

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I Présentation de la zone d'étude

I-1 Localisation géographique

I-2 Contexte géologique

I-3 Climat de la région

I-4 Contexte hydrologique et hydrogéologique

I-5 Conclusion

II Evaluation des besoins en eau

II-1 Contexte socio-économique

II-2 Evaluation des besoins en eau

II-3 Conclusion

III Paramètres hydrodynamiques et méthode de prospection électrique

III-1 Paramètres hydrodynamiques

III-2 Méthode de prospection électrique

IV Résultats et interprétation

IV-1 Méthode d'estimation de réserve

IV-2 Cas du Fokontany d'Antsetsiandranovato

IV-3 Cas du Fokontany d'Ambohidehibe

IV-4 Cas du Fokontany de Tsinjorano

CONCLUSION

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES ACRONYMES

AEP : Adduction en Eau Potable

ETP : Evapotranspiration

IOGA : Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo

MSTGA : Maîtrise des Sciences et Techniques en Géophysique Appliquée

RN : Route Nationale

UNESCO: United Nations Educational Scientific and Cultural Organization

LISTE DES FIGURES

- Figure I -1 : Carte de localisation d'Imeritsiatosika
- Figure I -2 : Carte géologique régionale de la zone d'étude
- Figure I- 3 : Réseau hydrographique d'Imeritsiatosika
- Figure III -1 : Dispositif shlumberger
- Figure III -2 : Configuration des électrodes pour le panneau électrique du type Wenner
- Figure III -3 : Chargeabilité (Parasnic, 1986)
- Figure III -4 : Les équipements SYSCAL R2 complets
- Figure IV -1 : Estimation de réserve
- Figure IV -2 : Localisation des travaux géophysiques d'Atsetsindranovato
- Figure IV -3 : Courbe du sondage électrique SE réalisé à Antsetsindranovato
- Figure IV -4 : Coupe géoélectrique du profil P1 d'Antsetsindranovato
- Figure IV -5 : Coupe géoélectrique du profil P2 d'Antsetsindranovato
- Figure IV -6 : Localisation des travaux géophysiques d'Ambohidehibe
- Figure IV -7 : Coupe géoélectrique du profil P1 d'Ambohidehibe
- Figure IV -8 : Coupe géoélectrique du profil P2 d'Ambohidehibe
- Figure IV -9 : Localisation des travaux géophysiques de Tsinjorano
- Figure IV -10 : Coupe géoélectrique du profil P1 de Tsinjorano
- Figure IV-11: Coupe géoélectrique du profil P2 de Tsinjorano
- Figure IV-12 : Coupe géoélectrique du profil P3 de Tsinjorano

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I-1 : Valeurs mensuelles des précipitations pendant 27 an.
- Tableau II-1 : Nombre d'habitants
- Tableau II-2 : Evolution de nombre de population dans les 15an à venir
- Tableau II-3 : Evolution de la demande en eau

INTRODUCTION

L'eau constitue un élément vital, indispensable à la vie de tout être vivant. A Madagascar, 75% de la population n'ont pas accès à l'eau potable, les statistiques montrent que 3% du monde rural et 34% du milieu urbain seulement y ont accès. L'Ile n'est pas encore menacée par la pénurie d'eau mais la potentialité en eaux est encore mal connue.

Toujours, à Madagascar, sept personnes sur dix sont considérées comme pauvres. Le taux d'accès à l'eau potable est l'un des indicateurs ou indices de pauvreté humaine qui permet de rendre compte du développement d'un pays. Dans le cadre de la politique générale de l'Etat actuel, notamment en matière de sécurisation humaine et sociale, le Gouvernement Malgache s'est engagé à assurer l'accès de toute la population à l'eau potable. Comme objectif, en 2012, le taux de desserte à atteindre est de 65% s'il est estimé à 31% en 2005 (Défi n°8 du Madagascar Action Plan). Pour atteindre cet objectif, il faut recourir aux ressources en eaux souterraines.

Actuellement, plusieurs villages utilisent des puits traditionnels pour s'approvisionner en eau. Généralement, l'étude des eaux souterraines de haute terre affirme que la qualité de l'eau atteinte la limite acceptable de la potabilité. Pendant la saison sèche, le débit diminue et devient insuffisant par rapport aux besoins de la population jusqu'à l'arrivée de la première pluie. Par conséquent, la population recourt aux multiples ruisseaux issus des sources souterraines à proximité des bas fonds ou des plaines.

Sur la base des résultats des études socio-économiques et suivant les souhaits manifestés par les bénéficiaires, l'objectif de la présente étude est basé sur l'estimation de la potentialité en eaux souterraines dans trois Fokontany de la commune rurale d'Imerintsiatosika, district d'Arivonimamo, Région Itasy de l'ex-province autonome d'Antananarivo. Ceci afin de prévoir le système d'approvisionnement en eau d'une façon durable.

Les techniques modernes de prospection géophysique, en particulier, les méthodes électriques, telles que le sondage électrique et l'imagerie électrique sont les plus efficaces et les plus appropriées pour l'évaluation des nappes d'eaux souterraines, et nous les prenons comme objet de cette étude.

Le présent mémoire porte sur l'étude de la potentialité en eau souterraine comporte quatre parties :

- la première partie concerne la présentation de la zone d'étude
- la deuxième partie consacre l'évaluation de besoin en eau
- la troisième partie explique la généralité des différents paramètres hydrodynamiques et la technique de localisation de ressources en eau en utilisant la mode de prospection électrique
- la dernière partie est essentiellement réservée à l'étude pratique de la potentialité d'eau souterraine de ces trois quartiers par l'intermédiaire de l'interprétation des résultats géophysiques réalisées sur terrain.

PARTIE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

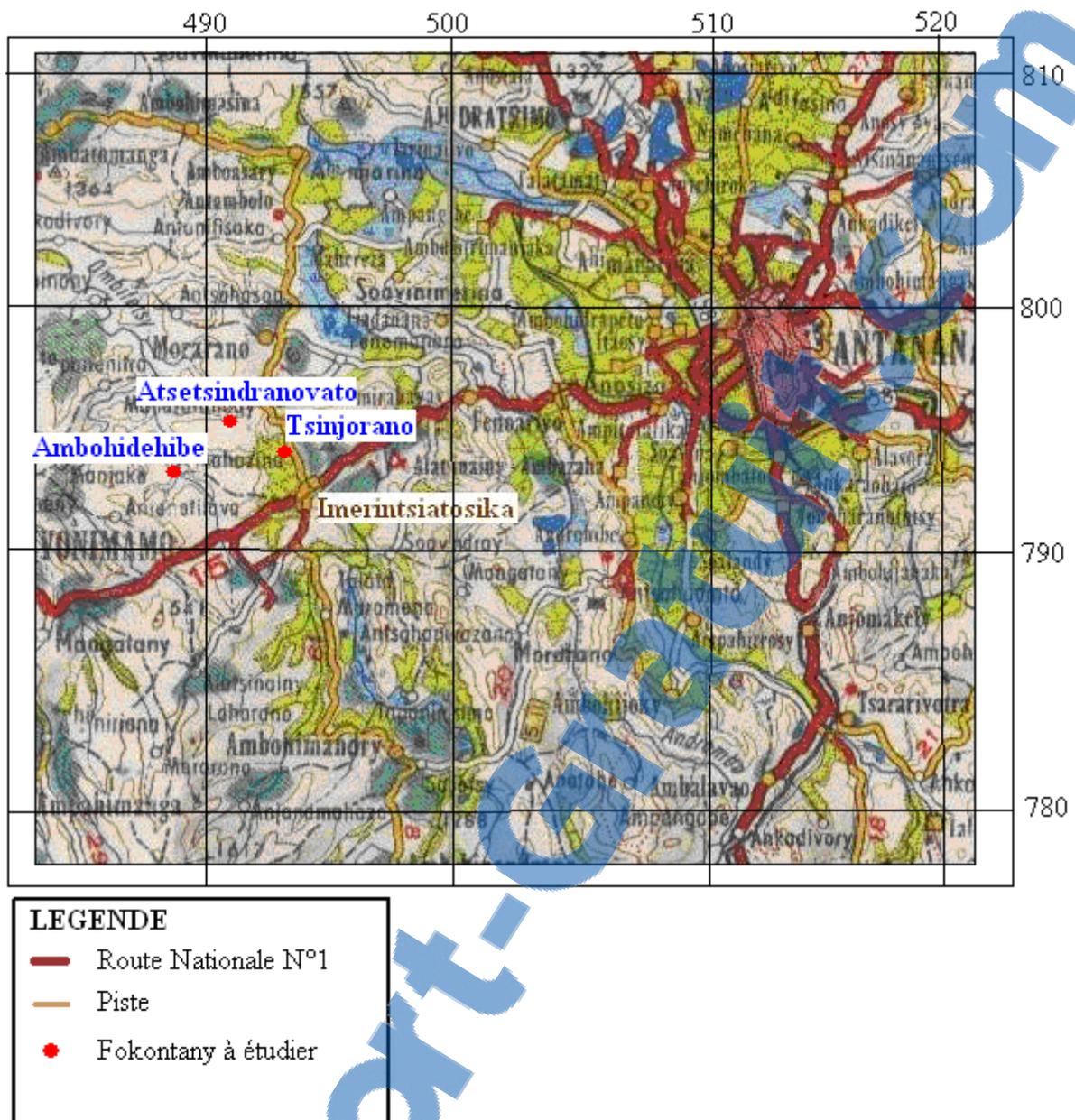
Dans cette partie, nous allons en train de dire la géographie physique (cadre géographique et topographique, climat et pluviométrie), ainsi que la géologie, l'hydrologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude.

I-1 Localisation géographique

La zone d'étude se trouve à la Commune Rurale d'Imeritsiatosika, district d'Arivonimamo, région de l'Itasy dans l'ex-province autonome d'Antananarivo.

Elle est située au PK 29 de la Route Nationale N°1, à l'Ouest d'Antananarivo. Elle est entourée de 4 communes dont Morarano au Nord, Ambohimandry au Sud, Ambatomirahavavy à l'Est et Arivonimamo II à l'Ouest.

La commune rurale d'Imeritsiatosika couvre une superficie de 173km². Elle comporte trente six Fokontany, mais notre étude ne concerne que trois Fokontany : Antsetsindranovato, Ambohidehibe et Tsinjorano. Ils sont localisés géographiquement à la latitude S18°58', à la longitude E47°58' et à une altitude de l'ordre de 1300m.



Extrait de la carte topographique FTM

Figure I-1: Carte de localisation d'Imerintsiatosika

I-2 Contexte géologique

I-2-1 Géologie régionale

La zone correspond à une zone gneissique, rattachée dans le cadre de la stratigraphie malgache au Bloc d'Antananarivo. Les séries gneissiques du vieux socle ont été largement migmatisées et granitisées lors du cycle majeur de 550MA et elles sont partiellement recouvertes par les coulées volcaniques récentes de l'Ankaratra. Les formations alluviales et les carapaces ferrugineuses sont peu étendues.

Les roches de granitisation sont les granites migmatitiques et les migmatites granitoïdes qui dominent la majeure partie de la zone. Ainsi, les migmatites occupent quelques places au Nord et au Sud de la carte. Et les gneiss sont répartis à l'Est de la région. Les coulées d'Ankaratra occupent la partie centrale et un peu au Sud-Ouest. Le long de toutes les vallées s'observent de petites zones alluviales aménagées en rizières.

