

LISTE DES ACRONYMES

MSTGA : Maîtrise des sciences et Techniques en Géophysique Appliqué

IOGA : Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo

GPS: Global Positionning System

BD: Base de données

SGDM : Société Géosciences pour le Développement de Madagascar

LISTES DES FIGURES

Figure1 : Carte de localisation de la zone d'étude.....	4
Figure2 : Carte géologie de la zone d'étude.....	6
Figure3 : Coupe géologique.....	8
Figure4 : Porosité.....	12
Figure5 : Position de l'eau dans l'espace.....	14
Figure6 : Gradient hydraulique.....	14
Figure7 : Principe de Ghyben-Herzberg.....	15
Figure8 : Principe de sondage électrique.....	18
Figure9 : Dispositif Wenner.....	19
Figure10 : Schéma de la prise de mesure de sondage.....	20
Figure11 : Dispositif des électrodes lors de l'acquisition.....	21
Figure12 : Syscal R2.....	23
Figure13 : Photo- interprétation de Salary Sud.....	26
Figure14 : Carte d'implantation du puits	28
Figure15 : Plan de masse Salary Nord.....	30
Figure16 : Courbe de sondage SE1B.....	30
Figure17 : Coupe géoélectriques Salary Nord	31
Figure17a : Coupe géoélectriques du panneau1, Salary Nord	32
Figure17b : Coupe géoélectriques du panneau2, Salary Nord	32
Figure17c : Coupe géoélectriques du panneau3, Salary Nord.....	32
Figure18 : Plan de masse Salary Sud.....	33
Figure19 : Coupe géoélectriques Salary Sud.....	34
Figure19a : Coupe géoélectriques du panneau1, Salary Sud.....	35
Figure19b : Coupe géoélectriques du panneau2, Salary Sud	35
Figure20 : Plan de masse Ankaramifoka.....	36
Figure20a : Coupe géoélectriques a, Ankaramifoka	37
Figure20b : Coupe géoélectriques b, Ankaramifoka	37
Figure21 : Plan de masse Fierenamasay	38
Figure21a : Coupe géoélectriques a, Fierenamasy	39
Figure21b : Coupe géoélectriques b, Fierenamasy	39
Figure22 : Plan de masse Tampolo	40
Figure23 : Coupe géoélectriques Tampolo.....	41

Figure24 : Plan de masse Tsandamba	41
Figure25 : Coupe géoélectriques Tsandamba.....	42
Figure26 : Plan de masse Tsifota.....	43
Figure27 : Coupe géoélectriques Tsifota.....	43
Figure28 : Coupe géoélectriques du panneau Tsifota.....	44
Figure29 : Carte de délimitation d'eau salée de la zone d'étude.....	46

INTRODUCTION

La planète Terre est recouverte sur sa surface, de 70% d'eau dont 97% de cette portion est constituée d'eau salée et seulement 3 % de celle-ci est formées d'eau douce donnant au total 1.4milliard de km³ d'eau. C'est à dire que l'eau est abondante et pourtant rien qu'une poignée de population en bénéficie.

Pour Madagascar, seulement 38% de la population ont accès à l'eau potable en 2007. Un chiffre largement inférieur, ce qui incite l'Etat à adopter le programme national de l'eau et de l'assainissement pour doubler ce chiffre d'ici 2012.

Pour le moment, la réalité actuelle montre que le problème d'accès à l'eau potable engendre des problèmes de la santé, maladie diarrhéique,...etc et a des impacts négatifs sur l'économie de Madagascar. (www.worldmeters.info; actualités eau à Madagascar)

La partie Sud et les zones littorales Sud de la grande île sont les plus affectées par ce problème car l'eau y est insuffisante et elle est parfois minéralisée, si elle existe.

Nous traitons particulièrement la zone littorale Sud de Madagascar dans le cadre de ce mémoire.

Suite à la demande de l'ONG HUMADA, la SGDM a entrepris l'étude hydrogéologique d'une zone se trouvant au Nord de la ville de Tuléar en vue d'alimenter sept villages du littoral en eau potable. La technique de prospection classique, prospection géologique, levée des paramètres hydrogéologique et investigation géophysique, a été adoptée par la SGDM pour atteindre l'objectif qui lui est assigné.

Soulignons que ce mémoire a été fait dans le cadre de ce projet.

Le présent mémoire a pour objectif d'utiliser l'outil géophysique, en particulier la prospection électrique, pour délimiter l'invasion d'eau salée de la mer vers le continent. Cette délimitation est vraiment nécessaire pour la localisation des lieux d'exploitation d'eau souterraine pour les villages du littoral concerné.

La première partie de ce mémoire se consacre sur la description du contexte général de la zone d'étude. La deuxième partie développe la méthodologie adoptée et explicite la technique d'acquisition des données. La troisième partie donne l'interprétation et les résultats obtenus.

PARTIE 1

CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

Nous allons aborder, dans cette partie, le contexte général de région d'étude et nous développerons dans ce cas la situation géographique, la géologique, l'hydrogéologie, le climat et le contexte socio-économique de la zone.

1.1 – La situation géographique

La zone d'étude se trouve au Sud-Ouest de Madagascar dans la commune rurale de Manombo district de TuléarII et ex-province de Tuléar. Elle s'étend sur une superficie de 546,66km².

Plus précisément, elle est située le long de la plaine littorale du Sud-Ouest, limité au Sud par le village de Manombo au Nord par le village de Salary Nord et à l'Ouest par le Canal de Mozambique.

L'objet du travail est de trouver la séparation de l'eau salée à l'eau douce pour alimenter en eau potable les sept villages suivants: Salary Nord, Salary Sud, Tsandamba, Ankaramifoka, Tampolo, Tsifota, Fierenamasay

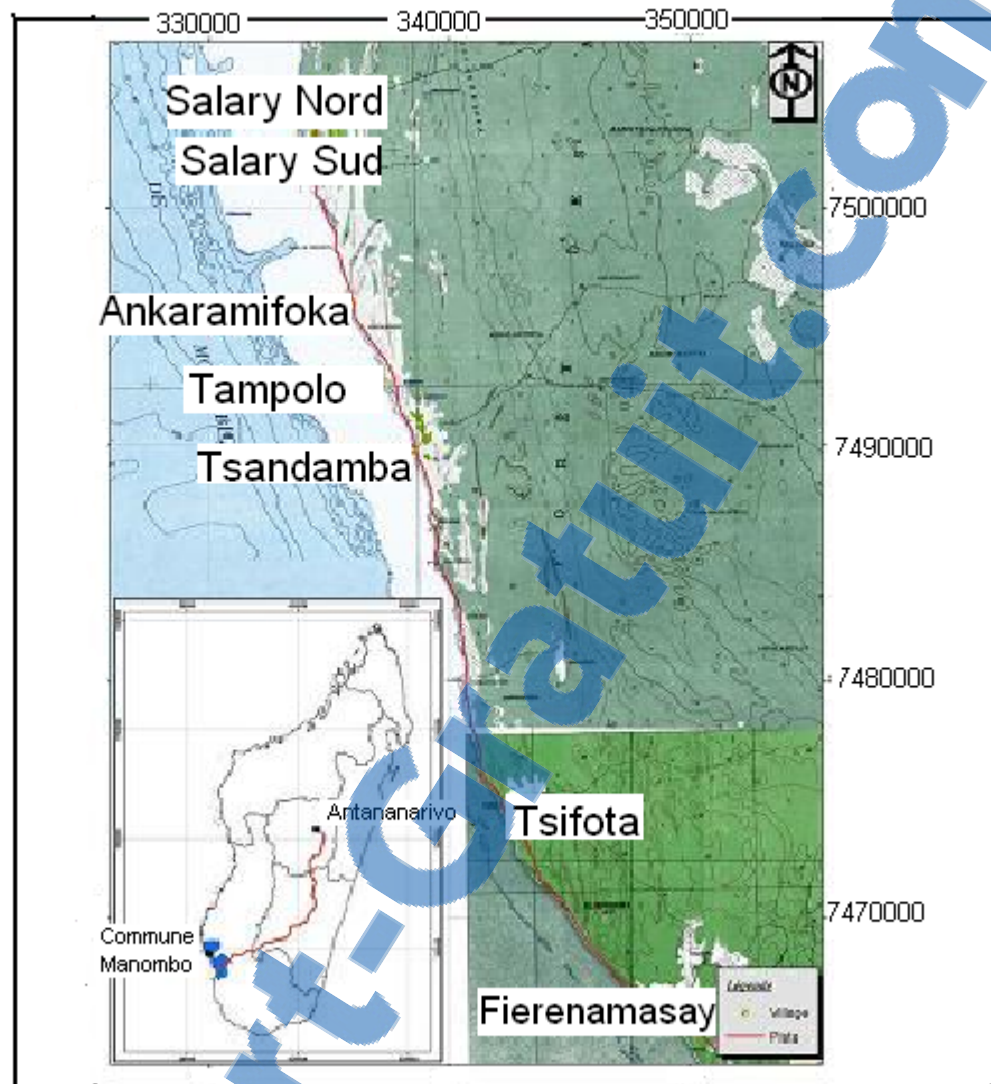


Figure1: CARTE DE LOCALISATION

Source : Extrait de la carte topographie de Madagascar – type 1926

1.2 – Contexte géologique

La zone d'étude est localisée sur la formation sédimentaire, appartenant au bassin de Morondava.

Les formations superficielles dominantes sont les formations récentes composés des:

- dunes vives qui s'étalent sur une largeur de 2 à 4km sur la bordure côtière

-alluvions qui ont un développement important dans les deltas du Mangoky et du Fiherenana ainsi que dans les grandes vallées

-carapace sableuse s'étale largement sur les formations Karroo avec des sables claires, peu argileux, peu rubéfiés et dans la région côtière avec des sables roux plus argileux d'épaisseur 50m environ.

-carapace calcaire épaisse de 1 à 3m recouvre uniformément le plateau Eocène

Les formations éocènes moyennes et inférieures sont :

- Les calcaires à Nummulite dans la plaine côtière dans le secteur Belitsaka-Antseva forme une bande calcaire méridienne affleure d'une manière discontinue au milieu de la carapace sableuse
- Les calcaires à Lithothamnium qui donne le plateau calcaire qui s'étendent sur une vingtaine de km au Nord de Fiherenana, elle disparaît sous les sables de la forêt des Mikea

La formation éruptive récente :

-Basalte et limburgite Post –Eocène qui apparaît seulement à Ambatomainty d'épaisseur 100m

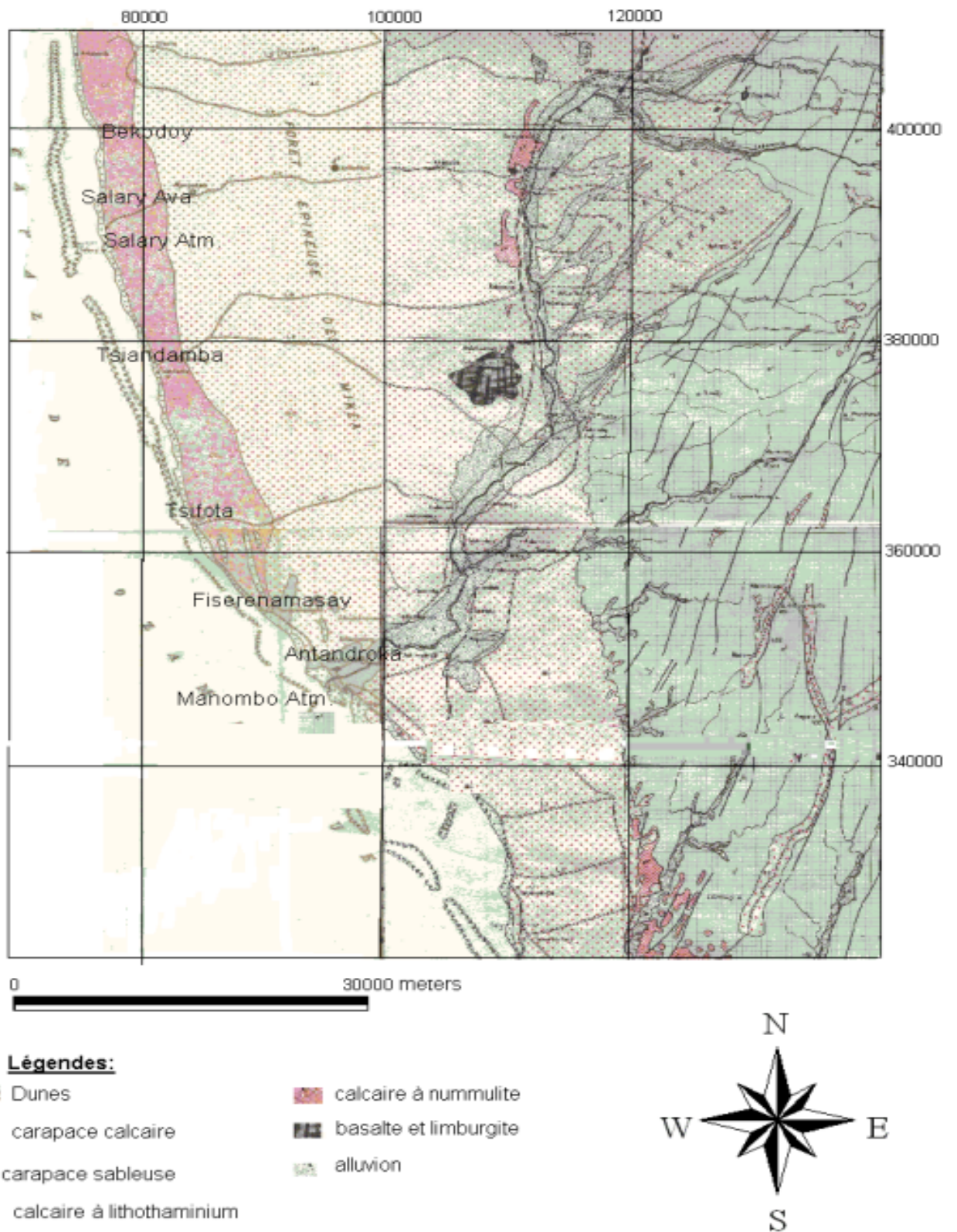


Figure2 : CARTE GEOLOGIQUE

Source : Extrait de la carte géologie de Madagascar zone Manombo-Manera, Levers de MM.P.HIRTZ 1949

1.3-Géomorphologie

La zone d'étude se trouve sur la bande côtière littorale Sud-Ouest qui forme la plaine littorale. Les terrains sont constitués des dunes de sable, la pente est plus ou moins faible. On y distingue un seul cours d'eau périodique de Manombo et plusieurs lacs périodique celle d'Ankazondranaty à l'Est de Salary Nord et Tsivovo au Nord de Salary, Ankazobevohitra au Nord -Est d'Ankaramifoka, Masirarano au Sud de Tsiandamba, Ambokatra à l'Ouest de Tampolo. La partie Ouest de la zone d'étude est occupée par des forêts de Mikea qui est très étendue.

1.4 - Hydrologie et hydrogéologie

Nous allons décrire en premier les réseaux hydrographiques existant à l'intérieur de la zone d'étude.

