de la première pluie le mois de novembre. En conséquence, la population locale a recours aux multiples ruisseaux issus des sources souterraines à proximité des bas fonds ou de plaines.

De ce fait, le thème majeur de la présente étude est orienté sur la "Recherche d'eaux souterraines par prospection électrique" dans les trois Fokontany de la Commune Rurale d'Imerintsiatosika, District d'Arivonimamo, Région de l'Itasy.

A cet effet, notre travail contribuera essentiellement à fournir des informations pertinentes sur une probable exploitation des ressources en eaux souterraines, aux exploitants de forages ainsi qu'aux autorités locales de la zone cible.

Ladite étude est aussi appuyée sur la base des résultats d'analyses socio-économiques (contexte actuel, ressources exploitables, menaces et potentialité...) et suivant les attentes des bénéficiaires.

Ainsi, avons-nous utilisé, parmi les différentes méthodes de géophysique, la prospection électrique et la technique de sondage électrique et l'imagerie électrique 2D. Cette dernière s'avère être actuellement la plus adéquate pour évaluer les nappes d'eaux souterraines.

Le présent mémoire comporte quatre parties :

Ø la première partie concerne la description de la zone d'étude incluant ses contextes généraux : situation géographique, socio-économique, climatique, hydrogéologique, géologique et hydrologique,

Ø la deuxième partie décrit les généralités sur les aquifères

Ø la troisième partie consacre un large développement sur la méthodologie adoptée et le principe d'acquisition des données

Ø enfin, la quatrième partie est réservée à l'interprétation et l'estimation des réserves en eaux souterraines.

PARTIE I
DESCRIPTION
DE LA ZONE D'ETUDE

Le nom de la Commune qui fait l'objet de notre étude a pris sa naissance lors de l'époque royale, datant d'Andrianampoinimerina. Plusieurs sujets du Roi ont habité dans cette localité : Andriatsihanika, Andrianony, Rampanarivohafa. Ils avaient tous des esclaves qui se sont multipliés au niveau de la zone, une fois qu'ils ont obtenu leur liberté.

Afin d'éviter tout conflit, Andrianampoinimerma et Andriamady, Roi de l'Imamo se sont convenus que le territoire de l'Imerina prendra fin à Imerintsiatosika. Ainsi, les gens de l'Ouest n'osaient pas franchir ce territoire, et on ne pouvait pas refuser les Merina qui venaient dans la Commune « Imerintsiatosika ».

1. Situation géographique

La Commune Rurale d'Imerintsiatosika fait partie des 22 communes du District d'Arivonimamo, situé dans la Région de l'Itasy. Elle s'étend sur une superficie de 173km², figure parmi les plus grandes Communes du District d'Arivonimamo car elle occupe 8,1% de la superficie totale du District qui s'élève à 2123km². Et par rapport à la superficie de la Région, elle en occupe 2,77%. Elle peut être considérée comme le portail de la Région de l'Itasy en provenance d'Antananarivo car elle est la Commune la plus à l'Est, limitrophe de la Commune d'Ambatomirahavavy. Elle est située à 27km de la Capitale sur l'axe RN1, à 17km d'Arivonimamo qui est le chef lieu de District, et à 60km de Miaramarivo qui est le chef lieu de la Région de l'Itasy.

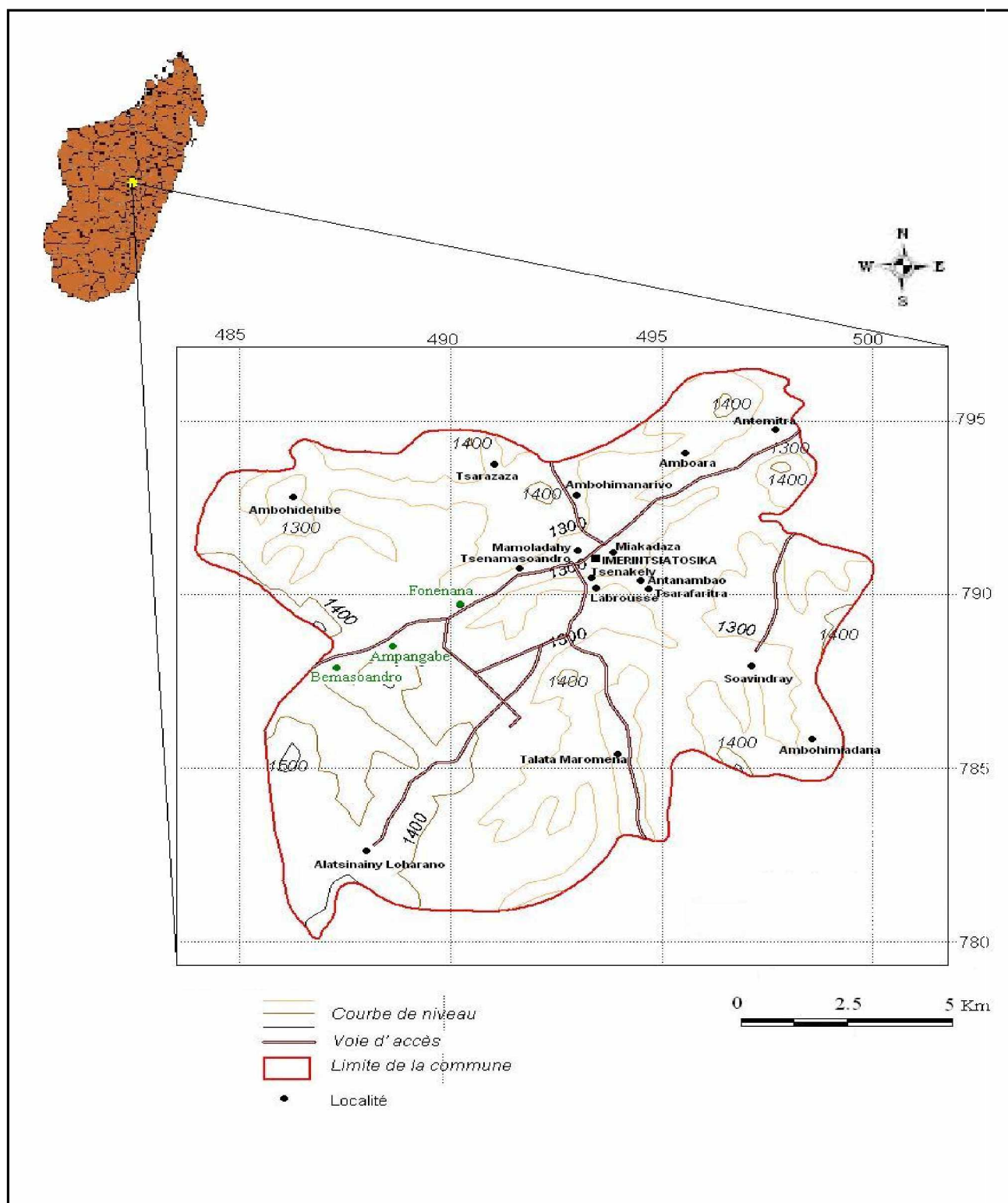


Figure 1 : Carte de localisation d'Imerintsiatosika
(Source : extrait de BD 500FTM 2003)

2. Cadre socio-économique

Nous allons voir successivement la population et les infrastructures économiques de la Commune Rurale d'Imerintsiatosika qui est notre zone d'étude.

2.1 -. Population

Si en 2002, la Commune comptait un nombre total de 36 963 habitants, ce chiffre s'est élevé à 45 342 habitants en 2006.

Ce total de 45 342 habitants correspond à une densité de 262 habitants/km², ce qui est trop élevé si on se réfère à la moyenne nationale qui est de 16 habitants/km² et de la Région de l'Itasy avec 107,3 habitants/km².

Mais il est à noter que la répartition à l'intérieur de la Commune n'est pas du tout équilibrée. En effet, la population a choisi de s'installer tout au long de la RNI. 95% de la population vivant à Imerintsiatosika sont des MERINA, même si la Commune constitue un carrefour d'échange et de communication pour les 18 ethnies Malagasy. Cette population vit majoritairement de l'agriculture et de l'élevage. Pour certains ménages, l'artisanat constitue une activité génératrice de revenus permettant de subvenir aux besoins de la famille.

Tableau 1 : Distribution de la population dans les trois Fokontany cibles

Désignation des Fokontany	Sexe Masculin				Total	Sexe Féminin				Total	Total général
	0-4ans	5-7ans	18-60ans	60ans+		0-4ans	5-7ans	18-60ans	60ans+		
Bemasoandro	141	312	533	20	1006	248	336	480	25	1089	2095
Ampangabe	76	80	271	09	436	79	83	279	11	452	888
Fonenana	98	180	439	25	742	187	154	434	16	791	1533

(Source : extrait de fiche Monographie Communale 2006)

Ce tableau nous montre que les enfants (moins de 10 ans) présentent un effectif assez élevé et que la population active (18 à 60 ans) constitue, en général, 51% à chaque Fokontany.

La population est jeune et pourrait bien constituer une main d'œuvre pour le secteur tertiaire qui commence à se développer dans la Région.

2.2-. Habitat et logement

Pour la grande majorité, les habitations sont de type traditionnel, on en distingue des maisons construites en aggloméré et toiture de chaume ou des maisons construites en maçonnerie de briques et toiture en tuile ou de tôle. Pour cela, on décompte :

§ 3 334 maisons de toits en bozaka

§ 1 672 maisons de toits en tôle

§ 272 maisons de toits en tôle ondulée galvanisée.

2.3 -. Infrastructures économiques

La Commune est mal équipée en infrastructure surtout sur les infrastructures

routières, barrages,...

2.3.1. Voie d'accès et de liaison

La dégradation et l'insuffisance des pistes de desserte sont les principales contraintes qui bloquent la prospérité de l'économie communale.

Les pistes reliant les Fokontany sont presque quasi-impraticables en saison de pluies. Les paysans utilisent principalement les charrettes comme moyen de transport, d'autres se voient obligés de marcher à pied pendant de longues heures, pour atteindre le marché de la Commune.

Quant aux routes bitumées et en terre, il en existe trois catégories :

- la RN1 (Route Nationale 1) reliant Antananarivo aux autres Communes et Régions du Moyen Ouest en passant par Imerintsiatosika.

- la RIP71 (Route d'Intérêt Provinciale 71) qui est une route en terre reliant 5 Communes dont Imerintsiatosika, Ambohimandry, Ambohimpandrano, Miantsoarivo et Behehenjy.

- la RIP 85 reliant les Communes d'Imerintsiatosika, Morarano, Antambolo et Ambatomanga .

2.3.2. Les barrages et canaux d'irrigation

Plusieurs points d'eau et barrages de types artisanaux existent et sont utilisés par les paysans, mais il s'avère que les eaux sont difficilement maîtrisées notamment pendant la saison de pluies.

Les barrages, étant souvent mal faits sont facilement démolis et emportés par les eaux en période de crues.

Ankatsaoka, la grande rivière traversant la Commune comporte 3 barrages qui sont répartis à Andrefambohitra, Mariarano et à Fiadanana.

2.4 - . Marché

Les deux marchés communaux existant actuellement :

- § Imerintsiatosika : marché pour les produits locaux, denrées...

- § Ambatonapoaka : marché de bovidés.

3. Contextes généraux

3.1 -. Le climat

La Commune d'Imerintsiatosika bénéficie des climats caractérisés :

- ♣ une saison chaude et pluvieuse de Novembre en Avril.
- ♣ une saison sèche et froide accompagnée de gel et des pluies allant de Mai

en Octobre.

Le service de la Météorologie enregistre une température moyenne de 18°C, avec un pic de chaleur de 28°C et un pic de froid de 8°C. La Commune reçoit une pluviométrie de 800 à 1000 mm qui se répartit sur 100 jours annuellement. (PCD Imerintsiatosika 2006)

Cette caractéristique climatique est commune à quelques localités dans l'Est et au Centre de la Région d'Itasy. Ce climat permet la pratique de tous les types d'activité agricoles des Hautes Terres Centrales.

3.2-. Contexte hydrographique

La rivière Katsaoka est la seule grande rivière passant à Imerintsiatosika. Elle prend sa source au nord du District d'Arivonimamo, et traverse plusieurs communes en allant au sud. A ce niveau là, elle se subdivise en deux réseaux, et irrigue les rizières situées tout au long de son passage. On aperçoit l'aménagement hydroagricole entrepris par la population locale afin d'assurer l'irrigation des rizières. Même si les infrastructures hydroagricoles sont entretenues périodiquement par les populations, elles subissent toujours des dégâts pendant la saison pluvieuse.