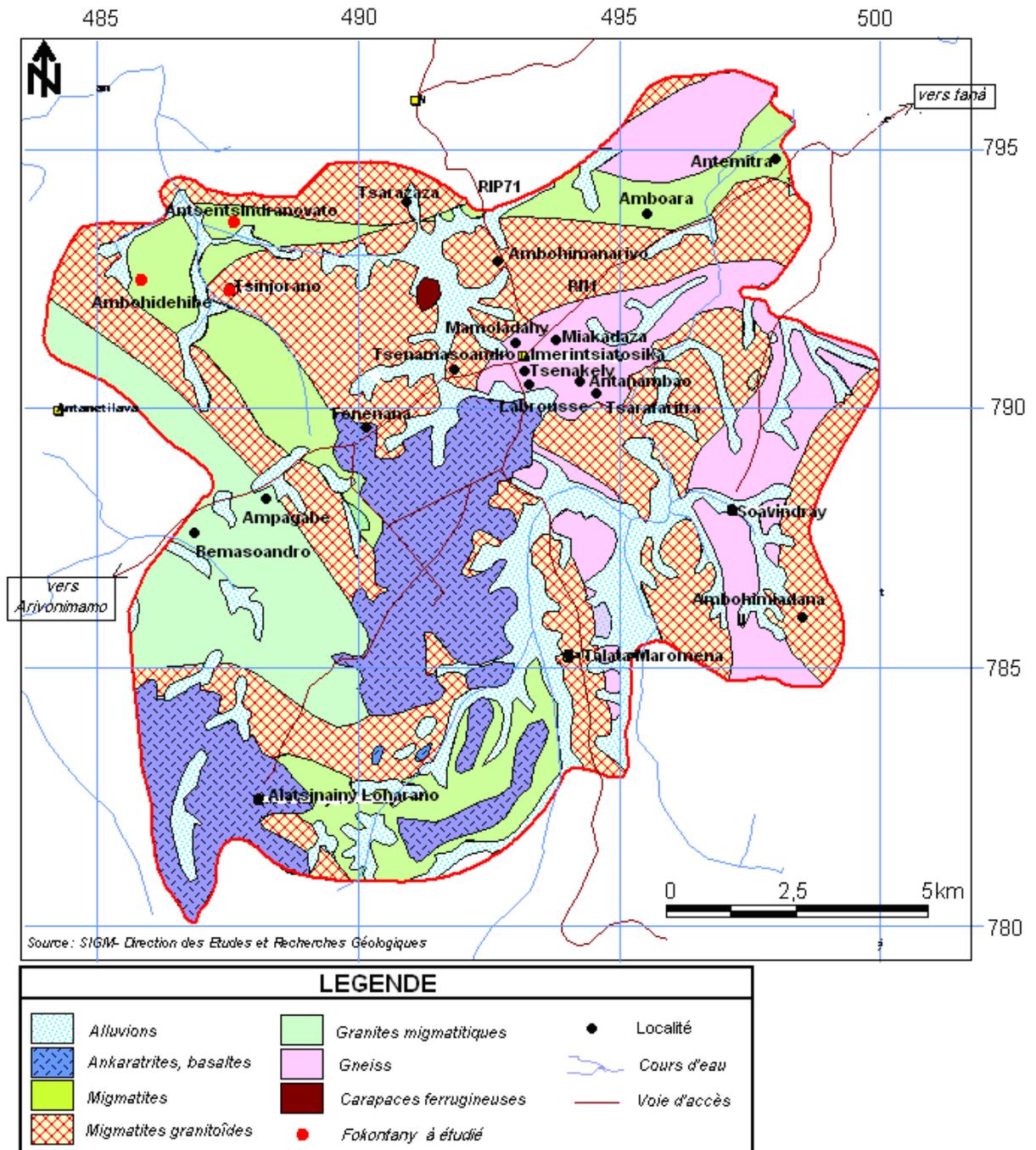


Figure I-2: Carte géologique régionale de la zone d'étude

I-2-2 Cadre tectonique et structurale

La zone montre une tectonique de plissement extrêmement complexe. Il semble qu'il y ait eu deux cycles orogéniques successifs avec des directions des poussées différentes. Les structures primitives, correspondant au premier cycle, devraient être de direction subméridienne. Un plissement ultérieur a repris localement cet ensemble de tectonique relativement simple et a donné naissance à toute une série de petits plis déversés de direction Est-Ouest. Cette interpénétration de cycles tectoniques a fourni un ensemble extrêmement bouleversé. Tous les plis sont, d'une façon très générale, fortement déversés vers l'Est ou vers le Sud.

I-3 Climat de la région

La zone d'étude fait partie du régime climatique tropicale d'altitude supérieure à 900m. L'année comporte deux saisons bien individualisées:

- une saison chaude et humide de Novembre à Avril
- une autre fraîche et sèche de Mai à Octobre.

La station météorologique d'Imeritsiatosika est la plus proche de la zone d'étude, elle est localisée géographiquement à la latitude S 19°58', à la longitude E 47°18', et à une altitude moyenne de 1340m. Seule la valeur des précipitations est enregistrée dans ce station entre l'année 1951 et 1978, elle est actuellement non fonctionnelle.

Précipitation

La précipitation annuelle varie entre 800mm et 1000mm pendant la saison pluvieuse. Une saison sèche bien marquée du mois de Mai au mois d'Octobre où la hauteur moyenne des pluies se situe à 40mm par mois.

Les pluies maximales journalières se produisent, notamment, sous forme d'orages ou de pluies dépressionnaires. Les dépressions et cyclones tropicaux se passant entre janvier et avril, provoquent des inondations au niveau des zones basses.

Tableau I-1 : Valeurs mensuelles des précipitations pendant 27 an (1951-1978)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
Précipitation (mm)	261.6	250.5	227.5	74.2	19.3	7.2	12.2	12.3	14.1	41.5	149.4	297.1

(Source : Service Météorologique Ampandrianomby)

Température

La température moyenne varie de 7°C (au mois d'Août) à 27°C (au mois de Janvier). Les zones de basses pressions intertropicales et la cellule océanique de hautes pressions jouent un rôle important dans l'alternance saison chaude - saison fraîche et vents dominants moussons - alizés.

Evapotranspiration

L'ETP calculée selon Thornthwaite est de l'ordre de 800mm (Cf. Fleuve et rivière de Madagascar). Les conditions climatiques sont favorables à la recharge des nappes aquifères par des infiltrations efficaces en période de crue.

Le bilan hydrique générale affirme que l'eau souterraine draine les rivières pendant la saison sèche, mois d'octobre, et inversement, les rivières alimentent le système aquifère pendant la période de pluie, mois de Janvier.

I-4 Contexte hydrologique et hydrogéologique

La rivière de Katsaoka est la seule rivière qui traverse Imerintsiatosika. Elle prend sa source au nord du District d'Arivonimamo, et traverse plusieurs communes en allant vers le Sud. A ce niveau là, elle se subdivise en deux réseaux, et irrigue les rizières situées tout au long de leurs passages. Un ruisseau traverse les trois Fokontany, les sources se trouvent au Sud et déversent au Nord. Des l'entrée des villages, on peut apercevoir l'aménagement hydro agricole entrepris par la population locale afin d'assurer l'irrigation des rizières.

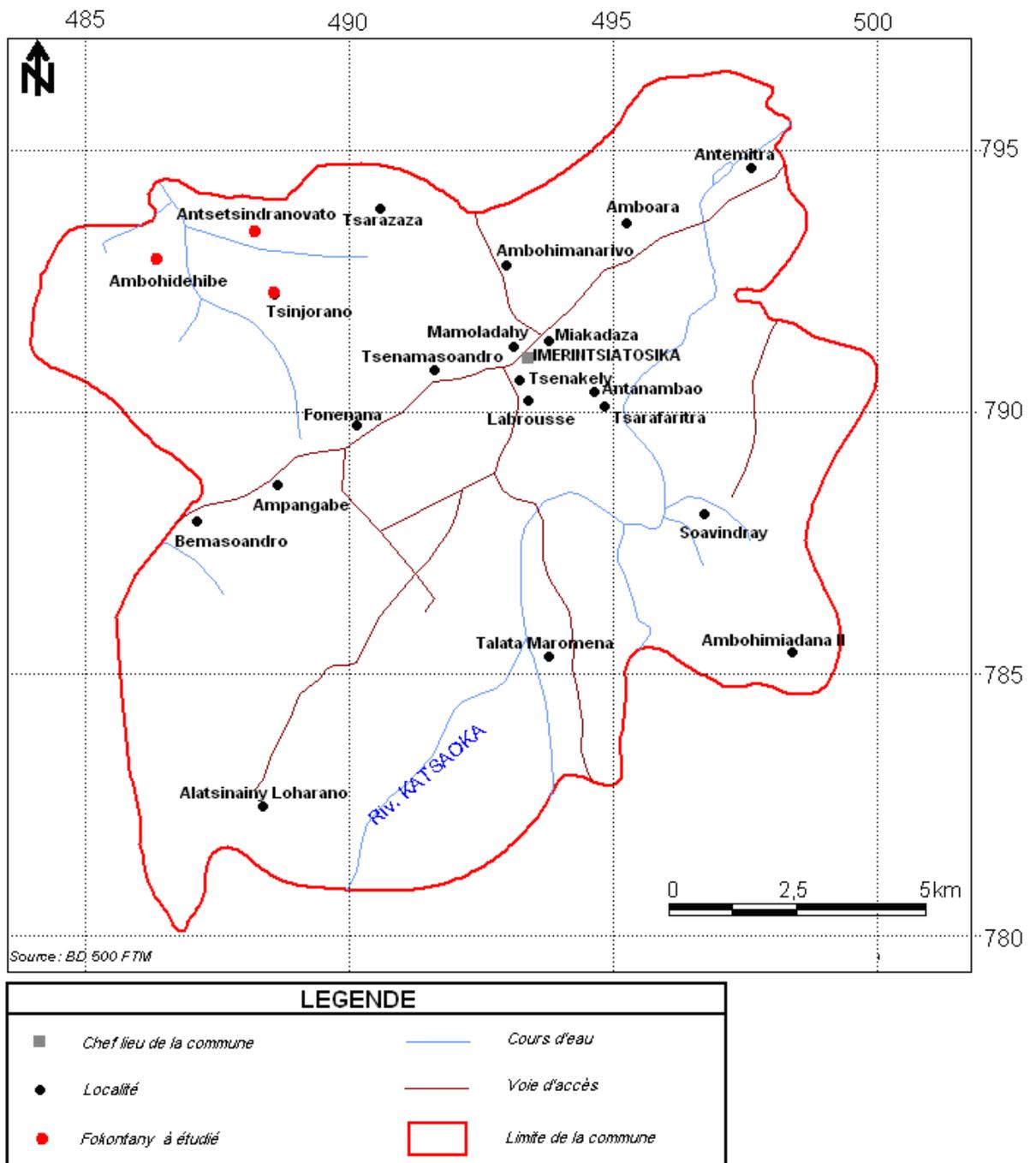


Figure I-3: Réseau hydrographique d'Imerintsiatosika

La géologie de la région ainsi que l'observation faite sur terrain pendant la campagne de reconnaissance de la zone d'étude nous amène à dire qu'il existe deux types de nappe :

- nappe d'altération et/ou de fracture qui donne des nombreuses sources d'eaux identifiées sur le lieu
- nappe d'alluvion, exploitée par des puits traditionnels, pour satisfaire le besoin d'irrigation et l'alimentation en eau potable dans des nombreux villages.

I-5 Conclusion

La valeur de l'ETP est inférieure à celui de la précipitation annuelle, ce qui implique que la région dispose un bilan hydrique positif. Les situations hydrologiques, géologiques et hydrogéologiques de la région sont favorables aux ressources en eaux souterraines. On peut conclure alors que les ressources en eaux existent bien, mais en tenir compte le nombre de la population actuel et dans les 15 années à venir leur potentialité reste à déterminer si elle peut satisfaire ou non les besoins de la population .

PARTIE II

EVALUATION DES BESOINS EN EAU

L'utilité de l'analyse de contexte socio-économique lors d'une étude d'approvisionnement en eau potable (AEP) est indiscutable. La compilation de ces données aboutira à la quantification de volume d'eau nécessaire pour l'alimentation en eau d'un village.

Les données présentées dans cette partie comportent les résultats des documentations et les enquêtes effectuées lors d'une campagne de reconnaissance.

II-1 Contexte socio-économique

II-1-1 Milieu humain

II-1-1-1 Population actuelle

Imerintsiatosika compte environ 45442 habitants en 2005, d'après les données recueillies auprès de la mairie de la commune. La densité humaine est de 414 habitants par km². La population d'Imerintsiatosika est composée de plusieurs ethnies. Les Merina et les Betsileo sont majoritaires et les Tsimihety et les Betsimisaraka forment une faible proportion de la population.

Il nous fallait collecter plusieurs données pour estimer le nombre exact de la population actuelle. Cependant, les données recueillies auprès de la commune et des trois fokontany (Antsetsindranovato, Ambohidehibe et Tsinjorano) qui constituent la zone d'étude, nous ont permis de faire un bilan exhaustif de la population dans ces trois Fokontany.

La population actuelle (au mois d'Aout 2007) de ces trois Fokontany est estimée à 1620. Celle-ci est obtenue en considérant le taux de croissance démographique annuel de 4%, résultat obtenu au niveau de la commune d'Imerintsiatosika dans les trois dernières années et en se basant au recensement fait sur les trois Fokontany.

Le tableau ci-après montre l'évolution de la population de ces trois Fokontany de 2005 en 2007.

Tableau II-1 : Nombre d'habitants

Fokontany	Nombre d'habitant 2005	Nombre d'habitant 2007
Antsetsindranovato	412	487
Ambohidehibe	621	714
Tsinjorano	374	419
Total	1407	1620

(Source : fiche monographique de la commune 2007)

II-1-1-2 Flux migratoire

On observe deux sortes de migration à l'intérieur de la commune :

- les mouvements migratoires internes constitués par les déplacements des élèves des écoles primaires des Fokontany pour rejoindre les collèges ou lycée (enseignement secondaire) de la commune.
- les mouvements migratoires des travailleurs saisonniers ou permanents, des marchands ambulants et des travailleurs dans les petits métiers, ainsi que la migration qui s'apparente à un exode rural, résultant de l'insécurité physique de certaines zones.

Imerintsiatosika attire aussi les touristes pour son site touristique d'Antongona et le carting d'Imerintsiatosika. On peut conclure que le flux migratoire reste saisonnier et très équilibré.

II-1-1-3 Evolution de la population

En considérant que le solde migratoire reste négligeable devant l'augmentation du nombre des habitants provenant de la simple croissance naturelle, la population évoluera au même rythme qu'actuellement jusqu'en 2022.