1.4.1-Réseau hydrographique

C'est la région où le réseau hydrographique est le plus dégradé, suite à l'aridité du climat régissant dans ce secteur.

On peut distinguer deux types d'eau de surface :

- Un cours d'eau périodique Manombo
- Plusieurs lacs périodique : Tsilanilafika, Kilibory, Andranomaro, Fisitika

1.4.2-Hydrogéologie

La zone d'étude se trouve dans des formations sédimentaires qui constituent la plaine littorale quaternaire et le plateau Mahafaly Eocène.

Les sables et les calcaires sont relativement poreux et constituent l'aquifère de la zone. La situation géographique, situé sur le littoral, impliquant l'invasion de l'eau de mer vers l'aquifère d'eau douce venant du continent, entraîne de la complication sur le modèle hydrogéologique.

La reconnaissance réalisée lors de la campagne de prospection a révélé la présence des eaux saumâtres à salées dans des puits se trouvant aux alentours des villages.

Des lacs salés sont localisés à plusieurs kilomètres à l'intérieur de la terre, à Salary et à Fierenamasy. La présence de ces lacs témoigne l'incursion, récemment de la mer vers l'intérieur.

Ces lacs sont vraiment imperméable, à cause des épaisses couches d'argiles qui se sont déposées sur son lit, et ils sont utilisés par les habitants en salinière.

En outre, le modèle hydrogéologique de la zone est présenté dans la figure ci-dessous

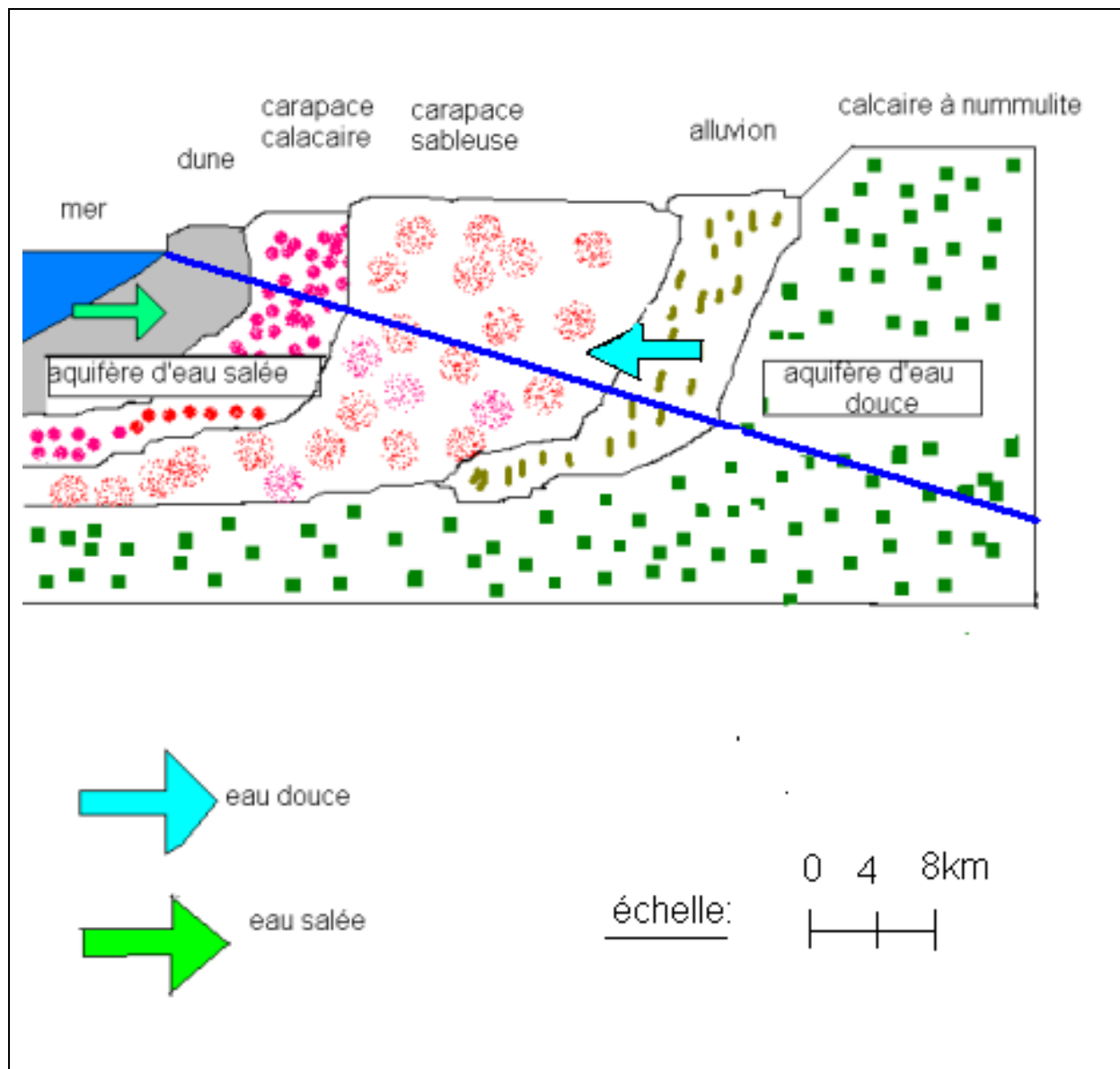


Figure3 : Coupe géologique

1.5- Climat

La zone d'étude fait partie de la région sèche dont les précipitations annuelles sont comprises entre 350mm et 600mm avec une forte irrégularité inter-annuelle. (Données de service météorologique)

Les températures moyennes annuelles sont comprises entre 20°C et 25°C, la température moyenne du mois le plus frais est égale ou supérieur à 20°C.

L'indice global d'humidité est inférieur à 35%

Station représentative : Tuléar

1.5.1- Données pluviométrique en (mm) et températures en (°C) durant les quatre dernières années

Année 2006	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pluie	66,7	66,1	6,2	0,1	0,7	9,8	2,4			0	0,4	28,8
Nombre de jours	9	6	2	1	1	2	1	0	2	7		
Température max	34,1	33,3	34,3	31,9	28,2	28,5	28,4			30,3	32,6	33,5
Température min	23,7	23,9	24,2	21,6	17,5	16,2	15,7			18,6	21,8	24,1
Année 2007	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pluie	288,6	112	4	34,7	9,2				5,8	0	17,5	
Nombre de jours	15	10	1	2	3				1	0	4	
Température max	32,7	32,1	32,2	29,9	28,2				30	27,6	32,5	
Température min	23,8	24	22,5	18,5	15,3				19,7	16,7	23,7	
Année 2008	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pluie	137,5	84,2	49,6	1,5	10,8	0	0	0	0	0	0	0
Nombre de jours	8	5	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0
Température max	32,1	32,4	31,5	29,7	0	0	0	0	0	0	0	0
Température min	23,7	23,3	22,3	19,3	0	0	0	0	0	0	0	
Année 2009	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pluie	132	42	262,3	142,9	160,5	35,8	79,3	139	134,5	154,9	89,7	124,2
Nombre de jours	12	13	18	16	11	7	15	16	8	18	12	13
Température max	31,5	30,7	30,3	27,1	26,8	25,9	24	23,6	25,7	25,6	27	29,9
Température min	24,4	23,8	23,7	20,4	19,4	18,6	16,6	17,7	19,3	20,4	20,1	23,4

Source : Service météorologique à Ampandrianomby

1.6 – Contexte socio-économique

L'insuffisance chronique de l'eau dans cette région est une contrainte fondamentale pour son développement socio-économique, elle est classée parmi les plus pauvres de Madagascar et elle est confrontée à des problèmes de santé, d'insuffisance alimentaire, d'une production économique déficiente et plus généralement à de très mauvaise condition de vie des populations.

Les activités économiques dominantes de la population sont :

L'élevage : il offre de bonnes possibilités pour la satisfaction alimentaire de la population et la création de revenus. Mais le poids de la tradition en a fait un élevage contemplatif dont les produits sont destinés aux pratiques et cérémonies coutumières. L'insuffisance des zones de pâturage, l'absence de cultures de fourragères sont aussi les autres contraintes qui expliquent que l'élevage ne peut pas jouer son rôle dans l'amélioration de vie de la population.

L'agriculture : elle devrait subvenir aux besoins alimentaires de la population mais aussi constitue une source de revenus pour les paysans. Les surfaces irriguées pour les rizières sont trop limitées et mal exploitées faute de la maîtrise de l'eau tandis que les cultures de manioc, patate douce, maïs, haricot sont dominantes

PARTIE2

RAPPEL METHODOLOGIQUE ET ACQUISITION DE DONNEES

Nous développerons, dans cette deuxième partie, les bases méthodologiques de l'hydrogéologie, de la prospection géophysique et de la technique d'acquisition de données

2.1- Les équations fondamentales de l'hydrogéologie :

Dans ce titre nous allons parler de l'écoulement dans le sol et nous allons voir les paramètres physiques du sol, les conditions d'écoulement de l'eau dans le sol et l'expérience de Darcy

2.1.1- Les paramètres physiques qui caractérisent le sol

Les éléments ou particules du sol sont caractérisés par des paramètres physiques comme la dureté, la perméabilité, la porosité, la transmissivité, ...

Porosité :

C'est le rapport du volume de vide et volume total

$$P = V_v / V_t$$

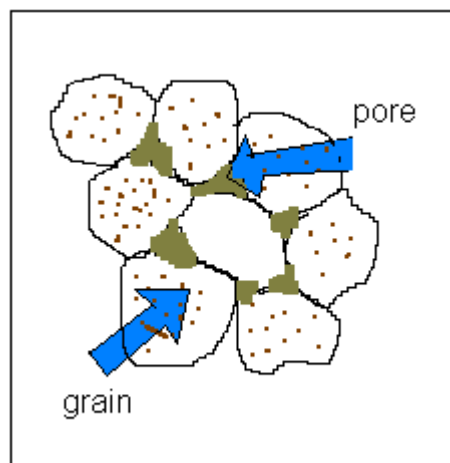


Figure4 : Porosité

Indice de vide :

C'est le rapport entre le volume de pore et le volume des grains

$$E = V_p / V_g$$

Porosité relative :

C'est le rapport entre volume de pore et volume total

$$n = V_p / V_t$$

Porosité effective ou cinématique :

C'est le rapport entre volume d'eau en circulation et le volume total

$$n_e = V_{ec} / V_t$$

Perméabilité :

La perméabilité caractérise la capacité de la formation à l'écoulement de l'eau et que l'on note K qui a la dimension de vitesse m/s. Elle est liée à la forme de la particule du sol, la cohésion des éléments en place, ainsi qu'à la dimension ou diamètre.

$$K = A \cdot d_{10}^2$$

A varie de 46 pour de sable très argileux

A varie de 142 pour de sable moyenne

En moyenne, on prend $A=100$

$d_{10} =$

Transmissivité :

C'est le produit de perméabilité et l'épaisseur de la nappe

$$T = K \cdot e$$

Coefficient d'emménagement :

C'est la quantité d'eau libéré sur 1m² de nappe quand le niveau d'eau descend de 1m

$$S = 2.25 T t / r^2 \text{ (nappe captive)}$$

T : transmissivité

t : temps de pompage

r : rayon de puits

2.1.2- Les conditions d'écoulements de l'eau

L'eau est formé d'un élément dit particule liquide et dont la possibilité d'écoulement sont caractérisés par :

-Sa position dans l'espace définie par (x, y, z) par rapport au niveau de la mer

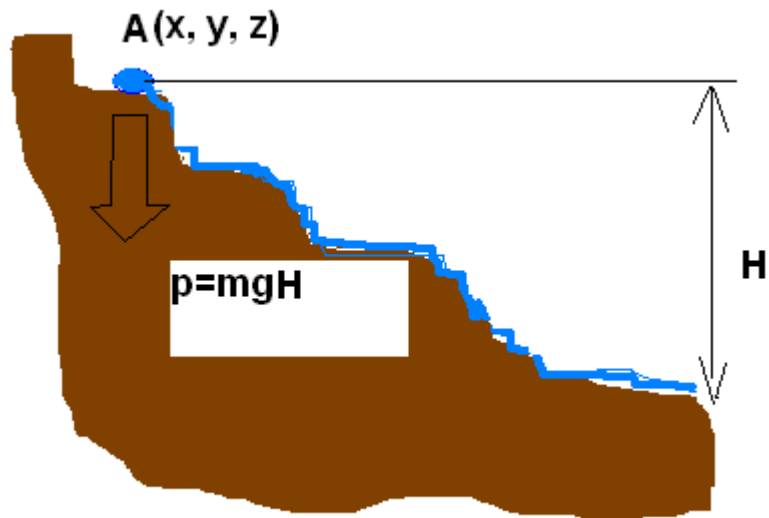


Figure5 : position de l'eau dans l'espace

-Sa pression hydrostatique et le gradient hydraulique

$$Dz/dx = (z1-z2)/x$$

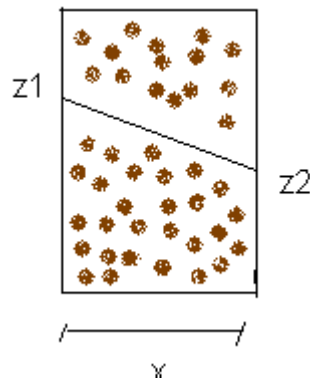


Figure6 : gradient hydraulique

2.1.3- Principe de Ghyben Herzberg

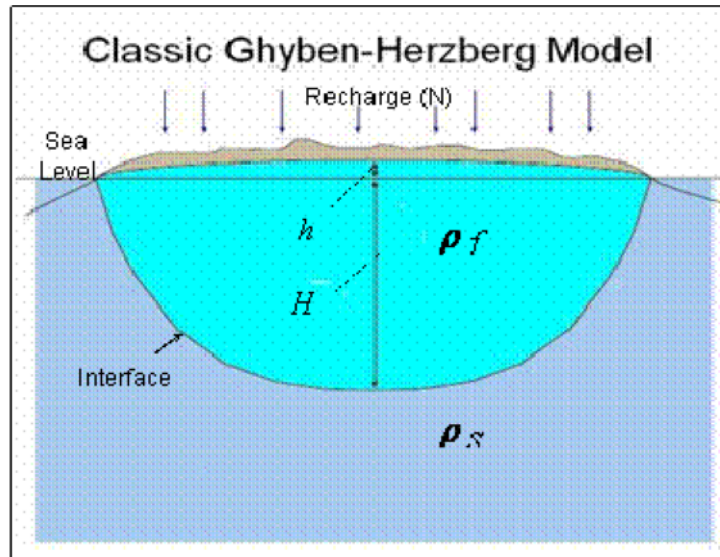


Figure7 : principe de Ghyben Herzberg

L'eau douce a une densité 1.0g/cm^3 tandis que l'eau salée est légèrement plus dense: 1.025g/cm^3 . Par conséquent, l'eau douce flotte au-dessus de l'eau de mer.

L'eau de pluie qui percole le sol déprime l'eau salée qui trouve en-dessous et donne ainsi naissance à une forme de la lentille

La zone de transition entre l'eau de mer salée et l'eau souterraine douce n'est pas une limite nette, mais une zone d'eau saumâtre où l'eau de mer salée et l'eau douce se mélangent.