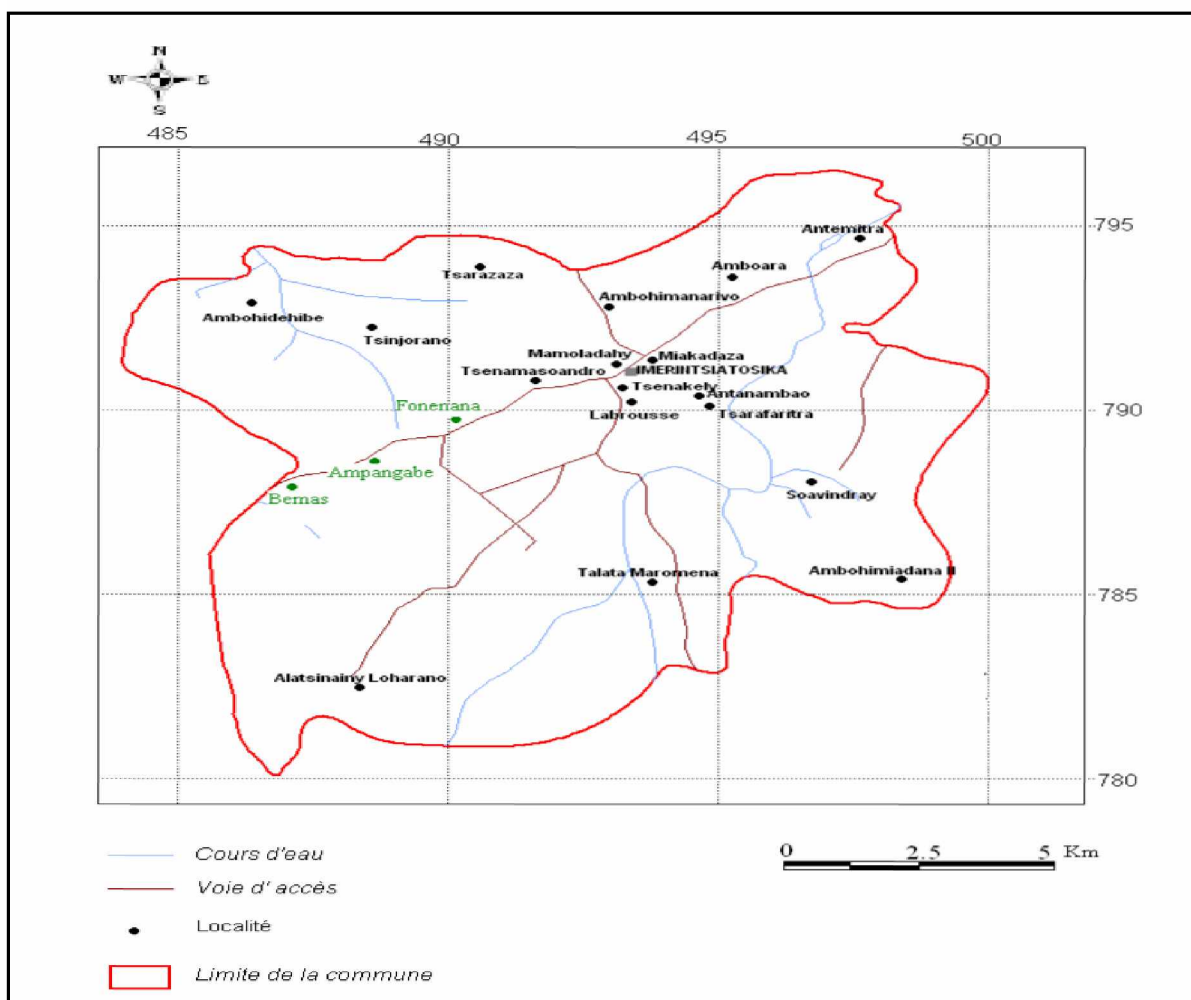


Figure 2 : Carte hydrologique
(Source : Extrait de BD 500 FTM 2003)

3.3-. Contexte hydrogéologique

La géologie de la région ainsi que l'observation faite pendant la campagne d'étude nous amènent à dire qu'on peut trouver des nappes alluvionnaires dans le secteur.

De plus, la zone d'étude présente un relief typique des Hautes Terres, qui est un relief accidenté constitué par des successions de vallées entrecoupées par des alluvions.

Concernant les Fokontany cibles, Ampangabe a une rivière (Ambatohety), Bemasoandro a 2 rivières (bemasoandro et Masiakamalona) et un lac (Ambatonapoaka)

3.4-. Végétation

La Commune ne renferme plus de forêts naturelles, seules les bozaka poussent sur les tanety et les espaces disponibles. Par contre, la population locale procède aux activités de reboisement et y plantent de l'eucalyptus et dupinus. En outre, le besoin en bois au sein de la

Commune est très important pour le bois de chauffe et le charbon, l'ameublement, l'artisanat et la construction des infrastructures de base. Et la population s'est rendue compte que leurs besoins dépassent largement la superficie boisée.

3.5-. Les ressources minières.

La Commune renferme un fort potentiel en ressources minières. Les carrières destinées à l'approvisionnement des matières premières pour la construction d'infrastructures occupent une place importante. On y trouve 4 carrières de granite, d'argile et de kaolin. La Commune se distingue du reste de la Région par son potentiel en granite rosé. C'est la compagnie SECMA qui l'exploite et exporte les produits à l'étranger. Mais aucune retombée ne revient à la Commune, ni à la population environnante.

3.6-. Contexte géologique

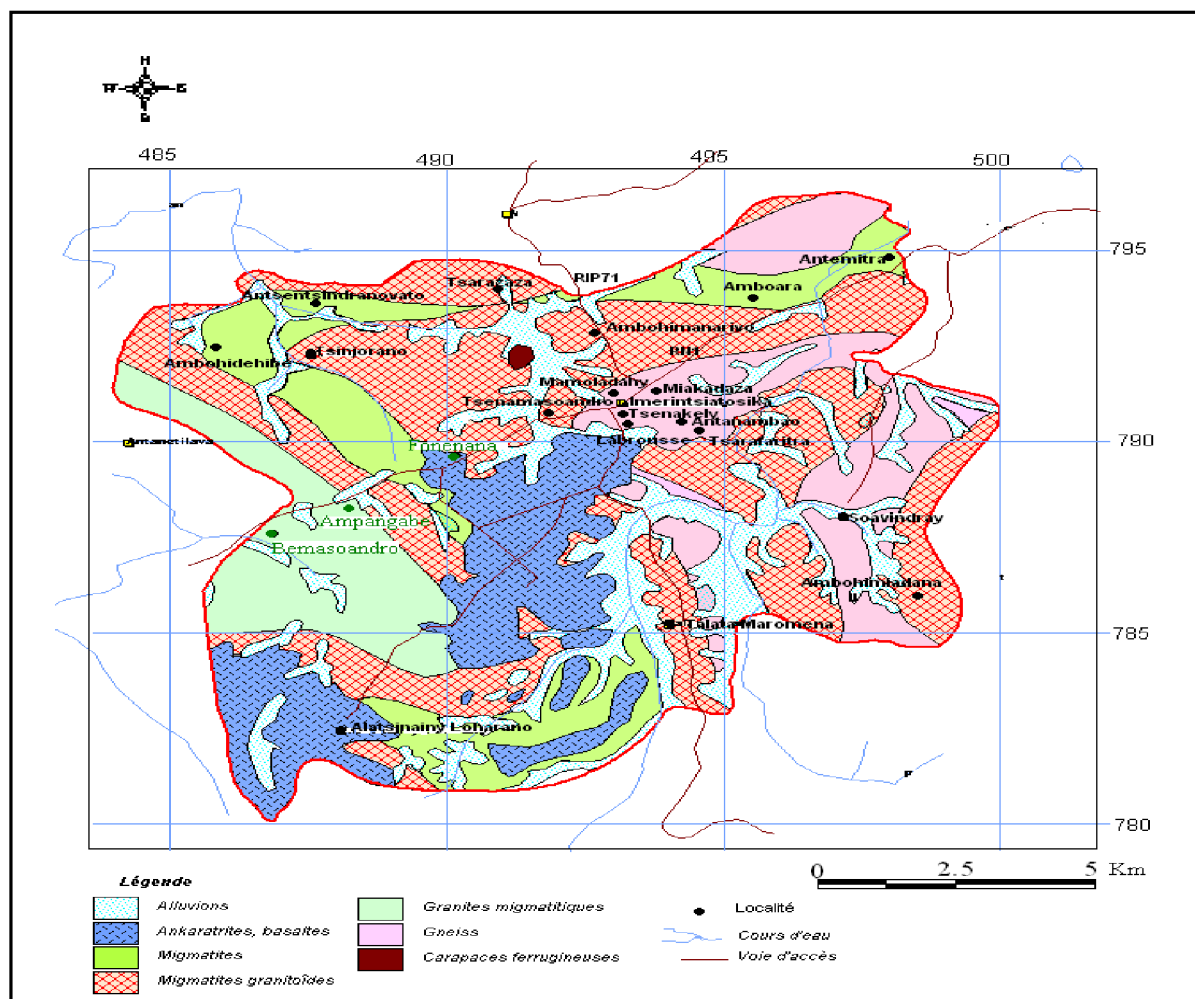


Figure 3 : Carte géologique d'Imerintsiatosika
(Source : Extrait SIGM – Direction des Etudes et Recherches Géologiques 2007)

On rencontre parfois en surface des formations altérées formées de roches volcaniques Plio-Pleistocène de basalte du type Ankaratra. Des roches éruptives classées dans la série ancienne formée par des migmatites granitoïdes et des granites migmatitiques associés.

4-. Problèmes liés au domaine hydrique

En agriculture, la recrudescence des maladies phytosanitaires freine son épanouissement Ceci est due à la non maîtrise de l'eau liée à la détérioration des infrastructures hydroagricoles existants comme les barrages et le canal d'irrigation, favorisant le pullulement des insectes ravageurs et de maladies cryptogamiques. Les ressources hydriques apportées par ces infrastructures actuelles ne suffisent plus donc et par conséquent causent une diminution et la médiocrité de la productivité.

En ce qui concerne l'approvisionnement en eau, le niveau piézométrique diminue en période d'étiage. Ainsi la conception d'adduction d'eau par gravitation, l'aménagement des sources, l'augmentation du nombre des bornes fontaines sont nécessaire pour favoriser les besoins de la population.

PARTIE II

GENERALITES SUR LES AQUIFERES

Dans cette deuxième partie, nous allons voir les généralités et les principaux types de nappes que l'on peut rencontrer sur terrain.

1. Nappe d'eau souterraine

La nappe d'eau souterraine est constituée par l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère dont toutes les parties sont en continuité hydraulique. Le mouvement de l'eau est fonction des gradients d'élévation et de pression

2. L'aquifère

Un aquifère est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable. Un aquifère peut comporter une zone non saturée.

3. Types de nappes aquifères :

Il existe deux types de nappes aquifères :

- § les nappes aquifères captives
- § les nappes aquifères libres

3.1-. Les nappes captives

La nappe captive est une nappe qui est surmontée par une formation peu ou pas perméable; l'eau est comprimée à une pression supérieure à la pression atmosphérique. A la suite d'un forage au travers du toit imperméable, l'eau remonte et peut jaillir: la nappe est artésienne. Le jaillissement peut disparaître par la suite si la nappe est exploitée au point de diminuer sa pression.

3.2-. Les nappes libres

La nappe libre est une nappe où la surface piézométrique coïncide avec la surface libre de la nappe qui est surmontée par une zone non saturée.

4. Débit d'une nappe

C'est le volume d'eau traversant une section transversale de l'aquifère en une unité de temps. Son calcul est délicat; il faut connaître l'épaisseur de l'aquifère et l'écartement des

courbes isopiézométriques. Pour les grandes nappes, on subdivise la section générale en sections élémentaires équipées de couples de piézomètres (forages d'essai).

Le débit d'une nappe peut être évalué par la loi de Darcy:

$$Q = K \cdot A \cdot i$$

Q: débit en m³/s

K: coefficient de perméabilité en m/s

A: section de la nappe en m²

i: gradient hydraulique

5. Types de milieu perméable et porosité

En hydrogéologie, on identifie deux types différents de réservoir: le réservoir en milieu poreux et le réservoir en milieu fissuré

5.1-. Milieu poreux et milieu fissuré

Le réservoir en milieu poreux ou aquifère à porosité d'interstices est un milieu perméable comportant des pores interconnectés, comme les sables ou les grès peu cimentés.

Le réservoir en milieu fissuré est un milieu perméable dans lequel l'eau s'écoule à travers un réseau de fissures ou de fractures ouvertes, diversement interconnectées (roches cristallines, grès cimenté, calcaire fissuré ou karstifié).

5.2-. Milieu continu et discontinu

Si le milieu comporte des vides interconnectés dans le sens de l'écoulement, on parlera d'un milieu continu. Le milieu poreux et le milieu finement fissuré sont continus par opposition aux milieux fissurés et karstiques, appelés milieux discontinus. Remarquons que si les lois générales de l'hydraulique ne s'appliquent qu'à des milieux continus isotropes et homogènes, on les applique également, en première approximation, aux milieux naturels même fissurés en prenant cependant soin de travailler à des échelles adéquates.

5.3-. La porosité des formations aquifères

Un milieu perméable sera un aquifère favorable si en plus d'une perméabilité élevée, il contient une quantité d'eau appréciable dans les vides situés en son sein. On distingue deux milieux poreux aux caractéristiques bien différentes : le milieu à porosité d'interstices et le milieu à porosité de fissuration.