Le calcul statistique de l'évolution quantitative de la population se fait avec la formule :

$$N=N_0 (1+Y)^n$$

- N** : nombre de population à venir
N₀ : nombre de population de l'année de base
Y : taux d'accroissement annuel de la population

n : nombre d'année compté à partir de base considéré

Le taux de croissance moyen annuel étant de 4% entre 2005 et 2007. Compte tenu de ces raisons évoquées, le tableau suivant donne l'évolution de la population entre 2007 et 2022 dans les trois fokontany, objet de notre étude.

Tableau II-2 : Evolution de nombre de population dans le 15ans à venir

Fokontany	2007	2012	2017	2022
Antsetsindranovato	487	593	721	887
Ambohidehibe	714	870	1057	1286
Tsinjorano	419	510	620	756
Total	1620	1973	2398	2929

(Source : fiche monographique de la commune 2007)

II-1-2 Secteur éducation

Le Fokontany d'Atsetsindranovato possède une Ecole Primaire Public et un établissement privé, et dans le Fokontany d'Ambohidehibe, existe deux écoles privées.

Le Fokontany de tsinjorano ne possède ni d'établissement public et ni d'établissement privé. Les enfants doivent aller dans les deux autres fokontany pour étudier.

Le nombre important des écoles placées sous la responsabilité d'un seul enseignant ne peut qu'affecter la qualité de l'enseignement surtout lorsque l'instituteur est obligé de dispenser, généralement dans la même salle, des cours à des élèves de différentes sections.

II-1-3 Autres activités

Grâce à sa position géographique, ses richesses naturelles et ses conditions socio-économiques, Imerintsiatosika présente des potentialités économiques énormes qui reposent principalement sur l'agriculture, l'élevage, la pêche, l'artisanat, le tourisme et le commerce.

Imeritsiatosika est une région volcanique où la terre est fertile et sa potentialité en agriculture est considérable. En plus, la majorité de la population vit du secteur primaire, des cultures vivrières comme le riz et le manioc. Elle est aussi connue pour ses variétés de fruits comme les ananas, les avocats, les papayes ...

Imerintsiatosika possède de vastes pâturages qui favorisent le développement de l'élevage bovin. Et grâce aux différents produits agricoles, l'élevage porcin et avicole est facilité.

En générale, le petit ruisseau traversant les trois Fokontany satisfait les besoins en eau pour ces activités. Par contre le besoin en eau potable peut nécessiter l'exploitation d'eau souterraine.

II-2 Evaluation des besoins en eau

Suivant les résultats de l'enquête socio-économique et les normes de consommation en eau, en raison de 30 litres/jours/habitants, 2litres/jours/étudiants, la demande en eau pour les trois Fokontany est estimée au moins à 70m³/jours en 2022.

Le tableau ci-dessous donne l'évolution de la demande en eau sur les différents horizons.

Tableau II-3 : Evolution de la demande en eau

Année	2007	2012	2017	2022
Nombre de population	1264	1539	1872	2278
Consommation (litres/jours)	37920	46170	56160	68340
Nombre des écoliers	356	417	488	594
Consommation (litres/jours)	712	834	976	1188
Total (litres/jours)	38632	47004	57136	69528

II-3 Conclusion

L'évaluation de la demande en eau pour l'AEP de ces trois Fokontany a été faite à partir des enquêtes et des recensements sur les lieux. L'application de la formule de l'évolution du nombre de la population nous permet de faire une projection de leur besoin en eau potable dans les 15 années à venir. Ce besoin est estimé à 70m³/jours.

PARTIE III

PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES ET METHODE DE PROSPECTION ELECTRIQUE

L'étude de la potentialité des eaux souterraine est axée, en général, sur la connaissance des paramètres hydrodynamiques de terrain étudié et la géométrie de l'aquifère. Dans cette partie, nous présentons quelques définitions utilisées en hydrodynamique et la méthode de prospection électrique.

III-1 Paramètres hydrodynamiques

En hydrogéologie, on identifie 2 types différents de réservoir : le réservoir en milieu 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 aquifères est généralement sous pression et on utilise le coefficient d'emménagement pour caractériser le volume d'eau gravitaire.

Ainsi, les paramètres utilisés sont en fonction du milieu étudié, mais généralement, on distingue, la porosité, la perméabilité et le coefficient d'emménagement.

- **La porosité**

La porosité caractérise l'aptitude d'un sous-sol à contenir un fluide. Si un volume V de terrain contient V_v comme volume du vide et V_s volume de solide ($V = V_v + V_s$), la porosité noté n est le rapport du volume du vide et le volume total.

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

La porosité est exprimée en %

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

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

Avec la relation :

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

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

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

On utilise parfois la teneur en eau volumique (t) :

$$t = \frac{\text{Volume d'eau contenu dans les vides du matériau}}{\text{Volume total du matériau}}$$

• La perméabilité

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

Ce paragraphe explique la 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 la masse volumique du fluide et g le champ de pesanteur.

En générale, 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 nous intéressons 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 la relation :

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

S : section du massif sableux

K : coefficient qui dépend du fluide et du terrain, coefficient de perméabilité

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.

• Le coefficient d'emménagement

La définition du coefficient d'emménagement se rapporte principalement aux aquifères à nappe captive dont la limite supérieure est constituée par une formation imperméable. L'aquifère à nappe captive contient une eau sous pression et il est ainsi en condition d'artésienne. Si l'on découpe l'aquifère en prismes verticaux de surface de base de 1m^2 , on appelle coefficient d'emménagement S le rapport de la quantité d'eau libérée par le prisme sous l'effet d'une baisse de pression de 1 unité au total du prisme. On peut définir ainsi en représentation bidimensionnelle la quantité d'eau unitaire (par unité de surface) stockée dans l'aquifère. On utilise également la notion de coefficient d'emménagement 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%.

III-2 Méthode de prospection électrique

Nous développons dans cette partie la technique de prospection des eaux souterraines, en particulier, la prospection géophysique. L'analyse de la situation hydrogéologique nous a permis de définir le mode de prospection géophysique adapté à l'étude de ce genre. La méthode géophysique se distingue de plusieurs types pour la prospection du sous sol dont l'une de ces méthodes plus intéressante et également plus adoptée sur les terrains à cause des résultats obtenus fiables et en plus détaillés ce que nous avons choisi est la prospection électrique. Il existe une simple relation entre la conductivité électrique de l'eau et la résistivité

de sous-sol. Il existe plusieurs modes de prospection électrique : le sondage électrique, le panneau électrique, ...

III-2-1 Sondage électrique

III-2-1-1. Principe de mesure

Un sondage électrique est constitué par une suite de mesure de résistivités apparentes effectuées sur des lignes progressivement croissantes, le centre et la direction du dispositif restant fixes. La variation des résistivités apparentes obtenues est essentiellement due à la pénétration croissante du courant.

En effet, la méthode consiste à injecter grâce à deux électrodes A et B d'un quadripôle aligné AMNB un courant électrique dans le sol avec une intensité connue. On obtient une différence de potentiel induite mesurée entre les deux autres électrodes M et N. On fait varier la longueur AB en laissant le point O, centre de AB et de MN fixe. Au fur et à mesure que l'on éloigne les électrodes d'injection, la tranche du sous sol concernée est de plus en plus importante. La profondeur d'investigation ou la profondeur limite que peut atteindre les lignes de courant dépend dans une certaine mesure de la distance AB. Cette méthode est applicable en terrain tabulaire, lorsqu'il existe des contrastes de résistivité entre les couches de terrain.

III-2-1-2 Dispositif

En principe, tous les dispositifs classiques, Wenner, Schlumberger, dipôle-dipôle, etc... peuvent être utilisés pour exécuter des sondages électriques. Dans la pratique, on utilise le plus souvent le dispositif Schlumberger car c'est le dispositif le plus adapté et le plus facile à utiliser pour trouver le nombre de terrains.

Le dispositif Schlumberger est représenté par la figure suivante :

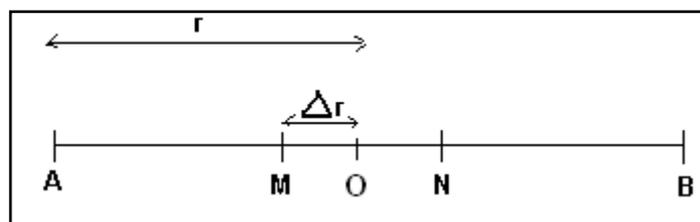


Figure III-1 : Dispositif Schlumberger

Le facteur géométrique K s'écrit

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$$

$$= \frac{2\pi}{2\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN}\right)}$$

$AM = r - \Delta r$ et $AN = r + \Delta r$

avec la condition $\Delta r \ll r$

on a alors

$$K = \frac{\pi r^2}{2 \Delta r}$$

soit $\rho = \frac{\pi r^2}{2 \Delta r} \frac{\Delta V}{I}$

Avec ρ : résistivité ($\Omega.m$)

ΔV : différence de potentiel mesurée entre les deux points M et N (Volt)

I : intensité du courant injecté (Ampère)

Si AB est grand, I arrive à une valeur limite de l'appareil (de l'ordre de mV) alors pour augmenter I, il faut augmenter MN.

III-2-1-3 Représentation des résultats

Les résultats d'un sondage électrique sont représentés sous forme d'un diagramme bi logarithmique de type $\rho_a = f(AB/2)$ où l'on porte en abscisse la demi longueur de AB pour le dispositif Schlumberger, et en ordonnée la valeur de la résistivité apparente correspondante. La courbe obtenue est appelée «courbe de sondage électrique» ou «courbe expérimentale».

L'interprétation d'une courbe de sondage électrique à modèle une dimension (1D) est valable particulièrement pour un terrain stratifié ou constitué des couches homogènes, planes et horizontales, appelé encore modèle tabulaire. Ce mode à 1D permet de déterminer les différentes successions du terrain prospecté.

Cette interprétation impose l'utilisation des abaques puis affinage par ordinateur. En effet, le traitement de courbe expérimentale par abaques donne tout d'abord un modèle tabulaire approximatif et son affinage par ordinateur à l'aide d'un programme, par exemple QWSEL du

CRG de Garchy (CNRS ; France), fournit après plusieurs itérations un modèle définitif des résistivités et des épaisseurs des différentes couches.

En général, la profondeur d'investigation est comprise entre $AB/4$ et $AB/10$ ($AB/4$ pour les milieux résistants et $AB/10$ pour les milieux conducteurs).

III-2-2 Panneau électrique

III-2-2-1 Principe de mesure

Le panneau électrique permet de réaliser une investigation verticale et latérale du sous-sol. Autrement dit, il permet à une investigation à deux dimensions (2D) du sous-sol. Il s'agit en fait d'une série serrée des sondages électriques obtenus par permutation d'un grand nombre d'électrodes. Cette méthode consiste à mesurer, à la verticale d'une série d'électrodes MN, la résistivité apparente ρ_a pour différentes positions d'une électrode d'injection (AB). Elle permet de faire la description et la localisation des discontinuités du sous-sol, à partir de la distribution des résistivités apparentes.

Le modèle géoélectrique est obtenue en inversant automatiquement les données expérimentales en modèle 2-D, grâce au programme Res2dinv de M.H Loke.

III-2-2-2 Dispositif

Le dispositif de Wenner est un dispositif classique, utilisant N électrodes, que l'on adopte pour la réalisation du panneau électrique. Chaque électrode est utilisée comme électrode d'injection du courant puis électrode de potentiel.

Soit « n.a » la distance inter électrode où n est le nombre de la séquence de mesure 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 égale à 1.a. la première série de mesure débute d'abord avec les électrodes 1,2,3 et 4 dont 1 et 4 sont utilisées comme électrodes de courant et 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. On peut aussi optimiser la séquence des mesures pour que les électrodes utilisées au temps t comme électrodes de courant ne soient pas utilisées au temps t+1 comme électrodes de potentiel : suite à la mesure entre A1 et B1 aux points 1 et 4 , on place A2 et B2 en 4 et 7, puis A3 et B3 en 7 et 10 etc.... après la fin de la ligne d'électrodes, on place A1 et B1 aux points 2 et 5, A2 et B2 aux points 5 et 8 etc. ...

Après, nous passons à la seconde séquence de mesure dont la distance inter-électrodes s'incrémente à $2a$. On effectue les autres séries de mesures. L'opération continue jusqu'à ce que toutes les mesures possibles soient effectuées.

La figure suivante montre la configuration des électrodes pour le panneau électrique du type Wenner.