Cette zone de transition est fortement influencée par les fluctuations saisonnières des précipitations. Par ailleurs, la quantité d'eau prélevée pour l'usage humain a également une grande influence sur cette zone.

Les Forages qui pénètrent profondément jusque dans cette zone de transition sont souvent victimes d'intrusion de l'eau de mer.

La relation Baden Ghyben-Herzberg dit que pour chaque pied (h) des eaux souterraines au-dessus du niveau de la mer, il y a quarante pieds d'eau douce au-dessous du niveau de la mer (H).

Ainsi :
$$H = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} * h = 40 * h \text{ (adapté par McLane, C; Magelky, R, et Sieling, D. (2002))}$$

2.2- Méthode de prospection électrique :

2.2.1-Les étapes de prospection géophysique

Avant d'entamer la méthode géophysique, il faut collecter des informations dans le domaine géologique, géomorphologique, hydrogéologique, hydrologique. Après, on fait une descente sur le terrain pour la cartographie et pour le calage des informations retiré par la documentation, enfin on passe à l'étude de faisabilité et la réalisation de la méthode géophysique appropriée à l'objectif.

2.2.1.1-Documentation

C'est dans ce travail que nous allons collecter les informations sur la zone d'étude à savoir : la géologie, la géomorphologie, l'hydrologie...et les travaux antérieurs déjà réalisé dans la zone d'étude. La documentation est très utile et elle guide au choix de la méthode géophysique à adopter.

Etude cartographique

Dans cette phase, on étudie la carte géologique, la carte topographique et la photographie-aérienne. On peut observer la végétation, les linéaments, le réseau hydrographique et le bassin versant topographique.

Etude de la carte géologique

C'est très important car elle nous renseigne sur les différentes formations existantes sur la zone d'étude. On doit tenir compte de ces formations sur l'interprétation du sondage et du panneau électrique pour la recherche d'eau souterraine. Elle renseigne sur l'existence ou non d'une aquifère et de sa nature

Etude Hydrogéologique

Elle nous renseigne surtout sur la nature de la nappe comme nappe de socle ou alluvionnaire, nappe libre, nappe captive ou semi-captive. C'est le résultat de l'étude géologique.

Photo-interprétation

C'est très important dans la recherche d'eau souterraine, on détecte les fractures et les linéaments de la photo-aérienne par la stéréographie. Elle nous donne des renseignements sur l'occupation du sol comme les zones habitats, les routes, les rizières (...).Mais le plus important, c'est les indices visibles en surface sous forme de linéament qui marque un

évènement géologique profond et qui nous donne l'idée du point de sondage et la direction des lignes électriques lors de l'exécution des travaux géophysiques.

2.2.1.2- Phase de reconnaissance

Dans cette phase, On fait une enquête auprès de l'autorité sur la démographie de la population, la situation socio-économique, les travaux antérieurs et les nombres de puits existants et ces caractéristiques. On vérifie les données collecté par la documentation et enfin on collecte les données techniques de la zone d'étude.

2.2.1.3- Etude de faisabilité

C'est dans cette partie qu'on détermine :

- la méthode de prospection adoptée pour atteindre l'objectif comme la recherche d'eau souterraine
- La planification de la mission : durée de la mission, nombre de personne, matériels à apportés,

2.2.2- Méthode électrique

La méthode électrique en courant continu est basée sur l'injection de courant à intensité connu dans le sous sol, par l'intermédiaire des deux électrodes et on mesure la différence de potentiel créé par celui-ci entre deux points. Elle consiste alors à déterminer la distribution de la résistivité électrique du sous sol.

Elle est plus souvent utilisée à la recherche d'eau souterraine, compte tenu de la sensibilité du paramètre résistivité électrique à la présence de l'eau, Loi d'Archie.

2.2.2.1- Principes de la mesure

On mesure la résistivité des terrains en place en injectant dans le sol un courant continu. Cette valeur de résistivité permet de caractériser une formation. Comme dans le passage des grains solides d'un matériau sont en générale des isolants parfaits, la résistivité dépend essentiellement de l'état d'humidité et de la proportion d'argile dans le volume du terrain traversé par la mesure. L'argile et l'eau étant présents dans les vides de toutes sortes, la résistivité est en relation à la fracturation, la porosité, le colmatage argileux et alluvion.

2.2.2.2-Sondage électrique

2.2.2.2.1-Principes

On injecte un courant continu (I) dans le sol à l'aide des deux électrodes AB de longueur croissante avec un dispositif d'émission et on effectue une succession de mesure de différence de potentiel (V) entre les deux électrodes potentiels M et N qui sont les résultats de différences de potentiels subit ou apparait entre A et B. Dans notre cas, ils ont choisi le dispositif Wenner. A et B sont écartés progressivement de part et d'autre des électrodes potentiel M et N du point central O. La profondeur d'investigation est liée à la longueur AB et aussi à la configuration du sous-sol. La résistivité électrique est calculée par la formule :

$$a = K. V(MN)/I$$

Avec :

a= résistivité apparente en ($\Omega \cdot m$)

K=facteur géométrique

V= différence de potentiel en (V)

I= intensité du courant (A)

On estime l'épaisseur de cette tranche de terrain comprise entre $AB/4$ et $AB/10$. En effet, si le terrain étudié est résistant, le courant a tendance à pénétrer en profondeur $AB/4$. Dans le cas contraire c'est-à-dire si la zone est conductrice, le volume de terrain concerné est plus faible.

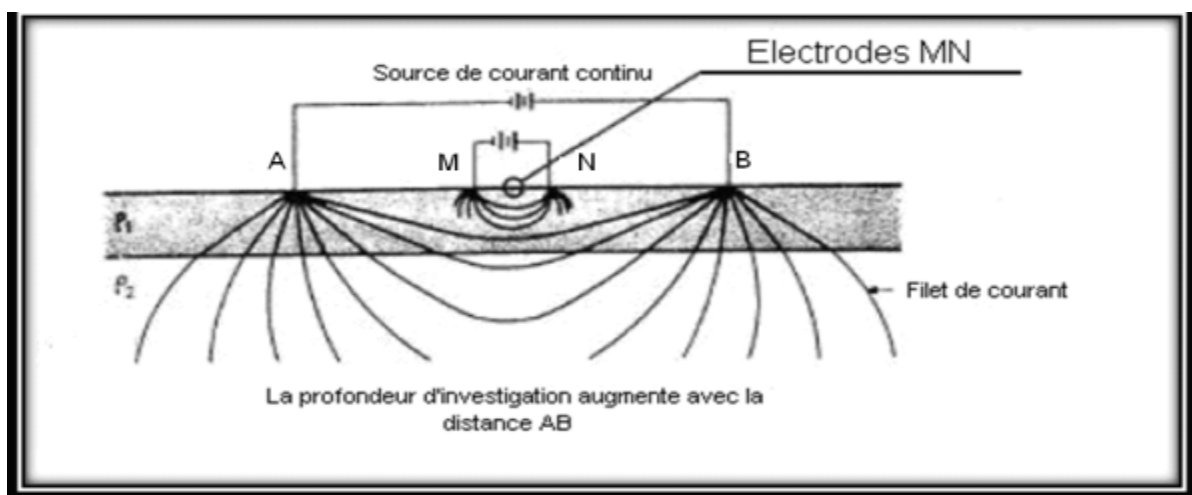


Figure8: Principe de sondage électrique

2.2.2.2-Mise en œuvre

C'est une technique d'investigation verticale du sous-sol. Elle donne à la verticale du point de mesure la distribution de la résistivité. Le dispositif Wenner se dispose tel que les quatre électrodes sont alignées et de distance égale.

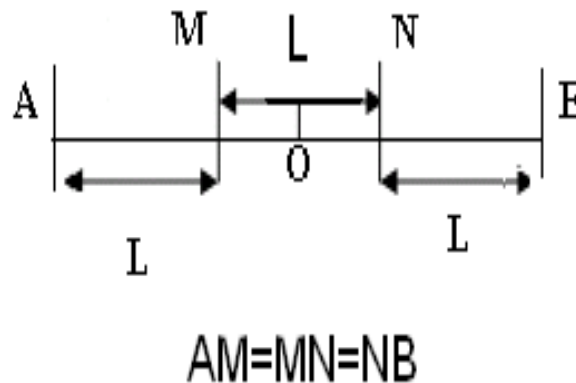


Figure 9: Dispositif Wenner

Il est réalisé en écartant progressivement les électrodes A et B selon les distances déjà consignées dans la feuille de mesure.

Au fur et à mesure que l'on écarte les électrodes d'injection, les lignes de courant pénètrent de plus en plus dans le sous-sol et un volume de terrain de plus en plus grand sera pris par la mesure.

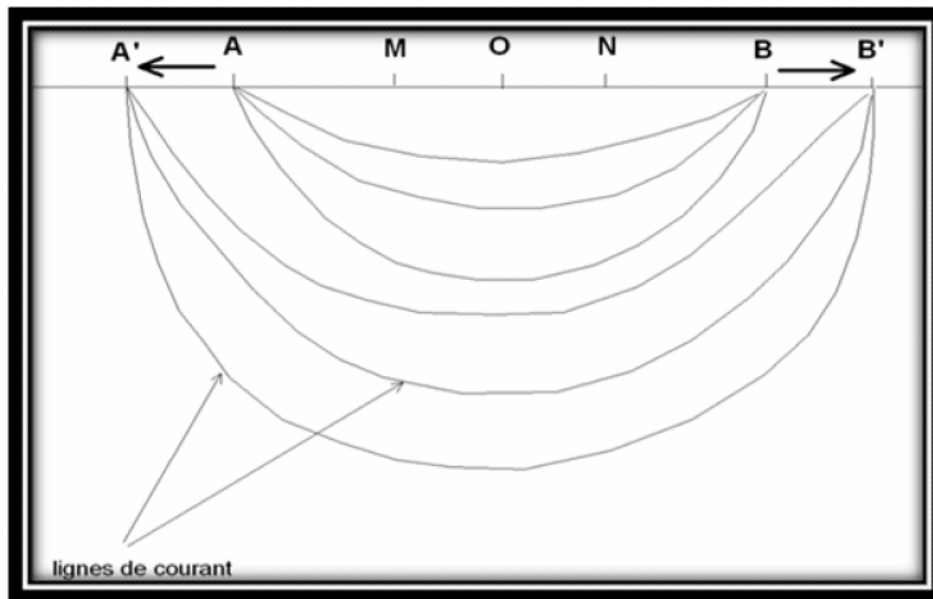


Figure 10: Schéma de la prise de mesure

2.2.2.3- Panneau électrique

2.2.2.3.1- Principes

Le panneau électrique consiste en une combinaison de sondages et de traînés électriques autorisant simultanément une exploration verticale et latérale du sous sol.

Pratiquement, on dispose sur le sol un réseau rectiligne d'électrodes régulièrement espacées et on mesure systématiquement l'ensemble des quadripôles possibles. Les électrodes, dont le nombre varie entre 12 et 128, présentent un espacement régulier compris entre 1 à 5 m. Le réseau d'électrodes est piloté par un système de mesure ou un programme, qui fait varier automatiquement la géométrie d'un quadripôle selon une séquence construite en fonction de la profondeur d'investigation souhaitée. Ce quadripôle comprend 2 électrodes d'injection de courant (intensité I connue) et 2 électrodes de mesure du potentiel V , induit dans le sol par l'injection de I .

2.2.2.3.2- Mise en œuvre

Le dispositif utilisé en panneau électrique est le dispositif de Wenner car il faut que les distances entre les électrodes soit le même. Le panneau électrique exige l'utilisation du dispositif multi électrode comme dispositif de base. Soit " a " la distance entre deux électrodes

consécutives. Chaque électrode est utilisée comme électrode d'injection du courant puis électrode de potentiel.

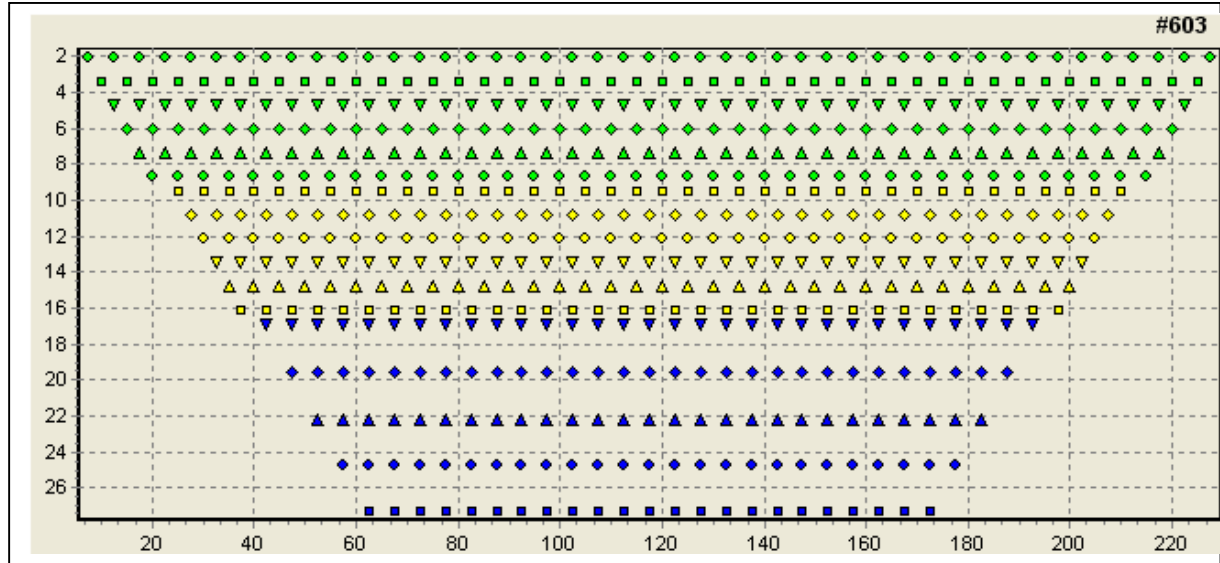


Figure 11: Disposition des électrodes lors de l'acquisition

Soit "na" la distance inter électrode où n est le niveau d'acquisition des mesures qui s'incrémente de 1 à $(N-2)/3$, si le nombre d'électrode total N est égal à un multiple de 3 plus 2.

Pour le premier niveau d'acquisition, la distance inter- électrode est égale à a. La première mesure du fichier d'acquisition va se faire d'abord à l'aide des électrodes 1, 2, 3 et 4 ; les électrodes 1 et 4 sont utilisées comme électrodes d'injection de courant et les 2 et 3 à la mesure du potentiel. Tout le dispositif va ensuite se déplacer d'une distance a. Les électrodes 2 et 5 serviront alors d'injection du courant et les 3 et 4 de mesure du potentiel. Le processus se répète jusqu'à l'électrode 32. Ce qui fait qu'on a 29 points de mesure pour le premier niveau d'acquisition. Comme on a intérêt à garder une distance constante entre les électrodes, on va donc prendre une distance inter- électrode égale à 2a. La première mesure pour le deuxième niveau s'effectue alors avec l'électrode 1, 3, 5 et 7. Les mêmes opérations se répètent alors jusqu'à l'électrode 32. Ainsi on effectue les mesures de chaque niveau d'acquisition. Ici il existe 10 niveaux pour 32 électrodes en dispositif Wenner. Il est clair donc

que plus la distance inter-électrode augmente, plus la profondeur d'investigation augmente, plus le nombre de mesure sur le niveau diminue. Au niveau 10, il n'existe que deux points de mesure. Le nombre total de points de mesures est donc de 155.