5.4.- Porosité des roches à porosité d'interstices

La porosité exprime la quantité de vide dans une roche. On peut la considérer à partir des phases solide et liquide. On exprime la porosité par le rapport des volumes, volume des vides/volume de la roche, exprimée en %.

5.5.- Granulométrie du milieu poreux meuble

L'étude granulométrique est importante pour caractériser la nature d'une formation meuble et surtout pour dimensionner l'équipement des puits et des forages. On détermine la distribution pondérale des dimensions des grains par l'opération de tamisage.

5.6.- Porosité des roches à porosité de fissuration

Dans ces roches, les vides sont constitués par des joints de stratification, des fissures ou des fractures interconnectées (résultant des contraintes). Le plus souvent ces fissures ne sont pas ouvertes, mais sont obstruées par la recristallisation ou le colmatage. En général, l'hydrogéologue s'intéresse plus particulièrement aux fractures ouvertes, ou plutôt aux familles de fractures ouvertes. On prend également en considération les microfissures (ouverture de l'ordre du mm): diaclases, microjoints de stratification, plan de schistosité. Dans ce cas, le milieu est considéré comme continu et le rôle hydrodynamique de ces ouvertures est proche de celui des pores en milieu poreux. Il existe parfois des roches consolidées à porosité combinée ou à double porosité. Les calcaires oolithiques ou les grès peuvent en effet être simultanément à porosité de microfissure ou de matrice. En milieu calcaire, les fractures sont souvent élargies par la dissolution des calcaires, voir même transformées en cavité.

6. Porosité et coefficient d'emmagasinement

6.1.- Valeur de la porosité efficace

Porosité efficace n_e : rapport du volume d'eau mobile à saturation, libéré sous l'effet d'un drainage complet, au volume total de la roche

L'exploitation d'une formation aquifère à nappe libre implique la récupération de l'eau contenue dans les vides, comme on peut récupérer l'eau d'un échantillon en l'égouttant. Les valeurs de porosité communément admises varient entre 5 et 30%. Toutefois l'eau des aquifères est généralement sous pression et l'on utilise alors le coefficient d'emmagasinement pour caractériser plus précisément le volume d'eau gravitaire.

6.2-. Coefficient d'emmagasinement

La définition du coefficient d'emmagasinement se rapporte principalement aux aquifères à nappe captive dont la limite supérieure est constituée par une formation imperméable .Si l'on découpe l'aquifère en prismes verticaux de 1m^2 de surface de base, on appelle Coefficient d'emmagasinement S le rapport de la quantité d'eau libérée par ce prisme sous l'effet d'une baisse de pression de 1 unité au volume total du prisme

6.3. Transmissivité et diffusivité

Afin de combiner les valeurs de conductivité à celles de l'épaisseur des formations et ainsi obtenir une valeur de la capacité d'un aquifère à mobiliser l'eau qu'il contient, on utilise les paramètres de la transmissivité et de la diffusivité. La transmissivité $T[\text{m}^2\text{s}^{-1}]$, correspond, en représentation bidimensionnelle, au produit de la conductivité K par l'épaisseur de l'aquifère e .

$$T = eK$$

On la détermine par essai de pompage. On appelle caractéristiques hydrodynamiques d'un aquifère (en représentation bidimensionnelle) la transmissivité T et le coefficient d'emmagasinement S . La diffusivité caractérise la vitesse de réaction d'un aquifère lors d'une perturbation. On la calcule par le rapport T / S , unité de m^2/s . Plus la valeur est élevée, plus la nappe est dite ‘nerveuse’.

PARTIE III

METHODOLOGIE

Cette partie développe la méthode utilisée et le traitement des données acquises lors des mesures pour pouvoir les interpréter.

1. Démarche générale

On peut décrire les études d'estimation en eaux souterraines par deux phases différentes : la phase de reconnaissance et la phase technique.

1.1 Phase de reconnaissance

Pour déterminer la direction des profils de mesure et les emplacements des points de mesure dans chaque Fokontany, les informations suivantes sont très utiles :

Avant la mesure proprement dite, il faut estimer les distances entre électrodes (pas de mesure) et la direction des profils (ligne tellurique). Pour cela, il faut faire des :

- l'étude des documents existants sur le Fokontany et sur ses ressources en eaux souterraines (travaux antérieurs, cartes hydrographiques et hydrogéologiques...).
- les emplacements des puits existants peuvent suggérer la ou les directions des nappes souterraines dans le Fokontany ainsi que les ordres de grandeur de leurs profondeurs.
- les enquêtes auprès des habitants.
- l'inventaire des eaux de surface existantes dans le village contribue à la connaissance des mécanismes des recharges des nappes.

1.2 Phase technique

- Acquisition des données par la technique de panneau électrique en prospection électrique.
- Traitement et interprétation des données: on traite les données recueillies à l'aide des logiciels PROSYS et RES2DINV et après, on obtient diverses coupes que l'on interprétera.

2. Méthodes de prospection

La géophysique appliquée est la science qui a pour but de détecter les substances utiles du sous-sol tels les réservoirs de pétroles, les gisements miniers et les aquifères qui s'y trouvent, en s'appuyant sur les propriétés physiques de la Terre. Il existe plusieurs méthodes qui peuvent être utilisées : méthode gravimétrique, magnétique, sismique, électrique...

Mais dans cette étude (recherche d'eaux souterraines), la méthode la plus appropriée est la méthode de prospection électrique. A cet effet, on va voir les techniques utilisées :

- la polarisation provoquée (PP) ou polarisation induite (IP),
- le sondage électrique,
- le profilage ou traîné électrique,
- la tomographie électrique (panneau électrique 2D).

2.1 -. La prospection électrique

La prospection électrique utilise une source artificielle de courant continu d'intensité I introduit dans le sol à l'aide de deux électrodes A et B et avec deux autres électrodes M et N, on mesure la différence de potentiel ΔV entre les points M et N.

La méthode électrique a pour but de déterminer la distribution des résistivités dans le sous-sol. En prospection électrique, le paramètre de résistivité électrique ρ (inverse de la conductivité), est plus utilisé. La résistivité ρ désigne la capacité du sous-sol à s'opposer au passage d'un courant électrique en son sein. Le principe de la méthode est donc basé sur la mesure de la résistivité.

2.1.1 Milieu homogène et isotrope

Si la résistivité ρ est indépendante de la position de la mesure dans une formation géologique, on appelle cette dernière, formation homogène.

Une formation est isotrope si la direction de mesure ne modifie pas la résistivité mesurée.

Dans le cas d'un sous-sol théoriquement homogène et isotrope, la résistivité mesurée correspond à la résistivité vraie du matériau.

Elle est obtenue à partir de la relation suivante :

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

K : facteur géométrique

I : intensité de courant injecté entre A et B

ΔV : différence de potentiel entre M et N

2.1.2 Milieu hétérogène

Si cette formation est composée de plusieurs couches de nature différente, on aura une formation typiquement hétérogène (ex: dépôt quaternaire classique).

Si la résistivité ρ varie avec la direction de mesure, la formation est anisotrope. Dans ce cas, la relation (1) perd sa signification. Il convient de définir un autre paramètre : la résistivité apparente ρ_{app} . Cette dernière dépend de la nature du sous-sol et de la configuration des électrodes.

On a donc :

$$\rho_{app} = K \frac{\Delta V}{I}$$

2.2. La tomographie électrique (panneau électrique 2D)

Le panneau électrique 2D est une méthode qui combine l'investigation latérale (profilage) et l'investigation verticale (sondage) en un seul processus.

2.2.1. Le sondage électrique

Le sondage électrique sert à faire une investigation verticale du sous-sol à l'aide d'un dispositif quadripôle symétrique (ABMN), c'est-à-dire à déterminer la variation de ρ_a en fonction de la profondeur. Pour ce faire, on fixe la station de mesure, puis on écarte de plus en plus les électrodes A et B afin que les lignes de courant puissent pénétrer en profondeur.

La profondeur d'investigation est la profondeur maximale théorique atteinte par les lignes des courants. Elle dépend de la distance AB entre les électrodes d'injection de courant puisque les lignes de courant pénètrent de plus en plus profondément en écartant ces électrodes. Elle dépend également de la sensibilité et de la précision des appareils de mesure mais surtout de la nature du sous-sol. On peut estimer que la profondeur d'investigation est comprise entre $AB/4$ et $AB/10$

2.2.2. Le profilage électrique

Le profilage électrique sert à faire une investigation latérale du sous-sol à l'aide d'un quadripôle symétrique ABMN de dimension constante. On fixe la longueur de ligne AB et on change de station pour chaque mesure. C'est une investigation à profondeur constante.

Le panneau électrique 2D permet d'acquérir un grand nombre de mesures correspondant à l'aide de différentes combinaisons possibles des électrodes. Autrement dit qu'il s'agit d'une série de sondages électriques répartie latéralement et obtenue par permutation d'un grand nombre d'électrodes

Cette méthode permet la description et la localisation des discontinuités du sous-sol, à partir de la distribution des résistivités apparente en 2D.

2.3. Polarisation provoquée (PP) ou polarisation induite (IP)

La polarisation provoquée a été développée aux fins de l'exploitation minière, ce qui demeure sa principale application, en particulier, pour détecter et cartographier les minéraux à conductivité électronique. En matière d'eaux souterraines, on exploite la polarisation électrolytique, « de membrane » ou « normal ». Cette dernière est causée par des distributions d'ions différentes lors du passage du courant électrique par rapport à l'état d'équilibre (distribution régulière).

Les mesures des PP ou IP sont effectuées au moyen des mêmes configurations qu'en résistivité, mais lors des interruptions d'injection, on constate qu'il subsiste entre les électrodes de potentiel, une différence de potentiel qui se dissipe plus ou moins rapidement. Ce phénomène est appelé la « Polarisation Provoquée ».

En effet, pour la mesure de la PP dans le domaine temporel, le rapport de la tension secondaire (mesurée pendant le temps mort) à la tension primaire (mesurée alors que le courant circule) est une fonction de la capacité de la roche à se polariser électriquement ; cette propriété étant la « chargeabilité » notée m et exprimée en mV/V ou en ms.

La façon la plus simple pour mesurer l'effet PP dans le domaine temporel est de comparer le potentiel résiduel $V(t)$ en instant t après la coupure du courant avec le potentiel V_c lors du passage du courant. Dans ce cas m est exprimée en millivolt par volt mV/V.

Mais dans le cas où $V(t)$ et V_c sont dans les mêmes unités alors m est en milliseconde ms.

Les données en chargeabilité sont acquises lors des mesures de résistivités.

3. Acquisition des données et dispositifs utilisés

De façon à assurer une couverture systématique d'un site étudié et pour un traitement approprié des données à l'ordinateur, les mesures sont exécutées suivant un pas régulier. L'information ainsi obtenue est enregistrée numériquement au moyen d'un système d'acquisition de données qui permet de traiter rapidement avec fiabilité l'information pertinente. Les procédures d'acquisition varient en fonction des techniques et dispositifs utilisés.

On n'explicite ici que la technique d'acquisition au panneau électrique qui est la technique utilisée lors de la campagne.

3.1. Le panneau électrique

Le principe d'acquisition est basé sur la réalisation d'un grand nombre de sondages électriques le long d'un profil à partir de diverses combinaisons de quatre électrodes spécifiques à un type de dispositif parmi les N électrodes. En écartant la distance inter-électrodes, la profondeur de pénétration augmente et le nombre des points expérimentaux diminue.

Le panneau électrique exige l'utilisation du dispositif multiélectrode comme dispositif de base. Soit "a" la distance entre les deux électrodes consécutives. Chaque électrode est utilisé comme électrode de 'injection du courant puis électrode de potentiel.

Le dispositif de wenner est un dispositif classique, utilisant N électrodes, que l'on adopte pour la réalisation du panneau électrique. Soit "n.a" la distance inter-électrodes où n est le nombre de la séquence de mesures qui s'incrémente de 1 à (n-1)/3, si le nombre d'électrode total N est égal à un multiple de 3 plus 1.

Pour la première séquence de mesure, la distance inter-électrodes est égal à 1.a. La première série de mesure débute d'abord avec les électrodes 1, 2, 3 et 4 dont les électrodes 1 et 4 sont utilisées comme électrodes d'injection de courant et les deux autres électrodes 2 et 3 comme électrodes de potentiel. La seconde série de mesure utilise ensuite les électrodes 2, 3, 4 et 5 et ainsi de suite jusqu'à ce que toutes les séries de mesures soient terminées.

Nous passons après à la seconde séquence de mesures dont la distance inter-électrodes s'incrémente à 2a. On effectue les autres série de mesure et ainsi de suite.