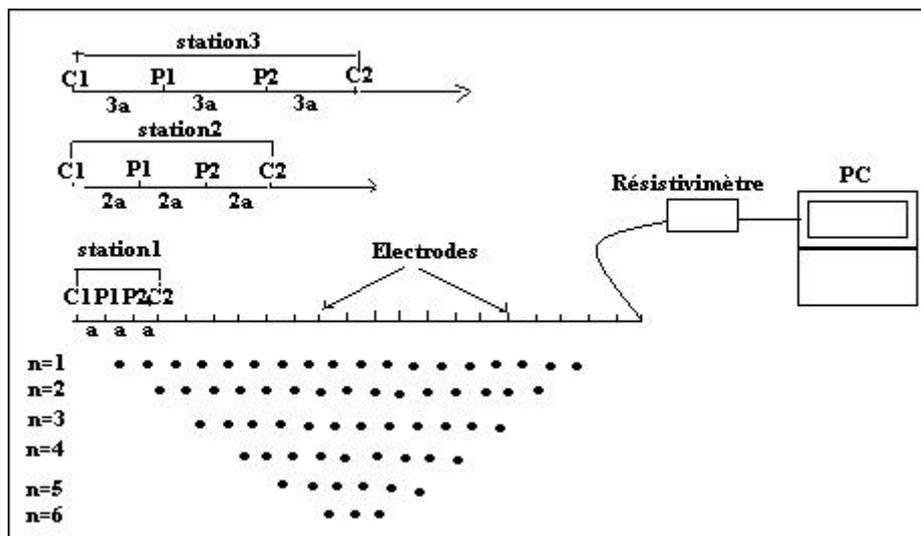


Figure III-2 : Configuration des électrodes pour le panneau électrique du type Wenner

III.2.2 3 Représentation des résultats :

Le panneau électrique permet d'obtenir un document à 2D représentant un modèle à 2D ou la distribution de la résistivité se fait suivant deux directions :

- Une direction horizontale
- Une direction verticale

On utilise le programme Res2sinv développé par H.Loke pour inverser automatiquement les données expérimentales en modèles 2D. La méthode d'inversion utilisée par le programme est basée sur la méthode de moindre carré, utilisant la méthode de différence finie pour le calcul de la résistivité.

En tenant compte des points expérimentaux, ce programme subdivise le modèle géo électrique en des blocs rectangulaires. Ce modèle fournit la résistivité vraie de chaque bloc par la méthode de moindre carré utilisant la méthode de différence finie.

Après traitement, le résultat ou le modèle finalement retenu est représenté sous forme de coupe géo électrique 2D.

Le document servant à l'interprétation des résultats est donc le document obtenu après inversion. Ce document sera confronté au contexte géomorphologique, géologique et hydrogéologique des terrains considérés.

III-2-3 Méthode de la polarisation provoquée

La polarisation provoquée appliquée pour la première fois, à l'exploration géophysique, est un phénomène extrêmement complexe pouvant être comparé de manière très grossière, à la variation de l'impédance d'un circuit constitué d'une résistance et d'un condensateur en parallèle en fonction des fréquences du courant.

Les mesures de la polarisation provoquée s'effectuent à l'aide des appareillages utilisant un courant électrique en forme des créneaux bipolaires par des interruptions d'injection. Ainsi, utilisant un dispositif classique ABMN, on envoie dans le sous 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 ».

III-2-3-1 Origine de la polarisation provoquée

Durant le passage du courant, il se produit un certain stockage d'énergie provenant soit des variations de mobilité dans les fluides à travers les roches, soit des variations de conductibilité ionique et métallique en présence de minéraux métalliques.

Dans le cas de milieu métallique, on parlera « **polarisation de membrane** » ou polarisation électrolytique. Ce type de polarisation existe lorsque des matériaux métalliques sont présents dans la roche et que le courant a une origine en partie électronique et en partie électrolytique. Une réaction chimique a lieu à l'interface entre le minérale et la solution.

En l'absence de minéraux métallique, on parlera « **polarisation d'électrode** » ou surtension. Cette polarisation est liée à la conduction électrolyte, seule forme de conduction de ce milieu non métallique. Cette conduction est liée à la porosité des roches. Ce phénomène est plus important en présence de particules argileuses, pour lesquelles la taille des pores est particulièrement petite.

III-2-3-2 Mesure de la polarisation provoquée dans le domaine temporel

- Polarisation

$$P = \frac{\Delta V_t}{V_0}$$

Dans ce cas, on étudie la décroissance de la tension entre les électrodes de mesure après une coupure du courant injecté et on calcule la polarisabilité en un instant t.

C'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 le sous sol, en pratique.

ΔV_t : Potentiel mesuré à l'instant t

V_0 : Potentiel juste avant l'interruption du courant.

- Chargeabilité

$$M = \frac{1}{V_0} \int \Delta V_t dt$$

La chargeabilité est exprimée par l'intégrale du temps décroissance, correspondant à l'aire située sous la courbe entre deux temps t1 et t2 après coupure (voir partie hachurée sur la figure).

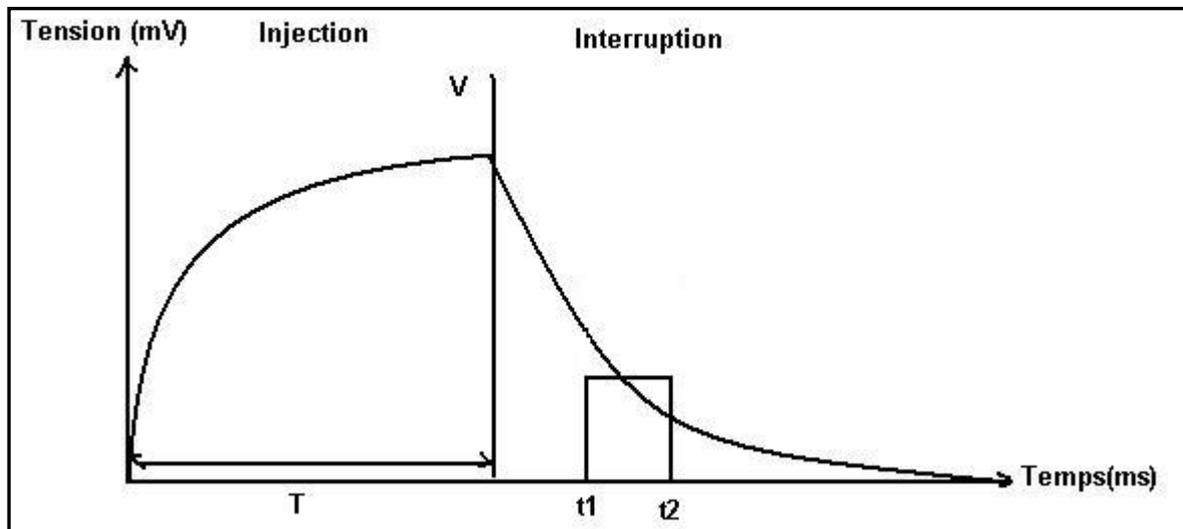


Figure III-3 : chargeabilité (Parasnic,1986)

III-2-3-3 Polarisation provoquée appliquée aux problèmes hydrogéologie

Cette méthode peut être utilisée parallèlement à la méthode des résistivités pour certaines investigations hydrogéologiques. Dans ce cas, on mesure, en plus de résistivité apparente, la chargeabilité ou polarisabilité du sous sol.

Les anomalies de la polarisation provoquée et de résistivité se présentent en même temps. En général, à une forte anomalie de polarisation provoquée est associée une anomalie de résistivité.

III-3 Matériel de prospection électrique

Lors des travaux de terrain, on a mobilisé :

- Un résistivimètre SYSCAL R2 équipé de système multi-électrodes
- Les fournitures du matériel annexe: des câbles, des électrodes et des outillages spécialisés divers.

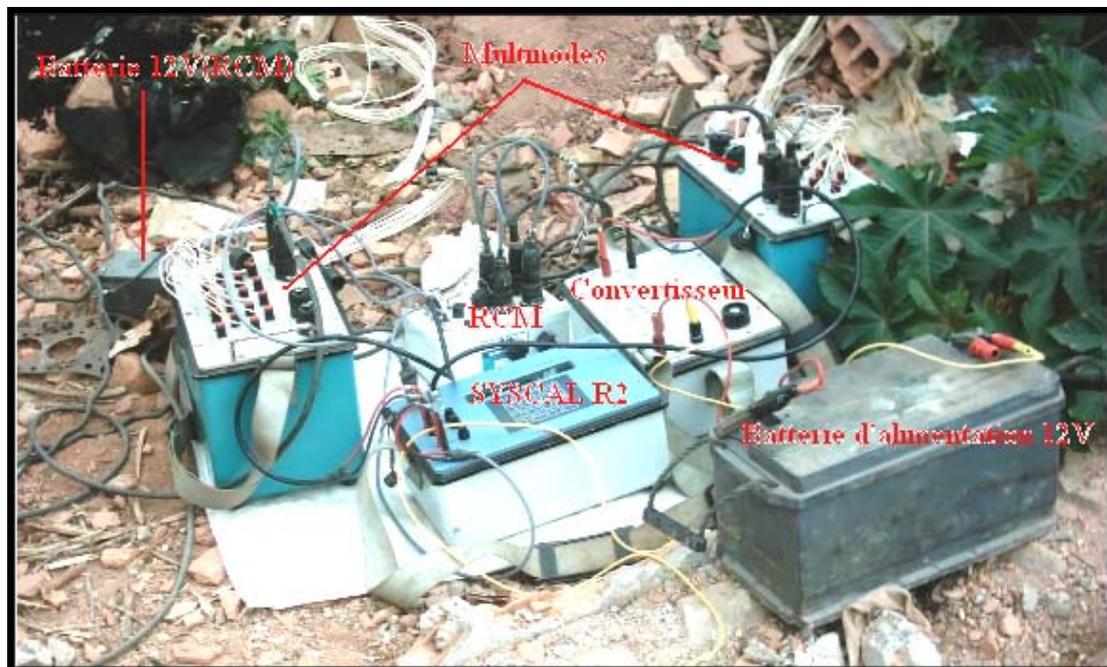


Figure III-4 : Les équipements SYSCAL R2 complets

PARTIE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

On fera une application directe des méthodes détaillées précédemment pour déterminer les points d'eau susceptibles de produire le débit pouvant satisfaire le besoin en eau de trois Fokontany. Nous avons étalé des sondages et des panneaux électriques pour chaque Fokontany afin de localiser la nappe aquifère et d'estimer sa puissance. Le sondage a pour but de déterminer la profondeur de la cible et le panneau électrique définit leur étendue. Avant de faire l'analyse des résultats obtenus pour les trois Fokontany, détaillons un peu le mode de calcul classique pour estimer la réserve d'eau souterraine disponible suivant une coupe géoélectrique (panneau électrique).

IV-1 Méthode d'estimation de réserve

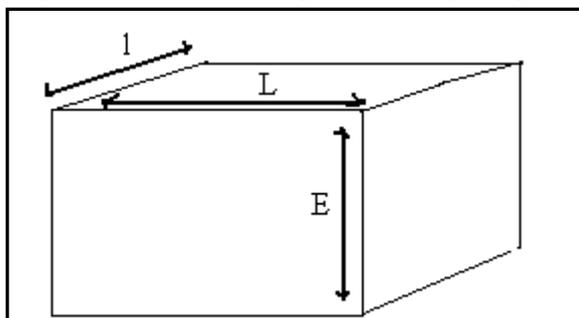
La coupe géoélectrique obtenue après les mesures permet d'estimer le volume d'aquifère mais non le volume d'eau. Cependant, on pourrait avoir le volume d'eau à partir de ce dernier mais il faudra tenir compte la porosité des roches et le coefficient d'emmagasinement.

Dans tout ce qui suit, on adoptera les méthodes de calcul suivantes :

- *Volume d'aquifère et d'eau*

Le volume d'aquifère moyen est évalué selon les paramètres suivants : longueur L , largeur l et épaisseur E de la nappe aquifère, donnés par l'interprétation des coupes géoélectriques de résistivité et de chargéabilité.

On fait correspondre les deux coupes à une figure géométrique comme suit :



$$V_{\text{aq moyen}} = L * l * E$$

Figure IV-1 : Estimation de réserve

On peut déduire le volume d'eau minimal

$$V_{\text{eau min}} = V_{\text{aq moyen}} * S$$

Avec **S** : coefficient d'emmagasinement

- *Calcul du besoin en eau de la population*

Pour savoir si la quantité $V_{\text{eau min}}$ est suffisante ou pas pour la population, ainsi que pour estimer sa durabilité, il faut déterminer d'abord le besoin en eau de la population.

Alors la formule du besoin annuel en eau en m^3 s'écrit :

$$B = 365 * C [N*(1+t)]^n$$

C : consommation journalière

N : nombre de la population actuelle

t : taux d'accroissement

n : nombre d'années avec lequel se fait la projection de la population

- *Estimation de la durabilité de la nappe*

L'estimation de la durabilité d'exploitation de la nappe se fait en établissant le bilan hydrique de la zone afin de calculer les recharges de la nappe. Or, certaines données telles que le ruissellement, l'infiltration et l'évaporation sont indisponibles pour établir ce bilan.

Par conséquent, seul le paramètre **B**, besoin annuel en eau, a été pris en compte pour cet essai de calcul :

$$D = V_{\text{eau min}} / B$$

IV-2 Cas du Fokontany d'Antsetsindranovato

Implantation des travaux géophysiques

Antsetsindranovato se trouve à 10km au nord ouest de la commune d'Imeritsiatosika. Il est localisé géographiquement à la latitude S $18^{\circ}57'$, à la longitude E $47^{\circ}16'$, le nombre d'habitants est de 1059 et ils utilisent quatre puits traditionnels pour satisfaire leur besoin en eau potable. Notre but est de quantifier la ressource en eau souterraine disponible.