2.2.2.4 - Principe d'équivalence

Une couche résistance est intercalée entre deux couches conductrices. $\rho_2 \gg \rho_1, \rho_3$

La fonction $\rho_a (AB/2)$ varie peu quand ρ_2 et h_2 varient de façon que la résistance transversale $2.h_2$ reste constante et que h_2/ρ_2 reste petit par rapport à h_1/ρ_1 et h_3/ρ_3 .

Une couche conductrice intercalée entre deux couches résistantes. $\rho_2 < \rho_1, \rho_3$

La fonction $\rho_a (AB/2)$ varie peu quand ρ_2 et h_2 varient de façon que la conductivité horizontale h_2/ρ_2 reste constante et que $2.h_2$ reste petit par rapport à $1.h_1$ et $3.h_3$.

Ces résultats ont pour conséquence que, si lors de l'interprétation on trouve une situation de ce type alors le paramètre significatif est la résistance transversale ou la conductivité horizontale, et non l'épaisseur ou la résistivité du tendeur intercalé. Et ainsi on ne peut déterminer ρ_2 indépendamment de h_2 .

2.2.2.5- Principe de suppression :

Si ρ_2 est intermédiaire entre ρ_1 et ρ_3 et que l'épaisseur h_2 n'est pas très grande, l'effet de ce terrain sera négligeable. En particulier ce cas peut se rencontrer en hydrogéologie quand on cherche à mettre en évidence une nappe phréatique située au dessus d'un terrain très conducteur.

2.2.2.6-Matériels d'acquisition et traitement des données

2.2.2.6.1-Matériels utilisés

On a utilisé lors de cette campagne de prospection géophysique le système de résistivimètre de l'Iris Instruments, SYSCAL R2 avec ses accessoires, composés de :

- fils électriques
- quatre électrodes
- marteaux

En outre, de matériels de localisation comme le GPS et les boussoles ont été utilisés

Caractéristique de résistivimètre

- tension de sortie de 800Volts (1600V crête à crête)
- courant de sortie maximum jusqu'à 2.5A
- puissance de sortie maximum de 600Watts
- impédance d'entrée de 10M
- gamme de tension d'entrée de -5 à +5V
 - un convertisseur (courant continu – courant continu)
 - une feuille de mesure pour l'enregistrement des résultats
 - une batterie GM de 12Vqui alimente le convertisseur DC/DC de 250Watts

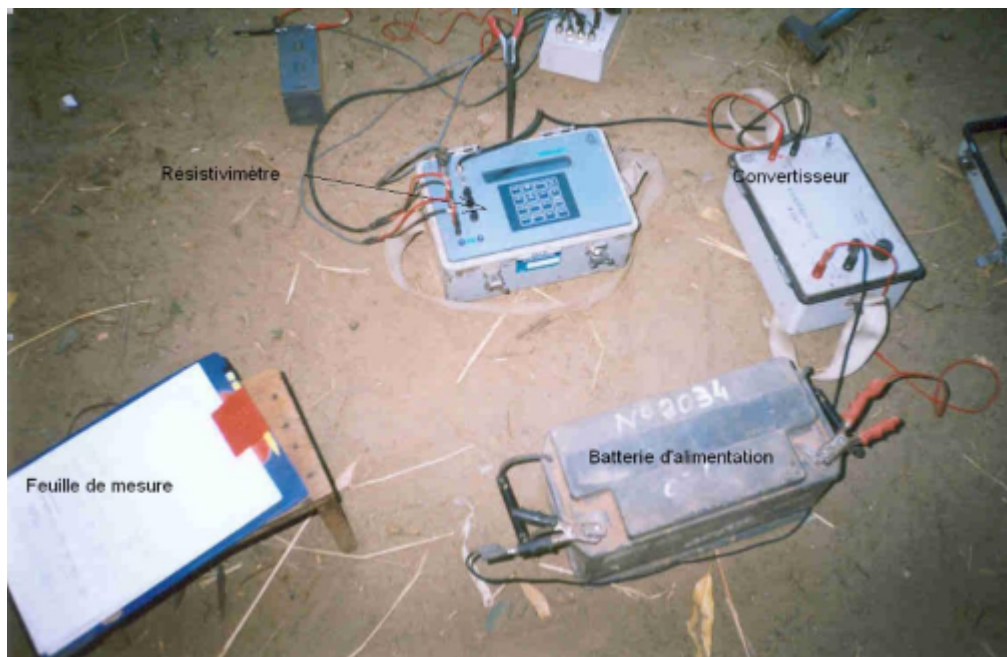


Figure12 : Syscal R2

2.2.2.6.2- Traitement

Le traitement de mesure de sondage se fait par le logiciel QWSEL ou WINSEV. On saisie les mesures sur terrain et on choisit le dispositif de mesure comme dispositif Wenner dans le logiciel. On donne un modèle comme modèle tabulaire. Puis, on fait entrer le modèle que vous avez en tenant compte de la géologie en saisissant le nombre de couche, la résistivité pour chaque couche et l'épaisseur de chaque couche. Enfin le logiciel fait le calcul pour donner le modèle de terrain correspondant.

On a utilisé le programme d'inversion RES2DINV qui sert à donner un modèle géologique du terrain mesuré. La méthode d'inversion utilisée par le programme est basée sur la méthode des moindres carrés, en utilisant la méthode de différence finie pour le calcul de la résistivité. Elle utilise la méthode de lissage par contrainte pour déterminer le modèle approximatif.

Tenant compte des points expérimentaux, le RES2DINV subdivise le modèle 2D en blocs rectangulaires dont la taille augmente avec la profondeur, à cause de la perte de résolution de la méthode électrique. A l'intérieur de chacun de ces blocs, le logiciel attribue une valeur de résistivité apparente calculée à partir des points de mesure

Grâce à la méthode itérative, le logiciel essaie de réduire la différence entre les valeurs calculées et mesurées de résistivité apparente en ajustant la résistivité vraie de chaque bloc. Une mesure de cette différence est donnée par l'erreur RMS. En général, le modèle le plus fiable est habituellement obtenu après 4 à 6 itérations.

En ce qui concerne la méthode itérative, le logiciel RES2DINV calcule, à l'aide d'une matrice de dérivée partielle, la valeur de résistivité vraie de chaque bloc.

Pour cette opération, les premières valeurs qu'il introduit dans cette matrice sont les valeurs apparentes qui lui permettent de donner un premier modèle approximatif. A partir de ce modèle, il injecte un courant fictif et recalcule les valeurs apparentes. Il compare ensuite cette coupe de résistivité apparente avec celle qui a été dessinée à l'aide des valeurs mesurées (La comparaison lui permet de corriger la matrice et de recalculer un modèle plus précis. Il en est de même pour la chargeabilité.

PARTIE3

INTERPRETATIONS ET RESULTATS

Dans cette partie nous allons voir l'interprétation et les résultats des travaux effectués sur la photographie aérienne, la salinité de l'eau, les sondages électriques, et les panneaux électriques

3.1- Photographie aérienne

On observe à l'aide du stéréoscope la limite des trois formations superficielles existantes dans la zone d'étude la formation dunaire que nous nommons (d1 et d2), la carapace calcaire (cc), la carapace sableuse (ac). On identifie aussi qu'il existe plusieurs intrusions de formation quartzite dans la zone d'étude qui sont de couleur blanc dans la photographie aérienne. On identifie aussi les linéaments qui sont représentés en ligne rouge sur la photographie. L'écoulement est représenté en ligne verte sur la photo qui est de direction Nord –Est au Sud-Ouest.

Voici donc l'exemple de la photographie aérienne de la zone Salary Sud :



*Figure13 : Carte photo interprétée de Salary Sud
(Source : FTM)*

3.2- Hydrogéologie de la zone

D'abord nous avons ce tableau qui montre la relation de conductivité et la salinité de l'eau.

CONDUCTIVITE (en $\mu\text{m} / \text{cm}$)	OBSERVATION
Inférieur ou égale à 1000	Eau douce
Entre 1000 et 5000	Eau saumâtre
Supérieur à 5000	Eau salée

D'après les résultats de mesures de conductivité dans les puits suivants nous avons ce tableau :

Village	Puits	Latitude	longitude	CE	Ph	T°	Observation
Salary Nord	Salary N_P1	22°33'27.7"	43°17'54.2"	4680	7.3	26.6°	saumâtre
	Salary N_P2	22°32'45.0"	43°17'23.6"	1250	7.2	29.8°	douce
	Salary N_P3	22°33'47.4"	43°17'25.0"	3540	8.01	25.1°	saumâtre
	Salary N_P4	22°33'43.5"	43°17'20.8"	6140	7.71	25.5°	salée
	Salary N_P5	22°33'35.4"	43°17'22.8"	6870	7.53	27°	salée
	Salary N_P6	22°33'35.3"	43°17'23.1"	8750	7.4	26.4°	salée
Salary Sud	Salary S_P1	22°34'49.1"	43°17'24.7"	6320	7.83	23.8°	salée
	Salary S_P2	22°33'34.9"	43°17'30.5"	3500	7.53	27.9°	saumâtre
Tsandamba	Tsandamba P1	22°41'55.0"	43°20'06.5"	4570	7.66	27.5°	saumâtre
	Tsandamba P2	22°41'53.0"	43°20'05.6"	1380	7.94	29.8°	douce
	Tsandamba P3	23°03'06.9"	43°19'43.6"	9490	7.81	25.6°	salée
	Tsandamba P4	23°41'26.0"	43°20'03.2"	1111	7.54	25.4°	douce
Ankaramifoka	AnkaramifokaP1	22°38'04.4"	43°18'24.0"	12140	7.54	25.3°	salée
Ankazoberavina	Ankazoberavina	22°36'40.1"	43°18'07.0"	1180	8.8	25°	douce
Tsifota	Tsifota P_1	22°49'28.0"	43°22'01.6"	11330	7.4	26.5°	salée
	Tsifota P_2	22°49'21.2"	43°22'57.5"	5050	7.31	26.5°	salée
	Tsifota P_3	22°49'21.2"	43°22'56.6"	8700	8.55	28.5°	salée
Fiserenamasay	Fiserenamasay P_1	22°54'02.2"	43°26'10.6"	1110	7.92	24.2°	douce

L'eau saumâtre est utilisable mais l'eau salée ne peut pas être utilisé sauf en cas spécial.

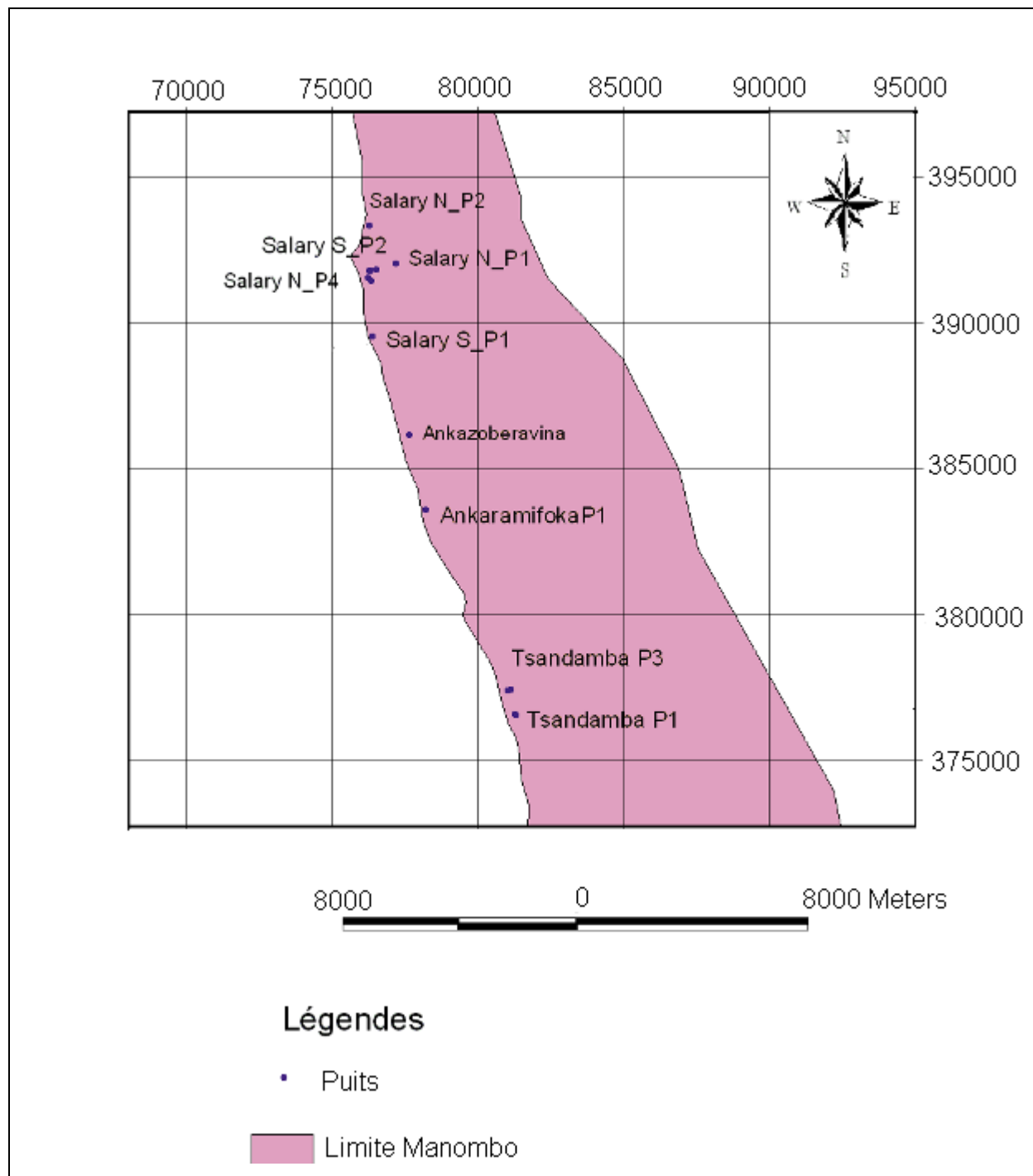


Figure14 : Carte d'implantation des puits

3.3-Sondage électrique

C'est une technique d'investigation verticale du sous sol. Elle donne à la verticale du point de mesure la distribution des résistivités. On utilise le dispositif de Wenner dont les quatre électrodes sont à équidistant et alignés.

Les données sont représentées sur un papier bilogarithmique qui est traités par le logiciel Winsev ou qwsiel dont la distance $AB/2$ en abscisse et la résistivité apparente en ordonnée.

Cela nous donne une courbe de sondage électrique qui nous indique le nombre de terrain traversé par le nombre de point d'inflexion de la courbe, la résistivité vrai et l'épaisseur de chaque couche en utilisant des abaques. La ligne tirée par le sondage pour chaque site est supérieure à 450m qui donne une profondeur d'investigation AB/10 supérieur à 45 m.