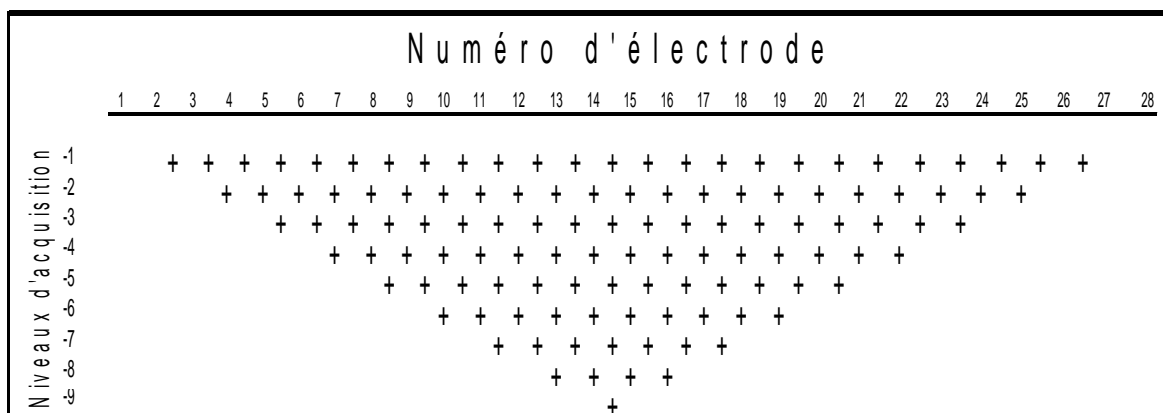
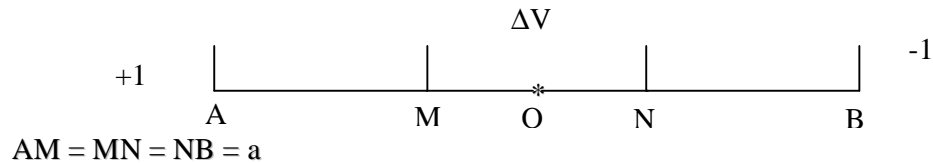


Figure 4 : Représentation d'un panneau électrique 2D pour les mesures en surface

3.2. Dispositifs utilisés

Il existe plusieurs dispositifs en prospection électrique mais on n'en parle que ceux qu'on a utilisés lors de la campagne. C'est le dispositif Wenner normal.

3.2.1 Dispositif de Wenner normal



Les électrodes sont équidistantes et la formule donnant la résistivité se réduit à:

$$\rho_a = 2 \pi a \frac{\Delta V}{I}$$

Après la mesure, on récupère les données au moyen d'un logiciel PROSYS avec lequel la correction des données brutes est fiable.

Le logiciel de modélisation est le RES2DINV pour inverser les données expérimentales en modèle 2D appelé "pseudo section" que l'on interprétera.

3.4. Appareillage

Les mesures sont faites à l'aide d'un resistivimetre SYSCAL R2 développé par IRIS Instrument. Cet appareil est accompagné par ses diverses accessoires :

- § un multiplexeur RCM (Remote Control Multiplexer),
- § des rouleaux de fil,
- § un convertisseur,
- § deux batteries de 12V,
- § deux multinodes.

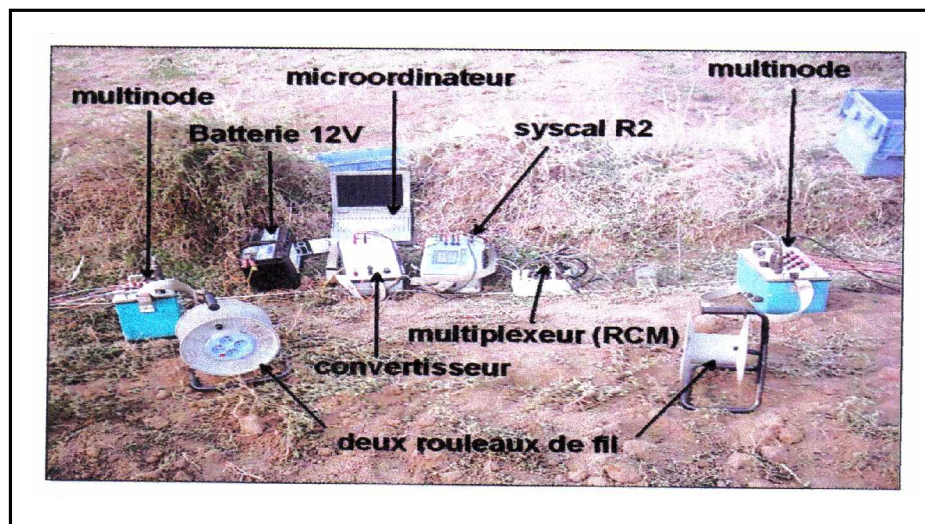


Figure 5 : Schéma du résistivimètre SYSCAL R2 et de ses accessoires

PARTIE IV

INTERPRETATION ET RESULTATS

Dans cette dernière partie, on abordera l'interprétation des données de résistivités acquises par panneaux électriques dans chaque Fokontany afin de mettre en évidence la présence éventuelle d'un aquifère. Une tentative de détermination de la nature de l'aquifère ainsi que du volume de l'aquifère correspondant est ensuite avancée.

Remarque : Notre campagne est faite pendant la période de pluie (Novembre 2007) et tout cela peut entraîner quelques fois des résultats non fiables.

1. Interprétations des données acquises

Nous allons faire les interprétations des données de résistivités acquises par panneaux électriques à l'aide du logiciel RES2DINV et successivement dans les Fokontany d'Ampangabe, de Bemasoandro et de Fonenana.

1. 1. Fokontany d'Ampangabe

Ce Fokontany se trouve à 6 km au Sud du chef lieu de la Commune d'Imerintsiatosika, subdivisé en 4 lots : Ampangabe, Avinany, Manjaka et Antanetibe dont Manjaka est le principal site d'étude pour une raison que ce village connaît un grand problème d'eau.

L'approvisionnement en eau de ce village (Manjaka) se fait par l'eau de source.



Figure 6 : Point d'eau traditionnel de Manjaka (Ampangabe)
(Source : Andry Nirina MSTGA 2007)

1.1.1. Site de Manjaka

Trois panneaux ont été effectués dans ce village. L'emplacement des travaux est donné par la figure ci-dessous :

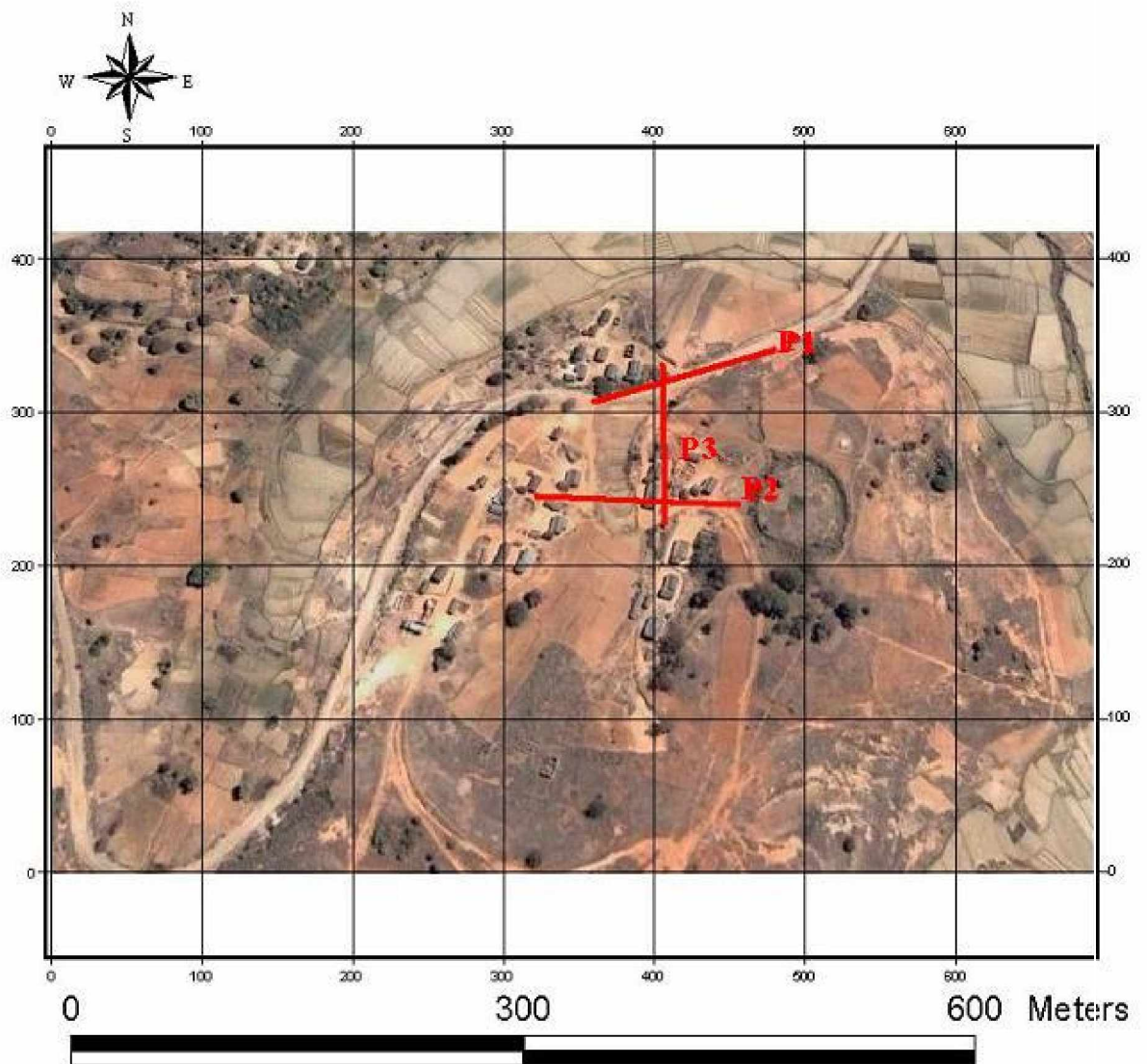


Figure 7 : Plan de masse de Manjaka (Ampangabe)
(Source : Extrait de Google Earth)

Premier panneau (P1)

Dans ce site, nous avons utilisé 32 électrodes avec le dispositif Wenner en mode multiélectrode. La distance inter électrode est fixée à 5m.

Ce panneau est localisé aux points de coordonnées géographiques que l'on donne dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P1 (AMPANGABE)

	1 ^{er} Électrode	Centre du panneau	32 ^{ème} Électrode
Coordonnées géographiques	S 19°00'31.4'' E 047°15'00.4''	S 19°00'32.3'' E 047°15'58.0''	S 19°00'32.2'' E 047°15'55.6''

Le panneau se fait sur un terrain quasiment plat et à 1400m d'altitude, le profil suit la direction Est-Ouest.



Figure 8 : Position de profil P1 à Manjaka (Ampangabe)
(Source : Andry Nirina MSTGA 2007)

Le résultat du panneau 2D donne la coupe géoelectrique de résistivité et de chargeabilité :

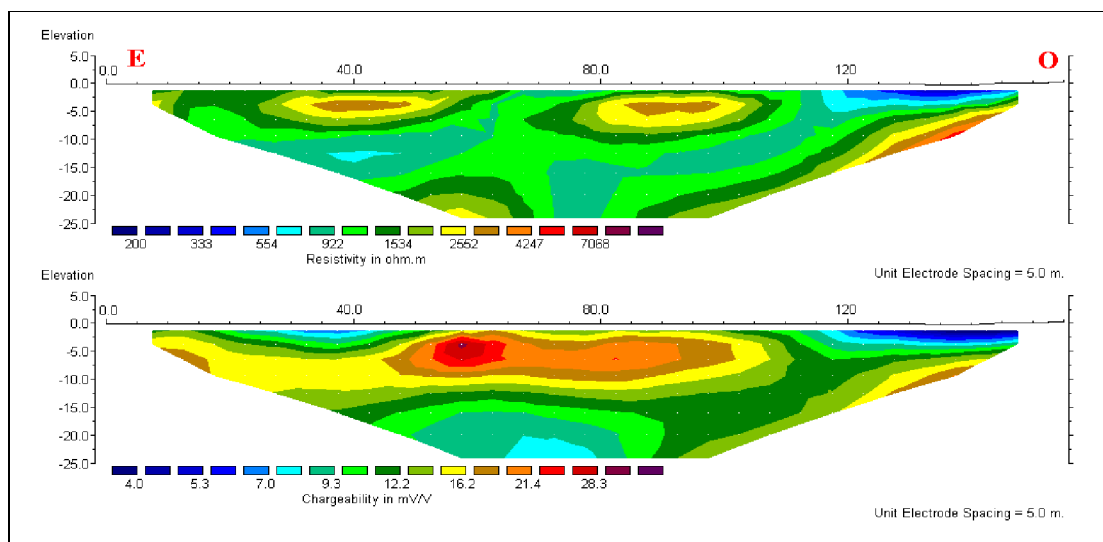


Figure 9 : Coupe géoélectrique relative à P1 à Manjaka

Cette figure montre 2 modèles : un modèle geoelectrique 2D et un modèle de chargeabilité obtenue à partir du panneau P1. Nous pouvons considérer le modèle géoélectrique comme une structure à 4 formations :

§ une formation superficielle résistante de couleur variant de vert , jaune au marron, de résistivité variant de 2300 à 4200Ωm.Cette couche apparaît en surface à l'abscisse x=30m jusqu'à x=55m et réapparaît à l'abscisse x=80m jusqu'à x=100m.