L'emplacement des travaux géophysiques dans le village d'Antsetsindranovato est indiqué sur la figure suivante :

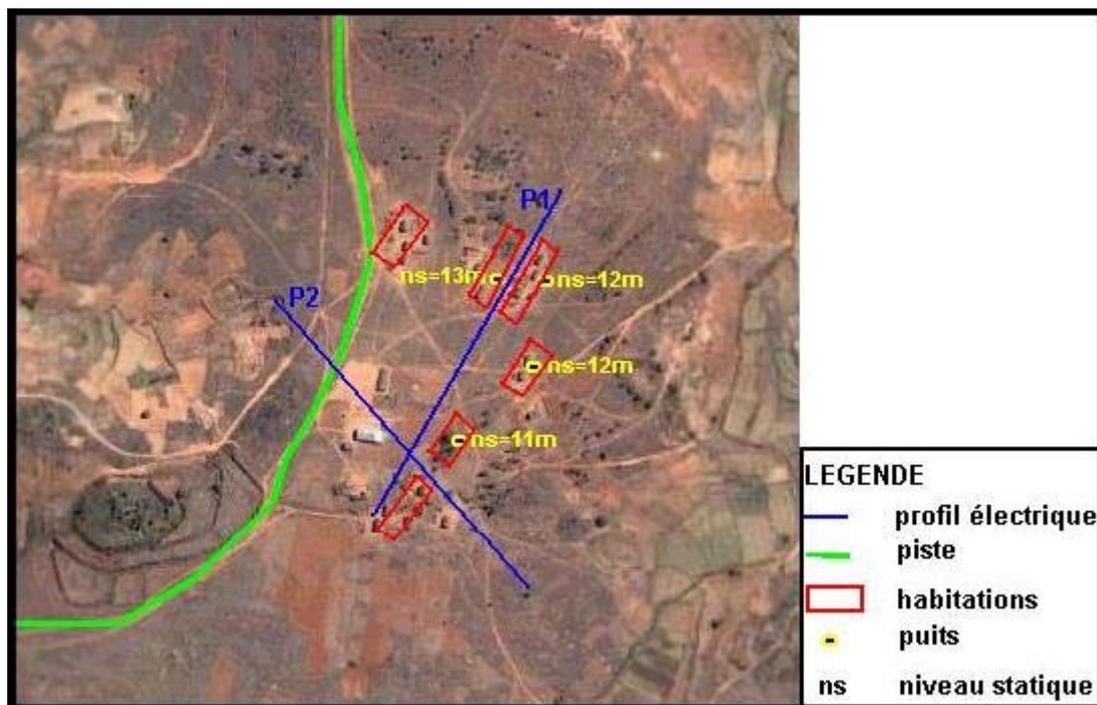


Figure IV-2 : Localisation des travaux géophysique d'Atsetsindranovato

Le village est entouré par des rizières, de l'ouest, sud et à l'est, mais aucune émergence n'a été identifiée sur le flan, c'est le petit ruisseau qui assure l'irrigation.

Un sondage électrique, et deux profils de panneau électrique ont été faits sur le lieu.

Sondage électrique

Le sondage électrique est tiré dans la direction nord sud avec un centre de mesure de latitude **18°57'34.9''** et de longitude **47°16'46.5''**. Il montre une présence des 4 couches différentes :

- une couche superficielle relativement résistante de résistivité $3450 \Omega m$ et d'épaisseur 1,2m liée à la formation latéritique sur lesquels le village est bâti.
- une couche moins résistante de résistivité $2080 \Omega m$ avec une puissance de 4.3m constitue encore une formation latéritique mais probablement plus humide, signalons que deux jours en avant, une forte pluie inonde le terrain.
- une couche très résistante $3240 \Omega m$ la succède avec une puissance de 7.3m qui constitue encore la formation latéritique.
- et enfin, une formation conductrice de résistivité $370 \Omega m$ termine la séquence, elle constitue la première nappe aquifère à chercher.



Figure IV-3 : Courbe du sondage électrique SE réalisé à Antsetsindranovato

Le sondage électrique nous montre que l'aquifère se trouve à 13m de profondeur, et elle a une valeur de résistivité de l'ordre de 370 Ω m, reste à savoir leur étendue latérale.

Panneau électrique P1

Le premier panneau est réalisé suivant la direction nord sud dans lequel leur centre passe au point du sondage électrique SE. La distance inter-électrodes est de 10m. Deux configuration ont été faites sur ce profil, le premier de type dipôle – dipôle a pour but de voir la continuité de la formation latérale (d'après notre enquête quelques puits rencontrent des roches en profondeur, mais à quelques mètres à côté on a de l'eau). Le second est de type Wenner, ceci a été fait dans le but de localisé le substratum résistant qui soutien la nappe. La figure suivante montre les résultats obtenus, après le traitement sur ordinateur, de haut en bas, les coupes géo-électriques de dispositif dipôle - dipôle, de dispositif Wenner et leur chargéabilité.

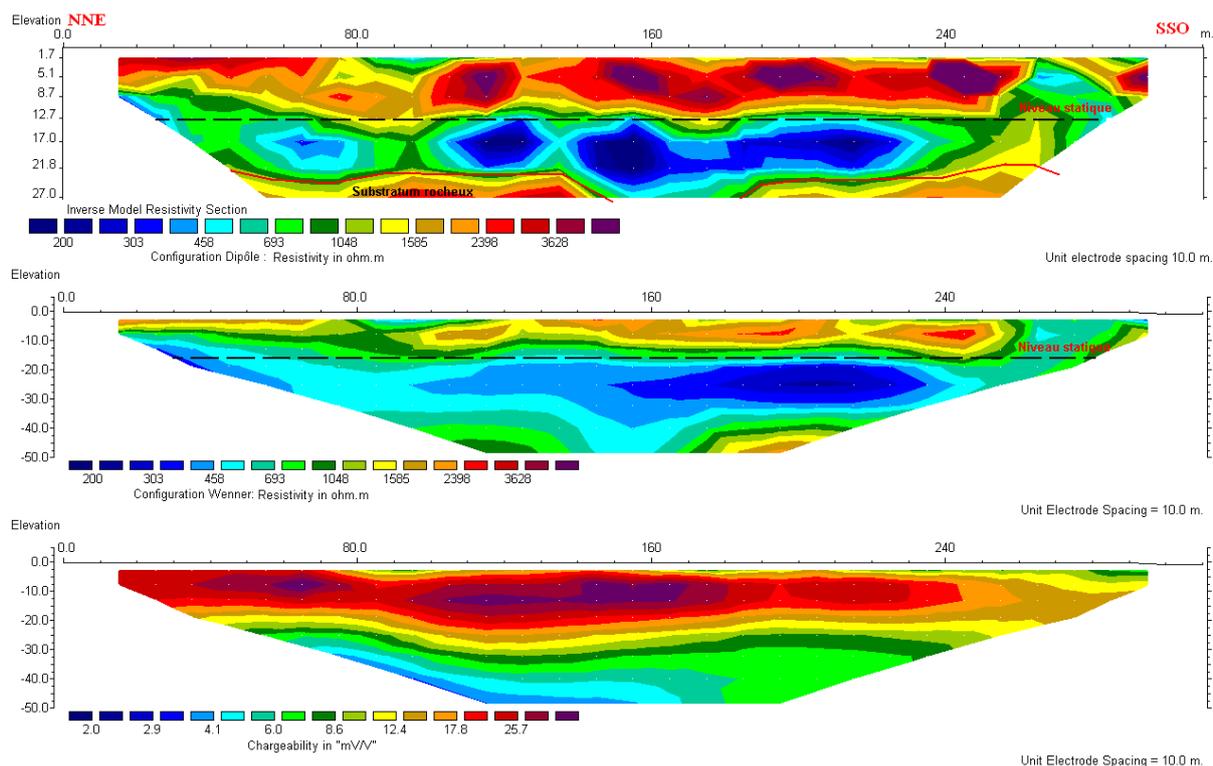


Figure IV-4 : Coupe géo-électrique du profil P1 d'Antsetsindranovato

La profondeur maximale atteinte est de 50m (et celle-ci est donnée par les coupes de résistivité et chargeabilité de type Wenner). Les deux coupes de résistivité montrent trois couches bien distinctes :

- la première couche résistante de couleur marron à violet, de résistivité de l'ordre de $2000 \Omega \text{ m}$ à $3500 \Omega \text{ m}$ se répartit presque tout au long du profil avec une profondeur de 12m. Cette zone correspondait à une formation latéritique pourvue de quelques formations très résistantes relatives au corps massif qui sont localisées entre les abscisses de 110m et 120m, entre 145m et 180m, entre 185m et 210m et en fin entre 235m et 255m. Ses rayons moyens sont de l'ordre de 4m.
- suivie d'une formation conductrice de couleur bleue, de résistivité de l'ordre de $300 \Omega \text{ m}$ et de puissance de l'ordre de 20m, elle présente l'aquifère à chercher.
- le substratum rocheux termine la séquence, on remarque une discontinuité à l'aplomb de point d'abscisse $x=160\text{m}$, elle peut être indiquée la présence de fracture, c'est un endroit idéal pour implanter un forage d'eau.

La coupe de résistivité de dispositif dipôle-dipôle montre quatre formations très résistantes (résistivité de l'ordre $4000 \Omega \text{ m}$) qui indiquent la présence des boulders, et ils sont

localisés aux points d'abscisse X= 115, 155, 195 et 245m, ceux points sont à éviter pour l'implantation d'un puits.

La coupe de chargeabilité montre qu'elle diminue suivant la profondeur. Sa valeur est élevée pour la formation latéritique et elle confirme le substratum rocheux par sa faible valeur. La valeur moyenne de chargeabilité dans le milieu aquifère (10mV/V) indique qu'on aura un bon type d'aquifère d'épaisseur de 20m.

Panneau électrique P2

Le deuxième panneau de type Wenner dont la distance inter-électrodes est de 10m, est réalisé suivant la direction Nord Ouest - Sud Est. Le centre de mesure a pour coordonnées de latitude **18°57'35.9''** et de longitude **47°16'45.6''**. Ce panneau coupe le premier panneau électrique P1 entre les points d'abscisses 230m et 240m, et il aura pour but l'étendu de la nappe existant. La figure suivante montres la coupe de la résistivité et de la chargeabilité.

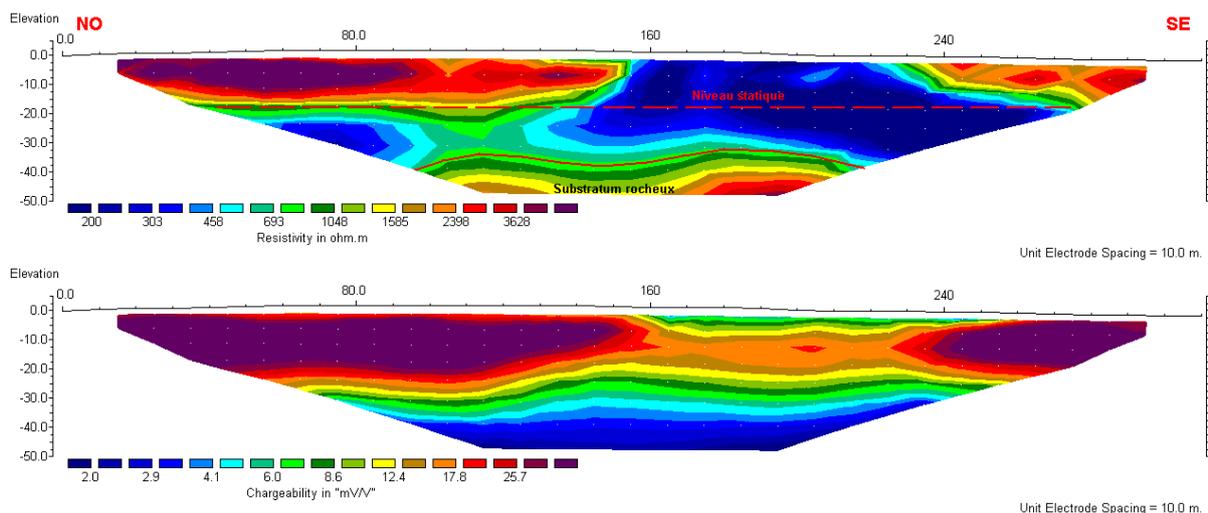


Figure IV-5 : Coupe géo-électrique du profil P2 d'Antsetsindranovato

La profondeur maximale atteinte est de 50m. Suivant la distribution des résistivités apparentes mesurées ; on pourrait distinguer trois zones bien distinctes :

- la première couche résistante, de résistivité de l'ordre de $2000\ \Omega\ m$ à $3500\ \Omega\ m$ s'apparaisse en surface entre le début du profil et le point d'abscisse $x=160m$ et points d'abscisse $x=235m$ jusqu'à la fin du profil, elle a une puissance de l'ordre de 14m. Cette zone correspondait à une formation latéritique. Entre les points d'abscisse $x=160m$ et $x=235m$, la formation superficielle est très conductrice, elle délimite la formation argileuse d'un champ de culture traversé par ce profil.