3.3.1-Sondage Salary Nord

Le village le plus localisé au Nord. Le centre du village est localisé géographiquement à la latitude 22°33'44.8'' et à la longitude 43°17'15.3'', selon le système de coordonnées WGS 84. Une plaine alluviale qui a été aménagée en terrain d'aviation se trouve juste à l'Est du village. La majorité des cases est implanté sur la dune côtière.

La population utilise les puits Salary N_P3, Salary N_P4 et Salary N_P5 donnant des eaux saumâtres. Et l'hôtel s'alimente à partir de puits Salary N_P2.

La plaine côtière s'étend sur 5,2 km à l'Est du village. L'eau qu'on a testé dans l'aven est encore saumâtre, ce qui signifie que l'influence de la mer arrive jusqu'au niveau de cet aven.

La partie Est de la plaine est couverte de sable roux. Ces dépôts sableux surmontent le complexe de calcaire éocène. Les sables et les calcaires sont tous de bon aquifère. Mais son alimentation reste encore à définir.

La prospection géophysique, quatre (04) sondages électriques verticaux et trois (03) panneaux électriques, a été réalisée sur ce site.

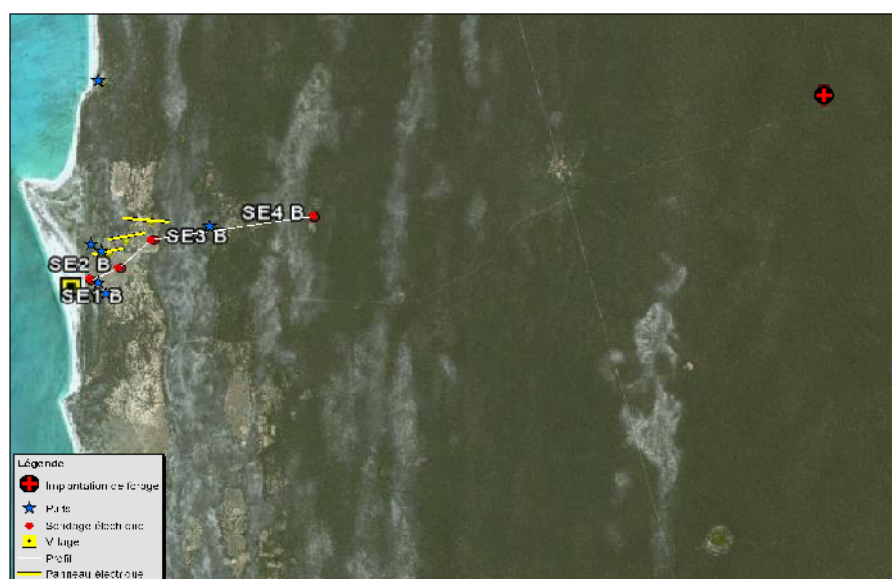


Figure15 : Plan de masse, Salary Nord

Le premier sondage SE1_B a été implanté juste à côté du puits Salary N_P4, pour étalonner les sondages électriques à faire dans cette zone.

La coupe a montré que plus on pénètre en profondeur plus la valeur de la résistivité électrique diminue, ce qui signifie que les différentes couches formant le sous-sol sont poreuses et elles sont saturées de l'eau salée de la mer

Nous avons obtenus cette courbe de sondage ci-dessous :

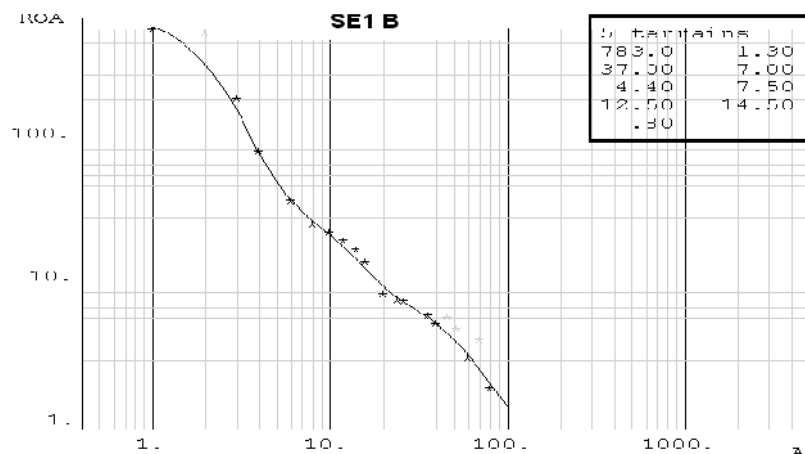


Figure 16 : Courbe de sondage SE1B

La coupe géoélectrique montre la succession des cinq (05) terrains:

- le premier terrain résistant, formé de sable,
- le deuxième terrain faiblement résistant qui indique la présence de la nappe d'eau saumâtre flottant sur l'eau plus ou moins saumâtre,
- le troisième terrain moyennement conducteur représentant l'aquifère contenant de l'eau salé,
- le quatrième terrain faiblement conducteur qui est formé probablement de l'argile et il constitue la base de la première nappe d'eau,
- le substratum conducteur de valeur de résistivité électrique inférieure à $1 \Omega m$ qui est formé d'un aquifère saturée d'eau salée.

Les Sondages et les panneaux ont tous rencontrée la formation conductrice sous-jacente.

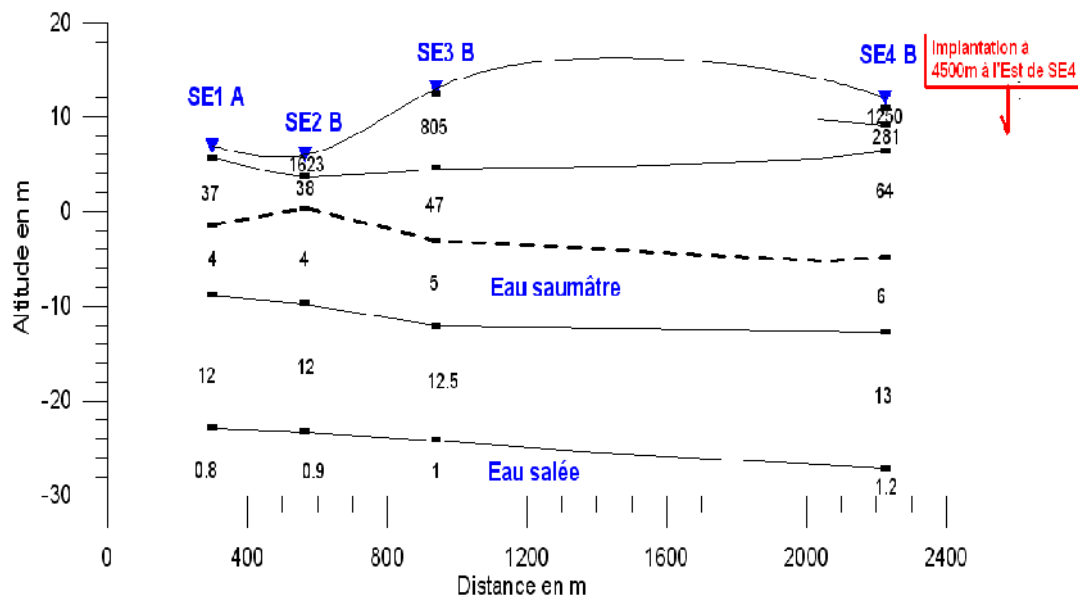


Figure 17 : Coupe géoélectriques Salary Nord

Le substratum conducteur indique la présence de l'eau salée ou saumâtre. Le point d'exploitation d'eau souterraine proposé doit se localiser à l'Est du dernier point SE4_B.

Les panneaux électriques donnent l'imagerie en résistivité électrique du sous sol. Plus on éloigne le bord de la mer plus la formation conductrice disparaît. Le panneau 3 qui a été implanté à 0,9km du bord a encore rencontré la formation conductrice, aquifère saturé d'eau saumâtre, à 19m de profondeur. On doit alors implanter au-delà, à l'Est, de ce dernier point d'implantation de panneau électrique.

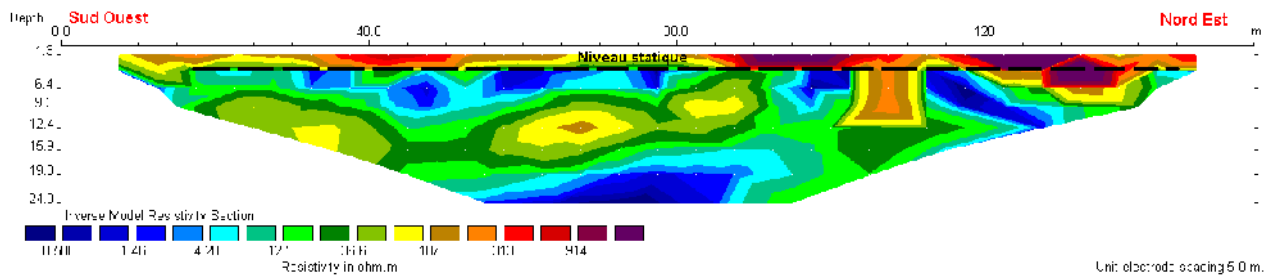


Figure 17a : Coupe géoélectrique du panneau 1, Salary Nord

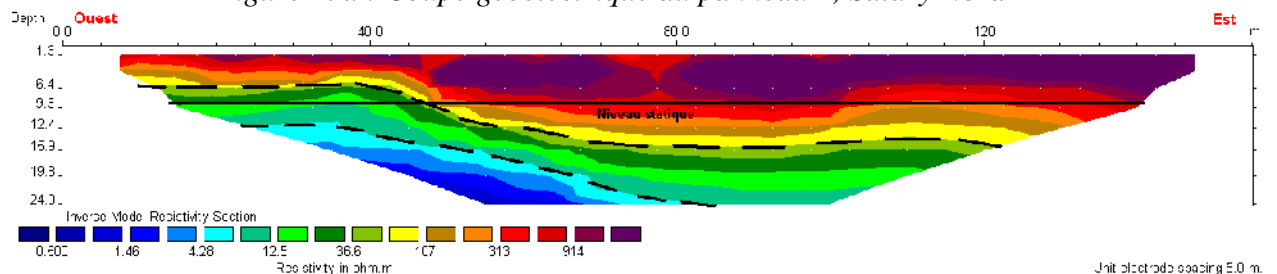


Figure 17b : Coupe géoélectrique du panneau 2, Salary Nord

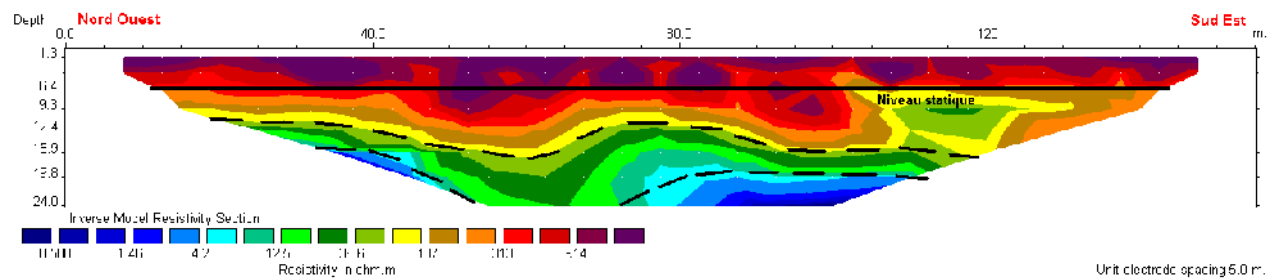


Figure 17c : Coupe géoélectrique du panneau 3, Salary Nord

L'observation de la photographie aérienne et la prospection géophysique nous ont conduit à proposer le point d'exploitation d'eau souterraine dans la partie couverte de sable roux, à l'est de la plaine côtière.

Le point proposé est en dehors de l'influence marine, la nappe y est puissante si on se réfère aux coupes géoélectriques réalisées dans la zone où l'unité géologique y est semblable.

Après compilation de toutes les données disponibles, le point d'implantation de forage d'exploitation d'eau souterraine proposé pour le village de Salary Nord est localisé géographiquement à la latitude 22°32'51.8'' et à la longitude 43°20'49.6''. Il se trouve à 6,3km au Nord Est de centre du village Salary Nord. La formation constituant la nappe se trouve à 55m de profondeur.

3.3.2-Sondage Salary Sud

Le village de Salary Sud est situé à 2km au Sud du premier village. Il est localisé géographiquement à la latitude 22°34'47.9'' et à la longitude 43°17'21.7''. C'est un grand village.

Les cases d'habitation longent le bord de la mer du Nord au Sud. L'école, le marché et le dispensaire sont situés sur le plateau se trouvant à l'Est du village.

La photographie aérienne a mis en évidence un linéament de direction Nord Est Sud Ouest, passant à l'Est du village. Cependant, la présence d'un salinier, à 5,150 km au Sud Est du village, nous a conduits à élargir beaucoup plus notre zone d'action vers les forêts des Mikea.

Quatre (04) sondages électriques et deux (02) panneaux électriques ont été implantés à l'Est du centre de village. Le premier sondage étalon, SE1_C, est implanté à côté de puits Salary

S_P1. Un sondage SE4_C a été implanté à 6,540km du village et les deux autres sur la plaine située à l'Est du village.

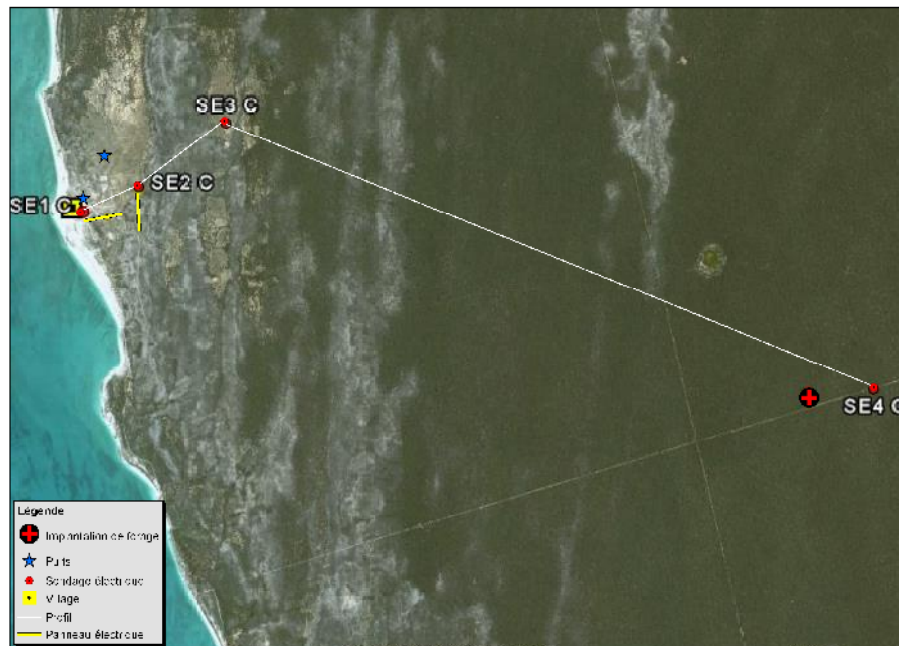


Figure18 : Plan de masse Salary Sud

La coupe géoélectrique élaborée à partir des quatre (04) sondages, nous a donné la succession de terrain suivant :

- la couverture superficielle, sableuse, de valeur de résistivité électrique différente,
- le deuxième terrain est formé d'une couche résistante, sa valeur de résistivité électrique est différente d'un point à un autre, ce qui marque la variation latérale de structure en allant d'Ouest en Est,
- le troisième terrain faiblement conducteur marque la présence de l'eau, sa valeur de résistivité électrique augmente en allant vers l'Est et l'eau est de moins en moins saumâtre d'Est en Ouest et le biseau eau salée eau douce plonge en profondeur,
- le quatrième terrain est formé d'une couche de valeur de résistivité électrique variant entre $9.5\Omega\text{m}$ et $18\Omega\text{m}$, il est constitué d'argile et la formation plonge en profondeur en allant vers l'Est
- le cinquième terrain de valeur de résistivité électrique moyenne $5\Omega\text{m}$ présente l'aquifère imbibé d'eau saumâtre.
- le substratum conducteur termine la succession, c'est un aquifère imbibé d'eau salée.