§ ensuite, une formation conductrice de couleur bleu foncé à bleu clair, correspondant des résistivités entre 200 à 500 Ωm, d'épaisseur environ 3m, s'étendant entre l'abscisse x=115m à x=145m.Elle pourrait représenter l'aquifère.

§ une formation moyennement résistante de résistivité variant de 900 à 1550 Ωm, de couleur vert clair au vert foncé. D'après la carte géologique de notre site, on peut dire que cette couche représente la formation de roche granite migmatitique.

§ enfin, une formation très résistante de couleur marron et rouge, de résistivité supérieure à 4200 Ωm. D'après la géologie de la zone d'étude, on peut dire que cette représente la formation des migmatites granitoïdes qui forme le substratum de l'aquifère.

Sur la couche supposée aquifère, la valeur de chargeabilité est très faible d'après le modèle de chargeabilité (figure IV-4). On en tire que notre aquifère est à grande porosité.

Deuxième panneau (P2)

Ce deuxième panneau est presque parallèle au panneau (P1).

Ce panneau est localisé aux points de coordonnées géographiques que l'on donne dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P2 (AMPANGABE)

	1er Électrode	Centre du panneau	32ème Électrode
Coordonnées géographiques	S 19°00'34.9'' E 047°15'58.7''	S 19°00'3.9'' E 047°15'55.9''	S 19°00'33.6'' E 047°15'53.9''



Figure 10 : Position du profil P2 à Manjaka (Ampangabe)
(Source : Andry Nirina MSTGA 2007)

La coupe geoelectrique obtenue

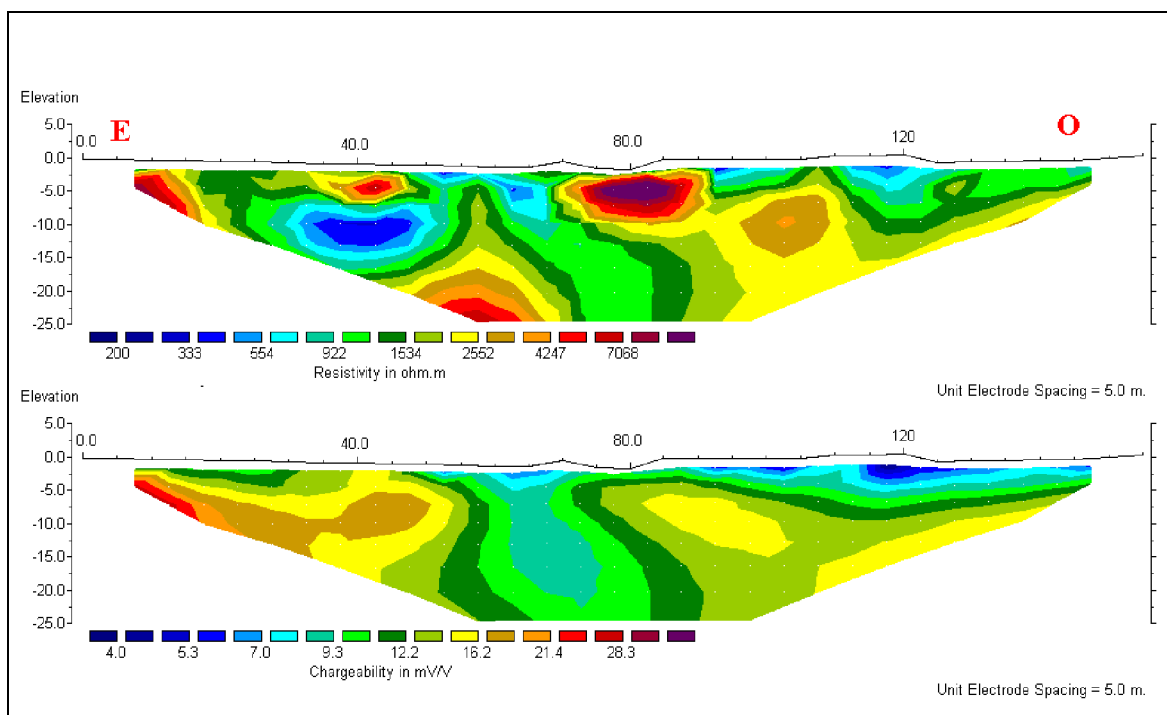


Figure 11 : Coupe géoélectrique relative à P2 à Manjaka

La coupe géoélectrique de résistivité obtenue à partir du panneau P2 nous montre une succession de 4 formations:

§ une formation très résistante de couleur variant de jaune au rouge, de résistivité comprise entre 2500 à 4300 Ωm , contenant parfois des blocs de roches constatés sur terrain sous forme de boule d'air.

§ une formation conductrice de résistivité variant entre 200 à 550 Ωm . Une formation apparaissant entre l'abscisse $x=30m$ à $x=50m$, entre les profondeurs de 6,4m à 12,4m peut être assimilée à un dépôt de sablo-argileux (forte chargeabilité).

§ une formation moyennement résistante, de couleur vert et vert foncé, de résistivité comprise entre 900 à 1500 Ωm . Elle apparaît en surface et pénètre jusqu' en profondeur.

§ enfin, une formation très résistante, allant de la profondeur 13m jusqu'au fond, de couleur jaune, rouge et rouge foncé. Cette formation pourrait être un bloc de roche.

Troisième panneau (P3)

Ce profil est perpendiculaire à celui du panneau P1. Il suit une direction Ouest - Est. Ce panneau P3 coupe le panneau P1 entre l'électrode N°13 et l'électrode N°15 au point de coordonnée géographique S19°00'32,6'' ; E047°15'57,3''

Ce panneau est localisé aux points de coordonnées géographiques que l'on donne dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P3 (AMPANGABE)

	1er Électrode	Centre du panneau	32ème Électrode
Coordonnées géographiques	S 19°00'31.4'' E 047°15'57.9''	S 19°00'32.2'' E 047°15'57.0''	S 19°00'35.6'' E 047°15'56.5''



Figure 12 : Position du profil P3 à Manjaka (Ampangabe)
(Source : Andry Nirina MSTGA 2007)

La coupe obtenue à partir de ce panneau P3 est comme suit

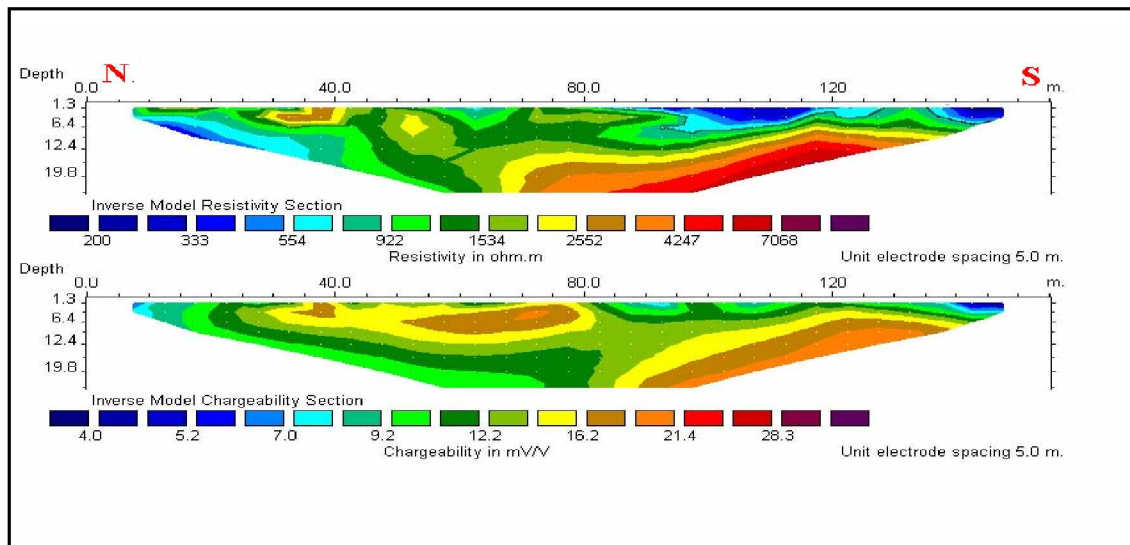


Figure 13 : Coupe géoélectrique relative à P3 à Manjaka

Ce modèle nous montre qu'on a 4 formations :

§ une couche mince, résistante de couleur jaune, de résistivité comprise entre 2500 à 4300 Ωm ,

§ une formation conductrice de résistivité variant entre 200 à 550 Ωm . Cette couche apparaît entre l'abscisse $x=7m$ à $x=35m$, à la profondeur 6m jusqu'à 13m et réapparaît à $x=95m$ jusqu'à 145m. Cette formation représenterait l'aquifère.

§ une formation moyennement résistante, de couleur vert et vert foncé, de résistivité comprise entre 900 à 1500 Ωm . Elle apparaît en surface et pénètre jusqu' en profondeur.

§ enfin, une couche très résistante, de couleur jaune, rouge et rouge foncé, de résistivité variant entre 4200 à 7000 Ωm . C'est un bloc de roche qui constitue le substratum de l'aquifère ci-dessus.

La coupe de chargeabilité (partie inférieure de la figure IV-8) met surtout en évidence une zone de faible chargeabilité variant de 4 à 7mV/V qui correspond à la zone où a été identifié l'aquifère dans la coupe de résistivité. Ce qui indique que l'aquifère serait de formation à grande porosité.

1.1.2. Résultat obtenu

Le volume d'aquifère moyen est évalué selon les paramètres suivants : longueur L , largeur l et épaisseur E de la nappe aquifère, données par les coupes géoelectriques.

Pour le panneau P1, l'extension de la nappe suivant le profil du panneau est de $l=30m$. Pour le panneau P3, la nappe s'étend en suivant le profil sur une longueur de $L=50m$ avec une épaisseur moyenne de $e=3m$.

1.2. Fokontany de Bemasoandro

Le village se situe à 7km au Sud de la Communale Imerintsiatosika, est répartie en quatre quartiers :Bemasoandro, Ambatonapoaka, Miadana, Ambatomanga et Ambohibahoaka.

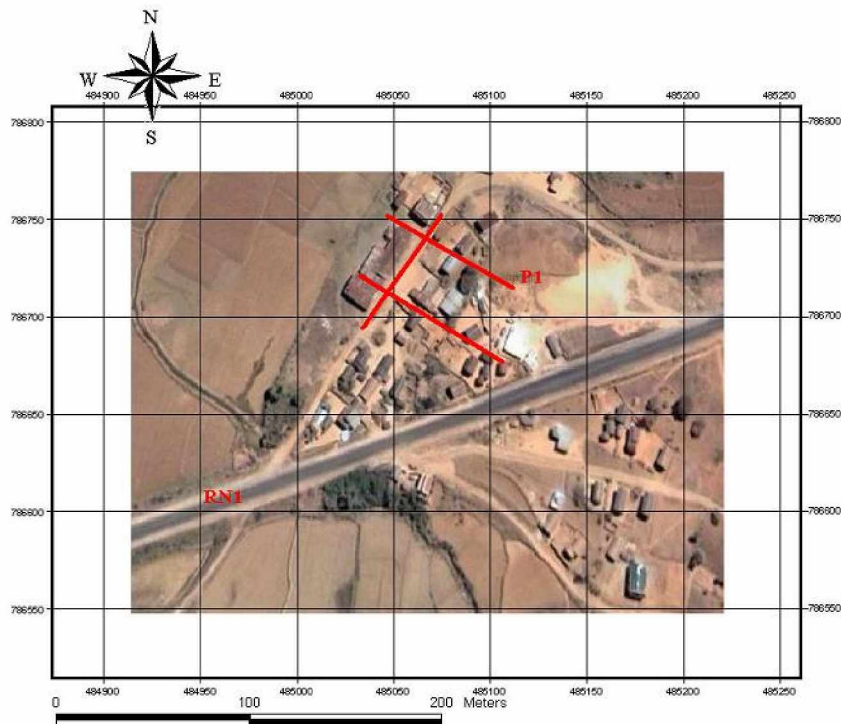
Dans ce Fokontany, l’approvisionnement en eau potable de la population se fait soit par les puits, soit par l’eau de source d’Andohasahakely.

Les mesures ont été réalisées dans le site de bemasoandro.

1.2.1. Site de Bemasoandro

Dans ce Fokontany, trois panneaux ont été réalisés. Au voisinage de tous les trois profils réalisés dans ce Fokontany, il existe 4 puits de profondeur moyenne 7m. En se référant à ce contexte, on a fixé la distance inter électrode à 3m.