- une formation conductrice, de résistivité de l'ordre de $300 \Omega \text{ m}$ et de puissance de l'ordre de 20m présente l'aquifère.
- le substratum rocheux termine la séquence, il présente une petite ondulation.

Pour la coupe de chargeabilité, on constate que sa valeur est de 20mV/V dans la formation latéritique et elle confirme que le substratum rocheux est à faible valeur, de l'ordre de 2mV/V . La valeur moyenne de chargeabilité dans le milieu aquifère est de 10mV/V ce qui nous informe que c'est une bonne aquifère.

Estimation de réserve d'eau souterraine disponible

Le volume d'aquifère moyen est calculé en prenant les résultats des coupes géo-électrique. Pour une portion de nappe de $L=310 \text{ m}$, $l=80\text{m}$ et une épaisseur moyenne de 20m , on a un volume d'aquifère moyenne de :

$$V_{\text{aq moyen}} = 496000\text{m}^3$$

Le volume d'eau minimal est :

$$V_{\text{eau min}} = V_{\text{aq moyen}} * S$$

Pour, $S=5\%$ (en raison d'une estimation minimale)

Soit

$$V_{\text{eau min}} = 24800\text{m}^3$$

Pour le besoin en eau de la population, on prend toujours la consommation journalière de raison de $0.03\text{m}^3/\text{jour}/\text{personne}$, pour une telle agglomération de 487habitants pour Antsetsindranovato. L'estimation se fait à partir de la projection de la population réalisée sur 15ans à venir, avec un taux d'accroissement de 4% , on aura :

$$\text{Besoin en eau} = 365 * 0.03 * 887 = 9712 \text{ m}^3/\text{an}$$

La durée totale d'exploitation est :

$$T = 24800/9712 = 2.55$$

Soit **T = 2ans et demi**

Vu la quantité d'eaux souterraines, elle est exploitable durant 2ans et demi . L'approvisionnement en eau potable par eau souterraine pourrait donc s'accomplir dans le Fokontany d'Antsetsindranovato En plus, d'après l'analyse du bilan hydrique de la région

d'Imeritsiatosika, elle doit avoir des recharges venant de pluie et en outre, il est à noter qu'il pourrait avoir d'autres nappes dans d'autres endroits, ce qui permet d'avoir un autre volume d'eau.

VI-2 Cas du Fokontany d'Ambohidehibe

Implantation des travaux géophysiques

Ambohidehibe se trouve à 15km au nord ouest de la commune d'Imeritsiatosika. Il est localisé géographiquement à la latitude S 18°58', à la longitude E 47°15', le nombre d'habitants est de 1386 et ils utilisent trois puits traditionnels pour satisfaire leur besoin en eau potable.

L'emplacement des travaux géophysiques dans le village d'Ambohidehibe est indiqué sur la figure ci-dessous :

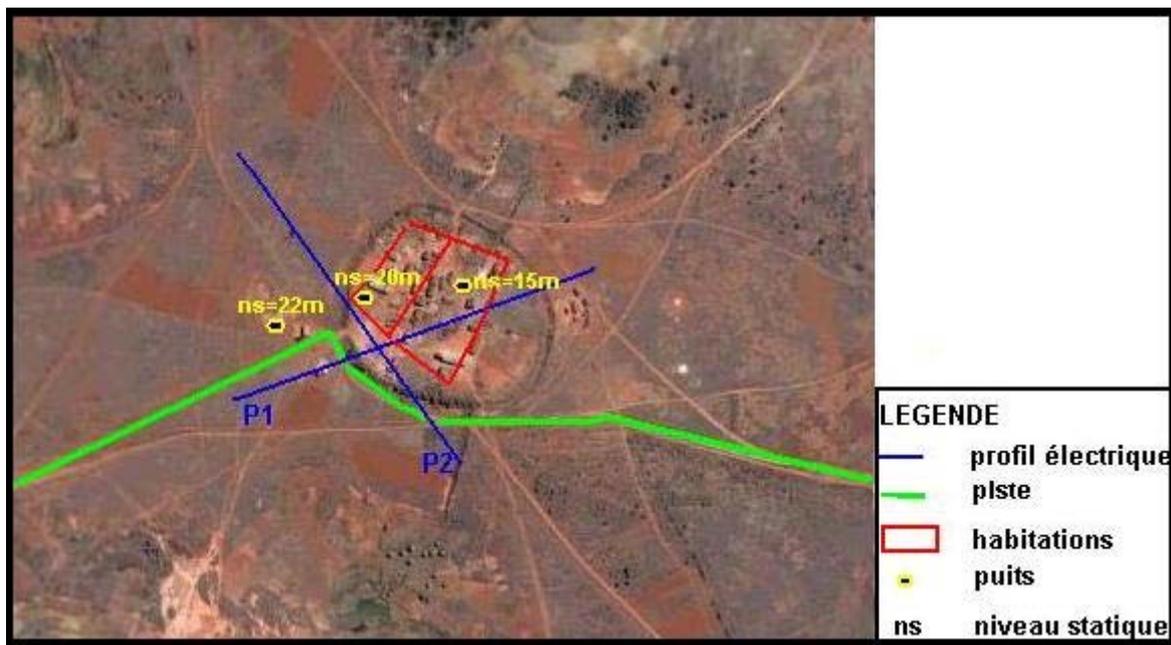


Figure IV-6 : Localisation des travaux géophysique d'Ambohidehibe

Le village est entouré par des « *hadivory* » et de champ de culture (manioc et ananas) dans la partie Nord à l'Est.

Deux profils de panneau électrique ont été faits sur le lieu (Figure14).

Panneau électrique P1

Le premier panneau de type Wenner est réalisé suivant la direction Sud-Ouest Nord-Est d'une distance inter-électrodes de 10m. Le centre de mesure a pour coordonnées

géographique **S18°58'20.2''** et **E47°15'20.2''**. Après l'interprétation des données, on a les coupes géo-électriques suivantes.

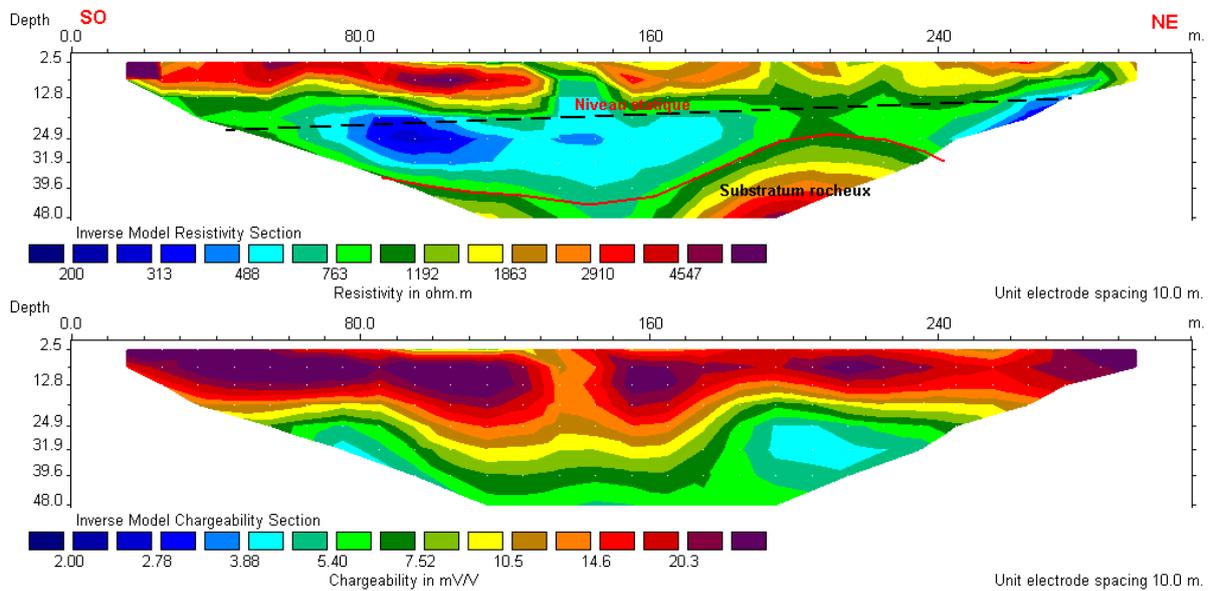


Figure IV-7 : Coupe géo-électrique du profil P1 d'Ambohidehibe

Suivant la distribution des résistivités apparentes mesurées, on pourrait distinguer trois zones bien distinctes :

- la première couche résistante, de résistivité de l'ordre de $1500\ \Omega\ m$ à $4500\ \Omega\ m$, d'épaisseur de 10m du côté Nord Ouest et augmente linéairement jusqu'à 20m au bout Sud Ouest du profil. Cette zone superficielle correspond à la formation latéritique observée sur terrain.
- une zone conductrice de résistivité de l'ordre de $350\ \Omega\ m$ la succède, elle constitue l'aquifère de la zone d'étude et leur puissance varie suivant la forme du substratum et l'inclinaison du niveau statique, elle est beaucoup plus épaisse au point d'abscisse $x=140m$, une puissance de l'ordre de 20m et s'amincit jusqu'à 5m au niveau du point d'abscisse $x=210m$.
- le substratum rocheux termine la séquence, c'est un terrain résistant, de résistivité de l'ordre de $2000\ \Omega\ m$.

Concernant la coupe de chargeabilité, on constate que sa valeur est élevée pour la formation latéritique (20mV/V) et elle confirme le substratum rocheux par sa faible valeur (5 à 10mV/V) en profondeur. La valeur moyenne de chargeabilité (10mV/V) dans le milieu aquifère présente une bonne aquifère d'épaisseur de 14m possible d'exploiter

Panneau électrique P2

Le deuxième panneau de type Wenner dont la distance inter-électrodes est de 10m, est réalisé suivant la direction Sud Est - Nord Ouest et le centre de mesure se trouve à la latitude **18°58'19.7''** et à la longitude **47°15'19.3''**. Ce panneau coupe le premier panneau P1 entre les abscisses 90m et 140m panneau, il a pour but de voir l'extension de la nappe existante. La figure suivante montres la coupe de la résistivité et de la chargeabilité.

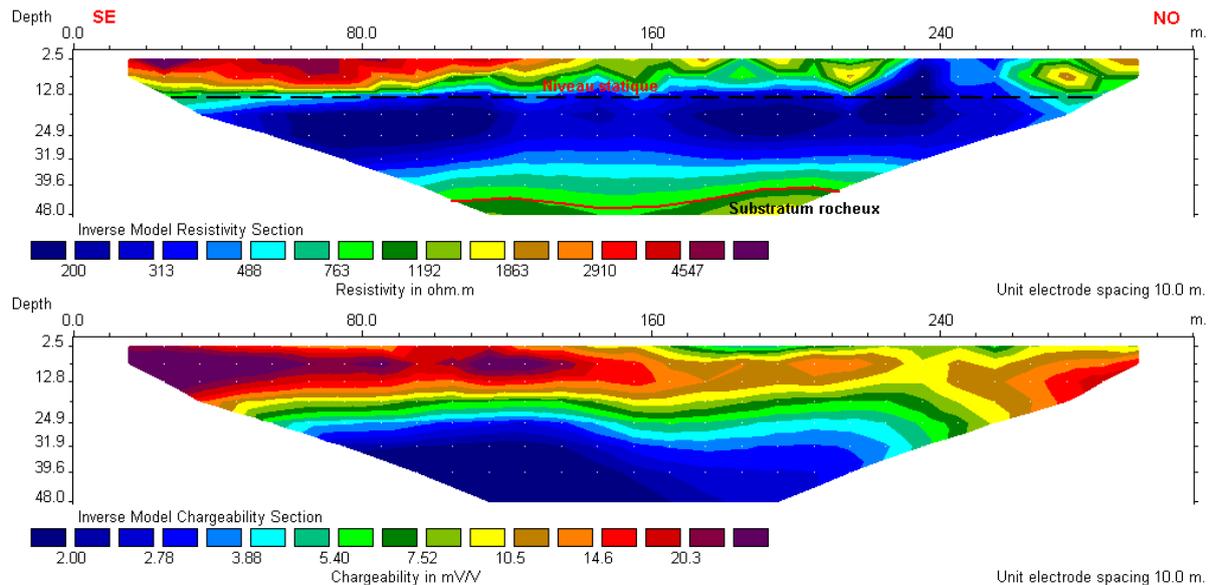


Figure IV-8: Coupe géo-électrique du profil P2 d'Ambohidehibe

Suivant la distribution des résistivités apparentes mesurées, on pourrait distinguer les trois couches marquées également par le profil P1 :

- la première couche résistante, de résistivité de l'ordre de $2000\ \Omega\ m$ à $4500\ \Omega\ m$ s'apparaisse en surface entre le début du profil et 130m et elle a une épaisseur moyenne de 13m. Cette zone correspondait à une formation latéritique, le reste du long de profil est moins résistant
- une zone moins résistante, de résistivité de l'ordre de $300\ \Omega\ m$ la succède, elle présente l'aquifère à chercher, elle a une puissance moyenne de 30m
- le substratum rocheux termine la séquence, c'est un terrain résistant, de résistivité de l'ordre de $1500\ \Omega\ m$.