La variation de la valeur de résistivité d'eau saumâtre qui flotte sur l'eau de mer salée est bien visible sur le troisième et cinquième terrain. L'augmentation de la valeur de résistivité électrique du troisième terrain, en allant vers l'Est, montre la diminution de l'influence de l'eau de mer sur la nappe d'eau souterraine.

En suivant la variation de la valeur de la résistivité électrique et celle de la pente du toit de la formation représentant l'argile, le mélange eau de mer et eau souterraine douce s'arrêterait à environ 4,4km du bord de la mer. Le sondage SE4_C confirme qu'il n'a pas rencontré la formation conductrice même que sa profondeur d'investigation a atteint plus de 60m.

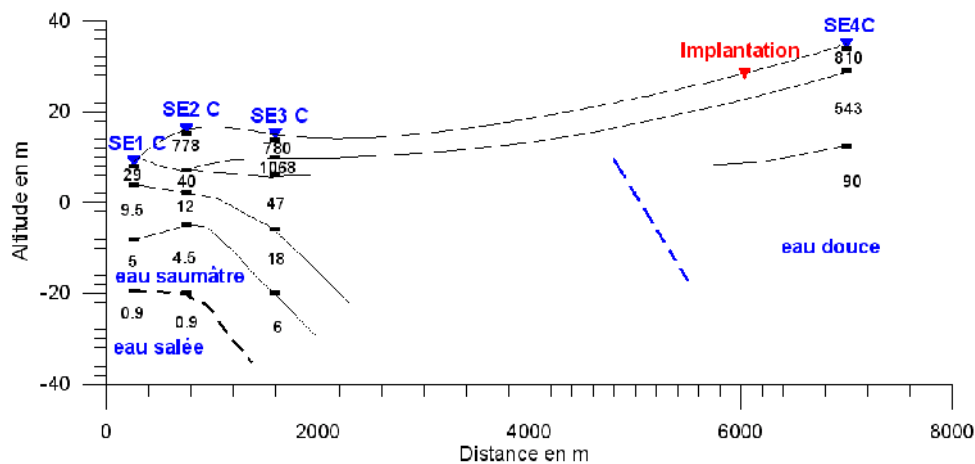


Figure 19 : Coupe géoelectrique Salary Sud

Hydrogéologiquement, la fracture est une zone de drainage rapide. L'eau est beaucoup plus en quantité à l'intérieur de cette structure. Elle est alors intéressante à l'implantation de point d'exploitation d'eau souterraine.

Les deux panneaux électriques ont été utilisés pour la localisation du lieu de passage du linéament observé sur la photographie aérienne et pour la suivie de l'intrusion d'eau salée le long de ce linéament.

Le premier panneau a rencontré une zone résistante entre l'abscisse 90m et 105m, c'est le lieu de passage du linéament.

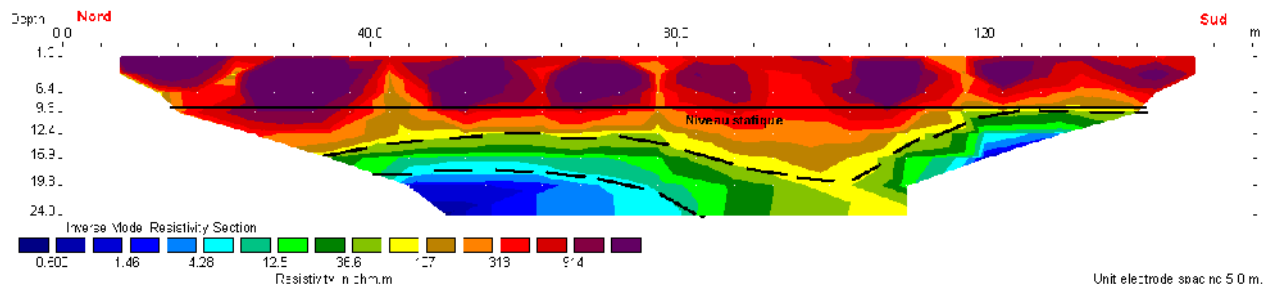


Figure 19a : Coupe géoélectrique du panneau 1, Salary Sud

Le deuxième panneau qui a été installé perpendiculairement au premier, a montré que la formation conductrice ne marque aucune variation significative, ce qui indique que la zone est encore à l'intérieure de la zone d'invasion, et non pas dans la zone de transition.

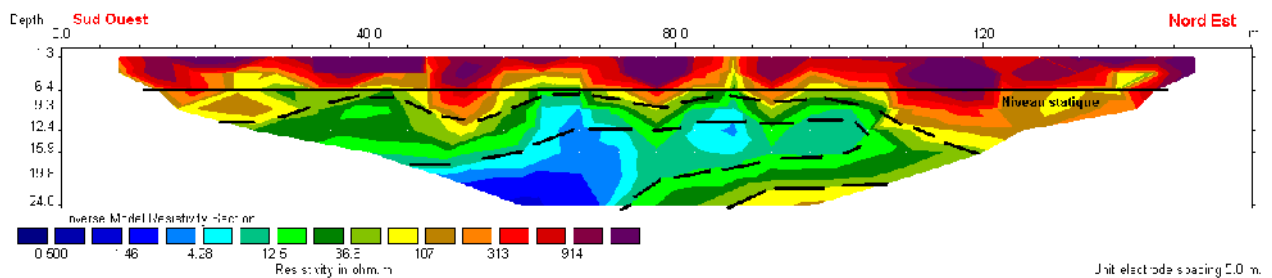


Figure 19b : Coupe géoélectrique du panneau 2, Salary Sud

Le lieu d'exploitation d'eau souterraine est situé à l'extérieur, à l'Est, de la plaine côtière qui est limitée par le lac salé. L'observation de la photographie aérienne appuyée par la prospection géophysique a indiqué le point favorable à l'implantation de forage d'exploitation d'eau souterraine. Le point est localisé géographiquement à la latitude $22^{\circ}35'38.0''$ et à la longitude $43^{\circ}20'47.1''$. Le point est situé à 6km à l'Est du village Salary Sud. La formation cible, la nappe d'eau souterraine se trouve à 21m de profondeur.

3.3.3- Sondage Ankaramifoka

C'est un village de pêcheur, localisé à mi-chemin entre Salary et Tsandamba. Il fait partie du quartier de Salary Sud, administrativement. Il est localisé à la latitude $22^{\circ}38'04.6''$ et à la longitude $43^{\circ}18'24.6''$.

La population s'alimente en eau à partir d'un puits situé au centre du village. L'eau est complètement salée à l'intérieur de ce puits.

La photo-interprétation nous a permis de délimiter les différentes entités géologiques, et surtout l'étendue de la plaine côtière.

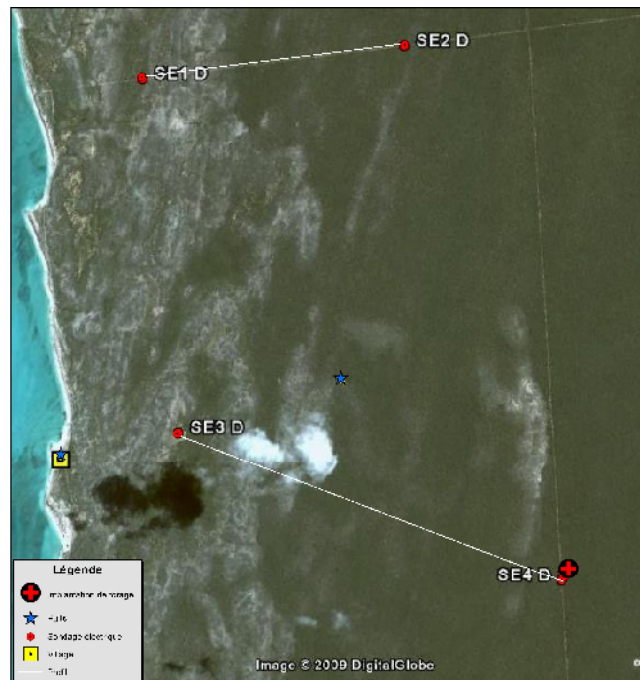


Figure 20 : Plan de masse, Ankaramifoka

A défaut de piste d'accès vers l'Est, même le sentier à pied, l'équipe a utilisée l'ancien layon des pétroliers se trouvant à 4km au Nord du village pour implanter les sondages électrique, SE1_D et SE2_D.

Les deux sondages ont rencontré des formations conductrices en profondeur, même que SE2_D a été implanté à 3,2km du bord de la mer.

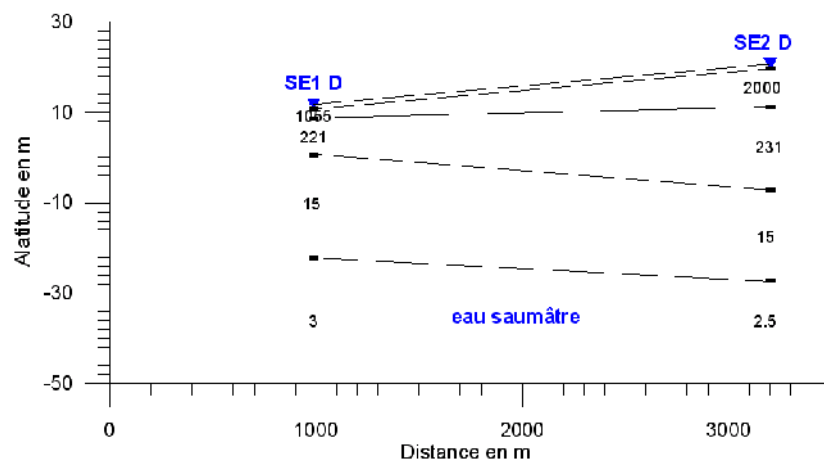


Figure 20a : Coupe géoélectrique a, Ankaramifoka

Deux autres sondages électriques ont été implantés sur l'axe Ouest Est passant au village. Le premier sondage a encore touché la formation conductrice. Le second sondage étalé au niveau à l'Est du layon, situé à 4,34km à l'Est du village s'est stabilisé à une valeur de résistivité électrique supérieure à 90 Ω m.

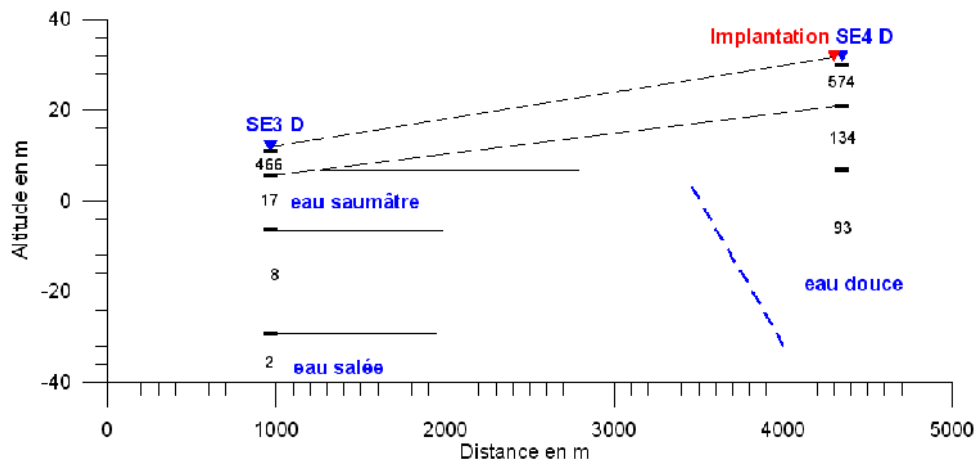


Figure 20b : Coupe géoélectrique b, Ankaramifoka

Les différentes formations constituant le sous sol sont poreuses, donc bon aquifère. Les quatre sondages réalisés sur le lieu nous a permis de délimiter l'intrusion d'eau salée marine vers la terre ferme. La séparation est en pente douce et elle pénètre jusqu'à 4,1km à l'Est du village d'Ankaramifoka.

Le point favorable à l'implantation de forage d'exploitation d'eau pour la zone d'Ankaramifoka est localisé à la latitude 22°38'13.1'' et à la longitude 43°20'55.7''. Il se trouve au niveau du point de sondage électrique SE4_D. Le lieu d'exploitation de l'eau souterraine est situé à 4,34km à l'Est du village. La profondeur de la formation constituant la nappe d'eau souterraine est évaluée à 25m.

3.3.4- Sondage Fierenamasay

C'est le village le plus au Sud de notre zone d'intervention, durant cette campagne de mesure. Le village est localisé à la latitude 22°54'05.0'' et à la longitude 43°25'05.4''. Ce site est différent des six autres. Il est caractérisé par la présence des plaines alluviales et plusieurs lacs salés. Le lac le plus proche se trouve à 2km à l'Est du village.

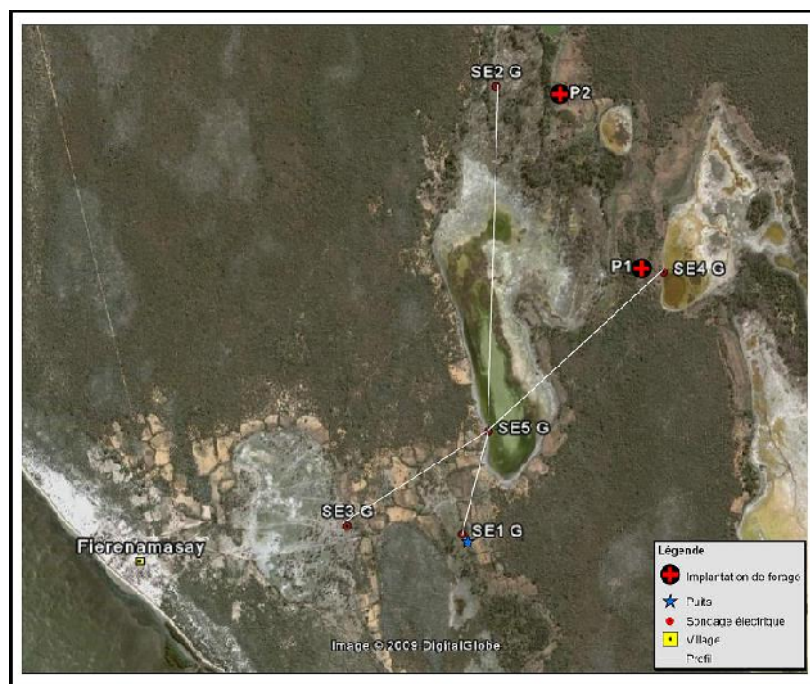


Figure 21 : Plan de masse, Fierenamasay

Cinq sondages électriques (05) ont été implantés sur la plaine alluviale, à l'Est du village. Deux coupes de direction Sud Nord et Ouest Est ont été élaborées à partir de ces sondages.