La localisation des travaux est présentée par la figure suivante :



**Figure 14 : Plan de masse de Bemasoandro
(Source : Extrait de Google Earth)**

Premier panneau (P1)

Ce premier panneau est localisé aux points de coordonnées géographiques que l'on donne dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P1 (BEMASOANDRO)

	1er Électrode	Centre du panneau	32ème Électrode
Coordonnées géographiques	S 19°01'04.4'' E 047°14'46.0''	S 19°01'05.5'' E 047°14'46.7''	S 19°01'06.8'' E 047°14'47.5''



**Figure 15 : Position de profil P1 à Bemasoandro
(Source : Andry Nirina MSTGA 2007)**

La coupe de résistivité ainsi obtenue est comme suit :

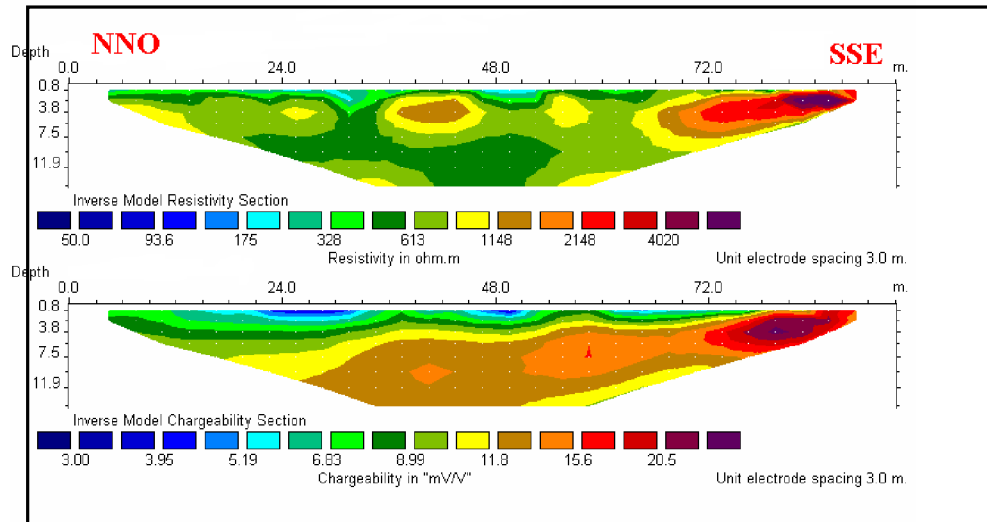


Figure 16 : Coupe géoélectrique relative à P1 à Bemasoandro

La coupe de résistivité ainsi obtenue nous montre les 3 formations suivantes :

§ une formation mince, conductrice de couleur bleu claire, de résistivité environ 175 Ω m. Cette formation apparaît en surface car cette mesure est faite juste après la pluie. Donc, on ne peut tirer de conclusion concernant cette formation.

§ une formation moyennement résistante de résistivité variant de 800 à 1200 Ω m, de couleur vert clair, vert foncé et jaune.

§ enfin, une formation très résistante de couleur rouge, de résistivité entre 2200 à 4000 Ω m. C'est une formation de granite migmatitique.

Deuxième panneau (P2)

Le panneau P2 est presque parallèle à P1. La localisation géographique de P2 est donné par le tableau suivant :

Tableau 6 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P2 (BEMASOANDRO)

	1er Électrode	Centre du panneau	32ème Électrode
Coordonnées géographiques	S 19°01'06.0'' E 047°14'43.8''	S 19°01'06.0'' E 047°14'44.6''	S 19°01'08.6'' E 047°14'45.4''



**Figure 17 : Position de profil P2 à Bemasoandro
(Source : Andry Nirina MSTGA 2007)**

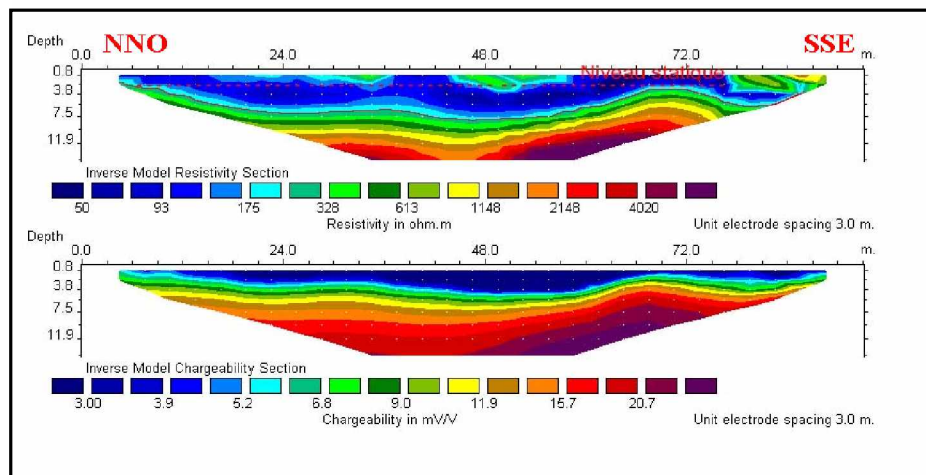


Figure 18 : Coupe géoélectrique relative à P2 à Bemasoandro

La coupe de résistivité ainsi obtenue nous montre les formations suivantes :

§ une formation conductrice de couleur bleu claire au bleu foncé, de résistivité comprise entre 50 à 170 Ω m. Elle a, environ, une épaisseur de 6,5m. Cette formation représenterait l'aquifère.

§ une formation moyennement résistante de résistivité variant de 800 à 1200 Ω m, de couleur vert clair, vert foncé et jaune.

§ enfin, une formation très résistante de couleur rouge, de résistivité entre 2200 à 4000 Ω m. C'est une formation de granite migmatitique qui constituerait le substratum rocheux de la nappe aquifère.

La valeur de chargeabilité (partie inférieure de la figure IV-13) qui correspond à la formation conductrice est comprise entre 3 à 11mV/V. Ce qui confirme qu'on a ici une nappe aquifère à grande porosité.

Troisième panneau P3

Ce panneau est presque perpendiculaire au panneau P1. Les panneaux P1 et P3 se coupent au point S19°01'05.1'' ; E047°14'46.4''. Le tableau ci-dessous indique les 3 coordonnées géographiques de ce profil :

Tableau 7 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P3 (BEMASOANDRO)

	1er Électrode	Centre du panneau	32ème Électrode
Coordonnées géographiques	S 19°01'05.0'' E 047°14'46.6''	S 19°01'05.8'' E 047°14'45.3''	S 19°01'06.9'' E 047°14'44.2''



**Figure 19 : Position de profil P3 à Bemasoandro
(Source : Andry Nirina MSTGA 2007)**

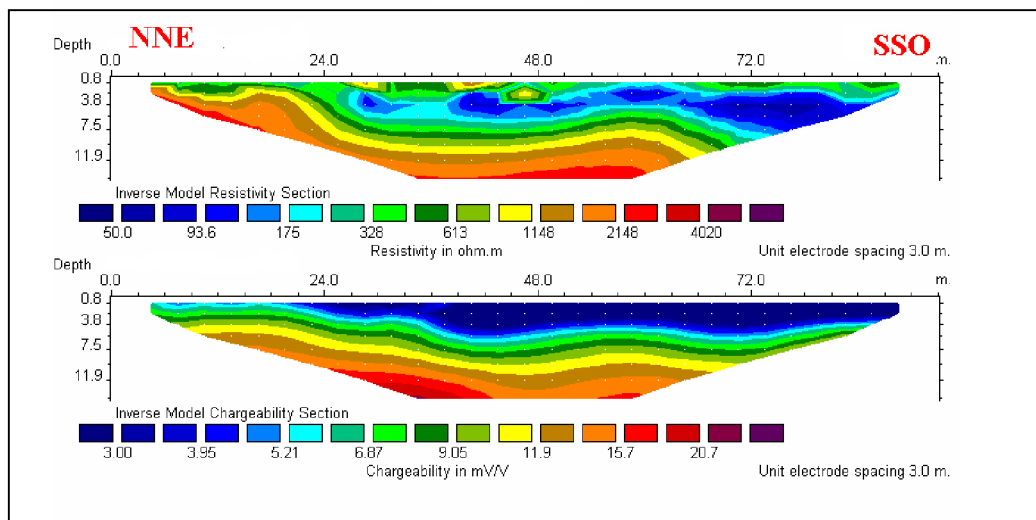


Figure 20 : Coupe géoélectrique relative à P3 à Bemasoandro

La coupe montrant la distribution des résistivités du sous-sol montre que le terrain est formé par une succession de trois coches de telle que :

§ une couche moyennement résistante de couleur variant de vert foncé au jaune, de résistivité variant de 300 à 1100Ωm. Cette couche apparaît en surface et s'étend sur tout le long de profil mais à l'abscisse $x=24m$, elle descend en profondeur jusqu'à 8m.

§ ensuite, une couche conductrice de couleur bleu foncé à bleu clair, de résistivité entre 50 à 180 Ωm, d'épaisseur environ 3m, s'étendant entre l'abscisse $x=27m$ à $x=87m$. Elle pourrait représenter l'aquifère.

§ Enfin, une couche très résistante de résistivité variant de 2000 à 4020 Ωm , de couleur marron au rouge. D'après la carte géologique de notre site, on peut dire que cette couche représente la formation de roche granite migmatitique. Cette formation constituerait le substratum de la nappe.

La coupe de chargeabilité (partie inférieure de la figure IV-15) met surtout en évidence une zone de faible chargeabilité variant de 3 à 6mV/V qui correspond à la zone où a été identifié l'aquifère dans la coupe de résistivité. Ce qui indique que l'aquifère serait de formation à grande porosité.

Résultat obtenu

D'après les images ainsi obtenues des deux derniers profils réalisés à Bemasoandro, on a pu déduire que la longueur L est de 80m (panneau P2, figure 18), la largeur l est de 60m (panneau P3, figure 20) et l'épaisseur e vaut 5m.

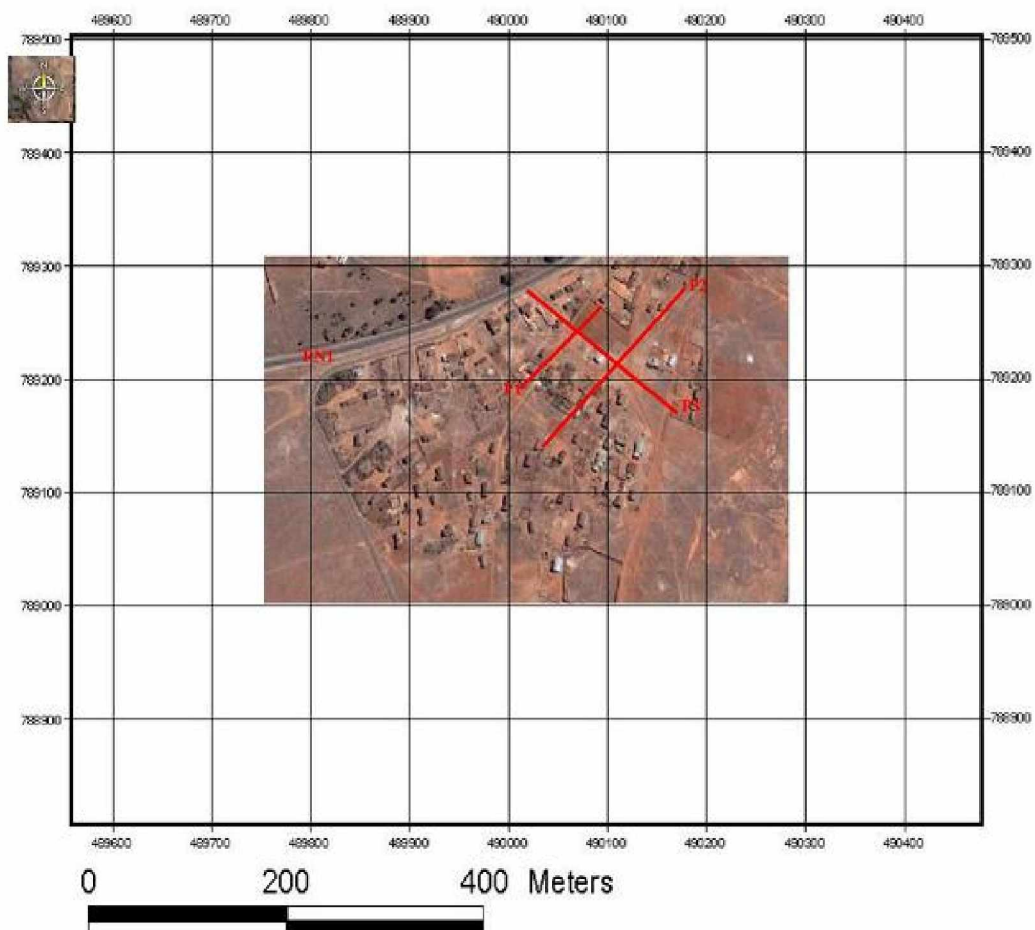
1.3. Fokontany de Fonenana

Ce Fokontany se trouve à 4Km au Sud du chef lieu de la Commune Rurale d'Imerintsiatosika, formé par 5 quartiers : Antanambao, Fiantsonana, Ambohitrinibe, Tsiandaingana et Fonenana.

Nous avons réalisé les mesures dans le site de Fonenana.