Concernant la coupe de chargeabilité, on constate que sa valeur est élevée pour la formation latéritique ($20\ mV/V$) et elle confirme le substratum rocheux par sa faible valeur ($2\ mV/V$) en

profondeur. La valeur moyenne de chargeabilité (7mV/V) dans le milieu aquifère présente une bonne aquifère.

Estimation de réserve d'eau souterraine disponible

Le volume d'aquifère moyen est calculé en prenant les résultats des coupes géo-électrique, avec L=310 m, l=100m et l'épaisseur moyenne de l'aquifère E=20m.

Soit

$$V_{\text{aq moyen}} = 620000\text{m}^3$$

Le volume d'eau minimal est :

$$V_{\text{eau min}} = V_{\text{aq moyen}} * S$$

Avec S=5%

Soit

$$V_{\text{eau min}} = 31000\text{m}^3$$

Pour le besoin en eau de la population d'Ambohidehibe, on prend toujours la consommation journalière 0.03 m³/jour/personne pour une telle agglomération de 714habitants. L'estimation se fait à partir de la projection de la population allant jusqu'au 2022 avec un taux d'accroissement de 4%, on aura :

$$\text{Besoin en eau} = 365 * 0.03 * 1286 = 14082 \text{ m}^3/\text{an}$$

La durée totale d'exploitation est :

$$T = 31000 / 14082 = 2.2$$

Soit **T=2ans**

D'où le volume d'eau estimé est suffisant pour alimenter Ambohidehibe. La quantité d'eaux souterraines est exploitable durant 2 ans. L'approvisionnement en eau potable par eau souterraine est donc concevable dans ce fokontany.

VI-3 Cas du Fokontany de Tsinjorano

Implantation des travaux géophysiques

Tsinjorano se trouve à 8km au nord ouest de la commune d'Imeritsiatosika. Il est localisé géographiquement à la latitude **S 18°58'**, à la longitude **E 47°15'**, le nombre d'habitants est de

761. Le seul puits qu'ils ont utilisé est abandonné (à cause d'un effondrement, il y a de formation sableuse en profondeur).

L'emplacement des travaux géophysiques dans le village de tsinjorano est indiqué sur la figure suivante :

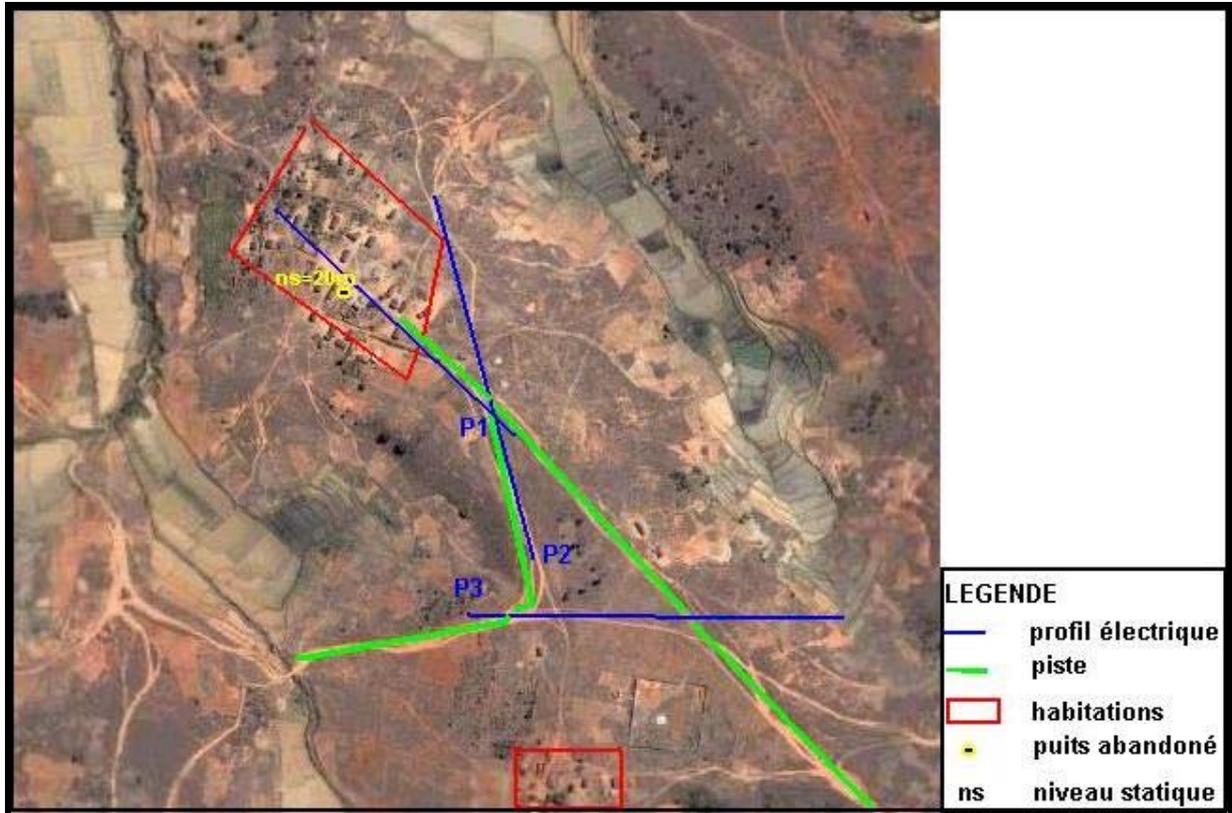


Figure IV-9 : Localisation des travaux géophysiques de Tsinjorano

Le village est entouré par des rizières, à l'ouest et à l'est, mais aucune émergence n'a été identifiée sur le flan, c'est le petit ruisseau qui assure l'irrigation.

Trois profils de panneau électrique ont été faits sur le lieu (Figure17).

Panneau électrique P1

Le premier panneau électrique de type Wenner est réalisé suivant la direction Sud Est - Nord Ouest d'une distance inter-électrodes de 10m. Son centre de mesure est situé à la latitude $18^{\circ}58'30.2''$ et à la longitude $47^{\circ}15'58.8''$. Après le traitement des données, on a la coupe géo-électrique de la figure ci-dessous.

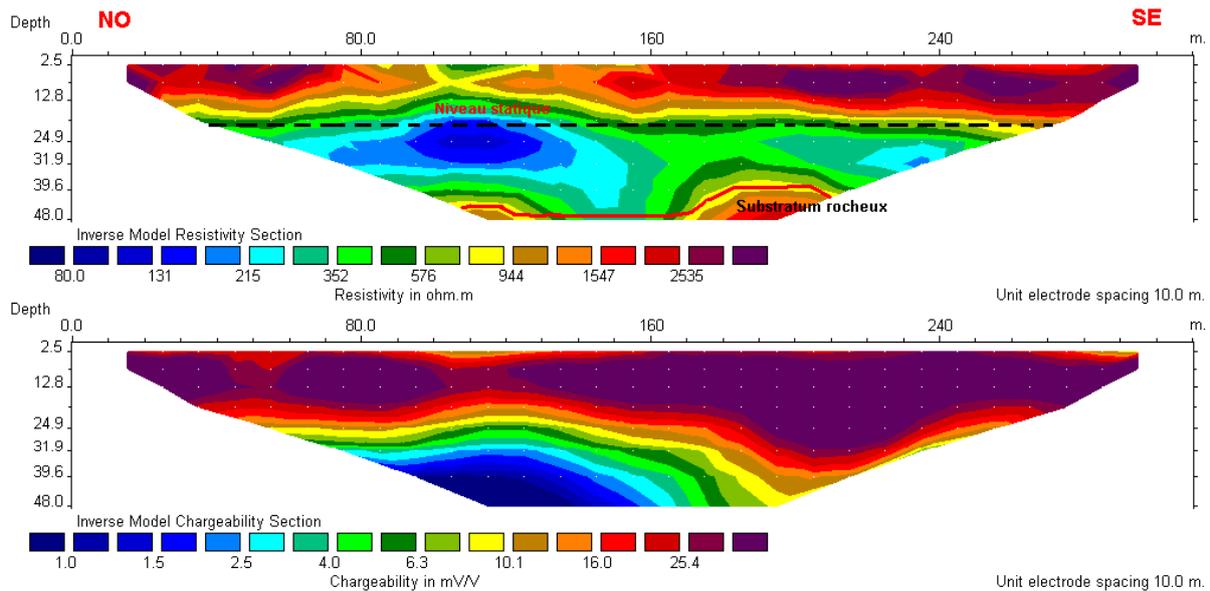


Figure IV-10 : Coupe géo-électrique du profil P1 de Tsinjorano

Suivant la distribution de modèle de résistivité obtenue, on pourrait distinguer trois formations :

- la première couche résistante, de résistivité de l'ordre de $1000\ \Omega\text{m}$ à $3000\ \Omega\text{m}$ s'apparaisse en surface toute au long du profil avec une épaisseur moyenne de 15m. Cette formation superficielle correspondait à la formation latéritique identifiée sur terrain.
- une formation conductrice, avec une valeur de résistivité de l'ordre de $250\ \Omega\text{m}$ la succède, elle a une épaisseur moyenne de 20m, elle correspond à une formation sableuse qui constitue l'aquifère et explique l'abandonnement d'un puits par l'effet d'effondrement.
- Le substratum rocheux de résistivité $2000\ \Omega\text{m}$ termine la séquence.

La coupe de chargabilité montre que sa valeur est élevée (supérieur à 20mV/V) pour la formation latéritique et la partie supérieure de l'aquifère mais elle diminue dans la formation beaucoup plus sableuse. Pour le substratum rocheux, sa valeur est de l'ordre de 2mV/V .

Panneau électrique2

Le deuxième panneau de type Wenner et même configuration que celle du profil P1, est réalisé suivant une direction presque Nord Sud et le centre de mesure est localisé géographiquement à la latitude $18^{\circ}58'32.0''$ et à la longitude $47^{\circ}16'01.2''$. Ce panneau coupe

le premier entre les abscisses 30m et 40m. La figure suivante montre le résultat des coupes de résistivité et de chargeabilité.

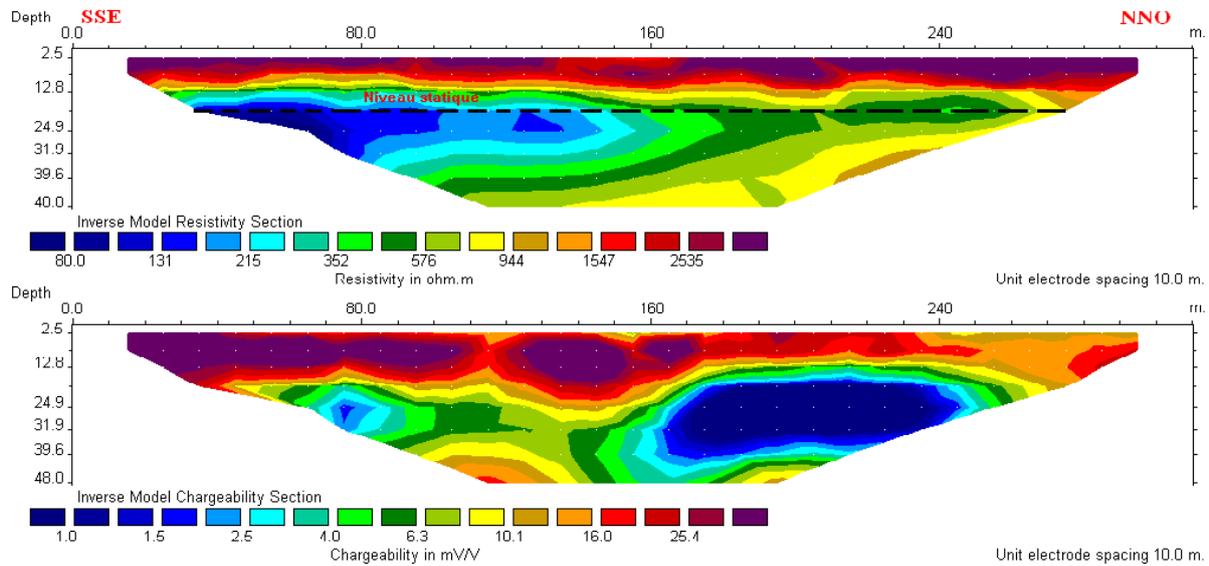


Figure IV-11 : Coupe géo-électrique du profil P2 de Tsinjorano

Suivant la distribution des résistivités apparentes mesurées; on pourrait distinguer trois formations bien distinctes :

- la première couche superficielle résistante, de résistivité de l'ordre de $1500 \Omega \text{ m}$ à $3000 \Omega \text{ m}$ est apparue tout au long du profil, elle a une épaisseur moyenne de 15m. Cette zone superficielle correspondait à la formation latéritique observée sur terrain.
- une formation conductrice de résistivité de l'ordre de $300 \Omega \text{ m}$, elle a une épaisseur moyenne de 20m dans la partie sud du profil et de 8m dans la partie nord. Elle peut être encore considérée comme formation sableuse identifiée par le profil P1.
- Le substratum rocheux de résistivité $1000 \Omega \text{ m}$ termine la séquence.