La coupe de direction Ouest Est a mis en évidence la succession trois terrains. Le substratum est conducteur pour le sondage SE3_G, le sondage le plus proche de la mer. Il est faiblement conducteur sous SE5_G et il est faiblement résistant sous SE4_G.

On note également la présence d'une formation de valeur de résistivité électrique moyenne 9 Ωm . Elle est formée probablement de l'argile.

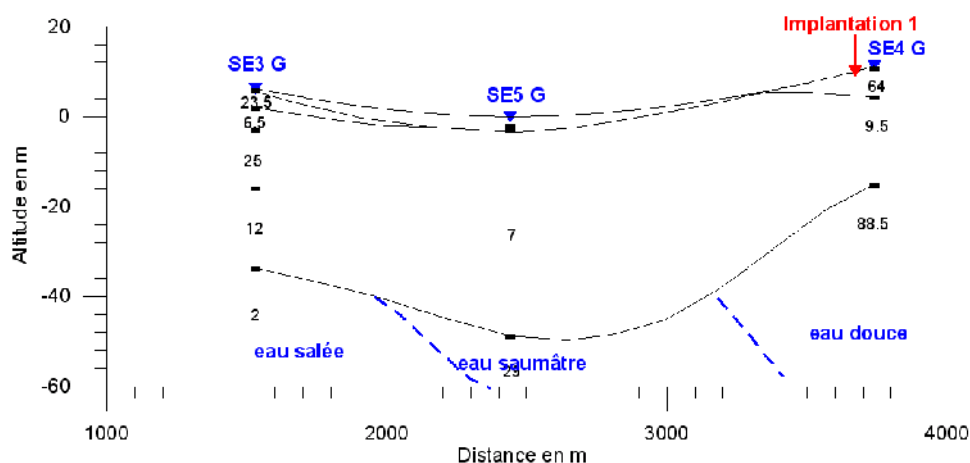


Figure 21a : Coupe géoélectrique a, Fierenamasay

La deuxième coupe constituée par SE1_G, SE5_G et SE2_G a montré la présence de trois terrains. La coupe est marquée par la discontinuité du deuxième terrain.

L'influence de l'eau de mer n'est plus visible au Nord de cette discontinuité.

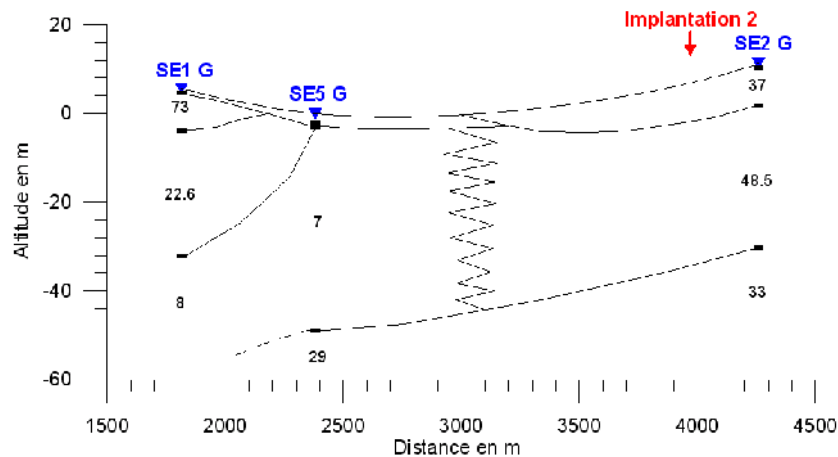


Figure 21b : Coupe géoélectrique b, Fierenamasay

La prospection réalisée aux environs de ce site nous a conduits à la proposition des deux points d'exploitation d'eau souterraine

P1 se trouve à la latitude 22°53'14.6'' et à la longitude 43°26'42.1'' soit à 3,4km à l'Est du village. Il est préférable de capter la deuxième nappe qui se trouve à plus de 25m de profondeur. C'est une nappe captive.

P2 est localisé à la latitude 22°52'43.8'' et à la longitude 43°26'26.6'', à 3km au nord Est du village. La nappe est à moins de 1m de profondeur. Ce point est beaucoup plus facile à exploiter que le premier, mais sa nappe est exposée à la contamination de surface

3.3.5- Sondage Tampolo

C'est un nouveau village, qui est en train de se développer actuellement. Il est situé à environ 3km au Nord de Tsandamba. Le village est localisé géographiquement à la latitude 22°39'29.4'' et à la longitude 43°19'03.1''.

Une mare, qui est sèche pendant l'étiage, se trouve au Sud Est du village. Le calcaire affleure juste à l'Est de ce bassin.

Un sondage électrique a été implanté sur ce bassin, à 400m du bord de la mer, dans le but de reconnaître la succession des formations sous-jacente. La valeur obtenue n'a pas dépassé la barre de 7 Ω m. Ce qui signifie que le point de sondage est sur le lieu d'intrusion d'eau de mer.

Trois (03) sondages électriques ont été implantés à l'Est du village. Ils ont donné la coupe géoélectrique montrant l'évolution de la qualité de l'eau et de la lithologie du sous sol.

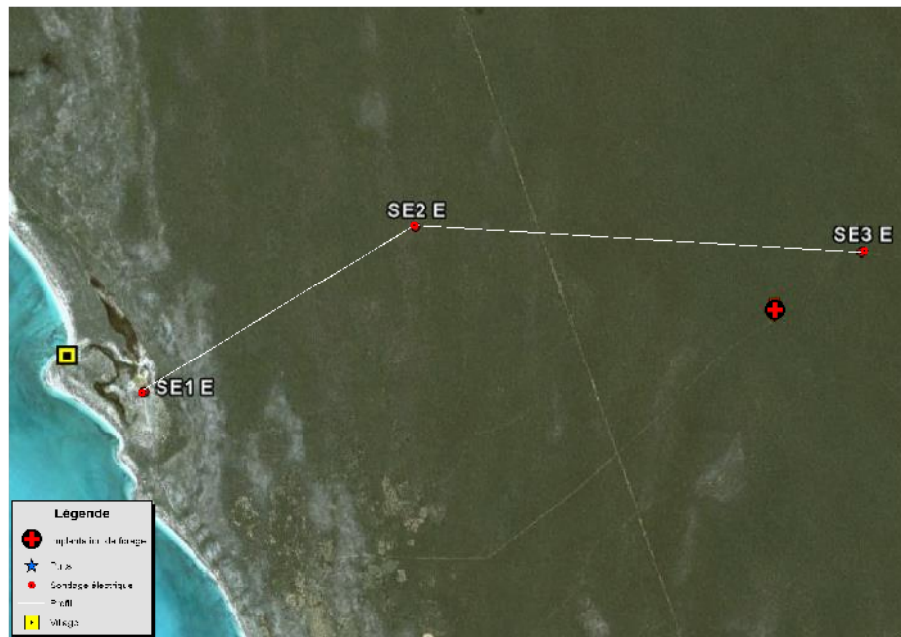


Figure 22 : Plan de masse, Tampolo

La coupe montre que l'invasion de l'eau salée s'arrête entre les deux points de sondages électriques SE2_E et SE3_E. Les deux sondages SE1_E et SE2_E ont rencontrée une formation de valeur de résistivité électrique moyenne 10 Ω m, qui est constituée d'argile. Cette dernière forme la base « le mur » de la première nappe d'eau qui est saumâtre au niveau de la plaine côtière. En outre, le sondage SE3_E a rencontré une formation faiblement résistante qui est constituée de l'aquifère saturé d'eau douce à 22m de profondeur

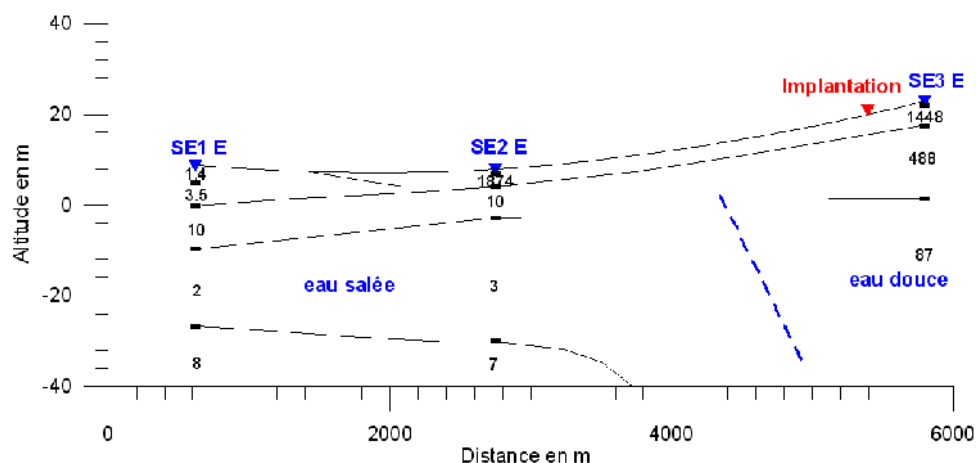


Figure 23 : Coupe géoélectrique, Tampolo

Le point favorable à l'exploitation d'eau souterraine est localisé à la latitude 22°40'11.1'' et à la longitude 43°22'17.9''. Il se trouve à 5,2km du village de Tampolo

3.3.6-Sondage Tsandamba

C'est l'un des grands villages de la zone étudiée. La population s'alimente en eau à partir des quatre (04) puits qui sont tous de l'eau salée, à l'exception d'un qui est moins profond et où des récipients font la queue pour l'attente de l'infiltration de la flotte d'eau douce.

Le centre du village est localisé à la latitude 22°41'42.5'' et à la longitude 43°20'02.6''. Six sondages électriques ont été implantés aux environs de ce village. Le dernier sondage SE6_A a été implanté à 8,3km à l'Est du village, sur le layon des pétroliers, sur le plateau de sable roux des forêts de Mikea.



Figure 24: Plan de masse, Tsandamba

SE6_A et SE5_A n'ont pas rencontré la formation conductrice sous-jacente, affectée par l'eau salée de la mer.

La coupe réalisée à partir des six (06) sondages a mis en évidence la variation de la structure en allant vers l'Est.

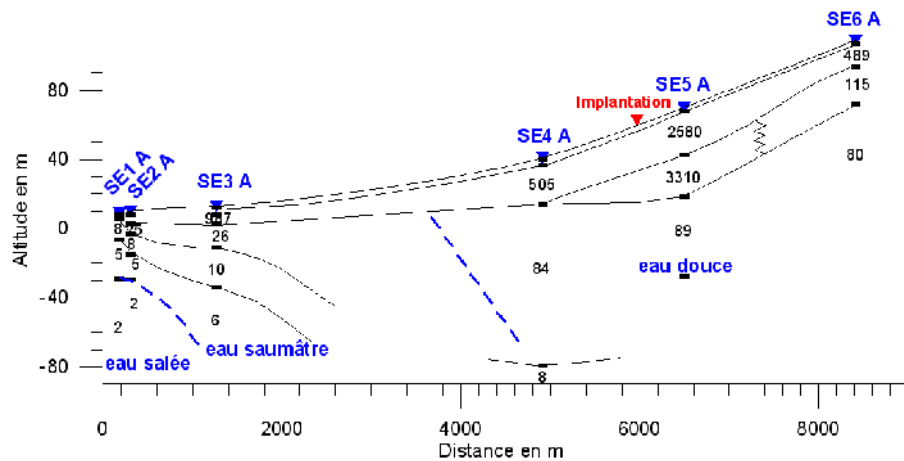


Figure 25 : Coupe géoélectrique, Tsandamba

Le sondage SE4_A a rencontré la formation conductrice qui est constituée soit de l'argile soit de l'aquifère imbibé d'eau salée, à plus de 60m de profondeur.

Le point d'exploitation d'eau souterraine proposé est localisé à la latitude 22°41'13.1'' et à la longitude 43°23'24.7'', entre les deux points de sondage SE4_A et SE5_A. Le point se trouve à 5810m du village. Le toit de l'aquifère est situé à 45m de profondeur, et la nappe d'eau a une puissance moyenne de 40m.

Cette courbe montre quatre terrains dont :

- Une couche superficielle très résistant de résistivité 6641 $\Omega \cdot m$ d'épaisseur 2.1m
- Une couche très résistant de résistivité 2550 $\Omega \cdot m$ d'épaisseur 45m
- Une couche très résistant de résistivité 1300 $\Omega \cdot m$ d'épaisseur 40m
- Une couche résistant de résistivité 146 $\Omega \cdot m$

3.3.7- Sondage Tsifota

Le village est localisé à la latitude 22°49'28.5'' et à la longitude 43°21'54.0''. C'est un village de pêcheur. La population locale s'alimente en eau à partir des deux puits donnant de l'eau salée à valeur de conductivité électrique supérieure à 5000 μS . Le puits produisant de l'eau à conductivité électrique 5050 μS se trouve à 2km à l'Est du village et il est encore atteint par l'intrusion d'eau salée.



Figure 26: Plan de masse, Tsifota

Les calcaires affleurent à l'Est du village. Juste à l'Est de ces calcaires que la couverture sableuse commence.

Trois sondages électriques atteignant chacun plus de 60m de profondeur d'investigation et un panneau électrique ont été étalés à l'Est du village. La coupe réalisée à partir des trois sondages montre la variation latérale de la formation en résistivité électrique. SE3_F, le sondage plus à l'Est n'a pas rencontré la formation conductrice. La fin du biseau est alors située entre SE2_F et SE3_F.

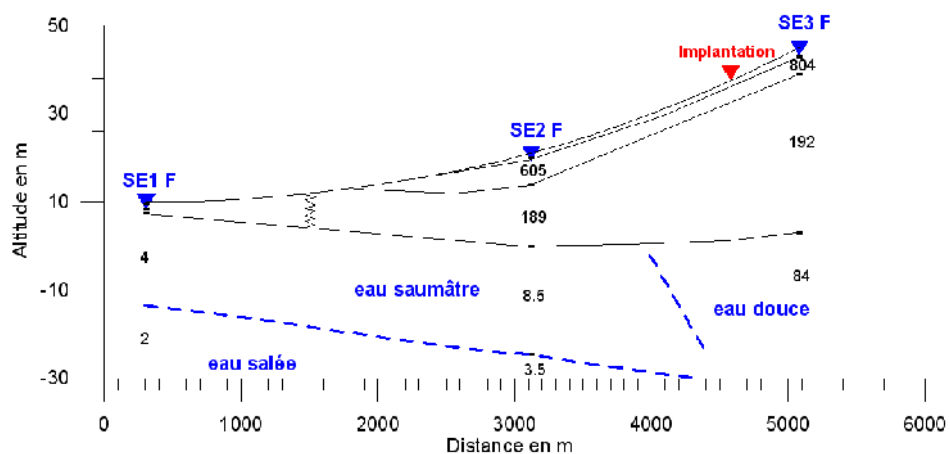


Figure 27 : Coupe géoélectrique, Tsifota

Le panneau électrique a mis évidence la présence de la formation conductrice à 7m de profondeur. C'est la formation imbibée d'eau salée de la mer.