1.3.1. Site de Fonenana

L'étude a été accomplie en effectuant 3 panneaux. La position des emplacements des travaux géophysiques est indiquée par la figure ci-dessous :



**Figure 21 : Plan de masse de Fonénana
(Source : Extrait de Google Earth)**

Premier panneau P1

La localisation géographique de P1 est donnée par le tableau suivant :

Tableau 8 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P1 (FONENANA)

	1er Électrode	Centre du panneau	32ème Électrode
Coordonnées géographiques	S 18°59'47.3'' E 047°17'33.3''	S 18°59'47.3'' E 047°17'33.3''	S 18°59'49.6'' E 047°17'34.6''



Figure 22 : Position de profil P1 à Fonenana
(Source : Andry Nirina MSTGA 2007)

Le résultat des mesures géophysiques donne l'image suivante :

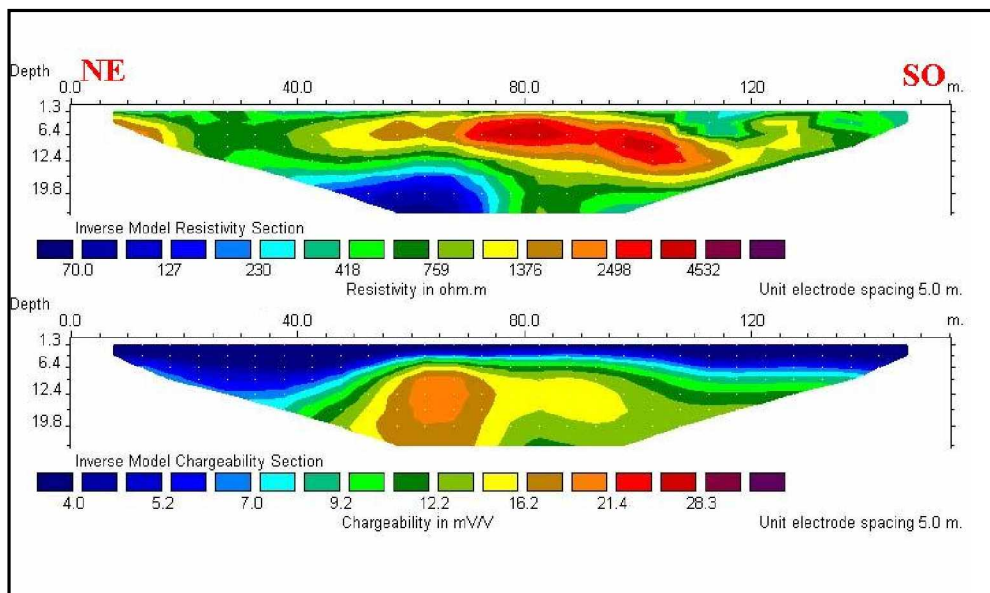


Figure 23 : Coupe géoélectrique relative à P1 à Fonenana

L'image 2D obtenue montre la présence de trois types de formations :

§ la première formation moyennement résistante de couleur vert clair au jaune, de résistivité variant de 400 à 1200 Ω m, allant de la partie superficielle jusqu'à la profondeur de plus de 19m, s'étend tout au long du profil.

§ la deuxième formation résistante de couleur marron au rouge, de résistivité variant de 2500 à 4400 Ω m, pourrait être une formation latéritique.

§ la troisième formation qui est à la profondeur de 19 m, est conductrice (résistivité allant de 70 à 230 Ω m) et de couleur bleu foncé à bleu clair. Cette formation constituerait un bloc d'argile.

Deuxième panneau P2

La localisation géographique de P1 est donnée par le tableau suivant :

Tableau 9 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P2 (FONENANA)

	1er Électrode	Centre du panneau	32ème Électrode
Coordonnées géographiques	S 18°59'49.3'' E 047°17'41.4''	S 18°59'47.2'' E 047°17'36.7''	S 18°59'44.5'' E 047°17'32.4''



**Figure 24 : Position de profil P2 à Fonenana
(Source : Andry Nirina MSTGA 2007)**

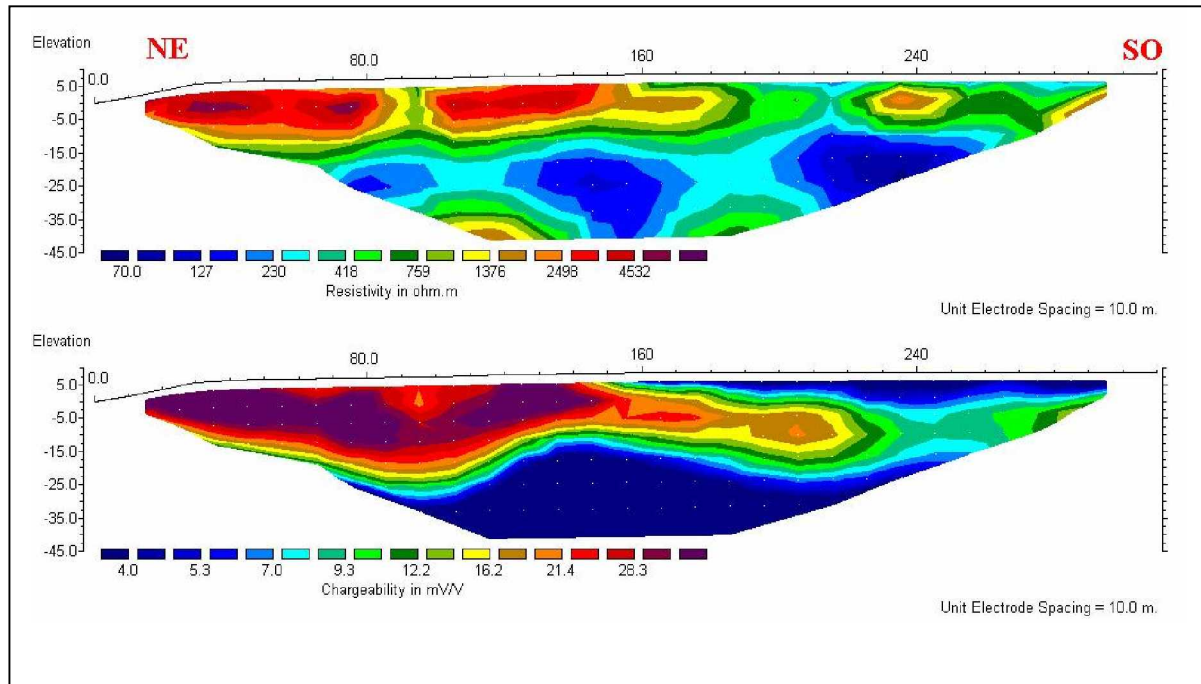


Figure 25 : Coupe géoélectrique relative à P2 à Fonenana

La coupe geoelectrique obtenue par tomographie électrique montre les structures suivantes :

§ une formation superficielle très résistante de couleur rouge et violet, de résistivité supérieure à 2500 Ω m, d'épaisseur moyenne de 10m s'étendant sur l'abscisse $x = 15m$ à $x = 80m$ et puis sur l'abscisse $x = 100m$ à $x = 150m$, formée principalement par de latérite.

§ une deuxième formation moyennement résistante de couleur variant de vert clair au jaune, de résistivité comprise entre 400 et 1200 Ω m. On observe qu'elle englobe une autre qui n'est autre que la dernière couche de couleur bleu clair au bleu foncé, conductrice, de résistivité comprise entre 70 à 230 Ω m.

Pour cette dernière couche, la chargeabilité (partie inférieure de la figure IV-20) est faible avec une valeur variante de 3 à 11mV/V. Donc, on peut dire que la dernière couche est une nappe aquifère à grande porosité.

Troisième panneau P3

La localisation géographique de P3 est donnée par le tableau suivant :

Tableau 10 : Tableau de coordonnées géographiques du panneau P3 (FONENANA)

	1er Électrode	Centre du panneau	32ème Électrode
Coordonnées géographiques	S 18°59'50.2'' E 047°17'37.0''	S 18°59'46.7'' E 047°17'37.0''	S 18°59'42.7'' E 047°17'40.6''



**Figure 26: Position du profil P3 à Fonénana
(Source : Andry Nirina MSTGA 2007)**

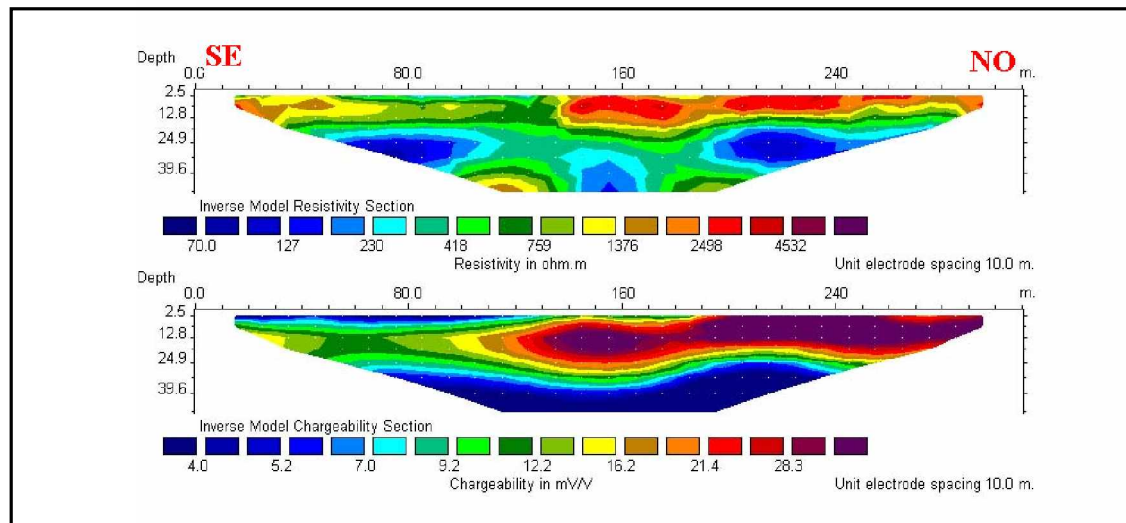


Figure 27 : Coupe géoélectrique relative à P3 à Fonénana

La coupe de résistivité montre les formations suivantes :

§ une formation superficielle très résistante, de couleur rouge au violet, de résistivité supérieure à 2300 Ω m, d'épaisseur moyenne de 10m s'étendant sur l'abscisse $x=140$ m à $x=295$ m, formée principalement par de latérite.

§ une deuxième formation moyennement résistante de couleur variant de vert clair au jaune, de résistivité comprise entre 400 et 1200 Ω m.

§ une troisième formation de couleur bleu clair au bleu foncé, conductrice, de résistivité comprise entre 70 à 230 Ω m, s'étendant sur l'abscisse $x=50$ m à $x=280$ m, à profondeur de 25m.

§ enfin, une couche moyennement résistante de couleur vert foncé, vert clair et jaune et qui constitue la base de la nappe. Cette couche serait donc le substratum de l'aquifère.

La coupe de chargeabilité (partie inférieure de la figure IV-22) met en évidence une zone de très faible chargeabilité variant de 3 à 8 mV/V qui correspond à la troisième couche dans la coupe de résistivité. Donc on peut dire que cette troisième est une nappe aquifère à grande porosité.

Résultat obtenu

Pour le panneau P2, l'aquifère s'étend sur l'axe Sud Est – Nord Ouest sur une longueur de 220m.

Pour le panneau P3, cet aquifère s'étend suivant l'axe Sud Est - Nord Ouest sur une longueur de 180m.

Quant à sa puissance, on peut l'estimer en moyenne de 6m.

CONCLUSION

Les résultats relatifs à la recherche d'eaux souterraines que nous avons obtenus dans les sites d'Ampangabe, de bemasoandro et de Fonenana nous montrent que l'utilisation de la tomographie électrique est bien appropriée à la détection et à la caractérisation d'aquifères en tenant compte des contextes géomorphologique et géologique de la zone cible.

L'application de cette technique de prospection électrique nous a permis donc d'obtenir une paillette d'informations relatives aux caractéristiques de nappes aquifères, plus particulièrement leur localisation, leur volume, leur épaisseur, ainsi que leur profondeur.

Ainsi d'après les résultats des travaux que nous avons effectués, la profondeur des nappes détectées est estimée dans une fourchette allant de 4 à 25m et leur épaisseur moyenne de 5m.

Notre étude sur la potentialité en eaux souterraines contribue essentiellement donc à donner des indicateurs non négligeables sur la présence d'aquifères qui faciliteront la recherche d'eaux souterraines dans la zone cible. Cette étude ainsi que la méthodologie peuvent être étendues à d'autres Communes Rurales ou Régions. Les travaux des autres acteurs dans la mise en œuvre des programmes de développement comme celui de l'accès à l'eau potable se trouvent alors grandement facilités.

Cependant, durant les périodes de stage, nous avons eu l'opportunité d'approfondir les connaissances théoriques et pratiques acquises au cours de notre formation à la MSTGA. Les expériences dans le domaine des relations humaines ont été développées pourvu que l'investigation au sein de la population et au sein de divers services pour la collecte de documents ait été nécessaire. Sans oublier la question de gestion en temps et financière durant la campagne, et surtout l'esprit de travailler en équipe.