Dans la coupe de chargeabilité, on constate que sa valeur est élevée dans la formation latéritique et la partie supérieur de l'aquifère (à l'ordre de 20 mV/V). Une anomalie de faible valeur de chargeabilité est localisée entre le point d'abscisse $X=160$ à $X=250 \text{ m}$.

Panneau électrique3

Le troisième panneau de type Wenner dont la distance inter-électrodes est de 10m, est réalisé suivant la direction Ouest Est, le centre du profil se trouve à la latitude **18°58'39.1''** et

à la longitude **47°16'06.4''**. Le niveau statique est localisé à 15m de profondeur. La figure ci-après montre les coupes géo-électriques dont la résistivité en haut et la chargeabilité en bas.

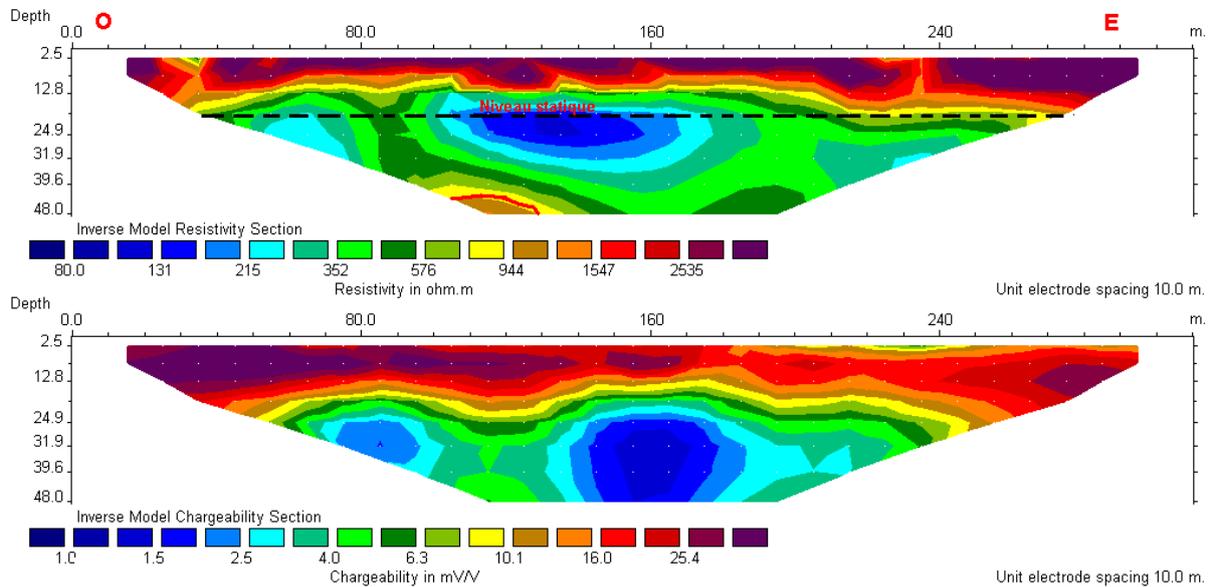


Figure IV-12 : Coupe géo-électrique du profil P3 de Tsinjorano

Suivant le résultat de distribution des résistivités; on pourrait distinguer les trois formations marquées également par les profils P1 et P2 :

- la première couche résistante, de résistivité de l'ordre de $1500\ \Omega\ m$ à $3000\ \Omega\ m$ est apparue tout au long du profil, elle a une épaisseur moyenne de 15m. Cette zone superficielle correspondait à la formation latéritique observée sur terrain.
- une formation conductrice de résistivité de l'ordre de $300\ \Omega\ m$, elle a une puissance moyenne de 30m
- le substratum rocheux termine la séquence, il est localisé dans la partie Ouest et qu'il se trouve à plus de 40m de profondeur, la valeur de sa résistivité est de l'ordre de $1500\ \Omega\ m$.

Concernant la coupe de chargeabilité, on constate que sa valeur est élevée pour la formation latéritique (plus de $20\ mV/V$) et qu'elle est inférieure à $5\ mV/V$ dans la formation considérée comme aquifère.

Estimation de réserve d'eau souterraine disponible

Les trois panneaux réalisés dans le Fokontany de Tsinjorano nous permet de dire que l'aquifère s'étend sur une surface de $310 \times 250 = 77500\text{m}^2$ et sur une colonne moyenne de 20m, d'où le volume d'aquifère moyen est de 1550000m^3 .

Le volume d'eau minimal est calculé par :

$$V_{\text{eau min}} = V_{\text{aq moyen}} * S$$

Avec $S=5\%$

Soit 77500m^3

Pour le besoin en eau de la population de Tsinjorano, on prend toujours la consommation journalière $0.03 \text{ m}^3/\text{jour}/\text{personne}$ pour une telle agglomération de 419habitants. L'estimation se fait à partir de la projection de la population allant jusqu'au 2022 avec un taux d'accroissement de 4%, on aura :

Besoin en eau = $365 * 0.03 * 755 = 8267 \text{ m}^3/\text{an}$

La durée totale d'exploitation est :

$T=77500/8267=9,3$

Soit **T=9ans**

D'où le volume d'eau estimé est suffisant pour alimenter le Fokontany de Tsinjorano. La quantité d'eaux souterraines est exploitable durant 9ans. L'approvisionnement en eau potable par eau souterraine est donc largement suffisant pour ce fokontany.

CONCLUSION

L'utilisation des techniques de Géophysique Appliquée, en particulier la méthode électrique constitue un atout majeur dans la caractérisation des aquifères, il donne une information pertinente pour pouvoir calculer le volume de l'aquifère exploitable. Le sondage électrique permet de localiser le niveau statique, et le panneau électrique renseigne sur leur étendue dans une direction bien déterminée, et c'est en particulier la configuration Wenner, en outre, la configuration dipôle dipôle révèle la présence des boulders qui s'enfuient.

Compte tenu des contextes socio-économiques de la zone cible ainsi que sa structure géologique, le moyen d'approvisionnement de la population en eau a été mis en exergue dans notre étude, le captage d'eau souterraine sera possible.

En conséquence, d'après les recherches effectuées dans les trois Fokontany, la profondeur des nappes est estimée à environ 8 à 25m qui a une épaisseur moyenne de l'ordre de 20m. Quant à sa quantité qui est fonction du secteur du Fokontany, le calcul de l'évaluation porte sur un délai de 2ans dans le Fokontany d'Ambohidehibe, de 2ans et demi dans le Fokontany d'Atsetsindranovato, et de 9ans dans le Fokontany de Tsinjorano, sans tenir compte de la recharge possible de la nappe.

Notre étude de la potentialité en eaux souterraines contribue essentiellement donc à donner un indicateur fiable sur la présence des aquifères qui facilitera la recherche de l'eau dans la zone cible et dans d'autres communes Rurales ou même d'autre Régions. Elle facilite également les travaux des autres acteurs de développement dans le cadre de mise en œuvre de la politique nationale de l'accès à l'eau potable.

Toutefois, comme l'étude de la qualité des eaux n'est pas faite, il est fortement recommandé de faire une analyse physico-chimique des eaux pour compléter cette étude afin de s'assurer pleinement de sa qualité ainsi que de sa potabilité.

Ainsi, ces travaux suscitent alors d'autres réflexions quant à son application et son utilité car approvisionner toute la population en eau potable et à l'hygiène devient alors faisable.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ACRONYMES	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	iv
INTRODUCTION	1
PARTIE I PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE	3
I-1 Localisation géographique	3
I-2 Contexte géologique	4
I-2-1 Géologie régionale	4
I-2-2 Cadre tectonique et structurale	5
I-3 Climat de la région	6
Précipitation	6
Température	6
Evapotranspiration	7
I-4 Contexte hydrologique et hydrogéologique	7
I-5 Conclusion	9
PARTIE II EVALUATION DES BESOINS EN EAU	10
II-1 Contexte socio-économique	10
II-1-1 Milieu humaine	10
II-1-1-1 Population actuelle	10
II-1-1-2 Flux migratoire	11
II-1-1-3 Evolution de la population	11
II-1-2 Secteur éducation	12
II-1-3 Autres activités	12
II-2 Evaluation des besoins en eau	13
II-3 Conclusion	13

PARTIE III PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES ET METHODE DE PROSPECTION ELECTRIQUE.....	14
III-1 Paramètres hydrodynamiques	14
• La porosité	14
• La perméabilité	15
• Le coefficient d’emmagasinement	16
III-2 Méthode de prospection électrique	16
III-2-1 Sondage électrique	17
III-2-1-1 Principe de mesure	17
III-2-1-2 Dispositif	17
III-2-1-3 Représentation des résultats	18
III-2-2 Panneau électrique	19
III-2-2-1 Principe de mesure	19
III-2-2-2 Dispositif	19
III-2-2-3 Représentation des résultats	20
III-2-3 Méthode de la polarisation provoquée	21
III-2-3-1 Origine de la polarisation provoquée	21
III-2-3-2 Mesure de la polarisation provoquée dans le domaine temporel	21
III-2-3-3 Polarisation provoquée appliquée aux problèmes hydrogéologie	22
III-3 Matériel de prospection électrique	23
 PARTIE IV RESULTATS ET INTERPRETATIONS	 24
IV-1 Méthode d’estimation de réserve	24
• Volume d’aquifère et d’eau	24
• Calcul du besoin en eau de la population	25
• Estimation de la durabilité de la nappe	25
 IV-2 Cas du Fokontany d’Antsetsiandranovato.....	 25
Implantation des travaux géophysiques	25
Sondage électrique	26

Panneau électrique1	27
Panneau électrique2	29
Estimation de réserve d'eau souterraine disponible	30
IV-3 Cas du Fokontany d'Ambohidehibe.....	31
Implantation des travaux géophysiques	31
Panneau électrique1	31
Panneau électrique2	33
Estimation de réserve d'eau souterraine disponible.....	34
IV-4 Cas du Fokontany de Tsinjorano.....	34
Implantation des travaux géophysiques	34
Panneau électrique1	35
Panneau électrique2	36
Panneau électrique3	37
Estimation de réserve d'eau souterraine disponible.....	39
CONCLUSION	40

TITRE : Potentialité en eaux souterraines dans trois Fokontany de la Commune Rurale d'Imerintsiatosika (Atsetsindranovato, Ambohidehibe et Tsinjorano)

RESUME

La majorité de la population du monde rural connaît encore des problèmes d'accès à l'eau potable. Pour les Fokontany d'Atsetsindranovato, d'Ambohidehibe et de Tsinjorano, seuls des puits traditionnels assurent leur besoin en eau potable. Par conséquent, ce travail a pour but de mesurer la potentialité en eaux souterraines existant.

Après une étude préliminaire pour l'organisation de la campagne, nous avons choisi la méthode de la prospection électrique (sondage et panneau électrique) pour la détection de la présence de l'eau, la localisation, l'étendue et le volume des aquifères présumés.

Les études menées nous ont permis d'identifier que le niveau statique varie de 8 à 25m de profondeur et la puissance de l'aquifère de l'ordre de 5 à 30m. L'évaluation du besoin de la population jusqu'à 2022 nous a permis de calculer la durabilité qui est estimée à 2ans pour le Fokontany d'Ambohidehibe, de 2ans et demi pour le Fokontany d'Atsetsindranovato, et de 9ans pour Tsinjorano.

Mots clés : aquifère, Commune Rurale, Imerintsiatosika, sondage, panneau électrique.

ABSTRACT

Most of people living in the countryside still know problems of having access to drinking water. For the Fokontany of Atsetsindranovato, of Ambohidehibe and Tsinjorano, only the traditional wells ensure their requirement out of drinking water. Consequently, this work aims to measure the underground water potentiality existing.

After a preliminary study for the organization campaign, we had chosen the electrical prospection method (survey and electrical panel) for the detection of the presence of water, the localization, the extent and the volume of the water tables supposed.

The undertaken studies enable us to identify that the static level varies from 8 to 25 meters of depth and the potential of the water table is about 5 to 30 meters. The need assessment for the population up to 2022 enabled us to calculate the durability wich is estimated at 2 years for the Fokontany of Ambohidehibe, 2 years and 6 months for the Fokontany of Antsetsindranovato, and 9 years for Tsinjorano.

Key words: water table, Rural District, Imerintsiatosika, survey, electrical panel

Encadreur :

Dr RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier

Impétrant :

RAKOTOSELY Rivotiana

Tel: 0324076226

rivo14@yahoo.fr

Bloc 19/4 CU ANKATSOII