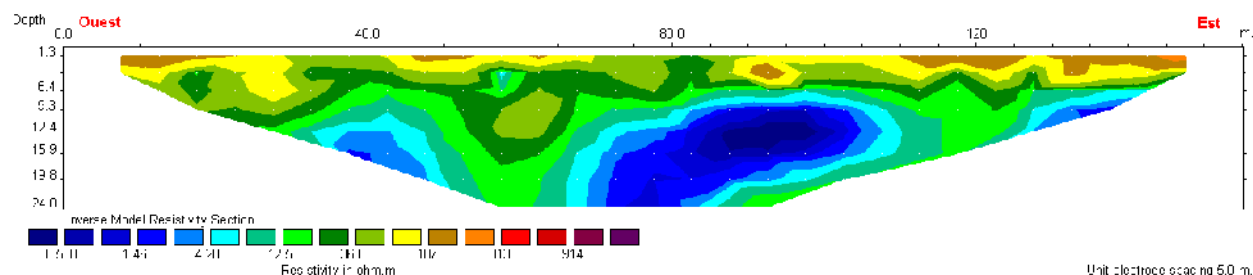


Figure 28 : Coupe géoélectrique du panneau, Tsifota

La géophysique et la photo interprétation nous a conduit à l'implantation de point d'exploitation d'eau souterraine. Le point proposé se trouve à 6,4 km à l'Est du village. Il est situé sur le plateau de sable roux où la nappe d'eau souterraine est hors de l'influence de l'eau de la mer. Le point est localisé à la latitude 22°49'13.0'' et à la longitude 43°25'38.6''. Le toit de la nappe se trouve à 45m de profondeur et la nappe à 30m de puissance.

3.4- Tableau récapitulatif

SONDAGE S	OBSERATIONS
SONDAGE SALARY NORD SE1B, SE2B, SE3B, SE4B	Présence d'eau saumâtre et eau salée le long de la coupe géoélectrique
SONDAGE SALAR SUD SE1C, SE2C, SE3C, SE4C	Présence d'eau salée pour les sondages SE1C, SE2C, SE3C et eau douce en SE4C
SONDAGE ANKARAMIFOKA SE1D, SE2D, SE3D, SE4D	La coupe géoélectrique SE1D et SE2D a mis en évidence la présence d'eau saumâtre en profondeur La coupe géoélectrique SE3D et SE4D a mis en évidence la présence d'eau saumâtre et eau salée en SE3D et d'eau douce en SE4D
SONDAGE FIERENAMASAY SE1G, SE2G, SE3G, SE4G, SE5G	La coupe géoélectrique SE3G, SE5G, SE4G a mis en évidence la séparation en pente faible d'eau salée, eau saumâtre et eau douce
SONDAGE TAMPOLO SE1E, SE2E, SE3E	La coupe a mis en évidence la séparation d'eau salée et d'eau douce en pente faible
SONDAGE TSANDAMBA SE1A, SE2A, SE3A, SE4A, SE5A, SE6A	La coupe a mis en évidence la présence d'eau salée, eau saumâtre, et d'eau douce
SONDAGE TSIFOTA SE1F, SE2F, SE3F	Présence d'eau salée, eau saumâtre et eau douce

CONCLUSION

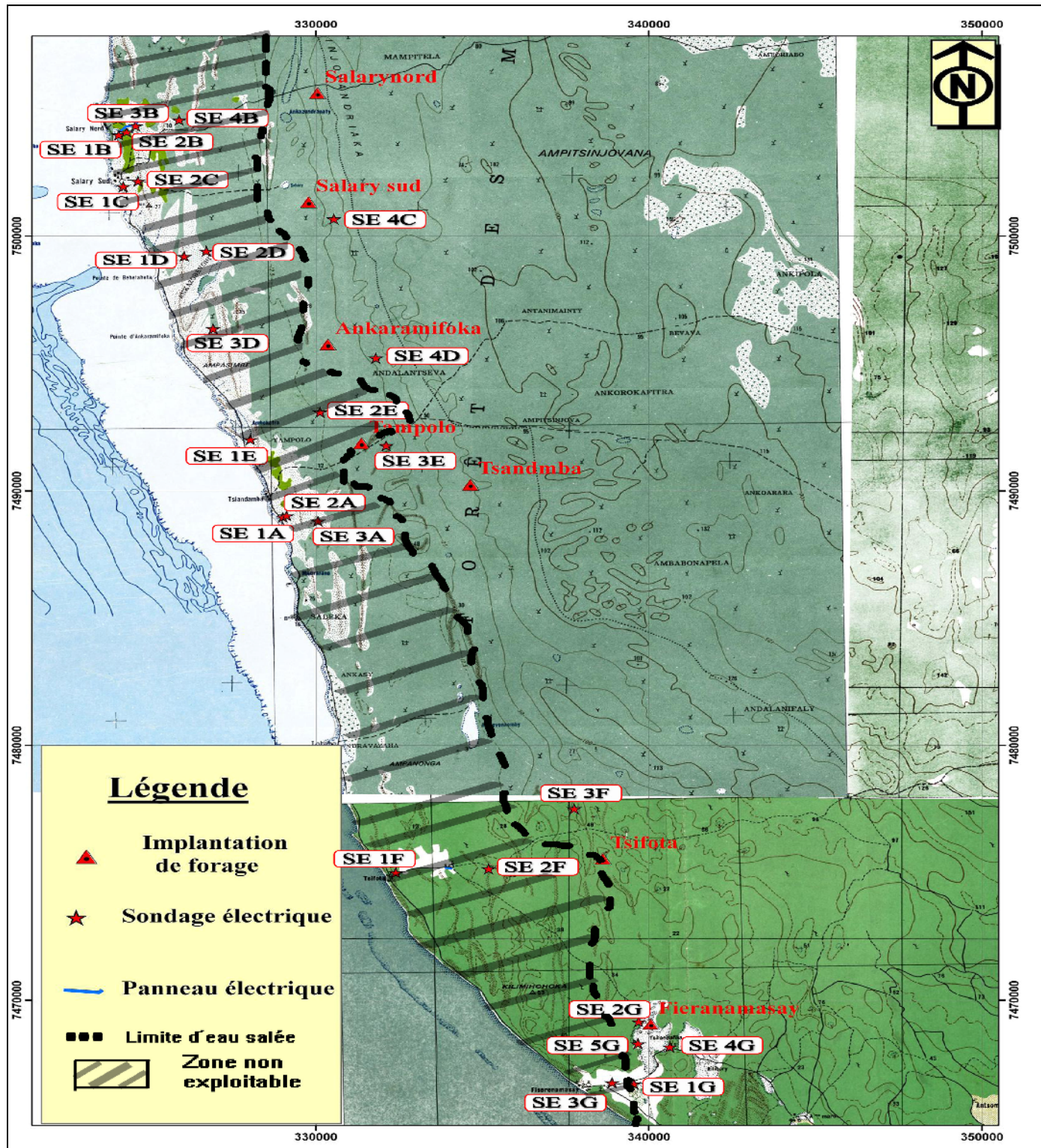


Figure29 : Carte de délimitation d'eau salée de la zone d'étude

La technique classique utilisée, photo-interprétation et prospection géophysique, se sont abouties à la localisation des points favorables à l'exploitation d'eau souterraine pour l'Alimentation en Eau potable des sept (07) villages.

La zone est subdivisée morphologiquement en deux entités : la plaine côtière et le plateau de sable. Elles sont couvertes de dépôts quaternaires, calcaires, dolomies, argiles et sable de plage d'une part et sable fluvial. Le calcaire éocène plus ou moins érodé forme le substratum de ces dépôts récents.

Les calcaires fissurés et non consolidés constituent le réservoir de la plaine côtière et les gisements semi-consolidés de sables enfouis dans les forêts de Mikea peuvent contenir des quantités d'eau considérables.

Le bilan climatique réalisé montre que la **zone est déficitaire de point de vue recharge**. La précipitation est relativement faible par rapport à l'évapotranspiration. La couverture sableuse favorise en outre l'infiltration rapide de l'eau de pluie arrivée en surface et donnant des minces nappes d'eau douce flottant sur l'eau salée qui envahit la terre ferme.

La mesure de paramètre physico-chimique réalisée sur les points d'eau existant a donné la caractéristique différente des eaux selon la position de point d'eau par rapport à la mer, la profondeur du point de captage, la nature lithologique de la couverture et l'utilisation de l'ouvrage, le plus souvent puits busés. On peut dire que tous **les points d'eau recensés** lors de cette campagne de prospection sont **sous l'influence de l'intrusion d'eau de mer** vers la terre ferme.

La prospection géophysique, plus précisément les profils géoélectriques, a donné la variation latérale de la résistivité électrique du bord de la mer vers l'intérieur, d'Ouest en Est. Les coupes ont montré que la valeur de la résistivité électrique de la formation considérée comme aquifère diminue en éloignant la mer.

La compilation des données nous a permis de définir la « zone favorable » à l'implantation de forage d'exploitation d'eau souterraine. C'est la partie qui se trouve à l'Est du biseau eau salée / eau douce.

La zone favorable se trouve sur le gisement de sables roux et sa délimitation est donnée sur la carte ci-dessus

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

- **GUYOT L.** ; Reconnaissance hydrogéologique pour l'alimentation en eau de la plaine littorale Mahafaly : Sud-Ouest de Madagascar
- **RAKOTONDRAINIBE J.H**, 1984. Les eaux souterraines de Madagascar HY 733, Bibliothèque du service de l'hydrogéologie à Ampandrianomby
- **HATIER INTERNATIONAL**, Géographie
- **BESAIRIE H.** ; 1972, GEOLOGIE DE MADAGASCAR, Les Terrains Sédimentaires, p.373, Bibliothèque du service géologique à Ampandrianomby

Site-web

http://www.emwismt.org/documentation/context/physical%20factors_files/Ghyben-Herzberg.htm (juin 2011)

http://www.google.fr/#sclient=psy&hl=fr&source=hp&q=principe+d%27%C3%A9quivalence+et+de+suppr%C3%A9ssion+en+Hydrog%C3%A9ologie+&aq=&aqi=&aql=&oq=&pbx=1&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.&fp=9d64706d78a4867a&biw=1024&bih=578 (juin 2011)

http://fr.wikipedia.org/wiki/Prospection_%C3%A9lectrique (mai 2011)

<http://www.cours.polymtl.ca/glq3202/Electrique/node34.html> (mai 2011)

RESUME

Les sept villages (Salary Nord, Salary Sud, Ankaramifoka, Tsandamba, Tsifota, Tampolo Fierenamasay) connaît un problème en approvisionnement d'eau souterraine car l'eau dans ces villages sont soit salée soit saumâtre.

Pour résoudre ce problème, le présent mémoire se propose de délimiter l'invasion d'eau salée dans cette zone en menant une campagne de prospection électrique comportant vingt-neuf sondages et six panneaux électriques ont été réalisés à l'aide de résistivimètre SYSCAL R2.

Les résultats ont permis de déterminer la zone favorable pour l'exploitation d'eau souterraine qui se trouve à l'Est du Biseau eau salée/ eau douce sur le gisement de sable roux sous le forêt de Mikea.

Mots clés : eau salée, méthode électrique, Tuléar

ABSTRACT

Villages settled in the littoral generally have problems with drinking water. Water is in fact salty or brackish and is so useless. Among these villages are those situated northern of Tuléar (Salary Nord, Salary Sud, Ankaramifoka, Tsandamba, Tsifota, Tampolo, Fierenamasay).

This study has been done in order to delineate the interface between salt and fresh water by means of geophysical surveying using electrical methods. Twenty nine vertical electric soundings and six electrical tomography imagery were carried out and the resistivimeter used was the Syscal R2 of Iris Instruments.

Results permit to conclude that fresh water may be found within the brown sand deposit which is covered by the Mikea forest.

Key words: salt water, electrical method, Tuléar

**Titre: DELIMITATION DU BISEAU D'EAU SALEE PAR LA
MAETHODE ELECTRIQUE AU NORD DE TULEAR**

Encadreur :
RAKOTO Heritana

Impétrant :
RANDRIANASOLO Louisà

TABLES DES MATIERES

Liste des acronymes	
Liste des figures	
<i>INTRODUCTION</i>	.....1

PARTIE1 : CONTEXTE

GENERAL DE LA ZONE

D'ETUDE

11. Situation géographique et administrative	.....3
12. Contexte géologique	.....4
13. Géomorphologie	.....7
14. Hydrologie et hydrogéologie	.....7
<i>1.4.1 Réseau hydrographique</i>	.....7
<i>1.4.2 Hydrogéologie</i>	.....7
15. Climat	.....9
<i>1.5.1 Données pluviométrique et température</i>	.....9
16. Contexte socio- économique	.....10

PARTIE2 : RAPPELS

METHODOLOGIQUES ET

ACQUISITION DES DONNEES

21. Equations fondamentales de l'hydrogéologie	.....12
<i>2.1.1 Les paramètres physiques qui caractérisent le sol</i>	.....12

2.1.2 Les conditions d'écoulement de l'eau	13
2.1.3 Principe de Ghyben- Herzberg	15
2.2. Méthode de prospection électrique	16
2.2.1 Les étapes de prospection géophysiques	16
2.2.1.1 Documentation	16
2.2.1.2 Phase de reconnaissance	17
2.2.1.3 Etude de faisabilité	17
2.2.2 Méthode électrique	17
2.2.2.1 Principe de mesure	17
2.2.2.2 Sondage électrique	18
2.2.2.2.1 Principes	18
2.2.2.2.2 Mise en oeuvre	19
2.2.2.3 Panneau électrique	20
22231. Principe	20
22232. Mise en œuvre	20
2.2.2.4 Principe d'équivalence	22
2.2.2.5 Principe de suppression	22
2.2.2.6 Matériels d'acquisition et traitement de données	22
2.2.2.6.1 Matériels utilisés	22
2.2.2.6.2 Traitement	23
PARTIE 3 :	
INTERPRETATION ET	
RESULTAT	
3.1. Photographie aérienne	26
3.2. Hydrogéologie de la zone	27
3.3. Sondage électrique	28
3.3.1 Sondage Salary Nord	29

3.3.2 <i>Sondage Salary Sud</i>	.....	33
3.3.3 <i>Sondage Ankaramifoka</i>	.....	36
3.3.4 <i>Sondage Fierenamasay</i>	.....	38
3.3.5 <i>Sondage Tampolo</i>	.....	40
3.3.6 <i>Sondage Tsandamba</i>	.....	41
3.3.7 <i>Sondage Tsifota</i>	.....	42
3.4. <i>Tableau récapitulatif</i>	.....	42
CONCLUSION	.....	45

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

TABLES DES MATIERES