Annexe 1 : Paramètres nécessaires pour estimer un volume d'eau

1. La résistivité

On évalue d'abord le volume de l'aquifère afin d'estimer le volume d'eau. Pour notre cas d'étude, les valeurs de résistivités sont indiquées dans le tableau suivant :

Type de roche	Résistivité (Ωm)
Nappe aquifère	80-300
Sable gréseux	350-2500
Sol latéritique	3000-6000
Socle cristallin	>6000

Tableau 1 : Ordre de grandeur des résistivités pour le cas de notre étude

Remarque : Cas général de valeur de résistivité apparente (MANJOIE A., 1987 et GIROUX B., 1999)

LITHOLOGIE	RÉSISTIVITÉ (Ωm)
Argiles	1-100
Argilites	10-800
Alluvion et sable	10-800
Sable sec	30 000-50 000
Sable humide	60-20 000
Gravier sec	500-2 000
Gravier saturé	100-350
Schiste compact	100-150
Schiste fissuré	150-200
Schiste altéré	30-60
Grès	$1-6.4.10^8$
Marnes	3-70
Eau de mer	0.2 (moyenne)
Eau salée, 3%	0.15 (moyenne)
Eau salée, 20%	0.05 (moyenne)
Calcaire	$50-10^7$

Tableau 2 : Gamme de résistivité apparente.

2. Paramètres hydrodynamiques :

En hydrogéologie, on identifie deux (2) types différents de réservoir : le réservoir en milieux poreux et le réservoir en milieu fissuré. L'exploitation d'une formation aquifère à nappe libre implique la récupération de l'eau contenue dans les vides, on parle alors de la porosité efficace. Toutefois l'eau des aquifère est généralement sous pression et on utilise alors le coefficient d'emménagement pour caractériser plus précisément le volume d'eau gravitaire.

Ainsi, les paramètres utilisés sont en fonction du milieu étudié, on en distingue :

La porosité

La porosité caractérise l'aptitude d'un sol à contenir un fluide. Si un volume V de terrain contient un volume V_v de vides et un volume V_s de solide ($V = V_v + V_s$) la porosité est le rapport n :

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (\text{Ce rapport est souvent exprimé en \%})$$

Un autre paramètre est également utilisé : c'est l'indice des vides e :

$$n = \frac{V_v}{V_s}$$

Avec la relation :

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad \text{ou} \quad e = \frac{n}{1 - n}$$

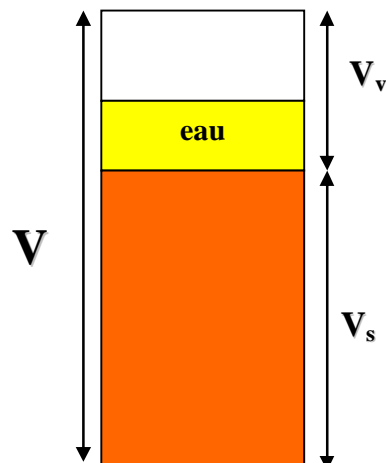


Figure 1

Les vides peuvent contenir plus ou moins d'eau et le degré de saturation (S) caractérise le pourcentage d'eau dans les vides :

$$S_r = \frac{\text{Volume d'eau contenu dans les vides du matériau}}{\text{Volume total des vides}}$$

On utilise parfois la teneur en eau volumique Θ

$$\Theta = \frac{\text{Volume d'eau contenu dans les vides du matériau}}{\text{Volume total du matériau}}$$

Type de sédiments	Porosité (%)	Porosité efficace (%)
Gravier moyen	45	40
Sable gros	38	34
Sable moyen	40	30
Sable fin	40	28
Sable très fin	40	24
Sable silteux	32	5
Silt	36	3
Silt argileux	38	-
Argile	47	-

Tableau 3 : ordre de grandeur de la porosité pour quelques sédiments meubles

La perméabilité

Pour que l'eau circule dans le terrain il est nécessaire que les vides (pores et fissures) soient interconnectés. L'aptitude d'un terrain à se laisser par les fluides et caractérisée par la perméabilité de ce terrain par rapport au fluide. La vitesse de filtration de l'eau dépend de deux (2) facteurs : le gradient hydraulique et la structure du milieu (conductivité hydraulique ou coefficient de perméabilité).

Le paragraphe suivant explique la loi de base (loi de DARCY) qui régit sur la circulation et l'écoulement d'eaux souterraines.

On appelle charge hydraulique la quantité H :

$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho_w g} + z$$

Où z étant l'altitude du point, P la pression, ρ_w la masse volumique du fluide, g la pesanteur.

En fait généralement un fluide n'est pas parfait et il existe des forces de viscosité ou de frottement visqueux. C'est le cas pour l'eau s'écoulant sous l'action de la pesanteur à travers les vides d'un terrain : il existe des forces de viscosité entre les molécules; ces frottements vont dissiper de l'énergie et il y aura perte de charge. Souvent nous intéressons plus aux variations de charge dans l'espace qu'à la charge elle-même. Lorsqu'une particule parcourt la distance L . Le gradient hydraulique I est défini par :

$$I = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{dH}{dl} = \text{grad}(H)$$

Expérimentalement, Darcy trouve vers 1856 la relation :

$$Q = K. S. \frac{\Delta H}{L}$$

S : section du massif sableux

K : Coefficient de dépend du fluide et du terrain, coefficient de perméabiliser

En posant :

$$V = \frac{Q}{S} \text{ Et } I = \frac{\Delta H}{L}$$

La relation devient :

$$V = K I$$

La connaissance des paramètres hydrodynamiques a permis de mieux comprendre les processus de la recharge de la nappe et la circulation des eaux souterraines.

Type de sol	Perméabilité K (m/s)
Gravier ou sable grossier	10^{-1} à 10^{-5}
Sable fin	10^{-5} à 10^{-6}
Sable très fin	10^{-6} à 10^{-8}
Marne	10^{-8} à 10^{-9}
Argile	$>10^{-9}$
Calcite / Granite (non fissuré)	10^{-11}

Tableau 4: ordre de grandeur de la perméabilité de

Le coefficient d'emmagasinement

La définition de coefficient d'emmagasinement se rapporte principalement aux aquifères à nappe captive dont la limite supérieure est constituée par une formation imperméable. L'aquifères à nappe captive contient une eau sous pression et l'aquifère est ainsi en condition artésienne. En fait, on définit de manière générale le coefficient d'emmagasinement comme étant la source de l'eau disponible, porosité efficace avec l'eau libérable par dépression. En nappe libre, en première approximation seule compte l'eau libérable par gravité, porosité efficace, alors qu'en nappe captive, seule l'eau libérée par dépression (et réarrangement des grains) est prise en compte. Si l'on découpe l'aquifère en prismes verticaux de 1 m^2 de surface de base, on appelle le coefficient d'emmagasinement S le rapport de la quantité d'eau libérée par ce prisme sous l'effet d'une baisse de pression de 1 unité au volume total du prisme. On peut définir ainsi en présentation bidimensionnelle la quantité d'eau unitaire (par unité de surface) stockée dans un aquifère. On utilise également la notion de coefficient d'emmagasinement spécifique S_s comme le volume d'eau par unité de volume aquifère que l'on obtient sous une baisse de pression de 1 unité.

On peut déterminer $S = e S_s$ (avec e = épaisseur en m de l'aquifère) durant les essais de pompage.

En nappe captive, il est évidemment très petit : environ 10^{-6} , alors qu'en nappe libre, il est proche de la porosité efficace 10%, 5%.

3. Notion de bilan hydrique

On peut schématiser le phénomène continu du cycle de l'eau en trois phases :

§ Les précipitations.

§ Le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain.

§ L'évaporation.

On fait, l'eau influencée par la radiation, la température, l'humidité de l'air et du sol, forme une évaporation puis formation des nuages. D'après le phénomène de condensation sous l'effet du soleil, on a des précipitations. A la surface du sol, on a l'infiltration d'où la formation des nappes d'eau souterraine.

§ La précision P : quantité d'eau accueillie pendant une période bien définie.

§ L'évapotranspiration ET : somme de quantité de vapeur d'eau évaporé par le sol et par les plantes quand le sol à une certaine humidité et les plantes ont un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

§ Le ruissellement R : quantité d'eau lors d'une précipitation qui échappe à l'infiltration et à l'évaporation.

§ L'infiltration I : mouvement vertical de l'eau dans le sol sous l'effet de la gravité.

§ Le réserve ou l'accumulation ΔS : variation des stock pendant une période donnée.

La relation entre ces paramètres donne l'équation du bilan hydrique :

$$P = R + I + ET \pm \Delta S^*$$

Le bilan hydrique est nécessaire pour l'étude de la circulation d'eau sur/dans le sol afin d'évaluer le renouvellement des nappes d'eau souterraine.

Annexe 2 : Notes de calcul

1. Calcul de débit des sources

La mesure du débit a été durant l'exploit du terrain. En fait, les valeurs obtenues sont des valeurs expérimentales dont le mode opératoire est le suivant :

- § Prendre une bouteille de 1,5l
- § Récupérer l'eau déversée de la source à l'aide d'une feuille d'un bananier, sans qu'il y ait fuite d'eau.
- § Chronométrer le temps de remplissage

On obtient ainsi une formule de débit D en l/s :

$$D = 3600 * C * T$$

Où D : débit d la source en litres/s

C : capacité de récipient en litres

T : temps de remplissage en s

2. Etude de besoin de la population

Le besoin en eau de la population se calcul à partir des deux paramètres : la projection der la population et la consommation journalière.

2.1 Population

Afin d'assurer une exploitation durable et gestion efficace, la dimensionnement de réseau se fera à partir d'une projection de la population réalisée sur 20ans. Cette projection sera réalisée avec un taux d'accroissement de la population, soit :

$$N' = N * (1 + \tau)^{20}$$

Où N' : nombre d'habitant projetés dans vingt ans

N : nombre d'habitant actuel

τ : taux d'accroissement de la population

2.3 Consommation journalière:

Pour une consommation journalière généralement admise pour une telle agglomération, $C = 30$ litres/jour/habitant, le besoin de la population est estimé comme suit

$$B = C * N'$$

Où B : besoin en eau de la population en litres/jour/habitant

N' : nombre d'habitants projetés dans vingt ans

C : consommation journalière en litres/jour

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ø **ANDRIAMPANARIVO R.E.**, 2003. Apport de la prospection électrique 1D et 2D à l'étude des nappes aquifères du Nord KABATOMENA, Région du Menabe.
- Ø **ASTIER, J.L.**, 1971. Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Paris, Edit. Masson et Cie.
- Ø **HESSE A.**, 1966. Prospection géophysique à faible profondeur, Paris-Dunod.
- Ø **Madagascar Action Plan (MAP)**, 2007.
- Ø **Monographie** de la Commune Rurale D'Imerintsiatosika, année 2006.
- Ø **NARY S.M.**, avril 1993. Prospection électrique dans les sites archéologiques d'Ankadivory (MADAGASCAR) et d'Unguja Ukuu (ZANZIBAR).
- Ø **PCD de la Commune Rurale d'Imerintsiatosika**, 2006.
- Ø **RALIJAONA H.**, 2005. Prospection électrique 2D appliquée à l'étude des nappes aquifères de la pleine d'Antananarivo .Cas de la Commune Rurale d'Alasora.
- Ø **RAZAFINIMPARANY A.**, 1965. Rapport annuel du service géologique pour l'année 1965 des feuilles O48 et P48, Ministère de l'Energie et des Mines.

SITES INTERNET

www.agr.gc.ca/pfra/water, septembre 2007

www.eau-artois-picardie.fr, octobre 2007

www.geo-hydrology.com, octobre 2007

www.aesn.fr, novembre 2007

Titre : Recherche d'eaux souterraines par prospection électrique dans trois Fokontany de la Commune Rurale d'Imerintsiatosika dans la Région de l'Itasy.

RESUME

La majorité de la population dans la Commune Rurale d'Imerintsiatosika, District d'Arivonimamo, Région de l'Itasy, ne peut encore avoir accès à l'eau potable.

Le présent mémoire a été réalisé dans le but d'estimer la potentialité en eaux souterraines dans trois Fokontany (Bemasoandro, Ampangabe, Fonenana) de cette Commune.

Ce travail porte sur l'application de la tomographie 2D qui s'est avérée appropriée à l'objet de notre étude.

Les résultats révèlent la présence de trois aquifères dans les trois Fokontany et leurs caractéristiques principales (nature, localisation, volume, profondeur...) ont pu être indiquées.

Mots clés : Aquifère, Commune Rurale d'Imerintsiatosika, tomographie électrique 2D

ABSTRACT

The great part of the population of the Rural Municipality of Imerintsiatosika, which is one territorial subdivision of Arivonimamo in Itasy Region, can not get to drinking water.

This survey had been done in order to drill the underground-water capacity in three localities (Bemasoandro, Ampangabe, Fonenana), parts of this Rural Municipality.

This report focuses how to put the 2D-electrical stratum study into practise which is suitable for this work subject.

The results are indicatives of the existence of three aquifers and their main characteristics (their property, location, volume, depth...) in these three localities.

Key words: *aquifers, Rural Municipality of Imerintsiatosika, 2D-electrical stratum.*

Encadreur :

Pr. Jean Bruno RATSIMBAZAFY
jbrtsim@moov.mg

Impétrant:

RAKOTOARIVELO Andry Nirina
Tél: 033 12 314 88
andry_aarvel@yahoo.fr
BLOC 38 porte 5 CU Ankatso II, 101 Antananarivo